

**AZOT FİKSE EDEBİLEN RİZOBAKTERLERİN
BRÜKSEL LAHANASI (*Brassica oleracea* L. var.
gemmifera)'NDA AZOT KULLANIMININ
AZALTILMASI, BÜYÜME, GELİŞME VE BAZI
KALİTE PARAMETRELERİNE ETKİSİ**

Musa HATİPOĞLU

Danışman: Prof. Dr. Haluk Çağlar KAYMAK

Doktora Tezi

Bahçe Bitkileri Ana Bilim Dalı

2025

(Her hakkı saklıdır.)

T.C.
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
BAHÇE BİTKİLERİ ANA BİLİM DALI

AZOT FİKSE EDEBİLEN RİZOBAKTERLERİN BRÜKSEL LAHANASI (*Brassica oleracea* L. var. *gemmifera*)'NDA AZOT KULLANIMININ AZALTILMASI, BÜYÜME, GELİŞME VE BAZI KALİTE PARAMETRELERİNE ETKİSİ

(The Effect of Nitrogen-Fixing Rhizobacteria on the Reduction of Nitrogen Use, Growth, Development, and Some Quality Parameters in Brussels Sprouts (*Brassica oleracea* L. var. *gemmifera*))

DOKTORA TEZİ

Musa HATİPOĞLU

Danışman: Prof. Dr. Haluk Çağlar KAYMAK

Erzurum
Temmuz, 2025

T.C.
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğü

TEZ KABUL VE ONAY TUTANAĞI

Azot Fikse Edebilen Rizobakterlerin Brüksel Lahanası (*Brassica oleracea* L. var. *Gemmifera*)'nda Azot Kullanımının Azaltılması, Büyüme, Gelişme ve Bazı Kalite Parametrelerine Etkisi

Prof. Haluk Çağlar KAYMAK danışmanlığında, Musa HATİPOĞLU tarafından hazırlanan bu çalışma, 18/07/2025. tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Bahçe Bitkileri Anabilim Bilim Dalı'nda doktora tezi olarak **oybirliği** ile kabul edilmiştir.

Jüri Başkanı / Danışman:	Prof. Dr. Haluk Çağlar KAYMAK Atatürk Üniversitesi	Aslı ıslak imzalıdır
Jüri Üyesi:	Prof. Dr. Ertan YILDIRIM Atatürk Üniversitesi	Aslı ıslak imzalıdır
Jüri Üyesi:	Prof. Dr. Özkan AKSAKAL Atatürk Üniversitesi	Aslı ıslak imzalıdır
Jüri Üyesi:	Prof. Dr. Hüsnü ÜNLÜ Isparta Uygulmalı Bilimler Üniversitesi	Aslı ıslak imzalıdır
Jüri Üyesi:	Prof. Dr. Halime ÜNLÜ Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi	Aslı ıslak imzalıdır

Enstitü Yönetim
Kurulunun .../.../.... tarih
ve sayılı kararı.

Bu tezin Atatürk Üniversitesi Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği'nin ilgili maddelerinde belirtilen şartları yerine getirdiğini onaylarım.

Aslı ıslak imzalıdır

Prof. Dr. Alper NUHOĞLU
Enstitü Müdürü

ETİK BİLDİRİM VE İNTİHAL BEYAN FORMU

Doktora Tezi olarak Prof. Dr. Haluk Çağlar KAYMAK danışmanlığında sunulan “Azot Fikse Edebilen Rizobakterlerin Brüksel Lahanası (*Brassica oleracea* L. var. *gemmifera*)’nda Azot Kullanımının Azaltılması, Büyüme, Gelişme ve Bazı Kalite Parametrelerine Etkisi” başlıklı çalışmanın tarafımızdan bilimsel etik ilkelere uyularak yazıldığını, yararlanılan eserlerin kaynakçada gösterildiğini, Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından belirlenmiş olan Turnitin Programı benzerlik oranlarının aşılmadığını ve aşağıdaki oranlarda olduğunu beyan ederiz.

Tez Bölümleri	Tezin Benzerlik Oranı (%)	Maksimum Oran (%)
Giriş	8	30
Kuramsal Temeller	4	30
Materyal ve Metot	22	35
Araştırma Bulguları ve Tartışma	17	20
Sonuçlar ve Öncüfer	6	20
Tezin Genelİ	16	25

Not: Yedi kelimeye kadar benzerlikler ile Başlık, Kaynakça, İçindekiler, Teşekkür, Dizin ve Ekler kısımları tarama dışı bırakılabilir. Yukarıdaki azami benzerlik oranları yanında tek bir kaynaktan olan benzerlik oranlarının %5'ten büyük olmaması gerekir.

Sunulan bilgilerin doğru olduğunu, aksi halde doğacak hukuki sorumlulukları kabul ettiğimizi beyan ederiz.

Tez Yazarı (Öğrenci)	Tez Danışmanı
Musa HATİPOĞLU	Prof. Dr. Haluk Çağlar KAYMAK
18.7.2025	18.7.2025
İmza: Aslı ıslak imzalıdır	İmza: Aslı ıslak imzalıdır

* Tez ile ilgili YÖKTEZ’de yayınlamasına ilişkin bir engelleme var ise aşağıdaki alanı doldurunuz.

Tezle ilgili patent başvurusu yapılması / patent alma sürecinin devam etmesi sebebiyle Enstitü Yönetim Kurulunun .../.../... tarih ve sayılı kararı ile teze erişim 2 (iki) yıl süreyle engellenmiştir.

Enstitü Yönetim Kurulunun .../.../... tarih ve sayılı kararı ile teze erişim 6 (altı) ay süreyle engellenmiştir.

TEŞEKKÜR

Akademik kariyerim boyunca öğrencisi olmaktan onur duyduğum, her zaman yanımda olan, bana yol gösteren, bilgi birikimini hiçbir zaman esirgemeyen tez danışmanım Sayın Prof. Dr. Haluk Çağlar KAYMAK'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tezimde kullanılan bakteri izolatlarının temininde benden yardımlarını esirgemeyen Dr. Öğr. Üyesi Merve ŞENOL KOTAN ve laboratuvarlarında çalışma imkânı sağlayarak topraktaki bakteri poplasyonlarının belirlenmesi konusunda bana yardımcı olan ve rahmet ve minnet ile andığım Sayın Prof. Dr. Mehmet Nuri AYDOĞAN'a çok teşekkür ederim. Ayrıca Sayın Prof. Dr. Fatih DADAŐOĐLU'na ve diğer çalışmalarında yardımlarını esirgemeyen Doç. Dr. Raziye KUL, Arş. Gör. Serpil TIRAŐCI ve Doktora öğrencisi Mustafa KAŞKA'ya çok teşekkür ederim.

Musa HATIPOĞLU

ÖZET

DOKTORA TEZİ

AZOT FİKSE EDEBİLEN RİZOBAKTERLERİN BRÜKSEL LAHANASI (*Brassica oleracea* L. var. *gemmifera*)’NDA AZOT KULLANIMININ AZALTILMASI, BÜYÜME, GELİŞME VE BAZI KALİTE PARAMETRELERİNE ETKİSİ

Musa HATİPOĞLU

Danışman: Prof. Dr. Haluk Çağlar KAYMAK

Amaç: Azot (N), bitkiler için temel besin maddelerinden biri olup, dünya genelinde en yaygın kullanılan tarımsal kimyasaldır. Bu çalışma, Brüksel lahanasında azot fikse edebilen ve bitki büyümesini teşvik eden rizobakteriler aracılığıyla azot kullanımını azaltmanın yanı sıra, büyüme, gelişim, bazı kalite parametreleri ve verim üzerindeki etkilerini incelemeyi amacıyla yürütülmüştür.

Yöntem: Bu çalışma; tarla koşullarında Brüksel lahanası (*Brassica oleracea* L. var. *gemmifera*, cv. Davlın F1)’da bakteri (PGPR) kombinasyonu, (BF-1 ve BF-2), organik tavuk gübresi OTG (400 kg da⁻¹), üç farklı azot (N 21%) dozu 20, 30 ve 40 kg da⁻¹ uygulamalarının ve bunların birlikte kombinasyonlarının verim ve kalite özellikleri üzerine etkilerini araştırmak amacıyla yapılmıştır. Çalışma tesadüf blokları deneme deseninde 3 tekrarlı olarak yürütülmüştür. Çalışmada; dekara verim, baş özellikleri (ağırlığı, rengi ve boyutları), yaprak özellikleri (rengi, yaprak sayısı), bitki özellikleri (gövde çapı, bitki boyu) gibi özellikler incelenmiştir. Ayrıca toprak bakteri popülasyonlarındaki ve yaprak klorofil içeriklerindeki dönemsel değişimler, yaprak kuru maddesi, antioksidan enzim (katalaz, süperoksit dismutaz ve askorbat peroksidaz) aktivitesi ve makro mikro besin elementi içerikleri, başlarda suda çözünebilir kuru madde miktarı uygulamalara göre azot kullanım etkinlikleri belirlenmiştir.

Bulgular: Çalışmada, uygulamalar arasında istatistiksel olarak önemli farklılıkların olduğu tespit edilmiştir. Elde edilen verilere göre, bakteri (PGPR) kombinasyonu, organik tavuk gübresi (OTG) ve farklı azot dozları uygulanan bitkilerin, kontrol grubuna göre dekara verim, baş özellikleri (ağırlık, renk ve boyut), yaprak özellikleri (renk, yaprak sayısı), bitki özellikleri (gövde çapı, bitki boyu) gibi bitki gelişimi parametrelerinde artış görülmüştür. Ayrıca klorofil miktarı, antioksidan enzim aktiviteleri ile makro ve mikro besin elementi içerikleri gibi kalite özelliklerinde artış sağladığı belirlenmiştir.

Sonuç: İki yıl olarak yürütülen çalışmamızın sonuçları değerlendirildiğinde verim ve kalite yönünden, biyo-gübre kullanımı, Brüksel lahanası bitkilerinin verimliliğini ve kalitesini artırarak eklenen azot gübrelemesinin azaltılmasına olanak sağlayan etkili bir yöntemdir. Araştırma sonuçlarına göre, düşük azot gübreleme oranı (20 kg N/da) ile miktar ve kalite açısından en iyi sonuçları veren BF-2’yi geride bırakan BF-1, en iyi biyo-gübre olarak belirlenmiştir. Bu nedenle, azot gübresi kullanımını azaltırken en yüksek verimin elde edilebileceği, böylece maliyetin düşürülüp kârlılığın artırılacağı ve azot gübrelerinden kaynaklanan çevre kirliliğinin azaltılabileceği bir seçenek olarak BF-1’in kullanılması önerilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Brüksel lahanası, PGPR, organik gübre, Azot, Verim, Kalite

Temmuz 2025, 176 sayfa

ABSTRACT

DOCTORAL DISSERTATION

THE EFFECT OF NITROGEN-FIXING RHIZOBACTERIA ON THE REDUCTION OF NITROGEN USE, GROWTH, DEVELOPMENT, AND SOME QUALITY PARAMETERS IN BRUSSELS SPROUTS (*Brassica oleracea* L. var. *gemmifera*).

Musa HATİPOĞLU

Supervisor: Prof. Dr. Haluk Çağlar KAYMAK

Purpose: Nitrogen (N) is an essential nutrient for plants and is the most widely used agricultural chemical globally. This study was conducted with the aim of reducing nitrogen use through nitrogen-fixing, plant growth-promoting rhizobacteria in Brussels sprouts, while also examining their effects on growth, development, certain quality parameters, and yield.

Method: This study was conducted under field conditions to investigate the effects of plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) combinations (BF-1 and BF-2), organic chicken manure (OCM, 400 kg da⁻¹), three different nitrogen (N 21%) doses (20, 30, and 40 kg da⁻¹), and their various combinations on yield and quality characteristics of Brussels sprouts (*Brassica oleracea* L. var. *gemmifera*, cv. Davlın F1). The experiment was arranged in a randomized complete block design with three replications. Evaluated parameters included yield per decare, head characteristics (weight, color, and size), leaf traits (color, number of leaves), and plant characteristics (stem diameter and plant height). In addition, temporal changes in soil bacterial populations and leaf chlorophyll content were assessed, along with leaf dry matter content, antioxidant enzyme activities (catalase, superoxide dismutase, and ascorbate peroxidase), macro- and micronutrient contents, water-soluble dry matter content in heads, and nitrogen use efficiency under different treatment applications.

Findings: In the study, statistically significant differences were identified among the treatments. According to the obtained data, plants treated with bacterial (PGPR) combinations, organic chicken manure (OCM), and different nitrogen doses showed improvements in plant growth parameters, such as yield per hectare, head characteristics (weight, color, and size), leaf characteristics (color, number of leaves), and plant characteristics (stem diameter, plant height), compared to the control. Additionally, increases were observed in quality traits such as chlorophyll content, antioxidant enzyme levels (catalase, superoxide dismutase, and ascorbate peroxidase), as well as macro- and micronutrient contents.

Result: When evaluating the results of our two-year study in terms of yield and quality, the use of biofertilizers has proven to be an effective method for increasing the productivity and quality of Brussels sprouts while reducing the need for additional nitrogen fertilization. According to the research findings, BF-1, which outperformed BF-2 in terms of quantity and quality at a low nitrogen fertilization rate (30 kg N/ha), was identified as the best biofertilizer. Therefore, it is recommended to use BF-1 as a viable option to reduce nitrogen fertilizer usage, achieve the highest yield, lower costs, increase profitability, and reduce environmental pollution caused by nitrogen fertilizers.

Keywords: Brussels sprouts, PGPR, Organic fertilizer, Nitrogen, Yield, Quality

July 2025, 176 pages

İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY TUTANAĞI.....	i
ETİK BİLDİRİM VE İNTİHAL BEYAN FORMU	ii
TEŞEKKÜR	iii
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
İÇİNDEKİLER.....	vi
TABLolar DİZİNİ.....	x
ŞEKİLLER DİZİNİ	xix
KISALTMALAR VE SİMGELER DİZİNİ	xx
GİRİŞ.....	1
KURAMSAL TEMELLER.....	10
PGPR'lerin Biyolojik Gübre Olarak Kullanımları.....	10
PGPR'lerin Azot Fiksasyonuna Etkileri	12
PGPR'lerin Fosfat Çözünürlüğüne Etkileri	14
PGPR'lerin Bitkilerde Besin Maddesi Alımına Etkileri	15
PGPR'lerin Organik Asit, Hormon ve Enzim Aktiviteleri Üzerine Etkileri.....	16
Organik Gübrelerin ve Tavuk Gübresini Kullanımının Etkileri	17
Farklı Gübrelerin Birlikte Kullanımlarının Etkileri	21
MATERYAL VE METOT	24
Materyal	24
Bitkisel materyal	24
Deneme alanı hakkında genel bilgiler.....	24
Deneme yerinin iklim özellikleri	24
Deneme alanının toprak özellikleri	25
Denemede kullanılan bakteri türleri.....	27
Metot	27
Tohum ekimi ve fide eldesi.....	27
Bakteri formülasyonların hazırlanması	28
Bakteri formülasyonlarının uygulanması	28
Deneme yerinin hazırlanması ve fide dikimi	28
Bakım işlemleri	29
Gübreleme	29
Araştırma Alanına Ait Ölçüm ve Analizler	30

Topraktaki bakteri popülasyonlarının belirlenmesi	30
Brüksel Lahanasında Bitki, Baş ve Yapraklarda Yapılan Ölçümler.....	31
Bitki boyu.....	32
Baş uzunluğu.....	32
Baş çapı.....	32
Baş sayısı.....	33
Baş ağırlığı	33
Gövde çapı	33
Başta suda çözünebilir kuru madde miktarı	33
Başta kuru madde oranı.....	33
Baş rengi L, hue ⁰ açığı ve chroma değeri.....	34
Yaprak sayısı.....	34
Yaprak rengi L, hue ⁰ açığı ve chroma değerleri.....	35
Klorofil değeri.....	35
Verim Değerlerinin belirlenmesi.....	35
Toplam verim	35
Pazarlanabilir verim	36
Azot Kullanım Etkinliğinin belirlenmesi	36
Yaprakta Makro-Mikro Besin Elementi Miktarlarının Belirlenmesi.....	36
Enzim ve Diğer Aktivite Tayinleri.....	36
Katalaz (CAT) aktivite tayini.....	37
Peroksidaz (POX) aktivite tayini	37
Süperoksit dismutaz (SOD) aktivite tayini	37
Glutatyon redüktaz (GR) aktivite tayini.....	38
Askorbat peroksidaz (APX) aktivite tayini	38
Glutamin redüktaz aktivite tayini.....	38
Glutamat redüktaz aktivite tayini	39
Hidrojen peroksit (H ₂ O ₂) aktivite tayini	39
Malondialdehit (MDA) miktarı tayini.....	39
Prolin miktarının belirlenmesi	39
Sakkaroz miktarının belirlenmesi	40
Başta Tespit Edilen Organik Asit Miktarları	40
İstatistiksel Analiz.....	40
ARAŞTIRMA BULGULARI	41
Toprakta Tespit Edilen Bakteri Popülasyonları	41

Tespit Edilen Bitki, Baş ve Yaprak Özellikleri.....	43
Bitki boyu (cm)	43
Baş uzunluğu (mm).....	45
Baş çapı (mm)	46
Baş sayısı (adet da ⁻¹)	48
Baş ağırlığı (gr/adet)	50
Gövde çapı (mm).....	52
Başta suda çözünebilir kuru madde miktarı (%SÇKM).....	54
Başta kuru madde oranı (%).....	55
Baş rengi L değeri	57
Baş rengi hue ⁰ açığı değeri	58
Baş rengi chroma değeri.....	59
Yaprak sayısı (adet/bitki)	61
Yaprak rengi L değeri	62
Yaprak rengi hue ⁰ açığı değeri	64
Yaprak rengi chroma değeri.....	65
Klorofil değeri (SPAD)	67
Verim Değerleri	68
Toplam verim (kg da ⁻¹)	68
Pazarlanabilir verim (kg da ⁻¹).....	70
Azot Kullanım Etkinliği	72
Yaprakta belirlenen Makro-Mikro Besin Elementi Miktarları	73
Azot (N) miktarı (%).....	73
Fosfor (P) miktarı (%).....	75
Potasyum (K) miktarı (%).....	76
Kalsiyum (Ca) miktarı (%)	78
Kükürt (S) miktarı (%).....	79
Magnezyum (Mg) miktarı (%)	80
Demir (Fe) miktarı (ppm).....	82
Çinko (Zn) miktarı (ppm).....	83
Bor (B) miktarı (ppm)	85
Bakır (Cu) miktarı (ppm)	86
Sodyum (Na) miktarı (ppm).....	88
Manganez (Mn) miktarı (ppm).....	89
Başta Tespit Edilen Enzim Aktiviteler.....	91

Katalaz (CAT) aktivitesi (mmol/kg)	91
Peroksidaz (POX) aktivitesi (EU gr ⁻¹ baş)	93
Süperoksit dismutaz (SOD) aktivitesi (EU gr ⁻¹ baş)	94
Glutasyon redüktaz (GR) aktivitesi (EU gr ⁻¹ baş)	96
Askorbat peroksidaz (APX) aktivitesi (EU gr ⁻¹ baş)	98
Glutamin redüktaz aktivitesi (pmol µL ⁻¹)	99
Glutamat redüktaz aktivitesi (ng/mikrogram)	101
Hidrojen peroksit (H ₂ O ₂) aktivitesi (mmol kg ⁻¹)	103
Malondialdehit (MDA) miktarı (mmol/kg)	104
Prolin miktarı (mmol kg ⁻¹)	106
Sakkaroz miktarı (%)	108
Başta Tespit Edilen Organik Asit Miktarları	109
Oksalik asit miktarı (pmol µL ⁻¹)	109
Propionik asit miktarı (pmol µL ⁻¹)	111
Tartarik asit miktarı (pmol µL ⁻¹)	113
Bütirik asit miktarı (pmol µL ⁻¹)	114
Malonik asit miktarı (pmol µL ⁻¹)	116
Malik asit miktarı (pmol µL ⁻¹)	117
Laktik asit miktarı (pmol µL ⁻¹)	119
Sitrik asit miktarı (pmol µL ⁻¹)	120
Maleik asit miktarı (pmol µL ⁻¹)	122
Fumarik asit miktarı (pmol µL ⁻¹)	123
Süksinik asit miktarı (pmol µL ⁻¹)	125
TARTIŞMA VE SONUÇ	127
KAYNAKLAR	138
ÖZGEÇMİŞ	153

TABLolar DİZİNİ

Tablo 1. Araştırma Alanı Toprağına Ait Bazı Biyokimyasal Özellikler	26
Tablo 2. Bakteri Türlerine Dair Bazı Biyokimyasal Özellikler.....	27
Tablo 3. Araştırmada Kullanılan Bakteri Formülasyonları	28
Tablo 4. Araştırmada Yapılan Gübre Uygulamaları	30
Tablo 5. Topraktaki Bakteri Popülasyonlarına Ait Varyans Analiz Sonuçları.....	41
Tablo 6. Topraktaki Bakteri Popülasyonları ($\times 10^5$ cfu/ml)	42
Tablo 7. Farklı Azot Dozları, PGPR Formülasyonları ve Organik Tavuk Gübresinin Brüksel Lahanası Bitki Boyuna Etkisine Ait Varyans Analizi Sonuçları.....	43
Tablo 8. Farklı Azot Dozları, PGPR Formülasyonları ve Organik Tavuk Gübresinin Brüksel Lahanasında Bitki Boyu Üzerine Etkisi (cm).....	44
Tablo 9. Farklı Azot Dozları, PGPR Formülasyonları ve Organik Tavuk Gübresinin Brüksel Lahanasında Baş Uzunluğu Üzerine Etkisini Gösteren Varyans Analiz Sonuçları	45
Tablo 10. Farklı Azot Dozları, PGPR Formülasyonları ve Organik Tavuk Gübresinin Brüksel Lahanasında Baş Uzunluğu Üzerine Etkisi (mm)	46
Tablo 11. Farklı Azot Dozları, PGPR Formülasyonları ve Organik Tavuk Gübresinin Brüksel Lahanasında Baş Çapı Üzerine Etkisini Gösteren Varyans Analiz Sonuçları	47
Tablo 12. Farklı Azot Dozları, PGPR Formülasyonları ve Organik Tavuk Gübresinin Brüksel Lahanasında Baş Çapı Üzerine Etkisi (mm).....	47
Tablo 13. Farklı Azot Dozları, PGPR Formülasyonları ve Organik Tavuk Gübresinin Brüksel Lahanasında Baş Sayısı Üzerine Etkisini Gösteren Varyans Analiz Sonuçları	49
Tablo 14. Farklı Azot Dozları, PGPR Formülasyonları ve Organik Tavuk Gübresinin Brüksel Lahanasında Baş Sayısına Etkisi (bitki başına adet da^{-1})	50
Tablo 15. Farklı Azot Dozları, PGPR Formülasyonları ve Organik Tavuk Gübresinin Brüksel Lahanasında Baş Ağırlığı Üzerine Etkisini Gösteren Varyans Analiz Sonuçları	51
Tablo 16. Farklı Azot Dozları, PGPR Formülasyonları ve Organik Tavuk Gübresinin Brüksel Lahanasında Baş Ağırlığı Üzerine Etkisi (gr/adet).....	51
Tablo 17. Farklı Azot Dozları, PGPR Formülasyonları ve Organik Tavuk Gübresinin Brüksel Lahanasında Gövde Çapı Üzerine Etkisini Gösteren Varyans Analiz Sonuçları	52

Tablo 18. Farklı Azot Dozları, PGPR Formülasyonları ve Organik Tavuk Gübresinin Brüksel Lahanasında Gövde Çapı Üzerine Etkisi (mm).....	53
Tablo 19. Farklı Azot Dozları, PGPR Formülasyonları ve Organik Tavuk Gübresinin Brüksel Lahanasında %SÇKM Üzerine Etkisini Gösteren Varyans Analiz Sonuçları	54
Tablo 20. Farklı Azot Dozları, PGPR Formülasyonları ve Organik Tavuk Gübresinin Brüksel Lahanasında Başta Suda Çözülebilir Kuru Madde Miktarına Etkisi (% SÇKM).....	55
Tablo 21. Farklı Azot Dozları, PGPR Formülasyonları ve Organik Tavuk Gübresinin Brüksel Lahanasında Başta Kuru Madde Oranı Üzerine Etkisini Gösteren Varyans Analiz Sonuçları	56
Tablo 22. Farklı Azot Dozları, PGPR Formülasyonları ve Organik Tavuk Gübresinin Brüksel Lahanasında Başta Kuru Madde Oranına Etkisi (%).....	56
Tablo 23. Farklı Azot Dozları, PGPR Formülasyonları ve Organik Tavuk Gübresinin Brüksel Lahanasında Baş Rengi L Değeri Üzerine Etkisini Gösteren Varyans Analiz Sonuçları.....	57
Tablo 24. Farklı Azot Dozları, PGPR Formülasyonları ve Organik Tavuk Gübresinin Brüksel Lahanasında Baş Rengi L Değerine Etkisi	57
Tablo 25. Farklı Azot Dozları, PGPR Formülasyonları ve Organik Tavuk Gübresinin Brüksel Lahanasında Baş Hue ⁰ Açığı Değeri Üzerine Etkisini Gösteren Varyans Analiz Sonuçları.....	58
Tablo 26. Farklı Azot Dozları, PGPR Formülasyonları ve Organik Tavuk Gübresinin Brüksel Lahanasında Baş Rengi Hue ⁰ Açığı Değeri Üzerine Etkisi.....	59
Tablo 27. Farklı Azot Dozları, PGPR Formülasyonları ve Organik Tavuk Gübresinin Brüksel Lahanasında Baş Chroma Değeri Üzerine Etkisini Gösterir Varyans Analiz Sonuçları.....	60
Tablo 28. Farklı Azot Dozları, PGPR Formülasyonları ve Organik Tavuk Gübresinin Brüksel Lahanasında Baş Rengi Chroma Değeri Üzerine Etkisi.....	60
Tablo 29. Farklı Azot Dozları, PGPR Formülasyonları ve Organik Tavuk Gübresinin Brüksel Lahanasında Yaprak Sayısı Üzerine Etkisini Gösteren Varyans Analiz Sonuçları	61
Tablo 30. Farklı Azot Dozları, PGPR Formülasyonları ve Organik Tavuk Gübresinin Brüksel Lahanasında Yaprak Sayısı Üzerine Etkisi (adet/bitki).....	62

Tablo 31. Farklı Azot Dozları, PGPR Formülasyonları ve Organik Tavuk Gübresinin Brüksel Lahanasında Yaprak Rengi L Değeri Üzerine Etkisini Gösteren Varyans Analiz Sonuçları	63
Tablo 32. Farklı Azot Dozları, PGPR Formülasyonları ve Organik Tavuk Gübresinin Brüksel Lahanasında Yaprak Rengi L Değeri Üzerine Etkisi	63
Tablo 33. Farklı Azot Dozları, PGPR Formülasyonları ve Organik Tavuk Gübresinin Brüksel Lahanasında Yaprak Hue ⁰ Açık Değeri Üzerine Etkisini Gösteren Varyans Analiz Sonuçları	64
Tablo 34. Farklı Azot Dozları, PGPR Formülasyonları ve Organik Tavuk Gübresinin Brüksel Lahanasında Yaprak Rengi Hue ⁰ Açık Değeri Üzerine Etkisi	65
Tablo 35. Farklı Azot Dozları, PGPR Formülasyonları ve Organik Tavuk Gübresinin Brüksel Lahanasında Yaprak Chroma Değeri Üzerine Etkisini Gösteren Varyans Analiz Sonuçları.....	66
Tablo 36. Farklı Azot Dozları, PGPR Formülasyonları ve Organik Tavuk Gübresinin Brüksel Lahanasında Yaprak Rengi Chroma Değeri Üzerine Etkisi.....	66
Tablo 37. Farklı Azot Dozları, PGPR Formülasyonları ve Organik Tavuk Gübresinin Brüksel Lahanasında Klorofil Değeri Üzerine Etkisini Gösteren Varyans Analiz Sonuçları	67
Tablo 38. Farklı Azot Dozları, PGPR Formülasyonları ve Organik Tavuk Gübresinin Brüksel Lahanasında Klorofil Değeri Üzerine Etkisi (spad)	67
Tablo 39. Farklı Azot Dozları, PGPR Formülasyonları ve Organik Tavuk Gübresinin Brüksel Lahanasında Toplam Verim Üzerine Etkisini GösterEN Varyans Analiz Sonuçları.....	69
Tablo 40. Farklı Azot Dozları, PGPR Formülasyonları ve Organik Tavuk Gübresinin Brüksel Lahanasında Toplam Verime Etkisi (kg da ⁻¹).....	69
Tablo 41. Farklı Azot Dozları, PGPR Formülasyonları ve Organik Tavuk Gübresinin Brüksel Lahanasında Pazarlanabilir Verim Üzerine Etkisini Gösteren Varyans Analiz Sonuçları.....	70
Tablo 42. Farklı Azot Dozları, PGPR Formülasyonları ve Organik Tavuk Gübresinin Brüksel Lahanasında Pazarlanabilir Verime Etkisi (kg da ⁻¹).....	71
Tablo 43. Farklı Azot Dozları, PGPR Formülasyonları ve Organik Tavuk Gübresinin Brüksel Lahanasında Azot Kullanım Etkinliği Üzerine Etkisini Gösteren Varyans Analiz Sonuçları	72
Tablo 44. Farklı Azot Dozları, PGPR Formülasyonları ve Organik Tavuk Gübresinin Brüksel Lahanasında Azot Kullanım Etkinliğine Etkisi	72

Tablo 45. Farklı Azot Dozları, PGPR Formülasyonları ve Organik Tavuk Gübresinin Brüksel Lahanasında Yapraklardaki Azot Miktarına Etkisini Gösteren Varyans Analiz Sonuçları.....	74
Tablo 46. Farklı Azot Dozları, PGPR Formülasyonları ve Organik Tavuk Gübresinin Brüksel Lahanasında Yapraklardaki Azot Miktarına Etkisi (%)	74
Tablo 47. Farklı Azot Dozları, PGPR Formülasyonları ve Organik Tavuk Gübresinin Brüksel Lahanasında Yapraklardaki Fosfor Miktarına Etkisini Gösteren Varyans Analiz Sonuçları	75
Tablo 48. Farklı Azot Dozları, PGPR Formülasyonları ve Organik Tavuk Gübresinin Brüksel Lahanasında Yapraklardaki Fosfor Miktarına Etkisi (%).....	76
Tablo 49. Farklı Azot Dozları, PGPR Formülasyonları ve Organik Tavuk Gübresinin Brüksel Lahanasında Yapraklardaki Potasyum Miktarına Etkisini Gösteren Varyans Analiz Sonuçları	77
Tablo 50. Farklı Azot Dozları, PGPR Formülasyonları ve Organik Tavuk Gübresinin Brüksel Lahanasında Yapraklardaki Potasyum Miktarına Etkisi (%)	77
Tablo 51. Farklı Azot Dozları, PGPR Formülasyonları ve Organik Tavuk Gübresinin Brüksel Lahanasında Yapraklardaki Kalsiyum Miktarına Etkisini Gösteren Varyans Analiz Sonuçları	78
Tablo 52. Farklı Azot Dozları, PGPR Formülasyonları ve Organik Tavuk Gübresinin Brüksel Lahanasında Yapraklardaki Kalsiyum Miktarına Etkisi (%)	78
Tablo 53. Farklı Azot Dozları, PGPR Formülasyonları ve Organik Tavuk Gübresinin Brüksel Lahanasında Yapraklardaki Kükürt Miktarına Etkisini Gösteren Varyans Analiz Sonuçları.....	79
Tablo 54. Farklı Azot Dozları, PGPR Formülasyonları ve Organik Tavuk Gübresinin Brüksel Lahanasında Yapraklardaki Kükürt Miktarına Etkisi (%).....	80
Tablo 55. Farklı Azot Dozları, PGPR Formülasyonları ve Organik Tavuk Gübresinin Brüksel Lahanasında Yapraklardaki Magnezyum Miktarına Etkisini Gösteren Varyans Analiz Sonuçları	81
Tablo 56. Farklı Azot Dozları, PGPR Formülasyonları ve Organik Tavuk Gübresinin Brüksel Lahanasında Yapraklardaki Magnezyum Miktarına Etkisi (%).....	81
Tablo 57. Farklı Azot Dozları, PGPR Formülasyonları ve Organik Tavuk Gübresinin Brüksel Lahanasında Yapraklardaki Demir Miktarına Etkisini Gösteren Varyans Analiz Sonuçları.....	82
Tablo 58. Farklı Azot Dozları, PGPR Formülasyonları ve Organik Tavuk Gübresinin Brüksel Lahanasında Yapraklardaki Demir Miktarına Etkisi (ppm).....	83

Tablo 59. Farklı Azot Dozları, PGPR Formülasyonları ve Organik Tavuk Gübresinin Brüksel Lahanasında Yapraklardaki Çinko Miktarına Etkisini Gösteren Varyans Analiz Sonuçları.....	84
Tablo 60. Farklı Azot Dozları, PGPR Formülasyonları ve Organik Tavuk Gübresinin Brüksel Lahanasında Yapraklardaki Çinko Miktarına Etkisi (ppm)	84
Tablo 61. Farklı Azot Dozları, PGPR Formülasyonları ve Organik Tavuk Gübresinin Brüksel Lahanasında Yapraklardaki Bor Miktarına Etkisini Gösteren Varyans Analiz Sonuçları.....	85
Tablo 62. Farklı Azot Dozları, PGPR Formülasyonları ve Organik Tavuk Gübresinin Brüksel Lahanasında Yapraklardaki Bor Miktarına Etkisi (ppm)	86
Tablo 63. Farklı Azot Dozları, PGPR Formülasyonları ve Organik Tavuk Gübresinin Brüksel Lahanasında Yapraklardaki Bakır Miktarına Etkisini Gösteren Varyans Analiz Sonuçları.....	87
Tablo 64. Farklı Azot Dozları, PGPR Formülasyonları ve Organik Tavuk Gübresinin Brüksel Lahanasında Yapraklardaki Bakır Miktarına Etkisi (ppm)	87
Tablo 65. Farklı Azot Dozları, PGPR Formülasyonları ve Organik Tavuk Gübresinin Brüksel Lahanasında Yapraklardaki Sodyum Miktarına Etkisini Gösteren Varyans Analiz Sonuçları	88
Tablo 66. Farklı Azot Dozları, PGPR Formülasyonları ve Organik Tavuk Gübresinin Brüksel Lahanasında Yapraklardaki Sodyum Miktarına Etkisi (ppm).....	89
Tablo 67. Farklı Azot Dozları, PGPR Formülasyonları ve Organik Tavuk Gübresinin Brüksel Lahanasında Yapraklardaki Manganez Miktarına Etkisini Gösteren Varyans Analiz Sonuçları	90
Tablo 68. Farklı Azot Dozları, PGPR Formülasyonları ve Organik Tavuk Gübresinin Brüksel Lahanasında Yapraklardaki Manganez Miktarına Etkisi (ppm).....	91
Tablo 69. Farklı Azot Dozları, PGPR Formülasyonları ve Organik Tavuk Gübresinin Brüksel Lahanasında Katalaz (CAT) Aktivitesine Etkisini Gösteren Varyans Analiz Sonuçları.....	91
Tablo 70. Farklı Azot Dozları, PGPR Formülasyonları ve Organik Tavuk Gübresinin Brüksel Lahanasında Katalaz (CAT) Aktivitesine Etkisi (mmol kg ⁻¹).....	92
Tablo 71. Farklı Azot Dozları, PGPR Formülasyonları ve Organik Tavuk Gübresinin Brüksel Lahanasında Peroksidaz (POX) Aktivitesine Etkisini Gösteren Varyans Analiz Sonuçları.....	93
Tablo 72. Farklı Azot Dozları, PGPR Formülasyonları ve Organik Tavuk Gübresinin Brüksel Lahanasında Peroksidaz (POX) Aktivitesine Etkisi (EU gr ⁻¹ baş).....	94

Tablo 73. Farklı Azot Dozları, PGPR Formülasyonları ve Organik Tavuk Gübresinin Brüksel Lahanasında Süperoksit Dismutaz (SOD) Aktivitesine Etkisini Gösterir Varyans Analiz Sonuçları	95
Tablo 74. Farklı Azot Dozları, PGPR Formülasyonları ve Organik Tavuk Gübresinin Brüksel Lahanasında Süperoksit Dismutaz (SOD) Aktivitesine Etkisi (mmol kg ⁻¹)	96
Tablo 75. Farklı Azot Dozları, PGPR Formülasyonları ve Organik Tavuk Gübresinin Brüksel Lahanasında Glutasyon Redüktaz (GR) Aktivitesine Etkisini Gösteren Varyans Analiz Sonuçları	97
Tablo 76. Farklı Azot Dozları, PGPR Formülasyonları ve Organik Tavuk Gübresinin Brüksel Lahanasında Glutasyon Redüktaz (GR) Aktivitesine Etkisi (EU gr ⁻¹ baş).....	97
Tablo 77. Farklı Azot Dozları, PGPR Formülasyonları ve Organik Tavuk Gübresinin Brüksel Lahanasında Askorbat Peroksidaz (APX) Aktivitesine Etkisini Gösteren Varyans Analiz Sonuçları	98
Tablo 78. Farklı Azot Dozları, PGPR Formülasyonları ve Organik Tavuk Gübresinin Brüksel Lahanasında Askorbat Peroksidaz (APX) Aktivitesine Etkisi (EU gr ⁻¹ baş).....	99
Tablo 79. Farklı Azot Dozları, PGPR Formülasyonları ve Organik Tavuk Gübresinin Brüksel Lahanasında Glutamin Redüktaz Aktivitesine Etkisini Gösteren Varyans Analiz Sonuçları	100
Tablo 80. Farklı Azot Dozları, PGPR Formülasyonları ve Organik Tavuk Gübresinin Brüksel Lahanasında Glutamin Redüktaz Aktivitesine Etkisi (pmol µL ⁻¹).....	101
Tablo 81. Farklı Azot Dozları, PGPR Formülasyonları ve Organik Tavuk Gübresinin Brüksel Lahanasında Glutamat Redüktaz Aktivitesine Etkisini Gösteren Varyans Analiz Sonuçları	102
Tablo 82. Farklı Azot Dozları, PGPR Formülasyonları ve Organik Tavuk Gübresinin Brüksel Lahanasında Glutamat Redüktaz Aktivitesine Etkisi (ng/mikrogram)....	102
Tablo 83. Farklı Azot Dozları, PGPR Formülasyonları ve Organik Tavuk Gübresinin Brüksel Lahanasında Hidrojen Peroksit (H ₂ O ₂) Aktivitesine Etkisini Gösteren Varyans Analiz Sonuçları.....	103
Tablo 84. Farklı Azot Dozları, PGPR Formülasyonları ve Organik Tavuk Gübresinin Brüksel Lahanasında Baştaki Hidrojen Peroksit (H ₂ O ₂) Aktivitesine Etkisi (mmol kg ⁻¹)	104

Tablo 85. Farklı Azot Dozları, PGPR Formülasyonları ve Organik Tavuk Gübresinin Brüksel Lahanasında Malondialdehit (MDA) Miktarı Etkisini Gösteren Varyans Analiz Sonuçları	105
Tablo 86. Farklı Azot Dozları, PGPR Formülasyonları ve Organik Tavuk Gübresinin Brüksel Lahanasında Başta Malondialdehit (MDA) Miktarı Etkisi (mmol kg ⁻¹)	105
Tablo 87. Farklı Azot Dozları, PGPR Formülasyonları ve Organik Tavuk Gübresinin Brüksel Lahanasında Prolin Miktarına Etkisini Gösteren Varyans Analiz Sonuçları	106
Tablo 88. Farklı Azot Dozları, PGPR Formülasyonları ve Organik Tavuk Gübresinin Brüksel Lahanasında Başta Prolin Miktarına Etkisi (mmol kg ⁻¹)	107
Tablo 89. Farklı Azot Dozları, PGPR Formülasyonları ve Organik Tavuk Gübresinin Brüksel Lahanasında Sakkaroz Miktarına Etkisini Gösteren Varyans Analiz Sonuçları	108
Tablo 90. Farklı Azot Dozları, PGPR Formülasyonları ve Organik Tavuk Gübresinin Brüksel Lahanasında Sakkaroz Miktarına Etkisi (%)	108
Tablo 91. Farklı Azot Dozları, PGPR Formülasyonları ve Organik Tavuk Gübresinin Brüksel Lahanasında Oksalik Asit Miktarına Etkisini Gösterir Varyans Analiz Sonuçları	109
Tablo 92. Farklı Azot Dozları, PGPR Formülasyonları ve Organik Tavuk Gübresinin Brüksel Lahanasında Oksalik Asit Miktarına Etkisi (pmol µL ⁻¹)	110
Tablo 93. Farklı Azot Dozları, PGPR Formülasyonları ve Organik Tavuk Gübresinin Brüksel Lahanasında Propionik Asit Miktarına Etkisini Gösteren Varyans Analiz Sonuçları.....	111
Tablo 94. Farklı Azot Dozları, PGPR Formülasyonları ve Organik Tavuk Gübresinin Brüksel Lahanasında Propionik Asit Miktarına Etkisi (pmol µL ⁻¹)	112
Tablo 95. Farklı Azot Dozları, PGPR Formülasyonları ve Organik Tavuk Gübresinin Brüksel Lahanasında Tartarik Asit Miktarına Etkisini Gösteren Varyans Analiz Sonuçları.....	113
Tablo 96. Farklı Azot Dozları, PGPR Formülasyonları ve Organik Tavuk Gübresinin Brüksel Lahanasında Tartarik Asit Miktarına Etkisi (pmol µL ⁻¹).....	114
Tablo 97. Farklı Azot Dozları, PGPR Formülasyonları ve Organik Tavuk Gübresinin Brüksel Lahanasında Bütirik Asit Miktarına Etkisini Gösteren Varyans Analiz Sonuçları	115

Tablo 98. Farklı Azot Dozları, PGPR Formülasyonları ve Organik Tavuk Gübresinin Brüksel Lahanasında Bütirik Asit Miktarına Etkisi ($\text{pmol } \mu\text{L}^{-1}$).....	116
Tablo 99. Farklı Azot Dozları, PGPR Formülasyonları ve Organik Tavuk Gübresinin Brüksel Lahanasında Malonik Asit Miktarına Etkisini Gösteren Varyans Analiz Sonuçları	116
Tablo 100. Farklı Azot Dozları, PGPR Formülasyonları ve Organik Tavuk Gübresinin Brüksel Lahanasında Malonik Asit Miktarına Etkisi ($\text{pmol } \mu\text{L}^{-1}$)	117
Tablo 101. Farklı Azot Dozları, PGPR Formülasyonları ve Organik Tavuk Gübresinin Brüksel Lahanasında Malik Asit Miktarına Etkisini Gösteren Varyans Analiz Sonuçları	118
Tablo 102. Farklı Azot Dozları, PGPR Formülasyonları ve Organik Tavuk Gübresinin Brüksel Lahanasında Malik Asit Miktarına Etkisi ($\text{pmol } \mu\text{L}^{-1}$)	118
Tablo 103. Farklı Azot Dozları, PGPR Formülasyonları ve Organik Tavuk Gübresinin Brüksel Lahanasında Laktik Asit Miktarına Etkisini Gösteren Varyans Analiz Sonuçları	119
Tablo 104. Farklı Azot Dozları, PGPR Formülasyonları ve Organik Tavuk Gübresinin Brüksel Lahanasında Laktik Asit Miktarına Etkisi ($\text{pmol } \mu\text{L}^{-1}$)	120
Tablo 105. Farklı Azot Dozları, PGPR Formülasyonları ve Organik Tavuk Gübresinin Brüksel Lahanasında Sitrik Asit Miktarına Etkisini Gösteren Varyans Analiz Sonuçları	121
Tablo 106. Farklı Azot Dozları, PGPR Formülasyonları ve Organik Tavuk Gübresinin Brüksel Lahanasında Sitrik Asit Miktarına Etkisi ($\text{pmol } \mu\text{L}^{-1}$).....	122
Tablo 107. Farklı Azot Dozları, PGPR Formülasyonları ve Organik Tavuk Gübresinin Brüksel Lahanasında Maleik Asit Miktarına Etkisini Gösteren Varyans Analiz Sonuçları	122
Tablo 108. Farklı Azot Dozları, PGPR Formülasyonları ve Organik Tavuk Gübresinin Brüksel Lahanasında Maleik Asit Miktarına Etkisi ($\text{pmol } \mu\text{L}^{-1}$).....	123
Tablo 109. Farklı Azot Dozları, PGPR Formülasyonları ve Organik Tavuk Gübresinin Brüksel Lahanasında Fumarik Asit Miktarına Etkisini Gösteren Varyans Analiz Sonuçları	124
Tablo 110. Farklı Azot Dozları, PGPR Formülasyonları ve Organik Tavuk Gübresinin Brüksel Lahanasında Fumarik Asit Miktarına Etkisi ($\text{pmol } \mu\text{L}^{-1}$)	124
Tablo 111. Farklı Azot Dozları, PGPR Formülasyonları ve Organik Tavuk Gübresinin Brüksel Lahanasında Süksinik Asit Miktarına Etkisini Gösteren Varyans Analiz Sonuçları.....	125

Tablo 112. Farklı Azot Dozları, PGPR Formülasyonları ve Organik Tavuk Gübresinin Brüksel Lahanasında Süksinik Asit Miktarına Etkisi ($\mu\text{mol } \mu\text{L}^{-1}$).....	126
--	-----

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1. Çalışmada kullanılan Brüksel lahanasına (Davlın F ₁) ait genel görüntü	24
Şekil 2. Araştırmanın yürütüldüğü dönemlere ait sıcaklık değerleri (°C).....	25
Şekil 3. Araştırmada kullanılan fidelerden genel görüntü.....	27
Şekil 4. Araştırmanın kurulum aşamasından genel görüntü.....	28
Şekil 5. Araştırma alanından genel görünümü	29
Şekil 6. Brüksel lahanasından genel görüntü	29
Şekil 7. Bakteri kolonilerinden genel görüntü	31
Şekil 8. Hasat dönemine gelen bitkilerden genel görüntü.....	32
Şekil 9. Baş uzunluğu ölçümünden genel görünüm	32
Şekil 10. Baş çapı ölçümünden genel görünüm	33
Şekil 11. Baş renginin ölçümünden genel görünüm.....	34
Şekil 12. Klorofil değeri ölçümünden genel görüntü	35

KISALTMALAR VE SİMGELER DİZİNİ

%	Yüzde
°C	Santigrad derece
µM	Mikro molar
AKE	Azot Kullanım Etkinliği
AlPO ₄	Alüminyum fosfat
APX	Askorbat peroksidaz
B	Bor
BG	Biyolojik Gübre
bv.	Biyolojik varyete
C	Karbon
Ca	Kalsiyum
Ca ₃ (PO ₄) ₂	Kalsiyum fosfat
CaCl ₂	Kalsiyum klorür
CAT	Katalaz
CFU	Koloni Oluşturan Birim
Cl	Klor
cm	Santimetre
Cu	Bakır
cv.	Kultivar (Çeşit)
DTPA	Dietilen triamin penta asetik asit
EC	Elektriksel iletkenlik
EDTA	Etilen diamin tetra asetik asit
EU	Enzyme Unit (Enzim Ünitesi)
Fe	Demir
FeCl ₃	Demir klorür
FePO ₄	Demir fosfat
GR	Glutasyon reduktaz
GST	Glutasyon S-transferaz
H ₂ O ₂	Hidrojen peroksit
HCl	Hidroklorik asit
HPLC	Yüksek Performanslı Sıvı Kromatografisi
K	Potasyum
Kg/da	Kilogram/dekar

Kg/ha	Kilogram/hektar
KH ₂ PO ₄	Potasyum dihidrojen fosfat
M	Molar
m/l	Dakika/litre
Mg	Magnezyum
MgSO ₄	Magnezyum sülfat
mM	Mili molar
mm	Milimetre
Mn	Mangan
Mo	Molibden
N	Azot
N	Normalite
Na	Sodyum
NA	Nutrient agar
Na ₂ MoO ₄	Sodyum molibdat
NaCl	Sodyum klorür
NaOH	Sodyum hidroksit
NBT	Nitro blue tetrazolium
Ni	Nikel
nm	Nanometre
OTG	Organik Tavuk Gübresi
P	Fosfor
PGPR	Bitki gelişimini teşvik eden rizobakteriler
POX	Peroksidaz
ppm	Milyonda bir kısım
PPO	Polifenol oksidaz
rpm	Dakikada devir
S	Kükürt
SÇKM	Suda Çözünebilir Kuru Madde
SOD	Süperoksid dismutaz

GİRİŞ

Sebzelerin besinsel ve işlevsel özellikleri, farklı familyalardan gelen türlerin değerlendirilmesini gerekli kılmaktadır. Lahanagiller (*Brassicaceae*) hem besin içeriği hem de ekonomik değeri yüksek olan sebze türlerinin başında gelmekte olup yaklaşık 3500 türe ve *Brassica*, *Camelina*, *Crambe*, *Sinapis* ve *Thlaspi* gibi 350 farklı cinse sahiptir. Özellikle *Brassica* cinsi, küresel ölçekte ekonomik öneme sahip önemli türleri içermektedir; bunlar arasında *Brassica oleracea*, *Brassica rapa* L. ve *Brassica napus*, Beyaz lahanası (*Brassica oleracea* var. *capitata*), kırmızı lahanası (*Brassica oleracea* var. *capitata* F. *rubra*), brokoli (*Brassica oleracea* var. *Italica*), karnabahar (*Brassica oleracea* var. *botrytis*) ve alabaş (*Brassica oleracea* var. *gongylodes* L.) ve Brüksel lahanası (*Brassica oleracea* var. *L. gemmifera*) yer almaktadır (Cartea *et al.* 2010; Raiola *et al.* 2017; Mułtescu *et al.* 2021).

Brassicaceae familyasına ait bazı türler, dünya genelinde insan beslenmesinin önemli bir parçasını oluşturmaktadır. Nitekim düzenli olarak tüketildiklerinde, özellikle kardiyovasküler hastalıklar ve çeşitli kanser türleri başta olmak üzere, kronik hastalık riskinin azaltılması gibi sağlık üzerinde olumlu etkiler gösterdikleri tespit edilmiştir (Jahangir *et al.* 2009).

Brassicaceae familyasının insan sağlığına olan katkıları ve bu familyaya ait türlerin besinsel açıdan taşıdığı önem değerlendirildiğinde, Brüksel lahanası, içerdiği yüksek vitamin ve mineral değerleri sayesinde bu grup içerisindeki en dikkat çeken ve önemli türlerden biri olarak öne çıkmaktadır. Özellikle A ve C vitaminleri, folik asit ve diyet lifi bakımından zengin olan Brüksel lahanası, bu besin öğelerini baş ve yaprak dokularında depolaması nedeniyle besin değerini daha da artırmakta ve insan beslenmesinde önemli bir yer edinmektedir (Vancoillie *et al.* 2025). Vitamin içeriği açısından dikkat çeken Brüksel lahanasının B vitamini içeriği ise şu şekildedir: B1-%0,13 mg, B2-%0,15 mg, B6-% 0,28 mg ve B9-% 31 mg. Ayrıca, Brüksel lahanası %15,5-17,5 oranında kuru madde içeriğine sahip olup, proteinler, karbonhidratlar ve mineraller açısından zengin bir besin kaynağıdır. Bunlara ilaveten kısaca özetlemek gerekirse Brüksel lahanası vitamin ve mineral yönünden zengin olup 100 g 'da %85 su, cal enerji için 45 kalori, 0.4 gr yağ, 8.3 gr karbonhidrat, 4.9 gr protein, 550 IU vitamin A, 102 mg C vitamini, 0,16 mg riboflavin, 0,1 mg Tiamin, 0,9 mg niasin, 36 mg Ca, 80 mg P, 1,5 mg Fe, 14 mg Na ve 390 mg K içermektedir (Singh *et al.* 2024).

Brüksel lahanasının besin değerinin yüksekliği, bu sebzenin sağlık üzerindeki faydalarını daha da öne çıkarmaktadır. Son yıllarda, ülkemizde yaygın olarak yetiştirilen bu

sebze, giderek daha fazla tanınmakta ve tüketilmektedir. Bu türün, tüketilen kısmı küçük bir lahana veya cevize benzediği için cevizli lahana veya minyatür lahana olarak da adlandırılmaktadır (Uğur vd 2003). Brüksel lahanası üretimi, üretim bölgelerine göre değişmekle birlikte daha çok sonbahar ve kış aylarında yapılmaktadır. Dünya Brüksel lahanası üretimi yaklaşık 1,5 milyon tondur (FAO 2024). Türkiye’de ise Brüksel lahanası üretimi 2209 tondur (TUIK 2024).

Tüm bu olumlu özelliklere rağmen Brüksel lahanası yetiştiriciliği dünyada 19. yüzyıldan sonra önem kazanmaya başlamıştır. Brüksel lahanası Belçika'dan Fransa, İngiltere ve Kuzey Amerika'ya kadar yayılmıştır (Vural *et al.*2000).

Brüksel lahanası ana gövde veya sap boyunca oluşan irileşmiş minyatür başlardan oluşmaktadır (Jakopic *et al.* 2016). Ayrıca Brüksel lahanasının yenilebilir kısmı, her yaprağın koltuk altında gelişen minyatür başlarıdır. Yapraklar sap boyunca konumlandırıldığından sapın yüksekliğinde oluşan yaprak ve minyatür baş sayısı verimi belirlemek için önemli bir parametredir (Abuzeid and Wilcockson 1989).

Bitki morfolojisinin verim üzerindeki bu belirleyici etkisi, aynı zamanda hasat yöntemlerinin seçiminde ve uygulanmasında da önemli rol oynamaktadır. Brüksel lahanası, pazarlanabilir büyüklüğe ulaştığında sürgünler sap üzerinden sıyrılıp birden çok kez ya da doğrudan sapın tamamı hasat edilerek toplanabilir. Bitkiler tüm sap hâlinde hasat edildiğinde, genellikle minyatür baş gelişimini teşvik etmek, sürgünlerdeki uniformiteyi artırmak ve verimi yükseltmek amacıyla bitkinin apikal meristemi çıkarılmaktadır (Metcalf 1954; Jakopic *et al.* 2016; Sideman *et al.* 2023).

Brüksel lahanası, vejetasyon dönemi boyunca yüksek miktarda besin elementine ihtiyaç duyan bir sebze türüdür. Bu gereksinim, bitkinin büyük miktarda biyokütle üretmesiyle doğrudan ilişkilidir. Bitkinin besin maddesi ihtiyaçlarını karşılamayan yetersiz gübreleme uygulamaları, verimde düşüğe neden olabilmektedir. Öte yandan, aşırı gübreleme ise vejetatif organların aşırı gelişimine, sürgün oluşumunun gecikmesine ve besin maddelerinin yikanarak kaybolmasına yol açabilmektedir (Babik 2005).

Pazarlanabilir düzeyde ortalama verim elde etmek için Brüksel lahanası, topraktan hektar başına ortalama olarak 423 kg azot (N), 60 kg fosfor (P), 460 kg potasyum (K) ve 22 kg magnezyum (Mg) almaktadır (Sady 2000).

Sebze üretiminde optimum verim ve ürün kalitesine ulaşılabilmesi için azot, bitki gelişimi açısından en fazla ihtiyaç duyulan makro besin elementlerinden biridir ve pazarlanabilir ürünün oluşumunda temel bir rol oynamaktadır (Booij *et al.* 1997). Ticari tarla

sebzeciliğinde azot uygulamaları, üretimin ekonomik sürdürülebilirliğini sağlama açısından kritik öneme sahiptir. Bu kapsamda önerilen azot dozları, azot uygulama düzeyleri ile pazarlanabilir verim arasındaki ilişkiyi ortaya koyan tarla denemeleri temel alınarak belirlenmektedir (Yoldas vd 2008). Brüksel lahanasında azotun büyüme ve verim üzerine sınırlayıcı bir faktör olduğu göz önünde bulundurulduğunda, gübrelemenin girdi maliyetlerini artırması kaçınılmaz bir durumdur.

Bu üretimde verimi artırmak amacıyla sıkça kullanılan kimyasal gübrelerin özellikle aşırı azotlu gübrelemeye bağlı olarak artan nitrat birikimi gibi olumsuz etkiler nedeniyle insan sağlığı açısından olumsuz etkiler ortaya çıkardığı bilinen bir gerçektir (Ahmed *et al.* 2017).

Azot ve fosfor, sebze üretiminde sağlıklı büyüme ve gelişimde hayati öneme sahip gübrelerdir; verim ve kalite üzerinde büyük etkileri vardır. Tüm bunlara rağmen, gübrelerin uygun zamanda, doğru dozda ve doğru yöntemle kullanılması, yetiştiricilik ve en yüksek verimin elde edilmesi için temel şarttır (Islam *et al.* 2019). Azotlu gübre girdisinin neredeyse yarısı bitkiler tarafından kullanılmamakta ve gaz emisyonları yoluyla ya da su kaynaklarına karışarak çevreyi kirletmektedir. Bu nedenle küresel gıda güvenliğini tehlikeye atmadan üretim seviyelerine ulaşmak, çevresel güvenliği de göz ardı etmeden sağlanmalıdır. Azot kirliliği seviyesinin 2010 yılına kıyasla 2050 yılında %150 oranında artması beklenmektedir; bu artışın %60'ından ise tarım sektörünün sorumlu olacağı ifade edilmiştir (Martínez-Dalmau 2021). Azotlu gübrelerinin kullanımı, modern sebze üretiminde ekonomik verim elde edebilmek açısından zorunlu olsa da temel mesele, besin maddesi kullanım etkinliğini en üst düzeye çıkarmak ve çevresel açıdan su kalitesinin bozulmasına, insan ve hayvan sağlığının tehlikeye atılmasına neden olan aşırı azot kullanımından kaçınmaktır (Korkmaz *et al.* 2008).

Azot uygulama miktarının artırılması, bu elementin formundan bağımsız olarak hem yoğun vejetatif büyüme döneminde hem de sürgün oluşumunun başlangıç safhasında azot alımını önemli ölçüde teşvik etmektedir. Bitki gereksinimlerine uygun şekilde yapılan gübreleme uygulamalarında Brüksel lahanasının, topraktan azotu nispeten kısa bir sürede aldığı belirtilmektedir (Kolota and Biesiada 1990; Babik 2005). Tüketicilerin artan sağlık ve çevre bilincini karşılayabilmek amacıyla, sürdürülebilir üretim sistemleriyle yetiştirilen ve sağlığı destekleyici fitokimyasallar açısından zengin sebzelere olan talebin karşılanması gerekmektedir (Zhao *et al.* 2006). Ancak, sebze üretiminde çevresel sürdürülebilirliği sağlamak çoğu zaman oldukça zordur; zira yetiştirme sistemleri, azot kaybına (örneğin nitrat yıkanması, denitrifikasyon) karşı oldukça hassastır. Bu durum büyük ölçüde yüksek azot girdisi, sık ekim, bitki büyüme süresinin görece kısa olması ve besin maddesi kullanım etkinliğinin düşük olması gibi faktörlerden kaynaklanmaktadır (Kačjan Maršić *et al.* 2021).

Bu nedenle, Brüksel lahanası, yetiştiriciliği toprağın azot rezervini önemli ölçüde tüketse de bitki artıklarında bu elementin hatırı sayılır bir miktarı kalmaktadır. Nitekim, 300 kg N ha⁻¹ düzeyinde yapılan gübreleme de yaklaşık 200 kg N ha⁻¹ oranında azot bitki artıklarında tespit edilmiştir (Booij *et al.* 1993). Bitki ağırlığındaki artış ve bitkideki daha yüksek azot içeriği nedeniyle, gübreleme miktarı arttıkça artıklarla tarlada kalan azot miktarı da artmaktadır (Neeteson *et al.* 2003). Sebze yetiştiriciliği sonrası toprakta kalan mineral azot miktarının, yetiştirilen bitki türüne ve uygulanan gübreleme rejimine bağlı olarak 50 ile 850 kg N_{min} ha⁻¹ arasında değiştiği ortaya koyulmuştur (Fink and Scharpf 1992). Topraktaki artık azotun etkin yönetimi kadar, bitkilerin azot gereksinimini karşılamada doğal süreçlerin kullanımı da büyük önem taşımaktadır. Bu sebeple, azot fiksasyonu bitkisel üretimde sürdürülebilirliği destekleyen temel mekanizmalardan biri olarak öne çıkmaktadır.

Günümüzde yoğun tarım uygulamalarının çevresel olumsuzluklarını azaltmak amacıyla sürdürülebilir tarım yaklaşımları çerçevesinde biyolojik ve organik gübrelere olan ilgi artmaktadır. Bitki büyümesinin teşvik eden rizobakteriler (PGPR)'de bitki beslenmesinde önemli rol oynamakta olup, bu mikroorganizmalar bitkinin azot ve fosfor alımını artırarak bitki gelişimini ve büyümesini teşvik etmektedir (Şahin *et al.* 2004). Bu mikroorganizmaları ek olarak tarım başlangıcından beri hayvan gübresi de başta azot olmak üzere de bitki besin elementlerini sağlamak için kullanılmaktadır. Bu nedende, büyükbaş, küçükbaş ve kanatlı gübreleri de alternatif çevre dostu bitki besin element kaynağı olarak kullanılmaktadır. Bununla birlikte, çevresel etkileri azaltmaya yönelik alternatif gübre kaynaklarının değerlendirilmesi büyük önem taşımaktadır. Organik gübreler, fosforun kullanılabilirliğini, toprak organik karbonunu, azot kullanım etkinliğini ve besin döngüsünü artırırken; alkali toprakların pH'sını ve hacim yoğunluğunu azaltmaktadır (Mahmood *et al.* 2017). Organik gübreler, toprak sağlığını ve verimliliğini artırmada önemli bir rol oynamaktadır. Bu gübreler; temel besin maddelerini yenileyerek, toprak yapısını iyileştirerek ve mikrobiyal aktiviteyi teşvik ederek sürdürülebilir bitki gelişimini destekleyen elverişli bir toprak ortamı oluşturur. Bu çerçevede, organik gübre potansiyeline sahip hayvansal atıklar, yalnızca sürdürülebilir tarım uygulamaları açısından değil, aynı zamanda çevresel açıdan etkin bir atık yönetimi stratejisi olarak da dikkat çekmektedir (Tagoe *et al.* 2008; Turatbekova *et al.* 2024).

Tavuk gübresi ve diğer kanatlı gübreleri gibi organik gübreler, toprak yapısını iyileştirerek havalanmasını artırır, besin maddelerinin kontrollü salınımını sağlar ve su tutma kapasitesini artırarak kök gelişimini desteklemektedir (Abou El-Magd *et al.* 2008). Ülkemizin tarımının karşı karşıya olduğu en büyük zorluklardan biri, tarımsal topraklardaki düşük organik madde içeriğidir. Bu sorunu ele almak için, mevcut tüm organik kaynakları kullanmak esastır.

Bu nedenle, tavuk gübresi değerli bir organik gübre ve bitki besin kaynağı olarak öne çıkmaktadır. Diğer çiftlik gübreleriyle karşılaştırıldığında, tavuk gübresi özellikle azot açısından zengindir ve bu da onu oldukça faydalı bir materyal yapmaktadır (Taban *et al.* 2013). Yapılan bir araştırmaya göre, tavuk gübresindeki ağır metallerin miktarları kabul edilebilir sınırlar içinde bulunmakta ve doğrudan toprağa uygulandığında çevresel bir risk oluşturmamaktadır. Ancak gübrelerin kimyasal ve fitotoksik özelliklerinde önemli değişiklikler gözlemlenmiştir. Bu nedenle, doğrudan toprak uygulamasından önce tavuk gübresinin içeriğinin belirlenmesinin kritik öneme sahip olduğu vurgulanmaktadır. Ayrıca, tavuk gübresinden elde edilen organik gübre lahana ve karalahana bitkilerinin büyümesi üzerinde belirgin bir etki yaratabilmektedir (Ravindran *et al.* 2017; Zamzami and Jawi 2023).

Tavuk gübresinin farklı sebze türlerinde uygulanması, bitki gelişimi, verim ve ürün kalitesi üzerinde önemli olumlu etkiler sağlamaktadır. Kırmızı lahana ve beyaz lahana üzerinde yapılan çalışmalar, tavuk gübresinin verim ve baş kalitesini artırdığını, aynı zamanda C vitamini içeriğini yükseltip nitrat birikimini azalttığını ortaya koymuştur. Benzer şekilde, karnabaharda bitki boyu, taç ağırlığı gibi parametrelerde anlamlı artışlar gözlemlenmiştir. Dolayısıyla, çevre dostu brokoli üretimi için bu dozda tavuk gübresi önerilmektedir. Benzer şekilde, komatsuna (*Brassica rapa* L.) üzerinde yapılan araştırmalar da tavuk gübresi kompostlarının hem verimi hem de kaliteyi artırdığını ortaya koymaktadır. Ayrıca bu uygulamaların, topraktaki organik madde düzeyini ve N, P, K, Ca, Mg içeriklerini iyileştirerek pH dengesine olumlu katkı sağladığı ve böylece toprağın genel verimliliğini artırdığı bildirilmektedir. Tavuk gübresinin önerilen dozlarda kullanımı hem besin maddesi alımını hem de nihai verimi optimize etmektedir (Srinivasan *et al.* 2014; Indriyati 2014; Ibukunoluwa and Moyin-Jesu 2015; Kavaliauskaitė *et al.* 2023; Nugraha *et al.* 2023; Moniza *et al.* 2024).

Bununla birlikte, bir araştırmada tavuk gübresi uygulamasının marulda vejetatif gelişimi ile baş verimi, toplam taze verim ve toplam kuru madde verim gibi verim bileşenlerinde artışlar sağladığı ifade edilmiştir. Aynı zamanda bu araştırmada tavuk gübresinin azot kullanım etkinliğini artırdığı, toprakta biriken mineral azot miktarını azalttığı ve toprak organik madde içeriği ile toplam azot düzeyini önemli ölçüde yükselttiği de belirlenmiştir (Albaba *et al.* 2021). Büyüme ve yüksek verim elde edebilmek için tavuk gübresinin kullanımı birçok araştırmacı tarafından tavsiye edilmiştir. Nitekim, çevreye duyarlı ve sürdürülebilir tarım uygulamaları kapsamında tavuk gübresinin kullanımının teşvik edilebileceği Usman (2015) ve Kaymak *et al.* (2023) tarafından ifade edilmiştir.

Azot, yaşam için temel bir element olmasına rağmen tarımsal üretimde özellikle aşırı kullanımı sonucunda verimi sınırlayan besin maddelerinden biridir. Ayrıca, yeşil devrim'den

bu yana, kimyasal azot gübrelere yoğun kullanımı, küresel gıda üretiminin sürdürülebilirliğini tehdit etmekte ve çevrede olumsuz etkilere yol açtığı yapılan çalışmalarda belirtilmiştir. Bu nedenle, azotun bitkilere daha çevreci yollarla ulaştırılmasına yönelik alternatif çözümler araştırılmaktadır. Bu doğrultuda yapılan araştırmaların, olumlu sonuçlar verdiği ve bitki büyümesini teşvik eden rizobakteri (PGPR) kullanımının belirtilen sorunları çözmek için iyi bir alternatif yöntem olabileceğini göstermiştir.

Bu nedenle, kimyasal gübrelere yerine bitki büyümesini teşvik eden rizobakteriler (PGPR) gibi çevre dostu ve maliyet açısından etkili kaynakların kullanılması yönünde araştırmalar sürdürülmektedir. PGPR gibi alternatif gübreleme yöntemlerinin, son yıllarda hem sebze gibi tarım ürünlerinin sağlıklı üretimin'de hem de sağlıklı bir çevre için önem kazandığı bilinmektedir. Brüksel lahanası yetiştiriciliği ve verimi için sınırlayıcı en önemli besin elementi azot (N) olmuştur ve bu durum gübre kullanımında artışa yol açmıştır. Ancak, sürdürülebilir tarımın temel ilkesi, düşük girdiyle yüksek çıktı elde etmektir. Mikroorganizmalar tarafından gerçekleştirilen azot fiksasyonu, son yüz yılda büyük ölçüde incelenmiş olan ve ürün verimliliğini artırmak amacıyla düşük maliyetli azot teminini hedefleyen etkileyici bir biyolojik yöntem olduğu belirtilmiştir (Shantharam and Mattoo 1997). Ayrıca, PGPR ile yapılan biyogübre uygulamaları, sürdürülebilir ve çevre dostu bitkisel üretimde önemli bir yer tutmakta olup; bu uygulamalar, kimyasal gübre kullanımını azaltmanın yanı sıra, kimyasal gübrelere çevre üzerindeki olumsuz etkilerini azaltmada da etkili olmaktadır (Şahin *et al.* 2004; Orhan *et al.* 2006). PGPR'lerin toprak verimliliğini artırmada, bitki büyümesini desteklemede ve fitopatogenleri baskılamada önemli bir işlev üstlenirler; ayrıca ekolojik açıdan dost ve sürdürülebilir tarım uygulamalarının geliştirilmesinde kullanılmaktadırlar (Gupta *et al.* 2015). Kloepper (1978), mikrobiyal toplulukların bitki büyümesi, verim, ürün kalitesi ve bitki sağlığı üzerinde olumlu etkiler gösterdiğini ifade edilmiştir. Bu faydalı mikroorganizmalar, literatürde bitki gelişimini teşvik eden rizobakteriler (PGPR) olarak tanımlanmıştır. Bitki gelişimini destekleyen rizosfer kökenli bakteriler (PGPR), büyüme düzenleyici maddeler üretmeleri, besin maddelerinin alımını kolaylaştırmaları, mineralizasyon süreçlerini hızlandırmaları, nodül oluşumunu teşvik etmeleri, azot fiksasyonu sağlamaları, mikorizal gelişimi desteklemeleri ve bitki patojenlerini baskılamaları gibi çeşitli mekanizmalar aracılığıyla bitki büyümesini olumlu yönde etkilemektedir. Ayrıca bazı türler, biyotik stres etmenlerine karşı da koruma sağlamaktadır. PGPR grubu bakteriler arasında *Pseudomonas fluorescens* yaygın olarak yer almakla birlikte, *Bacillus spp.*, *Azotobacter spp.*, *Acetobacter spp.* ve *Azospirillum spp.* gibi diğer türler de bu gruba dâhil edilmektedir. PGPR grubunda yer alan başlıca cinsler arasında *Acinetobacter*, *Aeromonas*, *Alcaligenes*, *Arthrobacter*, *Azoarcus*, *Beijerinckia*, *Burkholderia*, *Clostridium*, *Enterobacter*, *Erwinia*, *Flavobacterium*, *Gluconacetobacter*, *Klebsiella*,

Rhizobium, *Serratia* ve *Pseudomonas* gibi birçok cins örnek olarak verebilir (Orhan *et al.* 2006; Podile and Kishore 2006; Saleem *et al.* 2007; Mallik and Williams 2008).

Bu gelişmeler, PGPR'lerin *Brassicaceae* familyasına ait sebzelerde yalnızca verim artışı sağlamakla kalmadığını, aynı zamanda çevresel sürdürülebilirliğe de önemli katkılar sunduğunu ortaya koymaktadır. Bu familyaya ait en yaygın yetiştirilen sebzeler arasında lahanaya, karnabahar, brokoli, kolza, turp, hardal ve şalgam yer almaktadır. Yapılan pek çok araştırmada, bu bitkilerde PGPR uygulamalarının gübreleme verimliliğini artırdığı, besin alımını iyileştirdiği ve ürün kalitesini olumlu yönde etkilediği birçok araştırmada bildirilmiştir.

Azot fikse eden bakterilerin tarımda kullanımı kimyasal gübre ihtiyacını azaltarak üretim maliyetlerinin düşürülmesine katkı sağlayabilmektedir. PGPR'nin kullanımı, verimliliği artırmanın yanı sıra çevresel kirliliğin azaltılmasına ve ekolojik tarım ilkelerine uygun olarak çevrenin korunmasına olanak tanımaktadır. Bu bağlamda, rizosferik bakteriler, tarımsal üretimde bitki gelişimini teşvik eden ajanlar olarak önemli bir potansiyele sahip olup, tarım ürünlerinin büyümesini ve verimini artırmak amacıyla yaygın olarak kullanılmaktadır (Chaihan *et al.* 2008; De Andrade *et al.* 2023). Toprağa *Azotobacter* inokulasyonu, toprak azot içeriğini artırabilir, bitki beslenmesini iyileştirebilir ve özellikle sentetik azot gübrelere sınırlı veya istenmediği sistemlerde verim istikrarına katkı sağlayabilir. Bu bakterilerin etkinliği, toprak organik maddesi, pH, nem ve kök salgılarının sağladığı karbon kaynakları gibi çeşitli faktörlere bağlıdır (Smercina *et al.* 2019). Bakterilerin kök yüzeyinde veya hücreler arası boşluklarda nodül oluşturmadan kolonize olmasıyla gerçekleşir (Fox *et al.* 2016). PGPR kullanımı, lahanaya ve karnabahar fidelerinde büyüme performansı, besin alımı ve hormon düzeylerinde önemli artışlar sağlamıştır. Fosfor çözücü ve azot bağlayıcı özelliklere sahip bu PGPR suşları, yalnızca bitki gelişimini desteklemekle kalmayıp aynı zamanda verim artışı ve hastalık baskılanmasında da etkili olmaktadır. Bununla birlikte, PGPR serbest yaşayan azot bağlayıcı bakterilerle hazırlanan biyo-gübrelerin farklı azot düzeyleriyle birlikte kullanımı, özellikle karnabahar ve brokolide morfolojik gelişim, verim ve kalite parametrelerinde yalnızca kimyasal azot uygulamasına kıyasla belirgin iyileşmelere neden olmuştur. Bu mikroorganizmalar, çevre dostu özellikleriyle kimyasal gübrelere etkili bir alternatif oluşturmaktadır (Bashyal 2011; Abou El-Magd *et al.* 2014; Ekinici *et al.* 2014; Turan *et al.* 2014; Gutama 2022). Ayrıca; *Azospirillum brasilense* ile mineral azotun birlikte uygulanmasını inceleyen diğer araştırmalar, PGPR uygulamalarının lahanaya, brokoli ve Choy Sum (*Brassica rapa*) gibi *Brassicaceae* türlerinde büyüme, verim ve yaprak ile başlardaki N, P, K içeriklerini önemli ölçüde artırdığını göstermektedir. Azot fiksasyonu yapan PGPR türleri, lahanada amino asit içeriğini artırarak besin kalitesini iyileştirmekte ve bu özellikleriyle mineral gübrelere etkili

bir alternatif olarak değerlendirilmektedir (Abou El-Magd *et al.* 2014; Yıldırım *et al.* 2015; Dursun *et al.* 2017; Hindersah *et al.* 2017). Karalahana ve karnabahar üzerine yapılan çeşitli araştırmalarda, bitki büyümesi, verim, pigment oluşumu, besin ve mineral içerikleri üzerinde mikrobiyal uygulamaların olumlu etkileri belirlenmiştir. *Bacillus amyloliquefaciens subsp. plantarum* uygulaması (AP303), karalahana bitkisinde vejetatif gelişim ile kalite parametrelerini anlamlı düzeyde artırarak sentetik gübre kullanımını azaltmada sürdürülebilir bir alternatif olarak öne çıkmıştır. Benzer şekilde, *Bacillus megaterium*, *Azospirillum brasilense*, *Pseudomonas fluorescens*, *Trichoderma viride* gibi biyo-gübrelerin karnabahar ve lahana fidelerinde büyüme, biyokütle ve verim üzerine olumlu etkiler gösterdiği çeşitli çalışmalarla ortaya konmuştur (Thakur *et al.* 2018; Helaly *et al.* 2020; Salim *et al.* 2020; Vij *et al.* 2022).

Rizosferdeki azot fiksasyonun verimliliği, kök salgılarından gelen karbon substratlarının mevcudiyeti, toprak oksijen düzeyi ve nitrat veya amonyum gibi mevcut azot kaynaklarının varlığı gibi faktörlerden etkilenir; çünkü bu azot kaynakları bakteriyel nitrojenaz aktivitesini baskılayabilir (Smercina *et al.* 2019). Bu nedenle, toprak organik maddesinin korunması, aşırı azotlu gübrelemeden kaçınılması ve mikrobiyal çeşitliliğin teşvik edilmesi gibi uygulamalar da azot fiksasyonunu artırılmasına katkı sağlayabilir. Sentetik biyoloji ve genetik mühendislikteki son gelişmeler, baklagil olmayan bitkilerde azot fiksasyonunu artırmak için yeni olanaklar sunmaktadır. Örneğin, araştırmacılar, rizosferdeki bakterileri fazla amonyak salgılayacak şekilde genetik olarak düzenlemiş ve bitkiye daha fazla sabitlenmiş azotun geçmesini sağlamışlardır. Ayrıca, bitki köklerinde bakteriyel nitrojenaz aktivitesini kontrol eden sentetik sinyal sistemleri geliştirilmiştir (Haskett *et al.* 2022). Bu yaklaşımlar, doğal simbiyotik ilişkilerin eksikliğini aşmayı ve daha verimli, hedefe yönelik biyolojik azot fiksasyonu sistemleri oluşturmayı amaçlamaktadır. Ancak, tarlada stabil kolonizasyon, etkin azot transferi ve ekolojik güvenlik gibi konularda hâlâ zorluklar bulunmaktadır (Haskett *et al.* 2022; Guo *et al.* 2023).

Bu nedende, organik gübre ve PGPR'lerin kombinasyon çalışmalarını gerçekleştirmişler ve elde edilen verilerin sonucunda bitkiler üzerine olumlu etkiler yaptığı belirlenmiştir. Nitekim, Çelik (2024) marulda verim ve kalitenin artırılması amacıyla bitki gelişimini destekleyen rizobakteriler (PGPR), yarasa gübresi (YG) ve %30 oranında azaltılmış kimyasal gübre uygulamalarının tarla koşullarında yaptığı denemede PGPR+YG kombinasyonlarının bitki gelişimini, verimini ve yaprak besin elementi içeriklerini artırdığını bildirmiştir. Benzer şekilde azot fikse eden ve fosfat çözücü bakterilerle yapılan kombine inokülasyonların, tek bir mikroorganizma kullanmaktan daha etkili olduğu bitkiler için daha

dengeli bir beslenme sağladığı belirtilmiştir (Şahin vd 2004). Başka bir çalışmada, Kaymak *et al.* (2020) kimyasal gübre ve PGPR (M-3; *P. putida* RK-142 + *P. Flourescens* TV-11D + *B. megaterium* TV-91C)'ler ile marul üzerine yürüttükleri araştırma bunların birlikte kombinasyonlarının üretim girdi maliyetlerinin düşürülebileceğini belirtmişlerdir. Ek olarak, PGPR ve kimyasal gübre ile birlikte yapılan gübrelemenin hardalda bitki boyunda kontrole kıyasla artış sağladığı belirtilmiştir (Asghar *et al.* 2002). Saroj *et al.* (2020) tarafından kimyasal ve biyolojik gübreler ile bunların kombinasyonlarını kullanarak karnabahar üzerine yaptıkları denemede %50 RDF + %50 PGPR (*Azotobacter*) kombinasyonunda diğer gübreleme formülasyonlarına göre daha iyi sonuçlar elde etmişlerdir.

Brassica familyası üyesi olan lahanası, brokoli, karnabahar gibi türlerde bu konu üzerine çeşitli araştırmalar yapıldığı incelemeler sonucunda görülmüştür. Ancak, Brüksel lahanası (*Brassica oleracea* L. var. *gemmifera*) üzerine odaklanan bir araştırmaya literatürde rastlanmamıştır. Belirtilen bu nedenlerle bu araştırma Brüksel lahanasında azot fikse edebilen rizobakterilerin kullanımının, kimyasal azot gübresi kullanımını azaltmadaki potansiyelini değerlendirerek büyüme, gelişme ve kalite parametreleri üzerindeki belirlemeki etkilerini amacıyla yürütülmüştür.

KURAMSAL TEMELLER

PGPR'lerin Biyolojik Gübre Olarak Kullanımları

Ruppel *et al.* (2006) *Brassica oleracea* bitkileri üzerine yaptıkları bir çalışmada, bitkiler üzerine farklı konsantrasyonlarda *Enterobacter radicincitans* bakterileri uygulamışlardır. Araştırma sonucunda bitkide kök, yaprak ve yumru büyümesini önemli ölçüde artırdığını tespit etmişlerdir. Bununla birlikte, PGPR ile muamele edilen *Brassica oleracea* bitkilerinde doğrudan büyümeyi teşvik eden etkilerinin görüldüğünü ifade etmiştir.

Tan *et al.* (2015) karnabahar (*Brassica oleracea* var. *botrytis*) üzerine yaptıkları sera denemesinde, mantar substratı biyokömürü ile PGPR'nin kombine edilmesi ile gübreleme yapmışlardır. Araştırma sonucuna göre bu uygulamanın kontrollerle karşılaştırıldığında verim, bitki biyomas ve biyokimyasal belirteçlerde önemli artışlar sağladığını tespit etmişlerdir. Bununla birlikte, 10 g/kg biyokömür + PGPR uygulamasında bitki başına 550,11 gr verim elde edilmiş, klorofil değeri ile antioksidan enzim aktiviteleri en yüksek bu uygulamalarda kaydetmişlerdir.

Lin *et al.* (2019) tarafından yürütülen çalışmada, bitki büyümesini teşvik edici rizobakteri uygulamasının, aynı azot seviyelerinde PGPR uygulanmayan kontrol gruplarıyla karşılaştırıldığında, mısır bitkisinin V6 büyüme döneminde bitki boyu, gövde çapı, yaprak alanı ve kök morfolojisi gibi çeşitli gelişim parametrelerinde artışlar sağladığını rapor etmişlerdir. Ayrıca, PGPR + %50 oranındaki azaltılmış azot uygulamasında diğer uygulamalara göre bitkilerde daha yüksek biyokütle ve azot konsantrasyonu belirlemişlerdir. Ek olarak, PGPR uygulamalarının kimyasal azot gübrelemesini azalt Zhang ma potansiyeline sahip olduğunu ifade etmişlerdir.

Abou El-Magd *et al.* (2019) Brüksel lahanası (*Brassica oleracea* L. var. *gemmifera*) bitkisine uygulanan Azotobacterinin bitki gelişimi, yaprak besin element içeriği ve toplam verim bakımından en yüksek değerlere ulaştığını tespit etmişlerdir. Buna ek olarak, %100 mineral azot uygulamasının, %50 mineral azot dozuna kıyasla daha yüksek büyüme ve verim sağladığı, özellikle Azotobacter + %100 azot kombinasyonunun, tüm uygulamalar arasında en iyi sonuçları verdiğini rapor etmişlerdir.

Ünlü vd. (2023), açık alanda yürüttükleri bir çalışmada farklı türler üzerine *Bacillus megaterium* E-U2-1 izolatlarının 5, 10 ve 15 mL konsantrasyonda uygulamalar yapmışlardır. Çalışmada, özellikle 10 ve 15 mL dozlarında yapılan uygulamaların, bitki boyu, çiçeklenme

süresi, çiçek sayısı, verim ve kalite parametreleri üzerinde %31 ile %135 arasında değişen oranlarda artışlar sağladığını tespit etmişlerdir.

Zhang *et al.* (2024) bitki gelişimini teşvik eden üç PGPR (FJS-3: *Burkholderia pyromania*, FJS-7: *Pseudomonas rhodesiae*, FJS-16: *Pseudomonas baetica*) kullanarak çay fidanı, tütün ve biber gibi yaygın ticari bitkiler üzerindeki etkilerini incelenmişlerdir. Araştırmada, PGPR uygulamasının çay fidanlarında sürgün gelişimini önemli ölçüde artırdığını, Tütün’de ise özellikle FJS-3 (*Burkholderia pyrrocinia*) uygulamasında en yüksek etkiyi gösterdiği tespit edilmiştir. Ayrıca, kombinasyon yapılan uygulamalarda, tütünde boy, yaş ve kök ağırlıklarında sırasıyla %30,15, %37,36 ve %54,5 artış; biber bitkilerinde ise %30,10, %56,38 ve %43,18 oranlarında artış olduğunu tespit etmişlerdir. Bununla birlikte, uygulanan dört farklı muamele sonucunda, PGPR ile kombine gübreleme (T2) ve yalnızca PGPR uygulaması (T3) gruplarında, yalnızca kimyasal gübre (T4) ve kontrol (T1) gruplarına kıyasla sırasıyla %15,38 ve %92,31 oranında verim artışı tespit etmişlerdir. Ek olarak, çay yapraklarında polifenoller, kafein ve theanine gibi kalite parametrelerinin arttığı, özellikle T2 uygulamasında belirgin şekilde olumlu etkiler görüldüğünü bulmuşlardır.

Ikiz vd. (2024), yürüttükleri çalışmada hidroponik sistemde yetiştirilen marulda %20 ila %80 oranında azaltılmış mineral gübre dozlarıyla birlikte PGPR uygulamışlardır. Araştırma bulgularına göre, bu kombinasyonlar bitki ağırlığı, yaprak sayısı, yaprak alanı, kuru madde oranı, klorofil miktarı, verim ve mineral içeriklerinde (fenolik bileşikler, flavonoidler, C vitamini) %20–40 aralığında artışlar sağladığını tespit etmişlerdir. Bununla birlikte, özellikle %80 gübre + PGPR kombinasyonu %100 mineral gübre ile elde edilen verime eşdeğer sonuçlar gösterdiğini, aynı zamanda yapraklardaki nitrat birikiminde belirgin bir azalma olduğunu rapor etmişlerdir.

Le *et al.* (2025) sıvı biyogübre ve diğer mikrobiyal ajanların çin lahanasının (*Brassica rapa ssp. pekinensis*) büyümesini, antioksidan aktivitesini ve toprak bakteri çeşitliliğini önemli ölçüde iyileştirdiğini yaptıkları çalışmada tespit etmişlerdir. Bununla birlikte, sıvı gübre formlarının bitki azot içeriğini, yaprak alanını ve verimini hızla artırdığını bulmuşlardır. Ayrıca, bu uygulamanın bitkilerde fenolik ve askorbik asit içeriğini artırdığını ve bitkideki nitrat seviyelerini azalttığını belirlemişlerdir.

Muhammad *et al.* (2025) *Brassica napus* (kanola) bitkisi üzerinde yürüttükleri çalışmada, *Bacillus subtilis* ile azot, fosfor ve potasyumun önerilen tam dozda uygulanmasıyla birlikte 2 ton ha⁻¹ oranında biyokömür uygulamasının etkilerini araştırmışlardır. Araştırma bulgularına göre, hem tam NPK + PGPR hem de PGPR + biyokömür kombinasyonları, bitki gelişimini ve verimi artırdığını bulmuşlardır. Ayrıca, Özellikle PGPR ile biyokömür birlikte

uygulanması, yalnızca verimi artırmakla kalmayıp aynı zamanda çevresel stres koşullarına karşı bitkinin dayanıklılığını da güçlendirdiğini de belirtmişlerdir.

PGPR'lerin Azot Fiksasyonuna Etkileri

Yadegari *et al.* (2010), Rhizobium ve PGPR (*Pseudomonas fluorescens* P-93 ve *Azospirillum lipoferum* S-21) izolatlarının birlikte (kombine) uygulanmasının fasulye (*Phaseolus vulgaris* L.) bitkisinde nodül oluşumu, azot fiksasyonu ve verim üzerine etkilerini araştırmışlardır. Elde ettikleri bulgulara göre, kombine uygulamaların sabitlenen azot miktarında önemli artışların olduğunu belirleyerek, en yüksek azot içeriği ve tohum verimi, Rhizobium + *P. fluorescens* kombinasyonunda gözlemlenmişler ve kontrole göre %104 (azot) ve %57–77 oranında (verim) artışı tespit etmişlerdir.

Kuan *et al.* (2016) tarafından yürütülen çalışmada, mısır bitkisinde azot remobilizasyonunu geciktirerek verimi artırmak amacıyla atmosferik azotu biyolojik olarak fiksleyebilen dört farklı PGPR uygulamalarının (*Klebsiella* sp. Br1, *Klebsiella pneumoniae* Fr1, *Bacillus pumilus* S1r1 ve *Acinetobacter* sp. S3r2) etkinliği değerlendirilmiştir. Sera ortamında %33 oranında önerilen kimyasal azot kullanılarak yürütülen denemede, PGPR'nin 15N izotop seyreltme tekniği kullanılarak mısırla ilişkili azot fiksasyon kapasitesi ölçülmüştür. Sonuçlara göre, özellikle *Bacillus pumilus* S1r1'in mısırın toprak üstü organlarında D₅₀ ve D₆₅ hasat dönemlerinde sırasıyla %30,5 (262 mg N₂/bitki) ve %25,5 (304 mg N₂/bitki) azot fiksasyon kapasitesi ile en yüksek etkinliği sağladığını tespit edilmiştir. Ayrıca bu uygulamanın, toplam azot alımını sırasıyla %55,1 ve %50,1 oranında; *K. pneumoniae* Fr1 uygulamasında ise %61,4 ve %48,4 oranında yüksekliği belirlenmiştir.

Saha *et al.* (2017) Azotobacter türlerinin topraktaki azot dengesinin korunmasında önemli rollerinin olduğunu belirtmişlerdir. Bu türlerin popülasyonlarının çevresel değişkenlik, tarımsal yönetim uygulamaları, ekim sistemleri, genotipik farklılıklar ve yapılan teknik farklılıklar gibi çeşitli faktörlere bağlı olarak değişiklik gösterdiğini (Peoples and Herridge, 2000; Ladha *et al.* 2016), serbest yaşayan bu N₂-fikse eden bakterilerin yıllık olarak toprağa katkılarının genellikle 0,3–15 kg ha⁻¹ arasında değişmekle birlikte, bazı çalışmalarda ise bu miktarın 60 kg ha⁻¹ yıl⁻¹ seviyelerine kadar çıkabildiği bildirilmiştir (Bhattacharyya and Jha 2012).

Gopalakrishnan *et al.* (2017) tarafından yapılan çalışmada, nohut (*Cicer arietinum* L.) nodüllerinden izole edilen 11 rhizobia-benzeri bakterinin azot fiksasyon kapasitesi ve bitki gelişimini destekleyici özellikleri değerlendirilmiştir. Araştırma sonuçlarına göre tüm izolatlar

nodül oluşturmuş ve nifH genini taşıdığı görülmüştür. Ayrıca, bu dört izolatin (ICKM-9, ICKM-15, ICS-31 ve ICS-32)'in yüksek düzeyde azot fiksasyonu gösterdiğini ifade edilmiştir.

Jia *et al.* (2020) tarafından yürütülen çalışmada, *Pennisetum giganteum* z.x.lin ile karıştırılmış azot bağlayıcı biyogübrelerin, pazı (*Brassica chinensis* L.) bitkisinin gelişimi, kalite özellikleri toprak verimliliği ve rizosfer toprak bakteriyel topluluğu üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Altı farklı uygulama içeren bu çalışmada; %10 (DL), %25 (ZL) ve %50 (SL) oranlarında kimyasal gübre azaltımıyla birlikte biyogübre uygulamaları, tam kimyasal gübre (FHF), sterilize edilmiş biyogübre ile tam kimyasal gübre (JZ) ve gübresiz kontrol grubu (CK) karşılaştırılmıştır. Sonuçlara göre, %25 kimyasal gübre azaltımıyla birlikte biyogübre (ZL) uygulaması, tam gübrelemeden daha yüksek sonuçlar vermiştir. Bu uygulama ile bitki boyu %11,81, yaş ağırlık %8,54, klorofil içeriği %7,37, çözümlü protein %16,88, çözümlü şeker %17,05, C vitamini %23,70, alkali-hidrojenlenebilir azot %24,24, alınabilir fosfor %36,56, alınabilir potasyum %21,09 ve organik madde içeriği %19,72 oranında artış göstermiştir. Ek olarak çalışmada, *Pennisetum giganteum* temelli azot fiksasyonuna sahip biyogübrelerin, kimyasal gübre kullanımını %25 oranında azalttığı belirlenmiştir.

Zhang *et al.* (2023) tarafından yapılan çalışmada, *Enterobacter* sp. Z1 ve *Klebsiella* sp. Z2 izolatlarının, *Bradyrhizobium diazoefficiens* USDA110 ile birlikte uygulandığında soya bitkisinde biyolojik azot fiksasyonu ve bitki gelişimini önemli ölçüde artırdığını tespit etmişlerdir. Ayrıca, Z1 ve Z2'nin birlikte uygulanması, rizosfer toprakta flavonoidler, indolasetik asit (IAA), salisilik asit (SA) ve taurin düzeylerini artırmıştır. Bu bileşiklerin her biri azotaz aktivitesini, nodül oluşumunu ve klorofil içeriğini artırdığını bulunmuştur.

Kumar *et al.* (2023) tarafından yapılan çalışmada, çay ve yer fıstığı rizosfer topraklarından izole edilen beş azot fiksasyonu yapan bakteri arasından RSKVG 02 kodlu izolatlardan en yüksek bitki gelişimini destekleyici özellikler gösterdiği bildirilmiştir. Bakteri; pH 7, 30 °C sıcaklık, %1 glikoz ve %0,05 amonyum sülfat içeren ortamda optimum büyüme koşullarını sağladığı belirtilmiştir.

Singh *et al.* (2024) tarafından diazotrofik özelliklere sahip *Pseudomonas* bakterilerinin (*P. koreensis* CY4 ve *P. entomophila* CN11) kullanılarak GT11 ve G×B9 çeşitlerindeki şeker kamışı bitkisinde azot fiksasyonu, savunma enzimi aktivitesi ve diğer PGPR özellikleri incelenmiştir. Yapılan ¹⁵N izotop seyreltilmesi deneyinde, bu izolatların bitki azotunun %21–35'ini biyolojik olarak sabitleyebildiği belirlenmiştir.

PGPR'lerin Fosfat Çözünürlüğüne Etkileri

De Freitas *et al.* (1997) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, tarlada yetiştirilen bitkilerin rizosferinden toplam 111 adet bakteri izole edilmiş ve FAME (Fatty Acid Methyl Ester) profillemeye analizi kullanılarak bunlar tanımlanmıştır. Bu bakterilerin en yaygın gruplarının *Bacillus spp.* (%34) ve *Pseudomonas spp.* (%17) olduğu saptanmıştır. Fosfor çözünürlüğü analizleri sonucunda, izolatların yalnızca %32'si (n=35) CaHPO₄ çözündürme yeteneğine sahip olduğu bulunmuştur. Sonuçlara göre, en başarılı fosfor çözündürücü bakteriler *B. megaterium*, *B. sphaericus*, *B. polymyxa*, iki farklı *B. brevis* ve *B. thuringiensis* olarak belirlenmiştir. Ayrıca, daha önce *Pseudomonas cepacia* olarak bilinen ancak FAME profiline göre *Xanthomonas maltophilia* olarak yeniden adlandırılan R85 izolatının güçlü bir fosfor çözündürücü olduğu bulunmuştur. Bu bakteriler, 7.5 ile 22.5 µg P ml⁻¹ aralığında fosfor çözündürme kapasitesine sahipken, asit fosfataz aktivitesi -0.07 ile 0.84 µmol qNP ml⁻¹ arasında ve sadece dört bakteri için gözlemlenen alkali fosfataz aktivitesi 1.41–2.15 µmol qNP ml⁻¹ arasında değiştiğini ifade etmişlerdir.

Dipta *et al.* (2017) tarafından yürütülen çalışmada, yerel izole edilmiş fosfor çözündürücü bakterilerin (PSB) farklı fosfor kaynaklarından trikalsiyum fosfat (TCP), kaya fosfatı (RP) ve kemik unu (BM)'nin fosfor çözündürme kapasiteleri değerlendirilmiştir. MK5 (*Bacillus pumilus*), MK7 ve MK9 izolatları 250–1000 ppm konsantrasyonlarında ve 24–120 saat inkübasyon sürelerinde test edilmiştir. Araştırma sonucunda MK5 izolatının 500 ppm'de, 72 saat sonunda maksimum (538,7 µg/ml) TCP çözündürme kapasitesine ulaştığını belirlemişlerdir. Ayrıca, toprakta bitkilere yararlı azot (384,6 kg/ha), fosfor (143,7 kg/ha) ve potasyum (273,6 kg/ha) düzeyleri T4 uygulamasında ölçülmüş ve sırasıyla başlangıç düzeylerine göre %21,5, %55,0 ve %26,4 artış kaydetmişlerdir.

Manullang and Chuang (2020) *Streptomyces sp.* türünün bitki büyümesini teşvik edici etkileri ile birlikte tuz ve sıcaklık gibi abiyotik stres koşullarına karşı dayanıklılığı artırma potansiyelini araştırmışlardır. Çalışmada kullanılan PGPR özellikli bu bakteri fosfat çözündürme kapasitesi (12,64 µg/ml) açısından orta-yüksek düzeyde etki gösterdiğini belirle belirlenmiştir.

Akhtar *et al.* (2021) tarafından Brassica nigra üzerinde gerçekleştirilen çalışmada, ağır metal ile kontamine toprak koşullarında izole edilen *Bacillus cereus* suşunun, sahip olduğu fosfat çözündürme yeteneği sayesinde bitkide fosfor alımını artırdığı ve bu yolla büyüme performansını iyileştirdiği belirlenmiştir. Aynı zamanda, bu bakteriyel inokulasyonun krom (Cr³⁺) toksisitesine karşı bitkinin fizyolojik direncini anlamlı ölçüde artırdığı rapor edilmiştir. Ayrıca, *B. cereus*'un yalnızca fosfat çözündürme kapasitesi ile sınırlı kalmayıp, aynı zamanda

ağır metal stresi altındaki bitkilerde hormonal düzenleme, besin elementi mobilizasyonu ve stres toleransının artırılması gibi çok yönlü fizyolojik mekanizmalarla bitki gelişimini destekleyen etkili bir PGPR olduğunu ortaya koymuşlardır.

Muhammad *et al.* (2025) tarafından gerçekleştirilen araştırmada, *Brassicaceae* familyasının ekonomik açıdan önemli bir türü olan kanola (*Brassica napus* L.) köklerinde yerleşik fosfora duyarlı bakteri ve mantar türlerinin, özellikle fosforun sınırlı olduğu koşullarda bitki performansı ile doğrudan ilişkili olduğunu ortaya koymuşlardır. Çalışmada, 50 farklı *B. napus* genotipi üzerinde çok katmanlı “multiomik” yaklaşımla yapılan analizler sonucunda, fosfor eksikliği belirtilerini önemli ölçüde azaltma yeteneğine sahip bir *Flavobacterium* suşu (C2) tanımlanmıştır. Yapılan inokulasyon uygulamaları özellikle yağ asidi ve lipid metabolizması yollarını düzenleyerek bitki fosfor alımını artırdığını tespit etmişlerdir.

PGPR’lerin Bitkilerde Besin Maddesi Alımına Etkileri

Ekici vd. (2015) araştırmada, bitki gelişimini teşvik eden rizobakterilerin (PGPR) brokoli (*Brassica oleracea* L. var. *italica*) fide gelişimi ve kalitesi üzerindeki olumlu etkileri belirlenmiştir. *Bacillus megaterium* ve *Pantoea agglomerans* suşlarının kullanıldığı uygulamalar Na hariç fide besin elementi içeriği, aminoasitler ve organik asitlerde önemli artışlar sağladığını belirlemişlerdir.

Tchiaze *et al.* (2016) tarafından yürütülen çalışmada, üç farklı azot kaynağı (NO_3^- , NH_4^+ ve NO_3NH_4) ile PGPR inokülasyonunun *Cucurbita moschata* (bal kabağı) bitkisinin gelişimi, ham lif içeriği ve besin elementi alımı üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Denemelerde kök kuru ağırlığı, sürgün kuru ağırlığı, toplam bitki kuru ağırlığı, yaprak sayısı, sürgün uzunluğu, gövde çapı ve dal sayısı gibi büyüme parametreleri ile birlikte yapraklardaki selüloz içeriği ve N, P, K, Ca, Mg, Na, Fe, Cu, Mn ve Zn elementlerinin alımı incelenmiştir. PGPR uygulaması ile birlikte kullanılan tüm azot kaynakları, bitki büyümesini anlamlı şekilde artırmış; özellikle NO_3^- +PGPR, NH_4^+ +PGPR ve NO_3NH_4 +PGPR kombinasyonları, biyokütle artışı ile birlikte yapraklarda N, P, K ve Mn birikimini önemli ölçüde yükseltmiştir. Ancak, PGPR ile muamele edilen bitkilerde Na, Cu ve Zn seviyelerinde azalma gözlenmiştir. Ham lif (selüloz) içeriğinde genel olarak önemli bir farklılık görülmemiş; sadece NO_3^- ile beslenen bitkilerde hafif artış (%12,58–13,67) kaydedilmiştir.

Devi *et al.* (2017) tarafından gerçekleştirilen bir arazi çalışmasında, 2015–2016 yılları arasında *Brassica oleracea* var. *botrytis* (karnabahar) yetiştiriciliğinde entegre besin yönetimi (INM) uygulamalarının toprak biyolojik özellikleri ve besin alımı üzerine etkileri araştırılmıştır. Dokuz farklı uygulamanın karşılaştırıldığı çalışmada, PGPR’nin tek başına ya da çiftlik gübresi

(FYM), solucan gübresi (VC) ve kimyasal gübrelere (NPK) kombinasyonları değerlendirilmiştir. Sonuçlar, organik ve inorganik gübrelere birlikte PGPR uygulamasının, toprak mikrobiyal aktivitesini anlamlı düzeyde artırdığını ve karnabahar bitkisinde besin maddesi alımını iyileştirdiğini göstermiştir. Özellikle, %70 NPKM + %30 N eşdeğerinde FYM ve VC karışımı + PGPR (T2) uygulaması, en yüksek biyolojik toprak iyileşmesini ve besin alımını sağladığını tespit etmişlerdir.

Castillo-Aguilar *et al.* (2017) tarafından yürütülen çalışmada, dört farklı bitki gelişimini teşvik edici rizobakteri (PGPR) türünün *Capsicum chinense* bitkisinin gelişimi, besin alımı ve gaz değişimi üzerindeki etkileri araştırılmıştır. *Pseudomonas sp.* P61, *Pseudomonas sp.* A46, *Bacillus pumilus* R44 ve *Paenibacillus polymyxa* BSP1.1'nin kullanıldığı araştırmanın sonuçlarına göre BSP1.1 ile aşılanan bitkiler, fosfor ve potasyum birikiminde kontrol grubuna göre sırasıyla %50 ve %40 daha yüksek değerler gösterdiğini ifade etmişler.

Aini *et al.* (2019) tarafından yürütülen bu çalışmada, farklı besin çözeltisi konsantrasyonlarının (%100, %75 ve %50) ve mikrobiyal inokulantların [yararlı rizobakteriler (PGPR), arbusküler mikoriza mantarları (AMF) ve bunların konsorsiyumu (PGPR + AMF) hidroponik ortamda yetiştirilen Romaine marulunun büyüme, verim ve besin alımı üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Elde edilen verilere göre, PGPR+AMF kombinasyonunun kök kolonizasyonu ve makro besin maddesi alımını artırdığı belirlenmiştir.

Farhat *et al.* (2023) tarafından yapılan çalışmada, bitki gelişimini teşvik eden rizobakterilerin (PGPR) kolza (*Brassica napus* L.) üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Çalışmada kullanılan mikrobiyal inokulantlar arasında *Rhizobium sp.*, *Bacillus subtilis* ve *Pseudomonas aeruginosa* bulunmakta olup, bu türler ayrı ayrı ve konsorsiyum şeklinde, tohum aşılama yöntemiyle uygulanmıştır. Tohumlar steril distile suda 10^8 CFU/mL yoğunluğunda hazırlanan PGPR süspansiyonlarına 30 dakika süreyle karıştırılarak daldırılmış ve plastik saksılarda yetiştirilmiştir. Serada yürütülen deneylerde PGPR uygulamalarının azot (N) alımı vejetatif dönemde %47, olgunlukta %55 oranında artırırken, potasyum (K) alımı da sırasıyla %34 ve %43 oranında yükselmiştir. Fosfor (P) alımı ise bireysel PGPR uygulamalarında yalnızca %5–9 arasında sınırlı bir artış gösterdiğini ifade edilmiştir.

PGPR'lerin Organik Asit, Hormon ve Enzim Aktiviteleri Üzerine Etkileri

Arif *et al.* (2017) *Brassicaceae* rizosferinden elde edilen PGPR izolatları üzerinde yaptıkları çalışmada PGPR'lerin fitohormonlar (oksin, gibberellin, sitokinin), organik asitler ve bitki büyümesini uyaran enzimler olduğunu ifade etmişlerdir. Bu çalışmada yüksek seviyelerde indol-3-asetik asit (IAA) ve proteaz enzimleri üretebilen ve fosfatı çözebilen bakterileri tespit

etmişler ve ayrıca, bunların hepsi de kök gelişiminin ve besin alımının artmasına katkıda bulunduğunu tespit etmişlerdir.

Thakur *et al.* (2018) tarafından yapılan çalışmada, *Brassica oleracea* var. *botrytis* (karnabahar) bitkisinde PGPR uygulamalarının büyüme, verim, kalite ve ekonomik getirilere etkileri incelenmiştir. Araştırma sonuçlarına göre, en yüksek askorbik asit (74,87 mg/100 g), toplam karotenoid (1,05 mg/100 g), TSS (%3,49 °Brix) ve protein içeriği (%19,30) %75 NPK ile %50 çiftlik gübresi, %50 solucan gübresi ve PGPR kombinasyonunda elde etmişlerdir. Bununla birlikte organik gübrelerle desteklenen ve *Bacillus spp.* ile yapılan kombine uygulamalar kimyasal gübre kullanılanlara göre daha incelenen bazı parametrelerde daha iyi sonuçlar elde etmişlerdir.

Helaly *et al.* (2020) bakteriyel gübre uygulamalarının collard bitkisinde karotenoid, rozmarinik asit, askorbik asit ve fenol içerikleri üzerine etkilerini araştırdıkları iki yılda yürüttükleri bir denemede her iki sezonda da *Bacillus amyloliquefaciens* subsp. *Plantarum* (AP-303) izolatında en yüksek rozmarinik asit içeriğini (4.53 ve 4,92 mg/g FW) en yüksek askorbik asit ve fenol içeriklerini sağladığını belirlemişlerdir. Buna ek olarak *Pseudomonas poae* (AP-19)'de 4.34 ve 4,60 mg/g FW ile bunu takip ettiğini tespit etmişler, en düşük değerler ise kontrol grubunda (3.39 ve 3,56 mg/g FW) kaydetmişlerdir.

Vásconez *et al.* (2020) *Bacillus* türlerine ait üyelerin fosfat çözme kapasitesi, biyolojik azot fiksasyonunu ve bitki gelişimini düzenleyen hormon üretme özellikleri belirlenmiş ve brokoli yetiştiriciliğinde kullanım potansiyelleri araştırılmıştır. *Bacillus licheniformis* IB10, azot fiksasyonunu, auxin üretimi ve fosfat çözme özelliklerine sahip olup saha deneylerinde brokoli bitkisi boyunu %13,7 oranında artırdığı tespit edilmiştir.

Širić *et al.* (2022) Karnabahar (*Brassica oleracea* var. *botrytis*) üzerinde yapılan bir sera çalışmasında mantar substratı (biyokömür) ve PGPR'nin bitki büyümesi, verimi ve biyokimyasal tepkiler üzerindeki birleşik etkileri belirlenmiştir. Araştırmada kontrol, sadece PGPR, iki konsantrasyonda biyokömür (5 ve 10 g/kg) ve her iki biyokömür konsantrasyonunda PGPR ile farklı kombinasyonlar denemişlerdir. Araştırma sonucunda antioksidan enzim aktiviteleri 10 g/kg biyokömür + PGPR uygulamasında diğer uygulamalara göre en iyi sonuçları tespit etmişlerdir.

Organik Gübrelerin ve Tavuk Gübresini Kullanımının Etkileri

Piromyou *et al.* (2013) *Brassica oleracea* var. *alboglabra* üzerine yaptıkları çalışmada *Bacillus sp.* ve *Pseudomonas sp.* (PGPR) ile hem saksı hem de tarla koşullarında bitki üzerine etkilerini incelemişlerdir. Araştırmada PGPR aşılması ve kompostla kombinasyonun da verimi

önemli ölçüde artırdığını görmüşlerdir. Bununla birlikte, moleküler analiz (DGGE), tanıtilan PGPR'nin genel mikrobiyal çeşitliliği bozmadan rizosferde yerleştiğini ve bitki gelişim aşamasının mikrobiyal topluluk yapısı üzerinde PGPR aşılmasının büyük bir etki yaratıldığını ifade etmişlerdir.

Ravindran *et al.* (2017) tarafından yürütülen çalışmada, tavuk gübrelerinin azot (N), fosfor (P) ve organik karbon gibi temel besin elementleri açısından zengin bir kaynak olabileceği ortaya konmuştur. Ayrıca, gübrelerdeki ağır metal düzeylerinin kabul edilebilir sınırlar içinde olduğu ve doğrudan toprağa uygulandığında çevresel bir tehdit oluşturmayacağını tespit etmişlerdir. Ek olarak, tavuk gübresinin doğrudan toprak uygulaması öncesinde karakterize edilmesinin önemini vurgulamışlardır. Bazı örneklerde belirledikleri fitotoksitenin, bu gübrelerin doğrudan kullanımından önce kompostlama veya vermikompostlama gibi işlemlerle biyolojik olarak ayrıştırılması gerektiğini ve böylece hem besin içeriğinin artırılabilirliğini hem de bitkiler tarafından tolere edilebilir düzeyde fitotoksititeye ulaşılabilirliğini ifade etmişlerdir.

Altuntaş *et al.* (2022), tarımsal üretimde kullanılan kimyasal girdilerin (özellikle pestisitler ve ticari gübreler) çevre ve insan sağlığı üzerinde oluşturduğu olumsuz etkilerin giderek daha belirgin hâle geldiğini belirtmiştir. Bu durum, son yıllarda kimyasal ve çiftlik gübrelerine alternatif olarak, ürün verimliliğini sürdürülebilir yollarla artırmak amacıyla organik, organomineral, mikrobiyal gübreler ve toprak düzenleyicilerin kullanımında önemli bir artışa neden olmuştur. Özellikle organik gübrelerin, tarım topraklarının fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerini iyileştirerek sadece verimliliği değil, aynı zamanda toprağın sürdürülebilirliğini de desteklediği ifade edilmiştir. Bu bağlamda, tavuk gübresinin organik gübreler arasında önemli bir yer tuttuğu ve toprak sağlığı ile ürün kalitesine olumlu katkı sağladığı vurgulanmıştır.

Manea and Kshash (2022) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, farklı organik gübre türlerinin iki farklı Brüksel lahanası (*Brassica oleracea* L. var. *gemmifera*) çeşidinin gelişimi ve verimi üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Çalışma bulgularına göre, Long Island çeşidi, bitki boyu ve toplam verim açısından üstün performans sergilemiş; tek bitki verimi ve toplam verimde %64 oranında artış sağlanmıştır. Arzuman çeşidi ise gövde çapı bakımından istatistiksel olarak daha yüksek sonuç vermiştir. Organik gübre uygulamaları arasında, tüy gübresi, yenilebilir tomurcuk ağırlığı, tek bitki verimi ve toplam verim açısından sırasıyla %23, %34 ve %34 oranında artış sağlayarak en etkili uygulama olduğunu tespit etmişlerdir. Ayrıca yerel kümes hayvanı gübresi, yenilebilir tomurcuk çapı, yaprak alanı ve kuru madde yüzdesi bakımından en iyi sonuçları tespit etmişlerdir.

Rahayu and Al Fatonah (2022) yapılan bir çalışmada üç tür organik ekim ortamı (keçi, inek veya tavuk gübresi ile) ve üç PGPR konsantrasyonlarını karalahana (*Brassica oleracea* var. *acephala*) üzerinde test etmişlerdir. İnek gübresi bazlı ortam ve 15 ml/L PGPR kombinasyonu en yüksek yaprak sayısını ve taze ağırlığı üretirken, en düşük değerler ise keçi gübresinin kullanmasında bulunmuştur. PGPR konsantrasyonunun yaprak hacmi ve bitki boyu üzerinde önemli bir etkisi bulunurken bitkinin büyümesini artırmadaki rolünü oynadığını tespit etmişlerdir.

Yıldırım (2022) tarafından yürütülen çalışmada, karnabahar (*Brassica oleracea* var. *botrytis*) bitkisine *Paenibacillus polymyxa*, *Bacillus subtilis* ve *Pseudomonas fluorescens* suşlarını içeren PGPR uygulamaları; organik tavuk gübresi ve farklı seviyelerde mineral NPK gübresiyle birlikte araştırma yapmıştır. Sonuçları değerlendirdiğinde orta düzeyde NPK, tavuk gübresi ve PGPR kombinasyonunun en yüksek taç ağırlığına ve pazarlanabilir verime ulaştığını, bu kombinasyonda, kontrol grubuna kıyasla %300'e varan verim artışı tespit etmişlerdir. Ayrıca, PGPR ve organik gübre uygulamalarının askorbik asit düzeyini ve genel kalite parametrelerini artırdığını rapor etmiştir.

Hasan *et al.* (2024) tarafından yürütülen çalışmada, yetiştirme materyali olarak brokoli kullanılmıştır. Kimyasal gübrelerin yerine organik gübre ve biyogübre kullanımının, bitki gelişimi, verim, kalite ve toprak sağlığında sürdürülebilir tarım uygulamaları açısından etkili bir alternatif olabileceği vurgulanmıştır. Araştırma bulgularında uygulanan farklı vermikompost ve biyogübre kombinasyonları arasında T3F3 (9 t ha⁻¹ vermikompost + 7 kg ha⁻¹ biyogübre) uygulamasının, tamamen organik üretim koşullarında, bitkisel gelişim, yüksek verim ve C vitamini içeriği açısından kimyasal gübreye etkili bir alternatif oluşturduğunu ortaya koymuştur. Ancak büyüme, kalite ve verim parametrelerinin büyük çoğunluğu açısından, T3F3 uygulaması ile T2F3 (6 t ha⁻¹ vermikompost + 7 kg ha⁻¹ biyogübre) uygulaması arasında farkların olduğunu belirlemişlerdir.

Moniza *et al.* (2024) tarafından yürütülen çalışmada, *Brassica oleracea* var. *botrytis* L. (karnabahar) bitkisinde tavuk gübresi ve biyochar uygulamalarının büyüme ve verim üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir. Araştırma sonuçları, her iki uygulama arasında bitki boyu, bitki başına çiçek ağırlığı ve hektar başına verim açısından anlamlı etkileşimlerin bulunduğunu ortaya koymuştur. Ayrıca hem tavuk gübresi hem de biyochar uygulamaları toprak nem içeriği ve yaprak sayısı üzerinde önemli etkiler yaptığının belirlemişlerdir. En yüksek verimi, 20 ton ha⁻¹ tavuk gübresi + 10 ton ha⁻¹ biyochar kombinasyonu ile elde etmişler, en düşük verimi ise kontrol grubunda kaydetmişlerdir.

Kimyasal Gübrelerin Kullanımlarının Etkileri

Booij (2000) tarafından yürütülen çalışmada, Brüksel lahanası (*Brassica oleracea* L. var. *gemmifera*) üzerine farklı azot dozlarının (0–300 kg N ha⁻¹) etkileri iki yıllık tarla denemeleriyle araştırılmıştır. Çalışmada, pazarlanabilir verim bileşenlerine ayrıştırılarak değerlendirilmiş; biyokütle dağılımı ve başlardaki kuru madde oranları tespit edilmiştir. Elde ettikleri sonuçlara göre, azot uygulama dozu başlardaki kuru madde üzerindeki etkisi sınırlı kalmıştır. Ancak en belirleyici faktörün, azotun yaprak alanı gelişimini artırması olduğunu tespit etmiştir. Ek olarak, daha yüksek azot dozlarında, maksimum yaprak alan indeksi ve yaprak alan süresi önemli ölçüde artmış olduğunu belirleyerek, daha fazla fotosentetik ışığın kesilmesine ve dolayısıyla daha yüksek toplam biyokütleyle yol açtığı belirlemiştir. Azotlu gübrelemede en yüksek pazarlanabilir verim 20–30 ton ha⁻¹ seviyelerinde, azotsuz kontrol gruplarında ise 7–16 ton ha⁻¹ gibi değerler elde etmiştir. Ancak yüksek azot dozlarında tomurcukların kuru madde oranı %20'den %15'e düştüğünü, bu da verimdeki artışın bir kısmının artan su içeriği kaynaklı olduğunu ifade etmiştir.

Yoldas vd (2008) tarafından yürütülen çalışmada, artan azot dozlarının brokoli verimi üzerinde önemli düzeyde pozitif etkiler oluşturduğu rapor edilmiştir. Özellikle hektar başına 300 kg azot (300 kg N ha⁻¹) uygulamasının, en yüksek verim değerlerine ulaşıldığı doz olduğu belirlenmiştir. Bu doğrultuda, mevcut yetiştirme koşulları altında brokoli üretimi için 300 kg N ha⁻¹ düzeyinde azot uygulaması önermişlerdir. Bunun yanı sıra, artan azot dozlarının sadece verimi değil, aynı zamanda brokoli başlarında insan sağlığı açısından önem arz eden bazı makro ve mikro besin elementlerinin (N, K, Ca, Mg, Fe ve Zn) içeriklerini de artırdığı tespit edilmiştir.

Yeshiwas (2017) farklı azot dozlarının lahana (*Brassica oleracea*) bitkisinin gelişimi ve verimi üzerindeki etkileri çalıştıkları araştırmada, uygulanan azot düzeylerinin yaprak uzunluğu, yaprak genişliği, baş çapı, baş yaş ağırlığı ve baş kuru ağırlığı gibi verimle ilişkili morfolojik özellikler üzerinde pozitif etkiler oluşturduğunu ortaya koymuştur. Nitekim, en geniş yaprak genişliği (21,86 cm), en uzun yaprak uzunluğu (20,1 cm) ve en büyük baş çapı (11,043 cm), 150 kg N ha⁻¹ dozunda kaydedilmiş; buna karşılık kontrol grubunda (0 kg N ha⁻¹) bu değerler sırasıyla 16,93 cm, 16,17 cm ve 8,70 cm olarak tespit etmişlerdir. Benzer şekilde, en yüksek baş yaş ağırlığı (0,771 kg/bitki) ve baş kuru ağırlığı (0,114 kg/bitki) de yine 150 kg N ha⁻¹ dozunda belirlemişlerdir.

Kaymak vd. (2023b) tarafından yürütülen çalışmada, farklı azot kaynaklarının brokoli bitkisinin baş gelişimi, klorofil içeriği ve verimi üzerindeki etkileri değerlendirdikleri bir araştırmada baş ağırlığı kontrol grubunda 81,2 g iken, amonyum nitrat (AN) uygulamasında 295,4 g'a kadar yükseldiğini belirlemişlerdir. Benzer şekilde, baş çapı ve uzunluğu kontrol

grubunda sırasıyla 6,4 cm ve 4,9 cm olarak ölçülmüş; AN uygulamasında ise bu değerler sırasıyla 13,9 cm ve 13,6 cm'ye ulaştığını tespit etmişlerdir. Bununla birlikte, en yüksek klorofil değeri (87,6), her iki yılda da tutarlı bir şekilde AN uygulamasında elde edilmiştir. Bunların yanı sıra tavuk gübresi ile yaptıkları uygulamada kullanılan çeşitlerde kimyasal azota göre düşük değerler elde edilse de tavuk gübresi uygulamaları arasında en yüksek verim, 2021 yılında 4000 kg ha⁻¹ dozundaki uygulamada (16.820 kg ha⁻¹) belirlemişlerdir. Bu sonuçları toplu olarak değerlendirdiklerinde verimde AN uygulamasında daha yüksek değerler elde ettiklerini ancak çevre dostu üretim sistemlerinde tavuk gübresinin kullanımının önemini vurgulamışlardır.

Farklı Gübrelerin Birlikte Kullanımlarının Etkileri

Khosravi et al. (2018) tarafından yürütülen çalışmada, vermikompost ve PGPR gibi biyolojik gübrelerin bitkide besin maddesi alımı ve kuru madde üretimi üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir. Bulgular, vermikompostun Cu dışındaki tüm makro ve mikro besin alımını ve kuru madde üretimi anlamlı düzeyde artırdığını göstermiştir. PGPR inokülasyonu, özellikle N, P, Ca, Mg, Mn ve Na alımını artırırken, Cu alımını düşürmüştür. Rock fosfat (RP) uygulamaları N, P, Cu, Fe, Zn ve Na alımını teşvik etmiş, ancak K ve Mn üzerinde anlamlı etki oluşturmamıştır. PGPR ile RP'nin kombine kullanımı, özellikle vermikompost içermeyen koşullarda N, P, K, Zn ve Mn alımını artırmış; vermikompostlu sistemlerde ise P, Ca ve Fe'yi artırıp N ve Zn'yi azaltmıştır. Sonuç olarak, biyolojik gübrelerin (özellikle PGPR ve vermikompostun), kimyasal fosfor kaynaklarına alternatif olarak kullanılabilmesi, maliyet ve çevresel etkiler açısından önemli avantajlar sunduğu vurgulanmıştır.

Salim et al. (2020) tarafından yapılan tarla denemesinde, (*Brassica oleracea* L. var. *botrytis* cv. 'Rock') çeşidi karnabahar bitkisinin, ticari formülasyon olarak uygulanan biyo-gübre (içeriğinde *Bacillus megaterium*, *Azospirillum brasilense* ve *Pseudomonas fluorescens*) ile farklı azot ve fosfor dozlarına (%25, %50, %75 ve %100) verdiği yanıt araştırılmıştır. Biyo-gübre ile birlikte uygulanan azot ve fosfor, yalnız başına kimyasal gübre kullanımına kıyasla morfolojik özelliklerde ve verimde anlamlı artış sağlamıştır. En yüksek yaprak uzunluğu (62,4–64,3 cm), yaprak genişliği (30,9–32,6 cm), sap uzunluğu (22–21,9 cm), bitki ağırlığı (1,394–1,375 kg) ve hektar başına verim (59,758–58,925 ton ha⁻¹), %75 ve %100 kimyasal gübre + biyo-gübre kombinasyonlarında elde etmişlerdir. Ayrıca, biyo-gübre uygulanan parsellerde hasat süresi 111 gün ile önemli ölçüde kısılırken, sadece kimyasal gübre uygulanan parsellerde bu süre 139 gün olarak araştırmacılar tarafından belirlenmiştir.

Al-Bayati (2021) lahanada azot gübresi ve hümik asit uygulamalarının farklı çeşitlerle birlikte büyüme ve verim üzerine etkilerini değerlendirdikleri bir çalışmada üç

faktörlü olarak tesadüf blokları deneme desenine göre üç tekerrürlü deneme kurmuşlardır. Denemede iki lahana çeşidi (Copenhagen Market ve Cherman), üç azot dozu (0, 200 ve 400 kg N ha⁻¹) ve hümik asit konsantrasyonu (0 ve 6 ml L⁻¹) incelenmiştir. Araştırma bulgularına göre, Copenhagen Market çeşidine 400 kg N ha⁻¹ azot ve 6 ml L⁻¹ hümik asit uygulanan kombinasyonda baş çevresi 58,50 cm, dış (açılmamış) yaprak sayısı 20,83 adet/bitki, iç kıvrılmış yaprak sayısı 35,00 adet/bitki, sap ağırlığı ve uzunluğu, toplam baş ağırlığı 2918 g, pazarlanabilir baş ağırlığı 1774 g, toplam baş verimi 121,581 t ha⁻¹ ve pazarlanabilir baş verimi 73,901 t ha⁻¹ olarak kaydedilmiştir. Ayrıca, yapraklarda kuru madde oranı %10,03 ile diğer uygulamalara göre en yüksek düzeyde bulunmuşlardır.

Vij *et al.* (2022) tarafından yapılan çalışmada, *Trichoderma viride* ve *Pseudomonas fluorescens* inokulasyonunun lahana fidesi kalitesi ve üretim performansında artışlar sağladığı tespit edilmiştir. Ayrıca, dikim öncesinde %5 *T. viride* ve %5 *P. fluorescens* ile yapılan tohum muamelesinin, biyokütle ve verim performansı dahil olmak üzere fide kalitesini önemli ölçüde iyileştirdiğini tespit etmişlerdir. Biyolojik kontrol ajanı ve PGPR'nin bitki kökleri ile birlikte kullanılmasının besin maddelerinin daha kolay erişilebilir hale gelmesine ve kök yapılarının su emilimini artıracak şekilde gelişmesine bağlı olabileceği belirtilmiştir. PGPR'ler, bitki büyümesini doğrudan bitki metabolizmasını uyararak veya auxin ve gibberellin gibi bitki hormonları üreterek, mineralleri çözünür hale getirerek ve atmosferik azotu sabitleyebileceği; dolaylı olarak ise fitopatojen mikroorganizmaların olumsuz etkilerini hafifleterek ve stres toleransını artırabileceğini ifade etmişlerdir. Bunlara ek olarak, *T. viride* ve *P. fluorescens*'in biyolojik kontrol ajanları olarak uygulanması, kimyasal girdileri azaltarak sürdürülebilir biçimde fide kalitesinin ve verim performansının artırılmasında faydalı olabileceği belirtilmiştir.

Rezasoltani and Champagne (2023) Pb (II) ile kirlenmiş sularda ağır metal temizliği (fitoremediasyon) ve bu süreçte azot bağlayan siyanobakteriler kullanılarak biyogübre üretimi entegre bir yaklaşımla incelenmiştir. *Anabaena sp.* ve *Nostoc muscorum* adlı iki azot bağlayıcı siyanobakterinin, azot ilavesi olmadan farklı Pb (II) konsantrasyonlarında (10, 20, 35, 60 mg L⁻¹) batch ve fed-batch modlarında Pb (II) giderme performansları değerlendirmişlerdir. Elde ettikleri sonuçlara göre 12 günlük batch modunda *Anabaena sp.* sırasıyla %98,9, %98,95, %97,2 ve %84,98, *Nostoc muscorum* ise %88, %73,1, %54,54 ve %26,83 Pb (II) giderme verimi gösterdiğini tespit etmişlerdir. Bununla birlikte, Fed-batch modunda *Anabaena sp.*, Pb (II) konsantrasyonuna bağlı hidrolik tutma süresini ayarlayarak büyüme ve gelişimini artırdığını bulmuşlardır. Bu uygulama ile *Chlorella vulgaris* alginin besin ihtiyacının

karşılanabileceği atmosferik azot (N₂) ve CO₂ kullanarak eř zamanlı ağır metal biyoremediasyonu ve sürdürülebilir biyogübre üretimine imkân verebileceği ifade edilmiştir.

MATERYAL VE METOT

Araştırma, 2022 ve 2023 yılları arasında tarla koşullarında Atatürk Üniversitesi Bitkisel Üretim Uygulama ve Araştırma Merkezi Müdürlüğü'ne ait 4 no'lu deneme alanında yürütülmüştür. Araştırmanın laboratuvar aşaması ise Atatürk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Bahçe Bitkileri Bölümü ve Fen Fakültesi Biyoloji Bölümü laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir.

Materyal

Bitkisel materyal

Bu araştırmada bitki materyali olarak Davlin F₁ Brüksel lahanası (*Brassica oleracea* L. var. *gemmifera*) çeşidi kullanılmıştır (Şekil 1). Davlin F₁, dikimden itibaren 115-125 gün içinde hasat olgunluğuna ulaşan ve yazlık ile erken sonbahar hasadı için uygun bir çeşittir, başlar yeşil renkli, sıkı ve albenilidir, gövde üzerinde homojen olarak dizilmiştir.



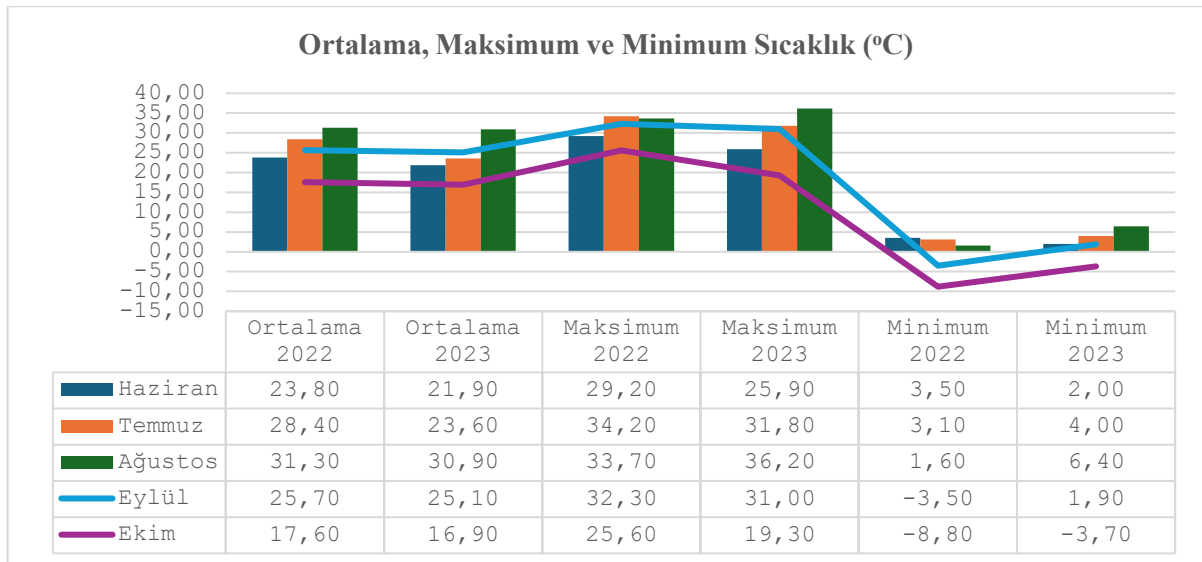
Şekil 1. Çalışmada kullanılan Brüksel lahanasına (Davlin F₁) ait genel görüntü (Oriijinal)

Deneme alanı hakkında genel bilgiler

Erzurum, Türkiye'nin kuzeydoğusunda 41° 61' doğu boylamları ile 39° 55' kuzey enlemleri arasında bulunan, karasal iklime sahip olup deniz seviyesinden 1853 m yükseklikteki bir ildir. Kışları genellikle karlı ve soğuk, yazları ise serin ve kuraktır.

Deneme yerinin iklim özellikleri

Bu araştırmanın yürütüldüğü alana ait iklim özellikleri (Maximum, Minimum ve Ortalama sıcaklıklar (°C), denemenin gerçekleştirildiği dönemde Meteoroloji 12. Bölge Müdürlüğü (Erzurum) tarafından sağlanan verilerden alınmış olup Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2. Araştırmanın yürütüldüğü dönemlere ait sıcaklık değerleri (°C)

Deneme alanının toprak özellikleri

Araştırmanın yürütüldüğü fideden aktarılamadan önce, toprak alanın fiziksel yapısını ve kimyasal bileşimini analiz etmek için farklı derinliklerden (0-20 cm, 20-40 cm, 40-60 cm) toprak örnekleri alınmış ve bu örnekler üzerinde analizler yapılmıştır. Toprak pH'sı 1:2,5'lük toprak-su süspansiyonunda potansiyometrik olarak ölçümler, cam elektrot içeren bir pH metre aracılığıyla gerçekleştirilmiştir (McLean 1982). Topraktaki kireç miktarı hacimsel olarak Scheibler Kalsimetresi (Nelson 1982) kullanılarak belirlenmiştir. Toprak organik maddesi Walkley-Black yöntemine göre, toprak örneklerinin potasyum dikromat ve sülfirik asitle tepkimeye sokularak demir sülfat ile titrasyon sonucunda tespit edilmiştir (Nelson and Sommers 1982). Fosfor tayini sodyum bikarbonat ile ayırma işlemi yapılan numuneler ICP-OES İndüktif Çift Plazma spektrofometresi ile okunarak belirlenmiştir (Olsen and Sommers 1982). Elektriksel iletkenlik değeri (EC), saturasyon macunlarının hazırlanmasıyla elde edilen ekstraksiyon çözeltileri aracılığıyla, elektriksel kondüktivite cihazı ile mmhos/cm biriminde ölçülmüştür (Demiralay 1993). Zn, Fe, Mn ve Cu elementleri DTPA ekstraksiyon yöntemi (Lindsay and Norvell 1978) kullanılarak elde edilen numunelerde (Perkin-Elmer Optima 2100 DV ICP-MES) indüktif eşleşmiş plazma spektrometresi cihazı ile analiz edilmiştir (Shelton, CT 06484-4794, ABD). Toplam azot (N) analizi kjeldahl yöntemi esas alınarak toprak örnekleri yakılmış ve topraktaki azot amonyuma dönüştürülerek açığa çıkan amonyak sülfirik asitle titre edilerek saptanmıştır (Bremner and Mulvaney 1982). Bunların sonucunda toprak analizleri sonucu elde edilen bulgular Tablo 1'de sunulmuştur. Analizler sonucunda, toprakların ilgili fiziksel ve kimyasal özelliklerine göre tekstür sınıfının tınlı, organik madde miktarının fakir (%1,80), fosfor ve azot miktarı bakımından ise yetersiz olduğu belirlenmiştir (Taşova ve Akın 2013).

Tablo 1. Araştırma Alanı Toprağına Ait Bazı Biyokimyasal Özellikler

Toprak Özelliği	0-20 cm arası		Değerlendirme	
	2022		2023	
pH	7,48	Nötr	7,00	Nötr
Kireç (%)	0,60	Çok az	0,71	Çok Az
Organik Madde (%)	0,11	Çok az	0,14	Çok Az
EC (mmhos/cm)	6,03	Orta Derecede	6,61	Orta Derecede
Azot (%)	0,02	Çok fakir	0,02	Çok Fakir
Fe (ppm)	2,04	Az	1,59	Az
Zn (ppm)	19,87	Çok Fazla	36,38	Çok Fazla
Cu (ppm)	47,31	Yeterli	70,17	Yeterli
Mn (ppm)	255,5	Çok fazla	515,64	Çok Fazla
Ca (ppm)	12,02	Çok Az	7,53	Çok Az
Mg (ppm)	2,50	Çok Az	4,72	Çok Az
P (ppm)	1,08	Çok Az	0,80	Çok Az
B (ppm)	0,12	Çok Düşük	0,26	Çok Düşük
S (Mg/kg)	1,23	Az	1,39	Az
Na (cmol/kg)	0,98	Yüksek	0,95	Yüksek
20-40 cm arası				
pH	6,82	Nötr	6,72	Nötr
Kireç (%)	1,03	Çok Az	0,98	Çok Az
Organik Madde (%)	0,07	Çok Az	0,13	Çok Az
EC (mmhos/cm)	5,55	Orta Derecede	5,15	Orta Derecede
Azot (%)	0,02	Çok Fakir	0,02	Çok Fakir
Fe (ppm)	1,84	Az	1,00	Az
Zn (ppm)	16,55	Çok Fazla	33,61	Çok Fazla
Cu (ppm)	55,16	Yeterli	41,55	Yeterli
Mn (ppm)	187,64	Çok Fazla	354,00	Çok Fazla
Ca (ppm)	8,37	Çok Az	9,48	Çok Az
Mg (ppm)	3,97	Çok Az	5,14	Çok Az
P (ppm)	0,29	Çok Az	0,73	Çok Az
B (ppm)	0,29	Çok Düşük	3,38	Çok Düşük
S (Mg/kg)	1,02	Az	0,96	Az
Na (cmol/kg)	0,99	Yüksek	1,25	Yüksek
40-60 cm arası				
pH	6,07	Nötr	6,67	Nötr
Kireç (%)	0,64	Çok Az	0,83	Çok Az
Organik Madde (%)	0,06	Çok Az	0,08	Çok Az
EC (mmhos/cm)	4,46	Orta Derecede	3,67	Orta Derecede
Azot (%)	0,01	Çok Fakir	0,04	Çok Fakir
Fe (ppm)	1,38	Az	1,03	Az
Zn (ppm)	15,66	Çok Fazla	34,57	Çok Fazla
Cu (ppm)	38,18	Yeterli	43,90	Yeterli
Mn (ppm)	162,53	Çok Fazla	427,81	Çok Fazla
Ca (ppm)	10,10	Çok Az	16,80	Çok Az
Mg (ppm)	5,04	Çok Az	5,94	Çok Az
P (ppm)	0,27	Çok Az	0,75	Çok Az
B (ppm)	0,22	Çok Düşük	0,38	Çok Düşük
S (Mg/kg)	1,01	Az	0,80	Az
Na (cmol/kg)	1,38	Yüksek	1,57	Yüksek

Denemede kullanılan bakteri türleri

Araştırmadan kullanılan bitki gelişimini uyarıcı rizobakteri izolatları (PGPR) Atatürk Üniversitesi Tarımsal Biyoteknoloji Bölümü Bitki Klinik Laboratuvarı Bakteri Kültürleri Koleksiyonundan temin edilmiştir. Araştırmada kullanılan bakteri türlerinin biyokimyasal özellikleri Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. Bakteri Türlerine Dair Bazı Biyokimyasal Özellikler

Bakteri türü	İzolat	Azot	Fosfat	Referanslar
<i>Bacillus megaterium</i>	M-3	+	K+	Karakurt vd 2011
<i>Bacillus megaterium</i>	KBA-10	K+	+	Ekinci vd 2014.
<i>Bacillus megaterium</i>	TV-3D	K+	+	Sahin vd 2015
<i>Bacillus megaterium</i>	TV-91C	+	Z+	Sahin vd 2015
<i>Bacillus subtilis</i>	TV-17C	K+	Z+	Ekinci vd 2014.
<i>Bacillus subtilis</i>	TV 12E	+	+	Sahin vd 2015
<i>Bacillus thuringiensis</i>	CP-1	K+	-	Kara vd 2021
<i>Pantoea agglomerans</i>	RK-79	+	+	Karakurt vd 2010
<i>Pantoea agglomerans</i>	RK-92	+	K+	Ekinci vd 2014.
<i>Bacillus megaterium</i>	RK-CA	+	+	

K⁺: Kuvvetli pozitif, Z⁺: Zayıf pozitif

Metot

Tohum ekimi ve fide eldesi

Fide üretimi amacıyla 01.05.2022 tarihinde, Atatürk Üniversitesi Bitkisel Üretim Uygulama ve Araştırma Merkezine ait seralarda torf bulunan viyollere 1 cm derinliğinde ekilen tohumlar yaklaşık bir hafta sonra çimlenmiştir. Sulama işlemleri düzenli olarak yapılmış ve elde edilen fideler arasından 4-6 yapraklı, sağlam, kuvvetli gelişim gösteren ve fazla boylanmamış olanlar 2022 yılında deneme için 13 Haziran, 2023 yılında ise 7 Haziran tarihlerinde araziye dikilmiştir (Şekil 3).



Şekil 3. Araştırmada kullanılan fidelerden genel görüntü (Orijinal)

Bakteri formülasyonların hazırlanması

Lauryl Broth (LB) ortamında -80 °C'de saklanan bakteri izolatları öncelikle nutrient agar (NA) içeren petrilere üç fazlı çizim tekniği ile ekilip 24 saat inkübasyona bırakılmıştır. Sonrasında her bakteri izolatu ayrı ayrı tryptic soy broth (TSB) besiyeri bulunan 400 mL'lik erlenlerde 48 saat geliştirildikten sonra formülasyonlar hazırlanmıştır (Tablo 3).

Tablo 3. Araştırmada Kullanılan Bakteri Formülasyonları

Formülasyonlar	Formülasyon İçeriklerindeki Bakteri İzolatları				
Bakteri Formülasyon-1 (BF-1)	M-3	KBA-10	TV-3D	TV-91C	TV-17C
	TV 12E	CP-1	RK-79	RK-92	RK-CA
Bakteri Formülasyon-2 (BF-2)	M-3	KBA-10	TV-3D	TV-91C	TV-17C
	TV 12E	CP-1			

Bakteri formülasyonlarının uygulanması

Fideler, dikim öncesi 6 saat süreyle bakteri süspansiyonunda (10^8 cfu ml⁻¹ yoğunlukta) bekletilmiştir.

Deneme yerinin hazırlanması ve fide dikimi

Fideler 2.40 x 2.80 m² (6.72 m²) boyutlarında hazırlanan tavalara sıra arası 70 cm sıra üzeri 40 cm olacak şekilde dikilmiştir. Deneme, tam şansa bağlı deneme planına göre, 1 çeşit, 3 farklı azot dozu, 2 bakteri formülasyonu ve 1 organik tavuk gübresi dozu olmak üzere 1×3×2×1 faktöriyel düzende 3 tekerrürlü ve toplamda 54 parselde, her parselde 24 bitki olarak şekilde gerçekleştirilmiştir. Araştırmada, bakteri izolatlarının performansını artırmak amacıyla organik tavuk gübresi kaynak olarak kullanılmış ve bu amaçla organik tavuk gübresi ve PGPR bakterileri karışımlarının uygulamaları gerçekleştirilmiştir. Tüm parsellerde damla sulama yöntemi kullanılarak sulama işlemi parseller arası fark oluşturmayacak şekilde gerçekleştirilmiştir (Şekil 4 ve 5).



Şekil 4. Araştırmanın kurulum aşamasından genel görüntü (Orijinal)



Şekil 5. Araştırma alanından genel görünümü (Orijinal)



Şekil 6. Brüksel lahanasından genel görüntü (Orijinal)

Bakım işlemleri

Dikimden sonra ilk iki ay boyunca 10 günlük periyotlarla ayda 3 kere olacak şekilde yabancı ot temizleme ve çapalama işlemleri birlikte gerçekleştirilmiştir. Dikimden iki ay sonra ayda iki kere çapalama ve yabancı ot temizliği yapılmıştır. Ayrıca bitkiler üzerinde görülen yeşil kurt zararlısı ile mücadele etmek için Deltharin isimli insektisit uygulaması yapılmıştır.

Gübreleme

Denemede, önceki araştırma bulguları dikkate alınarak 40 kg N da-1 ve 20 kg da-1 P₂O₅ düzeyinde temel gübreleme uygulanmıştır. Çalışmada, fosfor dozu sabit tutulmuş; değişken azot dozları, ticari organik tavuk gübresi ve azot fikse edebilen PGPR bakterilerinin kombinasyonları deneme faktörleri olarak değerlendirilmiştir. Azotlu gübre, amonyum sülfat (N %21) formunda olup, yarısı dikim esnasında, diğer yarısı ise dikimden 30 gün sonra toprağa karıştırılarak uygulanmıştır. Azotun 2. uygulaması ile birlikte, her bitkiye 100 ml olacak şekilde bakteri uygulaması tekrarlanmıştır ve uygulama doğrudan kök bölgesine yapılmıştır. Araştırma uygulamalar ait detaylı bilgi Tablo 4’de verilmiştir.

Tablo 4. Araştırmad Yapılan Gübre Uygulamaları

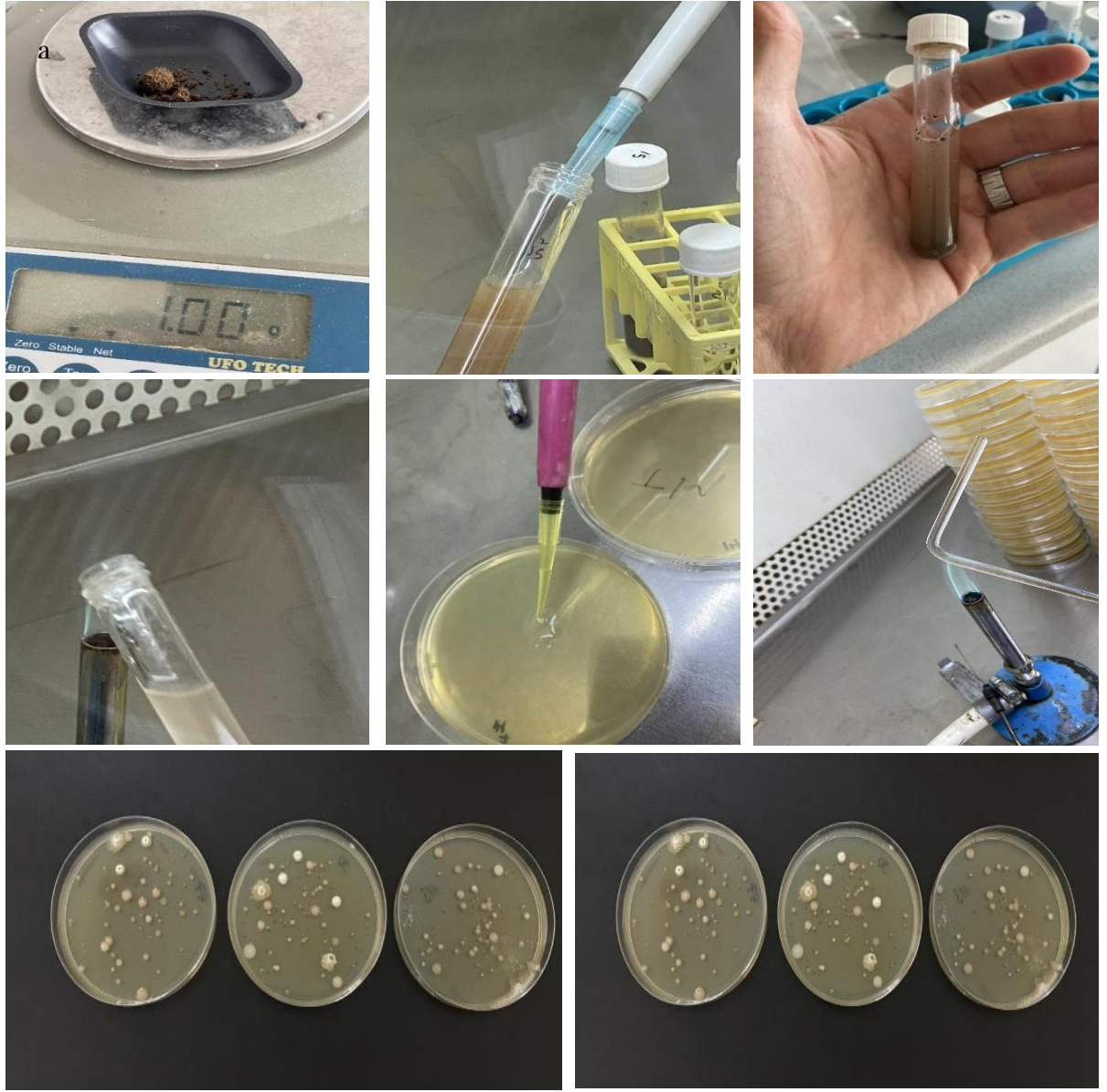
1	Kontrol	10	40 kg N da ⁻¹ + BF-1+ OTG 400 kg da ⁻¹
2	BF-1	11	30 kg N da ⁻¹ + BF-1 + OTG 400 kg da ⁻¹
3	BF-2	12	20 kg N da ⁻¹ +BF-1 + OTG 400 kg da ⁻¹
4	OTG 400 kg/da ⁻¹	13	40 kg N da ⁻¹ +BF-2 + OTG 400 kg da ⁻¹
5	40 kg N da ⁻¹	14	30 kg N da ⁻¹ + BF-2 + OTG 400 kg da ⁻¹
6	30 kg N da ⁻¹	15	20 kg N da ⁻¹ + BF-2 + OTG 400 kg da ⁻¹
7	20 kg N da ⁻¹	16	40 kg N da ⁻¹ + OTG 400 kg da ⁻¹
8	BF-1 + OTG 400 kg da ⁻¹	17	30 kg N da ⁻¹ + OTG 400 kg da ⁻¹
9	BF-2 + OTG 400 kg da ⁻¹	18	20 kg N da ⁻¹ + OTG 400 kg da ⁻¹

BF-1: Bakteri formülasyonu 1, **BF-2:** Bakteri formülasyonu 2, **OTG:** Organik tavuk gübresi, **N:** Azot

Araştırma Alanına Ait lm ve Analizler

Topraktaki bakteri popülasyonlarının belirlenmesi

Toprakta bulunan benzer bakteri türlerinin popülasyonlarına bakteri uygulamasının etkisini belirlemek amacıyla değerlendirmeler, ekimden 60 gün sonra ve baş bağlama döneminde yapılmıştır. Bitki köklerinden alınan toprak örnekleri 10 g tartılarak steril 250 ml'lik erlenmeyerle konulmuştur. zerine 90 ml steril saf su eklenmiş ve çalkalayıcıda 30 dakika çalkalanmıştır. Erlenmeyer deki süspansiyondan steril pipet kullanılarak 1 ml alınıp ve 9 ml steril saf su içeren tüplere konulmuş ve harmanlanmıştır. Yapılan bu işlem 5 kez tekrarlanmış, her seferinde 1 ml alınarak 9 ml steril saf su içeren yeni tüplere aktarılmıştır. Son üç seyreltmeden 100'er µl alınarak cam çalkalayıcı kullanılarak petri kaplarına yayılmış ve ekim yapılmıştır. Bakteriler kültür, edildikten sonra inkübatöre yerleştirilmiş ve inkübasyon süresi tamamlandıktan sonra gelişen bakteri kolonilerinin sayımı yapılmıştır (Saygılı vd 2006). Bakteri koloni sayısı (cfu/ml), elde edilen koloni sayısının seyreltme katsayısıyla çarpılması ve bu değerin 1 ml için 10 ile çarpılması yoluyla hesaplanmıştır (Saygılı 1995). Bakteri kültürü için besiyeri hazırlamak amacıyla 10 g sakkaroz, 5 g malik asit, 0,2 g MgSO₄ H₂O, 0,01 g FeCl₃, 0,1 g NaCl, 0,02 g CaCl₂ 2H₂O, 0,1 g K₂HPO₄, 0,4 g KH₂PO₄, 0,002 g Na₂MoO₄ H₂O ve 18 g 1000 ml distile suya eklenmiştir. Daha sonra agar eklenmiş ve homojen bir karışım elde edilene kadar karıştırılmıştır. 1 N NaOH ile karışımın pH'sı 7.2'ye ayarlandıktan sonra 20 dakika 121 °C'de sterilizasyon işlemi uygulanmıştır. Sterilizasyondan sonra, besiyeri 45°C'ye soğutulmuş ve steril koşullar altında petri kaplarına döküldükten sonra katılaşmadan bakteri kültürü için kullanılmıştır. Steril bir cam karıştırıcı yardımıyla besiyerine iyice yayılmış ve her bakterinin her seyreltiminden 3 petri kabı aşılanmıştır. Kültürler 27°C'de 48 saat inkübe edilmiş ve tek kolonilerin sayılabileceği en uygun seyreltimden sayım yapılmıştır (şenol Kotan 2020) (şekil 7).



Şekil 7. Bakteri kolonilerinden genel görüntü (Orijinal)

Brüksel Lahanasında Bitki, Baş ve Yapraklarda Yapılan Ölçümler

Bitkilerin kalite ve verim özelliklerini değerlendirmek amacıyla baş ağırlığı, baş çapı, baş yüksekliği, çevresi, gövde çapı, yaprak sayısı, klorofil içeriği, pazarlanabilir verim, yaprak ve baş rengi ile kuru madde miktarı gibi parametreler ölçülmüştür. Ağırlık ilgili ölçümler 1 gram hassasiyetteki bir teraziyle, çap ve uzunluk ölçümleri ise 0,1 mm hassasiyetteki dijital kumpas yardımıyla yapılmıştır. Ayrıca, her iki sezonda da hasat işlemi tek seferde gerçekleştirilmiştir. Birinci sezonda hasat 10.10.2022 tarihinde, ikinci sezonda ise 12.10.2023 tarihinde yapılmıştır (Şekil 8).



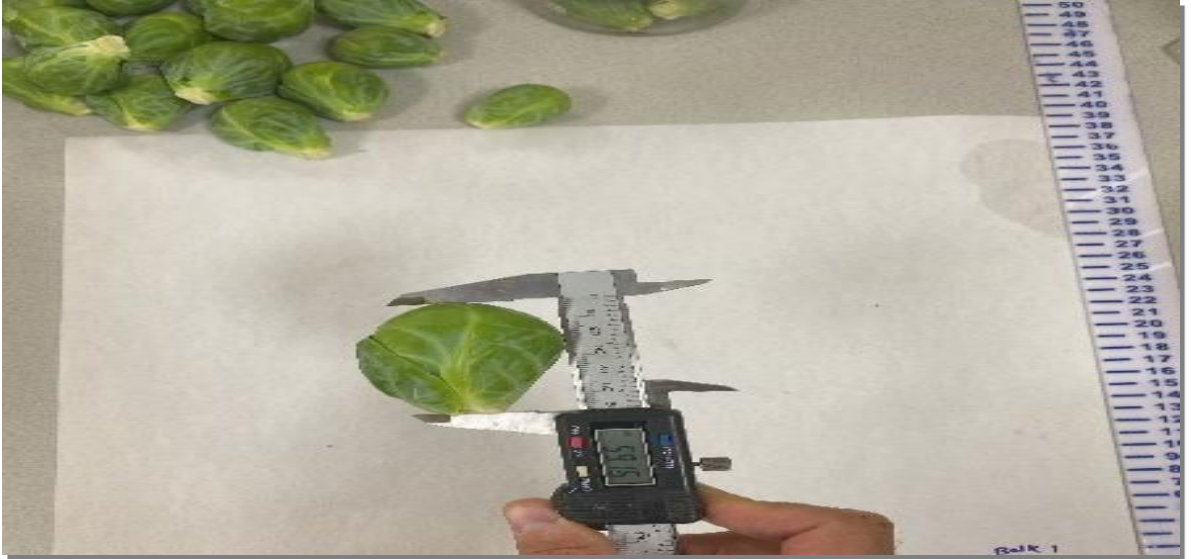
Şekil 8. Hasat dönemine gelen bitkilerden genel görüntü (Orijinal)

Bitki boyu

Tüm uygulamalarda hasat edilen Brüksel lahanası bitkileri 8 parselden bitkilerin boyu şerit metre kullanılarak ölçülmüştür. Ölçüm sonuçlarının ortalaması alınarak bitki boyu cm olarak kaydedilmiştir.

Baş uzunluğu

Tüm uygulamalarda hasat edilen bitkilerden rastgele seçilen 10 adet parselden Brüksel lahanası başının uzunluğu, 0,01 mm hassasiyetindeki dijital kumpas ile ölçülmüştür. Ölçüm sonuçlarının ortalaması alınarak baş uzunluğu mm olarak tespit edilmiştir (Şekil 9).



Şekil 9. Baş uzunluğu ölçümünden genel görünüm (Orijinal)

Baş çapı

Tüm uygulamalarda hasat edilen bitkiler arasından rastgele seçilen 10 adet parselden Brüksel lahanası başının çapı, 0,01 mm hassasiyetindeki dijital kumpas ile ölçülmüştür. Elde edilen ölçümlerin ortalaması alınarak baş çapı milimetre mm olarak belirlenmiştir (Şekil 10).



Şekil 10. Baş çapı ölçümünden genel görünüm (Orijinal)

Baş sayısı

Hasat zamanında her parselin orta kısmında bulunan 8 bitkideki Brüksel lahanası başları elle toplanmış, ardından laboratuvar ortamında tüm başlar sayılarak baş sayısı belirlenmiştir. Elde edilen sayısal verilerin ortalaması alınarak, bitki başına düşen baş sayısı adet da^{-1} olarak tespit edilmiştir.

Baş ağırlığı

Hasat sonrası, her tekerrürde parsellerin orta kısmından toplanan Brüksel lahanası başlarının toplam ağırlığı 0,1 g hassasiyetindeki terazi ile belirlenmiş, elde edilen değer baş sayısına bölünerek ortalama baş ağırlığı g olarak hesaplanmıştır.

Gövde çapı

Yetiştirme periyodu sonunda, her parselin merkezinde yer alan 8 bitkinin gövde çapları 0,01 mm duyarlılığındaki dijital kumpas kullanılarak ölçülmüş; ardından ölçülen değerlerin ortalaması alınarak bitki gövde çapı mm olarak hesaplanmıştır.

Başta suda çözünebilir kuru madde miktarı

Hasat sonrası bitkilerin baş kısımlarından örnekler alınmış ve bu örneklerden elde edilen ekstraktların suda çözünebilir kuru madde miktarı (%) refraktometre cihazı ile ölçülerek belirlenmiştir.

Başta kuru madde oranı

Büyüme periyodunun sonunda hasat alanından toplanan başların her uygulamadan rastgele seçilen örneklerin kuru madde oranı yüzde (%) olarak belirlenmiştir. Kuru madde miktarını tespit etmek amacıyla örneklerin yaş ağırlıkları hassas terazi kullanılarak ölçülmüş,

ardından 65-70°C'ye ayarlandıktan sonra etüvde ağırlık sabitlenene kadar kurutulmuş ve son ağırlıkları tespit edilmiştir. İşlem sonucunda elde edilen yaş ve kuru ağırlıklar aşağıda verilen formül kullanılarak % kuru madde miktarı hesaplanmıştır (Kılıç vd. 1991).

$$\text{Kuru Madde Miktarı (\%)} = \frac{\text{Kuru Ağırlık}}{\text{Yaş Ağırlık}} \times 100$$

Baş rengi L, hue⁰ açısı ve chroma değeri

Hasat esnasında her parsel üzerinden hasat alanından her bitkiden 5 tane baş seçilerek Konica Minolta CR-400 renk ölçüsü yardımıyla baş rengi L*, a* ve b* değerleri ölçülmüştür. Burada L*, 0 ila 100 arasında değişen bir değere sahip açıklığı temsil eder ve rengin siyahtan beyaza doğru olduğunu göstermektedir; a* ve b* değerleri renk kromasını belirlemektedir; burada +a* kırmızıyı, -a* yeşili, +b* sarıyı, -b* mavi rengi ve değerlerin büyüklüğü renk tonunun yoğunluğunu göstermektedir.

Ölçülen a* ve b* değerlerinden yararlanarak $\tan^{-1} [b/a]$ formülü ile baş Hue⁰ açısı değeri elde edilmiştir. Rengin algılanmasındaki temel bileşenler ise kırmızı, sarı, mavi ve yeşil renkleridir. Hue değeri renk niteliğini ifade etmektedir (Bozokalfa ve Eşiyok 2006).

Ölçülen a* ve b* değerlerinden yararlanarak $\sqrt{(a^2 + b^2)}$ formülü ile baş kroma değeri elde edilmiştir. Kroma değeri parlaklığı ifade etmektedir Şekil 11 (Bozokalfa ve Eşiyok 2006).



Şekil 11. Baş renginin ölçümünden genel görünüm (Orijinal)

Yaprak sayısı

Periyodun sonunda, her parselin merkezinden seçilen 8 bitkinin yaprakları ayrı ayrı sayılmış ve elde edilen veriler kaydedilmiştir. Bu değerlerin ortalaması alınarak bitki başına yaprak sayısı (adet/bitki) tespit edilmiştir.

Yaprak rengi L, hue⁰ açığı ve chroma değerleri

Hasat esnasında her parsel üzerinden hasat alanından her bitkiden 5 tane yaprak seçilerek Konica Minolta CR-400 renk ölçüsü yardımıyla yaprak rengi L*, a* ve b* değerleri ölçülmüştür. Burada L*, 0 ila 100 arasında değişen bir değere sahip açıklığı temsil eder ve rengin siyahtan beyaza doğru olduğunu göstermektedir; a* ve b* değerleri renk kromasını belirlemektedir; burada +a* kırmızıyı, -a* yeşili, +b* sarıyı, -b* mavi rengi ve değerlerin büyüklüğü renk tonunun yoğunluğunu göstermektedir.

Ölçülen a* ve b* değerlerinden yararlanarak $\tan^{-1} [b/a]$ formülü ile yaprak Hue⁰ açığı değeri elde edilmiştir. Rengin algılanmasındaki temel bileşenler ise kırmızı, sarı, mavi ve yeşil renkleridir. Hue değeri renk niteliğini ifade etmektedir (Bozokalfa ve Eşiyok 2006).

Ölçülen a* ve b* değerlerinden yararlanarak $\sqrt{(a^2 + b^2)}$ formülü ile yaprak chroma değeri elde edilmiştir. Chroma değeri parlaklığı ifade etmektedir (Bozokalfa ve Eşiyok 2006).

Klorofil değeri

Bitkilerdeki klorofil miktarları, dikimden sonra üç farklı zamanda ölçülmüştür: birinci okuma 30. günde, ikinci okuma 60. günde ve üçüncü okuma hasat döneminde gerçekleştirilmiştir. Her ölçümde, hasat alanındaki üç yaprak seçilerek Konica Minolta SPAD-502 Plus klorofil ölçer cihaz yardımıyla gerçekleştirilmiştir (Şekil 12).



Şekil 12. Klorofil değeri ölçümünden genel görüntü (Orijinal)

Verim Değerlerinin belirlenmesi

Toplam verim

Parsellerin orta bölümünde bulunan 8 bitkiden hasat edilen Brüksel lahanası başlarının ağırlıkları belirlenmiş ve bu değerlere ait ortalama alınarak toplam verim kg da^{-1} olarak ifade edilmiştir.

Pazarlanabilir verim

Her parselin orta bölümünde bulunan 8 bitkiden elde edilen Brüksel lahanası başları arasından pazarlanabilir nitelikte olanlar seçilmiş ve bunların ağırlıkları ölçülmüştür. Ölçülen değerlerin ortalaması alınarak pazarlanabilir verim kg da⁻¹ cinsinden hesaplanmıştır.

Azot Kullanım Etkinliğinin belirlenmesi

Dobermann (2007) tarafından belirtilen yöntemle göre azot kullanım etkinliği (AKE) aşağıdaki formüle göre belirlenmiştir;

$$AKE = \frac{Y - Y_0}{F}$$

F: Gübre Miktarı (kg da⁻¹)

Y₀: Azot Olmaksızın Verim (kg da⁻¹)

Y: Gübre Dozundaki Verim (kg da⁻¹)

Yaprakta Makro-Mikro Besin Elementi Miktarlarının Belirlenmesi

Makro ve mikro elementlerin (K, P, Ca, Fe, Mg, Cu, Mn, S, Zn, Mo, B) analizinde kullanılmak üzere bitki örnekleri önce kurutulmuş, ardından 1 mm çapındaki elekten geçirilerek öğütülmüştür. Hazırlanan bu örnekler kül fırınına yerleştirilmiş, sıcaklık kademeli olarak 550 °C'ye çıkarılmış ve örnekler yaklaşık 8 saat boyunca bu sıcaklıkta, gümüş gri renk alana dek yakılmıştır. Kül haline gelen örnekler 4 ml 3 N HCl eklenmiş, ardından Whatman filtre kâğıdı kullanılarak süzülüş ve ultra saf su ile seyreltilerek analiz için hazır hale getirilmiştir. Element analizleri Thermo Scientific ICAP-Qc marka ICP-MS cihazında gerçekleştirilmiştir. Öte yandan bitki örneklerindeki toplam azot (N) miktarı, salisilik-sülfürik asitle yaş yakma işlemine tabi tutularak, mikro Kjeldahl yöntemiyle belirlenmiştir (Thomas 1982).

Enzim ve Diğer Aktivite Tayinleri

Enzimlerin ekstraksiyonu için, 0,5 g Brüksel lahanası taze baş yaprağı bir havana yerleştirilmiş, ardından üzerine sıvı nitrojen eklenerek toz haline getirilmiştir. Daha sonra 5 mL soğuk homojenize çözelti (%1 PVP ve 1 mM EDTA içeren 0,1 M 41 KH₂PO₄ pH: 7,0) ilave edilmiş ve karışım bir santrifüj tüpüne aktarılmıştır. Ardından 15 dakika +4 °C'de ısıtılmış ve 15.000 x g'de santrifüjlenmiştir. Santrifüjleme işlemi sonrası oluşan süpernatant, antioksidan enzimlerin aktivitesinin ölçümünde faydalanılmıştır (Angelini and Federico 1989; Angelini *et al.* 1990).

Katalaz (CAT) aktivite tayini

Katalaz aktivitesini belirlemek üzere Lück (1965)'e dayanarak Havir and Mchale (1987) tarafından uygulanan yöntemden yararlanılmıştır. Aktivitenin bu şekilde ölçülmesi, CAT aktivitesinin ölçümü için ortamda bulunan H_2O_2 'nin O_2 ve H_2O 'ya dönüştürülmesi sırasında 240 nm'de absorbanstaki azalmanın gözlemlenmesine dayanmaktadır (Havir and Mchale 1987). Reaksiyonda indirgenen H_2O_2 miktarının belirlenmesinde kullanılacak standart H_2O_2 grafiği daha önce hazırlanmıştır. Bu amaçla sırasıyla 0,15 - 0,3 - 0,45 - 0,6 - 0,75 - 0,9 - 1,05 - 1,2 - 1,35 ve 1,5 mL 5 mM H_2O_2 çözeltisi 3 mL'lik spektrofotometre tüpüne ilave edilmiştir. Tüp hacmi 1,5 mL'ye saf su ile tamamlanmış ve her tüpe 1,475 mL 103 mM KH_2PO_4 ve 30 μ L su eklenmiştir. Küvetin spektrofotometreye yerleştirilmesi sonrası 240 nm'de vakuma karşı absorbans düşüşü 15 saniye aralıklarla 3 dakika boyunca okunmuş ve absorbans değerlerine karşılık gelen μ M H_2O_2 değerleri kullanılarak standart bir grafik elde edilmiştir. Ekstraktı ölçmek için 3 mL spektrofotometre küvetine 1.475 mL 103 mM KH_2PO_4 substrat çözeltisi ve 1.5 mL 40 mM H_2O_2 substrat çözeltisi yerleştirilmiş ve ardından 12.5 μ L enzim ekstraktı eklenmiştir. Küvetin spektrofotometreye yerleştirilmesinden ardından 240 nm'deki absorbans düşüşü, 3 dakika boyunca 1 dakikalık aralıklarla köre karşı okunmuş ve ölçümlerde absorbansın doğrusal olarak azaldığı aralıktan dakikadaki absorbans düşüşü hesaplanmıştır. Bu ortalama absorbans değerleri standart bir grafik yardımıyla mikrometre cinsinden H_2O_2 'ye dönüştürülmüştür. 25 °C'de 1 dakikada absorbansı 1 μ M azaltan enzim miktarı bir enzim ünitesi olarak kabul edilmiş ve sonuçlar gram yaprak başına enzim ünitesi (Eu/g yaprak) olarak belirlenmiştir (Gong *et al.* 2001).

Peroksidaz (POX) aktivite tayini

Peroksidaz enzim aktivitesi, Quesada *et al.* (1992) tarafından önerilen metoda göre belirlenmiştir. Reaksiyon karışımı, 50 mM potasyum fosfat tamponu (pH 7.0), 50 μ L protein ekstraktı, 10 mM hidrojen peroksit (H_2O_2) ve %0,02 dianizidin içermektedir. Reaksiyon sırasında, örneklerin 460 nm dalga boyundaki absorbans değişimleri 1,5 dakika süreyle ölçülmüştür. Enzim aktivitesi, Quesada *et al.* (1992) tarafından tanımlanan yöntem doğrultusunda hesaplanmıştır. Bu yöntemde göre, 1 enzim ünitesi, 1 μ mol H_2O_2 'nin oksidasyonu için gerekli olan enzim miktarını ifade etmektedir.

Süperoksit dismutaz (SOD) aktivite tayini

Ekstraksiyon işlemi, Angelini *et al.* (1990) ve Angelini and Federico (1989) tarafından önerilen yöntemlere göre gerçekleştirilmiştir. SOD aktivitesi nitro blue tetrazoliumun fotokimyasal indirgenmesinin inhibisyonuyla belirlenmiştir. Bu aktivite spektrofotometrik

olarak 560 nm'de ölçülmüştür. Sonuçlar, her bir enzim aktivitesinin yaprak başına enzim birimi (EU/g yaprak) cinsinden ifade edilen değerleri olarak sunulmuştur (Havir and Mchale 1987; Angelini *et al.* 1990; Gong *et al.* 2001; Agarwal and Pandey 2004; Yordanova *et al.* 2004).

Glutasyon redüktaz (GR) aktivite tayini

Glutasyon redüktaz enzim aktivitesi, Eker vd (2006) tarafından önerilen yöntem esas alınarak analiz edilmiştir. Reaksiyon karışımı, 0.12 mM NADPH, 0.5 mM okside glutasyon (GSSG), 0.1 mM EDTA, 50 mM potasyum fosfat tamponu (pH 7.0), ve 50 µL protein ekstraktından oluşmuştur. Reaksiyon sırasında, örneklerin 340 nm dalga boyunda 3 dakika boyunca absorbans değişimleri kaydedilmiştir. Enzim aktivitesi hesaplamaları, Carlberg and Mannervik (1975) tarafından tanımlanan yöntemle yapılmıştır. Buna göre, 1 enzim ünitesi, 1 µmol NADPH'nin dakikada oksidasyonu için gerekli enzim miktarını ifade etmektedir ve bu değer gram taze ağırlık (gr) bazında sunulmuştur.

Askorbat peroksidaz (APX) aktivite tayini

Reaksiyon karışımı, 2 mL hacimde hazırlanmış olup, 50 mM potasyum fosfat tamponu (pH oranı 7.0), 0.5 mM askorbik asit, 1 mM Na₂EDTA, 0.1 mM H₂O₂ ve 50 µL enzim ekstraktı içermektedir. Askorbik asit oksidasyonu, enzim ekstraktının reaksiyon karışımına eklenmesiyle başlatılmış ve reaksiyon, 3 dakika süreyle takip edilmiştir. Absorbansın doğrusal olarak artış gösterdiği bölüm 1 dakikalık süreye karşılık gelmiştir. 25 °C'de 1 dakikada absorbans değerini 0.01 artıran enzim miktarı, 1 enzim birimi (EU) olarak kabul edilmiştir ve elde edilen sonuçlar, yaprak başına enzim birimi (EU/g yaprak) cinsinden ifade edilmiştir (Nakano and Asada 1981).

Glutamin redüktaz aktivite tayini

Glutamin redüktaz aktivitesinin tayini, Farnden and Robertson (1980) tarafından geliştirilen yöntem temel alınarak bazı modifikasyonlarla gerçekleştirilmiştir. Reaksiyon karışımı, her bir test tüpüne sırasıyla 0.6 mL 25 mM Tris-HCl (pH: 7.0), 0.2 mL 30 mM ATP, 0.2 mL 500 mM MgSO₄ ve 0.2 mL 50 mM L-glutamat eklenmiş ve ardından 0.5 mL süpernatant ilave edilmiştir. Reaksiyon başlatmak için, aynı tüplere 1:1 oranında karıştırılmış 1 M NH₂OH·HCl ve 1 M NaOH çözeltisinden 0.2 mL eklenmiştir. Tüpler, 30 dakika 30 °C sıcaklıkta inkübe edilmiştir. İnkübasyon sürecinin ardından reaksiyonu sonlandırmak amacıyla, %10 FeCl₂, %24 TCA ve %50 HCl içeren karışımın 1:1:1 oranında hazırlanmış çözeltisinden 0.5 mL eklenmiştir. Ardından, tüpler 10 dakika süreyle 7.000 g'da santrifüj edilmiştir. Elde edilen örneklerin absorbans değerleri, 540 nm dalga boyunda Novaspec II (LKB Biochrom) cihazı ile ölçülmüştür.

Glutamat redüktaz aktivite tayini

Glutamat sentaz (GOGAT) enzim aktivitesinin belirlenmesinde Rachina and Nicholas (1985) tarafından açıklanan metot kullanılmıştır. 50 mM sodyum-fosfat tamponu içerisinde α -oksanotarik asit, glutamin ve NADH eklendikten sonra örnek ekstraktı konulmuştur. Karışım santrifüjlendikten sonra 340 nm'deki absorbanı takip edilmiştir.

Hidrojen peroksit (H₂O₂) aktivite tayini

Hidrojen peroksit (H₂O₂) oranını belirlemek için, 250 μ L süpernatant, 250 μ L 100 mM Tris-HCl tamponu ve 500 μ L 1 M potasyum iyodür (KI) ile karıştırılarak 90 dakika boyunca oda sıcaklığında, karanlık ortamda inkübe edilmiştir. İnkübasyon süresinin sonunda, örneklerden 200 μ L alınarak, 390 nm dalga boyundaki absorbanı değerleri ölçülmüştür (Sergiev *et al.* 1997).

Malondialdehit (MDA) miktarı tayini

Lipoproteinlerdeki MDA düzeyleri oksidasyon sonrasında tiobarbitürik asit (TBARS) yöntemiyle belirlenmiştir. Örneklerdeki MDA düzeyleri 1,1,3,3-tetrametoksipropan standartları dikkate alınarak 532 nm'de spektrofotometri ile belirlenmiştir (Yaghi *et al.* 1995).

Prolin miktarının belirlenmesi

Bitki örneklerinden alınan 0,25 g yaş yaprak numunesi havanda %3'lük 5 ml (w/v) 5-sülfosalisilik asit ile ekstrakt işlemine tabi tutulmuştur. Prolin içeren örnekler, ekstraksiyon işlemi için uygun tüplere aktarılmıştır. Tüpler, santrifüj cihazında 6000 g kuvvetinde ve 25°C'de 5 dakika boyunca santrifüj edilmiştir. Santrifüj sonrasında elde edilen süpernatanttan 1 ml alınmıştır. 1 ml asidik ninhidrin ve 1 ml glasiyal asetik asit, örnek bulunan test tüpüne eklenip karıştırılmıştır. 100°C'de sıcaklığa sahip su banyosunda test tüpleri 1 saat bekletilmiştir. Isıl işlemden sonra test tüpleri 1 dakika boyunca buz içerisinde bekletilmiştir. Bu işlem reaksiyonu durdurmak ve örnekleri soğutmak içindir. Karışıma 4 ml toluen eklenmiştir. Toluene eklenerek oluşan karışım, prolinin toluen içinde çözünmesine yardımcı olmaktadır. Karışım, 30 saniye boyunca bir karıştırıcıda çalkalanmıştır. Karışımdan alınan bir örneğin absorbanı prolin miktarının tespit edilmesi için, spektrofotometrede 520 nm dalga boyunda okunmuştur. Farklı yoğunluklarda prolin içeren çözeltilere aynı işlemler uygulanmış ve bir standart eğri oluşturulmuştur. Son olarak prolin içeriği örneklerdeki prolin miktarının, oluşturulan standart eğriye göre hesaplandığı belirtilmiştir (Bates *et al.* 1973).

Sakkaroz miktarının belirlenmesi

Sakkaroz ($C_{12}H_{22}O_{11}$) konsantrasyonu, kurutulmuş ve öğütülmüş örneklerde belirtilen metod kullanılarak ölçülmüştür (Chopra and Mieghem 2000).

Başta Tespit Edilen Organik Asit Miktarları

Organik asitlerin analitik analizinde, 15,6 μ M oksalik asit, 66,6 μ M tartarik asit, 74,6 μ M L-malik asit, 96 μ M malonik asit, 5,7 μ M askorbik asit, 1,7 μ M maleik asit, 95,1 μ M sitrik asit ve 1,7 μ M fumarik asit içeren standart bir organik asit karışımı referans olarak kullanılmıştır. Bu standart çözeltiler hazırlandıktan sonra, her bir bileşenin pik noktaları Shimadzu LC-20 AT model HPLC cihazı ile LC Solutions yazılımı aracılığıyla belirlenmiştir. Analiz için, 20 gram örnek tartılmış ve üzerine 100 mL ultra saf su ilave edilmiştir. Homojenizasyon işlemi sonrasında elde edilen süspansiyon santrifüjlenmiş ve üst fazdaki berrak süpernatant, filtre kağıdından süzülerek analiz için hazırlanmıştır. Elde edilen bu örnekler, 40 °C kolondan geçen ve 0,35 mL/dk akış hızında çalışan sistemde, 215 nm dalga boyunda değerlendirilmiştir.

İstatistiksel Analiz

Araştırmada, elde edilen verilere ait varyans analizleri 1 çeşit, 2 bakteri formülasyonu (BF-1 ve BF-2), 1 organik tavuk gübresi ve 3 azot dozu olmak üzere $1 \times 2 \times 1 \times 3$ faktöriyel düzende tam şansa bağlı deneme deneme planı'na göre 3 tekrarlı olarak değerlendirilmiştir. Varyans analizleri sonucu önemli bulunan uygulamalar arasındaki fark duncan çoklu karşılaştırma testi kullanılarak tespit edilmiştir.

ARAŞTIRMA BULGULARI

Toprakta Tespit Edilen Bakteri Popülasyonları

Bu araştırma, 2022 ve 2023 yılları arasında tarla koşullarında Atatürk Üniversitesi Bitkisel Üretim Uygulama ve Araştırma Merkezi Müdürlüğü'ne ait 4 no'lu deneme alanında PGPR (BF-1 ve BF-2), farklı dozlarda azot ve organik tavuk gübrelere ayrı ayrı ve birbirleri ile farklı kombinasyonlarının Brüksel lahanası üzerine etkileri araştırılmıştır. Araştırma sonunda, şansa bağlı olarak alınan örneklerden aşağıda belirtilen parametreler incelenmiş ve araştırma bulgularında paylaşılmıştır.

Araştırmada farklı azot dozları, organik tavuk gübresi ve bakteri uygulamalarının Brüksel lahanasının rizosferinde gerçekleştirilen periyodik bakteri popülasyonu sayımlarından elde edilen verilere ilişkin varyans analizi sonuçları ile ortalama değerler sırasıyla Tablo 5 ve Tablo 6'da sunulmuştur.

Varyans analizi sonuçlarına göre yıl (Y), uygulama (U) ve yıl \times uygulama (Y \times U) faktörlerinin bakteri popülasyonu üzerinde istatistiksel olarak $p < 0,01$ düzeyinde önemli olduğu tespit edilmiştir (Tablo 5).

Tablo 5. Topraktaki Bakteri Popülasyonlarına Ait Varyans Analiz Sonuçları

Varyasyon Kaynağı	SD	KT	F
2022-2023			
Yıl (Y)	1	62069,33	2581,333**
Uygulama (U)	10	31965,82	132,939**
Y x U	10	21583,33	89,761**
Hata	44	1058	
Genel	65	116676,5	

** : %1 seviyesinde önemlidir.

Araştırmada, BF-1 ve BF-2 uygulamalarında, kontrole göre karşılaştırıldığında iki yılda da bakteri popülasyonunun da artışlar görülmüş ve bu durum bakterilerin etkinlikleri arasındaki farkı ortaya koymuştur. Bununla birlikte, BF-1 ve BF-2'nin OTG 400 kg da⁻¹ ile kombinasyonunda bakteri popülasyonları üzerine birinci yıldaki etkisi sınırlı kalmasına rağmen ikinci yılda oldukça yüksek bir artış sağlamıştır. Ayrıca, BF-1 ve BF-2'nin azotlu gübrenin farklı dozlarda (20, 30, 40 kg da⁻¹) uygulamaları ve OTG 400 kg da⁻¹ ile yapılan kombinasyonlarında bakteri popülasyonlarında kontrole ve diğer uygulamalara kıyasla daha belirgin artışlar sağladığı tespit edilmiştir. Nitekim, 2022 yılındaki bakteri popülasyonu en düşük $6,33 \times 10^5$ cfu/ml ile kontrolden elde edilirken, en yüksek $57,33 \times 10^5$ cfu/ml ile 40 kg N

da⁻¹ + BF-1+ OTG 400 kg da⁻¹ uygulamasından elde edilmiştir. Bununla birlikte, 2023 yılında en yüksek bakteri popülasyonu 143,00 x10⁵ cfu/ml ile 30 kg N da⁻¹ + BF-2 + OTG 400 kg da⁻¹ uygulamasında tespit edilmiştir. Ayrıca bu değer, araştırmada tespit edilen en yüksek bakteri popülasyonu olmuştur. Bunu sırasıyla, 2023 yılında yapılan 40 kg N da⁻¹ + BF-1+ OTG 400 kg da⁻¹ (122,00 x10⁵ cfu/ml) ve 20 kg N da⁻¹ + BF-1 + OTG 400 kg da⁻¹ (120,67 x10⁵ cfu/ml) uygulamaları takip etmiştir (Tablo 6).

Araştırmada, bakteri popülasyonunun yıllara ve uygulamalara göre değişiklik göstermesiyle birlikte uygulamaların bakteri popülasyonu üzerine etkisinin istatistiki olarak önemli olduğu (p≤0.05) tespit edilmiştir. Nitekim, bakteri popülasyonu 6,33 ile 143,00 x10⁵ cfu/ml arasında değişmiştir. Bunlara ek olarak, 30 kg N da⁻¹ + BF-1 + OTG 400 kg da⁻¹ (35,00 x10⁵ cfu/ml) uygulaması hariç diğer uygulamaların tamamında 2023 yılında belirlenen bakteri popülasyonunun 2022 yılına göre daha yüksek olduğu belirlenmiştir (Tablo 6).

Tablo 6. Topraktaki Bakteri Popülasyonları (x10⁵ cfu/ml)

UYGULAMA	2022	2023	Yıl Ortalama
Kontrol	6,33 F*	42,67 FG*	24,50 H*
BF-1	11,33 FE	50,33 EF	30,83 FG
BF-2	8,33 FE	42,33 FG	25,33 GH
BF-1 + OTG 400 kg da⁻¹	10,00 FE	105,33 CD	57,67 D
BF-2 + OTG 400 kg da⁻¹	26,33 CD	112,33 BC	69,33 C
40 kg N da⁻¹ + BF-1 + OTG 400 kg da⁻¹	57,33 A	122,00 B	89,67 A
30 kg N da⁻¹ + BF-1 + OTG 400 kg da⁻¹	35,33 B	35,00 G	35,17 F
20 kg N da⁻¹ + BF-1 + OTG 400 kg da⁻¹	14,00 E	120,67 B	67,33 C
40 kg N da⁻¹ + BF-2 + OTG 400 kg da⁻¹	29,67 C	55,00 E	42,33 E
30 kg N da⁻¹ + BF-2 + OTG 400 kg da⁻¹	22,00 D	143,00 A	82,50 B
20 kg N da⁻¹ + BF-2 + OTG 400 kg da⁻¹	30,67 CB	97,33 D	64,00 C
ORTALAMA	22,85	84,18	

*: Sütunda aynı harfle gösterilen ortalamalar arasındaki fark %5 seviyesinde önemlidir.

Yıl ortalama üzerine yapılan incelemede en düşük bakteri popülasyonu 24,50 x10⁵ cfu/ml ile kontrol uygulamasında tespit edilirken, bunu sırasıyla 25,33 x10⁵ cfu/ml ile BF-2 ve 30,83 x10⁵ cfu/ml ile BF-1 uygulamaları takip etmiştir. Ancak N, BF ve OTG'nin uygun dozlarda birlikte kombine edilmesiyle bakteri popülasyonunda ciddi artışların olduğu gözlemlenmiştir. Nitekim, en yüksek bakteri popülasyonları 40 kg N da⁻¹ + BF-1+ OTG 400 kg da⁻¹(89,67 x10⁵ cfu/ml), uygulamasında, bunu30 kg N da⁻¹ + BF-2 + OTG 400 kg da⁻¹ (82,50 x10⁵ cfu/ml) ve BF-2 + OTG 400 kg da⁻¹ (69,33 x10⁵ cfu/ml) uygulamaların takip etmiştir (Tablo 6).

Tespit Edilen Bitki, Baş ve Yaprak Özellikleri

Bitki boyu (cm)

Araştırmada, Brüksel lahanasında azot, organik tavuk gübresi ve bakteri uygulamaları ile bunların kombinasyonlarının bitki boyu üzerine etkisini gösteren varyans analiz sonuçları Tablo 7’de verilmiştir. Ayrıca, ortalamalara ait istatistik sonuçları Tablo 8’de gösterilmiştir.

Tablo 7’de yıl (Y), uygulama (U) ve yıl × uygulama (Y × U) faktörlerinin incelenen parametrede istatistiksel olarak $p < 0,01$ düzeyinde önemli olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 7. Farklı Azot Dozları, PGPR Formülasyonları ve Organik Tavuk Gübresinin Brüksel Lahanası Bitki Boyuna Etkisine Ait Varyans Analizi Sonuçları

Varyasyon Kaynağı	SD	KT	F
2022-2023			
Yıl (Y)	1	3513,481	7949,324**
Uygulama (U)	17	5477,722	729,027**
Y x U	17	982,935	130,818**
Hata	72	31,823	
Genel	107	10005,96	

** : %1 seviyesinde önemlidir.

Araştırmada, uygulamalara göre bitki boyları arasındaki farkların istatistiki olarak $p \leq 0,05$ düzeyinde önemli olduğu tespit edilmiştir. Denemenin birinci yılında (2022) en kısa bitki boyu OTG 400 kg da⁻¹ (38,50 cm) uygulamasında olurken, bunu kontrol (38,63 cm), BF-1 (39,17 cm) ve BF-2 (39,21 cm) uygulamaları takip etmiştir. Ek olarak, ikinci yılda (2023) ise 37,38 cm ile en kısa bitki boyu kontrol uygulamasında belirlenmiştir (Tablo 8).

Araştırmada BF-1 ve BF-2’de kontrole göre iki yılda da bitki boyunda artışlar görülmüştür. Ancak bu artışlar düşük seviyelerde kalmıştır. Benzer şekilde, sadece OTG 400 kg da⁻¹ uygulamasında da bitki boyunda önemli değişimlerin olmadığı belirlenmiştir.

Bunların yanı sıra farklı konsantrasyonlarda ki (20, 30, 40 kg da⁻¹) sadece azot uygulamalarına gelindiğinde ise kontrole göre bitki boylarında her iki yılda da belirgin artışlar görülerek, 30 kg N da⁻¹’da 2022 ve 2023 yıllarında sırasıyla 48,21 cm ve 65,38 cm ile 20 ve 40 kg N da⁻¹’e göre daha yüksek sonuçlar tespit edilmiştir (Tablo 8).

BF-1 ve BF-2’nin sadece OTG 400 kg da⁻¹ ile yapılan kombinasyonunda belirlenen bitki boyları farklı dozlardaki sadece azot uygulamasına kıyasla düşük kaldığı ancak kontrole göre artışlar olduğu bulunmuştur. Ek olarak, BF-1 + OTG 400 kg da⁻¹ uygulamasında BF-2 + OTG 400 kg da⁻¹ uygulamasına göre iki yılda da daha yüksek bitki boyu tespit edilmiştir.

Tablo 8. Farklı Azot Dozları, PGPR Formülasyonları ve Organik Tavuk Gübresinin Brüksel Lahanasında Bitki Boyu Üzerine Etkisi (cm)

UYGULAMA	2022	2023	Yıl Ortalama
Kontrol	38,63 İ*	37,38 K*	38,00 L*
BF-1	39,17 İ	45,46 İ	42,31 J
BF-2	39,21, İ	42,13 J	40,67 K
OTG 400 kg da⁻¹	38,50 İ	41,54 J	40,02 K
40 kg N da⁻¹	47,04 EFG	63,75 DE	55,40 E
30 kg N da⁻¹	48,21 DE	65,38 C	56,79 CD
20 kg N da⁻¹	42,67 I	59,08 G	50,88 H
BF-1+ OTG 400 kg da⁻¹	42,25 I	47,71 I	44,98 I
BF-2+ OTG 400 kg da⁻¹	41,96 I	45,29 İ	43,63 İ
40 kg N da⁻¹ + BF-1+ OTG 400 kg da⁻¹	52,79 A	70,13 A	61,46 A
30 kg N da⁻¹ + BF-1+ OTG 400 kg da⁻¹	50,29 BC	63,71 DE	57,00 C
20 kg N da⁻¹ + BF-1+ OTG 400 kg da⁻¹	46,67 FG	61,79 F	54,23 F
40 kg N da⁻¹ + BF-2+ OTG 400 kg da⁻¹	51,46 B	68,50 B	59,98 B
30 kg N da⁻¹ + BF-2+ OTG 400 kg da⁻¹	49,04 DC	63,04 E	56,4 DE
20 kg N da⁻¹ + BF-2+ OTG 400 kg da⁻¹	46,17 G	61,08 F	53,63 FG
40 kg N da⁻¹ + OTG 400 kg da⁻¹	47,63 EF	64,38 D	56,00 DE
30 kg N da⁻¹ + OTG 400 kg da⁻¹	46,54 FG	59,58 G	53,06 G
20 kg N da⁻¹ + OTG 400 kg da⁻¹	44,42 H	58,04 H	51,23 H
ORTALAMA	45,15	56,55	

*: Sütunda aynı harfle gösterilen ortalamalar arasındaki fark %5 seviyesinde önemlidir.

BF-1 ve BF-2'nin farklı dozlarda (20, 30, 40 kg da⁻¹) azot ve OTG 400 kg da⁻¹ ile yapılan kombinasyonlarında belirlenen bitki boyları diğer uygulamaların tamamına göre en yüksek seviyelere ulaşmasıyla beraber BF-1 ile yapılan kombinasyonda pik değere ulaşmıştır. Nitekim, en uzun bitki boyu denemenin iki yılında da 40 kg N da⁻¹ + BF-1+ OTG 400 kg da⁻¹ uygulamasında tespit edilirken, birinci yılda 52,79 cm ve ikinci yılda ise 70,13 cm olarak kaydedilmiştir (Tablo 8).

Araştırmada 20, 30 ve 40 kg da⁻¹ azot + OTG 400 kg da⁻¹ ile yapılan kombinasyondaki bitki boylarının BF-1 ve BF-2 ile yapılan kombinasyona kıyasla düşük kaldığı ama kontrole kıyasla ciddi artışlar sağladığı tespit edilmiştir.

Tablo 8'deki yıl ortalama incelendiğinde en kısa bitki boyu kontrol (38,00 cm), BF-2 (40,67 cm) ve OTG 400 kg da⁻¹ (40,02 cm) uygulamalarında tespit edilmiştir. En uzun bitki boyu ise 40 kg N da⁻¹ + BF-1+ OTG 400 kg da⁻¹ (61,46 cm) uygulamasında belirlenmiştir. Bunu sırasıyla 40 kg N da⁻¹ + BF-2 + OTG 400 kg da⁻¹ (59,98 cm) ve 30 kg N da⁻¹ + BF-1 + OTG 400 kg da⁻¹ (57,00 cm) uygulamaları takip etmiştir.

Bu sonuçlar, BF-1/BF-2 + azot + organik tavuk gübresi kombinasyonunda bakterilerin etkin rol oynadığını, aralarında pozitif yönde etki olduğunu ve BF-1'in BF-2'ye göre etkinliğinin daha fazla olduğu belirlenmiştir.

Baş uzunluğu (mm)

Araştırmada, farklı azot dozları, organik tavuk gübresi ve PGPR uygulamaların baş uzunluğuna etkisini gösteren varyans analiz sonuçları Tablo 9'da baş uzunluğu üzerine ortalamalara ait veriler Tablo 10'da verilmiştir.

Varyans analizi sonuçlarına göre yıl (Y), uygulama (U) ve yıl \times uygulama (Y \times U) interaksiyonlarının baş uzunluğu üzerinde istatistiksel olarak $p < 0,01$ düzeyinde önemli olduğu tespit edilmiştir (Tablo 9).

Tablo 9. Farklı Azot Dozları, PGPR Formülasyonları ve Organik Tavuk Gübresinin Brüksel Lahanasında Baş Uzunluğu Üzerine Etkisini Gösteren Varyans Analiz Sonuçları

Varyasyon Kaynağı	SD	KT	F
2022-2023			
Yıl (Y)	1	587,497	595,576**
Uygulama (U)	17	1920,145	114,503**
Y x U	17	147,989	8,825**
Hata	72	71,023	
Genel	107	194004,191	

** : %1 seviyesinde önemlidir.

Araştırmada, baş uzunluğu üzerine uygulamalar arasındaki fark istatistiksel olarak $p < 0,05$ düzeyinde önemli olduğu tespit edilmiştir.

Yıllara göre değerlendirme yapıldığında iki yılda da en düşük baş uzunlukları kontrollerden (2022'de 33,60 mm ve 2023'te 36,44 mm) elde edilmiştir. Uygulama yapılmaya başlanmasıyla ve uygulama türüne göre baş uzunluklarında artışlar olmaya başlamıştır. Bununla birlikte, yıllara göre de baş uzunluklarında değişiklikler tespit edilmiştir. Nitekim, 2023 yılında (ortalama 44,42 mm) belirlenen baş uzunlukları 2022 yılına (ortalama 39,75 mm) kıyasla belirgin şekilde daha yüksek bulunmuştur.

Araştırmada iki yılda ayrı ayrı yapılan inceleme sonucunda, PGPR (BF-1 ve BF-2)'nin baş uzunluğu üzerine pozitif etki yaptığı ve bu etki BF-1'de BF-2'ye göre daha yüksek olduğu yıl ortalamasında görülmüştür (BF-1 ve BF-2 sırasıyla 38,31 mm ve 37,23 mm). Ayrıca, sadece OTG 400 kg da⁻¹ uygulamasında da 36,14 mm ile kontrole kıyasla baş uzunluğunda artışlar görülmüştür. Ancak, bu uygulamalardan elde edilen baş uzunluğu değerleri diğer uygulamaların gerisinde kaldığı yıl ortalaması incelendiğinde görülecektir. Nitekim yıl ortalaması üzerine yapılan incelemede, 20, 30, 40 kg da⁻¹ dozlarındaki N (azot) uygulamasının yapıldığı denemede en yüksek

baş uzunluğu 40 kg N da⁻¹ uygulamasında (45,94 mm) elde edilirken, BF-1 ve BF-2'nin sadece OTG 400 kg da⁻¹ ile yapılan kombinasyonundaki baş uzunlukları sırasıyla 39,61 mm ve 38,24 mm olarak tespit edilmiştir (Tablo 10).

Tablo 10. Farklı Azot Dozları, PGPR Formülasyonları ve Organik Tavuk Gübresinin Brüksel Lahanasında Baş Uzunluğu Üzerine Etkisi (mm)

UYGULAMA	2022	2023	Yıl Ortalama
Kontrol	33,60 İ*	36,44 İ*	35,02 İ*
BF-1	36,19 I	40,42 H	38,31 G
BF-2	35,51 I	38,95 H	37,23 GH
OTG 400 kg da⁻¹	33,73 İ	38,55 HI	36,14 HI
40 kg N da⁻¹	40,34 E	51,55 A	45,94 C
30 kg N da⁻¹	37,64 GH	43,40 F	40,52 F
20 kg N da⁻¹	37,44 H	42,78 FG	40,11 F
BF-1+ OTG 400 kg da⁻¹	38,41 FG	40,82 GH	39,61 F
BF-2+ OTG 400 kg da⁻¹	37,13 H	39,36 H	38,24 G
40 kg N da⁻¹ + BF-1+ OTG 400 kg da⁻¹	48,82 A	50,33 AB	49,57 A
30 kg N da⁻¹ + BF-1+ OTG 400 kg da⁻¹	45,59 BC	48,51 B-D	47,05 BC
20 kg N da⁻¹ + BF-1+ OTG 400 kg da⁻¹	41,15 E	46,71 DE	43,93 D
40 kg N da⁻¹ + BF-2+ OTG 400 kg da⁻¹	46,22 B	49,50 A-C	47,86 B
30 kg N da⁻¹ + BF-2+ OTG 400 kg da⁻¹	44,95 C	47,49 CD	46,22 C
20 kg N da⁻¹ + BF-2+ OTG 400 kg da⁻¹	38,86 F	47,23 CD	43,04 D
40 kg N da⁻¹ + OTG 400 kg da⁻¹	43,13 D	49,33 A-C	46,23 C
30 kg N da⁻¹ + OTG 400 kg da⁻¹	39,07 F	44,63 EF	41,85 E
20 kg N da⁻¹ + OTG 400 kg da⁻¹	37,76 GH	43,51 F	40,64 F
ORTALAMA	39,75	44,42	

*: Sütunda aynı harfle gösterilen ortalamalar arasındaki fark %5 seviyesinde önemlidir.

BF-1 ve BF-2'nin farklı dozlarda (20, 30, 40 kg da⁻¹) azot ve OTG 400 kg da⁻¹ kombinasyonları ile yapılan uygulamalarda belirlenen baş uzunlukları diğer uygulamalara göre daha yüksek çıktığı tespit edilmiştir. Ayrıca, BF-1 ile yapılan bu kombinasyonlardaki baş uzunlukları da BF-2 ile yapılan kombinasyona istinaden daha başarılı sonuçlar alınmıştır. Nitekim, en yüksek baş uzunluğu değeri 49,57 mm (yıl ortalama) ile 40 kg N da⁻¹ + BF-1+ OTG 400 kg da⁻¹ uygulamasında tespit edilmiştir (Tablo 10).

Araştırmada, azot (20, 30 ve 40 kg da⁻¹) + organik tavuk gübresi (400 kg da⁻¹) ile yapılan kombinasyondaki baş uzunlukları BF-1 ve BF-2 ile yapılan kombinasyona kıyasla yüksek kalmasına rağmen her iki yılda da kontrollere göre baş uzunluklarında artışa neden olmuştur.

Baş çapı (mm)

Araştırmada, farklı azot dozları (20, 30 ve 40 kg N da⁻¹), organik tavuk gübresi (400 kg da⁻¹) ve PGPR (BF-1 ve BF-2) uygulamalarının ayrı ayrı veya birlikte kombinlerinin baş çapı üzerine etkisini gösteren varyans analiz sonuçları Tablo 11'de, baş çapı üzerine ortalamalara ait sonuçlar ise Tablo 12'de sunulmuştur. Baş çapına ait varyans analizi sonuçlarına göre, yıl (Y)

ve uygulama (U) faktörlerinin istatistiksel olarak %1 seviyesinde önemli olduğu, Y × U faktörünün ise önemsiz olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 11. Farklı Azot Dozları, PGPR Formülasyonları ve Organik Tavuk Gübresinin Brüksel Lahanasında Baş Çapı Üzerine Etkisini Gösteren Varyans Analiz Sonuçları

Varyasyon Kaynağı	SD	KT	F
2022-2023			
Yıl (Y)	1	654,982	120,963**
Uygulama (U)	17	2310,44	25,1**
Y x U	17	117,555	1,277 ^{NS}
Hata	72	389,859	
Genel	107	100117,727	

** : %1 seviyesinde önemlidir. NS: %5 seviyesinde önemli değildir.

Araştırmada, baş çapı üzerine uygulamalar arasındaki fark istatistiksel olarak $p < 0,05$ düzeyinde önemli olduğu tespit edilerek, en düşük baş çapları 2022’de 20,63 mm ve 2023’te 24,67 mm ile kontrollerden elde edilmiştir. En yüksek baş çapları ise 2022’de 37,19 mm ile 40 kg N da⁻¹ + BF-1+ OTG 400 kg da⁻¹ uygulamasında tespit edilirken, 2023’te 40,46 mm ile yine aynı uygulamada ve 39,55 mm ile 40 kg N da⁻¹ + BF-2+ OTG 400 kg da⁻¹ uygulamasında tespit edilmiştir. Ancak, belirtilen uygulamalar arasındaki istatistiksel farklar yıllara göre anlamlı olsa da yıl ortalamalarının benzer düzeyde olduğu Tablo 12 incelendiğinde görülmektedir.

Tablo 12. Farklı Azot Dozları, PGPR Formülasyonları ve Organik Tavuk Gübresinin Brüksel Lahanasında Baş Çapı Üzerine Etkisi (mm)

UYGULAMA	2022	2023	Yıl Ortalama
Kontrol	20,63 L*	24,67 G*	22,65 Jİ*
BF-1	23,31 J	26,86 EFG	25,08 H-J
BF-2	22,25 K	31,30 C-F	26,77 GHI
OTG 400 kg da⁻¹	21,53 KL	25,75 FG	23,64 İJ
40 kg N da⁻¹	28,60 EF	29,58 D-G	29,09 D-G
30 kg N da⁻¹	26,34 HI	31,28 C-F	28,81 EFG
20 kg N da⁻¹	25,51 I	30,46 C-G	27,99 FGH
BF-1+ OTG 400 kg da⁻¹	24,34 İ	27,12 EFG	25,73 Hİİ
BF-2+ OTG 400 kg da⁻¹	23,45 İJ	26,54 EFG	24,99 İİJ
40 kg N da⁻¹ + BF-1+ OTG 400 kg da⁻¹	37,19 A	40,46 A	38,82 A
30 kg N da⁻¹ + BF-1+ OTG 400 kg da⁻¹	33,55 C	38,55 AB	36,05 AB
20 kg N da⁻¹ + BF-1+ OTG 400 kg da⁻¹	28,76 E	38,13 AB	33,44 BC
40 kg N da⁻¹ + BF-2+ OTG 400 kg da⁻¹	35,42 B	39,55 A	37,49 A
30 kg N da⁻¹ + BF-2+ OTG 400 kg da⁻¹	31,91 D	36,53 ABC	34,22 BC
20 kg N da⁻¹ + BF-2+ OTG 400 kg da⁻¹	27,45 G	35,57 A-D	31,51 CDE
40 kg N da⁻¹ + OTG 400 kg da⁻¹	29,33 E	34,59 A-D	31,96 CD
30 kg N da⁻¹ + OTG 400 kg da⁻¹	27,65 FG	33,39 BCD	30,52 DEF
20 kg N da⁻¹ + OTG 400 kg da⁻¹	26,93 GH	32,44 B-E	29,68 D-G
ORTALAMA	27,45	32,38	

*: Sütunda aynı harfle gösterilen ortalamalar arasındaki fark %5 seviyesinde önemlidir.

Baş çapı üzerine yapılan incelemede, yıl ortalamasında BF-2’de belirlenen değer BF-1’e göre daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Nitekim, BF-1 ve BF-2’de tespit edilen baş çapları

sırasıyla 25,08 mm ve 26,77 mm olarak tespit edilmiştir. Bu sonuç sadece PGPR uygulaması yapıldığında BF-2'nin baş çapına etkisinin BF-1'e göre daha etkin rol oynadığını göstermiştir. Bunlara ek olarak, tek başına OTG 400 kg da⁻¹ uygulamasında yıl ortalamasında belirlenen baş çapının (23,64 mm) BF-1 ve BF-2 uygulamalarına istinaden daha düşük kaldığı ancak kontrole kıyasla daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

Araştırmada, azotun 20, 30, 40 kg da⁻¹ uygulandığı 2022 yılında en yüksek baş çapı 28,60 mm ile 40 kg da⁻¹'den, 2023 yılında ise 31,28 mm ile 30 kg da⁻¹'den elde edilmiştir. Ancak, yıl ortalamasında en yüksek baş çapı 29,09 mm ile 40 kg da⁻¹ uygulamasında tespit edilmiştir. Buna ek olarak, BF-1 ve BF-2'nin OTG 400 kg da⁻¹ ile kombinasyonu sonucunda belirlenen baş çapları yıl ortalamasında sırasıyla 25,73 mm ve 24,99 mm olarak tespit edilmiştir.

OTG 400 kg da⁻¹ + BF-1/BF-2 ve 20, 30, 40 kg da⁻¹ dozlarında uygulanan azot kombinasyonlarında tespit edilen baş çaplarının diğer uygulamalara göre daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Nitekim, yıl ortalaması incelendiğinde 40 kg N da⁻¹ + BF-1+ OTG 400 kg da⁻¹ ve 40 kg N da⁻¹ + BF-2+ OTG 400 kg da⁻¹ 'deki baş çaplarının sırasıyla 38,82 mm ve 37,49 mm olduğu görülecektir. Bununla birlikte, kombinasyondaki azot miktarı düştükçe baş çaplarının azaldığı da yıl ortalaması incelendiğinde görülmektedir.

Azotun 20, 30 ve 40 kg da⁻¹ dozları ile ayrı ayrı kombine edilen 400 kg da⁻¹ organik tavuk gübresi uygulamalarında belirlenen baş çapı BF-1 ve BF-2 ile ayrı ayrı yapılan azot ve organik tavuk gübresi kombinasyonlarına göre düşüşler görülmüştür. Ancak, her iki yılda ve yıl ortalamasında görüldüğü üzere kontrollere göre baş çaplarını pozitif etkileyerek artırmıştır (Tablo 12).

Baş sayısı (adet da⁻¹)

Araştırmada 20, 30 ve 40 kg N da⁻¹, 400 kg da⁻¹ organik tavuk gübresi ve PGPR (BF-1 ve BF-2)'nin kombineli veya kombine edilmeden yapılan uygulamalarında Brüksel lahanasında baş sayısı (adet da⁻¹) üzerine etkisini gösteren varyans analiz sonuçları Tablo 13'te verilmiştir. Bununla birlikte, uygulamalara göre baş sayısı ortalamalarına ait sonuçlar Tablo 14'te sunulmuştur.

Araştırmada, tüm faktörlerin yıl (Y), uygulama (U) ve yıl × uygulama (Y × U) istatistiksel farkların %1 seviyesinde önemli olduğu tespit edilmiştir (Tablo 13).

Uygulamalar arasında belirlenen istatistiksel farkların %5 düzeyinde önemli olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, daha önceki belirlenen parametrelerde olduğu gibi yıllar arasında da baş sayısında değişiklik görülmüş ve 2023 yılında diğer yıla (2022) göre baş sayısında artışlar tespit edilmiştir. Nitekim, Tablo 14'te yıllardaki ortalamalar incelendiğinde 2022 yılında 88033,82

adet da⁻¹ olan ortalama baş sayısı 2023 yılında 110176,90 adet da⁻¹ olduğu gözlemlenmiştir. Bunlara ek olarak araştırmada, en düşük baş sayısı iki yılda da kontrollerde tespit edilmiştir. Nitekim, 2022 yılındaki kontrol uygulamasında belirlenen baş sayısı 53954,08 adet da⁻¹, 2023 yılında ise 63392,86 adet da⁻¹ olarak belirlenmiştir.

Tablo 13. Farklı Azot Dozları, PGPR Formülasyonları ve Organik Tavuk Gübresinin Brüksel Lahanasında Baş Sayısı Üzerine Etkisini Gösteren Varyans Analiz Sonuçları

Varyasyon Kaynağı	SD	KT	F
2022-2023			
Yıl (Y)	1	13238547742	176,66**
Uygulama (U)	17	72491416947	56,903**
Y x U	17	6403451875	5,026**
Hata	72	5395546452	
Genel	107	1158291422356,57	

** : %1 seviyesinde önemlidir.

Araştırmada, BF-1 ve BF-2 ile yapılan denemede kontrole göre iki yılda da baş sayısında artışlar görülmüştür. BF-1 uygulamasının yapıldığı 2022 yılında 65327,38 adet da⁻¹ olan baş sayısının BF-2’de 59821,43 adet da⁻¹ olduğu tespit edilmiştir. Bununla birlikte, 2023 yılında BF-1’de 79017,86 adet da⁻¹ olan baş sayısı BF-2’de 76190,48 adet da⁻¹ olduğu tespit edilmiştir. Bu veriler doğrultusunda BF-1’in BF-2’ye göre etkinliği bir kez daha görülmüştür. Benzer şekilde, sadece OTG 400 kg da⁻¹ yapılan uygulamada da baş sayısında kontrole göre önemli artışlar tespit edilmiş ve baş sayısı 2022 yılında 60416,67 adet da⁻¹, 2023’te 72470,24 adet da⁻¹ olarak kaydedilmiştir. Bunların yanı sıra 20, 30, 40 kg da⁻¹ oranlarında sadece azot uygulamalarına gelindiğinde ise kontrole göre baş sayılarında her iki yılda da belirgin artışlar tespit edilmiştir. Nitekim, 2022 yılında en fazla baş sayısı 91517,86 adet da⁻¹ ile 30 kg N da⁻¹ uygulamasında, 2023 yılında ise 119494,00 adet da⁻¹ ile 40 kg N da⁻¹ uygulamasında belirlenmiştir (Tablo 14).

BF-1 ve BF-2’nin OTG 400 kg da⁻¹ ile beraber uygulandığında belirlenen baş sayılarında, azot uygulamasına (20, 30 ve 40 kg da⁻¹) kıyasla azalmalar görülürken, kontrole göre artışlar olduğu tespit edilmiştir. Ek olarak, BF-1 + OTG 400 kg da⁻¹ uygulamasında BF-2 + OTG 400 kg da⁻¹ uygulamasına göre iki yılda da daha fazla baş sayısı tespit edilmiştir. Bu doğrultuda yapılan incelemede, 2022 ve 2023 yılları BF-1 + OTG 400 kg da⁻¹ uygulaması sırasıyla 76636,90 adet da⁻¹ ve 89880,95 adet da⁻¹ olduğu belirlenmiştir.

BF-1 ve BF-2’nin 20, 30, 40 kg da⁻¹ dozlarında N ve 400 kg da⁻¹ dozunda OTG ile entegre edilmiş uygulamalarda kaydedilen baş sayıları denemenin iki yılında da diğer uygulamalara göre daha yüksek çıktığı bulunmuştur. Nitekim, birinci yılda 144047,60 adet da⁻¹ 30 kg N da⁻¹ + BF-1+ OTG 400 kg da⁻¹ uygulamasında, ikinci yılda 169642,90 adet da⁻¹ ile

40 kg N da⁻¹ + BF-1+ OTG 400 kg da⁻¹ uygulamasında en yüksek baş sayıları tespit edilmiştir. Ek olarak, 169642,90 adet da⁻¹ ile 40 kg N da⁻¹ + BF-1+ OTG 400 kg da⁻¹ uygulamasında elde edilen baş sayısı araştırmada kaydedilen en yüksek baş sayısı olarak belirlenmiştir.

Tablo 14. Farklı Azot Dozları, PGPR Formülasyonları ve Organik Tavuk Gübresinin Brüksel Lahanasında Baş Sayısına Etkisi (bitki başına adet da⁻¹)

UYGULAMA	2022	2023	Yıl Ortalama
Kontrol	53954,08 L*	63392,86 H*	58673,47 H*
BF-1	65327,38 JK	79017,86 GH	72172,62 FG
BF-2	59821,43 KL	76190,48 GH	68005,95 GH
OTG 400 kg da⁻¹	60416,67 KL	72470,24 GH	66443,45 GH
40 kg N da⁻¹	86755,95 FG	119494,00 DE	103125,00 CD
30 kg N da⁻¹	91517,86 F	103869,00 EF	97693,45 D
20 kg N da⁻¹	74107,14 İİ	85267,86 FG	79687,50 EF
BF-1+ OTG 400 kg da⁻¹	76636,90 HI	89880,95 FG	83258,93 E
BF-2+ OTG 400 kg da⁻¹	68750,00 İJ	83184,52 GH	75967,26 EFG
40 kg N da⁻¹ + BF-1+ OTG 400 kg da⁻¹	120386,90 C	169642,90 A	145014,90 A
30 kg N da⁻¹ + BF-1+ OTG 400 kg da⁻¹	144047,60A	144047,60 B	144047,60 A
20 kg N da⁻¹ + BF-1+ OTG 400 kg da⁻¹	83184,52 GH	125595,20 BCD	104389,90 CD
40 kg N da⁻¹ + BF-2+ OTG 400 kg da⁻¹	112797,60 D	141517,90 BC	127157,70 B
30 kg N da⁻¹ + BF-2+ OTG 400 kg da⁻¹	134375,00 B	132589,30 BCD	133482,10 B
20 kg N da⁻¹ + BF-2+ OTG 400 kg da⁻¹	80059,52 GHI	126934,50 BD	103497,00 CD
40 kg N da⁻¹ + OTG 400 kg da⁻¹	94047,62 F	131994,00 BCD	113020,80 C
30 kg N da⁻¹ + OTG 400 kg da⁻¹	101934,50 E	121726,20 CDE	111830,40 C
20 kg N da⁻¹ + OTG 400 kg da⁻¹	76488,10 HI	116369,00 DE	96428,57 D
ORTALAMA	88033,82	110176,90	

*: Sütunda aynı harfle gösterilen ortalamalar arasındaki fark %5 seviyesinde önemlidir.

Araştırmada 20, 30 ve 40 kg da⁻¹ N + 400 kg da⁻¹ OTG'nin kombinasyondaki baş sayılarında BF-1 ve BF-2 ile yapılan kombinasyonla karşılaştırıldığında azalmalar görülürken, kontrol ile kıyaslandığında önemli artışlar tespit edilmiştir.

Bu verilerden yararlanarak, uygulama dozlarına göre N + OTG ve BF-1/BF-2 ile yapılan kombinasyonların kontrol ile karşılaştırıldığında baş sayısına etkisi diğer uygulamalara göre oldukça yüksek bir etki yaptığı belirlenmiş ve bu kombinasyonların baş sayısı üzerine pozitif yönde etki yarattığı tespit edilmiştir. Bununla birlikte, BF-1 ile yapılan N+OTG kombinasyonunun BF-2 ile yapılan N+ OTG kombinasyonuna göre baş sayısını artırmak için daha etkili bir kombinasyon olduğu tespit edilmiştir.

Baş ağırlığı (gr/adet)

Araştırmada, farklı azot dozları, organik tavuk gübresi ve PGPR uygulamalarının baş ağırlığı üzerine etkisini ortaya koyan varyans analizi sonuçları Tablo 15'te verilmiştir. Ayrıca, uygulamaların ortalamalarına ait istatistik bulgular ise Tablo 16'da gösterilmiştir.

Varyans analizi sonuçlarına göre yıl (Y), uygulama (U) ve yıl × uygulama (Y × U) etkileşimlerinin baş ağırlığı üzerinde istatistiksel olarak %1 düzeyinde anlamlı olduğu tespit edilmiştir (Tablo 15).

Tablo 15. Farklı Azot Dozları, PGPR Formülasyonları ve Organik Tavuk Gübresinin Brüksel Lahanasında Baş Ağırlığı Üzerine Etkisini Gösteren Varyans Analiz Sonuçları

Varyasyon Kaynağı	SD	KT	F
2022-2023			
Yıl (Y)	1	21,094	1068,502**
Uygulama (U)	17	1054,668	3142,556**
Y x U	17	13,915	41,463**
Hata	72	1,421	
Genel	107	12528,434	

** : %1 seviyesinde önemlidir.

İki yılın ortalamasına göre en düşük baş ağırlığı kontrol uygulamasında (5,07 gr/adet) belirlenmiştir. Bununla birlikte, kontrole göre diğer uygulamalarda baş ağırlığında dikkate değer artışlar sağlandığı tespit edilmiştir.

BF-1 ve BF-2 uygulamalarının yıl ortalamaları incelendiğinde, kontrole göre baş ağırlığında artışlar görülerek sırasıyla 6,24 gr/adet ve 5,95 gr/adet olduğu tespit edilmiştir. Ancak, sadece OTG 400 kg da⁻¹ uygulamasında kontrole göre 5,60 gr/adet ile sınırlı bir artış görülmüştür.

Tablo 16. Farklı Azot Dozları, PGPR Formülasyonları ve Organik Tavuk Gübresinin Brüksel Lahanasında Baş Ağırlığı Üzerine Etkisi (gr/adet)

UYGULAMA	2022	2023	Yıl Ortalama
Kontrol	4,99 N*	5,15 N*	5,07 M*
BF-1	6,02 K	6,46 K	6,24 J
BF-2	5,74 L	6,16 L	5,95 K
OTG 400 kg da⁻¹	5,43 M	5,78 M	5,60 L
40 kg N da⁻¹	11,63 E	13,18 EF	12,41 D
30 kg N da⁻¹	11,91 E	11,27 I	11,59 F
20 kg N da⁻¹	10,05 I	10,29 İ	10,17 H
BF-1+ OTG 400 kg da⁻¹	6,79 İ	6,95 J	6,87 I
BF-2+ OTG 400 kg da⁻¹	6,43 J	6,72 J	6,58 İ
40 kg N da⁻¹ + BF-1+ OTG 400 kg da⁻¹	12,66 B	14,39 A	13,53 A
30 kg N da⁻¹ + BF-1+ OTG 400 kg da⁻¹	13,14 A	14,06 B	13,60 A
20 kg N da⁻¹ + BF-1+ OTG 400 kg da⁻¹	11,01 G	13,02 F	12,02 E
40 kg N da⁻¹ + BF-2+ OTG 400 kg da⁻¹	12,46 BC	14,22 AB	13,34 B
30 kg N da⁻¹ + BF-2+ OTG 400 kg da⁻¹	12,92 A	13,78 C	13,35 B
20 kg N da⁻¹ + BF-2+ OTG 400 kg da⁻¹	11,20 G	12,74 G	11,97 E
40 kg N da⁻¹ + OTG 400 kg da⁻¹	12,11 DE	13,53 D	12,82 C
30 kg N da⁻¹ + OTG 400 kg da⁻¹	12,26 CD	13,35 DE	12,81 C
20 kg N da⁻¹ + OTG 400 kg da⁻¹	10,53 H	12,13 H	11,33 G
ORTALAMA	9,849	10,733	

*: Sütunda aynı harfle gösterilen ortalamalar arasındaki fark %5 seviyesinde önemlidir.

Özellikle azot uygulamaları tek başına ele alındığında, 40 kg N da⁻¹ dozunda 12,41 gr/adet ile en yüksek değer elde edilmiştir. Ancak, asıl dikkat çeken sonuçlar, azot, OTG ve PGPR uygulamalarının kombinasyonlarında ortaya çıkmıştır.

Yıl ortalamaları değerlendirildiğinde, en yüksek baş ağırlığı sırasıyla 30 kg da⁻¹ azot + BF-1 + OTG 400 kg da⁻¹ azot (13,60 gr/adet), 40 kg da⁻¹ azot + BF-1 + OTG 400 kg da⁻¹ (13,53 gr/adet), 30 kg da⁻¹ azot + BF-2 + OTG 400 kg da⁻¹ (13,35 gr/adet), 40 kg da⁻¹ azot + BF-2 + OTG 400 kg da⁻¹ (13,34 gr/adet) uygulamalarında elde edilmiştir.

Bu sonuçlar, baş ağırlığı açısından en etkili kombinasyonların özellikle 30 ve 40 kg da⁻¹ azot dozlarında ve PGPR (BF-1) ile OTG uygulamalarının olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, N + OTG kombinasyonlarının da 40 kg da⁻¹ N+ OTG (12,82 gr/adet) olumlu etkiler gösterdiği; ancak PGPR'li kombinasyonlara göre daha düşük düzeylerde kaldığı belirlenmiştir. Bu durum, bakterilerin etkisini ve özellikle BF-1 bakterisinin BF-2'ye kıyasla daha etkili olduğunu ortaya koymaktadır (Tablo 16).

Gövde çapı (mm)

Araştırmada, Brüksel lahanasında azot, organik tavuk gübresi ve bakteri uygulamaları ile bunların kombinasyonlarının gövde çapı üzerine etkisini gösteren varyans analiz sonuçları Tablo 17'de verilmiştir. Ayrıca, ortalamalara ait istatistik sonuçları Tablo 18'de gösterilmiştir.

Tablo 17'de görüldüğü üzere yıl (Y), uygulama (U) ve yıl × uygulama (Y × U) interaksiyonu gövde çapı üzerinde istatistiksel olarak p≤0,01 düzeyinde önemli bulunmuştur.

Tablo 17. Farklı Azot Dozları, PGPR Formülasyonları ve Organik Tavuk Gübresinin Brüksel Lahanasında Gövde Çapı Üzerine Etkisini Gösteren Varyans Analiz Sonuçları

Varyasyon Kaynağı	SD	KT	F
2022-2023			
Yıl (Y)	1	19,325	33,857**
Uygulama (U)	17	2096,178	216,027**
Y x U	17	78,679	8,108**
Hata	72	41,096	
Genel	107	67566,84	

** : %1 seviyesinde önemlidir.

Araştırmada, uygulamalara göre gövde çapları arasındaki farkların istatistiki olarak p≤0,05 düzeyinde önemli olduğu tespit edilmiştir. Araştırmanın birinci yılında (2022) en düşük gövde çapı kontrol (17,87 mm) uygulamasında olurken, bunu OTG 400 kg da⁻¹ (18,68 mm), BF-2 (19,46 mm) ve BF-2 (20,55 mm) uygulamaları takip etmiştir. Ek olarak, ikinci yılda (2023) ise 17,15 mm ile en düşük gövde çapı yine kontrol uygulamasında belirlenmiştir (Tablo 18).

Araştırmada BF-1 ve BF-2’de kontrole göre iki yılda da gövde çapında artışlar görülmüştür. Benzer şekilde, sadece OTG 400 kg da⁻¹ uygulamasında da kontrole göre gövde çapında artışlar görülmüş ancak bu artışlar her ikisinde de düşük seviyede kalmıştır. Farklı konsantrasyonlardaki (20, 30, 40 kg da⁻¹) sadece azot uygulamalarına gelindiğinde ise kontrole göre gövde çaplarında her iki yılda da belirgin artışlar görülmüş, özellikle 40 kg N da⁻¹ uygulamasında 2022 ve 2023 yıllarında sırasıyla 26,60 mm ve 26,32 mm ile bu uygulamalardaki en yüksek değerler elde edilmiştir.

BF-1 ve BF-2’nin sadece OTG 400 kg da⁻¹ ile yapılan kombinasyonunda belirlenen gövde çapı değerleri, farklı dozlardaki sadece azot uygulamasına kıyasla düşük kalmış; ancak kontrole göre anlamlı artışlar olduğu bulunmuştur. Ayrıca, BF-1 + OTG 400 kg da⁻¹ uygulamasında BF-2 + OTG 400 kg da⁻¹ uygulamasına göre her iki yılda da daha yüksek gövde çapı değerleri belirlenmiştir (BF-1 + OTG 400 kg da⁻¹ sırasıyla 21,63 mm ve 21,02 mm). BF-1 ve BF-2’nin farklı dozlarda (20, 30, 40 kg da⁻¹) azot ve OTG 400 kg da⁻¹ ile yapılan kombinasyonlarında belirlenen gövde çapı değerleri diğer uygulamaların tamamına göre en yüksek seviyelere ulaşmıştır. Bu kombinasyonlardan en yüksek gövde çapı değeri, 2022 yılında 40 kg N da⁻¹ + BF-2+ OTG 400 kg da⁻¹ uygulamasında (30,46 mm) ve 40 kg N da⁻¹ + BF-1+ OTG 400 kg da⁻¹ (29,91 mm), uygulamasında tespit edilmiş; ikinci yılda ise 40 kg N da⁻¹ + BF-1+ OTG 400 kg da⁻¹ uygulamasında (34,80 mm) olarak kaydedilmiştir (Tablo 18).

Tablo 18. Farklı Azot Dozları, PGPR Formülasyonları ve Organik Tavuk Gübresinin Brüksel Lahanasında Gövde Çapı Üzerine Etkisi (mm)

UYGULAMA	2022	2023	Yıl Ortalama
Kontrol	17,87 J*	17,15 İİ*	17,51 M*
BF-1	20,55 H	20,44 GH	20,50 İJ
BF-2	19,46 İİ	19,20 HI	19,33 K
OTG 400 kg da⁻¹	18,68 İJ	18,19 İİ	18,43 L
40 kg N da⁻¹	26,60 D	26,32 E	26,46 F
30 kg N da⁻¹	23,31 F	22,29 F	22,80 H
20 kg N da⁻¹	21,83 G	21,5 FG	21,74 I
BF-1+ OTG 400 kg da⁻¹	21,63 G	21,02 FG	21,33 İİ
BF-2+ OTG 400 kg da⁻¹	20,25 HI	20,41 GH	20,33 J
40 kg N da⁻¹ + BF-1+ OTG 400 kg da⁻¹	29,91 A	34,80 A	32,35 A
30 kg N da⁻¹ + BF-1+ OTG 400 kg da⁻¹	28,99 B	31,05 B	30,02 B
20 kg N da⁻¹ + BF-1+ OTG 400 kg da⁻¹	26,70 D	26,49 DE	26,60 F
40 kg N da⁻¹ + BF-2+ OTG 400 kg da⁻¹	30,46 A	31,93 B	31,19 B
30 kg N da⁻¹ + BF-2+ OTG 400 kg da⁻¹	27,12 CD	31,02 B	29,07 D
20 kg N da⁻¹ + BF-2+ OTG 400 kg da⁻¹	24,74 E	28,40 C	26,57 F
40 kg N da⁻¹ + OTG 400 kg da⁻¹	27,80 C	27,99 CD	27,90 E
30 kg N da⁻¹ + OTG 400 kg da⁻¹	24,65 E	25,84 E	25,25 G
20 kg N da⁻¹ + OTG 400 kg da⁻¹	24,57 E	26,15 E	25,36 G
ORTALAMA	24,17	25,02	

*: Sütunda aynı harfle gösterilen ortalamalar arasındaki fark %5 seviyesinde önemlidir.

Araştırmada, 20, 30 ve 40 kg da⁻¹ azot + OTG 400 kg da⁻¹ kombinasyonlarıyla elde edilen gövde çaplarının, BF-1 ve BF-2 ile yapılan kombinasyonlara göre daha düşük olduğu, ancak kontrol uygulamasına kıyasla anlamlı artışlar sağladığı tespit edilmiştir.

Başta suda çözünebilir kuru madde miktarı (%SÇKM)

Araştırmada 20, 30 ve 40 kg N da⁻¹, 400 kg da⁻¹ organik tavuk gübresi ve PGPR (BF-1 ve BF-2)'nin kombineli veya kombine edilmeden yapılan uygulamaların başta suda çözünebilir kuru madde miktarı üzerine etkisini gösteren varyans analiz sonuçları Tablo 19'da gösterilmiştir. Ayrıca, başta suda çözünebilir kuru madde miktarı ortalamalara ait sonuçlar Tablo 20'de paylaşılmıştır

Varyans analiz sonuçlarından elde edilen verilere göre, yıl (Y) faktörlerinin istatistiksel olarak %1 seviyesinde önemli olduğu, uygulama (U) ve yıl × uygulama Y × U faktörünün ise önemsiz olduğu tespit edilmiştir (Tablo 19).

Tablo 19. Farklı Azot Dozları, PGPR Formülasyonları ve Organik Tavuk Gübresinin Brüksel Lahanasında %SÇKM Üzerine Etkisini Gösteren Varyans Analiz Sonuçları

Varyasyon Kaynağı	SD	KT	F
2022-2023			
Yıl (Y)	1	25,037	20,496**
Uygulama (U)	17	26,927	1,297 ^{NS}
Y x U	17	23,593	1,136 ^{NS}
Hata	72	87,953	
Genel	107	11584,18	

** : %1 seviyesinde önemlidir. NS: %5 seviyesinde önemsizdir.

Araştırmada, uygulamalar arasında ve yıl x uygulama göre başta suda çözünebilir kuru madde miktarlarında (%) önemli değişiklik tespit edilmemiştir.

Brüksel lahanasının başlarından elde edilen SÇKM (%) oranı 2022 yılında %10,03 (BF-1+ OTG 400 kg da⁻¹) ile %11,17 (40 kg N da⁻¹ + BF-1+ OTG 400 kg da⁻¹) arasında değişmiştir. Ancak, 2023 yılındaki SÇKM (%) oranlarında farkların olduğu en düşük %6,60 (40 kg N da⁻¹ + BF-2+ OTG 400 kg da⁻¹) ile en yüksek %10,87 (BF-2) arasında değiştiği belirlenmiştir. Bununla birlikte, 40 kg N da⁻¹ + BF-2+ OTG 400 kg da⁻¹ uygulaması hariç diğer uygulamaların tamamında belirlenen %'de SÇKM değerleri üzerine etkisinin 2022 yılında olduğu gibi 2023 yılında da istatistiksel olarak önemsiz olduğu tespit edilmiştir (Tablo 20).

Tablo 20. Farklı Azot Dozları, PGPR Formülasyonları ve Organik Tavuk Gübresinin Brüksel Lahanasında Başta Suda Çözülebilir Kuru Madde Miktarına Etkisi (% SÇKM)

UYGULAMA	2022	2023	Yıl Ortalama
Kontrol	10,67 ^{NS}	9,73 ^{NS}	10,20 A*
BF-1	10,37	9,97	10,17 A
BF-2	10,73	10,87	10,80 A
OTG 400 kg da⁻¹	10,57	9,80	10,18 A
40 kg N da⁻¹	10,83	10,03	10,43 A
30 kg N da⁻¹	10,93	9,20	10,07 A
20 kg N da⁻¹	11,10	10,50	10,80 A
BF-1+ OTG 400 kg da⁻¹	10,03	9,87	9,95 AB
BF-2+ OTG 400 kg da⁻¹	10,70	9,07	9,88 AB
40 kg N da⁻¹ + BF-1+ OTG 400 kg da⁻¹	11,17	9,37	10,27 A
30 kg N da⁻¹ + BF-1+ OTG 400 kg da⁻¹	10,93	10,40	10,67 A
20 kg N da⁻¹ + BF-1+ OTG 400 kg da⁻¹	10,93	9,40	10,17 A
40 kg N da⁻¹ + BF-2+ OTG 400 kg da⁻¹	10,63	6,60	8,62 B
30 kg N da⁻¹ + BF-2+ OTG 400 kg da⁻¹	11,03	10,60	10,82 A
20 kg N da⁻¹ + BF-2+ OTG 400 kg da⁻¹	10,23	10,27	10,25 A
40 kg N da⁻¹ + OTG 400 kg da⁻¹	10,97	9,97	10,47 A
30 kg N da⁻¹ + OTG 400 kg da⁻¹	10,80	10,47	10,63 A
20 kg N da⁻¹ + OTG 400 kg da⁻¹	11,13	10,33	10,73 A
ORTALAMA	10,77	9,80	

*: Sütunda aynı harfle gösterilen ortalamalar arasındaki fark %5 seviyesinde önemlidir. NS: %5 seviyesinde önemli değildir

Araştırmada, 2022 yılındaki ortalama değerlere göre suda çözünebilir kuru madde miktarı %10,77 olurken, 2023 yılında %9,80 olduğu tespit edilmiştir. Ek olarak, 2022 yılındaki suda çözünebilir kuru madde miktarları 2023 yılına göre daha yüksek çıkmıştır.

Yıl ortalamalar incelendiğinde en düşük suda çözünebilir kuru madde miktar %8,62 (ile 40 kg N da⁻¹ + BF-2+ OTG 400 kg da⁻¹ uygulamasında kaydedilmiştir. Ek olarak bunu %9,88 ile BF-2+ OTG 400 kg da⁻¹ ve %9,95 BF-1+ OTG 400 kg da⁻¹ uygulamaları takip etmiştir. Diğer uygulamalarda tespit edilen suda çözünebilir kuru madde miktarları belirtilen bu uygulamalara göre daha yüksek çıkmıştır. Ancak, aralarında farkların istatistiksel olarak önemsiz olduğu tespit edilmiştir.

Başta kuru madde oranı (%)

Araştırmada N (azot), OTG (organik tavuk gübresi) ve PGPR (BF-1 ve BF-2) uygulamalarının başta kuru madde oranı üzerine etkisini gösteren varyans analiz sonuçları Tablo 21’de, uygulama ortalamalara ait test sonuçları ise Tablo 22’de gösterilmiştir.

Tablo 21’de görüldüğü üzere yıl (Y) faktörlerinin istatistiksel olarak %1 seviyesinde önemli olduğu, diğer faktörlerin ise istatistiksel olarak önemsiz olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 21. Farklı Azot Dozları, PGPR Formülasyonları ve Organik Tavuk Gübresinin Brüksel Lahanasında Başta Kuru Madde Oranı Üzerine Etkisini Gösteren Varyans Analiz Sonuçları

Varyasyon Kaynağı	SD	KT	F
2022-2023			
Yıl (Y)	1	1283,682	206,367**
Uygulama (U)	17	18,475	0,175 ^{NS}
Y x U	17	18,524	0,175 ^{NS}
Hata	72	447,868	
Genel	107	37094,479	

** : %1 seviyesinde önemlidir, NS: %5 seviyesinde önemli değildir.

Başta belirlenen kuru madde oranları, 2023 yılında önceki yıla göre daha yüksek çıkarak en düşük %20,45 ile 20 kg N da⁻¹ + BF-1+ OTG 400 kg da⁻¹, en yüksek %22,68 ile OTG 400 kg da⁻¹ uygulamalarında belirlenmiştir. Nitekim, 2022 ve 2023 yıllarında başta kuru madde oranları üzerine ortalamalar incelendiğinde sırasıyla %14,64 ve %21,53 olduğu görülmüştür. Ancak, her yıl ve yıl ortalamasında kendi içinde değerlendirildiğinde uygulamalar arasında başta kuru madde oranlarında istatistiksel olarak önemli olmadığı tespit edilmiştir (Tablo 22).

Tablo 22. Farklı Azot Dozları, PGPR Formülasyonları ve Organik Tavuk Gübresinin Brüksel Lahanasında Başta Kuru Madde Oranına Etkisi (%)

UYGULAMA	2022	2023	Yıl Ortalama
Kontrol	13,90 ^{NS}	22,03 ^{NS}	17,96^{NS}
BF-1	15,33	20,86	18,09
BF-2	15,67	21,70	18,69
OTG 400 kg da⁻¹	15,22	22,68	18,95
40 kg N da⁻¹	14,93	21,65	18,29
30 kg N da⁻¹	14,07	21,18	17,63
20 kg N da⁻¹	13,99	20,79	17,39
BF-1+ OTG 400 kg da⁻¹	15,26	22,18	18,72
BF-2+ OTG 400 kg da⁻¹	14,64	22,26	18,45
40 kg N da⁻¹ + BF-1+ OTG 400 kg da⁻¹	14,31	22,33	18,32
30 kg N da⁻¹ + BF-1+ OTG 400 kg da⁻¹	14,59	21,11	17,85
20 kg N da⁻¹ + BF-1+ OTG 400 kg da⁻¹	15,08	20,45	17,76
40 kg N da⁻¹ + BF-2+ OTG 400 kg da⁻¹	14,68	20,48	17,58
30 kg N da⁻¹ + BF-2+ OTG 400 kg da⁻¹	14,11	22,34	18,22
20 kg N da⁻¹ + BF-2+ OTG 400 kg da⁻¹	14,19	21,67	17,93
40 kg N da⁻¹ + OTG 400 kg da⁻¹	14,10	21,27	17,69
30 kg N da⁻¹ + OTG 400 kg da⁻¹	14,72	21,38	18,05
20 kg N da⁻¹ + OTG 400 kg da⁻¹	14,69	21,25	17,97
ORTALAMA	14,64	21,53	

NS: %5 seviyesinde önemli değildir.

Tablo 22’te yer alan yıl ortalamaları incelendiğinde başta en düşük kuru madde oranı %17,39 ile 20 kg N da⁻¹, en yüksek %18,95 ile OTG 400 kg da⁻¹ uygulamasında tespit edilmiştir.

Baş rengi L değeri

Araştırmada azot, organik tavuk gübresi ve PGPR uygulamalarının baş rengi L değeri üzerine etkisini gösteren varyans analiz sonuçları Tablo 23'te gösterilmiştir. Ek olarak, uygulamalarının ortalamalarına ait sonuçlar Tablo 24'te paylaşılmıştır.

Tablo 23. Farklı Azot Dozları, PGPR Formülasyonları ve Organik Tavuk Gübresinin Brüksel Lahanasında Baş Rengi L Değeri Üzerine Etkisini Gösteren Varyans Analiz Sonuçları

Varyasyon Kaynağı	SD	KT	F
2022-2023			
Yıl (Y)	1	4,228	0,641 ^{NS}
Uygulama (U)	17	205,911	1,837*
Y x U	17	56,448	0,503 ^{NS}
Hata	72	474,858	
Genel	107	366277,5	

*: %5 seviyesinde önemlidir, NS: %5 seviyesinde önemli değildir.

Varyans analizinden elde edilen sonuçlara göre uygulama faktörünün, baş rengi L değeri üzerindeki etkisi istatistiksel olarak %5 düzeyinde önemli bulunmuştur. Diğer iki faktörün ise önemsiz olduğu tespit edilmiştir (Tablo 23).

Tablo 24. Farklı Azot Dozları, PGPR Formülasyonları ve Organik Tavuk Gübresinin Brüksel Lahanasında Baş Rengi L Değerine Etkisi

UYGULAMA	2022	2023	Yıl Ortalama
Kontrol	60,17 ^{NS}	60,30 A*	60,23 A*
BF-1	55,15	58,48 AC	56,81 AC
BF-2	59,37	60,04 A	59,71 A
OTG 400 kg da ⁻¹	60,44	60,07 A	60,25 A
40 kg N da ⁻¹	56,73	57,93 AC	57,33 AC
30 kg N da ⁻¹	57,72	56,77 BD	57,25 AC
20 kg N da ⁻¹	58,64	58,79 AC	58,72 AC
BF-1+ OTG 400 kg da ⁻¹	58,99	60,48 A	59,74 A
BF-2+ OTG 400 kg da ⁻¹	59,11	58,44 AC	58,77 AC
40 kg N da ⁻¹ + BF-1+ OTG 400 kg da ⁻¹	56,68	54,79 D	55,73 C
30 kg N da ⁻¹ + BF-1+ OTG 400 kg da ⁻¹	60,06	58,56 AC	59,31 AB
20 kg N da ⁻¹ + BF-1+ OTG 400 kg da ⁻¹	56,79	59,52 AB	58,15 AC
40 kg N da ⁻¹ + BF-2+ OTG 400 kg da ⁻¹	56,80	58,33 AC	57,57 AC
30 kg N da ⁻¹ + BF-2+ OTG 400 kg da ⁻¹	57,82	58,21 AC	58,01 AC
20 kg N da ⁻¹ + BF-2+ OTG 400 kg da ⁻¹	58,41	60,35 A	59,38 A
40 kg N da ⁻¹ + OTG 400 kg da ⁻¹	56,03	55,63 CD	55,83 BC
30 kg N da ⁻¹ + OTG 400 kg da ⁻¹	57,11	58,16 AC	57,63 AC
20 kg N da ⁻¹ + OTG 400 kg da ⁻¹	57,63	55,90 CD	56,76 AC
ORTALAMA	57,98	58,38	

*: Sütunda aynı harfle gösterilen ortalamalar arasındaki fark %5 seviyesinde önemlidir. NS: %5 seviyesinde önemli değildir.

Araştırmada, en düşük L değeri 2023 yılında 40 kg N da⁻¹ + BF-1+ OTG 400 kg da⁻¹ uygulamasında (54,79) belirlenirken, en yüksek yine aynı yılda ancak BF-1+ OTG 400 kg da⁻¹ uygulamasında (60,48) tespit edilmiştir. Aynı grupta yer alan diğer uygulamalar da

değerlendirmeye dahil edilmelidir. Bununla birlikte, araştırmada farklı dozlarda kullanılan N ve OTG kombinasyonlarındaki L değerleri, genel olarak diğer uygulamalara göre daha düşük bulunmuştur.

Uygulamalar arasındaki istatistiksel farklar incelendiğinde 2022 yılındaki uygulamalar arasında önem görülmemiş ve istatistiksel olarak aynı grupta yer almışlardır. Ancak 2023 yılındaki uygulamalar arasındaki istatistiksel farklar önemli çıkmıştır. Bununla birlikte, 2022 yılındaki uygulama ortalamalarının 2023 yılına göre daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Nitekim, 2022 yılında uygulamanın ortalamaları 57,98 olan L değeri, 2023 yılında 58,38 olarak kaydedilmiştir (Tablo 24).

Denemenin yıl ortalaması incelendiğinde L değerlerinin 55,73 (40 kg N da⁻¹ + BF-1+ OTG 400 kg da⁻¹) ile 60,25 (OTG 400 kg da⁻¹) arasında değiştiği belirlenmiştir (Tablo 24).

Baş rengi hue⁰ açısı değeri

Tablo 25'te 20, 30, 40 kg da⁻¹ miktarlarında kullanılan azotlu gübreye organik tavuk gübresi (OTG 400 kg da⁻¹) ve PGPR (BF-1 ve BF-2) uygulamalarının başlardaki hue⁰ açısı değeri üzerine etkisini gösterir varyans analiz sonuçları verilmiştir. Tablo 26'da ise uygulamaların ortalamalarına ait istatistik sonuçları gösterilmiştir.

Tablo 25. Farklı Azot Dozları, PGPR Formülasyonları ve Organik Tavuk Gübresinin Brüksel Lahanasında Baş Hue⁰ Açısı Değeri Üzerine Etkisini Gösteren Varyans Analiz Sonuçları

Varyasyon Kaynağı	SD	KT	F
2022-2023			
Yıl (Y)	1	891,834	97,526**
Uygulama (U)	17	162,050	1,042 ^{NS}
Y x U	17	154,119	0,991 ^{NS}
Hata	72	658,411	
Genel	107	1866,414	

** : %1 seviyesinde önemlidir. NS: %5 seviyesinde önemli değildir.

Tablo 25'teki verilere göre yıl (Y) faktörünün, başlardaki hue⁰ açısı değeri üzerinde istatistiksel olarak %1 seviyesinde önemli olduğu, diğer faktörlerin ise önemsiz olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 26'da 2022 yılındaki hue⁰ açısı değerlerinin 126,12 ve 129,46 arasında, 2023 yılında ise düşüşler görülerek 114,95 ile 126,20 arasında olduğu belirlenmiştir. Bu durum, baş renginin 2023 yılında genel olarak daha koyu tonlara kaydığını ve yıl etkisinin bu parametre üzerinde etkili olduğunu göstermiştir. Ayrıca, ortalama hue⁰ açısı değerleri 2022 yılında 127,85, 2023 yılında ise 122,11 olarak belirlenmiştir.

Tablo 26. Farklı Azot Dozları, PGPR Formülasyonları ve Organik Tavuk Gübresinin Brüksel Lahanasında Baş Rengi Hue⁰ Açı Değeri Üzerine Etkisi

UYGULAMA	2022	2023	Yıl Ortalama
Kontrol	127,44 ^{NS}	121,56 AB	124,50^{NS}
BF-1	127,38	122,19 AB	124,79
BF-2	128,37	114,95 AB	121,66
OTG 400 kg da⁻¹	127,16	119,43 AB	123,29
40 kg N da⁻¹	128,21	122,09 AB	125,15
30 kg N da⁻¹	127,83	123,42 A	125,62
20 kg N da⁻¹	128,05	121,83 AB	124,94
BF-1+ OTG 400 kg da⁻¹	127,98	124,70 A	126,34
BF-2+ OTG 400 kg da⁻¹	126,35	122,26 A	124,31
40 kg N da⁻¹ + BF-1+ OTG 400 kg da⁻¹	129,36	123,21 A	126,28
30 kg N da⁻¹ + BF-1+ OTG 400 kg da⁻¹	127,14	123,12 A	125,13
20 kg N da⁻¹ + BF-1+ OTG 400 kg da⁻¹	128,50	122,92 A	125,71
40 kg N da⁻¹ + BF-2+ OTG 400 kg da⁻¹	127,53	126,20 A	126,87
30 kg N da⁻¹ + BF-2+ OTG 400 kg da⁻¹	126,12	122,08 AB	124,10
20 kg N da⁻¹ + BF-2+ OTG 400 kg da⁻¹	127,19	120,86 AB	124,03
40 kg N da⁻¹ + OTG 400 kg da⁻¹	129,46	123,67 A	126,57
30 kg N da⁻¹ + OTG 400 kg da⁻¹	128,41	121,56 AB	124,99
20 kg N da⁻¹ + OTG 400 kg da⁻¹	128,86	121,85 AB	125,36
ORTALAMA	127,85	122,11	

*: Sütunda aynı harfle gösterilen ortalamalar arasındaki fark %5 seviyesinde önemlidir. NS: %5 seviyesinde önemli değildir.

Başlarda belirlenen hue⁰ açığı değerlerinin, 2022 yılındaki uygulamaların ortalamalarının hepsinde istatistiksel olarak %5 seviyesinde önemli değildir. Ancak, bu durum 2023 yılında değişerek farklı gruplarda olduğu ve anlamlı farkların olduğu tespit edilmiştir. Bununla birlikte, yıl ortalamada, aralarında farklar olsa da 2023 yılına yakın sonuçlar tespit edilmiştir.

Yıl ortalamaları incelendiğinde, en yüksek hue⁰ açığı değeri 126,87 ile 40 kg N da⁻¹ + BF-2+ OTG 400 kg da⁻¹ uygulamalarında kaydedilmiştir. Buna karşılık en düşük hue⁰ açığı değeri 121,66 ile BF-2’de tespit edilmiştir. Bu veriler, farklı uygulamaların hue⁰ açığı değeri üzerine etkili tespit edilmiştir (Tablo 26).

Baş rengi chroma değeri

N (azot), OTG (organik tavuk gübresi) ve PGPR (BF-1 ve BF-2) uygulamalarının Brüksel lahanasında baş rengi chroma değeri üzerine etkilerini gösteren varyans analiz sonuçları Tablo 27’de, uygulamalara ait ortalamalar ise Tablo 28’de sunulmuştur.

Varyans analiz sonuçlarına göre; yıl (Y) faktörünün baştaki chroma değeri üzerinde etkilerinin olduğunu ve bu etkinin istatistiksel olarak %1 düzeyinde önemli olduğu tespit edilmiştir (Tablo 27).

Araştırmada, 2022 yılında en yüksek chroma değeri 30 kg N da⁻¹ + BF-1+ OTG 400 kg da⁻¹ (28,01) uygulamasında belirlenirken, 2023 yılında 20 kg N da⁻¹ + BF-2+ OTG 400 kg da⁻¹

¹(34,55)'da belirlenmiştir. Ek olarak, yıl ortalamasında ise 30 kg N da⁻¹ + BF-1+ OTG 400 kg da⁻¹ (28,01) uygulamasında tespit edilmiştir. Bu değerlerdeki belirleyici faktörün, PGPR'lerin (BF-1 ve BF-2) ve bunların diğer gübrelere birbirleriyle kombinasyonlarının etkili olduğu belirlenmiştir (Tablo 28).

Tablo 27. Farklı Azot Dozları, PGPR Formülasyonları ve Organik Tavuk Gübresinin Brüksel Lahanasında Baş Chroma Değeri Üzerine Etkisini Gösterir Varyans Analiz Sonuçları

Varyasyon Kaynağı	SD	KT	F
2022-2023			
Yıl (Y)	1	1155,912	163,264**
Uygulama (U)	17	116,165	0,965 ^{NS}
Y x U	17	138,176	1,148 ^{NS}
Hata	72	509,76	
Genel	107	90452,332	

** : %1 seviyesinde önemlidir, NS: %5 seviyesinde önemsizdir.

Yıllara göre yapılan değerlendirmede 2022 yılı chroma değerlerinin ortalaması 25,36, 2023 yılı ortalaması ise 31,90 olarak tespit edilmiştir.

Tablo 28. Farklı Azot Dozları, PGPR Formülasyonları ve Organik Tavuk Gübresinin Brüksel Lahanasında Baş Rengi Chroma Değeri Üzerine Etkisi

UYGULAMA	2022	2023	Yıl Ortalama
Kontrol	26,45 AB	31,36 ^{NS}	28,90^{NS}
BF-1	26,59 AB	30,95	28,77
BF-2	23,92 AB	30,39	27,16
OTG 400 kg da⁻¹	25,64 AB	29,95	27,79
40 kg N da⁻¹	24,10 AB	34,51	29,30
30 kg N da⁻¹	26,01 AB	31,40	28,71
20 kg N da⁻¹	26,44 AB	30,82	28,63
BF-1+ OTG 400 kg da⁻¹	27,29 AB	31,67	29,48
BF-2+ OTG 400 kg da⁻¹	25,30 AB	31,60	28,45
40 kg N da⁻¹ + BF-1+ OTG 400 kg da⁻¹	23,33 AB	33,23	28,28
30 kg N da⁻¹ + BF-1+ OTG 400 kg da⁻¹	28,01 A	32,71	30,36
20 kg N da⁻¹ + BF-1+ OTG 400 kg da⁻¹	22,74 B	33,32	28,03
40 kg N da⁻¹ + BF-2+ OTG 400 kg da⁻¹	24,25 AB	29,17	26,71
30 kg N da⁻¹ + BF-2+ OTG 400 kg da⁻¹	26,60 AB	34,04	30,32
20 kg N da⁻¹ + BF-2+ OTG 400 kg da⁻¹	25,79 AB	34,55	30,17
40 kg N da⁻¹ + OTG 400 kg da⁻¹	24,23 AB	30,85	27,54
30 kg N da⁻¹ + OTG 400 kg da⁻¹	25,37 AB	29,67	27,52
20 kg N da⁻¹ + OTG 400 kg da⁻¹	24,41 AB	34,06	29,24
ORTALAMA	25,36	31,90	

*: Sütunda aynı harfle gösterilen ortalamalar arasındaki fark %5 seviyesinde önemlidir. NS: %5 seviyesinde önemli değildir.

Yaprak sayısı (adet/bitki)

Araştırmada, Brüksel lahanasında azot, organik tavuk gübresi ve bakteri uygulamaları ile bunların kombinasyonlarının yaprak sayısı üzerine etkisini gösteren varyans analiz sonuçları Tablo 29’da verilmiştir. Ayrıca, ortalamalara ait istatistiksel sonuçlar Tablo 30’da sunulmuştur.

Tablo 29’deki varyans analizine göre; yıl (Y), uygulama (U) ve yıl \times uygulama (Y \times U) interaksiyonu yaprak sayısı üzerinde istatistiksel olarak $p \leq 0,01$ düzeyinde anlamlı bulunmuştur.

Tablo 29. Farklı Azot Dozları, PGPR Formülasyonları ve Organik Tavuk Gübresinin Brüksel Lahanasında Yaprak Sayısı Üzerine Etkisini Gösteren Varyans Analiz Sonuçları

Varyasyon Kaynağı	SD	KT	F
2022-2023			
Yıl (Y)	1	2629,22	1059,417**
Uygulama (U)	17	5154,225	122,167**
Y x U	17	259,356	6,147**
Hata	72	178,687	
Genel	107	217707,2	

** : %1 seviyesinde önemlidir.

Araştırmada, uygulamalara göre yaprak sayıları arasındaki farkların istatistiki olarak $p \leq 0,05$ düzeyinde önemli olduğu tespit edilmiştir. Araştırmanın birinci yılında (2022) en düşük yaprak sayısı kontrol (29,13 adet/ bitki) uygulamasında belirlenmiş, bunu sırasıyla 30 kg N da⁻¹ (30,00 adet/ bitki), BF-2 (31,82 adet/ bitki), BF-1 (32,54 adet/ bitki) ve 40 kg N da⁻¹ (33,92 adet/ bitki) uygulamaları takip etmiştir. Ek olarak, ikinci yılda (2023) da en düşük yaprak sayısı yine kontrol (34,88 adet/ bitki) uygulamasında tespit edilmiştir (Tablo 30).

BF-1 ve BF-2 uygulamalarında, kontrole göre iki yılda da yaprak sayısında artışlar gözlemlenmiştir. Ancak bu artışlar düşük düzeylerde kalmıştır. Benzer şekilde, yalnızca OTG 400 kg da⁻¹ uygulamasında da önemli bir artış kaydedilmemiştir. Farklı konsantrasyonlardaki (20, 30, 40 kg da⁻¹) sadece azot uygulamalarında ise kontrole göre belirgin artışlar görülmüş, 20 kg N da⁻¹ uygulaması her iki yılda da en yüksek sonuçları vermiştir 2022’de 41,46 adet/ bitki ve 2023’te 55,46 adet/ bitki BF-1 ve BF-2’nin yalnızca OTG 400 kg da⁻¹ ile yapılan kombinasyonlarında belirlenen yaprak sayıları farklı dozlardaki sadece azot uygulamalarına göre düşük kalmakla birlikte kontrole göre anlamlı artışlar sağlamıştır. Ayrıca, BF-1 + OTG 400 kg da⁻¹ uygulaması, BF-2 + OTG 400 kg da⁻¹ uygulamasına göre her iki yılda da sırasıyla 43,38 ve 57,96 adet/ bitki ile daha yüksek yaprak sayısı elde edilmiştir. BF-1 ve BF-2’nin farklı azot dozları (20, 30, 40 kg da⁻¹ azot) ve OTG 400 kg da⁻¹ ile yapılan kombinasyonlarında elde edilen yaprak sayısı değerleri, diğer tüm uygulamalara göre en yüksek düzeylere ulaşmıştır. En uzun yaprak sayısı iki yılda da 40 kg N da⁻¹ + BF-1 + OTG 400 kg da⁻¹ uygulamasında tespit

edilmiş olup; 2022 yılında 51,04 adet/ bitki ve 2023 yılında ise 60,29 adet/ bitki olarak belirlenmiştir (Tablo 30).

Tablo 30. Farklı Azot Dozları, PGPR Formülasyonları ve Organik Tavuk Gübresinin Brüksel Lahanasında Yaprak Sayısı Üzerine Etkisi (adet/bitki)

UYGULAMA	2022	2023	Yıl Ortalama
Kontrol	29,13 K*	34,88 İ*	35,02 I*
BF-1	32,54 İ	41,92 H	38,31 G
BF-2	31,82 İJ	39,00 HI	37,23 GH
OTG 400 kg da⁻¹	35,79 Hİ	37,88 İİ	39,61 F
40 kg N da⁻¹	33,92 İİ	41,00 HI	38,24 G
30 kg N da⁻¹	30,00 JK	39,19 HI	36,14 HI
20 kg N da⁻¹	41,46 EF	55,46 CDE	45,94 C
BF-1+ OTG 400 kg da⁻¹	43,38 DE	57,96 ABC	40,52 F
BF-2+ OTG 400 kg da⁻¹	35,00 I	48,21 G	40,11 F
40 kg N da⁻¹ + BF-1+ OTG 400 kg da⁻¹	51,04 A	60,29 A	49,57 A
30 kg N da⁻¹ + BF-1+ OTG 400 kg da⁻¹	46,21 C	54,13 DEF	47,05 BC
20 kg N da⁻¹ + BF-1+ OTG 400 kg da⁻¹	40,63 F	52,25 EF	43,93 D
40 kg N da⁻¹ + BF-2+ OTG 400 kg da⁻¹	48,33 B	59,75 AB	47,86 B
30 kg N da⁻¹ + BF-2+ OTG 400 kg da⁻¹	44,42 CD	52,79 EF	46,22 C
20 kg N da⁻¹ + BF-2+ OTG 400 kg da⁻¹	39,33 FG	51,17 FG	43,04 D
40 kg N da⁻¹ + OTG 400 kg da⁻¹	43,29 DE	56,58 BCD	46,23 C
30 kg N da⁻¹ + OTG 400 kg da⁻¹	40,38 F	50,75 FG	41,85 C
20 kg N da⁻¹ + OTG 400 kg da⁻¹	37,29 GH	48,38 G	40,64 F
ORTALAMA	39,11	48,98	

*: Sütunda aynı harfle gösterilen ortalamalar arasındaki fark %5 seviyesinde önemlidir.

Yıl ortalamaları incelendiğinde en düşük yaprak sayısı kontrol (35,02 adet/ bitki), 30 kg N da⁻¹ (36,14 adet/ bitki) ve BF-2 (37,23 adet/ bitki) uygulamalarında görülmüştür. En yüksek yaprak sayısı ise 40 kg N da⁻¹ + BF-1 + OTG 400 kg da⁻¹ (49,57 adet/ bitki) uygulamasında tespit edilmiş; bunu sırasıyla 40 kg N da⁻¹ + BF-2 + OTG 400 kg da⁻¹ (47,86 adet/ bitki) ve 30 kg N da⁻¹ + BF-1 + OTG 400 kg da⁻¹ (47,05 adet/ bitki) uygulamaları takip etmiştir.

Yaprak rengi L değeri

Araştırmada, N (azot), OTG (organik tavuk gübresini) ve PGPR (BF-1 ve BF-2)'nin uygulamaların yaprak rengi L değeri üzerine etkisini gösteren varyans analiz sonuçları Tablo 31'de verilmiştir, uygulamalara ait ortalamalar ise Tablo 32'de sunulmuştur.

Yaprak rengi L değeri üzerine yapılan varyans analizi sonuçlarına göre, yıl (Y) ve uygulama (U) faktörlerinin yaprak rengi L değeri üzerinde istatistiksel olarak %1 düzeyinde anlamlı etkiler oluşturduğu belirlenmiştir. Ancak, Y × U interaksiyonu istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır (Tablo 31).

Tablo 31. Farklı Azot Dozları, PGPR Formülasyonları ve Organik Tavuk Gübresinin Brüksel Lahanasında Yaprak Rengi L Değeri Üzerine Etkisini Gösteren Varyans Analiz Sonuçları

Varyasyon Kaynağı	SD	KT	F
2022-2023			
Yıl (Y)	1	536,424	50,771**
Uygulama (U)	17	602,787	3,356**
Y x U	17	191,972	1,069 ^{NS}
Hata	72	760,719	
Genel	107	536,424	

** : %1 seviyesinde önemlidir. NS: %5 seviyesinde önemli değildir.

Yaprak rengi L değeri bakımından uygulamalar arasında anlamlı farklar görülmüş olup, bu farklar yıllara göre değişkenlik göstermiştir. 2022 yılında uygulamalar arasında L değeri 47,37 ile 54,81 arasında değişmiş olup, en yüksek değer BF-2 + OTG 400 kg da⁻¹ (54,81), en düşük değer ise 30 kg N da⁻¹ + BF-1 + OTG 400 kg da⁻¹ (47,37) uygulamasında belirlenmiştir. En yüksek L değeri 52,62 ile BF-2 ve 52,04 ile kontrol uygulamasında kaydedilmiş; en düşük değer ise 40,08 ile 40 kg N da⁻¹ uygulamasında belirlenmiştir. Bu durum, yüksek doz azotun yaprak rengini koyulaştırabileceğini (L değerini düşürdüğünü) göstermektedir.

Tablo 32. Farklı Azot Dozları, PGPR Formülasyonları ve Organik Tavuk Gübresinin Brüksel Lahanasında Yaprak Rengi L Değeri Üzerine Etkisi

UYGULAMA	2022	2023	Yıl Ortalama
Kontrol	52,98 ^{NS}	52,04 A*	52,51 A*
BF-1	50,59	47,93 BC	49,26 ABC
BF-2	54,10	52,62 A	53,36 A
OTG 400 kg da⁻¹	52,51	49,20 ABC	50,85 ABC
40 kg N da⁻¹	50,93	40,08 G	45,51 C
30 kg N da⁻¹	48,89	43,76 D-G	46,32 BC
20 kg N da⁻¹	49,99	45,99 C-F	47,99 ABC
BF-1+ OTG 400 kg da⁻¹	53,24	50,87 AB	52,05 ABC
BF-2+ OTG 400 kg da⁻¹	54,81	47,22 BCD	51,01 ABC
40 kg N da⁻¹ + BF-1+ OTG 400 kg da⁻¹	50,08	43,06 FG	46,57 BC
30 kg N da⁻¹ + BF-1+ OTG 400 kg da⁻¹	47,37	47,94 BC	47,65 ABC
20 kg N da⁻¹ + BF-1+ OTG 400 kg da⁻¹	51,36	47,22 BD	49,29 C
40 kg N da⁻¹ + BF-2+ OTG 400 kg da⁻¹	48,42	43,14 EFG	45,78 C
30 kg N da⁻¹ + BF-2+ OTG 400 kg da⁻¹	49,40	46,90 CDE	48,15 ABC
20 kg N da⁻¹ + BF-2+ OTG 400 kg da⁻¹	52,44	45,91 C-F	49,17 ABC
40 kg N da⁻¹ + OTG 400 kg da⁻¹	48,82	43,38 EFG	46,10 C
30 kg N da⁻¹ + OTG 400 kg da⁻¹	49,91	43,36 EFG	46,64 BC
20 kg N da⁻¹ + OTG 400 kg da⁻¹	51,72	46,70 C-F	49,21 ABC
ORTALAMA	50,97	46,52	

*: Sütunda aynı harfle gösterilen ortalamalar arasındaki fark %5 seviyesinde önemlidir. NS: %5 seviyesinde önemli değildir.

Yıl ortalamalarına göre en düşük L değeri 45,51 ile 40 kg N da⁻¹ uygulamasında, en yüksek L değeri ise 53,36 ile BF-2 uygulamasında belirlenmiştir. Bununla birlikte, birçok uygulamanın L değerleri birbirine yakın olup, çoğunlukla aynı istatistik grupta yer almıştır. Bu sonuç, L değeri bakımından uygulamalar arasındaki farkların sınırlı düzeyde olduğunu göstermektedir. Bununla birlikte, 2022 yılı ortalamalarının 2023 yılına göre daha yüksek olduğu (sırasıyla 50,97 ve 46,52) belirlenmiştir (Tablo 32).

Yaprak rengi hue⁰ açısı değeri

Araştırmada, farklı azot dozları (20, 30, 40 kg da⁻¹), organik tavuk gübresi (OTG 400 kg da⁻¹) ve PGPR (BF-1 ve BF-2) uygulamalarının Brüksel lahanasında yaprak rengi hue⁰ açısı değeri üzerine etkisini belirlemek amacıyla yapılan varyans analiz sonuçları Tablo 33'te, uygulamalara ait ortalamalar ise Tablo 34'te gösterilmiştir.

Tablo 33. Farklı Azot Dozları, PGPR Formülasyonları ve Organik Tavuk Gübresinin Brüksel Lahanasında Yaprak Hue⁰ Açısı Değeri Üzerine Etkisini Gösteren Varyans Analiz Sonuçları

Varyasyon Kaynağı	SD	KT	F
2022-2023			
Yıl (Y)	1	0,132	28,047**
Uygulama (U)	17	0,196	2,453**
Y x U	17	0,092	1,147 ^{NS}
Hata	72	0,338	
Genel	107	0,132	

** : %1 seviyesinde önemlidir. NS: %5 seviyesinde önemli değildir.

Varyans analiz sonuçlarına göre; yıl (Y) ve uygulama (U) faktörlerinin hue⁰ açısı değeri üzerinde istatistiksel olarak %1 seviyesinde önemli etkiler gösterdiği tespit edilmiştir. Buna karşılık, yıl × uygulama (Y × U) etkileşimi istatistiksel olarak önemsiz (p>0.05) bulunmuştur (Tablo 33).

Tablo 34 incelendiğinde, 2022 yılında hue⁰ açısı değeri ortalamalarının 126,60 ile 140,28 arasında değiştiği, 2023 yılında ise bu değerlerin genel olarak daha düşük olduğu 125,14 ile 135,27 görülmektedir. Bu durum, yaprak renginin 2023 yılında genel olarak daha koyu tonlara kaydığını ve yıl etkisinin bu parametre üzerinde belirleyici olduğunu ortaya koymaktadır. Ayrıca, ortalama hue⁰ açısı değerleri 2022 yılında 133,81, 2023 yılında ise 129,81 olarak belirlenmiştir.

Araştırmada, 2022 yılında en yüksek hue⁰ açısı değeri 140,28 20 kg N da⁻¹ + BF-2+ OTG 400 kg da⁻¹ uygulamasında, en düşük değer ise 126,60 ile kontrol uygulamasında tespit edilmiştir. Benzer şekilde, 2023 yılında da en yüksek hue⁰ açısı değeri 135,27 ile 20 kg N da⁻¹ + BF-2 + OTG uygulamasında belirlenmiş, en düşük hue⁰ açısı değeri ise 125,14 ile BF-2 uygulamasında kaydedilmiştir.

Tablo 34. Farklı Azot Dozları, PGPR Formülasyonları ve Organik Tavuk Gübresinin Brüksel Lahanasında Yaprak Rengi Hue⁰ Açı Değeri Üzerine Etkisi

UYGULAMA	2022	2023	Yıl Ortalama
Kontrol	126,60 C*	125,32 D*	125,96 B*
BF-1	135,13 AB	130,27 A-D	132,70
BF-2	127,46 BC	125,14 D	126,30 B
OTG 400 kg da⁻¹	132,67 ABC	126,33 BCD	129,50 AB
40 kg N da⁻¹	132,34 ABC	131,07 A-D	131,71 AB
30 kg N da⁻¹	135,95 A	128,86 A-D	132,41 A
20 kg N da⁻¹	136,00 A	130,37 A-D	133,18 A
BF-1+ OTG 400 kg da⁻¹	135,37 AB	125,82 CD	130,59 AB
BF-2+ OTG 400 kg da⁻¹	134,32 ABC	133,26 AB	133,79 A
40 kg N da⁻¹ + BF-1+ OTG 400 kg da⁻¹	136,19 A	131,69 A-D	133,94 AB
30 kg N da⁻¹ + BF-1+ OTG 400 kg da⁻¹	134,06 ABC	129,62 A-D	131,84 AB
20 kg N da⁻¹ + BF-1+ OTG 400 kg da⁻¹	132,86 ABC	128,45 A-D	130,66 A
40 kg N da⁻¹ + BF-2+ OTG 400 kg da⁻¹	135,49 AB	129,77 A-D	132,63 A
30 kg N da⁻¹ + BF-2+ OTG 400 kg da⁻¹	132,17 ABC	132,51 ABC	132,34 A
20 kg N da⁻¹ + BF-2+ OTG 400 kg da⁻¹	133,28 ABC	135,27 A	134,27 A
40 kg N da⁻¹ + OTG 400 kg da⁻¹	136,12 A	133,52 A	134,82 A
30 kg N da⁻¹ + OTG 400 kg da⁻¹	140,28 A	128,58 A-D	134,43 A
20 kg N da⁻¹ + OTG 400 kg da⁻¹	132,32	130,69 A-D	131,51 A
ORTALAMA	133,81	129,81	

*: Sütunda aynı harfle gösterilen ortalamalar arasındaki fark %5 seviyesinde önemlidir.

Yıl ortalamaları incelendiğinde, en yüksek hue⁰ açığı değeri 134,82 ile 40 kg N da⁻¹ + OTG 400 kg da⁻¹ uygulamalarında kaydedilmiştir. Buna karşılık en düşük hue⁰ açığı değeri 125,96-126,30 ile kontrol ve BF-2 uygulamalarında tespit edilmiştir.

Yaprak rengi chroma değeri

Araştırmada, N (azot), OTG (organik tavuk gübresi) ve PGPR (BF-1 ve BF-2) uygulamalarının Brüksel lahanasında yaprak rengi chroma değeri üzerine etkilerini belirlemek amacıyla yapılan varyans analiz sonuçları Tablo 35'te, uygulamalara ait ortalama sonuçlar ise Tablo 36'da sunulmuştur.

Varyans analiz sonuçlarına göre; yıl (Y) ve uygulama (U) faktörlerinin yaprak chroma değeri üzerinde veriler, %1 ve %5 anlamlılık düzeylerinde istatistiksel olarak anlamlı sonuçlar verdiğini belirlenmiştir. Ancak, yıl × uygulama (Y × U) faktörü istatistiksel olarak p>0,05 düzeyinde önemsiz olduğu tespit edilmiştir (Tablo 35).

Araştırmada, 2022 yılı verilerine göre uygulamalar arasında belirgin bir fark gözlenmemiştir. En yüksek chroma değeri 18,46 ile BF-2 + OTG uygulamasında belirlenirken, en düşük 14,49 ile 40 kg N da⁻¹ uygulamasında tespit edilmiştir. Ancak, tüm uygulamaların aynı istatistiksel grupta yer aldığı görülmüştür. 2023 yılında ise uygulamalar arasında farkların

daha belirgin olduğu belirlenmiştir. Nitekim, 2023 yılında belirlenen chroma değerleri 17,30 (40 kg N da⁻¹ + OTG) ile 25,39 (BF-2) arasında değişmiştir.

Tablo 35. Farklı Azot Dozları, PGPR Formülasyonları ve Organik Tavuk Gübresinin Brüksel Lahanasında Yaprak Chroma Değeri Üzerine Etkisini Gösteren Varyans Analiz Sonuçları

Varyasyon Kaynağı	SD	KT	F
2022-2023			
Yıl (Y)	1	433,227	61,044**
Uygulama (U)	17	238,917	1,98*
Y x U	17	102,832	0,852 ^{NS}
Hata	72	510,981	
Genel	107	433,227	

*: %5 seviyesinde önemlidir, **: %1 seviyesinde önemlidir, NS: %5 seviyesinde önemsizdir.

Yılların ortalamaları değerlendirildiğinde, 2022 yılı ortalaması 16,58 iken; 2023 yılı ortalamasının 20,23'e yükselmiştir.

Bu sonuçlar, PGPR (özellikle BF-2) ve OTG uygulamalarının chroma değeri artırma potansiyeline sahip olduğu; azot uygulamalarının ise doz ve kombinasyon şekline bağlı olarak bu etkiyi destekleyebileceği veya sınırlandırabileceği ortaya koymuştur.

Tablo 36. Farklı Azot Dozları, PGPR Formülasyonları ve Organik Tavuk Gübresinin Brüksel Lahanasında Yaprak Rengi Chroma Değeri Üzerine Etkisi

UYGULAMA	2022	2023	Yıl Ortalama
Kontrol	16,58 ^{NS}	24,71 AB*	20,65 AB*
BF-1	15,93	21,50 A-D	18,71 AB
BF-2	17,63	25,39 A	21,51 A
OTG 400 kg da⁻¹	16,34	22,19 A-D	19,26 AB
40 kg N da⁻¹	14,49	19,15 CD	16,82 AB
30 kg N da⁻¹	16,02	18,04 CD	17,03 AB
20 kg N da⁻¹	15,82	18,19 CD	17,01 AB
BF-1+ OTG 400 kg da⁻¹	17,84	22,73 ABC	20,29 AB
BF-2+ OTG 400 kg da⁻¹	18,46	21,05 A-D	19,76 AB
40 kg N da⁻¹ + BF-1+ OTG 400 kg da⁻¹	15,23	18,80 CD	17,02 AB
30 kg N da⁻¹ + BF-1+ OTG 400 kg da⁻¹	15,50	20,51 BCD	18,01 AB
20 kg N da⁻¹ + BF-1+ OTG 400 kg da⁻¹	16,89	19,76 CD	18,33 AB
40 kg N da⁻¹ + BF-2+ OTG 400 kg da⁻¹	16,81	19,53 CD	18,17 AB
30 kg N da⁻¹ + BF-2+ OTG 400 kg da⁻¹	15,07	18,39 CD	16,73 AB
20 kg N da⁻¹ + BF-2+ OTG 400 kg da⁻¹	17,13	17,47 D	17,30 AB
40 kg N da⁻¹ + OTG 400 kg da⁻¹	15,18	17,30 D	16,24 AB
30 kg N da⁻¹ + OTG 400 kg da⁻¹	14,70	19,08 CD	16,89 AB
20 kg N da⁻¹ + OTG 400 kg da⁻¹	16,46	20,41 BCD	18,44 AB
ORTALAMA	16,58	20,23	

*: Sütunda aynı harfle gösterilen ortalamalar arasındaki fark %5 seviyesinde önemlidir. NS: %5 seviyesinde önemli değildir.

Yıl ortalamalarına göre en yüksek chroma değeri 21,51 ile BF-2, 20,65 uygulamasında elde edilmiştir. Diğer tüm uygulama ortalamalarının bu uygulamaya kıyasla daha düşük kaldığı tespit edilmekle birlikte, uygulamalar arasındaki farkın istatistiksel açıdan olmadığı belirlenmiştir (Tablo 36).

Klorofil değeri (SPAD)

Araştırmada, Brüksel lahanasında azot, organik tavuk gübresi ve bakteri uygulamaları ile bunların kombinasyonlarının klorofil değeri üzerine etkisini gösteren varyans analiz sonuçları Tablo 37’de verilmiştir. Ayrıca, ortalamalara ait istatistiksel veriler Tablo 38’de sunulmuştur.

Tablo 37. Farklı Azot Dozları, PGPR Formülasyonları ve Organik Tavuk Gübresinin Brüksel Lahanasında Klorofil Değeri Üzerine Etkisini Gösteren Varyans Analiz Sonuçları

Varyasyon Kaynağı	SD	KT	F
2022-2023			
Yıl (Y)	1	0,788	0,349 ^{NS}
Uygulama (U)	17	1266,031	32,936 ^{**}
Y x U	17	62,176	1,618 [*]
Hata	72	162,802	
Genel	107	331003,987	

*: %5 seviyesinde önemlidir, **: %1 seviyesinde önemlidir, NS: %5 seviyesinde önemsizdir.

Varyans analizi sonuçlarına göre yıl (Y) faktörünün klorofil değeri üzerine etkisi istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur ($p>0.05$), uygulama (U) faktörü ise %1 düzeyinde ($p\leq 0.01$) ve yıl \times uygulama ($Y \times U$) etkileşimi %5 düzeyinde ($p\leq 0.05$) anlamlı etki göstermiştir. Bu durum, uygulamaların klorofil değerleri üzerinde belirgin farklar oluşturduğunu göstermektedir (Tablo 37).

Tablo 38. Farklı Azot Dozları, PGPR Formülasyonları ve Organik Tavuk Gübresinin Brüksel Lahanasında Klorofil Değeri Üzerine Etkisi (spad)

UYGULAMA	2022	2023	Yıl Ortalama
Kontrol	49,16 F*	49,47 G*	49,31 H*
BF-1	51,72 EF	49,94 G	50,83 GH
BF-2	52,32 DEF	50,03 G	51,17 GH
OTG 400 kg da⁻¹	51,10 F	50,88 G	50,99 GH
40 kg N da⁻¹	58,54 AB	60,27 AB	59,40 A
30 kg N da⁻¹	57,15 ABC	56,05 E	56,60 CDE
20 kg N da⁻¹	54,60 CDE	55,81 E	55,20 EF
BF-1+ OTG 400 kg da⁻¹	51,69 EF	50,36 G	51,03 GH
BF-2+ OTG 400 kg da⁻¹	52,02 EF	51,28 G	51,65 G
40 kg N da⁻¹ + BF-1+ OTG 400 kg da⁻¹	59,25 A	61,22 A	60,24 A
30 kg N da⁻¹ + BF-1+ OTG 400 kg da⁻¹	58,33 AB	58,36 BCD	58,34 ABC
20 kg N da⁻¹ + BF-1+ OTG 400 kg da⁻¹	56,06 ABC	53,29 F	54,68 F
40 kg N da⁻¹ + BF-2+ OTG 400 kg da⁻¹	57,86 ABC	60,25 AB	59,06 AB
30 kg N da⁻¹ + BF-2+ OTG 400 kg da⁻¹	56,21 ABC	57,10 DE	56,65 CDE
20 kg N da⁻¹ + BF-2+ OTG 400 kg da⁻¹	56,04 ABC	56,69 DE	56,37 DEF
40 kg N da⁻¹ + OTG 400 kg da⁻¹	58,46 AB	59,32 ABC	58,89 AB
30 kg N da⁻¹ + OTG 400 kg da⁻¹	56,87 ABC	57,81 CDE	57,34 BCD
20 kg N da⁻¹ + OTG 400 kg da⁻¹	55,33 BCD	57,66 CDE	56,49 C-F
ORTALAMA	55,15	55,32	

*: Sütunda aynı harfle gösterilen ortalamalar arasındaki fark %5 seviyesinde önemlidir.

Araştırmada, uygulamalara göre klorofil değerleri arasındaki farkların istatistiki olarak $p \leq 0,05$ düzeyinde önemli olduğu tespit edilmiştir. Araştırmanın birinci yılında (2022) en düşük klorofil değeri kontrol uygulamasında (49,16) ve OTG 400 kg da⁻¹ (51,10) uygulamasında belirlenmiş, bunu sırasıyla takip etmiştir. Ancak bu uygulamaların istatistiksel olarak aynı grupta yer aldığı görülmüştür. Benzer şekilde, ikinci yılda (2023) da en düşük klorofil değeri yine kontrol uygulamasında (49,47) elde edilmiştir. BF-1 ve BF-2 uygulamalarının kontrole göre her iki yılda da klorofil değerinde artış sağladığı belirlenmiştir. Fakat bu artışlar sınırlı düzeyde kalmıştır. Benzer durum sadece OTG 400 kg da⁻¹ uygulaması için de tespit edilmiştir (Tablo 38).

Sadece azot uygulamalarına bakıldığında, klorofil değerlerinin özellikle 40 kg N da⁻¹ dozunda önemli ölçüde arttığı ve 2022’de (58,54), 2023’te (60,27) ile en yüksek değerlerden birine ulaştığı görülmektedir. Bu durum, azotun yaprak içi klorofil miktarını artırmadaki etkisini açıkça ortaya koymaktadır. BF-1 ve BF-2’nin yalnızca OTG 400 kg da⁻¹ ile yapılan kombinasyonlarında belirlenen klorofil değerleri kontrole göre artış göstermiştir. Bu kombinasyonlarda BF-1 + OTG uygulaması, BF-2 + OTG uygulamasına kıyasla düşük sonuçlar vermiştir. BF-1 ve BF-2’nin farklı dozlarda (20, 30, 40 kg da⁻¹) azot ve OTG 400 kg da⁻¹ ile yapılan kombinasyonlarında elde edilen klorofil değerleri, tüm uygulamalar arasında en yüksek seviyelere ulaşmıştır. En yüksek yıl ortalaması değeri 40 kg N da⁻¹ + BF-1 + OTG 400 kg da⁻¹ uygulamasında 60,24 SPAD olarak belirlenmiş, bu uygulama 2022’de 59,25 ve 2023’te 61,22 SPAD değerleriyle en yüksek seviye çıktığı tespit edilmiştir (Tablo 38).

Araştırmada, sadece azot + OTG 400 kg da⁻¹ ile yapılan uygulamaların (örneğin: 40 kg N + OTG: 58,89 SPAD) klorofil üzerine olumlu etkiler gösterdiği ancak, BF-1 ve BF-2 ile yapılan kombinasyonlara kıyasla daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Tablo 38’teki yıl ortalamaları incelendiğinde, en düşük klorofil değeri kontrol (49,31) uygulamasında; en yüksek değerler ise 40 kg N da⁻¹ + BF-1 + OTG 400 kg da⁻¹ uygulamasında (60,24) ve 40 kg N da⁻¹ (59,40) ve uygulamasında saptanmıştır. BF-1+ OTG 400 kg da⁻¹ (51,69) VE bf-2 + otg 400 kg da⁻¹ (52,02) takip etmiştir. Bu sonuçlar, BF-1/BF-2 + azot + organik tavuk gübresi kombinasyonlarının klorofil değerini artırmada etkili olduğunu göstermektedir. BF-1 + OTG 400 kg da⁻¹ (51,69) ve BF-2 + OTG 400 kg da⁻¹ (52,02) takip etmiştir.

Verim Değerleri

Toplam verim (kg da⁻¹)

PGPR (BF-1 ve BF-2), farklı azot dozları, organik tavuk gübresi ve bunların aralarındaki kombinasyonlarının toplam verim üzerine etkisini gösteren varyans analiz sonuçları ve toplam verim üzerine ortalamalara ait sonuçlar sırasıyla Tablo 39 ve Tablo 40’te verilmiştir.

Tablo 39'da yapılan değerlendirme sonucunda toplam verim üzerine, yıl (Y) faktörünün etkisi %5 uygulama (U) ve yıl × uygulama (Y × U) faktörlerinin ise %1 seviyesinde önemli olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 39. Farklı Azot Dozları, PGPR Formülasyonları ve Organik Tavuk Gübresinin Brüksel Lahanasında Toplam Verim Üzerine Etkisini Gösteren Varyans Analiz Sonuçları

Varyasyon Kaynağı	SD	KT	F
2022-2023			
Yıl (Y)	1	2764714,286	67,802*
Uygulama (U)	17	61177897,04	88,254**
Y x U	17	4025710,603	5,807**
Hata	72	2935914,589	
Genel	107	444677559,7	

*: %5 seviyesinde önemlidir, **: %1 seviyesinde önemlidir.

Araştırmada, uygulamalara göre toplam verim arasındaki farkların istatistiki olarak $p \leq 0,05$ düzeyinde önemli olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 40. Farklı Azot Dozları, PGPR Formülasyonları ve Organik Tavuk Gübresinin Brüksel Lahanasında Toplam Verime Etkisi (kg da^{-1})

UYGULAMA	2022	2023	Yıl Ortalama
Kontrol	585,33 İ*	915,18 H*	750,25 G*
BF-1	889,88 İİ	1056,55 H	973,21 FG
BF-2	800,60 İİ	1043,15 H	921,88 FG
OTG 400 kg da^{-1}	697,92 İİ	995,54 H	846,73 G
40 kg N da^{-1}	2061,01 CDE	2599,70 CD	2330,36 BC
30 kg N da^{-1}	2169,64 CD	1843,75 FG	2006,70 D
20 kg N da^{-1}	1552,08 G	1589,29 G	1570,68 E
BF-1+ OTG 400 kg da^{-1}	1190,48 H	1086,31 H	1138,39 F
BF-2+ OTG 400 kg da^{-1}	970,24 HI	956,85 H	963,54 FG
40 kg N da^{-1} + BF-1+ OTG 400 kg da^{-1}	2363,10 BC	3497,02 A	2930,06 A
30 kg N da^{-1} + BF-1+ OTG 400 kg da^{-1}	2687,50 A	3011,90 B	2849,70 A
20 kg N da^{-1} + BF-1+ OTG 400 kg da^{-1}	1894,35 DEF	2452,38 DE	2173,36 CD
40 kg N da^{-1} + BF-2+ OTG 400 kg da^{-1}	2257,44 C	3389,88 A	2823,66 A
30 kg N da^{-1} + BF-2+ OTG 400 kg da^{-1}	2608,63 AB	2952,38 BC	2780,51 A
20 kg N da^{-1} + BF-2+ OTG 400 kg da^{-1}	1791,67 EFG	2325,89 DE	2058,78 D
40 kg N da^{-1} + OTG 400 kg da^{-1}	2226,19 C	2858,63 BC	2542,41 B
30 kg N da^{-1} + OTG 400 kg da^{-1}	2239,58 C	2058,04 EF	2148,81 BC
20 kg N da^{-1} + OTG 400 kg da^{-1}	1620,54 FG	1733,63 FG	1677,08 E
ORTALAMA	1700,34	2020,34	

*: Sütunda aynı harfle gösterilen ortalamalar arasındaki fark %5 seviyesinde önemlidir.

Denemenin birinci yılında (2022) en düşük toplam verim kontrol ($585,33 \text{ kg da}^{-1}$) uygulamasında belirlenirken, bunu $697,92 \text{ kg da}^{-1}$ ile OTG 400 kg da^{-1} , $800,60 \text{ kg da}^{-1}$ ile BF-2 ve $889,88 \text{ kg da}^{-1}$ ile BF-1 uygulamaları takip etmiştir. En yüksek toplam verim değeri, 30 kg

N da⁻¹ + BF-1+ OTG 400 kg da⁻¹ (2687,50 kg da⁻¹) tespit edilmiş, bunu ve 30 kg N da⁻¹ + BF-2+ OTG 400 kg da⁻¹ (2608,63 kg da⁻¹) uygulaması takip etmiştir. Denemenin ikinci yılında (2023) en düşük toplam verim kontrol (915,18 kg da⁻¹) uygulamasında görülürken, en yüksek toplam verim, 3497,02 kg da⁻¹ ile 40 kg N da⁻¹ + BF-1+ OTG 400 kg da⁻¹ uygulamasında tespit edilmiştir (Tablo 40).

Tablo 40'ta farklı uygulamaların toplam verim üzerinde belirgin etkiler yarattığı yılların ortalamasında incelendiğinde görülmüştür. Nitekim, en düşük toplam verim değerleri kontrol (750,25 kg da⁻¹) ve OTG 400 kg da⁻¹ (846,73 kg da⁻¹) uygulamasında elde edilmiş, en yüksek toplam verim değerlerini ise sırasıyla 40 kg N da⁻¹ + BF-1 + OTG'de (2930,06 kg da⁻¹), 30 kg N da⁻¹ + BF-1 + OTG (2849,70 kg da⁻¹), 40 kg N da⁻¹ + BF-2 + OTG (2823,66 kg da⁻¹) ve 30 kg N da⁻¹ + BF-2+ OTG 400 kg da⁻¹ (2780,51kg da⁻¹) uygulamasında belirlenmiştir. Bunlara ek olarak, 2023 yılı ortalama 2020,34 kg da⁻¹ ile toplam verim değerleri 2022 yılına (1700,34 kg da⁻¹) göre daha yüksek çıkmıştır. Bu sonuçlar, azot gübresinin organik ve biyolojik gübrelerle birlikte uygulanması ile toplam verimi önemli ölçüde artırdığı söylenebilir.

Pazarlanabilir verim (kg da⁻¹)

Azot (20, 30 ve 40 kg N da⁻¹), organik tavuk gübresi (OTG 400 kg da⁻¹) ve PGPR (BF-1 ve BF-2)'nin tekli veya bunların kombinasyon uygulamalarının Brüksel lahanasında pazarlanabilir verim üzerine etkisini gösteren varyans analiz sonuçları Tablo 41'de paylaşılmıştır. Bununla birlikte, pazarlanabilir verim değerine ait ortalamaların istatistik analiz sonuçları Tablo 42'de gösterilmiştir. Tablo 41'de tüm faktörlerin istatistiksel olarak %1 düzeyinde önemli olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 41. Farklı Azot Dozları, PGPR Formülasyonları ve Organik Tavuk Gübresinin Brüksel Lahanasında Pazarlanabilir Verim Üzerine Etkisini Gösteren Varyans Analiz Sonuçları

Varyasyon Kaynağı	SD	KT	F
2022-2023			
Yıl (Y)	1	1283162,459	30,763**
Uygulama (U)	17	33598983,48	47,383**
Y x U	17	2200737,177	3,104**
Hata	72	3003230,197	
Genel	107	216157794,9	

** : %1 seviyesinde önemlidir.

Yıllar arasındaki değerler incelendiğinde; 2022 yılında kontrolde 331,85 kg da⁻¹ pazarlanabilir verim miktarı elde edilmiştir. BF-1 ve BF-2'de ise sırasıyla 574,40 ve 476,19 kg da⁻¹; OTG 400 kg da⁻¹ uygulamasında ise 427,08 kg da⁻¹ pazarlanabilir verim tespit edilmiştir. Bunlara ilaveten, 20, 30 ve 40 kg N da⁻¹ uygulamalarında pazarlanabilir verim değerlerinde önemli artışlar

(sırasıyla 930,06, 1443,45 ve 1337,80 kg da⁻¹) görülmüştür. İçeriğinde azot olmayan BF-1+ OTG ve BF-2+ OTG uygulamalarında kontrole göre pazarlanabilir verimde artışlar olsa da azotlu gübre kombinasyonlarının gerisinde kalmıştır. Nitekim en yüksek pazarlanabilir verim değerleri farklı dozlarda azot (20, 30 ve 40 kg da⁻¹) ile kombine yapılan BF-1/BF-2 + OTG 400 kg da⁻¹ uygulamalarında tespit edilmiştir. Bu sonuçlara paralel şekilde 2023 yılında da benzer sonuçlar alınmıştır. Nitekim, denemenin ikinci yılında (2023) pazarlanabilir verim en düşük kontrol (607,14 kg da⁻¹)’de görülürken, en yüksek 2559,52 kg da⁻¹ ile 40 kg N da⁻¹ + BF-1+ OTG 400 kg da⁻¹ uygulamasında tespit edilmiştir (Tablo 42).

Tablo 42. Farklı Azot Dozları, PGPR Formülasyonları ve Organik Tavuk Gübresinin Brüksel Lahanasında Pazarlanabilir Verime Etkisi (kg da⁻¹)

UYGULAMA	2022	2023	Yıl Ortalama
Kontrol	331,85 K*	607,14 H*	469,49 G*
BF-1	574,4 İJ	879,46 GH	726,93 FG
BF-2	476,19 JK	855,65 GH	665,92 FG
OTG 400 kg da⁻¹	427,08 JK	849,7 GH	638,39 FG
40 kg N da⁻¹	1337,8 E-G	1776,79 BCD	1557,29 CD
30 kg N da⁻¹	1443,45 DEF	1205,36 EFG	1324,4 D
20 kg N da⁻¹	930,06 I	840,77 GH	885,42 EF
BF-1+ OTG 400 kg da⁻¹	720,32 İ	617,56 H	668,94 FG
BF-2+ OTG 400 kg da⁻¹	619,05 İJ	607,14 H	613,1 G
40 kg N da⁻¹ + BF-1+ OTG 400 kg da⁻¹	1747,02 AB	2559,52 A	2153,27 A
30 kg N da⁻¹ + BF-1+ OTG 400 kg da⁻¹	2186,01 A	2139,88 AB	2162,95 A
20 kg N da⁻¹ + BF-1+ OTG 400 kg da⁻¹	1244,05 FGH	1747,02 BCD	1495,54 CD
40 kg N da⁻¹ + BF-2+ OTG 400 kg da⁻¹	1680,06 BC	2200,89 AB	1940,48 AB
30 kg N da⁻¹ + BF-2+ OTG 400 kg da⁻¹	1869,05 B	2043,15 BC	1956,1 AB
20 kg N da⁻¹ + BF-2+ OTG 400 kg da⁻¹	1211,31 GH	1592,26 CDE	1401,79 D
40 kg N da⁻¹ + OTG 400 kg da⁻¹	1547,62 CDE	1931,55 BC	1739,58 BC
30 kg N da⁻¹ + OTG 400 kg da⁻¹	1614,58 CD	1386,9 DEF	1500,74 CD
20 kg N da⁻¹ + OTG 400 kg da⁻¹	106,01 HI	1104,17 FGH	1082,59 E
ORTALAMA	1167,83	1385,83	

*: Sütunda aynı harfle gösterilen ortalamalar arasındaki fark %5 seviyesinde önemlidir.

Yıl ortalaması incelendiğinde pazarlanabilir verim en düşük 469,49 da⁻¹ ile kontrol en yüksek 30 kg N da⁻¹ + BF⁻¹+ OTG 400 kg da⁻¹ (2162,95 kg da⁻¹) ve 40 kg N da⁻¹ + BF-1 + OTG (2153,27 kg da⁻¹) uygulamasında tespit edilmiştir. Buna ilaveten, 2023 yılı ortalama 1385,83 kg da⁻¹ ile pazarlanabilir verim değerleri 2022 yılına (1167,83 kg da⁻¹) göre daha yüksek olduğu saptanmıştır.

Araştırmadan elde edilen veriler doğrultusunda, N+OTG+PGPR’nin birlikte yapılan gübre kombinasyonunda toplam verimde alınan sonuçlarda olduğu gibi diğer uygulamalara kıyasla pazarlanabilir verimde de oldukça etkili bir yöntem olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, birlikte yapılan bu kombinasyonlarda BF-1’in BF-2’ye göre incelenen parametrede daha etkin rol oynadığı tespit edilmiştir (Tablo 42).

Azot Kullanım Etkinliği

Tablo 43'te üç farklı azot dozu (20, 30, 40 kg da⁻¹), 400 kg da⁻¹ organik tavuk gübresi (OTG) ve iki tane PGPR (BF-1 ve BF-2)'nin tek başlarına veya birbirleriyle kombine edilerek yapılan uygulamaların azot kullanım etkinliği üzerine etkilerini gösteren varyans analiz sonuçları verilmiştir. Ek olarak, incelenen parametrede ortalamalara ait istatistik sonuçları Tablo 44'te sunulmuştur.

Araştırmada, yıl faktörünün istatistiksel olarak %1 düzeyinde önemli olduğu, diğer faktörlerin ise önemsiz olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 43. Farklı Azot Dozları, PGPR Formülasyonları ve Organik Tavuk Gübresinin Brüksel Lahanasında Azot Kullanım Etkinliği Üzerine Etkisini Gösteren Varyans Analiz Sonuçları

Varyasyon Kaynağı	SD	KT	F
2022-2023			
Yıl (Y)	1	25,037	20,496**
Uygulama (U)	17	26,927	1,297 ^{NS}
Y x U	17	23,593	1,136 ^{NS}
Hata	72	87,953	
Genel	107	11584,18	

** : %1 seviyesinde önemlidir, NS: %5 seviyesinde önemsizdir.

Araştırmada, azot kullanım etkinliğinin uygulamalara göre değişiklik göstermesiyle birlikte kontrol ve uygulamalar arasındaki farkların istatistiki olarak önemli olduğu ($p \leq 0.05$) tespit edilmiştir.

Tablo 44. Farklı Azot Dozları, PGPR Formülasyonları ve Organik Tavuk Gübresinin Brüksel Lahanasında Azot Kullanım Etkinliğine Etkisi

UYGULAMA	2022	2023	Yıl Ortalama
40 kg N da ⁻¹	42,82 EF*	42,11 C*	42,46 BCD*
30 kg N da ⁻¹	52,81 CDE	30,95 C	41,88 CD
20 kg N da ⁻¹	48,34 DEF	33,70 C	41,02 D
40 kg N da ⁻¹ + BF-1 + OTG 400 kg da ⁻¹	44,44 DEF	64,54 AB	54,49 B
30 kg N da ⁻¹ + BF-1 + OTG 400 kg da ⁻¹	70,07 A	69,89 A	69,68 A
20 kg N da ⁻¹ + BF-1 + OTG 400 kg da ⁻¹	65,45 AB	76,86 A	71,15 A
40 kg N da ⁻¹ + BF-2 + OTG 400 kg da ⁻¹	41,80 EF	62,05 AB	51,92 BC
30 kg N da ⁻¹ + BF-2 + OTG 400 kg da ⁻¹	67,44 A	67,90 A	67,67 A
20 kg N da ⁻¹ + BF-2 + OTG 400 kg da ⁻¹	60,32 ABC	70,53 A	65,42 A
40 kg N da ⁻¹ + OTG 400 kg da ⁻¹	41,02 F	48,58 BC	44,80 BCD
30 kg N da ⁻¹ + OTG 400 kg da ⁻¹	55,14 BCD	38,09 C	46,61 BC
20 kg N da ⁻¹ + OTG 400 kg da ⁻¹	51,75 C-F	40,92 C	46,33 BCD
ORTALAMA	53,45	53,84	

*: Sütunda aynı harfle gösterilen ortalamalar arasındaki fark %5 seviyesinde önemlidir.

Tablo 44'te 2022 yılında sadece azot uygulamalarında (20, 30 ve 40 kg da⁻¹) ki azot kullanım etkinliği değerleri en düşük 42,82 (40 kg da⁻¹), en yüksek 52,81 (30 kg da⁻¹) olduğu

görülmüştür. Ancak, N+BF-1+OTG'nin birlikte kombine edilmesiyle azot kullanım etkinliğinde artış görülmüştür (40 kg N da⁻¹ + BF-1 + OTG 400 kg da⁻¹ uygulaması hariç). Bununla beraber aynı değerlere yakın sonuçlar N+ BF-2+ OTG'de de gözlemlenmiştir. Ancak BF-1 ile yapılan kombinasyonun BF-2 ile yapılan kombinasyona göre daha başarılı olduğu Tablo 44 incelendiğinde görülecektir. Bunlara ek olarak, N+OTG ile yapılan kombinasyonda belirlenen azot kullanım etkinliği PGPR'li uygulamalara göre daha düşük olduğu belirlenmiştir.

Araştırmada, 2023 yılında 20, 30 ve 40 kg da⁻¹ dozlarında azot uygulamalarında belirlenen azot kullanım etkinlikleri sırasıyla 33.70, 30.95 ve 42,11 olarak kaydedilmiştir. Bununla birlikte, N+ BF-1 + OTG 400 kg da⁻¹ ve N + BF-2 + OTG'nin birlikte kombine edilmesiyle azot kullanım etkinliğinde hem uygulamalar arasında hem de 2022 yılına göre çok ciddi artışlar görülmüştür. Bunlara ek olarak, N+OTG ile yapılan kombinasyonda belirlenen azot kullanım etkinliği PGPR'li uygulamalara göre düşük çıkmıştır. Ancak BF-1 ile yapılan kombinasyonun BF-2 ile yapılan kombinasyona göre daha başarılı olduğu Tablo 44 incelendiğinde görülecektir.

Yılların ortalaması üzerine yapılan incelemede azot kullanım etkinliği en düşük 20 kg N da⁻¹'de (41,02) en yüksek 20 kg N da⁻¹ + BF-1 + OTG 400 kg da⁻¹ (71,15) uygulamasında tespit edilmiştir. Bunu aynı grubte yer alan 30 kg N da⁻¹ + BF-1 + OTG 400 kg da⁻¹ (65,68), 30 kg N da⁻¹ + BF-2 + OTG 400 kg da⁻¹ (67,67) ve 20 kg N da⁻¹ + BF-2 + OTG 400 kg da⁻¹ (65,42) uygulamaları takip edilmiştir.

Yaprakta belirlenen Makro-Mikro Besin Elementi Miktarları

Azot (N) miktarı (%)

Brüksel lahanası üzerine azot, organik tavuk gübresi, BF-1 ve BF-2 uygulamalarının tek başlarına ve aralarında yapılan kombinasyonlarının azot miktarına etkileri araştırılmıştır. Araştırma sonucunda azot miktarı üzerine belirlenen varyans analiz sonuçları Tablo 45'te, uygulamaların ortalamalarını gösteren sonuçlar ise Tablo 46'da verilmiştir.

Tablo 45. Farklı Azot Dozları, PGPR Formülasyonları ve Organik Tavuk Gübresinin Brüksel Lahanasında Yapraklardaki Azot Miktarına Etkisini Gösteren Varyans Analiz Sonuçları

Varyasyon Kaynağı	SD	KT	F
2022-2023			
Yıl (Y)	1	2,169	7,514**
Uygulama (U)	17	175,129	35,689**
Y x U	17	33,425	6,812**
Hata	72	20,783	
Genel	107	231,506	

** : %1 seviyesinde önemlidir.

Tablo 45'teki varyans analiz sonuçlarına göre azot miktarı üzerine faktörlerinin tamamının etkisi istatistiksel olarak %1 düzeyinde önemli tespit edilmiştir.

Tablo 46. Farklı Azot Dozları, PGPR Formülasyonları ve Organik Tavuk Gübresinin Brüksel Lahanasında Yapraklardaki Azot Miktarına Etkisi (%)

UYGULAMA	2022	2023	Yıl Ortalama
Kontrol	2,55 I*	2,17 G*	2,36 I*
BF-1	3,29 HI	2,51 FG	2,90 HI
BF-2	3,26 HI	3,19 EF	3,23 GH
OTG 400 kg da⁻¹	3,43 GHI	3,26 DEF	3,35 GH
40 kg N da⁻¹	3,57 F-I	4,80 BC	4,18 EF
30 kg N da⁻¹	3,07 HI	3,70 DE	3,38 GH
20 kg N da⁻¹	3,04 HI	4,16 CD	3,60 FG
BF-1+ OTG 400 kg da⁻¹	3,36 HI	2,72 FG	3,04 GH
BF-2+ OTG 400 kg da⁻¹	4,51 DEF	5,07 BC	4,79 DE
40 kg N da⁻¹ + BF-1+ OTG 400 kg da⁻¹	5,12 CD	6,85 A	5,99 B
30 kg N da⁻¹ + BF-1+ OTG 400 kg da⁻¹	4,33 D-G	5,64 B	4,99 CD
20 kg N da⁻¹ + BF-1+ OTG 400 kg da⁻¹	4,33 D-G	5,38 B	4,85 CDE
40 kg N da⁻¹ + BF-2+ OTG 400 kg da⁻¹	8,35 A	5,36 B	6,86 A
30 kg N da⁻¹ + BF-2+ OTG 400 kg da⁻¹	5,81 BC	5,24 B	5,52 BC
20 kg N da⁻¹ + BF-2+ OTG 400 kg da⁻¹	4,70 DE	5,01 BC	4,85 CDE
40 kg N da⁻¹ + OTG 400 kg da⁻¹	6,14 BC	7,31 A	6,72 A
30 kg N da⁻¹ + OTG 400 kg da⁻¹	5,16 CD	5,17 B	5,16 CD
20 kg N da⁻¹ + OTG 400 kg da⁻¹	3,92 EFG	5,50 B	4,71 DE
ORTALAMA	4,33	4,61	

*: Sütunda aynı harfle gösterilen ortalamalar arasındaki fark %5 seviyesinde önemlidir.

Azot miktarları üzerine yapılan araştırmada, 2022 yılında en düşük %2,55 ile kontrol uygulamasında olurken, en yüksek değer %8,35 ile 40 kg N da⁻¹ + BF-2 + OTG 400 kg da⁻¹ uygulamasında olduğu belirlenmiştir. Ek olarak, 2023 yılında da en düşük değer yine kontrolde (%2,17) belirlenmiştir. En yüksek değer ise %7,31 ile 40 kg N da⁻¹ + OTG ve 40 kg da⁻¹ N + BF-1 + OTG 400 kg da⁻¹ uygulamasında tespit edilmiştir. Bunlara benzer sonuçlar yılın ortalamasında da görülmüştür. Nitekim, yıl ortalamaları incelendiğinde en düşük değer kontrol (%2,36), en yüksek değer ise %6,86 ile 40 kg N da⁻¹ + BF-2 + OTG 400 kg da⁻¹ uygulamasında

kaydedilmiştir. Bu uygulamayı, aynı grupta olan %6,72 ile 40 kg N da⁻¹ + OTG 400 kg da⁻¹ takip etmiştir. Azot miktarlarında birinci yılda BF-2 bakterisinin OTG ve azotla kombine edildiğinde BF-1'e göre yapraklarda daha yüksek azot birikimi sağladığı, ikinci yılda ise BF-1 ile yapılan aynı kombinasyonda daha yüksek azot birikimi olduğu dikkat çekmektedir. Bu durum, BF-1 ve BF-2'nin bitkiyle simbiyotik ilişkiler kurarak azot alımını teşvik etme potansiyelini ortaya koymuştur (Tablo 46).

Fosfor (P) miktarı (%)

Araştırmada, Brüksel lahanasında yapraklardaki fosfor (P) miktarına ait varyans analiz sonuçları Tablo 47'de sunulurken, uygulamaların ortalamalarına ait sonuçlar Tablo 48'de gösterilmiştir.

Tablo 47'de yıl (Y), uygulama (U) ve yıl × uygulama (Y × U) etkileşimi faktörlerinin tamamı fosfor miktarı üzerinde istatistiksel olarak %1 düzeyinde anlamlı (p≤0.01) etki gösterdiği görülmektedir.

Tablo 47. Farklı Azot Dozları, PGPR Formülasyonları ve Organik Tavuk Gübresinin Brüksel Lahanasında Yapraklardaki Fosfor Miktarına Etkisini Gösteren Varyans Analiz Sonuçları

Varyasyon Kaynağı	SD	KT	F
2022-2023			
Yıl (Y)	1	0,169	66,692**
Uygulama (U)	17	0,369	8,55**
Y x U	17	0,472	10,947**
Hata	72	0,183	
Genel	107	1,192	

** : %1 seviyesinde önemlidir.

Yıllara göre yapılan incelemede, 2022 yılında ortalama yaprak fosfor miktarı %0,28 iken, bu değer 2023 yılında %0,20'ye düşmüştür. Bu belirgin azalış, 2023 yılındaki çevresel koşulların fosfor alımı ve taşınması üzerinde sınırlayıcı etkiler oluşturduğunu düşündürmektedir. Uygulama bazında incelendiğinde ise en yüksek yıl ortalaması %0,36 ile 30 kg N da⁻¹ + BF-2 + OTG 400 kg da⁻¹ uygulamasında belirlenmiştir. Bu uygulamayı %0,33 ile BF-2, %0,31 ve BF-1 + OTG 400 kg da⁻¹ ve 20 kg N da⁻¹ + BF-2 + OTG 400 kg da⁻¹ uygulamaları takip etmiştir. Bu bulgular, özellikle BF-2 bakterisinin OTG ile birlikte uygulandığında fosfor alımı üzerinde bir etki gösterdiğini ve fosfat çözünürlüğünü artırdığını destekler niteliktedir.

Tablo 48. Farklı Azot Dozları, PGPR Formülasyonları ve Organik Tavuk Gübresinin Brüksel Lahanasında Yapraklardaki Fosfor Miktarına Etkisi (%)

UYGULAMA	2022	2023	Yıl Ortalama
Kontrol	0,26 DE*	0,24 C*	0,25 CG*
BF-1	0,26 DE	0,30 B	0,28 BF
BF-2	0,29 CD	0,38 A	0,33 AB
OTG 400 kg da⁻¹	0,34 BD	0,13 FG	0,23 DH
40 kg N da⁻¹	0,22 BE	0,22 CD	0,22 FH
30 kg N da⁻¹	0,19 E	0,17 E	0,18 GI
20 kg N da⁻¹	0,9 E	0,22 C	021 GH
BF-1+ OTG 400 kg da⁻¹	0,39 BC	0,23 C	0,31 AC
BF-2+ OTG 400 kg da⁻¹	0,41 AB	0,17 E	0,29 BE
40 kg N da⁻¹ + BF-1+ OTG 400 kg da⁻¹	0,26 DE	0,19 DE	0,23 EH
30 kg N da⁻¹ + BF-1+ OTG 400 kg da⁻¹	0,24 BE	0,12 G	0,18 HI
20 kg N da⁻¹ + BF-1+ OTG 400 kg da⁻¹	0,23 DE	0,16 EF	0,20 GI
40 kg N da⁻¹ + BF-2+ OTG 400 kg da⁻¹	0,20 E	0,19 DE	0,20 GI
30 kg N da⁻¹ + BF-2+ OTG 400 kg da⁻¹	0,53 A	0,18 E	0,36 A
20 kg N da⁻¹ + BF-2+ OTG 400 kg da⁻¹	0,45 AB	0,14 FG	0,29 AD
40 kg N da⁻¹ + OTG 400 kg da⁻¹	0,24 DE	0,12 G	0,18 GI
30 kg N da⁻¹ + OTG 400 kg da⁻¹	0,16 E	0,10 G	0,13 I
20 kg N da⁻¹ + OTG 400 kg da⁻¹	0,16 E	0,32 B	0,24 DH
ORTALAMA	0,28	0,20	

*: Sütunda aynı harfle gösterilen ortalamalar arasındaki fark %5 seviyesinde önemlidir.

2022 yılı sonuçlarına göre; en yüksek P değeri %0,53 ile 30 kg N da⁻¹ + BF-2 + OTG 400 kg da⁻¹ uygulamasında kaydedilirken, bu durum 2023 yılında daha düşük değerlerde belirlenmiştir (%0,18). 2023 yılı verilerinde ise en yüksek P değeri %0,38 ile BF-2 uygulamasında (Tablo 48).

Genel olarak yapraklardaki fosfor miktarına, PGPR'li uygulamaların (özellikle BF-2) N ve OTG ile birlikte kullanıldığında diğer uygulamalara göre yapraklarda fosfor elementini daha yüksek artırma potansiyeli taşıdığı tespit edilmiştir.

Potasyum (K) miktarı (%)

Araştırmada, 20, 30 ve 40 kg da⁻¹ dozlarında azot, 400 kg da⁻¹ organik tavuk gübresi (OTG) ve PGPR (BF-1 ile BF-2) ile yapılan uygulamaların yapraklardaki potasyum (K) miktarına etkisi % olarak incelenerek, varyans analiz sonuçları Tablo 49'da paylaşılmıştır. Ayrıca, uygulamalara göre potasyum (K) miktarlarında belirlenen değerlerin ortalamalara ait bulgular Tablo 50'de gösterilmiştir.

Faktörler üzerine yapılan incelemede yıl (Y), uygulama (U) ve yıl × uygulama (Y × U)'nın potasyum miktarı üzerindeki etkisi p≤0,01 düzeyinde önemli bulunmuştur. Bu bulgulara göre yaprak K birikiminin hem çevresel koşullara hem de uygulamalara göre değiştiğini ayrıca aynı uygulamanın yıllara göre farklılık gösterdiği de tespit edilmiştir.

Tablo 49. Farklı Azot Dozları, PGPR Formülasyonları ve Organik Tavuk Gübresinin Brüksel Lahanasında Yapraklardaki Potasyum Miktarına Etkisini Gösteren Varyans Analiz Sonuçları

Varyasyon Kaynağı	SD	KT	F
2022-2023			
Yıl (Y)	1	0,667	23,291**
Uygulama (U)	17	5,079	10,426**
Y x U	17	11,711	24,042**
Hata	72	2,063	
Genel	107	19,52	

** : %1 seviyesinde önemlidir.

Denemenin birinci (2022) yılında potasyum birikimini zirveye taşıyan uygulama %1,83 ile 30 kg N da⁻¹ + BF-2 + OTG 400 kg da⁻¹ olurken, aynı kombinasyonda 2023 yılındaki potasyum miktarı %0,84'e düşerek azalışlar belirlenmiştir. Bunlara ilaveten, BF-2 uygulamasında 2023 yılında %2,41'lik potasyum en yüksek değeri olarak belirlenmiştir.

Araştırmada, N + OTG'nin farklı dozlarda yapılan uygulamalarında belirlenen potasyum miktarları 2022 yılında %0,99 ve %1,51 arasında; 2023 yılında %0,83 ve %1,79 arasında olduğu Tablo 50 incelendiğinde görülecektir.

Tablo 50. Farklı Azot Dozları, PGPR Formülasyonları ve Organik Tavuk Gübresinin Brüksel Lahanasında Yapraklardaki Potasyum Miktarına Etkisi (%)

UYGULAMA	2022	2023	Yıl Ortalama
Kontrol	1,08 CD	1,43 D	1,26 D-G
BF-1	1,04 DE	2,18 B	1,61 AB
BF-2	1,08 CD	2,41 A	1,74 A
OTG 400 kg da⁻¹	1,27 B-E	1,05 E	1,16 FGH
40 kg N da⁻¹	1,52 AB	0,90 EFG	1,21 DE
30 kg N da⁻¹	1,42 A-D	0,63 H	1,03 GH
20 kg N da⁻¹	1,38 B-E	0,92 EF	1,15 FGH
BF-1+ OTG 400 kg da⁻¹	1,46 ABC	1,71 C	1,59 AB
BF-2+ OTG 400 kg da⁻¹	1,57 AB	1,35 D	1,46 BCD
40 kg N da⁻¹ + BF-1+ OTG 400 kg da⁻¹	1,61 AB	1,45 D	1,53 ABC
30 kg N da⁻¹ + BF-1+ OTG 400 kg da⁻¹	1,42 A-D	0,86 EFG	1,14 FGH
20 kg N da⁻¹ + BF-1+ OTG 400 kg da⁻¹	1,55 AB	0,70 GH	1,13 FGH
40 kg N da⁻¹ + BF-2+ OTG 400 kg da⁻¹	1,34 B-E	0,87 EFG	1,11 FGH
30 kg N da⁻¹ + BF-2+ OTG 400 kg da⁻¹	1,83 A	0,84 E-H	1,33 C-F
20 kg N da⁻¹ + BF-2+ OTG 400 kg da⁻¹	1,39 B-E	0,79 FH	1,09 GH
40 kg N da⁻¹ + OTG 400 kg da⁻¹	1,51 AB	0,83 E-H	1,17 FGH
30 kg N da⁻¹ + OTG 400 kg da⁻¹	0,99 E	0,95 EF	0,97 H
20 kg N da⁻¹ + OTG 400 kg da⁻¹	1,03 E	1,79 C	1,41 B-E
ORTALAMA	1,36	1,20	

*: Sütunda aynı harfle gösterilen ortalamalar arasındaki fark %5 seviyesinde önemlidir.

İki yılın ortalama değerleri karşılaştırıldığında potasyum miktarının 2022'de %1,36 iken 2023'te %1,20'ye gerilediği belirlenmiştir. Ayrıca, en yüksek yıl ortalaması %1,74 ile tek başına BF-2 uygulamasında kaydedilmiş; bunu sırasıyla BF-1 (%1,61) ve BF-1 + OTG 400 kg

da⁻¹ (%1,59) takip etmiştir. Kontrol grubunun yıl ortalaması ise %1,26 olarak tespit edilmiştir (Tablo 50).

Kalsiyum (Ca) miktarı (%)

Araştırmada N (azot), OTG (organik tavuk gübresi) ve PGPR (BF-1 ve BF-2) uygulamalarının yapraklardaki kalsiyum miktarına etkisini gösteren varyans analiz sonuçları Tablo 51’de, uygulama ortalamalarına ait test sonuçları ise Tablo 52’te verilmiştir.

Tablo 51. Farklı Azot Dozları, PGPR Formülasyonları ve Organik Tavuk Gübresinin Brüksel Lahanasında Yapraklardaki Kalsiyum Miktarına Etkisini Gösteren Varyans Analiz Sonuçları

Varyasyon Kaynağı	SD	KT	F
2022-2023			
Yıl (Y)	1	0,05	2,801*
Uygulama (U)	17	7,487	24,631**
Y x U	17	4,929	16,215**
Hata	72	1,287	
Genel	107	13,753	

*: %5 seviyesinde önemlidir, **: %1 seviyesinde önemlidir.

Tablo 51 incelendiğinde, yıl (Y) faktörü %5 düzeyinde önemli bulunurken; uygulama (U) ile yıl x uygulama (Y x U) etkileşimleri %1 düzeyinde istatistiksel olarak önemli olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, aynı tabloda uygulamaların yapraklardaki kalsiyum miktarını önemli derecede etkilediği ve bu etkinin yıllara göre değiştiği tespit edilmiştir.

Tablo 52. Farklı Azot Dozları, PGPR Formülasyonları ve Organik Tavuk Gübresinin Brüksel Lahanasında Yapraklardaki Kalsiyum Miktarına Etkisi (%)

UYGULAMA	2022	2023	Yıl Ortalama
Kontrol	1,26 BCD*	1,47 B*	1,36 A*
BF-1	1,13 C-F	1,73 A	1,43 A
BF-2	1,20 CDE	1,73 A	1,46 A
OTG 400 kg da⁻¹	1,20 CDE	0,59 HI	0,89 EF
40 kg N da⁻¹	0,75 GH	0,82 EFG	0,78 FGH
30 kg N da⁻¹	0,69 GH	0,60 HI	0,64 H
20 kg N da⁻¹	0,68 GH	0,87 DE	0,78 FGH
BF-1+ OTG 400 kg da⁻¹	1,52 AB	1,10 C	1,31 AB
BF-2+ OTG 400 kg da⁻¹	1,45 ABC	0,81 EFG	1,13 CD
40 kg N da⁻¹ + BF-1+ OTG 400 kg da⁻¹	0,94 D-G	0,86 DEF	0,90 EF
30 kg N da⁻¹ + BF-1+ OTG 400 kg da⁻¹	0,84 FGH	0,54 I	0,69 GH
20 kg N da⁻¹ + BF-1+ OTG 400 kg da⁻¹	0,83 FGH	0,83 EFG	0,83 EFG
40 kg N da⁻¹ + BF-2+ OTG 400 kg da⁻¹	0,66 GH	0,75 EFG	0,70 GH
30 kg N da⁻¹ + BF-2+ OTG 400 kg da⁻¹	1,60 A	0,77 EFG	1,18 BC
20 kg N da⁻¹ + BF-2+ OTG 400 kg da⁻¹	1,18 CDE	0,72 FGH	0,95 EF
40 kg N da⁻¹ + OTG 400 kg da⁻¹	0,89 C-H	0,98 CD	0,93 EF
30 kg N da⁻¹ + OTG 400 kg da⁻¹	0,63 GH	0,69 GH	0,66 GH
20 kg N da⁻¹ + OTG 400 kg da⁻¹	0,59 GH	1,39 B	0,99 DE
ORTALAMA	1,00	0,96	

*: Sütunda aynı harfle gösterilen ortalamalar arasındaki fark %5 seviyesinde önemlidir.

Yapraklardaki kalsiyum oranı 2022 yılında ortalama %1,00, 2023 yılında %0,96 olarak belirlenmiştir. Uygulama bazında değerlendirildiğinde, yıllar arasında belirgin farklar görülmektedir. 2022 yılında en yüksek Ca oranı %1,60 ile 30 kg N da⁻¹ + BF-2 + OTG 400 kg da⁻¹ uygulamasında tespit edilirken, en düşük oran %0,59 ile “20 kg N da⁻¹ + OTG 400 kg da⁻¹ uygulamasında belirlenmiştir. 2023 yılında ise en yüksek değer %1,73 ile hem BF-1 hem de BF-2 uygulamalarında görülmüştür; en düşük oran ise %0,54 ile 30 kg N da⁻¹ + BF-1 + OTG 400 kg da⁻¹ uygulamasında kaydedilmiştir (Tablo 52).

Yıl ortalamaları dikkate alındığında, en yüksek kalsiyum oranı %1,46 ile BF-2 uygulamasında, onu %1,43 ile BF-1 ve %1,36 ile kontrol grubu izlemiştir. Buna karşılık en düşük Ca oranı ise %0,64 (30 kg N da⁻¹) olarak kaydedilmiştir.

Kükürt (S) miktarı (%)

Araştırmada azotun 20, 30 ve 40 kg N da⁻¹ artan dozları, 400 kg da⁻¹ organik tavuk gübresi (OTG) ve PGPR (BF-1 ve BF-2) uygulamalarının kombinesiz veya kombine edilmiş formlarının, yapraklardaki kükürt (S) miktarına etkisini gösteren varyans analiz sonuçları Tablo 53’te, uygulamaların ortalama değerlerine ait test sonuçları ise Tablo 54’te sunulmuştur.

Tablo 53. Farklı Azot Dozları, PGPR Formülasyonları ve Organik Tavuk Gübresinin Brüksel Lahanasında Yapraklardaki Kükürt Miktarına Etkisini Gösteren Varyans Analiz Sonuçları

Varyasyon Kaynağı	SD	KT	F
2022-2023			
Yıl (Y)	1	0,247	82,167**
Uygulama (U)	17	1,184	23,162**
Y x U	17	1,711	33,486**
Hata	72	0,216	
Genel	107	3,359	

** : %1 seviyesinde önemlidir.

Varyans analiz sonuçlarına göre yıl (Y), uygulama (U) ve yıl × uygulama (Y × U) etkileşimi faktörlerinin tamamı istatistiksel olarak %1 düzeyinde önemli bulunmuştur (Tablo 53).

Uygulama ortalamalarına ait değerlere bakıldığında; 2022 yılında yapraklardaki kükürt miktarı %0,07 (Kontrol) ile %0,33 (20 kg N da⁻¹ + BF-2 + OTG 400 kg da⁻¹) arasında değişmiştir. Denemenin ikinci yılı olan 2023’te ise kükürt miktarları %0,08 (20 kg N da⁻¹ + BF-2 + OTG 400 kg da⁻¹) ile %0,89 (30 kg N da⁻¹) arasında değişmiş, en yüksek değer 30 kg N da⁻¹ uygulamasında tespit edilmiştir.

Tablo 54. Farklı Azot Dozları, PGPR Formülasyonları ve Organik Tavuk Gübresinin Brüksel Lahanasında Yapraklardaki Kükürt Miktarına Etkisi (%)

UYGULAMA	2022	2023	Yıl Ortalama
Kontrol	0,07 D*	0,19 EF*	0,13 FG*
BF-1	0,08 D	0,19 EF	0,14 FG
BF-2	0,08 D	0,17 EF	0,12 G
OTG 400 kg da⁻¹	0,18 BC	0,10 F	0,14 EFG
40 kg N da⁻¹	0,14 CD	0,72 B	0,43 B
30 kg N da⁻¹	0,11 CD	0,89 A	0,50 A
20 kg N da⁻¹	0,10 CD	0,47 C	0,29 C
BF-1+ OTG 400 kg da⁻¹	0,14 BCD	0,15 EF	0,15 EFG
BF-2+ OTG 400 kg da⁻¹	0,23 B	0,12 EF	0,17 EFG
40 kg N da⁻¹ + BF-1+ OTG 400 kg da⁻¹	0,16 BCD	0,14 EF	0,15 EFG
30 kg N da⁻¹ + BF-1+ OTG 400 kg da⁻¹	0,14 BCD	0,09 F	0,11 G
20 kg N da⁻¹ + BF-1+ OTG 400 kg da⁻¹	0,14 BCD	0,35 EF	0,24 CD
40 kg N da⁻¹ + BF-2+ OTG 400 kg da⁻¹	0,13 CD	0,19 EF	0,16 EFG
30 kg N da⁻¹ + BF-2+ OTG 400 kg da⁻¹	0,31 A	0,10 F	0,20 DEF
20 kg N da⁻¹ + BF-2+ OTG 400 kg da⁻¹	0,33 A	0,08F	0,21 DE
40 kg N da⁻¹ + OTG 400 kg da⁻¹	0,14 CD	0,11 EF	0,13 G
30 kg N da⁻¹ + OTG 400 kg da⁻¹	0,10 CD	0,15 EF	0,13 G
20 kg N da⁻¹ + OTG 400 kg da⁻¹	0,09 CD	0,22 E	0,16 EG
ORTALAMA	0,15	0,25	

*: Sütunda aynı harfle gösterilen ortalamalar arasındaki fark %5 seviyesinde önemlidir.

Yıl ortalamaları değerlendirildiğinde, en yüksek yaprak kükürt içeriği %0,50 ile 30 kg N da⁻¹, en düşük değer ise %0,11 ile 30 kg N da⁻¹ + BF-1 + OTG 400 kg da⁻¹ uygulamasında belirlenmiştir. Genel olarak N dozlarının artırılmasıyla yapraklardaki S miktarında artış olduğu gözlemlenmiştir. Elde edilen sonuçlarda istatistiksel olarak benzer gruplarda yer alan birçok uygulama bulunmasına rağmen bazı kombinasyonlar arasında anlamlı farklılıklar olduğu Tablo 54’de görülmektedir.

Magnezyum (Mg) miktarı (%)

Brüksel lahanasında farklı azot dozları (20, 30, 40 kg N da⁻¹), organik tavuk gübresi (OTG 400 kg da⁻¹) ve PGPR (BF-1 ve BF-2) uygulamalarının yapraklardaki toplam magnezyum (Mg) içeriği üzerine etkilerini belirlemeye yönelik olarak yapılan varyans analiz sonuçları Tablo 55’te, uygulamaların ortalama değerleri ise Tablo 56’da sunulmuştur.

Tablo 55’te yer alan varyans analizine göre; yıl (Y), uygulama (U) ve yıl × uygulama Y × U etkileşimi faktörlerinin tamamı Mg içeriği üzerinde istatistiksel olarak %1 düzeyinde önemli (p≤0,01) bulunmuştur.

Tablo 55. Farklı Azot Dozları, PGPR Formülasyonları ve Organik Tavuk Gübresinin Brüksel Lahanasında Yapraklardaki Magnezyum Miktarına Etkisini Gösteren Varyans Analiz Sonuçları

Varyasyon Kaynağı	SD	KT	F
2022-2023			
Yıl (Y)	1	0,449	358,984**
Uygulama (U)	17	0,646	30,368**
Y x U	17	0,576	27,079**
Hata	72	0,09	
Genel	107	1,762	

** : %1 seviyesinde önemlidir.

Yıllara göre incelendiğinde; 2022 yılında yapraklardaki ortalama Mg miktarı %0,13 iken, 2023 yılında bu değer %0,26'ya yükselmiş ve yaklaşık iki katına çıkmıştır. Uygulama bazında yıl ortalamaları değerlendirildiğinde, en yüksek Mg içeriği (%0,35) ile 20 kg N da⁻¹ + BF-1+ OTG 400 kg da⁻¹ uygulamasında belirlenmiştir. Bu uygulamayı, aynı grupta yer alan 20 kg N da⁻¹ (%0,33) ve 40 kg da⁻¹ (%0,33) uygulamaları takip etmiştir.

Tablo 56. Farklı Azot Dozları, PGPR Formülasyonları ve Organik Tavuk Gübresinin Brüksel Lahanasında Yapraklardaki Magnezyum Miktarına Etkisi (%)

UYGULAMA	2022	2023	Yıl Ortalama
Kontrol	0,09 EF*	0,21 HI*	0,15 FGH*
BF-1	0,08 F	0,34 EF	0,21 CDE
BF-2	0,09 EF	0,42 CD	0,25 B
OTG 400 kg da⁻¹	0,09 EF	0,14 İİ	0,11 H
40 kg N da⁻¹	0,19 A	0,47 BC	0,33 A
30 kg N da⁻¹	0,15 A-D	0,31 FG	0,23 BC
20 kg N da⁻¹	0,13 B-F	0,54 A	0,33 A
BF-1+ OTG 400 kg da⁻¹	0,11 DEF	0,21 HI	0,16 EFG
BF-2+ OTG 400 kg da⁻¹	0,10 DEF	0,16 İİ	0,13 GH
40 kg N da⁻¹ + BF-1+ OTG 400 kg da⁻¹	0,19 A	0,17 İİ	0,18 DEF
30 kg N da⁻¹ + BF-1+ OTG 400 kg da⁻¹	0,19 A	0,10 İ	0,15 FGH
20 kg N da⁻¹ + BF-1+ OTG 400 kg da⁻¹	0,19 A	0,51 AB	0,35 A
40 kg N da⁻¹ + BF-2+ OTG 400 kg da⁻¹	0,17 AB	0,26 GH	0,22 BCD
30 kg N da⁻¹ + BF-2+ OTG 400 kg da⁻¹	0,11 DEF	0,12 İ	0,12 H
20 kg N da⁻¹ + BF-2+ OTG 400 kg da⁻¹	0,13 B-E	0,10 İ	0,11 H
40 kg N da⁻¹ + OTG 400 kg da⁻¹	0,17 ABC	0,16 İİ	0,16 EFG
30 kg N da⁻¹ + OTG 400 kg da⁻¹	0,11 DEF	0,10 İ	0,11 I-L
20 kg N da⁻¹ + OTG 400 kg da⁻¹	0,12 C-F	0,39 DE	0,26 B
ORTALAMA	0,13	0,26	

*: Sütunda aynı harfle gösterilen ortalamalar arasındaki fark %5 seviyesinde önemlidir.

Bu bulgular, düşük ve orta düzeyde azot dozlarının, özellikle PGPR ve OTG ile birlikte uygulandığında, Mg alımını teşvik edebileceğini göstermektedir. Diğer yandan, en düşük Mg içerikleri %0,11–%0,13 aralığında bulunmuş olup, bu değerler genellikle OTG'nin tek başına uygulandığı ya da düşük doz azot ile kombine edildiği uygulamalarda belirlenmiştir.

OTG tek başına (%0,11), 30 kg N da⁻¹ + BF-2 + OTG 400 kg da⁻¹ (%0,12) ve 20 kg N da⁻¹ + BF-2 + OTG 400 kg da⁻¹ (%0,11) uygulamaları istatistiksel olarak aynı grupta yer almış ve Mg miktarlarının düşük olduğu belirlenmiştir. BF-2 tek başına uygulandığında (%0,25) veya 20 kg N da⁻¹ + OTG ile birlikte kullanıldığında (%0,26) oldukça etkili olduğu tespit edilmiştir. Bu durum BF-2'nin topraktaki Mg'un bitki tarafından alınabilirliğini artırma potansiyeline sahip olduğunu göstermektedir (Tablo 56).

Demir (Fe) miktarı (ppm)

Araştırmada N (azot), OTG (organik tavuk gübresi) ve PGPR (BF-1 ve BF-2) uygulamalarının Brüksel lahanasında yapraklardaki demir (Fe) miktarına etkisini belirlemeye yönelik varyans analiz sonuçları Tablo 57'de, uygulamalara ait ortalama değerler ise Tablo 58'te verilmiştir.

Tablo 57'de yer alan varyans analizine göre, yıl (Y), uygulama (U) ve yıl × uygulama (Y × U) faktörlerinin yapraklardaki demir içeriği üzerinde istatistiksel olarak %1 seviyesinde önemli olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 57. Farklı Azot Dozları, PGPR Formülasyonları ve Organik Tavuk Gübresinin Brüksel Lahanasında Yapraklardaki Demir Miktarına Etkisini Gösteren Varyans Analiz Sonuçları

Varyasyon Kaynağı	SD	KT	F
2022-2023			
Yıl (Y)	1	1627,273	16,07**
Uygulama (U)	17	123808,1	71,923**
Y x U	17	83024,14	48,23**
Hata	72	7290,665	
Genel	107	215750,2	

** : %1 seviyesinde önemlidir.

Tablo 58 incelendiğinde, 2022 yılında yapraklardaki demir miktarının 10,49 ppm ile en düşük kontrol uygulamasında tespit edildiği, bunu sırasıyla BF-2 (21,68 ppm), OTG 400 kg da⁻¹ (26,45 ppm) ve BF-1 (28,39 ppm) uygulamalarının izlediği görülmektedir. En yüksek demir miktarı ise 72,91 ppm ile 20 kg N da⁻¹ + BF-1 + OTG 400 kg da⁻¹ uygulamasında belirlenmiştir. Bunun yanı sıra 66,35 ppm ile 40 kg N da⁻¹ + OTG 400 kg da⁻¹, 65,85 ppm ile 20 kg N da⁻¹ + OTG 400 kg da⁻¹ ve 61,61 ppm ile 30 kg N da⁻¹ + OTG 400 kg da⁻¹ uygulamalarında da yüksek demir miktarları kaydedilmiştir.

Araştırmada, 2023 yılında genel olarak demir miktarlarının önceki yıla kıyasla daha düşük seviyelerde olduğu belirlenmiştir. En yüksek demir miktarı 92,04 ppm ile 40 kg N da⁻¹ uygulamasında tespit edilmiştir. Bunu sırasıyla 63,42 ppm ile 30 kg N da⁻¹ + BF-1 + OTG 400 kg da⁻¹ ve 56,84 ppm ile 30 kg N da⁻¹ + OTG 400 kg da⁻¹ uygulamaları takip etmiştir. En düşük

değer ise 14,54 ppm ile 20 kg N da⁻¹ + BF-2 + OTG 400 kg da⁻¹ uygulamasında belirlenmiştir (Tablo 58).

Yıl ortalamaları değerlendirildiğinde en düşük değer 20,49 ppm ile BF-2 uygulamasında saptanırken, bunu 24,47 ppm ve 26,17 ppm ile sırasıyla OTG, BF-1 uygulamaları izlemiştir. Öte yandan en yüksek demir içeriği 65,26 ppm ile 40 kg N da⁻¹ uygulamasında kaydedilmiştir. Bunu sırasıyla 59,22 ppm ile 30 kg N da⁻¹ + OTG ve 57,69 ppm ile 30 kg N da⁻¹ + BF-1 + OTG uygulamaları takip etmiştir.

Tablo 58. Farklı Azot Dozları, PGPR Formülasyonları ve Organik Tavuk Gübresinin Brüksel Lahanasında Yapraklardaki Demir Miktarına Etkisi (ppm)

UYGULAMA	2022	2023	Yıl Ortalama
Kontrol	10,49 H*	40,47 DE*	25,48 CD*
BF-1	28,39 FGH	23,95 F-I	26,17 CD
BF-2	21,68 GH	19,31 HI	20,49 D
OTG 400 kg da⁻¹	26,45 FGH	22,50 GHI	24,47 CD
40 kg N da⁻¹	38,47 D-G	92,04 A	65,26 A
30 kg N da⁻¹	31,19 E-H	31,72 EFG	31,45 CD
20 kg N da⁻¹	42,55 C-G	24,34 F-I	33,44 C
BF-1+ OTG 400 kg da⁻¹	48,00 B-E	54,91 BC	51,46 B
BF-2+ OTG 400 kg da⁻¹	43,33 C-G	18,59 HI	30,96 CD
40 kg N da⁻¹ + BF-1+ OTG 400 kg da⁻¹	59,02 A-D	35,55 DEF	47,29 B
30 kg N da⁻¹ + BF-1+ OTG 400 kg da⁻¹	51,97 A-E	63,42 B	57,69 AB
20 kg N da⁻¹ + BF-1+ OTG 400 kg da⁻¹	72,91 A	28,87 E-H	50,89 B
40 kg N da⁻¹ + BF-2+ OTG 400 kg da⁻¹	47,40 B-E	46,04 CD	46,72 B
30 kg N da⁻¹ + BF-2+ OTG 400 kg da⁻¹	39,38 C-G	28,51 FGH	33,94 C
20 kg N da⁻¹ + BF-2+ OTG 400 kg da⁻¹	33,95 EFG	14,54 I	24,25 CD
40 kg N da⁻¹ + OTG 400 kg da⁻¹	66,35 AB	28,29 FGH	47,32 B
30 kg N da⁻¹ + OTG 400 kg da⁻¹	61,61 ABC	56,84 BC	59,22 AB
20 kg N da⁻¹ + OTG 400 kg da⁻¹	65,85 AB	35,17 DEF	50,51 B
ORTALAMA	43,83	36,95	

*: Sütunda aynı harfle gösterilen ortalamalar arasındaki fark %5 seviyesinde önemlidir.

Sonuç olarak, yapraklardaki demir içeriği üzerine en yüksek etkiyi sağlayan uygulamaların genellikle yüksek dozda azot (30–40 kg N da⁻¹) içeren ve özellikle OTG ile kombine edilen uygulamalar olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, PGPR uygulamalarının tek başına kullanıldıklarında etkileri sınırlı kalmasına rağmen bazı kombinasyonlarda demir alımını artırmada etkili olduğu tespit edilmiştir.

Çinko (Zn) miktarı (ppm)

Uygulamaların yapraklardaki toplam çinko (Zn) miktarına etkisi üzerine yapılan varyans analizi sonuçları Tablo 59'da uygulamaların ortalamalarına ait çinko değerleri ise Tablo 60'ta sunulmuştur.

Varyans analizine göre yıl (Y), uygulama (U) ve yıl × uygulama (Y × U) faktörlerinin tamamı çinko miktarı üzerinde istatistiksel olarak %1 düzeyinde anlamlı ($p \leq 0,01$) bulunmuştur (Tablo 59).

Tablo 59. Farklı Azot Dozları, PGPR Formülasyonları ve Organik Tavuk Gübresinin Brüksel Lahanasında Yapraklardaki Çinko Miktarına Etkisini Gösteren Varyans Analiz Sonuçları

Varyasyon Kaynağı	SD	KT	F
2022-2023			
Yıl (Y)	1	521,812	49,745**
Uygulama (U)	17	5252,538	29,455**
Y x U	17	2938,324	16,477**
Hata	72	755,254	
Genel	107	9467,928	

** : %1 seviyesinde önemlidir.

Yapraklardaki çinko (Zn) konsantrasyonu, 2022 yılında ortalama 9,88 ppm iken, 2023 yılında 14,28 ppm olarak belirlenmiştir. 2023 yılında, en yüksek yaprak Zn içeriği 40 kg N da⁻¹ + OTG 400 kg da⁻¹ kombinasyonunda 44,32 ppm olarak tespit edilmiştir.

Tablo 60. Farklı Azot Dozları, PGPR Formülasyonları ve Organik Tavuk Gübresinin Brüksel Lahanasında Yapraklardaki Çinko Miktarına Etkisi (ppm)

UYGULAMA	2022	2023	Yıl Ortalama
Kontrol	0,30 H*	1,29 G*	0,79 J*
BF-1	4,78 FGH	3,75 FG	4,26 İİ
BF-2	4,09 GH	3,48 FG	3,79 İJ
OTG 400 kg da⁻¹	5,70 FG	9,46 DEF	7,58 Hİİ
40 kg N da⁻¹	9,45 D-G	9,75 DEF	9,60 FGH
30 kg N da⁻¹	10,00 C-F	26,11 BC	18,05 BC
20 kg N da⁻¹	14,05 A-D	9,25 DEF	11,65 FG
BF-1+ OTG 400 kg da⁻¹	4,54 FGH	1,39 G	2,97 J
BF-2+ OTG 400 kg da⁻¹	6,09 EFG	27,42 B	16,75 CD
40 kg N da⁻¹ + BF-1+ OTG 400 kg da⁻¹	11,23 B-E	13,20 DE	12,21 EF
30 kg N da⁻¹ + BF-1+ OTG 400 kg da⁻¹	11,34 B-E	31,67 B	21,50 B
20 kg N da⁻¹ + BF-1+ OTG 400 kg da⁻¹	17,13 A	15,06 D	16,09 CDE
40 kg N da⁻¹ + BF-2+ OTG 400 kg da⁻¹	11,49 B-E	21,08 C	16,29 CDE
30 kg N da⁻¹ + BF-2+ OTG 400 kg da⁻¹	9,69 C	14,74 D	12,21 EF
20 kg N da⁻¹ + BF-2+ OTG 400 kg da⁻¹	8,88 D-G	7,09 EFG	7,98 GHI
40 kg N da⁻¹ + OTG 400 kg da⁻¹	15,04 ABC	44,32 A	29,68 A
30 kg N da⁻¹ + OTG 400 kg da⁻¹	15,66 AB	10,24 EF	12,95 DEF
20 kg N da⁻¹ + OTG 400 kg da⁻¹	18,43 A	7,75 EFG	13,09 DEF
ORTALAMA	9,88	14,28	

*: Sütunda aynı harfle gösterilen ortalamalar arasındaki fark %5 seviyesinde önemlidir.

Tablo 60'ta 30 kg da⁻¹ N + BF-1 + OTG, 40 kg da⁻¹ N + BF-2 + OTG ve 20 kg da⁻¹ N + BF-1 + OTG 400 kg da⁻¹ gibi kombinasyonlar da Zn içeriğini artırmış ve ikinci yılda daha etkili olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, yalnızca PGPR uygulanan veya OTG ile düşük azot verilen uygulamalar (örneğin, BF-1, BF-2, BF-1 + OTG)'da çinko içeriği açısından düşük değerler

belirlenmiştir. Bu da tek başına PGPR'nin Zn miktarında sınırlı etki sağladığını; ancak OTG ve N ile birlikte kullanıldığında daha verimli sonuçlar alınabileceğini göstermektedir.

Araştırma bulguları, çinko miktarı üzerine en etkili uygulamanın 40 kg N da⁻¹ + OTG 400 kg da⁻¹ kombinasyonu olduğunu açıkça ortaya koymuştur. Bununla birlikte, PGPR (özellikle BF-2) ile birlikte orta düzey azot (30 kg da⁻¹ N) uygulandığında çinko alımını artırmıştır.

Bor (B) miktarı (ppm)

N (azot), OTG (organik tavuk gübresi) ve PGPR (BF-1 ve BF-2) uygulamalarının yapraklardaki bor (B) miktarına etkisini gösteren varyans analiz sonuçları Tablo 61'de, uygulama ortalamalarına ait test sonuçları ise Tablo 62'te verilmiştir.

Tablo 61. Farklı Azot Dozları, PGPR Formülasyonları ve Organik Tavuk Gübresinin Brüksel Lahanasında Yapraklardaki Bor Miktarına Etkisini Gösteren Varyans Analiz Sonuçları

Varyasyon Kaynağı	SD	KT	F
2022-2023			
Yıl (Y)	1	0,724	0,329 ^{NS}
Uygulama (U)	17	564,849	15,081**
Y x U	17	290,567	7,758**
Hata	72	158,626	
Genel	107	1014,767	

** : %1 seviyesinde önemlidir, NS: %5 seviyesinde önemli değildir.

Analiz sonuçlarına göre, yıl (Y) faktörü istatistiksel olarak önemli bulunmamış ($p>0,05$), buna karşın (U) ve yıl \times uygulama (Y \times U) faktörleri istatistiksel olarak %1 seviyesinde önemli olduğu tespit edilmiştir. Yıllara göre yapılan değerlendirmede 2022 yılında yapraklardaki B miktarı ortalama 4,16 ppm, 2023 yılında ise 4,32 ppm olduğu tespit edilmiştir.

Uygulama ortalamalarına göre en yüksek B içeriği 10,41 ppm ile 40 kg da⁻¹ N + OTG 400 kg da⁻¹ uygulamasında tespit edilmiştir. Bu değer, özellikle 2023 yılında 15,37 ppm ile maksimum düzeye ulaşmıştır. Bu durum, OTG'nin organik yapısının ve yüksek N dozunun birlikte sinerjik etki yaratarak toprakta B çözünürlüğünü artırdığına işaret etmektedir. İkinci en yüksek yıl ortalaması BF-2 + OTG kombinasyonunda 7,58 ppm olarak tespit edilmiştir. Bu da, özellikle BF-2'nin OTG ile birlikte kullanıldığında rizosferde bor çözünürlüğünü artırabilecek mekanizmaları tetikleyebileceğini göstermektedir.

Araştırmada, PGPR'ler ya da OTG uygulanan gruplar daha düşük düzeyde B birikimi sağlamıştır. Ek olarak, yıl ortalaması incelendiğinde kontrolde tespit edilen bor miktarı 1,18 ppm olarak kaydedilmiştir. Bununla birlikte yıl ortalamasında, 30 kg da⁻¹ N + BF-1 + OTG 400 kg da⁻¹ (%6,45), 30 kg N + OTG (5,79 ppm) ve 40 kg N + BF-2 + OTG 400 kg da⁻¹ (5,17 ppm) gibi kombinasyonlar da yüksek bor içerikleriyle dikkat çekmiş ve sürdürülebilir B gübreleme açısından

öne çıkan uygulamalar olmuştur. Buna karşın, bazı uygulamaların yıllar arasında değişken tepkiler verdiği gözlenmiştir, 20 kg N + BF-1 + OTG 400 kg da⁻¹ uygulaması 2022’de yüksek bor birikimi (7,20 ppm) üretirken, 2023’te bu değer 2,72 ppm’ye düşmüştür (Tablo 62).

Tablo 62. Farklı Azot Dozları, PGPR Formülasyonları ve Organik Tavuk Gübresinin Brüksel Lahanasında Yapraklardaki Bor Miktarına Etkisi (ppm)

UYGULAMA	2022	2023	Yıl Ortalama
Kontrol	1,14 E*	1,23 H*	1,18 H*
BF-1	2,03 DE	4,36 DEF	3,20 EFG
BF-2	1,68 E	2,13 GH	1,91 GH
OTG 400 kg da⁻¹	3,42 B-E	2,93 FGH	3,17 EFG
40 kg N da⁻¹	3,49 B-E	1,99 GH	2,74 FGH
30 kg N da⁻¹	5,56 A-D	6,01 CD	5,79 BCD
20 kg N da⁻¹	3,52 B-E	1,68 GH	2,60 FGH
BF-1+ OTG 400 kg da⁻¹	2,29 CDE	1,74 GH	2,02 FGH
BF-2+ OTG 400 kg da⁻¹	4,38 A-E	10,77 B	7,58 B
40 kg N da⁻¹ + BF-1+ OTG 400 kg da⁻¹	5,21 A-D	2,61 FGH	3,91 DEF
30 kg N da⁻¹ + BF-1+ OTG 400 kg da⁻¹	5,63 ABC	7,28 C	6,45 BC
20 kg N da⁻¹ + BF-1+ OTG 400 kg da⁻¹	7,20 AB	2,72 FGH	4,96 CDE
40 kg N da⁻¹ + BF-2+ OTG 400 kg da⁻¹	5,19 AD	5,15 DE	5,17 CD
30 kg N da⁻¹ + BF-2+ OTG 400 kg da⁻¹	3,55 B-E	2,58 FGH	3,06 EFG
20 kg N da⁻¹ + BF-2+ OTG 400 kg da⁻¹	2,43 CDE	1,14 H	1,78 GH
40 kg N da⁻¹ + OTG 400 kg da⁻¹	5,45 A-D	15,37 A	10,41 A
30 kg N da⁻¹ + OTG 400 kg da⁻¹	6,17 AB	4,41 DEF	5,29 CD
20 kg N da⁻¹ + OTG 400 kg da⁻¹	6,50 AB	3,70 EFG	5,10 CD
ORTALAMA	4,16	4,32	

*: Sütunda aynı harfle gösterilen ortalamalar arasındaki fark %5 seviyesinde önemlidir.

Elde edilen bu sonuçlar, Brüksel lahanasında azot, organik gübreleme ve PGPR’nin birlikte yapılan kombinasyonlarının bor alımına yüksek katkı sağladığını göstermiştir. Nitekim, 40 kg da⁻¹ N + OTG’nin birlikte uygulanmasında en yüksek bor miktarı belirlenmiştir.

Bakır (Cu) miktarı (ppm)

Araştırmada, yapraklardaki bakır (Cu) miktarı N, OTG ve PGPR (BF-1 ve BF-2) uygulamalarının etkilerini ortaya koyan varyans analiz sonuçları Tablo 63’te sunulmuştur. Ayrıca, Cu miktarı üzerine uygulamaların ortalamalarına ait istatistiksel sonuçlarını gösteren bulgular Tablo 64’te verilmiştir. Bunlara ek olarak, belirlenen varyans analizi sonuçlarına göre faktörlerin tamamı istatistiksel olarak p≤0,01 düzeyinde önemli bulunmuştur (Tablo 64).

Tablo 63. Farklı Azot Dozları, PGPR Formülasyonları ve Organik Tavuk Gübresinin Brüksel Lahanasında Yapraklardaki Bakır Miktarına Etkisini Gösteren Varyans Analiz Sonuçları

Varyasyon Kaynağı	SD	KT	F
2022-2023			
Yıl (Y)	1	1,692	28,681**
Uygulama (U)	17	19,252	19,201**
Y x U	17	25,991	25,923**
Hata	72	4,246	
Genel	107	51,181	

** : %1 seviyesinde önemlidir.

Araştırmanın birinci yılında en düşük Cu değeri kontrol (0,16 ppm) uygulamasında görülmüştür. Kontrolü sırasıyla BF-1 + OTG 400 kg da⁻¹ (0,21 ppm), BF-1 (0,22 ppm), OTG 400 kg da⁻¹ (0,25 ppm) ve BF-2 + OTG 400 kg da⁻¹ (0,26 ppm) uygulamaları takip etmiştir. Buna karşılık, 2022 yılında en yüksek Cu birikimi 1,34 ppm ile 40 kg N da⁻¹ + OTG 400 kg da⁻¹ uygulamasında tespit edilmiştir. Bu değeri, 30 kg N da⁻¹ + OTG 400 kg da⁻¹ (1,33 ppm) ve 20 kg N da⁻¹ + OTG 400 kg da⁻¹ (1,32 ppm) uygulamaları izlemiştir.

Tablo 64. Farklı Azot Dozları, PGPR Formülasyonları ve Organik Tavuk Gübresinin Brüksel Lahanasında Yapraklardaki Bakır Miktarına Etkisi (ppm)

UYGULAMA	2022	2023	Yıl Ortalama
Kontrol	0,16 F*	1,28 C*	0,72 C*
BF-1	0,22 EF	3,48 A	1,85 A
BF-2	0,28 DEF	1,97 B	1,13 B
OTG 400 kg da⁻¹	0,25 EF	0,03 H	0,14 F
40 kg N da⁻¹	0,42 CDE	0,24 GH	0,33 DEF
30 kg N da⁻¹	0,32 C-F	0,31 FGH	0,32 DEF
20 kg N da⁻¹	0,32 C-F	0,33 E-H	0,33 DEF
BF-1+ OTG 400 kg da⁻¹	0,21 EF	1,04 CD	0,62 CD
BF-2+ OTG 400 kg da⁻¹	0,26 EF	0,94 CDE	0,60 CDE
40 kg N da⁻¹ + BF-1+ OTG 400 kg da⁻¹	0,53 C	0,08 H	0,31 DEF
30 kg N da⁻¹ + BF-1+ OTG 400 kg da⁻¹	0,49 CD	0,05 H	0,27 EF
20 kg N da⁻¹ + BF-1+ OTG 400 kg da⁻¹	1,12 B	0,07 H	0,60 CDE
40 kg N da⁻¹ + BF-2+ OTG 400 kg da⁻¹	0,38 CDE	0,42 E-H	0,40 C-F
30 kg N da⁻¹ + BF-2+ OTG 400 kg da⁻¹	0,30 DEF	0,64 D-H	0,47 CDE
20 kg N da⁻¹ + BF-2+ OTG 400 kg da⁻¹	0,32 DEF	0,64 D-H	0,48 CDE
40 kg N da⁻¹ + OTG 400 kg da⁻¹	1,34 A	0,91 C-F	1,12 B
30 kg N da⁻¹ + OTG 400 kg da⁻¹	1,33 A	0,88 C-F	1,11 B
20 kg N da⁻¹ + OTG 400 kg da⁻¹	1,32 A	0,75 C-G	1,03 B
ORTALAMA	0,53	0,78	

*: Sütunda aynı harfle gösterilen ortalamalar arasındaki fark %5 seviyesinde önemlidir.

İkinci yılda uygulamaların tamamında olmasa da genel olarak Cu miktarlarının arttığı gözlemlenmiştir. Nitekim, 2022 yılında 0,53ppm olan ortalama değer 2023 yılında 0,78 ppm'e çıktığı Tablo 64 incelendiğinde görülmektedir. Bunlara ek olarak, ikinci yılda en yüksek Cu

değeri 3,48 ppm ile BF-1 uygulamasında görülmüş, bu durum PGPR'lar tek başına kullanıldığında bakır alımını diğer uygulamalara göre daha artırıcı etkisi olduğunu ortaya koymuştur. En düşük değer ise OTG 400 kg da⁻¹ uygulamasında (0,03 ppm) belirlenmiştir (Tablo 64).

Yıl ortalamaları incelendiğinde, yapraklarda en yüksek Cu miktarı (1,85 ppm) ile BF-1 uygulamasında görülmüş, bunu sırasıyla 40 kg N da⁻¹ + OTG 400 kg da⁻¹ (1,12 ppm), 30 kg N da⁻¹ + OTG 400 kg da⁻¹ (1,11 ppm) ve BF-2 (1,13 ppm) uygulamaları takip etmiştir. Araştırmada elde edilen sonuçlara göre, tek başına BF-1 uygulamasının özellikle ikinci yılda Cu birikimini diğerlerine göre daha pozitif katkı sağladığı belirlenmiştir.

Sodyum (Na) miktarı (ppm)

Araştırmada, 20, 30 ve 40 kg N da⁻¹ dozlarında azot, 400 kg da⁻¹ organik tavuk gübresi (OTG) ve PGPR (BF-1 ve BF-2) bakteri uygulamalarının yapraklardaki sodyum (Na) miktarına etkisini belirlemeye yönelik yapılan varyans analiz sonuçları Tablo 65'te sunulmuştur. Ayrıca, ortalamalarına ait istatistik sonuçları Tablo 66'da paylaşılmıştır.

Araştırmada, tüm faktörlerin yapraklardaki sodyum miktarına etkisi istatistiksel olarak %1 düzeyinde önemli olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 65. Farklı Azot Dozları, PGPR Formülasyonları ve Organik Tavuk Gübresinin Brüksel Lahanasında Yapraklardaki Sodyum Miktarına Etkisini Gösteren Varyans Analiz Sonuçları

Varyasyon Kaynağı	SD	KT	F
2022-2023			
Yıl (Y)	1	1782038	13587,44**
Uygulama (U)	17	242311,4	108,679**
Y x U	17	200982,3	90,142**
Hata	72	9443,046	
Genel	107	2234775	

** : %1 seviyesinde önemlidir.

Tablo 66 incelendiğinde, 2022 yılında en düşük sodyum miktarı 13,36 ppm ile BF-1 uygulamasında tespit edilmiş, bunu sırasıyla BF-2 (16,61 ppm), 30 kg N da⁻¹ (16,49 ppm) ve OTG 400 kg da⁻¹ (17,51 ppm) uygulamaları izlemiştir. En yüksek değerler ise (43,31 ppm) 40 kg N da⁻¹ + OTG 400 kg da⁻¹ uygulamasında gözlenmiş, (42,99 ppm) 40 kg N da⁻¹ + BF-1 + OTG 400 kg da⁻¹ uygulamasında elde edilmiş ve bunları (38,18 ppm) 30 kg N da⁻¹ + OTG 400 kg da⁻¹ uygulamaları bunu takip etmiştir. 20 kg N da⁻¹ dozuyla yapılan kombine uygulamalarda da (BF-1 ile birlikte) sodyum miktarlarında artış tespit edilmiştir.

Araştırmanın ikinci yılında genel olarak sodyum miktarlarının 2022 yılına kıyasla daha düşük değerler elde edilmiştir. Nitekim, en düşük değer (1,87 ppm) kontrol uygulamasında

belirlenmiş olup, bu değeri (2,94 ppm) ile BF-2 ve 4,84–5,98 ppm aralığındaki 30 kg N da⁻¹ + BF-2 + OTG 400 kg da⁻¹ ve 20 kg N da⁻¹ + OTG 400 kg da⁻¹ uygulamaları izlemiştir. En yüksek sodyum miktarı ise (31,30 ppm) 20 kg N da⁻¹ + BF-1 + OTG 400 kg da⁻¹ uygulamasında tespit edilmiştir. Bunu 29,26 ppm ile 40 kg N da⁻¹ + BF-1 + OTG 400 kg da⁻¹ ve 24,10 ppm ile 30 kg N da⁻¹ + BF-1 + OTG 400 kg da⁻¹ uygulamaları takip etmiştir (Tablo 66).

Yıl ortalamaları dikkate alındığında, en düşük değerler (9,19 ppm) BF-1, (9,78 ppm) BF-2 ve kontrol (10, 71ppm) uygulamalarında gözlenmiştir. Ayrıca, en yüksek sodyum içeriği (36,12 ppm) 40 kg N da⁻¹ + BF-1 + OTG 400 kg da⁻¹ uygulamasında belirlenmiştir. Bu sonuçlar, BF-1 ve OTG 400 kg da⁻¹ kombinasyonunun yüksek azot dozlarıyla birlikte sodyum miktarını anlamlı şekilde artırabildiğini ortaya koymuştur.

Tablo 66. Farklı Azot Dozları, PGPR Formülasyonları ve Organik Tavuk Gübresinin Brüksel Lahanasında Yapraklardaki Sodyum Miktarına Etkisi (ppm)

UYGULAMA	2022	2023	Yıl Ortalama
Kontrol	19,56 H*	1,87 H*	10,71 H*
BF-1	13,36 J	5,02 FGH	9,19 H
BF-2	16,61 I	2,94 GH	9,78 H
OTG 400 kg da⁻¹	17,51 HI	14,39 C	15,95 FG
40 kg N da⁻¹	19,15 HI	15,39 C	17,27 F
30 kg N da⁻¹	16,49 I	12,57 CD	14,53 G
20 kg N da⁻¹	29,11 E	23,16 B	26,13 C
BF-1+ OTG 400 kg da⁻¹	28,78 E	24,00 B	26,39 C
BF-2+ OTG 400 kg da⁻¹	27,39 EF	20,45 B	23,92 D
40 kg N da⁻¹ + BF-1+ OTG 400 kg da⁻¹	42,99 A	29,26 A	36,12 A
30 kg N da⁻¹ + BF-1+ OTG 400 kg da⁻¹	35,92 BC	24,10 B	30,01 B
20 kg N da⁻¹ + BF-1+ OTG 400 kg da⁻¹	32,63 D	31,30 A	31,97 B
40 kg N da⁻¹ + BF-2+ OTG 400 kg da⁻¹	25,15 FG	7,35 EF	16,25 FG
30 kg N da⁻¹ + BF-2+ OTG 400 kg da⁻¹	23,23 G	4,84 FGH	14,03 G
20 kg N da⁻¹ + BF-2+ OTG 400 kg da⁻¹	23,28 G	4,85 FGH	14,06 G
40 kg N da⁻¹ + OTG 400 kg da⁻¹	43,31 A	9,58 DE	26,44 C
30 kg N da⁻¹ + OTG 400 kg da⁻¹	38,18 B	8,57 EF	23,38 D
20 kg N da⁻¹ + OTG 400 kg da⁻¹	34,34 CD	5,98 EFG	20,16 E
ORTALAMA	27,06	13,65	

*: Sütunda aynı harfle gösterilen ortalamalar arasındaki fark %5 seviyesinde önemlidir.

Manganez (Mn) miktarı (ppm)

Araştırmada, farklı azot dozları (20, 30 ve 40 kg N da⁻¹), organik tavuk gübresi (400 kg da⁻¹) ve PGPR (BF-1 ve BF-2) uygulamalarının ayrı ayrı veya birlikte kombinesinin yapraklardaki manganez (Mn) miktarı üzerine etkisini gösteren varyans analiz sonuçları Tablo 67’de, ortalamalara ait sonuçlar ise Tablo 68’de sunulmuştur.

Manganez (Mn) miktarına ait varyans analiz sonuçlarına göre, faktörlerinin tamamı istatistiksel olarak %1 düzeyinde anlamlı bulunmuştur ($p \leq 0,01$). Araştırmada, 2022 yılında en düşük Mn miktarı kontrol uygulamasında (6,15 ppm) belirlenirken, en yüksek 24,77 ppm ile 20 kg N da⁻¹ + BF-1 + OTG 400 kg da⁻¹ uygulamasında saptanmıştır. Ayrıca 40 kg N da⁻¹ + OTG 400 kg da⁻¹ (23,51 ppm) ve 20 kg N da⁻¹ (22,73 ppm) uygulamaları da yüksek Mn değerleriyle öne çıkmıştır.

Tablo 67. Farklı Azot Dozları, PGPR Formülasyonları ve Organik Tavuk Gübresinin Brüksel Lahanasında Yapraklardaki Manganez Miktarına Etkisini Gösteren Varyans Analiz Sonuçları

Varyasyon Kaynağı	SD	KT	F
2022-2023			
Yıl (Y)	1	166,522	16,482**
Uygulama (U)	17	5697,513	33,171**
Y x U	17	7321,983	42,629**
Hata	72	727,455	
Genel	107	13913,47	

** : %1 seviyesinde önemlidir.

İkinci yılda en yüksek Mn miktarı 53,48 ppm ile 40 kg N da⁻¹ + OTG 400 kg da⁻¹ uygulamasında elde edilmiştir. BF-1 (48,36 ppm) ve BF-2 (43,23 ppm) uygulamaları da yüksek Mn birikimi sağlamıştır. BF-1 ve BF-2, her iki yılda da kontrole göre artışlar sağlamıştır.

Azot uygulamaları (20, 30, 40 kg da⁻¹) incelendiğinde, 30 kg N da⁻¹ uygulaması her iki yılda da istikrarlı bir şekilde kontrole kıyasla Mn birikimi sağlamıştır (2022 ve 2023 sırasıyla 17,80 ve 17,84 ppm). Buna karşılık 20 kg N da⁻¹ uygulamasında 2022'de yüksek Mn miktarı 22,73 ppm olurken, 2023'te 6,74 ppm olarak tespit edilmiştir.

Tablo 68. Farklı Azot Dozları, PGPR Formülasyonları ve Organik Tavuk Gübresinin Brüksel Lahanasında Yapraklardaki Manganez Miktarına Etkisi (ppm)

UYGULAMA	2022	2023	Yıl Ortalama
Kontrol	6,15 H*	18,35 EF*	12,25 F-I*
BF-1	9,87 FGH	48,36 B	29,11 B
BF-2	7,54 GH	43,23 C	25,39 C
OTG 400 kg da⁻¹	11,26 E-H	10,84 GHI	11,05 HI
40 kg N da⁻¹	15,70 C-F	7,87 HII	11,78 GHI
30 kg N da⁻¹	17,80 A-E	17,84 EF	17,82 DE
20 kg N da⁻¹	22,73 ABC	6,74 II	14,73 E-H
BF-1+ OTG 400 kg da⁻¹	10,46 FGH	6,85 II	8,66 I
BF-2+ OTG 400 kg da⁻¹	13,80 D-G	28,23 D	21,01 D
40 kg N da⁻¹ + BF-1+ OTG 400 kg da⁻¹	20,94 ABC	11,15 GHI	16,05 EF
30 kg N da⁻¹ + BF-1+ OTG 400 kg da⁻¹	16,20 C-F	19,47 E	17,84 DE
20 kg N da⁻¹ + BF-1+ OTG 400 kg da⁻¹	24,77 A	9,74 HI	17,25 DE
40 kg N da⁻¹ + BF-2+ OTG 400 kg da⁻¹	17,56 B-E	14,68 FG	16,12 EF
30 kg N da⁻¹ + BF-2+ OTG 400 kg da⁻¹	16,30 C-F	8,98 HII	12,64 F-I
20 kg N da⁻¹ + BF-2+ OTG 400 kg da⁻¹	12,53 D-H	4,78 I	8,65 I
40 kg N da⁻¹ + OTG 400 kg da⁻¹	23,51 AB	53,48 A	38,49 A
30 kg N da⁻¹ + OTG 400 kg da⁻¹	18,77 A-D	12,54 GH	15,66 EFG
20 kg N da⁻¹ + OTG 400 kg da⁻¹	21,89 ABC	9,33 HI	15,61 EFG
ORTALAMA	15,99	18,47	

*: Sütunda aynı harfle gösterilen ortalamalar arasındaki fark %5 seviyesinde önemlidir.

OTG ve azotun kombinasyonlarında genel olarak kontrollere kıyasla daha yüksek Mn değerleri belirlenmiştir. Nitekim, yıl ortalaması dikkate alındığında en düşük Mn birikimi BF-1 + OTG 400 kg da⁻¹ (8,66 ppm) ve 20 kg N da⁻¹ + BF-2 + OTG 400 kg da⁻¹ (8,65 ppm) uygulamalarında tespit edilmiş, en yüksek değer ise 40 kg N da⁻¹ + OTG 400 kg da⁻¹ uygulamasında (38,49 ppm) elde edilmiştir (Tablo 68).

Başta Tespit Edilen Enzim Aktiviteler

Katalaz (CAT) aktivitesi (mmol/kg)

Araştırmada, Brüksel lahanasında azot, organik tavuk gübresi ve bakteri uygulamaları ile bunların kombinasyonlarının başlardaki katalaz (CAT) aktivitesi üzerine etkisini gösteren varyans analiz sonuçları Tablo 69'da ortalamalara ait istatistik sonuçları Tablo 70'te gösterilmiştir.

Tablo 69. Farklı Azot Dozları, PGPR Formülasyonları ve Organik Tavuk Gübresinin Brüksel Lahanasında Katalaz (CAT) Aktivitesine Etkisini Gösteren Varyans Analiz Sonuçları

Varyasyon Kaynağı	SD	KT	F
2022-2023			
Yıl (Y)	1	171994,9	203,002**
Uygulama (U)	17	889506	61,757**
Y x U	17	853830,3	59,28**
Hata	72	171994,9	
Genel	107	5792810	

** : %1 seviyesinde önemlidir.

Tablo 69’da yıl (Y), uygulama (U) ve yıl × uygulama (Y × U) faktörlerinin incelenen parametrede istatistiksel olarak $p < 0,01$ düzeyinde önemli olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 70. Farklı Azot Dozları, PGPR Formülasyonları ve Organik Tavuk Gübresinin Brüksel Lahanasında Katalaz (CAT) Aktivitesine Etkisi (mmol kg^{-1})

UYGULAMA	2022	2023	Yıl Ortalama
Kontrol	330,85 A*	285,58 C*	308,22 BC*
BF-1	73,36 FGH	219,32 D	146,34 EFG
BF-2	71,85 FGH	284,75 C	178,30 EF
OTG 400 kg da⁻¹	25,20 EF	86,46 E-H	55,83 HI
40 kg N da⁻¹	88,16 H	130,37 GHI	109,27 İJ
30 kg N da⁻¹	105,95 FG	149,12 DEF	127,54 GHI
20 kg N da⁻¹	21,26 F	131,61 FGH	76,44 HI
BF-1+ OTG 400 kg da⁻¹	80,14 GH	186,64 İİ	133,39 J
BF-2+ OTG 400 kg da⁻¹	93,68 F	137,62 GHI	115,65 HIİ
40 kg N da⁻¹ + BF-1+ OTG 400 kg da⁻¹	161,88 D	194,60 DE	178,24 EF
30 kg N da⁻¹ + BF-1+ OTG 400 kg da⁻¹	227,57 BC	188,13 DE	207,85 E
20 kg N da⁻¹ + BF-1+ OTG 400 kg da⁻¹	267,57 B	68,76 İ	168,16 FG
40 kg N da⁻¹ + BF-2+ OTG 400 kg da⁻¹	349,60 A	176,90 DG	263,25 D
30 kg N da⁻¹ + BF-2+ OTG 400 kg da⁻¹	186,44 CD	225,25 D	205,84 E
20 kg N da⁻¹ + BF-2+ OTG 400 kg da⁻¹	270,20 B	321,86 C	296,03 CD
40 kg N da⁻¹ + OTG 400 kg da⁻¹	148,97 DE	524,46 B	336,72 B
30 kg N da⁻¹ + OTG 400 kg da⁻¹	74,73 FGH	678,57 A	376,65 A
20 kg N da⁻¹ + OTG 400 kg da⁻¹	87,97 F	112,03 HIİ	100,00 İİ
ORTALAMA	330,85	285,58	

*: Sütunda aynı harfle gösterilen ortalamalar arasındaki fark %5 seviyesinde önemlidir.

Araştırmada, uygulamalara göre katalaz aktiviteleri arasındaki farkların istatistiki olarak $p \leq 0,05$ düzeyinde önemli olduğu tespit edilmiştir. Denemenin birinci yılında (2022) en düşük katalaz aktivitesi $20 \text{ kg da}^{-1} \text{ N}$ ($21,26 \text{ mmol kg}^{-1}$) uygulamasında olurken, en yüksek aktivite $349,60 \text{ mmol kg}^{-1}$ ile $40 \text{ kg N da}^{-1} + \text{BF-2+ OTG } 400 \text{ kg da}^{-1}$ uygulamasında görülmüştür. Ek olarak, ikinci yılda ise $68,76 \text{ mmol kg}^{-1}$ ile en düşük katalaz aktivitesi $20 \text{ kg N da}^{-1} + \text{BF-1+ OTG } 400 \text{ kg da}^{-1}$ uygulamasında belirlenmiştir (Tablo 70).

Bunların yanı sıra farklı dozlardaki ($20, 30, 40 \text{ kg da}^{-1}$) sadece azot uygulamalarına incelendiğinde her iki yılda da 30 kg da^{-1} uygulamasında diğerlerine göre yüksek değerler tespit edilmiştir. Nitekim, 2022 ve 2023 yıllarında sırasıyla $105,95 \text{ mmol/kg}$ ve $149,12 \text{ mmol/kg}$ tespit edilmiştir (Tablo 70).

Tablo 70 incelendiğinde, 2022 yılında $\text{BF-1} + \text{OTG } 400 \text{ kg da}^{-1}$ ve $\text{BF-2} + \text{OTG } 400 \text{ kg da}^{-1}$ uygulamalarındaki katalaz aktiviteleri $80,14 \text{ mmol/kg}$ ve $93,68 \text{ mmol/kg}$ tespit edilmiştir. Ek olarak ikinci yılda bu aktivitelerde artış görülerek sırasıyla $186,64 \text{ mmol/kg}$ ve $167,62 \text{ mmol/kg}$ olduğu belirlenmiştir.

BF-1 ve BF-2'nin farklı dozlarda (20, 30, 40 kg da⁻¹) azot ve OTG 400 kg da⁻¹ ile yapılan kombinasyonlarında belirlenen katalaz aktiviteleri kontrole göre düşük çıkmasına rağmen diğer uygulamalara göre (ikinci yıldaki 30 kg N da⁻¹ + OTG 400 kg da⁻¹ hariç) yüksek çıkmıştır. Araştırmada 20, 30 ve 40 kg da⁻¹ azot + OTG 400 kg da⁻¹ uygulamalarındaki katalaz aktivitelerinin BF-1 ve BF-2 ile yapılan kombinasyona kıyasla düşük olduğu belirlenmiştir (Tablo 70).

Peroksidaz (POX) aktivitesi (EU gr⁻¹ baş)

Araştırmada N (azot), OTG (organik tavuk gübresi) ve PGPR (BF-1 ve BF-2) uygulamalarının başta peroksidaz (POX) aktivitesi üzerine etkisini gösteren varyans analiz sonuçları Tablo 71'de, uygulamalara ait ortalama değerlerin istatistik sonuçları ise Tablo 72'de sunulmuştur.

Tablo 71. Farklı Azot Dozları, PGPR Formülasyonları ve Organik Tavuk Gübresinin Brüksel Lahanasında Peroksidaz (POX) Aktivitesine Etkisini Gösteren Varyans Analiz Sonuçları

Varyasyon Kaynağı	SD	KT	F
2022-2023			
Yıl (Y)	1	193351763,3	1007,53**
Uygulama (U)	17	212606569,9	65,168**
Y x U	17	180045130,4	55,188**
Hata	72	13817286,37	
Genel	107	599820750	

** : %1 seviyesinde önemlidir.

Tablo 71'de ki peroksidaz aktivitesi üzerine yapılan varyans analiz sonuçlarına göre araştırmadaki yıl (Y), uygulama (U) ve yıl x uygulama (Y x U) faktörlerinin istatistiksel olarak %1 düzeyinde önemli olduğu belirlenmiştir.

Başta ki peroksidaz aktivitesi üzerine uygulamalar arasındaki farkların %5 seviyesinde istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. Peroksidaz aktivitelerinde birinci yıl ile ikinci yıl arasında belirgin farklar ortaya çıkmıştır. Nitekim, 2022 yılı ortalaması 1303,40 EU gr⁻¹ iken, 2023 yılı ortalaması 4072,03 EU gr⁻¹ olarak tespit edilmiştir.

Tablo 72'de yıllar ayrıntılı olarak incelendiğinde, ilk yılda belirlenen en düşük peroksidaz aktivitesinin BF-2 (492,20 EU gr⁻¹)'de, en yüksek aktivitenin ise 40 kg N da⁻¹ + BF-2+ OTG 400 kg da⁻¹ (2413,67 EU gr⁻¹) uygulamasında olduğu görülmüştür. Bununla birlikte, ikinci yıldaki en düşük aktivite 744,11 EU gr⁻¹ ile 20 kg N da⁻¹ + BF-1+ OTG 400 kg da⁻¹ uygulamasında görülürken, en yüksek 30 kg N da⁻¹ + BF-1 + OTG 400 kg da⁻¹ (10157,03 EU gr⁻¹)'de belirlenmiştir.

Tablo 72. Farklı Azot Dozları, PGPR Formülasyonları ve Organik Tavuk Gübresinin Brüksel Lahanasında Peroksidaz (POX) Aktivitesine Etkisi (EU gr⁻¹ baş)

UYGULAMA	2022	2023	Yıl Ortalama
Kontrol	632,16 E*	4579,56 DE*	2605,86 DE*
BF-1	518,02 E	3024,79 FG	1771,40 FGH
BF-2	492,20 E	3217,01 FG	1854,60 FG
OTG 400 kg da⁻¹	592,40 E	5170,76 D	2881,58 D
40 kg N da⁻¹	1469,49 CD	8751,77 B	5110,63 B
30 kg N da⁻¹	1675,04 BCD	7424,46 C	4549,75 C
20 kg N da⁻¹	538,65 E	1709,34 HI	1124,00 I
BF-1+ OTG 400 kg da⁻¹	1379,13 D	1373,31 I	1376,22 GHI
BF-2+ OTG 400 kg da⁻¹	1502,21 BCD	1772,02 HI	1637,12 GHI
40 kg N da⁻¹ + BF-1+ OTG 400 kg da⁻¹	1743,53 BCD	6979,67 C	4361,60 C
30 kg N da⁻¹ + BF-1+ OTG 400 kg da⁻¹	1846,33 BC	10157,03 A	6001,68 A
20 kg N da⁻¹ + BF-1+ OTG 400 kg da⁻¹	1486,42	744,11 I	1115,26 I
40 kg N da⁻¹ + BF-2+ OTG 400 kg da⁻¹	2413,67 A	2452,12 GH	2432,89 DE
30 kg N da⁻¹ + BF-2+ OTG 400 kg da⁻¹	1725,95 BCD	3228,97 FG	2477,46 DE
20 kg N da⁻¹ + BF-2+ OTG 400 kg da⁻¹	1930,40 B	3234,19 FG	2582,30 DE
40 kg N da⁻¹ + OTG 400 kg da⁻¹	754,93 E	3746,94 EF	2250,94 EF
30 kg N da⁻¹ + OTG 400 kg da⁻¹	1306,58 D	4684,97 DE	2995,78 D
20 kg N da⁻¹ + OTG 400 kg da⁻¹	1454,10 CD	1045,53 I	1249,81 HI
ORTALAMA	1303,40	4072,03	

*: Sütunda aynı harfle gösterilen ortalamalar arasındaki fark %5 seviyesinde önemlidir.

Araştırmada, yıl ortalaması değerlendirildiğinde en düşük peroksidaz aktiviteleri sırasıyla 20 kg N da⁻¹ + BF-1+ OTG 400 kg da⁻¹ (1115,26 EU gr⁻¹) ve 20 kg N da⁻¹ (1124,00 EU gr⁻¹) uygulamalarında olduğu tespit edilmiştir. Buna ek olarak, en yüksek peroksidaz aktivitesi 30 kg N da⁻¹ + BF-1 + OTG 400 kg da⁻¹ (6001,68 EU gr⁻¹) uygulamasında belirlenmiştir.

Sonuçlar birlikte değerlendirildiğinde özet olarak, BF-1 ve BF-2 ile yapılan kombinasyonların peroksidaz aktivitelerinde artış sağladığı belirlenmiştir. Bununla birlikte, azot ve OTG'nin yalnız başına uygulandığı durumlarda da peroksidaz aktivitesine önemli artışlar olduğu tespit edilmiştir.

Süperoksit dismutaz (SOD) aktivitesi (EU gr⁻¹ baş)

Araştırmada, farklı azot dozları, organik tavuk gübresi ve PGPR uygulamalarının süperoksit dismutaz (SOD) aktivitesine etkisini gösteren varyans analiz sonuçları Tablo 73'te, ortalamalara ait veriler Tablo 74'te verilmiştir. Varyans analizi sonuçlarına göre faktörlerin tamamı istatistiksel olarak p<0,01 düzeyinde önemli olduğu tespit edilmiştir (Tablo 73).

Tablo 73. Farklı Azot Dozları, PGPR Formülasyonları ve Organik Tavuk Gübresinin Brüksel Lahanasında Süperoksit Dismutaz (SOD) Aktivitesine Etkisini Gösterir Varyans Analiz Sonuçları

Varyasyon Kaynağı	SD	KT	F
2022-2023			
Yıl (Y)	1	1743943,702	616,239**
Uygulama (U)	17	927112,65	19,271**
Y x U	17	1160442,09	24,121**
Hata	72	203758,576	
Genel	107	4035257,019	

** : %1 seviyesinde önemlidir.

İki yıl arasında yapılan değerlendirmede süperoksit dismutaz (SOD) aktivitelerinde ciddi farklar görülerek ikinci yılda, diğer yıla göre daha yüksek aktivite gözlemlenmiştir. Nitekim, ortalamalar 2022 ve 2023 sırasıyla 136,06 mmol kg⁻¹ ve 390,21 mmol kg⁻¹ olarak kaydedilmiştir.

Araştırmanın ilk yılında süperoksit dismutaz aktivitesi en düşük 40 kg da⁻¹+ BF-2+ OTG 400 kg da⁻¹ (48,08 mmol kg⁻¹) ve 40 kg N da⁻¹ + BF-2+ OTG 400 kg da⁻¹ (48,08 mmol kg⁻¹) uygulamalarında, en yüksek farklı dozlarda azot ile kombine edilen BF-1+ OTG 400 kg da⁻¹ uygulamalarında tespit edilmiştir. Nitekim, bu değerlerin sırasıyla, 288,70 mmol kg⁻¹, 287,98 mmol kg⁻¹ ve 260,64 mmol kg⁻¹ olduğu Tablo 74 incelendiğinde görülmektedir.

İkinci yıl üzerine yapılan incelemede, en yüksek süperoksit dismutaz aktivitesinin 668,40 mmol kg⁻¹ ile 40 kg N da⁻¹ + OTG 400 kg da⁻¹ ve 665,31 mmol kg⁻¹ ile OTG 400 kg da⁻¹ uygulamasında tespit edilmiştir. Bu sırayı 646,91 mmol kg⁻¹ ile 30 kg N da⁻¹ uygulaması takip etmiştir. En düşük süperoksit dismutaz aktiviteleri ise 152,57 mmol/kg ile 20 kg N da⁻¹ + BF-1+ OTG 400 kg da⁻¹ ve 169,11 mmol kg⁻¹ ile 20 kg N da⁻¹ + OTG 400 kg da⁻¹ uygulamalarında belirlenmiştir (Tablo 74).

Tablo 74. Farklı Azot Dozları, PGPR Formülasyonları ve Organik Tavuk Gübresinin Brüksel Lahanasında Süperoksit Dismutaz (SOD) Aktivitesine Etkisi (mmol kg⁻¹)

UYGULAMA	2022	2023	Yıl Ortalama
Kontrol	248,02 AB*	223,74 F-I*	235,88 CDE*
BF-1	54,99 EF	286,56 FGH	170,77 EFG
BF-2	51,81 EF	495,29 CD	273,55 BCD
OTG 400 kg da⁻¹	124,32 CDE	665,31 A	394,81 A
40 kg N da⁻¹	87,12 DEF	335,04 EF	211,08 DEF
30 kg N da⁻¹	125,41 CDE	646,91 AB	386,16 A
20 kg N da⁻¹	73,39 DEF	251,97 F-I	162,68 FG
BF-1+ OTG 400 kg da⁻¹	58,20 EF	564,92 ABC	311,56 B
BF-2+ OTG 400 kg da⁻¹	39,68 F	588,82 ABC	314,25 B
40 kg N da⁻¹ + BF-1+ OTG 400 kg da⁻¹	260,64 A	542,50 BC	401,57 A
30 kg N da⁻¹ + BF-1+ OTG 400 kg da⁻¹	287,98 A	318,21 EFG	303,09 B
20 kg N da⁻¹ + BF-1+ OTG 400 kg da⁻¹	288,70 A	152,57 I	220,64 CF
40 kg N da⁻¹ + BF-2+ OTG 400 kg da⁻¹	48,08 F	228,53 F-I	138,30 G
30 kg N da⁻¹ + BF-2+ OTG 400 kg da⁻¹	137,66 CD	257,79 F-I	197,72 EFG
20 kg N da⁻¹ + BF-2+ OTG 400 kg da⁻¹	144,62 CD	424,30 DE	284,46 BC
40 kg N da⁻¹ + OTG 400 kg da⁻¹	183,24 BC	668,40 A	425,82 A
30 kg N da⁻¹ + OTG 400 kg da⁻¹	141,92 CD	203,78 GHI	172,85 EFG
20 kg N da⁻¹ + OTG 400 kg da⁻¹	93,32 DEF	169,11 HI	131,21 G
ORTALAMA	136,06	390,21	

*: Sütunda aynı harfle gösterilen ortalamalar arasındaki fark %5 seviyesinde önemlidir.

Yıl ortalaması incelendiğinde bazı uygulamalarda belirlenen süperoksit dismutaz aktivitelerinin kontrole göre düşük kaldığı ancak BF-1 ve BF-2 ile yapılan farklı kombinasyonlarda belirlenen süperoksit dismutaz aktiviteleri yüksek bulunmuştur. Nitekim, yıl geneli ortalamaları değerlendirildiğinde, SOD aktivitesinin en yüksek düzeye 401,57 mmol kg⁻¹ ile 40 kg N da⁻¹ + BF-1 + OTG 400 kg da⁻¹ uygulamasında ulaştığı belirlenmiştir (Tablo 74).

Glutasyon redüktaz (GR) aktivitesi (EU gr⁻¹ baş)

Araştırmada, farklı azot dozları (20, 30 ve 40 kg N da⁻¹), organik tavuk gübresi (400 kg da⁻¹) ve PGPR (BF-1 ve BF-2) uygulamalarının ayrı ayrı veya birlikte kombinesinin glutasyon redüktaz (GR) aktivitesi üzerine etkisini gösteren varyans analiz sonuçları Tablo 75'te, glutasyon redüktaz aktivitesi üzerine ortalamalara ait sonuçlar ise Tablo 76'da sunulmuştur.

Glutasyon redüktaz (GR) aktivitesine ait varyans analizi sonuçlarına göre yıl, uygulama ve yıl (Y) ve uygulama (U) faktörlerinin istatistiksel olarak %1 seviyesinde önemli olduğu tespit edilmiştir (Tablo 75).

Araştırmada, başlarda belirlenen glutasyon redüktaz aktivitesi en düşük ikinci yılda 30 kg N da⁻¹'de (13,62 EU gr⁻¹), en yüksek birinci yılda 20 kg N da⁻¹ + OTG 400 kg da⁻¹ (62,58 EU gr⁻¹)'de elde edilmiştir.

Tablo 75. Farklı Azot Dozları, PGPR Formülasyonları ve Organik Tavuk Gübresinin Brüksel Lahanasında Glutasyon Redüktaz (GR) Aktivitesine Etkisini Gösteren Varyans Analiz Sonuçları

Varyasyon Kaynağı	SD	KT	F
2022-2023			
Yıl (Y)	1	28873,302	179,847**
Uygulama (U)	17	54564,255	19,992**
Y x U	17	21284,415	7,799**
Hata	72	11559,124	
Genel	107	116281,096	

** : %1 seviyesinde önemlidir.

Glutasyon reduktaz aktivitesi üzerine yıllar ayrıntılı incelendiğinde, 2022 yılında en düşük değer kontrol uygulamasında (20,56 EU gr⁻¹) görülmüştür. En yüksek değer ise 62,58 EU gr⁻¹ ile 20 kg N da⁻¹ + OTG 400 kg da⁻¹ uygulamasında belirlenmiştir. İkinci yıldaki glutasyon reduktaz aktiviteleri 13,62 EU gr⁻¹ (30 kg N da⁻¹) ve 37,80 EU gr⁻¹ (kontrol) arasında değişmiştir. Bunlara ek olarak, kontrolden sonraki en yüksek aktivite 35,24 EU gr⁻¹ ile BF-2 uygulamasında tespit edilmiştir (Tablo 76).

Tablo 76. Farklı Azot Dozları, PGPR Formülasyonları ve Organik Tavuk Gübresinin Brüksel Lahanasında Glutasyon Redüktaz (GR) Aktivitesine Etkisi (EU gr⁻¹ baş)

UYGULAMA	2022	2023	Yıl Ortalama
Kontrol	20,56 F*	37,80 A*	29,18 E*
BF-1	58,58 ABC	30,38 A-D	44,48 A
BF-2	50,19 A-E	35,24 AB	42,71 ABC
OTG 400 kg da⁻¹	51,07 A-E	25,00 CDE	38,04 A-E
40 kg N da⁻¹	49,03 A-E	17,99 EF	33,51 CDE
30 kg N da⁻¹	51,69 A-E	13,62 F	32,66 DE
20 kg N da⁻¹	51,84 A-E	29,03 A-D	40,44 A-D
BF-1+ OTG 400 kg da⁻¹	59,50 AB	32,98 ABC	46,24 A
BF-2+ OTG 400 kg da⁻¹	45,05 B-E	29,04 A-D	37,04 A-E
40 kg N da⁻¹ + BF-1+ OTG 400 kg da⁻¹	39,37 E	23,53 C-F	31,45 DE
30 kg N da⁻¹ + BF-1+ OTG 400 kg da⁻¹	40,99 DE	22,91 DEF	31,95 DE
20 kg N da⁻¹ + BF-1+ OTG 400 kg da⁻¹	48,67 A-E	16,78 EF	32,73 DE
40 kg N da⁻¹ + BF-2+ OTG 400 kg da⁻¹	42,78 CDE	20,98 DEF	31,88 DE
30 kg N da⁻¹ + BF-2+ OTG 400 kg da⁻¹	55,09 A-E	23,04 DEF	39,06 A-D
20 kg N da⁻¹ + BF-2+ OTG 400 kg da⁻¹	57,05 A-D	20,50 DEF	38,77 A-D
40 kg N da⁻¹ + OTG 400 kg da⁻¹	49,30 A-E	20,48 DEF	34,89 B-E
30 kg N da⁻¹ + OTG 400 kg da⁻¹	52,42 A-E	23,35 C-F	37,88 A-E
20 kg N da⁻¹ + OTG 400 kg da⁻¹	62,58 A	25,85 B-E	44,21 AB
ORTALAMA	49,21	24,92	

*: Sütunda aynı harfle gösterilen ortalamalar arasındaki fark %5 seviyesinde önemlidir.

Glutasyon reduktaz aktivitelerinin ortalamaları, 2022 yılındaki uygulama ortalamaları 49,21 EU gr⁻¹ olurken, 2023 yılında azalışlar görülerek 24,92 EU gr⁻¹ olduğu Tablo 76 incelendiğinde görülecektir. Bununla birlikte, yıl ortalamasında en yüksek glutasyon reduktaz

aktivitesi 44,48 EU gr⁻¹ ile BF-1 ve BF-1 + OTG (46,24 EU gr⁻¹) uygulamasında tespit edilmiştir.

Askorbat peroksidaz (APX) aktivitesi (EU gr⁻¹ baş)

Araştırmada, Brüksel lahanasında azot, organik tavuk gübresi ve bakteri uygulamaları ile bunların kombinasyonlarının askorbat peroksidaz (APX) aktivitesi üzerine etkisini gösteren varyans analiz sonuçları Tablo 77’de verilmiştir. Ayrıca, ortalamalara ait istatistik sonuçları Tablo 78’de gösterilmiştir.

Tablo 77’de yıl (Y), uygulama (U) ve yıl × uygulama (Y × U) faktörlerinin incelenen parametrede istatistiksel olarak p<0,01 düzeyinde önemli olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 77. Farklı Azot Dozları, PGPR Formülasyonları ve Organik Tavuk Gübresinin Brüksel Lahanasında Askorbat Peroksidaz (APX) Aktivitesine Etkisini Gösteren Varyans Analiz Sonuçları

Varyasyon Kaynağı	SD	KT	F
2022-2023			
Yıl (Y)	1	200514,801	1976,809**
Uygulama (U)	17	82068,634	47,593**
Y x U	17	69809,54	40,484**
Hata	72	7303,219	
Genel	107	359696,194	

** : %1 seviyesinde önemlidir.

Brüksel lahanasında, birinci yılda askorbat peroksidaz aktivitelerinin ikinci yıla kıyasla düşük çıktığı belirlenmiştir. Nitekim, bu iki yıl için de belirlenen uygulama ortalama değerlerde görülerek sırasıyla 23,69 EU gr⁻¹ ve 37,75 EU gr⁻¹ olduğu tespit edilmiştir. Bununla birlikte, kontrollerden elde edilen değerler 2022 ve 2023 sırasıyla 60,52 EU gr⁻¹ ve 19,92 EU gr⁻¹ olarak kaydedilmiştir. Ayrıca, birinci yılda kontroldeki askorbat peroksidaz aktivitesi araştırmada tespit edilen en yüksek değer olduğu gözlemlenmiştir. Bunların yanı sıra birinci yıldaki askorbat peroksidaz aktivitelerinde dalgalanmalar görülürken, ikinci yılda değerlerin daha stabil olduğu belirlenmiştir (Tablo 78).

Araştırmanın birinci yılı incelendiğinde BF-1 ve BF-2’de askorbat peroksidaz aktivitelerinin sırasıyla 17,53 EU gr⁻¹ ve 20,08 EU gr⁻¹ olduğu tespit edilmiştir. Ek olarak, sadece OTG 400 kg da⁻¹ uygulamasında 21,27 EU gr⁻¹ olduğu tespit edilmiştir. Bununla birlikte, ikinci yılda BF-1 ve BF-2’de sırasıyla 42,84 EU gr⁻¹ ve 48,55 EU gr⁻¹ olurken, OTG 400 kg da⁻¹ uygulamasında 47,00 EU gr⁻¹ olduğu tespit edilmiştir. Bu sonuçlar PGPR (BF-1 ve BF-2) uygulamalarının organik tavuk gübresine kıyasla askorbat peroksidaz aktivitesi üzerine daha etkili olduğunu göstermektedir.

Tablo 78’de 20, 30, 40 kg da⁻¹ dozlarında uygulanan azotlu gübrelemede elde edilen askorbat peroksidaz aktiviteleri birinci yılda sırasıyla 20,29 EU gr⁻¹, 16,76 EU gr⁻¹ ve 19,64 EU gr⁻¹ olarak belirlenmiştir. İkinci yılda ise sırasıyla 44,03 EU gr⁻¹, 28,93 EU gr⁻¹ ve 29,21 EU gr⁻¹ tespit edilmiştir (Tablo 78).

Tablo 78. Farklı Azot Dozları, PGPR Formülasyonları ve Organik Tavuk Gübresinin Brüksel Lahanasında Askorbat Peroksidaz (APX) Aktivitesine Etkisi (EU gr⁻¹ baş)

UYGULAMA	2022	2023	Yıl Ortalama
Kontrol	60,52 A*	19,92 H*	40,22 A*
BF-1	17,53 DEF	42,84 B-E	30,19 B-E
BF-2	20,08 CDE	48,55 AB	34,31 BC
OTG 400 kg da⁻¹	21,27 CD	47,00 ABC	34,13 BC
40 kg N da⁻¹	20,29 CDE	44,03 BCD	32,16 BCD
30 kg N da⁻¹	16,76 EF	28,93 FGH	22,84 G
20 kg N da⁻¹	19,64 CDE	29,21 FGH	24,43 FG
BF-1+ OTG 400 kg da⁻¹	19,73 CDE	29,41 FGH	24,57 EFG
BF-2+ OTG 400 kg da⁻¹	23,05 C	34,87 D-G	28,96 C-F
40 kg N da⁻¹ + BF-1+ OTG 400 kg da⁻¹	15,55 F	55,72 A	35,63 AB
30 kg N da⁻¹ + BF-1+ OTG 400 kg da⁻¹	23,61 C	39,62 B-F	31,61 BCD
20 kg N da⁻¹ + BF-1+ OTG 400 kg da⁻¹	23,53 C	36,87 C-G	30,20 B-E
40 kg N da⁻¹ + BF-2+ OTG 400 kg da⁻¹	19,86 CDE	39,13 B-F	29,49 C-F
30 kg N da⁻¹ + BF-2+ OTG 400 kg da⁻¹	22,24 C	45,79 ABC	34,02 BC
20 kg N da⁻¹ + BF-2+ OTG 400 kg da⁻¹	20,74 CDE	44,46 BCD	32,60 BCD
40 kg N da⁻¹ + OTG 400 kg da⁻¹	23,52 C	33,92 D-G	28,72 C-F
30 kg N da⁻¹ + OTG 400 kg da⁻¹	22,98 C	33,18 EFG	28,08 D-G
20 kg N da⁻¹ + OTG 400 kg da⁻¹	35,49 B	26,16 GH	30,83 BCD
ORTALAMA	23,69	37,75	

*: Sütunda aynı harfle gösterilen ortalamalar arasındaki fark %5 seviyesinde önemlidir.

BF-1 ve BF-2 bakteri türleri ve organik tavuk gübresiyle yapılan kombinasyonunda belirlenen askorbat peroksidaz aktiviteleri farklı dozlardaki sadece azot uygulamasına kıyasla iki yılda da daha yüksek çıkmıştır. Tablo 78 incelendiğinde BF-1 ve BF-2’nin farklı dozlarda (20, 30, 40 kg da⁻¹) azot ve OTG 400 kg da⁻¹ ile yapılan üçlü kombinasyonlarında belirlenen askorbat peroksidaz aktiviteleri birinci yılda diğer uygulamalara göre nispeten düşük kalsa da ikinci yılda en yüksek aktivite EU gr⁻¹ ile 40 kg N da⁻¹ + BF-1+ OTG 400 kg da⁻¹ uygulamasında tespit edilmiştir.

Glutamin redüktaz aktivitesi (pmol µL⁻¹)

Araştırmada, farklı azot dozları, organik tavuk gübresi ve PGPR uygulamalarının glutamin redüktaz aktivitesine etkisini gösteren varyans analiz sonuçları Tablo 79’da glutamin redüktaz aktivitesi üzerine ortalamalara ait veriler Tablo 80’de verilmiştir.

Varyans analizi sonuçlarına göre glutamin redüktaz aktivitesi üzerine yıl (Y), uygulama (U) ve yıl × uygulama (Y × U) etkileşimlerinin istatistiksel olarak $p < 0,01$ düzeyinde önemli olduğu tespit edilmiştir (Tablo 79).

Araştırmada, glutamin redüktaz aktivitesi üzerine uygulamalar arasındaki fark istatistiksel olarak $p < 0,05$ düzeyinde önemli olduğu tespit edilmiştir. Yıllara göre değerlendirme yapıldığında glutamin redüktaz aktivitesi birinci yılda en düşük 218,29 μL^{-1} ile OTG 400 kg da^{-1} uygulamasında, ikinci yılda ise 390,91 μL^{-1} ile 30 kg N da^{-1} uygulamasında tespit edilmiştir. Bununla birlikte, 2023 yılında 585,96 μL^{-1} olarak ortalama glutamin redüktaz aktivitesi 2022 yılına (331,01 μL^{-1}) kıyasla belirgin şekilde daha yüksek bulunmuştur (Tablo 80).

Tablo 79. Farklı Azot Dozları, PGPR Formülasyonları ve Organik Tavuk Gübresinin Brüksel Lahanasında Glutamin Redüktaz Aktivitesine Etkisini Gösteren Varyans Analiz Sonuçları

Varyasyon Kaynağı	SD	KT	F
2022-2023			
Yıl (Y)	1	231061,608	91,329**
Uygulama (U)	17	2256115,177	52,456**
Y x U	17	2703818,521	62,865**
Hata	72	182159,227	
Genel	107	5373154,533	

** : %1 seviyesinde önemlidir.

Araştırmanın birinci yılında glutamin redüktaz aktivitesi 483,76 μL^{-1} ile 40 kg N da^{-1} + BF-2 + OTG 400 kg da^{-1} uygulamasında en yüksek değere ulaşmıştır. Ancak, 2023 yılında en yüksek aktivite 40 kg N da^{-1} + BF-1 + OTG 400 kg da^{-1} uygulamasında (804,63 μL^{-1}) belirlenmiştir (Tablo 80).

Tablo 80. Farklı Azot Dozları, PGPR Formülasyonları ve Organik Tavuk Gübresinin Brüksel Lahanasında Glutamin Redüktaz Aktivitesine Etkisi ($\mu\text{mol } \mu\text{L}^{-1}$)

UYGULAMA	2022	2023	Yıl Ortalama
Kontrol	278,43 DEF*	551,70 B-H*	415,07 C-F*
BF-1	258,33 EF	641,67 A-G	450,00 C-F
BF-2	295,62 CDE	743,57 ABC	519,59 ABC
OTG 400 kg da⁻¹	218,29 F	455,84 FGH	337,06 F
40 kg N da⁻¹	380,27 B	499,50 D-H	439,89 C-F
30 kg N da⁻¹	318,34 BCDE	390,91 H	354,63 EF
20 kg N da⁻¹	348,78 BCD	701,24 A-E	525,01 ABC
BF-1+ OTG 400 kg da⁻¹	348,67 BCD	575,15 A-H	461,91 CDE
BF-2+ OTG 400 kg da⁻¹	303,30 BCDE	530,01 C-H	416,65 C-F
40 kg N da⁻¹ + BF-1+ OTG 400 kg da⁻¹	362,72 BC	804,63 A	583,67 AB
30 kg N da⁻¹ + BF-1+ OTG 400 kg da⁻¹	359,50 BC	714,66 A-D	537,08 ABC
20 kg N da⁻¹ + BF-1+ OTG 400 kg da⁻¹	368,82 BC	472,18 E-H	420,50 C-F
40 kg N da⁻¹ + BF-2+ OTG 400 kg da⁻¹	483,76 A	771,69 AB	627,72 A
30 kg N da⁻¹ + BF-2+ OTG 400 kg da⁻¹	365,14 BC	590,04 A-H	477,59 B-E
20 kg N da⁻¹ + BF-2+ OTG 400 kg da⁻¹	354,76 BCD	658,37 A-F	506,57 BCD
40 kg N da⁻¹ + OTG 400 kg da⁻¹	300,10 BCDE	571,61 A-H	435,85 C-F
30 kg N da⁻¹ + OTG 400 kg da⁻¹	304,40 BCDE	465,95 E-H	385,17 DEF
20 kg N da⁻¹ + OTG 400 kg da⁻¹	309,03 BCDE	408,47 GH	358,75 EF
ORTALAMA	331,01	585,96	

*: Sütunda aynı harfle gösterilen ortalamalar arasındaki fark %5 seviyesinde önemlidir.

Yıl ortalaması üzerine yapılan incelemede glutamin redüktaz aktivitelerinin 337,06 $\mu\text{mol } \mu\text{L}^{-1}$ ve 627,72 $\mu\text{mol } \mu\text{L}^{-1}$ arasında değiştiği görülmüştür. En yüksek değer 40 kg da⁻¹ + BF-2 + OTG uygulamasında tespit edilmiştir (Tablo 80).

Glutamat redüktaz aktivitesi (ng/mikrogram)

Araştırmada 20, 30 ve 40 kg N da⁻¹, 400 kg da⁻¹ organik tavuk gübresi ve PGPR (BF-1 ve BF-2)'nin kombineli veya kombine edilmeden yapılan uygulamalarında Brüksel lahanasında glutamat redüktaz aktivitesi üzerine etkisini gösteren varyans analiz sonuçları Tablo 81'de verilmiştir. Bununla birlikte, uygulamalara glutamat redüktaz aktivitesi ortalamalarına ait sonuçlar Tablo 82'de sunulmuştur. Araştırmada tüm faktörlerin glutamat redüktaz aktivitesi üzerine istatistiksel olarak %1 seviyesinde önemli olduğu tespit edilmiştir (Tablo 81).

Tablo 81. Farklı Azot Dozları, PGPR Formülasyonları ve Organik Tavuk Gübresinin Brüksel Lahanasında Glutamat Redüktaz Aktivitesine Etkisini Gösteren Varyans Analiz Sonuçları

Varyasyon Kaynağı	SD	KT	F
2022-2023			
Yıl (Y)	1	245967,3	141,67**
Uygulama (U)	17	207952,769	7,046**
Y x U	17	364097,488	12,336**
Hata	72	125006,613	
Genel	107	943024,17	

** : %1 seviyesinde önemlidir.

Tablo 82 incelendiğinde 2022 yılında 206,25 ng/mikrogram olan glutamat redüktaz aktivitesi 2023 yılında 301,69 ng/mikrogram olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, 2022 yılına en düşük glutamat redüktaz aktivitesi kontrolde (103,52 ng/mikrogram) tespit edilmiştir. 2023 yılında ise 184,15 ng/mikrogram ile OTG 400 kg da⁻¹ uygulamasında tespit edilmiştir.

Araştırmada, BF-1 ve BF-2 uygulamasında tespit edilen glutamat redüktaz aktivitesinde kontrole göre her iki yılda da artış olduğu tespit edilmiştir.

BF-1 uygulamasının yapıldığı 2022 yılında 133,52 ng/mikrogram olan glutamat redüktaz aktivitesinin BF-2’de 215,01 ng/mikrogram olduğu tespit edilmiştir. Bununla birlikte, 2023 yılında BF-1’de 469,97 ng/mikrogram olan glutamat redüktaz aktivitesi BF-2’de 362,75 ng/mikrogram olduğu tespit edilmiştir.

Sadece OTG 400 kg da⁻¹ yapılan uygulamada kontrole göre glutamat redüktaz aktivitesinde artışlar tespit edilmiş ve glutamat redüktaz aktivitesi 2022 yılında 229,12 ng/mikrogram, 2023’te 184,15 ng/mikrogram olarak kaydedilmiştir.

Tablo 82. Farklı Azot Dozları, PGPR Formülasyonları ve Organik Tavuk Gübresinin Brüksel Lahanasında Glutamat Redüktaz Aktivitesine Etkisi (ng/mikrogram)

UYGULAMA	2022	2023	Yıl Ortalama
Kontrol	103,52 I*	269,15 B-E*	186,33 G*
BF-1	133,52 H	469,97 A	301,75 ABC
BF-2	215,01 D	362,75 BC	288,88 A-D
OTG 400 kg da ⁻¹	229,12 D	184,15 E	206,63 FG
40 kg N da ⁻¹	300,39 B	324,55 BCD	312,47 AB
30 kg N da ⁻¹	283,13 BC	259,51 CDE	271,32 B-E
20 kg N da ⁻¹	261,22 C	240,11 DE	250,66 C-F
BF-1+ OTG 400 kg da ⁻¹	158,63 FGH	219,37 DE	189,00 G
BF-2+ OTG 400 kg da ⁻¹	273,68 BC	234,36 DE	254,02 CD
40 kg N da ⁻¹ + BF-1+ OTG 400 kg da ⁻¹	171,89 FG	328,35 BCD	250,12 C-F
30 kg N da ⁻¹ + BF-1+ OTG 400 kg da ⁻¹	141,78 GH	295,53 BCD	218,65 EFG
20 kg N da ⁻¹ + BF-1+ OTG 400 kg da ⁻¹	152,22 FGH	218,69 DE	185,45 G
40 kg N da ⁻¹ + BF-2+ OTG 400 kg da ⁻¹	367,88 A	290,22 B-E	329,05 A
30 kg N da ⁻¹ + BF-2+ OTG 400 kg da ⁻¹	204,11 DE	273,39 B-E	238,75 D-G
20 kg N da ⁻¹ + BF-2+ OTG 400 kg da ⁻¹	221,60 D	294,24 BCD	257,92 C-F
40 kg N da ⁻¹ + OTG 400 kg da ⁻¹	182,15 EF	372,35 B	277,25 A-D
30 kg N da ⁻¹ + OTG 400 kg da ⁻¹	160,75 FGH	315,23 BCD	237,99 D-G
20 kg N da ⁻¹ + OTG 400 kg da ⁻¹	151,86 FGH	478,53 A	315,19 A
ORTALAMA	206,25	301,69	

*: Sütunda aynı harfle gösterilen ortalamalar arasındaki fark %5 seviyesinde önemlidir.

Bunların yanı sıra 20, 30, 40 kg da⁻¹ oranlarında sadece azot uygulamalarına gelindiğinde ise kontrole göre glutamat redüktaz aktivitesinde her iki yılda da belirgin artışlar tespit edilmiştir. Nitekim, 2022 yılında en yüksek glutamat redüktaz aktivitesi 300,39 ng/mikrogram ile 40 kg N da⁻¹ uygulamasında, 2023 yılında ise 324,55 ng/mikrogram ile aynı uygulamada belirlenmiştir (Tablo 82).

BF-1 ve BF-2'nin OTG 400 kg da⁻¹ ile beraber uygulandığında belirlenen glutamat redüktaz aktiviteleri, azot uygulamasına (20, 30 ve 40 kg da⁻¹) kıyasla azalmalar görülürken, kontrole göre artışlar olduğu tespit edilmiştir. Bununla birlikte, BF-1 ve BF-2'nin 20, 30, 40 kg da⁻¹ dozlarında N ve 400 kg da⁻¹ dozunda OTG ile kombine edilmiş uygulamalarında da yüksek glutamat redüktaz aktiviteleri belirlenmiştir (Tablo 82).

Hidrojen peroksit (H₂O₂) aktivitesi (mmol kg⁻¹)

Araştırmada, farklı azot dozları, organik tavuk gübresi (OTG), PGPR (BF-1 ve BF-2) ve bunların kombinasyonlarının hidrojen peroksit (H₂O₂) aktivitesi üzerine etkilerini belirlemeye yönelik varyans analiz sonuçları Tablo 83'te verilmiştir. Bu verilere göre yıl (Y), uygulama (U) ve yıl × uygulama (Y × U) etkileşimi faktörlerinin tamamının H₂O₂ aktivitesine etkisi istatistiksel olarak %1 önem düzeyinde önemli bulunmuştur.

Araştırmada, en yüksek hidrojen peroksit aktiviteleri 2022 yılında 128,41 mmol/kg kontrol, 2023 yılında 91,52 mmol kg⁻¹ ile 30 kg N kg da⁻¹ + OTG 400 kg da⁻¹ uygulamasında tespit edilmiştir.

Tablo 83. Farklı Azot Dozları, PGPR Formülasyonları ve Organik Tavuk Gübresinin Brüksel Lahanasında Hidrojen Peroksit (H₂O₂) Aktivitesine Etkisini Gösterien Varyans Analiz Sonuçları

Varyasyon Kaynağı	SD	KT	F
2022-2023			
Yıl (Y)	1	2819,653	95,983**
Uygulama (U)	17	48152,75	96,421**
Y x U	17	26222,47	52,508**
Hata	72	2115,103	
Genel	107	79309,98	

** : %1 seviyesinde önemlidir.

Tablo 84 incelendiğinde BF-1 uygulamasının BF-2'ye kıyasla daha etkili olduğu görülmektedir. BF-1 uygulamasında H₂O₂ seviyeleri sırasıyla 2022 ve 2023 yıllarında 3,28 ve 5,99 mmol kg⁻¹ olarak gerçekleşirken, BF-2 uygulamasında bu değerler 3,74 ve 14,00 mmol kg⁻¹ olarak belirlenmiştir. Sadece organik tavuk gübresi (OTG) uygulamasında daha düşük H₂O₂ seviyeleri (6,86 ve 4,36 mmol kg⁻¹) tespit edilmiştir. Azot uygulamaları ise özellikle 2023 yılında (40, 30 ve 20 kg da⁻¹) azot uygulamalarında sırasıyla 27,98 mmol kg⁻¹, 36,72 mmol kg⁻¹

¹ ve 9,16 mmol kg⁻¹ H₂O₂ seviyeleri kaydedilmiş olup, bu değerlerin 2022 yılına göre oldukça yüksek çıktığı tespit edilmiştir.

Tablo 84. Farklı Azot Dozları, PGPR Formülasyonları ve Organik Tavuk Gübresinin Brüksel Lahanasında Baştaki Hidrojen Peroksit (H₂O₂) Aktivitesine Etkisi (mmol kg⁻¹)

UYGULAMA	2022	2023	Yıl Ortalama
Kontrol	128,41 A	57,85 B	93,13 A
BF-1	3,28 C	5,99 İ	4,64 F
BF-2	3,74 C	14,00 E-H	8,87 F
OTG 400 kg da⁻¹	6,86 C	4,36 İ	5,61 F
40 kg N da⁻¹	4,81 C	27,98 EF	16,40 DE
30 kg N da⁻¹	3,87 C	36,72 CD	20,30 D
20 kg N da⁻¹	4,04 C	9,16 İİ	6,60 F
BF-1+ OTG 400 kg da⁻¹	5,42 C	4,34 İ	4,88 F
BF-2+ OTG 400 kg da⁻¹	6,89 C	5,13 İ	6,01 F
40 kg N da⁻¹ + BF-1+ OTG 400 kg da⁻¹	7,14 C	4,01 İ	5,58 F
30 kg N da⁻¹ + BF-1+ OTG 400 kg da⁻¹	14,89 BC	6,23 İ	10,56 EF
20 kg N da⁻¹ + BF-1+ OTG 400 kg da⁻¹	14,50 BC	3,85 İ	9,17 F
40 kg N da⁻¹ + BF-2+ OTG 400 kg da⁻¹	23,18 B	21,89 FG	22,53 D
30 kg N da⁻¹ + BF-2+ OTG 400 kg da⁻¹	8,84 C	31,22 DE	20,03 D
20 kg N da⁻¹ + BF-2+ OTG 400 kg da⁻¹	15,46 BC	42,20 C	28,83 C
40 kg N da⁻¹ + OTG 400 kg da⁻¹	3,86 C	61,02 B	32,44 C
30 kg N da⁻¹ + OTG 400 kg da⁻¹	3,81 C	91,52 A	47,66 B
20 kg N da⁻¹ + OTG 400 kg da⁻¹	3,51 C	18,99 GH	11,25 EF
ORTALAMA	14,58	24,80	

*: Sütunda aynı harfle gösterilen ortalamalar arasındaki fark %5 seviyesinde önemlidir.

PGPR ve organik gübrenin birlikte uygulandığı kombinasyonlar BF + OTG, her iki uygulamanın tekli etkilerine kıyasla daha düşük H₂O₂ aktivitesi sağlamıştır. BF-1 + OTG ve BF-2 + OTG kombinasyonlarında yıllık ortalama değerler sırasıyla 4,88 ve 6,01 mmol kg⁻¹ olarak tespit edilmiş ve bu durum, bitkide antioksidan savunma mekanizmalarının sinerjik olarak desteklendiğini göstermiştir. Azotun bu ikili kombinasyonlara dahil edilmesiyle elde edilen üçlü uygulamalarda ise H₂O₂ seviyeleri uygulama türüne ve azot dozuna bağlı olarak geniş bir aralıkta değişmiştir. En yüksek değer 28,83 mmol kg⁻¹ ile 20 kg N + BF-2 + OTG 400 kg da⁻¹ uygulamasında görülürken, en düşük değer 5,58 mmol/kg ile 40 kg N + BF-1 + OTG 400 kg da⁻¹ uygulamasında kaydedilmiştir.

Yıllık ortalama üzerine yapılan incelemede, H₂O₂ aktivitesi en yüksek kontrol uygulamasında (93,13 mmol kg⁻¹) görülmüş, bunu 30 kg N + OTG 400 kg da⁻¹(47,66 mmol kg⁻¹) uygulaması izlemiştir. Öte yandan, en düşük H₂O₂ seviyesi BF-1 (4,64 mmol kg⁻¹) uygulamasında görülerek bunu BF-1 + OTG (4,88 mmol kg⁻¹) takip etmiştir.

Malondialdehit (MDA) miktarı (mmol/kg)

Araştırmada, Brüksel lahanasında azot, organik tavuk gübresi ve bakteri uygulamaları ile bunların farklı kombinasyonlarının başlangıçtaki MDA miktarı üzerine etkisini ortaya koyan

varyans analiz sonuçları Tablo 85'te verilmiştir. Uygulamalara ait yıllık ve yıl ortalamalarının istatistiksel olarak değerlendirilmiş ortalama değerleri ise Tablo 86'da sunulmuştur.

Tablo 85. Farklı Azot Dozları, PGPR Formülasyonları ve Organik Tavuk Gübresinin Brüksel Lahanasında Malondialdehit (MDA) Miktarı Etkisini Gösteren Varyans Analiz Sonuçları

Varyasyon Kaynağı	SD	KT	F
2022-2023			
Yıl (Y)	1	7936,936	264,759**
Uygulama (U)	17	22645,46	44,435**
Y x U	17	13741,56	26,964**
Hata	72	2158,416	
Genel	107	46482,37	

** : %1 seviyesinde önemlidir.

Araştırmada, baştaki MDA miktarı ilişkin varyans analiz sonuçları Tablo 85'te sunulmuş olup, uygulamalar arasında meydana gelen farklılıkların istatistiksel olarak %1 düzeyinde önemli olduğu belirlenmiştir.

Tablo 86 incelendiğinde, 2022 yılında en yüksek MDA miktarı 40,27 mmol kg⁻¹ ile kontrol uygulamasında belirlenmiş, bunu sırasıyla 21,28 mmol kg⁻¹ ile 20 kg N da⁻¹ + BF-1 + OTG 400 kg da⁻¹, 19,26 mmol kg⁻¹ ile 30 kg N da⁻¹ + BF-1 + OTG ve 16,58 mmol kg⁻¹ ile 20 kg N da⁻¹ + OTG 400 kg da⁻¹ uygulamaları takip etmiştir. En düşük MDA miktarı ise 5,84 mmol kg⁻¹ ile 30 kg N da⁻¹ + BF-2+ OTG 400 kg da⁻¹ (5,84 mmol kg⁻¹) uygulamasına saptanmıştır.

Tablo 86. Farklı Azot Dozları, PGPR Formülasyonları ve Organik Tavuk Gübresinin Brüksel Lahanasında Başta Malondialdehit (MDA) Miktarı Etkisi (mmol kg⁻¹)

UYGULAMA	2022	2023	Yıl Ortalama
Kontrol	40,27 A*	84,15 A*	62,21 A*
BF-1	9,06 DEF	26,06 CD	17,56 E-H
BF-2	8,34 DEF	33,60 BCD	20,97 C-G
OTG 400 kg da⁻¹	7,82 C-F	6,17 F	6,99 İJ
40 kg N da⁻¹	6,28 F	24,26 DE	15,27 F-I
30 kg N da⁻¹	7,22 EF	38,43 BC	22,82 CDE
20 kg N da⁻¹	8,56 DEF	26,77 CD	17,67 E-H
BF-1+ OTG 400 kg da⁻¹	6,57 F	5,97 F	6,27 J
BF-2+ OTG 400 kg da⁻¹	6,41 F	7,11 F	6,76 İJ
40 kg N da⁻¹ + BF-1+ OTG 400 kg da⁻¹	13,69 CDE	5,64 F	9,67 İİJ
30 kg N da⁻¹ + BF-1+ OTG 400 kg da⁻¹	19,26 BC	7,78 F	13,52 Hİİ
20 kg N da⁻¹ + BF-1+ OTG 400 kg da⁻¹	21,28 B	7,14 F	14,21 GHI
40 kg N da⁻¹ + BF-2+ OTG 400 kg da⁻¹	14,80 BCD	35,25 BCD	25,03 CD
30 kg N da⁻¹ + BF-2+ OTG 400 kg da⁻¹	5,84 F	37,85 BC	21,84 C-F
20 kg N da⁻¹ + BF-2+ OTG 400 kg da⁻¹	7,41 EF	33,76 BCD	20,58 D-H
40 kg N da⁻¹ + OTG 400 kg da⁻¹	9,49 DEF	46,36 B	27,93 C
30 kg N da⁻¹ + OTG 400 kg da⁻¹	14,76 BCD	92,63 A	53,69 B
20 kg N da⁻¹ + OTG 400 kg da⁻¹	16,58 BC	13,35 EF	14,97 F-I
ORTALAMA	12,43	29,57	

*: Sütunda aynı harfle gösterilen ortalamalar arasındaki fark %5 seviyesinde önemlidir.

Araştırmanın ikinci yılında (2023) en yüksek kontrol MDA miktarı ($84,15 \text{ mmol kg}^{-1}$) ve ($92,63 \text{ mmol kg}^{-1}$) ile $30 \text{ kg N da}^{-1} + \text{OTG}$ uygulamalarında belirlenmiştir. Bunlara ilaveten, en düşük MDA aktiviteleri $5,64\text{--}7,78 \text{ mmol kg}^{-1}$ aralığında olup, özellikle sadece OTG ($6,17 \text{ mmol kg}^{-1}$), BF-1, BF-2 ve bunların kombinasyonlarında elde edilmiştir.

BF-1 ve BF-2 uygulamaları her iki yılda da kontrole kıyasla MDA miktarı anlamlı biçimde düşürmüştür. Nitekim, 2022 yılında BF-1 ve BF-2 uygulamaları sırasıyla $9,06$ ve $8,34 \text{ mmol kg}^{-1}$ seviyelerinde bulunurken, 2023 yılında bu değerler $26,06$ ve $33,60 \text{ mmol kg}^{-1}$ olmuştur. Benzer şekilde, sadece OTG uygulamasında da her iki yılda düşük MDA miktarları (sırasıyla $7,82$ ve $6,17 \text{ mmol kg}^{-1}$) kaydedilmiştir. Ayrıca, OTG'nin BF-1 ve BF-2 ile kombinasyonu da yıl ortalamalarında en düşük MDA miktarı sahip uygulamalar arasında yer almıştır (Tablo 86).

Yıl ortalamaları değerlendirildiğinde, BF-1 + OTG 400 kg da^{-1} uygulaması $6,27 \text{ mmol kg}^{-1}$ ile tüm uygulamalar içinde en düşük değere ulaşmış, bunu $6,76 \text{ mmol kg}^{-1}$ ile BF-2 + OTG takip etmiştir. Ek olarak, en yüksek MDA miktarı $62,21 \text{ mmol kg}^{-1}$ ile kontrol uygulamasında belirlenmiş, bunu $53,69 \text{ mmol kg}^{-1}$ ile $30 \text{ kg N da}^{-1} + \text{OTG}$ ve $27,93 \text{ mmol kg}^{-1}$ ile $40 \text{ kg N da}^{-1} + \text{OTG}$ uygulamaları takip etmiştir. Buna karşılık, en düşük MDA miktarı ise BF-1 + OTG ($6,27 \text{ mmol kg}^{-1}$), BF-2 + OTG ($6,76 \text{ mmol kg}^{-1}$) ve sadece OTG ($6,99 \text{ mmol kg}^{-1}$) uygulamalarında kaydedilmiştir (Tablo 86).

Prolin miktarı (mmol kg^{-1})

Araştırmada, $20, 30$ ve 40 kg N da^{-1} dozlarında azot, 400 kg da^{-1} organik tavuk gübresi ve PGPR (BF-1 ve BF-2) uygulamalarının başta prolin miktarı üzerine etkisini gösteren varyans analiz sonuçları Tablo 87'de verilmiştir. Ayrıca, uygulamalara ait ortalama değerlere ilişkin istatistiksel bulgular Tablo 88'de sunulmuştur.

Araştırmada faktörlerinin tamamı prolin miktarı üzerine etkilerinin %1 seviyesinde önemli olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 87. Farklı Azot Dozları, PGPR Formülasyonları ve Organik Tavuk Gübresinin Brüksel Lahanasında Prolin Miktarına Etkisini Gösteren Varyans Analiz Sonuçları

Varyasyon Kaynağı	SD	KT	F
2022-2023			
Yıl (Y)	1	6,251	61,082**
Uygulama (U)	17	8,972	5,157**
Y x U	17	8,36	4,805**
Hata	72	7,369	
Genel	107	30,952	

** : %1 seviyesinde önemlidir.

Tablo 88'deki veriler incelendiğinde, 2022 yılında en yüksek prolin değeri (0,31 mmol kg⁻¹) ile 40 kg N da⁻¹ + BF-2 + OTG 400 kg da⁻¹ uygulamasında kaydedilmiş, bunu (0,25 mmol kg⁻¹) ile hem OTG 400 kg da⁻¹ hem de 30 kg N da⁻¹ + BF-1 + OTG 400 kg da⁻¹ uygulamaları izlemiştir. Aynı yıl, BF-1, BF-2 ve OTG gibi PGPR'lar ve organik tavuk gübresi içerikli uygulamaların düşük prolin düzeyleri (0,03–0,25 mmol kg⁻¹) tespit edilmiştir.

Tablo 88. Farklı Azot Dozları, PGPR Formülasyonları ve Organik Tavuk Gübresinin Brüksel Lahanasında Başta Prolin Miktarına Etkisi (mmol kg⁻¹)

UYGULAMA	2022	2023	Yıl Ortalama
Kontrol	0,13 AC*	0,73 B-E*	0,43 CE*
BF-1	0,03 C	0,66 CE	0,35 CE
BF-2	0,03 C	0,97 BCD	0,50 BCD
OTG 400 kg da⁻¹	0,25 AB	0,06 E	0,16 DE
40 kg N da⁻¹	0,04 C	0,42 DE	0,23 DE
30 kg N da⁻¹	0,18 ABC	1,52 AB	0,85 AB
20 kg N da⁻¹	0,08 BC	0,23 DE	0,16 DE
BF-1+ OTG 400 kg da⁻¹	0,04 C	0,04 E	0,04 E
BF-2+ OTG 400 kg da⁻¹	0,05 BC	0,06 E	0,06 E
40 kg N da⁻¹ + BF-1+ OTG 400 kg da⁻¹	0,19 ABC	0,07 E	0,13 DE
30 kg N da⁻¹ + BF-1+ OTG 400 kg da⁻¹	0,25 AB	0,07 E	0,16 DE
20 kg N da⁻¹ + BF-1+ OTG 400 kg da⁻¹	0,19 AC	0,10 E	0,14 DE
40 kg N da⁻¹ + BF-2+ OTG 400 kg da⁻¹	0,31 A	1,37 ABC	0,84 AB
30 kg N da⁻¹ + BF-2+ OTG 400 kg da⁻¹	0,18 ABC	0,56 CDE	0,37 CDE
20 kg N da⁻¹ + BF-2+ OTG 400 kg da⁻¹	0,22 ABC	0,90 B-E	0,56 BCD
40 kg N da⁻¹ + OTG 400 kg da⁻¹	0,04 C	1,30 ABC	0,67 ABC
30 kg N da⁻¹ + OTG 400 kg da⁻¹	0,17 ABC	1,81 A	0,99 A
20 kg N da⁻¹ + OTG 400 kg da⁻¹	0,08 BC	0,26 DE	0,17 DE
ORTALAMA	0,14	0,62	

*: Sütunda aynı harfle gösterilen ortalamalar arasındaki fark %5 seviyesinde önemlidir.

Araştırmanın ikinci yılında genel olarak prolin düzeylerinde belirgin bir artış belirlenmiş, ortalama değer 0,62 mmol/kg'a ulaşmıştır (2022 ortalaması 0,14 mmol kg⁻¹). En yüksek prolin değeri 1,81 mmol kg⁻¹ ile 30 kg N da⁻¹ + OTG 400 kg da⁻¹ uygulamasında tespit edilmiştir. Bu uygulamayı 1,52 mmol kg⁻¹ ile 30 kg N da⁻¹, 1,37 mmol kg⁻¹ ile 40 kg N da⁻¹ + BF-2 + OTG 400 kg da⁻¹ ve 1,30 mmol kg⁻¹ ile 40 kg N da⁻¹ + OTG 400 kg da⁻¹ uygulamaları takip etmiştir.

Yıl ortalamalarına bakıldığında, en yüksek ortalama prolin miktarı 0,99 mmol/kg ile 30 kg N da⁻¹ + OTG 400 kg da⁻¹ uygulamasında tespit edilmiş, bunu sırasıyla 40 kg N da⁻¹ + BF-2 + OTG 400 kg da⁻¹ (0,84 mmol kg⁻¹) ve 30 kg N da⁻¹ (0,85 mmol kg⁻¹) uygulamaları izlemiştir. Bunun aksine, en düşük yıl ortalamaları 0,04 mmol kg⁻¹ ile BF-1 + OTG 400 kg da⁻¹ ve 0,06 mmol kg⁻¹ ile BF-2 + OTG 400 kg da⁻¹ uygulamalarında belirlenmiştir. Kontrol uygulamasında prolin düzeyi 2022 yılında 0,13 mmol kg⁻¹ iken 2023 yılında 0,73 mmol kg⁻¹'a yükselmiş ve yıl ortalaması 0,43 mmol kg⁻¹ olarak tespit edilmiştir.

Sakkaroz miktarı (%)

Araştırmada N (azot), OTG (organik tavuk gübresi) ve PGPR (BF-1 ve BF-2) uygulamalarının başta sakkaroz miktarı üzerine etkisini gösteren varyans analiz sonuçları Tablo 89'da uygulamalara ait ortalama değerlerin istatistiksel analiz sonuçları ise Tablo 90'da sunulmuştur.

Tablo 89. Farklı Azot Dozları, PGPR Formülasyonları ve Organik Tavuk Gübresinin Brüksel Lahanasında Sakkaroz Miktarına Etkisini Gösteren Varyans Analiz Sonuçları

Varyasyon Kaynağı	SD	KT	F
2022-2023			
Yıl (Y)	1	233,987	483,142**
Uygulama (U)	17	235,52	28,606**
Y x U	17	228,785	27,788**
Hata	72	34,87	
Genel	107	733,162	

** : %1 seviyesinde önemlidir.

Araştırmada uygulamaların baştaki sakkaroz miktarı üzerindeki etkileri istatistiksel olarak %1 düzeyinde önemli bulunmuştur (Tablo 89). Her iki yılda da uygulamalar arasında belirgin farklılıklar gözlemlenmiş ve uygulamaların sakkaroz birikimini anlamlı düzeyde etkilediği belirlenmiştir (Tablo 90).

Tablo 90. Farklı Azot Dozları, PGPR Formülasyonları ve Organik Tavuk Gübresinin Brüksel Lahanasında Sakkaroz Miktarına Etkisi (%)

UYGULAMA	2022	2023	Yıl Ortalama
Kontrol	1,57 AB*	8,33 AB*	4,95 A*
BF-1	0,36 HI	5,41 CD	2,88 DE
BF-2	0,36 HI	4,63 DE	2,50 EF
OTG 400 kg da⁻¹	1,48 ABC	0,75 F	1,12 GH
40 kg N da⁻¹	0,20 I	4,04 DE	2,12 EF
30 kg N da⁻¹	0,61 GH	3,14 E	1,88 FG
20 kg N da⁻¹	1,07 DEF	3,12 E	2,09 EF
BF-1+ OTG 400 kg da⁻¹	0,17 I	1,34 F	0,76 H
BF-2+ OTG 400 kg da⁻¹	1,03 DEF	0,84 F	0,93 H
40 kg N da⁻¹ + BF-1+ OTG 400 kg da⁻¹	0,93 EFG	0,67 F	0,80 H
30 kg N da⁻¹ + BF-1+ OTG 400 kg da⁻¹	1,08 DEF	0,51 F	0,79 H
20 kg N da⁻¹ + BF-1+ OTG 400 kg da⁻¹	0,91 EFG	0,33 F	0,62 H
40 kg N da⁻¹ + BF-2+ OTG 400 kg da⁻¹	1,75 A	4,94 D	3,35 CD
30 kg N da⁻¹ + BF-2+ OTG 400 kg da⁻¹	1,28 B-E	8,12 AB	4,70 AB
20 kg N da⁻¹ + BF-2+ OTG 400 kg da⁻¹	1,38 BCD	6,62 BC	4,00 BC
40 kg N da⁻¹ + OTG 400 kg da⁻¹	0,30 HI	6,86 BC	3,58 CD
30 kg N da⁻¹ + OTG 400 kg da⁻¹	0,72 FG	8,71 A	4,72 AB
20 kg N da⁻¹ + OTG 400 kg da⁻¹	1,14 CDE	1,01 F	1,08 GH
ORTALAMA	0,91	3,85	

*: Sütunda aynı harfle gösterilen ortalamalar arasındaki fark %5 seviyesinde önemlidir.

Araştırmanın birinci yılında (2022), en yüksek sakkaroz miktarı (1,75%) 40 kg N da⁻¹ + BF-2 + OTG 400 kg da⁻¹ uygulamasında tespit edilmiştir. Bu değeri sırasıyla (1,57%) kontrol, (1,48%) OTG 400 kg da⁻¹, (1,38%) 20 kg N da⁻¹ + BF-2 + OTG 400 kg da⁻¹ ve (1,28%) 30 kg N da⁻¹ + BF-2 + OTG 400 kg da⁻¹ uygulamaları takip etmiştir. En düşük sakkaroz miktarı (%0,17), BF-1 + OTG 400 kg da⁻¹ ve %0,20 ile 40 kg N da⁻¹ uygulamalarında saptanmış, bunları %0,30 sakkaroz içeriği ile 40 kg N da⁻¹ + OTG 400 kg da⁻¹ uygulaması takip etmiştir.

İkinci yılda (2023) ise sakkaroz miktarı belirgin biçimde artış göstermiştir. Bu yıl en yüksek sakkaroz birikimi (8,71%) 30 kg N da⁻¹ + OTG 400 kg da⁻¹ uygulamasında elde edilmiştir. Bu uygulamayı (8,33%) kontrol ve (8,12%) 30 kg N da⁻¹ + BF-2 + OTG 400 kg da⁻¹ uygulamaları takip etmiştir. En düşük sakkaroz miktarı ise (0,33%) 20 kg N da⁻¹ + BF-1 + OTG 400 kg da⁻¹ uygulamasında ölçülmüş, bunu (0,51%) 30 kg N da⁻¹ + BF-1 + OTG 400 kg da⁻¹ ve (0,67%) 40 kg N da⁻¹ + BF-1 + OTG 400 kg da⁻¹ uygulamaları izlemiştir. Her iki yılın ortalamasına bakıldığında, en yüksek sakkaroz miktarı (4,95%) kontrol uygulamasında elde edilmiş, bunu sırasıyla (4,72%) 30 kg N da⁻¹ + OTG 400 kg da⁻¹ ve (4,70%) 30 kg N da⁻¹ + BF-2 + OTG 400 kg da⁻¹ uygulamaları takip etmiştir. Diğer yandan, en düşük sakkaroz miktarı (0,62%) 20 kg N da⁻¹ + BF-1 + OTG 400 kg da⁻¹ uygulamasında tespit edilmiştir.

Başta Tespit Edilen Organik Asit Miktarları

Oksalik asit miktarı (pmol µL⁻¹)

Araştırmada, azot (N), organik tavuk gübresi (OTG) ve bitki gelişimini teşvik edici rizobakteriler (PGPR) olan BF-1 ve BF-2 uygulamalarının oksalik asit miktarına etkisini belirlemek amacıyla yapılan varyans analiz sonuçları Tablo 91’de verilmiş, yıllara ve uygulamalara ait ortalama değerlere ilişkin istatistiksel sonuçlar ise Tablo 92’de sunulmuştur.

Tablo 91’e göre, yıl (Y), uygulama (U) ve yıl × uygulama (Y × U) etkileşimi faktörlerinin tamamının istatistiksel olarak %1 düzeyinde anlamlı olduğu belirlenmiştir.

Tablo 91. Farklı Azot Dozları, PGPR Formülasyonları ve Organik Tavuk Gübresinin Brüksel Lahanasında Oksalik Asit Miktarına Etkisini Gösterir Varyans Analiz Sonuçları

Varyasyon Kaynağı	SD	KT	F
2022-2023			
Yıl (Y)	1	4797,684	459,274**
Uygulama (U)	17	1188,713	6,694**
Y x U	17	706,444	3,978**
Hata	72	752,129	
Genel	107	7444,969	

** : %1 seviyesinde önemlidir.

Tablo 92'deki verilere göre, oksalik asit miktarları 2023 yılında genel olarak 2022 yılına kıyasla önemli ölçüde artış göstermiştir. Nitekim, iki yılın ortalamaları karşılaştırıldığında 2022'de ortalama değer ($7,52 \text{ pmol } \mu\text{L}^{-1}$), 2023'te ise ($20,85 \text{ pmol } \mu\text{L}^{-1}$) olarak tespit edilmiştir.

Her iki yılda da en düşük oksalik asit değeri kontrol uygulamasında belirlenmiştir (2022'de $4,25 \text{ pmol } \mu\text{L}^{-1}$, 2023'te $11,47 \text{ pmol } \mu\text{L}^{-1}$, $11,06 \text{ pmol } \mu\text{L}^{-1}$ ve yıl ortalama $7,86 \text{ pmol } \mu\text{L}^{-1}$). Benzer şekilde, sadece PGPR uygulamaları (BF-1 ve BF-2) da düşük oksalat seviyeleri ile dikkat çekmiştir; BF-1 uygulamasında oksalik asit miktarı 2022 yılında $5,27 \text{ pmol } \mu\text{L}^{-1}$, 2023 yılında $16,50 \text{ pmol } \mu\text{L}^{-1}$ ve iki yıl ortalaması $10,89 \text{ pmol } \mu\text{L}^{-1}$ olarak kaydedilmiştir. Buna karşılık BF-2 uygulaması, 2022 yılında $5,82 \text{ pmol } \mu\text{L}^{-1}$, 2023 yılında $12,81 \text{ pmol } \mu\text{L}^{-1}$ ve yıllık ortalama $9,32 \text{ pmol } \mu\text{L}^{-1}$ değerleriyle sınırlı bir artış göstermiştir.

Tablo 92. Farklı Azot Dozları, PGPR Formülasyonları ve Organik Tavuk Gübresinin Brüksel Lahanasında Oksalik Asit Miktarına Etkisi ($\text{pmol } \mu\text{L}^{-1}$)

UYGULAMA	2022	2023	Yıl Ortalama
Kontrol	4,25 I*	11,47 G*	7,86 E*
BF-1	5,27 HI	16,50 D-G	10,89 DE
BF-2	5,82 GHI	12,81 F-G	9,32 E
OTG 400 kg da⁻¹	6,56 D-H	16,13 EFG	11,34 CDE
40 kg N da⁻¹	10,29 A	16,96 C-G	13,62 BCD
30 kg N da⁻¹	8,74 ABC	25,34 ABC	17,04 AB
20 kg N da⁻¹	9,19 AB	21,79 B-E	15,49 BC
BF-1+ OTG 400 kg da⁻¹	6,09 F-I	11,06 G	8,58 E
BF-2+ OTG 400 kg da⁻¹	7,62 B-G	22,09 B-E	14,85 BCD
40 kg N da⁻¹ + BF-1+ OTG 400 kg da⁻¹	8,18 B-E	33,29 A	20,74 A
30 kg N da⁻¹ + BF-1+ OTG 400 kg da⁻¹	6,80 C-H	24,89 BCD	15,84 B
20 kg N da⁻¹ + BF-1+ OTG 400 kg da⁻¹	6,91 C-H	25,45 ABC	16,18 B
40 kg N da⁻¹ + BF-2+ OTG 400 kg da⁻¹	10,24 A	22,58 B-E	16,41 B
30 kg N da⁻¹ + BF-2+ OTG 400 kg da⁻¹	8,06 B-F	27,59 AB	17,82 AB
20 kg N da⁻¹ + BF-2+ OTG 400 kg da⁻¹	6,30 E-H	22,29 B-E	14,30 BCD
40 kg N da⁻¹ + OTG 400 kg da⁻¹	9,36 AB	20,47 B-F	14,92 BCD
30 kg N da⁻¹ + OTG 400 kg da⁻¹	8,32 BCD	24,46 B-E	16,39 B
20 kg N da⁻¹ + OTG 400 kg da⁻¹	7,42 B-G	20,22 B-F	13,82 BCD
ORTALAMA	7,52	20,85	

*: Sütunda aynı harfle gösterilen ortalamalar arasındaki fark %5 seviyesinde önemlidir.

Yüksek doz azot (40 kg N da^{-1}) ile birlikte PGPR ve OTG'nin kombine edildiği uygulamalarda oksalik asit miktarlarında dikkat çekici artışlar belirlenmiştir. En yüksek değer, $40 \text{ kg N da}^{-1} + \text{BF-1} + \text{OTG } 400 \text{ kg da}^{-1}$ kombinasyonunda kaydedilmiş olup; bu uygulama 2022'de $10,29$ ve $10,24 \text{ pmol } \mu\text{L}^{-1}$, 2023'te $33,29 \text{ pmol } \mu\text{L}^{-1}$ ve yıllık ortalama $20,74 \text{ pmol } \mu\text{L}^{-1}$ ile en yüksek değeri olarak tespit edilmiştir (Tablo 92).

Propionik asit miktarı (pmol μL^{-1})

Araştırmada 20, 30 ve 40 kg N da^{-1} , 400 kg da^{-1} organik tavuk gübresi (OTG) ve PGPR (BF-1 ve BF-2) uygulamalarının tekil ve kombineli olarak yapraklarda propionik asit miktarı (pmol μL^{-1}) üzerine etkisi incelenmiştir. Bu kapsamda, varyans analizine ilişkin bulgular Tablo 93'te sunulmuş, uygulamaların sezonluk ve ortalama propionik asit düzeyleri ise Tablo 94'te paylaşılmıştır.

Tablo 93'teki varyans analiz sonuçlarına göre, hem yıl (Y) hem de uygulama (U) faktörleri istatistiksel olarak %1 önem seviyesinde anlamlı bulunmuştur. Ancak, yıl \times uygulama (Y \times U) faktörü istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur.

Tablo 93. Farklı Azot Dozları, PGPR Formülasyonları ve Organik Tavuk Gübresinin Brüksel Lahanasında Propionik Asit Miktarına Etkisini Gösteren Varyans Analiz Sonuçları

Varyasyon Kaynağı	SD	KT	F
2022-2023			
Yıl (Y)	1	1189,159	53,032**
Uygulama (U)	17	1643,026	4,31**
Y x U	17	441,245	1,158 ^{NS}
Hata	72	1614,474	
Genel	107	4887,903	

** : %1 seviyesinde önemlidir, NS: %5 seviyesinde önemli değildir.

Araştırmanın birinci yılındaki verilere göre, en düşük propionik asit miktarı kontrol uygulamasında 5,70 pmol μL^{-1} olarak belirlenmiştir. Bunu sırasıyla BF-1 (7,58 pmol μL^{-1}) ve BF-2 (11,56 pmol μL^{-1}) takip etmiştir. En yüksek değer ise 40 kg N da^{-1} (22,90 pmol μL^{-1}) uygulamasında bunu 20 kg N da^{-1} (20,46 pmol μL^{-1}) ve 40 kg N da^{-1} + BF-2+ OTG 400 kg da^{-1} (20,32 pmol μL^{-1}) uygulamaları takip etmiştir. Ek olarak, 2023 yılına ait bulgulara göre propionik asit miktarları genel olarak 2022'ye kıyasla daha yüksek olduğu belirlenmiştir. En düşük değer yine kontrolde 13,84 pmol μL^{-1} olarak belirlenirken, en yüksek propionik asit miktarının 32,58 pmol μL^{-1} ile 40 kg N da^{-1} + BF-1 + OTG 400 kg da^{-1} uygulamasında tespit edilmiştir (Tablo 94).

Tablo 94. Farklı Azot Dozları, PGPR Formülasyonları ve Organik Tavuk Gübresinin Brüksel Lahanasında Propionik Asit Miktarına Etkisi (pmol μL^{-1})

UYGULAMA	2022	2023	Yıl Ortalama
Kontrol	5,70 G*	13,84 C*	9,77 E*
BF-1	7,58 FG	18,77 BC	13,18 DE
BF-2	11,56 EF	15,46 BC	13,51 DE
OTG 400 kg da⁻¹	13,01 E	18,08 BC	15,54 CDE
40 kg N da⁻¹	22,90 A	23,84 ABC	23,37 AB
30 kg N da⁻¹	18,40 ABC	27,21 ABC	22,80 AB
20 kg N da⁻¹	20,46 AB	24,27 ABC	22,37 AB
BF-1+ OTG 400 kg da⁻¹	13,57 DE	15,65 BC	14,61 CDE
BF-2+ OTG 400 kg da⁻¹	15,12 CDE	23,86 ABC	19,49 A-D
40 kg N da⁻¹ + BF-1+ OTG 400 kg da⁻¹	15,64 B-E	32,58 A	24,11 A
30 kg N da⁻¹ + BF-1+ OTG 400 kg da⁻¹	15,68 B-E	22,36 ABC	19,02 A-D
20 kg N da⁻¹ + BF-1+ OTG 400 kg da⁻¹	14,58 CDE	20,38 ABC	17,48 BD
40 kg N da⁻¹ + BF-2+ OTG 400 kg da⁻¹	20,32 AB	21,33 ABC	20,83 ABC
30 kg N da⁻¹ + BF-2+ OTG 400 kg da⁻¹	17,94 BCD	23,28 ABC	20,61 ABC
20 kg N da⁻¹ + BF-2+ OTG 400 kg da⁻¹	13,26 DE	25,60 ABC	19,43 A-D
40 kg N da⁻¹ + OTG 400 kg da⁻¹	17,89 BCD	20,83 ABC	19,36 A-D
30 kg N da⁻¹ + OTG 400 kg da⁻¹	19,17 ABC	26,14 ABC	22,66 AB
20 kg N da⁻¹ + OTG 400 kg da⁻¹	15,65 B-E	24,41 ABC	20,03 ABC
ORTALAMA	29,76	22,11	

*: Sütunda aynı harfle gösterilen ortalamalar arasındaki fark %5 seviyesinde önemlidir.

Yıl ortalamalarına göre en düşük değer 9,77 pmol μL^{-1} ile kontrol grubunda tespit edilmiş; en yüksek ortalama ise 24,11 pmol μL^{-1} ile 40 kg N da⁻¹ + BF-1 + OTG 400 kg da⁻¹ uygulamasında elde edilmiştir. Bu bulgular, azotun PGPR destekli gübrelerle birlikte uygulanmasının propionik asit üretimini belirgin şekilde artırdığını ortaya koymaktadır (Tablo 94).

BF-1 ve BF-2 uygulamaları, kontrol grubuna göre propionik asit miktarını artırmakla birlikte, bu artışlar sınırlı düzeyde kalmıştır. OTG 400 kg da⁻¹ uygulaması, her iki yılda da artış sağlamış; ancak azot içeren kombinasyonlara göre daha düşük seviyelerde kalmıştır. Sadece azot uygulamaları (20, 30, 40 kg da⁻¹), propionik asit miktarını belirgin şekilde yükseltmiştir. Özellikle 30 kg ve 40 kg N da⁻¹ dozlarında bu artışlar dikkat çekicidir. BF-1 ve BF-2'nin OTG ile birlikte kullanımı, bu artışları daha da belirgin hale getirmiştir. Üçlü kombinasyonlar (azot + OTG + PGPR) propionik asit birikimini maksimum düzeye çıkarmış; bu grupta özellikle 40 kg N da⁻¹ + BF-1 + OTG 400 kg da⁻¹ uygulaması, tüm uygulamalar arasında en yüksek değeri vermiştir.

Tartarik asit miktarı (pmol μL^{-1})

Araştırmada, azot, organik tavuk gübresi ve bakteri (PGPR) uygulamaları ile bunların çeşitli kombinasyonlarının tartarik asit miktarı üzerine etkisini gösteren varyans analiz sonuçları Tablo 95'te verilmiştir. Uygulama ortalamalarına ait istatistiksel sonuçlar ise Tablo 96'da sunulmuştur.

Araştırmada, tartarik asit miktarına ilişkin varyans analiz sonuçları Tablo 95'te, uygulamaların etkisine ilişkin ortalama değerler ise Tablo 96'de sunulmuştur. Tablo 95'e göre; yıl (Y), uygulama (U) ve yıl \times uygulama (Y \times U) etkileşimi faktörlerinin tamamı, tartarik asit birikimi üzerinde istatistiksel olarak %1 düzeyinde anlamlı etki oluşturmuştur.

Tablo 95. Farklı Azot Dozları, PGPR Formülasyonları ve Organik Tavuk Gübresinin Brüksel Lahanasında Tartarik Asit Miktarına Etkisini Gösteren Varyans Analiz Sonuçları

Varyasyon Kaynağı	SD	KT	F
2022-2023			
Yıl (Y)	1	15171,1	261,8**
Uygulama (U)	17	92813,85	94,214**
Y x U	17	130534,8	132,504**
Hata	72	4172,341	
Genel	107	242692,1	

** : %1 seviyesinde önemlidir.

Araştırmada, tartarik asit miktarı 2022 yılında en düşük 13,04 pmol μL^{-1} ile kontrol uygulamasında belirlenmiştir. Bunu 13,13 pmol μL^{-1} ile BF-1 uygulamasında belirlenmiştir. Buna karşın, sadece azot içeren uygulamalar (20, 30, 40 kg N da⁻¹) ile yapılan denemelerde önemli şekilde artış göstermiştir. Ek olarak, birinci yılda 40 kg N da⁻¹ + BF-2 + OTG 400 kg da⁻¹ uygulamasında 39,15 pmol μL^{-1} ile en yüksek değeri vermiştir. Bununla birlikte ikinci yılda belirlenen tartarik asit miktarı önceki yıldan önemli ölçüde farklı (düşüşler görülmüş) olduğu belirlenmiştir. Sonuçlar incelendiğinde tartarik asit miktarı en düşük 13,31 pmol μL^{-1} ile 30 kg N da⁻¹ uygulamasında, en yüksek ise 27,38 pmol μL^{-1} ile 40 kg N da⁻¹ + BF-1+ OTG 400 kg da⁻¹ uygulamasında tespit edilmiştir.

Yıl ortalamaları değerlendirildiğinde, en düşük değer 15,46 pmol μL^{-1} ile BF-1 uygulamasında belirlenmiştir. En yüksek ortalama değer ise 30,00 pmol μL^{-1} 40 kg N da⁻¹ + BF-1+ OTG 400 kg da⁻¹ uygulamasında tespit edilmiştir (Tablo 96).

Tablo 96. Farklı Azot Dozları, PGPR Formülasyonları ve Organik Tavuk Gübresinin Brüksel Lahanasında Tartarik Asit Miktarına Etkisi ($\mu\text{mol } \mu\text{L}^{-1}$)

UYGULAMA	2022	2023	Yıl Ortalama
Kontrol	13,04 I*	23,98 ABC*	18,51 EFG*
BF-1	13,13 I	17,80 BCD	15,46 G
BF-2	22,27 GH	15,48 CD	18,88 D-G
OTG 400 kg da⁻¹	21,38 H	13,25 D	17,32 FG
40 kg N da⁻¹	29,13 B-F	15,04 D	22,09 C-F
30 kg N da⁻¹	25,07 E-H	13,31 D	19,19 D-G
20 kg N da⁻¹	36,09 ABC	17,79 BCD	26,94 ABC
BF-1+ OTG 400 kg da⁻¹	33,68 A-D	15,11 D	24,40 BCD
BF-2+ OTG 400 kg da⁻¹	32,25A-E	15,75 CD	24,00 B-E
40 kg N da⁻¹ + BF-1+ OTG 400 kg da⁻¹	32,61 A-E	27,38 A	30,00 A
30 kg N da⁻¹ + BF-1+ OTG 400 kg da⁻¹	27,00 D-H	16,51 BCD	21,76 C-F
20 kg N da⁻¹ + BF-1+ OTG 400 kg da⁻¹	27,90 D-H	24,49 AB	26,19 ABC
40 kg N da⁻¹ + BF-2+ OTG 400 kg da⁻¹	39,15 A	18,29 BCD	28,72 AB
30 kg N da⁻¹ + BF-2+ OTG 400 kg da⁻¹	28,28 D-H	18,98 BCD	23,63 B-E
20 kg N da⁻¹ + BF-2+ OTG 400 kg da⁻¹	24,28 FGH	20,48 A-D	22,38 C-F
40 kg N da⁻¹ + OTG 400 kg da⁻¹	37,30 AB	16,00 BCD	26,65 ABC
30 kg N da⁻¹ + OTG 400 kg da⁻¹	33,02 A-D	20,27 A-D	26,64 ABC
20 kg N da⁻¹ + OTG 400 kg da⁻¹	29,95 B-F	16,98 BCD	23,47 B-E
ORTALAMA	28,09	18,16	

*: Sütunda aynı harfle gösterilen ortalamalar arasındaki fark %5 seviyesinde önemlidir.

Araştırmada, Azot + OTG + PGPR (BF-1/BF-2) kombinasyonları, birçok uygulamaya göre daha tartarik asit miktarında yüksek değerler (özellikle BF-1) tespit edilmiştir. Nitekim BF-1'in bazı kombinasyonlarda BF-2'ye göre daha etkili olduğu Tablo 96 incelendiğinde görülmektedir.

Bütirik asit miktarı ($\mu\text{mol } \mu\text{L}^{-1}$)

Araştırmada, Brüksel lahanasında azot, organik tavuk gübresi ve PGPR uygulamaları ile bunların farklı kombinasyonlarının bütirik asit miktarına etkisini gösteren varyans analiz sonuçları Tablo 97'de verilmiştir. Ek olarak uygulamalara ait ortalamalar Tablo 98'de gösterilmiştir.

Tablo 97'ye göre; yıl (Y), uygulama (U) ve yıl \times uygulama (Y \times U) etkileşimi bütirik asit miktarı üzerinde istatistiksel olarak %1 önem düzeyinde önemli etki göstermiştir.

Tablo 97. Farklı Azot Dozları, PGPR Formülasyonları ve Organik Tavuk Gübresinin Brüksel Lahanasında Bütirik Asit Miktarına Etkisini Gösteren Varyans Analiz Sonuçları

Varyasyon Kaynağı	SD	KT	F
2022-2023			
Yıl (Y)	1	7766,465	55,691**
Uygulama (U)	17	67613,36	28,52**
Y x U	17	167166,3	70,512**
Hata	72	10040,89	
Genel	107	252587	

** : %1 seviyesinde önemlidir.

Yıllara göre değerlendirme yapıldığında, 2022 yılında en düşük bütirik asit değeri 46,15 pmol μL^{-1} ile kontrol uygulamasında belirlenmiştir. Bu değeri BF-1 (54,04 pmol μL^{-1}) izlerken, bu uygulamaların birbirine yakın olduğu ve aralarındaki farkın sınırlı kaldığı dikkat çekmektedir. Ayrıca, en yüksek bütirik asit miktarı 109,75 pmol μL^{-1} ile 20 kg N da^{-1} uygulamasında belirlenmiş, bunu 40 kg N da^{-1} + OTG 400 kg da^{-1} (103,5362 pmol μL^{-1}) ve 40 kg N da^{-1} + BF-2 + OTG 400 kg da^{-1} (106,5062 pmol μL^{-1}) uygulamaları takip etmiştir. Bu sonuçlar, özellikle azotun tek başına ya da mikrobiyal ve organik gübrelerle birlikte kullanımının bütirik asit üretimini anlamlı şekilde artırdığını ortaya koymaktadır. 2023 yılında en yüksek değer 39,07 pmol μL^{-1} ile 20 kg N da^{-1} + BF-2 + OTG 400 kg da^{-1} uygulamasından elde edilmiştir (Tablo 98).

Yıl ortalamalarına göre yapılan değerlendirmede, en düşük bütirik asit miktarı 35,31 pmol μL^{-1} ile kontrolde ve BF-1 (37,47 pmol μL^{-1}) belirlenirken, en yüksek değer 71,14 pmol μL^{-1} ve 70,59 pmol μL^{-1} ile 20 kg N da^{-1} ve 40 kg N da^{-1} + BF-2 + OTG 400 kg da^{-1} uygulamalarında tespit edilmiştir (Tablo 98). BF-1 ve BF-2 uygulamaları incelendiğinde, her iki bakteri uygulamasının da kontrole göre bütirik asit düzeyini artırdığı belirlenmiştir. Sadece organik tavuk gübresi (OTG) uygulaması ise, 45,02 pmol μL^{-1} ile kontrole göre anlamlı bir artış sağlamış olsa da diğer uygulamaların gerisinde kalmıştır.

Tablo 98. Farklı Azot Dozları, PGPR Formülasyonları ve Organik Tavuk Gübresinin Brüksel Lahanasında Bütirik Asit Miktarına Etkisi ($\mu\text{mol } \mu\text{L}^{-1}$)

UYGULAMA	2022	2023	Yıl Ortalama
Kontrol	46,15 G*	24,47 B-E	35,31 G*
BF-1	54,04 FG	20,89 DE	37,47 G
BF-2	65,77 EFG	13,90 E	39,84 FG
OTG 400 kg da ⁻¹	68,69 D-G	21,36 CDE	45,02 D-G
40 kg N da ⁻¹	83,71 B-E	24,53 B-E	54,12 B-E
30 kg N da ⁻¹	70,08 D-G	15,87 E	42,98 EFG
20 kg N da ⁻¹	109,75 A	32,53 A-D	71,14 A
BF-1+ OTG 400 kg da ⁻¹	92,12 A-D	27,97 A-D	60,05 ABC
BF-2+ OTG 400 kg da ⁻¹	95,44 ABC	21,31 CDE	58,37 A-D
40 kg N da ⁻¹ + BF-1+ OTG 400 kg da ⁻¹	93,03 A-D	32,56 A-D	62,80 ABC
30 kg N da ⁻¹ + BF-1+ OTG 400 kg da ⁻¹	68,64 D-G	32,95 ABC	50,80 C-F
20 kg N da ⁻¹ + BF-1+ OTG 400 kg da ⁻¹	82,58 B-E	35,48 AB	59,03 ABC
40 kg N da ⁻¹ + BF-2+ OTG 400 kg da ⁻¹	106,50 AB	34,69 AB	70,59 A
30 kg N da ⁻¹ + BF-2+ OTG 400 kg da ⁻¹	88,38 A-E	35,39 AB	61,89 ABC
20 kg N da ⁻¹ + BF-2+ OTG 400 kg da ⁻¹	72,10 C-F	39,07 A	55,58 B-E
40 kg N da ⁻¹ + OTG 400 kg da ⁻¹	103,53 AB	27,97 A-D	65,75 AB
30 kg N da ⁻¹ + OTG 400 kg da ⁻¹	81,67 B-E	29,10 A-D	55,39 B-E
20 kg N da ⁻¹ + OTG 400 kg da ⁻¹	86,25 A-E	21,95 CDE	54,10 B-E
ORTALAMA	81,58	27,33	

*: Sütunda aynı harfle gösterilen ortalamalar arasındaki fark %5 seviyesinde önemlidir.

Malonik asit miktarı ($\mu\text{mol } \mu\text{L}^{-1}$)

Araştırmada, 20, 30 ve 40 kg N da⁻¹, 400 kg da⁻¹ organik tavuk gübresi (OTG) ve PGPR (BF-1 ve BF-2) uygulamalarının malonik asit miktarı ($\mu\text{mol } \mu\text{L}^{-1}$) üzerindeki etkileri incelenmiştir. Varyans analizine ilişkin bulgular Tablo 99’da uygulamaların 2022 ve 2023 yıllarındaki ortalama malonik asit miktarları ise Tablo 100’de sunulmuştur.

Tablo 99. Farklı Azot Dozları, PGPR Formülasyonları ve Organik Tavuk Gübresinin Brüksel Lahanasında Malonik Asit Miktarına Etkisini Gösteren Varyans Analiz Sonuçları

Varyasyon Kaynağı	SD	KT	F
2022-2023			
Yıl (Y)	1	7554,556	78,022**
Uygulama (U)	17	39593,22	24,054**
Y x U	17	132400,4	80,436**
Hata	72	6971,465	
Genel	107	186519,6	

** : %1 seviyesinde önemlidir.

PGPR uygulamaları (BF-1 ve BF-2), kontrol grubuna göre malonik asit birikimini artırmış; ikinci yılda özellikle BF-2 uygulamasında 84,82 $\mu\text{mol } \mu\text{L}^{-1}$ ile önmlü bir artış tespit edilmiştir. Sadece OTG uygulaması birinci yılda kontrole kıyasla önemli bir artış göstermiştir (74,82 $\mu\text{mol } \mu\text{L}^{-1}$) ancak bu artış, diğer uygulamalarla karşılaştırıldığında daha düşük seviyede kalmıştır (Tablo 100).

Tablo 100. Farklı Azot Dozları, PGPR Formülasyonları ve Organik Tavuk Gübresinin Brüksel Lahanasında Malonik Asit Miktarına Etkisi ($\mu\text{mol } \mu\text{L}^{-1}$)

UYGULAMA	2022	2023	Yıl Ortalama
Kontrol	25,53 J	29,37 C*	27,45 G*
BF-1	26,20 J	52,64 B	39,42 FG
BF-2	56,51 HI	84,82 A	70,66 A
OTG 400 kg da ⁻¹	74,82 C-G	23,37 C	49,10 C-F
40 kg N da ⁻¹	71,93 D-H	25,82 C	48,87 C-F
30 kg N da ⁻¹	60,21 FGH	18,43 C	39,32 FG
20 kg N da ⁻¹	42,88 I	35,61 BC	39,24 FG
BF-1+ OTG 400 kg da ⁻¹	78,38 CDE	29,44 C	53,91 B-E
BF-2+ OTG 400 kg da ⁻¹	103,96 A	24,74 C	64,35 AB
40 kg N da ⁻¹ + BF-1+ OTG 400 kg da ⁻¹	81,89 BCD	35,56 BC	58,72 A-D
30 kg N da ⁻¹ + BF-1+ OTG 400 kg da ⁻¹	77,14 C-F	24,30 C	50,72 C-F
20 kg N da ⁻¹ + BF-1+ OTG 400 kg da ⁻¹	58,83 GH	36,18 BC	47,51 DEF
40 kg N da ⁻¹ + BF-2+ OTG 400 kg da ⁻¹	91,50 ABC	32,14 C	61,82 ABC
30 kg N da ⁻¹ + BF-2+ OTG 400 kg da ⁻¹	96,27 AB	34,68 BC	65,48 AB
20 kg N da ⁻¹ + BF-2+ OTG 400 kg da ⁻¹	61,35 E-H	32,26 C	46,80 DEF
40 kg N da ⁻¹ + OTG 400 kg da ⁻¹	91,13 ABC	28,68 C	59,90 A-D
30 kg N da ⁻¹ + OTG 400 kg da ⁻¹	91,78 ABC	31,98 C	61,88 ABC
20 kg N da ⁻¹ + OTG 400 kg da ⁻¹	61,44 E-H	20,35 C	40,89 EF
ORTALAMA	69,54	33,35	

*: Sütunda aynı harfle gösterilen ortalamalar arasındaki fark %5 seviyesinde önemlidir.

Tek başına azot uygulamaları (20, 30 ve 40 kg da⁻¹), malonik asit miktarını kontrole göre artırmış ve özellikle 40 kg N da⁻¹ uygulamasında 71,93 $\mu\text{mol } \mu\text{L}^{-1}$ olarak 2022 yılında belirlenmiştir. Bu sonuçlara göre, OTG'nin kullanıldığı kombinasyonlarda malonik asit miktarında belirgin bir artış gözlemlenmiş; bu artışın özellikle BF-2 + OTG uygulamasında maksimum seviyeye (103,96 $\mu\text{mol } \mu\text{L}^{-1}$) ulaştığı tespit edilmiştir.

Bununla birlikte, 30 ve 40 kg N da⁻¹ dozlarında OTG ile yapılan kombinasyonlarında 61,44–91,78 $\mu\text{mol } \mu\text{L}^{-1}$ aralığında yüksek değerler saptanmıştır. Diğer yandan, üçlü kombinasyonlar (Azot + OTG + PGPR) da genel olarak yüksek malonik asit düzeyleri tespit edilmiştir. Örneğin 30 kg N da⁻¹ + BF-2 + OTG 400 kg da⁻¹ uygulaması 65,48 $\mu\text{mol } \mu\text{L}^{-1}$ ile öne çıkmıştır. Ancak bu kombinasyonlar, tek başına azot ve OTG'nin birlikte kullanıldığı 20 kg N da⁻¹ + OTG uygulaması kadar yüksek olmadığı belirlenmiştir (Tablo 100).

Malik asit miktarın ($\mu\text{mol } \mu\text{L}^{-1}$)

Araştırmada, azot, organik tavuk gübresi ve PGPR uygulamalarının malik asit miktarı üzerine etkisini gösteren varyans analiz sonuçları Tablo 101'de verilmiştir. Ayrıca, yıllar ve uygulamalara göre oluşan ortalamalara ait istatistiksel sonuçlar Tablo 102'de sunulmuştur.

Tablo 101. Farklı Azot Dozları, PGPR Formülasyonları ve Organik Tavuk Gübresinin Brüksel Lahanasında Malik Asit Miktarına Etkisini Gösteren Varyans Analiz Sonuçları

Varyasyon Kaynağı	SD	KT	F
2022-2023			
Yıl (Y)	1	1277,896	47,867**
Uygulama (U)	17	20485,08	45,137**
Y x U	17	42112,53	92,791**
Hata	72	1922,16	
Genel	107	65797,67	

** : %1 seviyesinde önemlidir.

Varyans analizine göre yıl (Y), uygulama (U) ve yıl × uygulama (Y × U) etkileşimlerinin tamamının malik asit miktarı üzerinde istatistiksel olarak %1 düzeyinde önemli etkiler oluşturduğu belirlenmiştir (Tablo 101).

Tablo 102'deki yıl ortalamalarına göre, en düşük malik asit miktarı 7,54 pmol μL^{-1} ile kontrol uygulamasında elde edilirken, en yüksek değer ise 27,91 pmol μL^{-1} ile BF-1 + OTG 400 kg da^{-1} uygulamasında tespit edilmiştir.

Sadece OTG uygulaması, her iki yılda da kontrol grubuna kıyasla önemli bir artış sağlamış olsa da (yıl ortalaması 16,91 pmol μL^{-1}), diğer tekli ve birlikte uygulamalara kıyasla daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Ek olarak OTG uygulamasında, 2022 yılında malik asit miktarı 24,58 pmol μL^{-1} , 2023 yılında ise 9,24 pmol μL^{-1} olarak belirlenmiştir (Tablo 102).

Tablo 102. Farklı Azot Dozları, PGPR Formülasyonları ve Organik Tavuk Gübresinin Brüksel Lahanasında Malik Asit Miktarına Etkisi (pmol μL^{-1})

UYGULAMA	2022	2023	Yıl Ortalama
Kontrol	3,17 I*	11,91 CD*	7,54 F*
BF-1	2,83 I	16,28 ABC	9,55 F
BF-2	17,45 H	15,15 ABC	16,30 E
OTG 400 kg da^{-1}	24,58 D-H	9,24 D	16,91 E
40 kg N da^{-1}	22,83 E-H	15,61 ABC	19,22 DE
30 kg N da^{-1}	19,64 GH	11,72 CD	15,68 E
20 kg N da^{-1}	41,49 A	14,34 BC	26,63 AB
BF-1+ OTG 400 kg da^{-1}	34,60 ABC	18,12 AB	27,91 A
BF-2+ OTG 400 kg da^{-1}	37,08 AB	16,01 ABC	26,55 AB
40 kg N da^{-1} + BF-1+ OTG 400 kg da^{-1}	27,38 C-G	19,42 A	23,40 A-D
30 kg N da^{-1} + BF-1+ OTG 400 kg da^{-1}	24,33 D-H	16,16 ABC	20,24 CDE
20 kg N da^{-1} + BF-1+ OTG 400 kg da^{-1}	20,52 GH	13,05 CD	16,79 E
40 kg N da^{-1} + BF-2+ OTG 400 kg da^{-1}	30,68 B-F	19,04 AB	24,86 ABC
30 kg N da^{-1} + BF-2+ OTG 400 kg da^{-1}	32,51 BCD	14,43 ABC	23,47 A-D
20 kg N da^{-1} + BF-2+ OTG 400 kg da^{-1}	24,94 D-H	14,58 ABC	19,76 DE
40 kg N da^{-1} + OTG 400 kg da^{-1}	31,31 B-E	14,85 ABC	23,08 A-D
30 kg N da^{-1} + OTG 400 kg da^{-1}	29,75 B-F	14,88 ABC	22,31 BCD
20 kg N da^{-1} + OTG 400 kg da^{-1}	22,03 FGH	11,92 CD	16,97 E
ORTALAMA	24,84	14,82	

*: Sütunda aynı harfle gösterilen ortalamalar arasındaki fark %5 seviyesinde önemlidir.

Tek başına azot uygulamalarında özellikle 20 kg N da⁻¹ uygulamasında 2022 yılında 41,49 pmol µL⁻¹ ile en yüksek malik asit değeri tespit edilmiştir. İkinci yılda ise 15,61 pmol µL⁻¹ ile 40 kg N da⁻¹ uygulamasında tespit edilmiştir. 30 kg N da⁻¹ uygulaması da 2022 ve 2023 sırasıyla 19,64 ve 11,72 pmol µL⁻¹ malik asit değeri belirlenmiştir. Azot ve OTG'nin birlikte kullanıldığı kombinasyonlarda malik asit miktarlarında artışlar belirlenmiştir (Tablo 102).

Laktik asit miktarı (pmol µL⁻¹)

Araştırmada, azot, organik tavuk gübresi (OTG) ve PGPR uygulamalarının laktik asit birikimi üzerindeki etkilerini değerlendiren varyans analiz sonuçları Tablo 103'te, uygulamalara ve yıllara göre ortalamalar ise Tablo 104'te sunulmuştur.

Yıl ortalamalarına göre değerlendirildiğinde, en düşük laktik asit miktarı 18,75 pmol µL⁻¹ ile kontrol grubunda, en yüksek değer ise 35,99 pmol µL⁻¹ ile 20 kg N da⁻¹ uygulamasında tespit edilmiştir (Tablo 104). Tek başına OTG uygulaması, her iki yılda da kontrol grubuna göre artış sağlamış (yıl ortalaması: 23,18 pmol µL⁻¹), ancak diğer uygulamalara göre sınırlı düzeyde kalmıştır. Ayrıca, sadece PGPR uygulamaları (BF-1 ve BF-2), 2022 yılında etkili olmakla birlikte, yıl ortalamaları itibarıyla daha düşük sonuçlar vermiştir (Tablo 104).

Tablo 103. Farklı Azot Dozları, PGPR Formülasyonları ve Organik Tavuk Gübresinin Brüksel Lahanasında Laktik Asit Miktarına Etkisini Gösteren Varyans Analiz Sonuçları

Varyasyon Kaynağı	SD	KT	F
2022-2023			
Yıl (Y)	1	129637,2	840,919**
Uygulama (U)	17	31790,41	12,13**
Y x U	17	84134,09	32,103**
Hata	72	11099,62	
Genel	107	256661,3	

** : %1 seviyesinde önemlidir.

Tablo 104. Farklı Azot Dozları, PGPR Formülasyonları ve Organik Tavuk Gübresinin Brüksel Lahanasında Laktik Asit Miktarına Etkisi (pmol μL^{-1})

UYGULAMA	2022	2023	Yıl Ortalama
Kontrol	21,24 GH*	16,26 F*	18,75 H*
BF-1	19,43 H	23,40 B-E	21,42 GH
BF-2	25,64 FGH	18,16 EF	21,90 FGH
OTG 400 kg da⁻¹	28,99 E-H	17,37 EF	23,18 E-H
40 kg N da⁻¹	33,55 C-F	21,43 DEF	27,49 C-F
30 kg N da⁻¹	28,87 E-H	16,29 F	22,58 FGH
20 kg N da⁻¹	48,93 A	23,32 B-E	35,99 A
BF-1+ OTG 400 kg da⁻¹	39,52 A-D	21,54 DEF	30,53 A-D
BF-2+ OTG 400 kg da⁻¹	43,73 ABC	19,27 EF	31,50 A-D
40 kg N da⁻¹ + BF-1+ OTG 400 kg da⁻¹	33,74 C-F	34,93 A	34,34 AB
30 kg N da⁻¹ + BF-1+ OTG 400 kg da⁻¹	30,09 D-G	29,48 B	29,79 A-D
20 kg N da⁻¹ + BF-1+ OTG 400 kg da⁻¹	30,46 D-G	26,78 BCD	28,62 B-E
40 kg N da⁻¹ + BF-2+ OTG 400 kg da⁻¹	45,09 AB	26,89 BCD	36,12 A
30 kg N da⁻¹ + BF-2+ OTG 400 kg da⁻¹	38,34 B-E	28,40 BC	33,37 ABC
20 kg N da⁻¹ + BF-2+ OTG 400 kg da⁻¹	28,49 E-H	23,06 CDE	25,78 D-G
40 kg N da⁻¹ + OTG 400 kg da⁻¹	38,59 B-E	22,89 CDE	30,74 A-D
30 kg N da⁻¹ + OTG 400 kg da⁻¹	36,80 B-E	21,07 DEF	28,93 BCD
20 kg N da⁻¹ + OTG 400 kg da⁻¹	32,69 DEF	28,67 BC	30,68 A-D
ORTALAMA	33,56	23,29	

*: Sütunda aynı harfle gösterilen ortalamalar arasındaki fark %5 seviyesinde önemlidir.

Azot + OTG, uygulamasında genellikle yüksek laktik asit değerleri belirlenmiştir. En yüksek ortalama değeri 40 kg N da⁻¹ + OTG 400 kg da⁻¹ uygulamasında elde edilirken (30,74 pmol μL^{-1}), 20 kg N da⁻¹ ve 30 kg N da⁻¹ ile yapılan OTG kombinasyonunda ise bu değerler sırasıyla 30,68 ve 28,93 pmol μL^{-1} olarak belirlenmiştir (Tablo 104).

Sitrik asit miktarı (pmol μL^{-1})

Araştırmada, farklı azot dozları, organik tavuk gübresi (OTG) ve PGPR (BF-1 ve BF-2) uygulamalarının sitrik asit birikimi üzerine etkisini değerlendiren varyans analiz sonuçları Tablo 105'te; uygulamalara ait yıllık ortalamalar ise Tablo 106'da sunulmuştur.

Varyans analizine göre, yıl (Y), uygulama (U) ve yıl \times uygulama (Y \times U) faktörlerini sitrik asit miktarı üzerinde istatistiksel olarak %1 düzeyinde anlamlı bulunmuştur

Tablo 105. Farklı Azot Dozları, PGPR Formülasyonları ve Organik Tavuk Gübresinin Brüksel Lahanasında Sitrik Asit Miktarına Etkisini Gösteren Varyans Analiz Sonuçları

Varyasyon Kaynağı	SD	KT	F
2022-2023			
Yıl (Y)	1	102757,9	1024,548**
Uygulama (U)	17	36697,74	21,523**
Y x U	17	99898,69	58,591**
Hata	72	7221,304	
Genel	107	246575,7	

** : %1 seviyesinde önemlidir.

Yılın ortalaması üzerine yapılan incelemede, en düşük sitrik asit değeri $20,32 \mu\text{L}^{-1}$ + $20,32 \mu\text{L}^{-1}$ ile OTG 400 kg da^{-1} uygulamasında, en yüksek değer ise $36,99 \mu\text{L}^{-1}$ + $36,96 \mu\text{L}^{-1}$ ile 40 kg N da^{-1} + OTG 400 kg da^{-1} uygulamasında tespit edilmiştir (Tablo 106).

OTG 400 kg da^{-1} uygulamasında 2022 yılındaki belirlenen sitrik asit miktarı $25,41 \mu\text{L}^{-1}$ olurken, 2023 yılında bu değer $15,24 \mu\text{L}^{-1}$ 'e olarak belirlenmiştir. Öte yandan, BF-1 uygulamasında yıllık ortalamada $34,48 \mu\text{L}^{-1}$ ile yüksek düzeyde sitrik asit değeri tespit edilmiştir.

Azotlu gübrelerin tek başına kullanımı ile sitrik asit miktarına açısından belirgin bir artış sağlansa da yıl ortalamasında 20 kg N da^{-1} uygulamasında $33,05 \mu\text{L}^{-1}$ ile kontrole kıyasla yüksek olduğu tespit edilmiştir. Azot ve OTG'nin birlikte kullanıldığı ikili kombinasyonlar genel olarak güçlü bir performans sergilemiş; özellikle 20 kg N da^{-1} + OTG ve 40 kg N da^{-1} + OTG uygulamaları sırasıyla $36,96$ ve $36,99 \mu\text{L}^{-1}$ yıllık ortalamada öne çıkmıştır (Tablo 106).

Üçlü kombinasyonlar (Azot + OTG + PGPR) da genel olarak etkili olmuş, ancak bazı durumlarda ikili kombinasyonların özellikle 20 kg N da^{-1} + OTG 400 kg da^{-1} uygulamasının gerisinde kalmıştır. Bu grupta en yüksek sitrik asit düzeyi yıl ortalamasında, 40 kg N da^{-1} + BF-1 + OTG 400 kg da^{-1} uygulamasında $34,12 \mu\text{L}^{-1}$ olarak saptanmıştır.

Tablo 106. Farklı Azot Dozları, PGPR Formülasyonları ve Organik Tavuk Gübresinin Brüksel Lahanasında Sitrik Asit Miktarına Etkisi (pmol μL^{-1})

UYGULAMA	2022	2023	Yıl Ortalama
Kontrol	34,85 CDE*	22,20 D-H*	28,52 C-F*
BF-1	38,85 A-E	30,11 BCD	34,48 AB
BF-2	24,12 HI	24,80 C-F	24,46 FG
OTG 400 kg da⁻¹	25,41 GHI	15,24 GH	20,32 G
40 kg N da⁻¹	31,55 E-H	17,14 FGH	24,34 FG
30 kg N da⁻¹	27,15 F-I	14,68 H	20,92 G
20 kg N da⁻¹	42,88 AB	23,21 D-G	33,05 A-D
BF-1+ OTG 400 kg da⁻¹	31,20 E-H	19,54 E-H	25,37 EFG
BF-2+ OTG 400 kg da⁻¹	38,33 A-E	19,71 E-H	29,02 B-F
40 kg N da⁻¹ + BF-1+ OTG 400 kg da⁻¹	36,02 B-E	32,21 ABC	34,12 AB
30 kg N da⁻¹ + BF-1+ OTG 400 kg da⁻¹	35,81 B-E	23,64 DEF	29,72 B-F
20 kg N da⁻¹ + BF-1+ OTG 400 kg da⁻¹	32,39 EFG	22,99 D-G	27,69 DEF
40 kg N da⁻¹ + BF-2+ OTG 400 kg da⁻¹	42,40 ABC	24,55 C-F	33,48 ABC
30 kg N da⁻¹ + BF-2+ OTG 400 kg da⁻¹	33,60 DEF	26,77 B-E	30,18 B-E
20 kg N da⁻¹ + BF-2+ OTG 400 kg da⁻¹	22,50 I	19,91 E-H	21,20 G
40 kg N da⁻¹ + OTG 400 kg da⁻¹	41,20 A-D	32,78 AB	36,99 A
30 kg N da⁻¹ + OTG 400 kg da⁻¹	43,79 A	22,94 D-G	33,36 ABC
20 kg N da⁻¹ + OTG 400 kg da⁻¹	34,77 CDE	39,15 A	36,96 A
ORTALAMA	34,27	23,98	

*: Sütunda aynı harfle gösterilen ortalamalar arasındaki fark %5 seviyesinde önemlidir.

Maleik asit miktarı (pmol μL^{-1})

Araştırmada, farklı azot dozları, organik tavuk gübresi (OTG) ve PGPR (BF-1 ve BF-2) uygulamalarının maleik asit birikimi üzerindeki etkilerini belirlemek amacıyla yapılan varyans analiz sonuçları Tablo 107’de, uygulamalara ait yıllık ortalamalar ise Tablo 108’de verilmiştir.

Varyans analizi sonuçlarına göre, yıl (Y) faktörünün maleik asit miktarı üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir etkisi bulunmamıştır ($p>0,05$). Buna karşın, uygulama (U) faktörü ile yıl \times uygulama ($Y \times U$) etkileşimi %1 düzeyinde önemli çıkmıştır.

Yıl ortalamada, en düşük maleik asit miktarı 30 kg N da⁻¹ uygulamasında (18,42 pmol μL^{-1}) gözlenirken, en yüksek değer 33,00 pmol μL^{-1} ile 40 kg N da⁻¹ + OTG 400 kg da⁻¹ uygulamasında elde edilmiştir.

Tablo 107. Farklı Azot Dozları, PGPR Formülasyonları ve Organik Tavuk Gübresinin Brüksel Lahanasında Maleik Asit Miktarına Etkisini Gösteren Varyans Analiz Sonuçları

Varyasyon Kaynağı	SD	KT	F
2022-2023			
Yıl (Y)	1	14,9	0,332 ^{NS}
Uygulama (U)	17	23571,44	30,879**
Y x U	17	44291,66	58,024**
Hata	72	3232,957	
Genel	107	71110,96	

** : %1 seviyesinde önemlidir. NS: %5 seviyesinde önemli değildir.

Tablo 108'deki uygulamalar incelendiğinde, sadece BF-2 uygulamalarının kontrole kıyasla maleik asit miktarlarını artırdığı görülmektedir. Genel ortalama değerin ise 22,74 pmol μL^{-1} ile oldukça düşük olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 108. Farklı Azot Dozları, PGPR Formülasyonları ve Organik Tavuk Gübresinin Brüksel Lahanasında Maleik Asit Miktarına Etkisi (pmol μL^{-1})

UYGULAMA	2022	2023	Yıl Ortalama
Kontrol	14,74 EF*	42,10 A*	28,42 A-E*
BF-1	11,51 F	40,86 A	26,19 A-F
BF-2	18,17 DEF	43,09 A	30,63 ABC
OTG 400 kg da⁻¹	19,78 DEF	25,70 BC	22,74 C-F
40 kg N da⁻¹	23,13 C-F	28,07 B	25,60 A-F
30 kg N da⁻¹	19,36 DEF	17,48 D	18,42 F
20 kg N da⁻¹	31,60 BCD	13,47 D	22,54 DEF
BF-1+ OTG 400 kg da⁻¹	46,43 A	17,83 D	32,13 AB
BF-2+ OTG 400 kg da⁻¹	27,48 CDE	15,31 D	21,40 EF
40 kg N da⁻¹ + BF-1+ OTG 400 kg da⁻¹	42,97 AB	15,91 D	29,44 A-D
30 kg N da⁻¹ + BF-1+ OTG 400 kg da⁻¹	21,83 DEF	17,82 D	19,83 F
20 kg N da⁻¹ + BF-1+ OTG 400 kg da⁻¹	27,98 CDE	12,81 D	20,39 EF
40 kg N da⁻¹ + BF-2+ OTG 400 kg da⁻¹	29,42 CD	17,26 D	23,34 C-F
30 kg N da⁻¹ + BF-2+ OTG 400 kg da⁻¹	25,45 CDE	17,00 D	21,23 EF
20 kg N da⁻¹ + BF-2+ OTG 400 kg da⁻¹	36,34 ABC	11,99 D	24,16 C-F
40 kg N da⁻¹ + OTG 400 kg da⁻¹	47,82 A	18,18 D	33,00 A
30 kg N da⁻¹ + OTG 400 kg da⁻¹	25,98 CDE	14,63D	20,30 F
20 kg N da⁻¹ + OTG 400 kg da⁻¹	29,22 CD	19,73 CD	24,48 B-F
ORTALAMA	27,73	21,62	

*: Sütunda aynı harfle gösterilen ortalamalar arasındaki fark %5 seviyesinde önemlidir.

Farklı konsantrasyonlardaki azot uygulamaları (20 kg N da⁻¹, 30 kg N da⁻¹ ve 40 kg N da⁻¹) maleik asit düzeylerinde kısmi artışlar sağlamış olsa da bazı kombinasyon uygulamalarının gerisinde kalmıştır. Özellikle, 40 kg N da⁻¹ + OTG 400 kg da⁻¹ ve BF-2+ OTG 400 kg da⁻¹ uygulaması öne çıkmış; 2022 yılında 47,82 ve 46,43 pmol μL^{-1} ile tüm uygulamalar içinde en yüksek yıllık değer olarak belirlenmiştir (Tablo 108).

Araştırmada yapılan üçlü kombinasyonlar (Azot + OTG + PGPR) da genel olarak olumlu etkiler göstermiştir. Ancak bu uygulamalar, en yüksek değerlere ulaşamadığı tespit edilmiştir (Tablo 108).

Fumarik asit miktarı (pmol μL^{-1})

Araştırmada azotun 20, 30 ve 40 kg N da⁻¹ artan dozları, 400 kg da⁻¹ organik tavuk gübresi (OTG) ve PGPR (BF-1 ve BF-2) uygulamalarının tek başına veya birlikte uygulamalarının fumarik asit miktarına etkisini gösteren varyans analiz sonuçları Tablo 109'da uygulamaların ortalama değerlerine ait analiz sonuçları ise Tablo 110'da sunulmuştur.

Tablo 109’da sunulan varyans analizi sonuçlarına göre, faktörlerinin tamamı fumarik asit miktarı üzerinde istatistiksel olarak %1 düzeyinde anlamlı farklılık oluşturmuştur.

Tablo 109. Farklı Azot Dozları, PGPR Formülasyonları ve Organik Tavuk Gübresinin Brüksel Lahanasında Fumarik Asit Miktarına Etkisini Gösteren Varyans Analiz Sonuçları

Varyasyon Kaynağı	SD	KT	F
2022-2023			
Yıl (Y)	1	4232,26	91,326**
Uygulama (U)	17	18177,49	23,073**
Y x U	17	39606,69	50,274**
Hata	72	3336,662	
Genel	107	65353,11	

** : %1 seviyesinde önemlidir.

Tablo 110 incelendiğinde, kontrolde 2022 yılında 14,95 pmol μL^{-1} fumarik asit miktarı belirlenmiştir, 2023 yılında bu değer 23,92 pmol μL^{-1} olarak tespit edilmiştir (Tablo 110).

Tablo 110. Farklı Azot Dozları, PGPR Formülasyonları ve Organik Tavuk Gübresinin Brüksel Lahanasında Fumarik Asit Miktarına Etkisi (pmol μL^{-1})

UYGULAMA	2022	2023	Yıl Ortalama
Kontrol	14,95 F*	23,92 B-E*	19,44 D
BF-1	14,29 F	34,43 A	24,36 CD
BF-2	19,89 EF	26,71 ABC	23,30 CD
OTG 400 kg da⁻¹	30,47 CDE	15,43 DE	22,95 CD
40 kg N da⁻¹	25,31 DEF	21,96 B-E	23,64 CD
30 kg N da⁻¹	21,19 EF	14,40 E	17,80 D
20 kg N da⁻¹	48,68 A	23,51 B-E	36,09 A
BF-1+ OTG 400 kg da⁻¹	30,08 CDE	25,04 A-D	27,56 BC
BF-2+ OTG 400 kg da⁻¹	42,33 AB	19,34 CDE	30,84 ABC
40 kg N da⁻¹ + BF-1+ OTG 400 kg da⁻¹	27,95 CDE	30,01 AB	28,98 ABC
30 kg N da⁻¹ + BF-1+ OTG 400 kg da⁻¹	28,96 CDE	30,03 AB	29,49 ABC
20 kg N da⁻¹ + BF-1+ OTG 400 kg da⁻¹	22,32 DEF	27,19 ABC	24,75 CD
40 kg N da⁻¹ + BF-2+ OTG 400 kg da⁻¹	32,20 B-E	28,36 ABC	30,28 ABC
30 kg N da⁻¹ + BF-2+ OTG 400 kg da⁻¹	39,20 ABC	29,85 AB	34,53 AB
20 kg N da⁻¹ + BF-2+ OTG 400 kg da⁻¹	23,54 DEF	25,54 ABC	24,54 CD
40 kg N da⁻¹ + OTG 400 kg da⁻¹	31,10 B-E	27,09 ABC	29,09 ABC
30 kg N da⁻¹ + OTG 400 kg da⁻¹	34,45 BCD	22,49 B-E	28,47 ABC
20 kg N da⁻¹ + OTG 400 kg da⁻¹	23,31 DEF	27,76 ABC	25,53 CD
ORTALAMA	28,35	25,17	

*: Sütunda aynı harfle gösterilen ortalamalar arasındaki fark %5 seviyesinde önemlidir.

OTG (400 kg da⁻¹) uygulaması düşük düzeyde etki göstererek yılların ortalamasında 22,95 pmol μL^{-1} ile en düşük değerlerden biri olmuştur. Bu durum, OTG’nin tek başına uygulandığında fumarik asit metabolizması üzerinde sınırlı bir etki oluşturduğunu ortaya koymaktadır. Azot uygulamaları (20, 30 ve 40 kg N da⁻¹) genel olarak fumarik asit

seviyelerinde artış sağlamış, özellikle 20 kg N/da dozu ile 2022 yılında 48,68 pmol μL^{-1} ile en yüksek değer elde edilmiştir.

Azot + OTG kombinasyonları, fumarik asit birikimini belirgin şekilde artırmıştır. Bu grupta öne çıkan uygulama birinci yılda 30 kg N + OTG 400 kg da^{-1} kombinasyonu olmuştur. Azot + OTG + PGPR uygulamalarının fumarik asit birikimi açısından etkili olmuş, ancak en yüksek değerlere ulaşamamıştır. Nitekim, 2022 yılında 30 kg N + BF-2 + OTG 400 kg da^{-1} uygulaması 39,20 pmol μL^{-1} , 40 kg N + BF-2 + OTG 400 kg da^{-1} ise 32,20 pmol μL^{-1} ile sınırlı artışlar sağladığı belirlenmiştir (Tablo 110).

Süksinik asit miktarı (pmol μL^{-1})

Araştırmada N (azot), OTG (organik tavuk gübresi) ve PGPR (BF-1 ve BF-2) uygulamalarının süksinik asit miktarı üzerine etkisini gösteren varyans analiz sonuçları Tablo 111’de, uygulamalara ait ortalamalar Tablo 112’de paylaşılmıştır.

Tablo 111’deki verilere göre faktörlerin tümü süksinik asit miktarı üzerinde %1 seviyesinde önemli bulunmuştur.

Tablo 111. Farklı Azot Dozları, PGPR Formülasyonları ve Organik Tavuk Gübresinin Brüksel Lahanasında Süksinik Asit Miktarına Etkisini Gösteren Varyans Analiz Sonuçları

Varyasyon Kaynağı	SD	KT	F
2022-2023			
Yıl (Y)	1	66954,95	379,756**
Uygulama (U)	17	75184,91	25,084**
Y x U	17	198500,2	66,227**
Hata	72	12694,37	
Genel	107	353334,5	

** : %1 seviyesinde önemlidir.

PGPR tek başına uygulandığında kontrole kıyasla önemli artışlar kaydedilmiş ve her iki sezonda da BF-1 ve BF-2 uygulamalarında en yüksek süksinik asit miktarı belirlenmiştir. Buna karşın, OTG tek başına uygulandığında süksinik asit miktarında kontrole kıyasla düşük değerler tespit edilmiştir (Tablo 112). Her iki yıl sonuçları bir arada değerlendirildiğinde, yıl ortalamada en yüksek süksinik asit birikimi BF-1’de (60,75 pmol μL^{-1}) belirlenmiştir.

Tablo 112. Farklı Azot Dozları, PGPR Formülasyonları ve Organik Tavuk Gübresinin Brüksel Lahanasında Süksinik Asit Miktarına Etkisi (pmol μL^{-1})

UYGULAMA	2022	2023	Yıl Ortalama
Kontrol	56,58 AB*	40,52 BCD*	48,55 BC*
BF-1	63,18 A	58,33 A	60,75 A
BF-2	68,21 A	42,36 BCD	55,28 AB
OTG 400 kg da⁻¹	45,10 BCD	27,16 EF	36,13 EFG
40 kg N da⁻¹	50,07 BC	25,35 EF	37,71 D-G
30 kg N da⁻¹	41,91 CDE	21,10 F	31,51 G
20 kg N da⁻¹	49,08 BC	42,12 BCD	45,60 CD
BF-1+ OTG 400 kg da⁻¹	44,19 BCD	29,43 EF	36,81 EFG
BF-2+ OTG 400 kg da⁻¹	42,68 CDE	28,83 EF	35,76 EFG
40 kg N da⁻¹ + BF-1+ OTG 400 kg da⁻¹	39,73 CDE	45,15 B	42,44 C-E
30 kg N da⁻¹ + BF-1+ OTG 400 kg da⁻¹	29,72 E	34,07 CDE	31,90 G
20 kg N da⁻¹ + BF-1+ OTG 400 kg da⁻¹	39,49 CDE	29,87 EF	34,68 FG
40 kg N da⁻¹ + BF-2+ OTG 400 kg da⁻¹	63,69 A	42,71 BC	53,20 B
30 kg N da⁻¹ + BF-2+ OTG 400 kg da⁻¹	39,52 CDE	32,26 DE	35,89 EFG
20 kg N da⁻¹ + BF-2+ OTG 400 kg da⁻¹	34,59 DE	41,08 BCD	37,83 D-G
40 kg N da⁻¹ + OTG 400 kg da⁻¹	44,21 BCD	43,51 BC	43,86 CDE
30 kg N da⁻¹ + OTG 400 kg da⁻¹	35,36 DE	27,70 EF	31,53 G
20 kg N da⁻¹ + OTG 400 kg da⁻¹	41,24 CDE	21,22 F	31,23 G
ORTALAMA	46,03	35,15	

*: Sütunda aynı harfle gösterilen ortalamalar arasındaki fark %5 seviyesinde önemlidir.

Bununla birlikte, BF-2'nin tek başına uygulaması (55,28 pmol μL^{-1}) ve üçlü kombinasyonlardan 40 kg N + BF-2 + OTG 400 kg da⁻¹ (53,20 pmol μL^{-1}) da yüksek değerler belirlenmiştir. Ayrıca, BF-1 + OTG 400 kg da⁻¹ (36,81 pmol μL^{-1}) uygulamasında elde edilen süksinik asit miktarının diğer uygulamalara göre düşük kaldığı tespit edilmiştir (Tablo 112).

TARTIŞMA VE SONUÇ

Azot (N), yetiştirilen bitkiler için en çok ihtiyaç duyulan besindir ve bitki gelişimi ile verimi doğrudan etkiler, ancak kullanılabilirliği tarım ekosistemlerinin verimliliğini sınırlayan başlıca faktörlerden biridir (Jalal *et al.* 2023). Nitekim, aşırı kullanımı sonucunda bitki bünyesinde nitrat birikimine ve bu da bitkide strese neden olduğu yapılan birçok araştırmada ifade edilmiştir. Bununla birlikte, aşırı kullanımı çevre sorunlarına da neden olmakta, toprakta tuz birikimi ve yer altı sularına karışmasıyla su kalitesini düşürdüğü yine yapılan araştırmalarda bildirmiştir. Ayrıca, konvansiyonel gübrelerin maliyetlerinin yüksek olması da yetiştiriciliğin ekonomik olmaktan uzaklaşmasına neden olmaktadır. Bu nedenle, birçok araştırmacı kimyasal gübrelerin yerini alabilecek çeşitli organik (ahır/kümes gübresi, yeşil gübreler, kompostlar vb) ve biyolojik (PGPR) veya bunların birlikte kombinasyonlarıyla gübreleme yöntemleri üzerine araştırmalar yapmışlardır. Bu doğrultuda Kaymak (2019) tarafından yapılan bir araştırmada konvansiyonel gübrelerin ve pestisitlerin gerek toprakta gerekse canlı üzerinde meydana getirdiği zararlı etkileri ve bunların kalıntılarının önemli çevre sorunlarına neden olmasından dolayı bunların yerine bitki büyümesini teşvik eden rizobakteriler (PGPR)'in kullanılması gerektiğini ifade etmiştir. Nitekim, bu bakterilerin bitkiye azot sağlamanın yanında mineral alımını artırdığını bildirmiştir. Bununla birlikte, bu bakteriler bitki büyüme düzenleyicileri ve diğer faydalı maddeleri üretip salgılayarak bitki büyümesine olumlu katkıda bulunabileceği belirtilmiştir. Ek olarak, Kaymak *et al.* (2020) kimyasal gübreler (AS; 112,5 kg ha⁻¹ ve 150 kg ha⁻¹) ve PGPR (M-3; *P. putida* RK-142 + *P. Flourescens* TV-11D + *B. megaterium* TV-91C)'ler ile marul üzerine araştırma yürütmüşlerdir. Yaptıkları araştırmanın sonucunda 112,5 kg ha⁻¹ (150 kg ha⁻¹'dan %25 daha az) dozunda amonyum sülfat (AS) ile M-3 rizobakteri uygulamasının, 150 kg ha⁻¹ AS kullanılan uygulama ile aynı geliri sağladığını tespit ederek bakteri uygulamalarının üretim girdi maliyetlerini ciddi olarak düşürdüğünü kanıtlamışlardır. Bunların yanı sıra, yapılan araştırmalar organik ve biyolojik gübrelerin özellikle sürdürülebilir tarım açısından önemini ortaya çıkarmış, bunların kullanımının bitkilerdeki etkileriyle birlikte toprak yapısında önemli derecede pozitif etkilerinin olduğu belirlenmiştir. Nitekim, yapılan bir araştırmada toprağa uygulanan tüm ticari organik gübrelerin (azoter, biyolojik çamur ve bu ikisinin karışımı) gübresiz toprağa kıyasla mikrobiyal biyokütle değerlerinde artışa yol açtığı rapor edilmiştir (Javoreková *et al.* 2015). Başka bir çalışmada da organik gübrenin, NPK uygulamasıyla birlikte veya olmadan uzun vadeli kullanımının, topraktaki karbon kullanım modellerini değiştirdiğini ve mikrobiyal çeşitliliğin artmasına yol açtığı belirtilmiştir (Zhong *et al.* 2010). Bunlara ek olarak, Kaymak *et al.* (2023) tarafından brokoli üretiminde tavuk gübresinin inorganik azotla rekabet gücünün değerlendirildiği bir çalışmada, amonyum nitrat

uygulamasında elde edilen bazı değerlerin tavuk gübresi uygulamasından elde edilen değerlerden yüksek olmasına rağmen sürdürülebilir üretim açısından 4000 kg ha⁻¹ dozunda tavuk gübresini önermişlerdir. Ek olarak, farklı mikroplar arasında, rizosfer bölgesinde gelişenler genellikle bitki büyümesini teşvik eden rizobakteriler (PGPR) olarak tanımlanmakta ve toprak verimliliğini artırmada önemli bir rol oynamaktadır (Basu *et al.* 2021). Nitekim, biyogübrelemenin (PGPR), mikroorganizmaların asetik, propiyonik, süksinik ve fumarik asitler gibi organik asitler salgılayarak toprak asitliğini azalttığını ve bitki büyümesindeki artışa katkıda bulunduğu belirtilmiştir (Abd-Alrahman *et al.* 2016). Ayrıca, Lin *et al.* (2019) tarafından çeşitli azot oranlarında bitki büyümesini destekleyen rizobakterilerin mısırdaki büyüme parametreleri üzerindeki etkisini araştırdıkları çalışmada PGPR uygulamalarında kontrole kıyasla bitki boyunu, gövde çapını, yaprak alanını ve kök morfolojisini önemli ölçüde artırdığını tespit etmişlerdir. Ayrıca, çalışmada PGPR kombinasyonlarının, mısırın büyüme parametrelerini etkilemeden inorganik N gübrelemesini potansiyel olarak azaltabildiğini tespit etmişlerdir. Bitki büyümesini teşvik eden rizobakteriler (PGPR), kök rizosferinde yaşayan özel bakteri topluluklarıdır. Kök salgılarının salgılanması, mikrobiyal dinamikleri ve bitkilerle olan etkileşimlerini düzenlemeye yardımcı olur. PGPR'lerin rizosferik bölgedeki simbiyotik ilişkileri, bakteriyel, fungal ve viral patojenlere karşı koruma sağlamaktadır. PGPR tarafından kullanılan biyo-kontrol mekanizmaları, doğrudan ve dolaylı etkilere sahiptir. Doğrudan etkiler, antibiyotik, siderofor ve hidrolitik enzim üretimini içerirken; dolaylı etkiler, kök salgıları yoluyla rizomikrobiyom düzenlemesini, fitohormon salınımını ve antioksidan savunma enzimlerinin ekspresyonunu kapsamaktadır (Dutta *et al.* 2022).

Araştırmada, organik tavuk gübresi ve farklı biyogübre çeşitleri kontrole göre uygulamaların tamamında topraktaki bakteri popülasyonunda artış sağlamıştır. Ayrıca, bakteri popülasyonunun yıllara göre değişiklik gösterdiği belirlenmiştir. Nitekim, bakteri popülasyonu 6,33 ile 143,00 x10⁵ cfu/ml arasında değişmiş ve uygulamaların tamamında (30 kg N da⁻¹ + BF-1 + OTG 400 kg da⁻¹ hariç) 2023 yılında belirlenen bakteri popülasyonunun 2022 yılına göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. PGPR'nin, organik tavuk gübresi ile yapılan ikili kombinasyonda etkinliklerinde artış olduğu belirlenirken, N+PGPR+OTG ile yapılan üçlü kombinasyonlarında, PGPR (BF-1 ve BF-2)'lerin tekli uygulamaları ve tavuk gübresi ile kombinasyonlarına göre topraktaki bakteri popülasyonlarında en yüksek artış sağlamıştır (tablo 6). Nitekim, birinci yılda en yüksek bakteri popülasyonu 40 kg N da⁻¹ + BF-1+ OTG 400 kg da⁻¹ uygulamasında görülürken, ikinci yılda 30 kg N da⁻¹ + BF-2 + OTG 400 kg da⁻¹ uygulamasında tespit edilmiştir. Bununla birlikte, yıl ortalama da yapılan incelemede en yüksek bakteri popülasyonu 40 kg N da⁻¹ + BF-1+ OTG 400 kg da⁻¹ (89,67 x10⁵ cfu/ml) uygulamasında tespit edilmiştir. Yıllar arasında bakteri popülasyonundaki farkların çevresel etmenlerden

kaynaklandığı düşünülmektedir. Benzer şekilde, Meraklı ve Memon (2020), PGPR mikroorganizmaları, toprak ile sinerjistik veya antogonistik etkileşimler göstermekte, popülasyonlarının artmasında veya azalmasında çeşitli çevresel faktörlerin rollerinin olduğunu ifade etmişlerdir. Yapılan başka bir çalışmada da bakteri uygulamalarının, topraktaki bakteri popülasyonlarına katkıda bulunduğu, bakteri popülasyonunun yoğunluğu ve çeşitliliği yağış, sıcaklık, toprak pH'ı ve besin maddeleri gibi çevresel faktörlerden önemli ölçüde etkilendiği belirtilmiştir. Bu faktörler, popülasyon dinamiklerinde yıllık değişimlere yol açabileceği ifade edilmiştir (Chandran *et al.* 2021). Bununla birlikte, PGPR, rizosferdeki besin maddelerinin kullanılabilirliğinin artmasına yardımcı olmaktadır (Bhattacharya and Jha, 2012; Quresh *et al.* 2019; Meraklı ve Memon 2020). Topraktaki bakteri popülasyonu, farklı besin maddelerini kullanarak çok hızlı bir şekilde büyümektedir (Meraklı ve Memon 2020) bu durum üçlü kombinasyon (N+PGPR+OTG) ile yapılan uygulamalardaki bakteri popülasyonların en yüksek değerde çıkmasını açıklar niteliktedir. Bununla birlikte, Kumar *et al* (2011); Gupta *et al* (2024) tarafından topraktaki bakteri popülasyonlarının belirlendiği bir araştırmada farklı gübreler ile yapılan kombinasyonların kontrole göre bakteri popülasyonlarında artış sağladığı, en yüksek popülasyonun ise %75 RDF + %25 N' + PGPR (Azotobakteri) + PSB ile yapılan kombinasyon uygulamasında (45 DAS'da 30,29, 90 DAS'da 51,22 ve hasat aşamasında $50,10 \times 10^7$ CFU/g toprak) belirlemişlerdir. Bu sonuç, üçlü kombinasyon (N+PGPR+OTG) ile yapılan uygulamalardaki bakteri popülasyonların en yüksek değerde çıkmasını destekler niteliktedir.

Araştırmada bitki boyu, baş uzunluğu, baş çapı, baş sayısı, baş ağırlığı, gövde çapı, yaprak sayısı ve klorofil değerleri uygulamalara göre önemli şekilde değişmiş ve en düşük değerler her iki yılda da kontrol grubunda görülmüştür. Farklı oranlarda amonyum sülfat, organik gübre (tavuk gübresi) ve bitki büyümesini teşvik eden rizobakteri (PGPR) uygulamalarının incelenen parametrelerde kontrole kıyasla artışlar sağlamıştır. Ayrıca, bunların ikili kombinasyonlarının, her birinin tek başına uygulanmasına kıyasla belirtilen parametrelerde ekstra artış sağlamıştır. Ancak, en yüksek artışlar araştırmanın yapıldığı iki yılda da N+PGPR+OTG ile yapılan üçlü kombinasyonlarda belirlenmiştir. Nitekim, bitki boyu, baş uzunluğu, baş sayısı, baş ağırlığı ve gövde çapı, baş çapı ve klorofil spad değerlerinde $40 \text{ kg N da}^{-1} + \text{BF-1} + \text{OTG } 400 \text{ kg da}^{-1}$ uygulamasında en yüksek değerler elde edilmiştir. Bununla birlikte, en yüksek baş sayısı ve baş ağırlığı birinci yılda $30 \text{ kg N da}^{-1} + \text{BF-1} + \text{OTG } 400 \text{ kg da}^{-1}$, ikinci yılda ise $40 \text{ kg N da}^{-1} + \text{BF-1} + \text{OTG } 400 \text{ kg da}^{-1}$ uygulamalarında belirlenmiştir. Yapılan çalışmalarda PGPR'lerin kimyasal ve organik gübrelerle birlikte kullanıldığında genel büyüme parametrelerinde artışlar sağladığı belirtilmiştir. Nitekim, PGPR ve azotlu bileşiklerin birlikte kombine edilmesi su ve besin maddelerinin emilimi için uygun koşullar oluşturmakta ve bu durum bitkideki besin içeriğinde artışlara yol açmaktadır (Abou El-Magd *et al.* 2019). Bununla

birlikte azot, birçok organik bileşiğin yapısında yer alan farklı elementlerden kaynaklanmaktadır. Bu elementler, DNA ve RNA gibi nükleik asitlerin oluşumunda kritik öneme sahiptir ve bitkinin oksin, protein üretimi, hücre bölünmesi ve uzaması ile klorofil üretimini teşvik etmektedir. Bitkilerdeki azot ve amino asit artışı, özellikle hücre bölünmesini ve uzamasını etkileyen bitki hormonu oksinlerin oluşumunda rol oynamaktadır ve bu durum kök ve bitki büyümesini ve yaprak sayısını artırmaktadır (Glawischnig *et al.* 2000). Ayrıca, Asghar *et al.* (2002) PGPR ve kimyasal gübre ile birlikte yapılan uygulamaları hardalda bitki boyunda kontrole kıyasla %56,5'e varan artış sağladığını ifade etmiştir. Bununla birlikte, organik ve kimyasal gübrelerin PGPR ile birlikte uygulanması bitki boyu ve diğer büyüme parametrelerinde önemli artışlar sağlamıştır (Jalal *et al.* 2023). Çelik (2024) PGPR ve artan dozlarda yarasa gübresi (YG) ve %30 oranında azaltılmış kimyasal gübre (7/10 KG) uygulamalarının tekli uygulamaları ve bunların kombinasyonları olacak şekilde tarla koşullarında marulda bitki baş boyunda %40,1, baş çapında %27,7, kök boğazı çapında 19.6, baş ağırlığında %82.2, kök uzunluğunda %60.1, yaprak sayısında %24.7, yaprak yaş ağırlığında %21.6 yaprak kuru ağırlığında %19.1 oranında kontrole göre artış olduğunu belirlenmiştir. Ayrıca, Şahin ve Dönmez (2020) PGPR uygulamalarında kontrol ve NPK'ya kıyasla domates bitkisi gövde çapını istatistiksel olarak önemli düzeyde arttırdığını tespit etmişlerdir. Benzer şekilde, Ekinci vd (2015) brokoli fideleri üzerine yaptıkları bir çalışmada PGPR'ler ile yapılan uygulamalarda kontrol grubuna göre gövde çapında %21,49-42,56 arasında artış tespit etmişlerdir. Bunlara ilaveten Maina *et al.* (2013) *B. subtilis*, *P. fluorescens*, *B. megaterium* ve *Azotobacter chroococcum* strainlerinin kombinasyonlarının domatese bitki boyu, yaprak ve dal sayısını kontrole göre arttırdığını belirlemişlerdir. Benzer şekilde, Saroj *et al.* (2020) karnabaharda bitki boyu ve bitki başına yaprak sayısı değerlerinin, PGPR kombinasyonlarında en yüksek değerlere ulaştığını ifade etmişlerdir. Bunlara ilaveten, *Bacillus*, *Azospirillum* ve *Azotobacter* gibi PGPR'lerin azot ile birlikte veya tek başına uygulanması, kanolada yapraklarda klorofil içeriğini ve fotosentetik pigmentleri önemli şekilde artırabileceği ifade edilmiştir (Abdel Latef *et al.* 2021). Ayrıca, brokoli fidelerinde kontrol grubundaki klorofil değeri 45,41 spad olarak belirlenmiştir. PGPR uygulamalarındaki klorofil değerleri ise 47,59-48,67 spad aralığında değiştiği ve PGPR uygulamalarının klorofil miktarına pozitif etkilerinin olduğunu belirlenmiştir (Ekici vd 2015).

Araştırmada en yüksek sçkm (%) 2022 yılında %11,17 ile 40 kg N da⁻¹ + BF-1+ OTG 400 kg da⁻¹ uygulamasında, 2023 yılında ise %10,87 BF-2 uygulamasında belirlenmiştir. Ancak, yıl ortalamada %10,82 ile 30 kg N da⁻¹ + BF-2+ OTG 400 kg da⁻¹ uygulamasında en yüksek sçkm oranı belirlenmiştir. Bununla birlikte, en yüksek kuru madde oranları 2022 yılında %15,67 ile BF-2'de 2023 yılında ise %22,34 30 kg N da⁻¹ + BF-2+ OTG 400 kg da⁻¹

uygulamasında belirlenmiştir. Yıl ortalamada %18,95 ile OTG 400 kg da⁻¹ uygulamasında en yüksek yüksek kuru madde oranı tespit edilmiştir. Ancak, bu iki parametrede de uygulamalar arasında ve yıllar arasında ki farkların istatistiksel olarak önemsiz olduğu tespit edilmiştir.

Araştırmada, baş rengi L değerinin birinci yılda uygulamalar arasındaki farkların önemsiz, ikinci yılda ise önemli olduğu tespit edilmiştir. Benzer durum hue° açısı ve chroma değerinde de görülmüştür. Bununla birlikte, yaprak rengi L değerinde de birinci yılda uygulamalar arasındaki farkların önemsiz, ikinci yılda ise önemli olduğu tespit edilmiştir. Benzer durum chroma değerinde de görülmüştür. Ancak yaprak hue° açısı değerinde istatistiksel olarak önemli farklar belirlenmiştir. Wang *et al.* (2014); Nieto *et al.* (2017) farklı gübreleme uygulamalarının yaprak ve baş renginin parlaklık düzeyini etkileyebileceğini bu etkinin iki nedenden kaynaklandığını ifade etmişlerdir. Birincisi L değerlerinin çok yüksek veya düşük olması, bitkinin yeşil tonunda değişikliklere neden olur ve bu da a* ve b* indekslerinin düşük veya yüksek tahmin edilmesine yol açar. İkincisi ise yapraktaki klorofil konsantrasyonları ile ilişki gösteren bir parametredir. Hue° açısı değeri renk niteliğini ifade etmektedir. Ancak, Renk ölçümünde +a değerleri kırmızı rengin yoğunluğunu -a değerleri ise yeşil rengin yoğunluğunu temsil etmektedir. Bu değerlerin sifira yakınlığı ise bu iki renk bakımından nötr olması bakımından ve yeşil rengin daha net ortaya çıkması için önemlidir. Yaprak ve baş renginin kroma değerleri, a değeri, (+a= kırmızılık, -a= yeşil) rengini göstermektedir. Ölçüm değerinin sifira yakın bir seviyede bulunması, yeşil veya siyah rengin, parlaklık ya da matlık seviyesinin daha net şekilde görünmesini belirtmektedir. Baş renginde, antosiyanin üreten ve farklı renklere sahip olan çeşitler dışında istenen renk yeşildir. Borisova *et al.* (2023) kanola (*Brassica napus*) bitkisinde *Bacillus* sp. gibi PGPR'lerin azot ile birlikte uygulanması yapraklarda fotosentetik pigmentlerin miktarını ortalama 1,5 kat artırdığını tespit ederek, PGPR ve azotun birlikte kullanıldığı uygulamaların renk değerlerine pozitif katkıda bulunduğunu ifade etmişlerdir. Nitekim, Olasupo *et al.* (2022) hardalda PGPR uygulamalarının net fotosentez oranını ve yaprak klorofil-a içeriğini artırdığını belirlemişlerdir. Beyaz baş lahanası (*Brassica oleracea*) üzerinde yapılan bir çalışmada, artan azot uygulaması yaprak klorofil içeriğini artırırken, flavonol içeriğini azalttığı ifade edilmiştir (Agati *et al.* 2016). Ancak, PGPR uygulamaları ve azotun birlikte kullanımı yaprak pigmentlerini ve antioksidan savunma sistemini güçlendirerek, bitkinin hem büyümesini hem de yaprak renginin canlılığını korumasına yardımcı olmaktadır (Abdel Latef *et al.* 2021).

Araştırmada, toplam verim ve pazarlanabilir verimde istatistiksel olarak uygulamalar arasındaki farkların önemli olduğu tespit edilmiştir. Her iki yılda ve yıl ortalamada en düşük toplam verim kontrollerde tespit edilmiştir. En yüksek toplam verim ise birinci yılda 2687,50

kg da⁻¹ ile 30 kg N da⁻¹ + BF-1 + OTG 400 kg da⁻¹ uygulamasında, ikinci yılda 3497,02 kg da⁻¹ ile 40 kg N da⁻¹ + BF-1 + OTG 400 kg da⁻¹ uygulamasında tespit edilmiştir. Yıl ortalamada ise 2930,06 kg da⁻¹ ile 40 kg N da⁻¹ + BF-1 + OTG 400 kg da⁻¹ uygulamasında kaydedilmiştir. Bununla birlikte, pazarlanabilir verim değerleri toplam verim ile paralellik göstermiştir. Nitekim, yıl ortalama üzerine yapılan incelemede en düşük pazarlanabilir verim 469,49 kg da⁻¹ ile kontrolde belirlenmiştir. En yüksek pazarlanabilir verim 2162,95 kg da⁻¹ ve 2153,27 kg da⁻¹ ile sırasıyla 30 kg N da⁻¹ + BF-1 + OTG 400 kg da⁻¹ ve 40 kg N da⁻¹ + BF-1 + OTG 400 kg da⁻¹ uygulamalarında tespit edilmiştir. *Azotobacter* ve *Azospirillum* gibi azot fiksasyon bakterilerini içeren biyogübre ürünlerinin, yalnızca azot fiksasyonu yapma yeteneğine sahip olmakla kalmayıp, aynı zamanda bitki büyümesini, besin maddelerinin emilimini ve fotosentez sürecini artıracak gibberellinler ve bazı fitohormonları serbest bırakma yeteneğine sahip olduğu bulunmuştur (Hegde *et al.* 1999). Biyogübre olarak kullanılan mikroorganizmalar (PGPR), azot fiksasyonu ve organik asitlerin üretimi, besin maddelerinin alımını artırma veya bitki patojenlerine karşı koruma gibi bir veya daha fazla mekanizma ile konak bitkilerini etkileyebilir (Hawaka 2000). Ayrıca, PGPR'ler gibberellinler, sitokininler ve IAA gibi uyarıcı bileşikler sentezler. Bunlar, kök uzunluğu başına birim yüzey alanını artıran ve kök tüyü dallanmasından sorumlu olan büyüme düzenleyicileri olarak işlev görerek, sonuçta topraktan besin maddelerinin alımını artırır (Glick 2003). Bunun sonucunda da verim direk olarak etkilenir. Nitekim, Saharan and Nehra (2011) yaptıkları çalışmada rizomikrobiyom, besinlerin deposu olarak işlev gören bölge olduğunu ifade etmişlerdir. Kök salgıları analizi üzerine elde edilen sonuçlara göre, bu bölgedeki mikrobiyal popülasyonun bileşimini bitki büyümesini ve verimini %20-30 oranında artırdığını belirtmişlerdir. Bununla birlikte PGPR (*Bacillus cereus*, *Brevibacillus reuszeri* ve *Rhizobium rubi*) ile yapılan kök aşılama çalışmalarının brokoli bitkilerinin toplam baş verimini artırdığı Yıldırım *et al.* (2011) tarafından bildirilmiştir. Ayrıca, Zaki *et al.* (2012) *Bacillus circulans*, *Bacillus megaterium* ve *Azotobacter chroococcum* brokolide, kontrol grubuna kıyasla daha yüksek ana, ikincil ve toplam baş verimleri elde edildiğini belirtmişlerdir. Abou El-Magd *et al.* (2019) Brüksel lahanasında %100 N+Agripon ve %100 N+Azotobakteri uygulamaları diğer uygulamalara kıyasla verimde önemli artış sağlayarak en yüksek verimi 4312 ton da⁻¹ ile %100 N+Azotobakteri uygulamasında tespit etmişlerdir. Ayrıca, Abou El-Magd *et al.* (2014) ise biyo-azot (PGPR+N) ile muamele edilen brokoli bitkilerinin edilmeyen bitkilere göre daha yüksek ana baş verimine sahip olduğunu belirtmişlerdir. Bunlara ek olarak, farklı türler üzerine PGPR uygulamalarının etkisi araştırıldığı bir çalışmada PGPR'lerin doğrudan ve dolaylı etkilerinin tarla ve sera koşullarında domates, biber, patlıcan, brokoli, karnabahar, kabak, marul ve diğer tür bitkilerde büyümesini ve verimini iyileştirmede büyük bir potansiyele sahip olduğu Kaymak *et al.* (2023b) tarafından açık şekilde ortaya konmuştur.

Nitekim, Kaymak *et al.* (2020) marulun azotlu gübre ihtiyacını azaltmaya yönelik farklı dozlarda kimyasal gübre, farklı türlerde rizobakteri (PGPR) ve bunların kombinasyonları ile farklı dönemlerde yaptıkları iki denemede verim değerlerini incelemişlerdir. Araştırmanın sonunda deneme ortalamaları incelendiğinde uygulamaların tamamında kontrole göre verimler yüksek çıkmış ve en yüksek verimi 48431 kg ha⁻¹ ile M-3 + 112,5 kg ha⁻¹ AS uygulamasında tespit etmişlerdir. Benzer şekilde, Çelik (2024), marulda PGPR ve farklı azot kaynaklarının birlikte uygulanması ile en yüksek verimin elde edildiğini belirtmiştir. Civelek ve Yıldırım (2019), PGPR, organik tavuk gübresi ve kimyasal gübrelerin tekli veya bunların birlikte uygulaması ile karnabaharda pazarlanabilir verim değerinin arttığını belirlemişlerdir. Bunlara ilaveten, Yılmaz vd. (2022), soya bitkisinde PGPR uygulaması ile verimin arttığını ifade etmişlerdir. Benzer şekilde, Parmar (2024) lahanada en yüksek verimi 123,7 t ha⁻¹ ile PGPR+vermikompost uygulamasında tespit etmişlerdir. Ayrıca Altuntaş (2018) PGPR, organik gübre ve konvansiyonel gübrelerin brokolide en düşük verimin kontrolde (699,25 kg da⁻¹)’de, en yüksek verimin ise 1348,25 kg da⁻¹ ile ART (Azotobakteri) ve 1445,68 kg da⁻¹ ile BAS (*Bacillus subtilis* strain QST 713) uygulamalarında tespit etmişlerdir.

Araştırmada azot kullanım etkinliği üzerine farklı oranlarda amonyum sülfat, organik gübre (tavuk gübresi) ve bitki büyümesini teşvik eden rizobakteri (PGPR) uygulamalarının aralarındaki farkların istatistiksel olarak %5 seviyesinde önemli olduğu belirlenmiştir. Araştırmanın birinci yılında en düşük azot kullanım etkinliği 41,02 ile 40 kg N da⁻¹ + OTG 400 kg da⁻¹ uygulamasında tespit edilmiştir. En yüksek ise 70,07 ve 67,44 ile sırasıyla istatistiksel olarak aynı grupta yer alan 30 kg N da⁻¹ + BF-1 + OTG 400 kg da⁻¹ ve 30 kg N da⁻¹ + BF-2 + OTG 400 kg da⁻¹ uygulamalarında tespit edilmiştir. İkinci yılda ise en düşük 30,95 ile 30 kg N da⁻¹ uygulamasında, en yüksek 76,86 ile 20 kg N da⁻¹ + BF-1 + OTG 400 kg da⁻¹ uygulamasında tespit edilmiştir. Araştırmadan elde edilen bulgular, kimyasal azotun organik tavuk gübresi ve PGPR (BF-1 ve BF-2) ile birlikte uygulanmasının Brüksel lahanasında azot kullanım etkinliğini önemli ölçüde artırabileceğini göstermiştir. Nitekim, daha önce yapılan çalışmalarda benzer sonuçların alındığı farklı araştırmacılar tarafından ifade edilmiştir. Brüksel lahanasında azot kullanım etkinliği, baş kuru madde birikimi ve toplam bitki azot alımı ile yakından ilişkilidir, ayrıca verim ile azot birikimi arasında doğrusal bir ilişki olduğu belirlenmiştir (Fiedler and Stützel 2012). Adesemoye *et al.* (2008), azotun mikrobiyal gübrelerle birlikte uygulanmasının hem azot verimliliğini artırdığı hem de toprakta mikrobiyal biyokütleyi desteklediğini belirtmişlerdir. Benzer şekilde Adesemoye and Kloepper (2009), bitki büyümesini destekleyici rizobakterilerin azot emilimini kolaylaştırarak bitki verimliliğini ve azot kullanım etkinliğini artırdığını ifade ederken, Mahanty *et al.* (2017) PGPR ile organik gübrelerin birlikte

kullanımının, azot kayıplarını azaltarak sürdürülebilir gübreleme açısından önemli katkılar sunduğunu vurgulamıştır.

Araştırmada Brüksel lahanası yapraklarının belirlenen makro ve mikro besin elementlerinin uygulamalara göre değiştiği ve element miktarlarında uygulamalar aralarındaki istatistiksel farkın %5 seviyesinde önemli olduğu tespit edilmiştir. Farklı dozlarda (20, 30 ve 40 kg da⁻¹) azot gübrelemesi, organik tavuk gübresi (400 kg da⁻¹), PGPR (BF-1 ve BF-2) ve bunların kombinasyon uygulamalarının kontrole (%2,36) kıyasla yapraklardaki azot (N) içeriğini artırmıştır. Nitekim, araştırmada yıl ortalama incelendiğinde en yüksek azot değeri %6,86 ile 40 kg N da⁻¹ + BF-2 + OTG 400 kg da⁻¹ kombinasyonundan tespit edilmiştir. Bunların yanı sıra, kükürt (S)'te %050 ile 30 kg N da⁻¹ ve demir (Fe)'de 65,26 ppm ile 40 kg N da⁻¹ uygulamalarında en yüksek miktarlar tespit edilmiştir. Fosfor (P) miktarı en yüksek %0,36 ile 30 kg N da⁻¹ + BF-2 + OTG 400 kg da⁻¹ uygulamasında belirlenmiştir. Potasyum (K) %1,74 ve kalsiyum (Ca) %1,46 ile tekli BF-2, bakır (Cu) ise 1,85 ppm BF-1 uygulamasında en yüksek değerler elde edilmiştir. Ayrıca, magnezyum (Mg) %0,35 ile 20 kg N da⁻¹ + BF-1+ OTG 400 kg da⁻¹'de, sodyum (Na) ise 36,12 ppm ile 40 kg N da⁻¹ + BF-1+ OTG 400 kg da⁻¹ uygulamasında tespit edilmiştir. Ancak, çinko (Zn), bor (B) ve manganez (Mn)'de belirlenen en yüksek değerler sırasıyla 29,68 ppm, 10,41 ppm ve 38,49 ppm ile 40 kg N da⁻¹ + OTG 400 kg da⁻¹ uygulamasında tespit edilmiştir. Bu sonuçlar topluca değerlendirildiğinde N, OTG, PGPR'nin tekli veya kombinasyonları şeklinde yapılan uygulamaların incelenen makro ve mikro besin element miktarlarında kontrole göre artış belirlenmiştir. Bu artış özellikle organik tavuk gübresi ve PGPR ile yapılan kombinasyonlarda kendisini göstererek, PGPR ile yapılan üçlü (N+OTG+PGPR) kombinasyonlarda en yüksek değerlere ulaşmıştır. Ayrıca, bu gübreler mikroorganizmalar tarafından parçalandıktan sonra yavaşça salınırlar ve topraklarda organik karbon, değişebilir bazlar ve etkili katyon değişim kapasitesini artırırken, bitki dokularındaki N, P ve K konsantrasyonlarını da önemli ölçüde artırdığı Soremi *et al.* (2017) tarafında bildirilmiştir. Nitekim, Zhang *et al.* (2024a) çin lahanasında kimyasal gübrenin tavuk gübresiyle kombinasyonunun, toprakta besin maddeleri ve bitki dokusunda N, P, K, Fe ve Mo konsantrasyonlarını artırdığını tespit etmişlerdir. Benzer şekilde Ibukunoluwa and Moyin-Jesu (2015) tarafından lahana üzerinde yapılan bir çalışmada, tavuk gübresi uygulamasının toprakta organik madde, P, K, Ca ve Mg düzeylerini artırdığını tespit etmiştir. Bunlara ilaveten, Pali *et al.* (2015) karnabahar üzerine yaptıkları bir çalışmada tavuk gübresinin artan dozlarda uygulanması ile bitkide fosfor alımını önemli şekilde artırdığını belirlemişlerdir. Bununla birlikte, rizobakterilerin bitki besin elementi miktarlarında artışa katkıda bulunduğu ve farklı gübre kombinasyonları ile yapıldığı takdirde bu artışlar en üst düzeye çıktığı yapılan araştırmalarda gösterilmiştir. Nitekim, Puente *et al.* (2004) PGPR ile yapılan uygulamaların

organik ve inorganik fosforun çözünürlüğünü artırarak ve organik asit ve asit fosfat üreterek bitki gelişimini ve mineral emilimini artırdığını, Khan (2005) *Pseudomonas* ve *Acinetobacter* gibi PGPR'lerin bitkide Fe, Zn, Mg, Ca, K ve P içeriklerini artırdığını belirtmiştir. Ekin vd (2009) patatesin besin elementleri alımı üzerine PGPR (*Bacillus* OSU-142 ve M-13 bakterileri ile) etkilerini inceledikleri bir çalışmada azot fikse eden bakteri uygulamasında N, Fe, Mn ve Zn alınımı önemli düzeyde arttığını belirlemişlerdir. Bununla birlikte, Kaymak *et al.* (2020) PGPR ve diğer gübrelerin birlikte kombinasyonları ile muamele edilen marulda Cd, Ni ve Pb gibi ağır metallerin birikimini azaltırken, marulun besin alımını artırdığını tespit etmişlerdir. Brokoli üzerine PGPR uygulamalarının yapıldığı bir çalışmada da numuneler üzerinde alınan örneklerde N, P, K, Ca, S, Mg, Fe, Mn, Zn ve Cu elementlerinde kontrole kıyasla önemli artışlar olduğunu belirtmişlerdir (Yıldırım *et al.* 2011).

Araştırmada, en yüksek katalaz aktivitesi birinci yılda 40 kg N da⁻¹ + BF-2+ OTG 400 kg da⁻¹ uygulamasında olurken, ikinci yılda 30 kg N da⁻¹ + OTG 400 kg da⁻¹ uygulamasında tespit edilmiştir. Ek olarak, en yüksek peroksidaz ve süperoksit distumaz aktiviteleri birinci yılda 40 kg N da⁻¹ + BF-2+ OTG 400 kg da⁻¹, ikinci yılda ise 30 kg N da⁻¹ + BF-1+ OTG 400 kg da⁻¹ uygulamasında belirlenmiştir. Ancak, glutatyon redüktaz ve askorbat peroksidaz aktiviteleri birinci yılda en düşük kontrollerde belirlenirken, ikinci yılda 40 kg N da⁻¹ + BF-1+ OTG 400 kg da⁻¹ uygulamasında en yüksek değerler belirlenmiştir. Ayrıca, glutamin redüktaz ve glutamat redüktaz aktivitelerinde birinci yılda 40 kg N da⁻¹ + BF-2+ OTG 400 kg da⁻¹'de ikinci yılda ise BF-1 uygulamasında en yüksek değerler tespit edilmiştir. Bunların yanı sıra, hidrojen peroksit (H₂O₂) ve MDA miktarları birinci yılda kontrollerde en yüksek değerler belirlenirken, hidrojen peroksit değeri 30 kg N da⁻¹ + BF-2+ OTG 400 kg da⁻¹ uygulamasında en düşük değer belirlenmiştir. Ek olarak, MDA birinci yılda 30 kg N da⁻¹ + BF-2+ OTG 400 kg da⁻¹, ikinci yılda 40 kg N da⁻¹ + BF-1+ OTG 400 kg da⁻¹ uygulamasında en düşük değerler tespit edilmiştir. Prolin ve sakkaroz miktarı birinci yılda 40 kg N da⁻¹ + BF-2+ OTG 400 kg da⁻¹ uygulamasında, ikinci yılda 30 kg N da⁻¹ + OTG 400 kg da⁻¹ uygulamasında en yüksek değerler elde edilmiştir. Bu sonuçlar dikkate alındığında uygulanan gübreleme ve PGPR'lerin incelenen parametreler üzerinde ve biyokimyasında önemli pozitif etkiler yarattığını göstermektedir. Nitekim, Brüksel lahanasında, özellikle dış yapraklarda yoğunlaşan enzim aktiviteleri, bitkinin savunma ve metabolik süreçlerinde önemli rol oynamaktadır (Springett and Adams 1989). Örneğin, Ouyang and Norton (2020) yaptıkları çalışmada, sürekli organik gübre (kompost) uygulamasında enzim aktivitelerinin önemli ölçüde arttığını belirtirken, Zhao *et al.* (2016) ise 1/2 organik madde + 1/2 NPK uygulamasında en yüksek enzim aktivitesi belirlemişlerdir. Bunlara ek olarak, azot, fenoller, askorbat ve glutatyon gibi ikincil bitki metabolitlerinin yanı sıra glutatyon redüktaz gibi antioksidan enzimlerin biyosentezinde önemli bir rol oynamaktadır

(Argyropoulou *et al.* 2015; Gómez-Brandón *et al.* 2008). Bitki bünyesinde meydana gelen reaksiyonların sonucunda ortaya çıkan amonyak, glutamin sentetaz/glutamat sentaz döngüsü aracılığıyla glutaminin amid azotuna dönüştürülmekte ve bu bitkilerde bilinen bir azot asimilasyon yolu olduğu Lea and Mifflin (2003) tarafından bildirilmiştir. Hidrojen peroksit (H_2O_2) ve MDA gibi oksidatif stres belirteçlerinin miktarı özellikle tavuk gübresi ve PGPR ile yapılan uygulamalarda önemli şekilde azalmıştır. Nitekim, Baniaghil *et al.* (2013) PGPR uygulamalarının, antioksidan-enzim aktivitelerinde artış sağlayarak, bitkide tuz stresine karşı tolerans sağladığı köklerden hidrojen peroksiti uzaklaştırdığını belirtmişlerdir. Ayrıca, özellikle *Pseudomonas spp.* gibi bakteri uygulamalarının oksidatif stres enzimlerini düzenlediğini bildirmişlerdir. Benzer şekilde, Wang *et al.* (2012), PGPR uygulamalarının bitki enzim aktivitesini artırarak, kuraklık ve tuzluluk nedeniyle oluşan oksidatif hasarı hafiflettiğini ifade etmişlerdir. Ayrıca, Prolin ve sakkaroz miktarı ise, azot gübrelemesi ve PGPR birlikte uygulanmasıyla artmıştır. Nitekim, Prolin, bitkilerde yaygın şekilde bulunan amino asitlerden biri olarak kabul edilirken, stoplazmada ki hücre öz suyunda ozmotik denge görevinde bulunmaktadır. Ek olarak, yapılarının gereği enzimleri stres koşullarından koruma rolleri (Meister 2012) olmakla beraber hidroksil radikallerini uzaklaştırır (Mattioli *et al.* 2009). PGPR gibi biyolojik gübrelerin kullanımı, verimi ve kalitesini artırabilir, kimyasal gübrelerin verimliliğini artırabilir bu da çevreye uyum sağlamanın uygun yollarından biridir (Arzanesh *et al.* 2009). Brassica türlerinde sakkaroz ve glikoz gibi şekerlerin birikimi fotosentez verimliliğini ve büyümeyi artırırken, aynı zamanda oksidatif stresle başa çıkmada da etkilidir. Nitekim bu uygulamalar fotosentez ve karbon metabolizmasını güçlendirirken, antioksidan enzim aktivitelerini de artırmaktadır (Siddique *et al.* 2021). Bunların yanı sıra Brüksel lahanası başlarında organik asit içerikleri, uygulanan azot gübresi, OTG ve PGPR kombinasyonlarının, başlardaki oksalik, propiyonik, tartarik, bütirik, malonik, malik, laktik, sitrik, maleik, fumarik ve süksinik asit miktarlarını önemli ölçüde etkilediğini göstermiştir. En yüksek oksalik ve propiyonik asit içerikleri ile $40 \text{ kg N da}^{-1} + \text{BF-1} + \text{OTG } 400 \text{ kg da}^{-1}$ uygulamalarında elde edilirken, tartarik asit için $20 \text{ kg N da}^{-1} + \text{OTG } 400 \text{ kg da}^{-1}$ uygulaması öne çıkmıştır. Malik, laktik, sitrik, maleik, fumarik ve süksinik asitlerde de en yüksek değerler çoğunlukla azot ve organik gübre kombinasyonlarında tespit edilmiştir. Benzer şekilde, Vale *et al.* (2015) Brassica türleri üzerine (brokoli, kırmızı lahana, kale, beyaz lahana) yapılan bir çalışmada organik asit profilleri incelenmiş ve oksalik asit toplam organik asitlerin yaklaşık %13'ünü, malik asit %19'unu ve oksalik asit %13'ünü oluşturduğunu tespit etmişlerdir. Ayrıca kimyasal gübrelerin ise genellikle hızlı büyüme ve yüksek verim sağlamasına rağmen organik asit ve antioksidan içeriklerinde organik gübre ve PGPR kombinasyonlarına göre daha düşük artışlar gösterdiği bilinmektedir (Zhang *et al.* 2024b). Ek olarak, Khalid *et al.* (2017) tarafından yapılan başka bir

çalışmada da organik gübre ve PGPR kombinasyonları, toprakta yararlı mikrobiyal toplulukları zenginleştirerek, organik asitlerin daha verimli bir şekilde biriktiğini belirtmişlerdir.

Sonuç ve Öneriler

Bu araştırmada, azotu fikse edebilen rizobakterilerin Brüksel lahanası (*Brassica oleracea* L. var. *gemmifera*) yetiştiriciliğinde azot kullanımının azaltılması, büyüme, gelişme ve bazı kalite parametrelerine etkisi belirlenmiştir. Araştırma sonuçları değerlendirildiğinde PGPR kullanımı, Brüksel lahanasının verimini ve kalitesini artırarak kimyasal azot gübrelemesinin azaltılmasına yardımcı olan etkili bir yöntem olduğu belirlenmiştir. Nitekim, tarımsal üretimde yaygın olarak kullanılan azotlu gübreler, bitki gelişimini ve verimini artırsa da, aşırı ve bilinçsiz kullanım çevre kirliliği, toprak sağlığının bozulması ve maliyet artışı gibi olumsuz sonuçlara yol açmaktadır.

Araştırmada azot fikse edebilen rizobakteri uygulamaları ve bunların diğer gübrelerle kombinasyonunda bazı parametrelerde daha iyi sonuçlar verdiği belirlenmiştir. Nitekim, N+OTG+PGPR ile yapılan kombinasyon uygulamalarda, bitki boyu, yaprak sayısı, gövde çapı ve baş gelişimi gibi büyüme parametrelerinde istatistiksel olarak önemli artışlar sağlamıştır. Ayrıca, bu kombinasyonların baş uzunluğu, baş çapı, baş sayısı ve baş ağırlığı gibi temel verim parametrelerinde de olumlu etkiler göstermiştir. Kalite parametreleri açısından, azot ve PGPR uygulamalarının yaprak ve baş renginin canlılığını ve klorofil içeriğini artırdığı belirlenmiştir. Özellikle PGPR ile yapılan uygulamalarda yapraklarda klorofil miktarı ve yeşil rengin yoğunluğu korunmuş, bu da ürünün pazarlanabilirliğini olumlu yönde etkilemiştir. Bunlara ek olarak, organik tavuk gübresi ve PGPR uygulamaları ve bunların kombinasyonları enzim ve diğer aktiviteleri artırdığı belirlenmiştir. Bunların yanı sıra araştırmada bitkilere uygulanan azot fikse edebilen rizobakteri formülasyonları (BF-1 ve BF-2) ve bunların organik tavuk gübresi ile kombinasyonunun hidrojen peroksit ve malondialdehit gibi oksidatif stres belirteçlerini kontrollere ve diğer uygulamalara göre önemli ölçüde azalttığı araştırmada tespit edilmiştir. Araştırma sonuçları bütün olarak değerlendirildiğinde kimyasal azot, organik tavuk gübresi ve BF-1'in üçlü kombinasyonları ile yapılan uygulamaların Brüksel lahanasında en iyi gübreleme uygulaması olduğu belirlenmiştir.

Sonuç olarak, kimyasal azot kullanımını azaltırken en yüksek verimin elde edilebileceği, böylece maliyetin düşürülüp kârlılığın artırılacağı ve azot kullanım etkinliği bakımından en iyi sonucu veren 20 kg N da⁻¹ + BF-1 + OTG 400 kg da⁻¹ uygulaması Brüksel lahanası üreticilerine önerilebilir.

KAYNAKLAR

- Abd-Alrahman, H. A., Zaki, M. F., El-Behairy, U. A., Abou Hadid, A. F., Abou El-Magd, M. M. 2016. Growing broccoli plants in the newly reclaimed soils of Egypt, as affected by different fertilizer sources. *International Journal of ChemTech Research*, 9(5), 1-11.
- Abdel Latef, A. A. H., Omer, A. M., Badawy, A. A., Osman, M. S., Ragaey, M. M., 2021. Strategy of salt tolerance and interactive impact of *Azotobacter chroococcum* and/or *Alcaligenes faecalis* inoculation on canola (*Brassica napus* L.) plants grown in saline soil. *Plants*, 10(1), 110.
- AbdElgawad, H., Magdy Korany, S., Reyad, A. M., Zahid, I., Akhter, N., Alsherif, E., Crecchio, C., 2023. Synergistic impacts of plant-growth-promoting bacteria and selenium nanoparticles on improving the nutritional value and biological activities of three cultivars of *Brassica* sprouts. *ACS omega*. 8(29), 26414-26424.
- Abou El-Magd, M. M., Zaki, M. F., Abo Sedera, S. A., 2014. Effect of bio-nitrogen as a partial alternative to mineral-nitrogen fertilizer on growth, yield and head quality of broccoli (*Brassica oleracea* L. var. *italica*). *World Applied Sciences Journal*. 31(5), 681-691.
- Abou El-Magd, M. M., Zaki, M. F., Abou-Hussein, S. D., 2008. Effect of organic manure and different levels of saline irrigation water on growth, green yield and chemical content of sweet fennel. *Australian Journal of basic and applied sciences*, 2(1), 90-98.
- Abou El-Magd, M. M., Zaki, M. F., Sedera, S. A., Hamouda, H. A., 2019. Application of some bio-stimulants combined with mineral nitrogen fertilizer for enhancing growth, yield and quality of Brussels sprouts. *Middle East Journal of Agriculture Research*, 8(2), 482-494.
- Abuzeid, A. E., Wilcockson, S. J., 1989. Effects of sowing date, plant density and year on growth and yield of brussels sprouts (*Brassica oleracea* var. *bullata* subvar. *gemmifera*). *The Journal of Agricultural Science*. 112(3), 359-375.
- Adesemoye, A. O., Kloepper, J. W., 2009. Plant microbes interactions in enhanced fertilizer-use efficiency. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 85(1), 1-12.
- 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.
- Agarwal, S., Pandey, V., 2004. Antioxidant enzyme responses to NaCl stress in cassia *angustifolia*. *Biologia Plantarum*, 48 (4), 555-560.
- Agati, G., Tuccio, L., Kusznierevicz, B., Chmiel, T., Bartoszek, A., Kowalski, A., Grzegorzewska, M., Kosson, R., Kaniszewski, S., 2016. Nondestructive optical sensing of flavonols and chlorophyll in white head cabbage (*Brassica oleracea* L. var. *capitata* subvar. *alba*) Grown under Different Nitrogen Regimens. *Journal of agricultural and food chemistry*, 64 1, 85-94.
- Ahmed, M., Rauf, M., Mukhtar, Z., Saeed, N. A., 2017. Excessive use of nitrogenous fertilizers: an unawareness causing serious threats to environment and human health. *Environmental Science and Pollution Research*, 24, 26983-26987.
- Aini, N., Yamika, W. S. D., Ulum, B., 2019. Effect of nutrient concentration, PGPR and AMF on plant growth, yield, and nutrient uptake of hydroponic lettuce. 175-183.

- Akhtar, N., Ilyas, N., Yasmin, H., Sayyed, R. Z., Hasnain, Z., A. Elsayed, E., & El Enshasy, H. A., 2021. Role of *Bacillus cereus* in improving the growth and phytoextractability of *Brassica nigra* (L.) K. Koch in chromium contaminated soil. *Molecules*, 26(6), 1569.
- AL-Bayati, H. J. M. (2021). Effect of nitrogen and organic fertilization on growth and yield of two cabbage varieties *Brassica oleracea* var. *capitata*. *NTU Journal of Agriculture and Veterinary Science*, 1(1), 21-28.
- Albaba, H. B., Aqoub, F., Omar, A. M. K., Belgasm, O. S, 2021. Effect of poultry manure and plant density on the growth and productivity of lettuce plant. *IOSR Journal of Agriculture and Veterinary Science*, 14 (7), PP 56-63.
- Altuntaş, Ö., 2018. A comparative study on the effects of different conventional, organic and bio-fertilizers on broccoli yield and quality. *Applied ecology & environmental research*, 16(2).
- Altuntaş, Ö., Küçük, R., Ersoy, L., 2022. The effect of chicken manure on plant growth nutrient content and yield of lettuce. *Biological and Chemical Research*, 9, 9-18.
- Angelini, R., Federico, R., 1989. Histochemical evidence of polyamine oxidation and generation of hydrogen peroxide in the cell wall. *Journal of Plant Physiology*, 135 (2), 212-217.
- Angelini, R., Manes, F., Federico, R., 1990. Spatial and functional correlation between diamine-oxidase and peroxidase activities and their dependence upon de-etiolation and wounding in chick-pea stems. *Planta*, 182 (1), 89-96.
- Anonim, 2015. Bitkisel üretim istatistikleri. TÜİK, <https://biruni.tuik.gov.tr/bitkiselapp/bitkisel.zul> (01.01.2025).
- Argyropoulou, K., Salahas, G., Papisavvas, A., Hela, D., 2015. Impact of nitrogen deficiency on biomass production, morphological and biochemical characteristics of sweet basil (*Ocimum basilicum* L.) plants, cultivated aeroponically. *Journal of International Scientific Publications: Agriculture and Food*, 3, 32-42.
- Arif, M. S., Shahzad, S. M., Riaz, M., Yasmeen, T., Shahzad, T., Akhtar, M. J., Buttler, A., 2017. Nitrogen-enriched compost application combined with plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) improves seed quality and nutrient use efficiency of sunflower. *Journal of plant nutrition and soil science*, 180(4), 464-473.
- Arzanesh, M. H., Alikhani, H. A., Khavazi, K., Rahimian, H. A., Miransari, M., 2009. In vitro growth of wheat (*Triticum aestivum* L.) seedlings, inoculated with *Azospirillum* sp., under drought stress. *International Journal of Botany*, 5(3), 244-249.
- Asghar, H., Zahir, Z., Arshad, M., Khaliq, A., 2002. Relationship between in vitro production of auxins by rhizobacteria and their growth-promoting activities in *Brassica juncea* L. *Biology and Fertility of Soils*, 35, 231-237.
- Babik, I., 2005. Nitrogen requirements and fertilization of Brussels sprouts. *Vegetable Crops Research Bulletin*, 62, 113-126.
- Baniaghil, N., Arzanesh, M. H., Ghorbanli, M., Shahbazi, M., 2013. The effect of plant growth promoting rhizobacteria on growth parameters, antioxidant enzymes and microelements of canola under salt stress. *J. Appl. Environ. Biol. Sci*, 3(1), 17-27.
- Bashyal, L. N., 2011. Response of cauliflower to nitrogen fixing biofertilizer and graded levels of nitrogen. *Journal of Agriculture and Environment*, 12, 41-50.
- Basu, A., Prasad, P., Das, S. N., Kalam, S., Sayyed, R. Z., Reddy, M. S., El Enshasy, H., 2021. Plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) as green bioinoculants: recent developments, constraints, and prospects. *Sustainability*, 13(3), 1140.

- Bates, L.S., Waldren, R.P., Teare, I.D., 1973. Rapid determination of free proline for waterstress studies. *Plant and soil*, 39(1), 205-207.
- Bhattacharyya, P. N., Jha, D. K., 2012. Plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR): emergence in agriculture. *World Journal of microbiology and biotechnology*, 28(4), 1327-1350.
- Booij R., Enserink C.T., Smit A. L., Van der Werf A., Gysi C., 1993. Effects of nitrogen availability on crop growth and nitrogen uptake of Brussels sprouts and leek. *Acta Hort.* 339: 53-65.
- Booij, R., 2000. Yield formation in Brussels sprouts: effects of nitrogen. *Acta Horticulturae*, 377-383.
- Booij, R., Kreuzer, A. D. H., Smit, A. L., & Van Der Werf, A., 1997. Effects of nitrogen availability on the biomass and nitrogen partitioning in brussels sprouts (*Brassica oleracea* var. *gemmifera*). *Journal of Horticultural Science*, 72(2), 285-297.
- Borisova, G., Voropaeva, O., Maleva, M., Kumar, A., Tripti, 2023. Evaluation of the growth-promoting attributes of rhizobacteria *Bacillus* sp. and their influence on the morphophysiological characteristics of rapeseed. *Agrarian Bulletin*. (7 (236), 2-13.
- Bozokalfa, M.K., D. Esiyok, 2006. Morphological variability of some sweet corn genotypes. (In Turkish with English Abstract). *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*. 43(2):1-12.
- Bremner, J.M., Mulvaney C.S., 1982. Methods of soil analysis. part 2, chemical and microbiological properties. *Agronomy Monograph*. 31, 595-624.
- Carlberg, I. N. C. E. R., Mannervik, B. E. N. G. T., 1975. Purification and characterization of the flavoenzyme glutathione reductase from rat liver. *Journal of Biological Chemistry*, 250(14), 5475-5480.
- Cartea, M. E., Francisco, M., Soengas, P., Velasco, P., 2010. Phenolic compounds in Brassica vegetables. *Molecules*, 16(1), 251-280.
- Castillo-Aguilar, C., Zúñiga-Aguilar, J. J., Guzmán-Antonio, A. A., Garruña, R., 2017. PGPR inoculation improves growth, nutrient uptake and physiological parameters of *Capsicum chinense* plants. *Phyton*, 86, 199.
- Chaiharn, M., Chunnaleuchanon, S., Kozo, A., Lumyong, S., 2008. Screening of rhizobacteria for their plant growth promoting activities. *Current Applied Science and Technology*, 8(1), 18-23.
- Chandran, H., Meena, M., & Swapnil, P., 2021. Plant growth-promoting rhizobacteria as a green alternative for sustainable agriculture. *Sustainability*, 13(19), 10986.
- Chopra, S., Van Mieghem, J. A., 2000. Which e-business is right for your supply chain. *Supply Chain Management Review*, 4(3), 32-40.
- Civelek, C., Yıldırım, E., 2019. Effects of exogenous glycine betaine treatments on growth and some physiological characteristics of tomato under salt stress condition. *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 50(2), 153-158.
- Çelik, Y., 2024. Kimyasal gübrelerin etkinliğini artırmada rizobakteri (PGPR) ve yarasa gübresi uygulamalarının marulda (*Lactuca sativa* L.) verim ve verim bileşenlerine etkileri. *Harran Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi*, 28(4), 616-624.
- De Andrade, L. A., Santos, C. H. B., Frezarin, E. T., Sales, L. R., & Rigobelo, E. C., 2023. Plant growth-promoting rhizobacteria for sustainable agricultural production. *Microorganisms*, 11(4), 1088.

- De Freitas, J. R., Banerjee, M. R., Germida, J. J., 1997. Phosphate-solubilizing rhizobacteria enhance the growth and yield but not phosphorus uptake of canola (*Brassica napus* L.). *Biology and Fertility of soils*, 24, 358-364.
- Demiralay, İ., 1993. Toprak Fiziksel Analizleri. Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları 143, 13-19.
- Devi, M., Upadhyay, G. P., Garima, S. R., 2017. Biological properties of soil and nutrient uptake in cauliflower (*Brassica oleracea* L. var. *botrytis*) as influenced by integrated nutrient management. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 6(3), 325-328.
- Dipta, B., Kirti, S., Bhardwaj, S., Gupta, S., & Kaushal, R., 2017. Phosphate solubilizing potential of *Bacillus pumilus* for the enhancement of cauliflower (*Brassica oleracea* var. *botrytis* L.). *Ecol. Environ. Cons*, 23, 1541-1548.
- Dobermann, A., 2007. Nutrient use efficiency—measurement and management. *Proceedings of IFA International Workshop on Fertilizer Best Management Practices*, 7-9 March 2007, Brussels, Belgium.
- Dursun, A., Yıldırım, E., Ekinci, M., Turan, M., Kul, R., Karagöz, F. P. 2017. Nitrogen fertilization and plant growth promoting rhizobacteria treatments affected amino acid content of cabbage. In *AIP Conference Proceedings* (Vol. 1833, No. 1). AIP Publishing.
- Dutta, P., Muthukrishnan, G., GopalaSubramaiam, S., Dharmaraj, R., Karuppaiah, A., Loganathan, K., Mishra, A. K., 2022. Plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) and its mechanisms against plant diseases for sustainable agriculture and better productivity. *Biocell*, 46(8), 1843.
- Eker, S., Ozturk, L., Yazici, A., Erenoglu, B., Romheld, V., Cakmak, I., 2006. Foliar-applied glyphosate substantially reduced uptake and transport of iron and manganese in sunflower (*Helianthus annuus* L.) plants. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54(26), 10019-10025.
- Ekici, M., Yıldırım, E., Kotan, R., 2015. Bazı bitki gelişimini teşvik eden rizobakterilerin brokkoli (*Brassica oleraceae* L. var. *italica*) fide gelişimi ve fide kalitesi üzerine etkileri. *Akdeniz University Journal of the Faculty of Agriculture*, 28(2), 53-59.
- Ekin, Z., Oğuz, F., Sönmez, F. Patatesin., 2009. (*Solanum tuberosum* L.) Gelişimi ve besin elementleri alımı üzerine bitki gelişimini teşvik edici bakterilerin (PGPR) etkisi. *Türkiye VIII. Tarla Bitkileri Kongresi*, 19-22 Ekim 2009, Hatay
- 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 (*Brassica oleracea* L. var. *botrytis*) transplants. *Acta Scientiarum Polonorum Hortorum Cultus*, 13(6), 71-85.
- Farhat, F., Tariq, A., Waseem, M., Masood, A., Raja, S., Ajmal, W., Maqsood, M. F., 2023. Plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) induced improvements in the growth, photosynthesis, antioxidants, and nutrient uptake of rapeseed (*Brassica napus* L.). *Gesunde Pflanzen*, 75(5), 2075-2088.
- Farnden, K.J.F., Robertson, J.G., 1980. Methods for studying enzymes involved in metabolism related to nitrogenase. In: bergensen, f. j. ed. *methods for evaluating biological nitrogen fixation*. John Wiley & Sons Ltd., pp: 265-314.
- Fiedler, K., Stützel, H., 2012. Nitrogen efficiency of Brussels sprouts under different organic N fertilization rates. *Scientia horticulturae*, 134, 7-12.

- Fink, M., Scharpf, H. C., 1992, September. N-Expert-A decision support system for vegetable fertilization in the field. In Workshop on Ecological Aspects of Vegetable Fertilization in Integrated Crop Production in the Field 339; 67-74.
- Fox, A. R., Soto, G., Valverde, C., Russo, D., Lagares Jr, A., Zorreguieta, Á., Ayub, N. D., 2016. Major cereal crops benefit from biological nitrogen fixation when inoculated with the nitrogen-fixing bacterium *Pseudomonas protegens* Pf-5 X940. *Environmental Microbiology*, 18(10), 3522-3534.
- Glawischnig, E., Tomas, A., Eisenreich, W., Spiteller, P., Bacher, A., Gierl, A., 2000. Auxin biosynthesis in maize kernels. *Plant Physiology*, 123(3), 1109-1120.
- Glick, B. R., 2003. Phytoremediation: synergistic use of plants and bacteria to clean up the environment. *Biotechnology Advances*, 21(5), 383-393.
- Gómez-Brandón, M., Lazcano, C., Domínguez, J., 2008. The evaluation of stability and maturity during the composting of cattle manure. *Chemosphere*, 70(3), 436-444.
- Gong, Y., Toivonen, P.M.A., Lau, O.L., Wiersma, P.A., 2001. Antioxidant system level in 'Braeburn' apple is related to its browning disorder. *Botanical Bulletin of Academia Sinica*, 42, 259-264.
- Gopalakrishnan, S., Srinivas, V., Samineni, S., 2017. Nitrogen fixation, plant growth and yield enhancements by diazotrophic growth-promoting bacteria in two cultivars of chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 11, 116-123.
- Guo, K., Yang, J., Yu, N., Luo, L., Wang, E., 2023. Biological nitrogen fixation in cereal crops: progress, strategies, and perspectives. *Plant Communications*, 4(2).
- Gupta, D., Kalhapure, A., Sah, D., Kumar, A., Singh, N., Chaubey, A. K., Panwar, G. S., 2024. Effect of biofertilizers and nutrients on mustard (*Brassica juncea*): A Review. *International Journal of Plant & Soil Science*, 36(3), 291-297.
- Gupta, G., Parihar, S. S., Ahirwar, N. K., Snehi, S. K., Singh, V., 2015. Plant growth promoting rhizobacteria (PGPR): current and future prospects for development of sustainable agriculture. *J Microb Biochem Technol*, 7(2), 096-102.
- Gutama A.D., 2022. The Effect of plant growth-promoting bacillus species on growth, nutrient, and hormone content of cabbage (*Brassica oleracea*). *Journal of Plant Biotechnology*. 2022;5(1):101
- Hasan, M. J., Khatun, K., Mostarin, T., Karishma, K. C., Nadim, M. K. A., Chowdhury, S. M. A., 2024. Influence of vermicompost and biofertilizer on growth, head yield and quality of broccoli (*Brassica oleracea* L. var. *italica*). *Agricultural Science & Technology* (1313-8820), 16(1).
- Haskett, T. L., Paramasivan, P., Mendes, M. D., Green, P., Geddes, B. A., Knights, H. E., Poole, P. S., 2022. Engineered plant control of associative nitrogen fixation. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 119(16).
- Havir, E.A., McHale, N.A., 1987. Biochemical and developmental characterization of multiple forms of catalase in tobacco leaves. *Plant Physiology*, 84 (2); 450–455.
- Hawaka, F. I. A., 2000. Effect of using single and composite inoculation with *Azospirillum brasilense*, *Bacillus megatherium* var. *Phosphaticum* and *Glomus macrocarpus* for improving growth of *Zea mays*. *J. Agric. Sci. Mansoura, Egypt*, 32(12), 239-252.
- Hegde, D. M., Dwivedi, B. S., Babu, S. S., 1999. Biofertilizers for cereal production in India-a review. *Indian Journal of Agricultural Sciences*, 1999, Vol. 69, No. 2, 73-83 ref. 4 pp.

- Helaly, A. A., Hassan, S. M., Craker, L. E., Mady, E., 2020. Effects of growth-promoting bacteria on growth, yield and nutritional value of collard plants. *Annals of Agricultural Sciences*, 65(1), 77-82.
- Hindersah, R., Suryatmana, P., Fitriatin, B. N., Setiawati, M. R., 2017. Effect of liquid biofertilizer on soil nitrogen and phosphorous, and yield of choy sum (*Brassica rapa* L.) growing in pot culture. *International Journal of Research in Engineering and Science*, 5(2), 61-66.
- Hydrobloomers., 2024. 50 Facts about Brussels sprouts: Production, consumption, and trends. Retrieved July 27, 2025, from <https://hydrobloomers.com/brussels-sprouts-statistics-50-facts-about-brussels-sprouts>
- Ibukunoluwa Moyin-Jesu, E., 2015. Use of different organic fertilizers on soil fertility improvement, growth and head yield parameters of cabbage (*Brassica oleraceae* L.). *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*, 4, 291-298.
- Ikiz, B., Dasgan, H. Y., Gruda, N. S., 2024. Utilizing the power of plant growth promoting rhizobacteria on reducing mineral fertilizer, improved yield, and nutritional quality of batavia lettuce in a floating culture. *Scientific Reports*, 14(1), 1616.
- Indriyati, L. T., 2014. Chicken manure composts as nitrogen sources and heir effect on the growth nd quality of komatsuna (*Brassica rapa* L.). *Journal of the International Society for Southeast Asian Agricultural Sciences*. 20 (1): 52-63.
- Islam, M. S., Islam, M. H., Rouf, M. A., Sultana, M. P., Haque, M. S., 2019. Effects of nitrogen and phosphorus fertilizer on yield and yield attributes of lettuce (*Lactuca sativa* L.). *Journal of Bioscience and Agriculture Research*, 23(01). 1872-1884.
- Jahangir, M., Kim, H. K., Choi, Y. H., Verpoorte, R., 2009. Health-affecting compounds in *Brassicaceae*. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 8(2), 31-43.
- Jakopic, J., Weber, N., Cunja, V., Veberic, R., Slatnar, A., 2016. Brussels sprout decapitation yields larger sprouts of superior quality. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 64(40), 7459-7465.
- Jalal, A., da Silva Oliveira, C. E., Galindo, F. S., Rosa, P. A. L., Gato, I. M. B., de Lima, B. H., Teixeira Filho, M. C. M., 2023. Regulatory mechanisms of plant growth-promoting rhizobacteria and plant nutrition against abiotic stresses in *Brassicaceae* family. *Life*, 13(1), 211.
- Javreková, S., Maková, J., Medo, J., Kováčsová, S., Charousová, I., Horák, J., 2015. Effect of bio-fertilizers application on microbial diversity and physiological profiling of microorganisms in arable soil. *Eurasian Journal of Soil Science*, 4(1), 54-61.
- Jia, Y., Liao, Z., Chew, H., Wang, L., Lin, B., Chen, C., Lin, Z., 2020. Effect of pennisetum giganteum zx lin mixed nitrogen-fixing bacterial fertilizer on the growth, quality, soil fertility and bacterial community of pakchoi (*Brassica chinensis* L.). *PLoS One*, 15(2), e0228709.
- Kacjan Maršič, N., Može, K. S., Mihelič, R., Nečemer, M., Hudina, M., Jakopič, J., 2021. Nitrogen and sulphur fertilisation for marketable yields of cabbage (*Brassica oleracea* L. var. *capitata*), leaf nitrate and glucosinolates and nitrogen losses studied in a field experiment in central slovenia. *Plants*, 10(7), 1304.
- Kalaycı Kara, A., Fakıoğlu, Ö., Kotan, R., Atamanalp, M., Alak, G., 2021. The investigation of bioremediation potential of *Bacillus subtilis* and *B. thuringiensis* isolates under controlled conditions in freshwater. *Archives of Microbiology*, 203(5), 2075-2085.

- Karakurt H., Kotan R., Dadaşoğlu F., Aslantaş R., Şahin F., 2011. Effects of plant growth promoting rhizobacteria on fruit set pomological and chemical characteristics color values and vegetative growth of sour cherry *Prunus cerasus* cv. Kutahya. Turkish Journal of Biology, 35, 283-291.
- Karakurt, H., Kotan, R., Aslantas, R., Dadasoglu, F., Karagöz, K., 2010. Inoculation effects of *Pantoea agglomerans* strains on growth and chemical composition of plum. Journal of plant nutrition, 33(13), 1998-2009.
- Kavaliauskaitė, D., Karklelienė, R., & Jankauskienė, J., 2023. Impact of an organic fertiliser on the yield of white cabbage (*Brassica oleracea* var. *capitata*) and the soil productivity. Horticultural Science, 50(4).
- Kaymak, H. Ç., Tıraşçı, S., Kaşka, M. 2023b. Assessing chicken manure's competitiveness with inorganic nitrogen in broccoli production. Akademik Ziraat Dergisi, 12(2), 169-176.
- Kaymak, H., Aksoy, A., Kotan, R. 2020. Inoculation with N-2-fixing plant growth promoting rhizobacteria to reduce nitrogen fertilizer requirement of lettuce. Acta Scientiarum Polonorum-Hortorum Cultus, 19(5).
- Kaymak, H., Ürüşan, A., Tıraşçı, S., Kaşka, M. 2023a. Role of N₂-fixing plant growth-promoting rhizobacteria in some selected vegetables. Türk Tarım-Gıda Bilim ve Teknoloji dergisi, 11(6).
- Kaymak, H.C., 2019. Potential of PGPR in improvement of environmental-friendly vegetable production. In: maheshwari, d., dheeman, s. (eds) field crops: sustainable management by PGPR. Sustainable Development and Biodiversity, vol 23. Springer, Cham.
- Khalid, M., Hassani, D., Bilal, M., Liao, J., & Huang, D., 2017. Elevation of secondary metabolites synthesis in *Brassica campestris* ssp. *chinensis* L. via exogenous inoculation of *Piriformospora indica* with appropriate fertilizer. PLoS One, 12(5), e0177185.
- Khan, A.G., 2005. Role of soil microbes in the rhizospheres of plants growing on trace metal contaminated soils in phytoremediation. Journal of Trace Elements in Medicine and Biology. 18, 355– 364.
- Khosravi, A., Zarei, M., Ronaghi, A., 2018. Effect of PGPR, phosphate sources and vermicompost on growth and nutrients uptake by lettuce in a calcareous soil. Journal of Plant Nutrition, 41(1), 80-89.
- Kılıç O., Çopur Ö.U., Görtay Ş., 1991. Meyve ve Sebze İşleme Teknolojisi Uygulama Kılavuzu. Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Ders Notları, 7:147.
- Kloepper, J. W., 1978. Plant growth-promoting rhizobacteria on radishes. In Proc. of the 4th Internet. Conf. On Plant Pathogenic Bacter, Station de Pathologie Vegetale et Phytobacteriologie, INRA, Angers, France, 1978 (Vol. 2, pp. 879-882).
- Kolota, E., Biesiada, A., 1990. Effect of magnesium fertilization on yield of fruits and mineral state of greenhouse tomatoes (*Lycopersicon Esculentum* Mill). Folia Horticulturae, 2(1), 41-52.
- Korkmaz, K., Ibrikci, H., Ryan, J., Buyuk, G., Guzel, N., Karnez, E., Yagbasanlar, T., 2008. Optimizing nitrogen fertilizer–use recommendations for winter wheat in a mediterranean-type environment using tissue nitrate testing. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 39(9-10), 1352-1366.
- Kuan, K. B., Othman, R., Abdul Rahim, K., Shamsuddin, Z. H., 2016. Plant growth-promoting rhizobacteria inoculation to enhance vegetative growth, nitrogen fixation and nitrogen remobilisation of maize under greenhouse conditions. PloS one, 11(3), e0152478.

- Kumar, A., Prakash, A., Johri, B. N., 2011. *Bacillus* as PGPR in crop ecosystem. In *Bacteria in agrobiology: crop ecosystems* (pp. 37-59). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Kumar, P. S., Rangasamy, G., Gayathri, K. V., Parthasarathy, V., 2023. *Rhizobium Mayense* sp. nov., an efficient plant growth-promoting nitrogen-fixing bacteria isolated from rhizosphere soil. *Environmental Research*, 220, 115200.
- Le, T. Y. L., Lee, J., Shim, S. Y., Jung, J., Kim, S. R., Hong, S. H., Hwang, S. G., 2025. Effects of liquid bio-fertilizer on plant growth, antioxidant activity, and soil bacterial community during cultivation of chinese cabbage (*Brassica rapa* L. sp. *Pekinensis*). *Microorganisms*, 13(5), 1036.
- Lea, P. J., Mifflin, B. J., 2003. Glutamate synthase and the synthesis of glutamate in plants. *Plant Physiology and Biochemistry*, 41(6-7), 555-564.
- Lin, Y., Watts, D. B., Kloepper, J. W., Adesemoye, A. O., Feng, Y. 2019. Effect of plant growth-promoting rhizobacteria at various nitrogen rates on corn growth. *Agricultural Sciences*, 10(12), 1542.
- Lindsay, W.L., Norvell W.A., 1978. Development of a DTPA test for zinc, iron, manganese, and copper. *Soil science society of America Journal*, 42, 421-428.
- Lück, H., 1965. Catalase. *Methods of enzymatic analysis* (second printing, revised) 1965, Pages 885-894
- Mahanty, T., Bhattacharjee, S., Goswami, M., Bhattacharyya, P., Das, B., Ghosh, A., & Tribedi, P., 2017. Biofertilizers: a potential approach for sustainable agriculture development. *Environmental Science and Pollution Research*, 24(4), 3315-3335.
- Mahmood, F., Khan, I., Ashraf, U., Shahzad, T., Hussain, S., Shahid, M., Ullah, S., 2017. Effects of organic and inorganic manures on maize and their residual impact on soil physico-chemical properties. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 17(1), 22-32.
- Maina, C. C., Shivaprakash, M. K., Devi, T. S., 2013. Establishment of tomato seedlings raised in the substrate enriched consortia of biocontrol agents and PGPRs. *Mysore J. Agric. Sci.*, 47 (1): 6-10, 2013.
- Mallik, M. A., Williams, R. D., 2008. Plant growth promoting rhizobacteria and mycorrhizal fungi in sustainable agriculture and forestry. In *Allelopathy in sustainable agriculture and forestry* (pp. 321-345). New York, NY: Springer New York.
- Manea, S. S. A. A. I., Kshash, B. H., 2022. Effect of fertilization with poultry manure on the growth and yield of two cultivars of Brussels sprouts. *Euphrates Journal of Agricultural Science*, 14(2).
- Manullang, W., Chuang, H. W., 2020. *Streptomyces* sp. mitigates abiotic stress response and promotes plant growth. *Journal of Plant Protection Research*, 60(3), 263-274.
- Martínez-Dalmau, J., Berbel, J., Ordóñez-Fernández, R., 2021. Nitrogen fertilization. A Review of the risks associated with the inefficiency of its use and policy responses. *Sustainability*, 13(10), 5625.
- Mattioli, R., Costantino, P., Trovato, M., 2009. Proline accumulation in plants: not only stress. *Plant Signaling & Behavior*, 4(11), 1016-1018.
- Mazumdar, D., Saha, S. P., Ghosh, S., 2021. RSM based optimization of plant growth promoting rhizobacteria and nitrogen dosage for enhanced growth and yield of mustard (*Brassica campestris* L.). *Journal of Plant Nutrition*, 44(15), 2228-2244.

- McLean, E.O. 1982., Soil pH and lime requirement, methods of soil analysis. Part 2, chemical and microbiological properties, 2nd edition, Agronomy Monograph, No: 9, Madison, WI, USA, pp: 199-224.
- Meister, A., 2012. Biochemistry of the amino acids, elsevier.
- Meraklı, N., Memon, A., 2020. Role of plant growth promoting bacteria (PGPR) in plant growth and development: soil-plant relationship. Turkish Journal of Agriculture- Food Science and Technology, 8(12): 2590-2602.
- Metcalf, H. N., 1954. Effect of leaf and terminal bud removal on yield of brussels sprouts.
- Moniza, A. D. C., de Araujob, D. O., Gusmãoc, M., Gomesd, L. M., de Araujoe, N., Brancof, L. M., Marcalg, J. A., 2024. The effect of chicken manure and biochar application on the growth and yield of cauliflower (*Brassica oleraceae* var. *Botritys* L). American Academic Scientific Research Journal for Engineering, Technology, and Sciences (ASRJETS)- Volume 98, No 1, pp 258-268
- Moniza, A. D. C., de Araujob, D. O., Gusmãoc, M., Gomesd, L. M., de Araujoe, N., Brancof, L. M., Marcalg, J. A., 2024. The effect of chicken manure and biochar application on the growth and yield of cauliflower (*Brassica oleraceae* var. *botritys* L.). American Academic Scientific Research Journal for Engineering, Technology, and Sciences. 98 (1): 258-268.
- Muhammad, H., Ijaz, M., Sattar, A., Ul-Allah, S., Sher, A., Asif, M., Manoharadas, S., 2025. Synergistic effects of PGPRS and fertilizer amendments on improving the yield and productivity of canola (*Brassica napus* L.). BMC Plant Biology, 25(1), 50.
- Muțescu, M., Susman, I. E., Burnichi, F., & Israel-Roming, F., 2021. Antioxidant activity in selected brassicaceae vegetables. Scientific Bulletin Series F. Biotechnologies, 25(1).
- Nakano, Y., Asada K., 1981. Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbatespecific peoxidase in spinach chloroplasts. Plant and cell physiology. 22(5), 867-880.
- Neeteson J.J., Langeveld J.W.A., Smit A.L., De Haan J.J., 2003. Nutrient balances in field vegetable production system. In XXVI International Horticultural Congress: Toward Ecologically Sound Fertilization Strategies for Field Vegetable Production 627, pp:13-23.
- Nelson, D.W., Sommers L.E., 1982. Total carbon, organic carbon and organic matter. In: Page, A.L., Miller, R.H., Keeney, D.R. (Eds.), Methods of Soil Analysis. Part 2. Agronomy, Vol. 9. Am. Soc. Agron., S.S.S. America, Madison, WI, pp. 539-579.
- Nelson, R.E., 1982. Carbonate and Gypsum. Page, A.L., Miller, R.H., Keeney, D.R. Methods of Soil Analysis, Part 2, Chemical and Microbiological Properties, Vol. 9, Am. Soc. Agron., S.S.S. America, Madison, WI, pp. 181-197.
- Nieto JC, Catzim OD, Torres RA and Díaz JJ., 2017. Detección de clorosis en las hojas de limón con análisis de color. Revista de Ingeniería Innovativa 1: 10-18.
- Nugraha, I. W. D., Suarta, M., & Arjana, I. G. M., 2023. The effect of chicken manure and triple super phospat fertilizer on the growth of purple cabbage (*Brassica oleracea* var. *capitata*) on andisol. Sustainable Environment Agricultural Science. 7(2), 109-115.
- Olasupo, I., Wang, J., Wei, X., Sun, M., Li, Y., Yu, X., Yan, Y., He, C., 2022. Chili residue and *Bacillus laterosporus* synergy impacts soil bacterial microbiome and agronomic performance of leaf mustard (*Brassica juncea* L.) in A solar greenhouse. Plant and Soil, 479, 185- 205.

- Olsen S.R., Sommers L.E., 1982. Phosphorous. In: Page, A.L. ed., *Methods of Soil Analysis, Agronomy, No. 9, Part 2: Chemical and Microbiological Properties*, 2nd edition, American Society Agronomy, Madison, WI. USA, pp: 403-430.
- Orhan, E., Esitken, A., Ercisli, S., Turan, M., Sahin, F., 2006. Effects of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on yield, growth and nutrient contents in organically growing raspberry. *Scientia horticulturae*, 111(1), 38-43.
- Oulebsir-Mohandkaci, H., Benzina-Tihar, F., Hadjouti, R., 2021. Exploring biofertilizer potential of plant growth-promoting rhizobacteria *Bacillus clausii* strain b8 (mt305787) on *Brassica napus* and *Medicago sativa*. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 49(4).
- Ouyang, Y., Norton, J. M., 2020., Short-term nitrogen fertilization affects microbial community composition and nitrogen mineralization functions in an agricultural soil. *Applied and Environmental Microbiology*, 86(5), e02278-19.
- Pali, R., Wahyudi, I., Rajamuddin, U. A., 2015. Pengaruh pupuk kandang ayam terhadap serapan fosfordan hasil tanam kubis bunga (*Brassica oleraceavar. L. var botrytis*) Pada Oxidystrepts Lembantongoa (Doctoral dissertation, Tadulako University). e-J. Agrotekbis 3 (6) :669-679, Desember 2015
- Parmar, K., 2024. Effect of biofertilizers and manures on growth, yield, and quality of cabbage (*Brassica oleracea*). In *BIO Web of Conferences* (Vol. 110, p. 04003). EDP Sciences.
- Piromyou, P., Noisangiam, R., Uchiyama, H., Tittabutr, P., Boonkerd, N., Teaumroong, N., 2013. Indigenous microbial community structure in rhizosphere of chinese kale as affected by plant growth-promoting rhizobacteria inoculation. *Pedosphere*, 23(5), 577-592.
- Podile, A., & Kishore, G., 2006. Plant growth-promoting rhizobacteria. *Plant-associated bacteria, Plant-Associated Bacteria*, 195–230.
- Puente, M.E., Bashan Y., Li C.Y., and Lebsky V.K., 2004. Microbial populations and activities in the rhizoplane of rock-weathering desert plants. I. Root colonization and weathering of igneous rocks. *Plant Biology*, 6, 629-42.
- Quesada, M. A., Sfinchez-Roldfin C., Heredia A., Valpuesta V., Bukovac M.J., 1992. Peroxidase and IAA oxidase activities and peroxidase isoenzymes in the pericarp of seeded and seedless "redhaven" peach fruit. *Journal of Plant Growth Regulation*, 11: 1-6.
- Qureshi, M. A., Shahzad, H., Saeed, M. S., Ullah, S., Ali, M. A., Mujeeb, F., & Anjum, M. A., 2019. Relative potential of rhizobium species to enhance the growth and yield attributes of cotton (*Gossypium hirsutum L.*). *Eurasian Journal of Soil Science*, 8(2), 159-166.
- Rachina, M.A., Nicholas D.J.D., 1985. Glutamine synthetase and glutamate synthase from sclerotinia sclerotiorum. *Phytochemistry*, 24(11), 2451–2548
- Rahayu, T., and Al Fatonah, F., 2022. Kailan (*Brassica oleraceae L. var. acephala*) growth and yield at concentrations of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) and other planting media one of the tehnic empowerment farmers. *Viabel: Jurnal Ilmiah Ilmu-Ilmu Pertanian*, 16(1), 60-73.
- Raiola, A., Errico, A., Petruk, G., Monti, D. M., Barone, A., Rigano, M. M., 2017. Bioactive compounds in *brassicaceae* vegetables with a role in the prevention of chronic diseases. *Molecules*, 23(1), 15.

- Ravindran, B., Mupambwa H. A., Silwana S., Mnkeni P. N., 2017. Assessment of nutrient quality, heavy metals and phytotoxic properties of chicken manure on selected commercial vegetable crops. *Heliyon*, 3(12).
- Rezasoltani, S., and Champagne, P., 2023. An integrated approach for the phycoremediation of pb (II) and the production of biofertilizer using nitrogen-fixing cyanobacteria. *Journal of Hazardous Materials*, 445, 130448.
- Ruppel, S., Rühlmann, J., Merbach, W., 2006. Quantification and localization of bacteria in plant tissues using quantitative real-time PCR and online emission fingerprinting. *Plant and Soil*, 286(1), 21-35.
- Sady, W., 2000. Nawożenie warzyw polowych. Wydawnictwo Plantpress.
- Saha, B., Saha, S., Das, A., Bhattacharyya, P. K., Basak, N., Sinha, A. K., Poddar, P., 2017. Biological nitrogen fixation for sustainable agriculture. *Applications in Crop Production and Protection*, 2: 81-128.
- Saharan, B. S., & Nehra, V., 2011. Plant growth promoting rhizobacteria: A critical review. *Life Sci Med Res*, 21(1), 30.
- Sahin, U., Ekinci, M., Kiziloglu, F. M., Yıldırım, E., Turan, M., Kotan, R., Ors, S., 2015. Ameliorative effects of plant growth promoting bacteria on water-yield relationships, growth, and nutrient uptake of lettuce plants under different irrigation levels. *HortScience*, 50(9), 1379-1386.
- Saleem, M., Arshad, M., Hussain, S., Bhatti, A. S., 2007. Perspective of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) containing acc deaminase in stress agriculture. *Journal of industrial Microbiology and Biotechnology*, 34(10), 635-648.
- Salim, H. A., Ali, A. F., Alsaady, M. H. M., Saleh, U. N., Jassim, N. H., Hamad, A. R., Hassan, A. F., 2020. Effect of plant growth promoting rhizobacteria (pgpr) on growth of cauliflower (*Brassica oleracea* L. var. *Botrytis*). *Plant Archives* Volume 20 No. 1, 2020 pp. 782-786
- Saroj, R. K., Kumar, S., Yadav, S., 2020. Effect of bio-fertilizers with chemical fertilizers on growth, yield, and quality of cauliflower (*Brassica oleracea* var. *botrytis*). *International journal of Horticulture and food science*, 26-31.
- Saygılı, H., 1995. Fitobakteriyoloji. Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Bitki Koruma Bölümü Ders Kitabı, Doğruluk Matbaası, Bornova, İzmir.
- Saygılı, H., Şahin, F., Aysan, Y., 2006. Fitobakteriyoloji. Ege Üniversitesi Yayınları No: 9944-5882-0-2, İzmir.
- Sergiev, I., Alexieva, V., Karanov, E., 1997. Effect of spermine, atrazine and combination between them on some endogenous protective systems and stress markers in plants. *Compt Rend Acad Bulg Sci*, 51(3), 121-124.
- Shantharam, S., Mattoo, A. K., 1997. Enhancing biological nitrogen fixation: an appraisal of current and alternative technologies for N input into plants. *Plant and Soil*, 194, 205-216.
- Siddiqui, H., Sami, F., Bajguz, A., Hayat, S., 2021. Glucose escalates PSII activity, dynamics between anabolic and catabolic pathways, redox and elemental status to promote the growth of *Brassica juncea*. *South African Journal of Botany*, 137, 68-84.
- Sideman, R. G., Roman, C., Hodgdon, E., 2023. Brussels sprout cultivar performance and response to apical meristem removal. *HortTechnology*, 33(2), 193-202.

- Singh, P., Singh, R. K., Li, H. B., Guo, D. J., Sharma, A., Verma, K. K., Li, Y. R., 2024. Nitrogen fixation and phytohormone stimulation of sugarcane plant through plant growth promoting diazotrophic pseudomonas. *Biotechnology and Genetic Engineering Reviews*, 40(1), 15-35.
- Širić, I., Eid, E. M., Taher, M. A., El-Morsy, M. H., Osman, H. E., Kumar, P., Kumar, V., 2022. Combined use of spent mushroom substrate biochar and pgpr improves growth, yield, and biochemical response of cauliflower (*Brassica oleracea* var. *botrytis*): A preliminary study on greenhouse cultivation. *Horticulturae*, 8(9), 830.
- Smercina, D. N., Evans, S. E., Friesen, M. L., Tiemann, L. K., 2019. To fix or not to fix: controls on free-living nitrogen fixation in the rhizosphere. *Applied and Environmental Microbiology*, 85(6), e02546-18.
- Soremi, A.O., Adetunji M.T., Adejuyigbe C.O., Bodunde J.G., Azeez J.O., 2017. Effects of poultry manure on some soil chemical properties and nutrient bioavailability to soybean. *Journal of Agriculture and Ecology Research International*, 11(13):1-10.
- Springett, M. B., Adams, J. B., 1989. Properties of Brussels sprouts thioglucosidase. *Food chemistry*, 33(3), 173-186.
- Srinivasan, R., Rao, K. J., Sailaja, V., Kalaivanan, D., 2014. Influence of organic manures and fertilizers on nutrient uptake, yield and quality in cabbage-baby corn cropping sequence. *Journal of Horticultural Sciences*, 9(1), 48-54.
- Şahin, B. U., Dönmez, M. F., 2020. Farklı bakteri uygulamalarının domates (*Solanum lycopersicum* L.) bitki gelişimi üzerine etkileri. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 10(3), 1507-1517.
- Şahin, F., Çakmakçı, R., Kantar, F., 2004. Sugar beet and barley yields in relation to inoculation with N₂-fixing and phosphate solubilizing bacteria. *Plant and soil*, 265(1), 123-129.
- Şenol Kotan, M., 2020. *Fusarium oxysporum* f.sp. *radicis-cucumerinum*'a Karşı Etkili Bakteri İçerikli Biyolojik Ürün Geliştirilmesi (Doktora Tezi) Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- Taban, S., Turan, M. A., Katkat, A. V., 2013. Tarımda organik madde ve tavuk gübresi. *Tavukçuluk Araştırma Dergisi*, 10(1), 9-13.
- Tagoe, S. O., Horiuchi, T., Matsui, T., 2008. Effects of carbonized and dried chicken manures on the growth, yield, and N content of soybean. *Plant and soil*, 306, 211-220.
- Tan, K. Z., Radziah, O., Halimi, M. S., Khairuddin, A. R., Shamsuddin, Z. H., 2015. Assessment of plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) and rhizobia as multi-strain biofertilizer on growth and N₂ fixation of rice plant. *Australian Journal of Crop Science*, 9(12), 1257-1264.
- Taşova, H., & Akın, A., 2013. Marmara bölgesi topraklarının bitki besin maddesi kapsamının belirlenmesi, veri tabanının oluşturulması ve haritalanması. *Toprak Su Dergisi*, 2(2), 83-95.
- Tchiaze, A. I., Taffouo, V. D., Fankem, H., Kenne, M., Baziramakenga, R., Ekodeck, G. E., Antoun, H., 2016. Influence of nitrogen sources and plant growth-promoting rhizobacteria inoculation on growth, crude fiber and nutrient uptake in squash (*Cucurbita moschata duchesne* ex Poir.) plants. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 44(1), 53-59.
- Thakur, J. K., Mandal, A., Sinha, N. K., Singh, A. B., Jayaraman, S., Shirale, A. O., Amat, D., 2024. Culturable diversity of endophytic and rhizoplane colonizing bacteria of indian

- mustard (*brassica juncea* (L.) Czern and Coss), affected by soil types and assessment of plant growth promoting attributes. *Geomicrobiology Journal*, 41(5), 568-576.
- Thakur, J., Kumar, P., Mohit., 2018. Studies on conjoint application of nutrient sources and pgpr on growth, yield, quality, and economics of cauliflower (*Brassica oleracea* var. *botrytis* L.). *Journal of Plant Nutrition*, 41(14), 1862-1867.
- Thomas, G. W., 1982. Exchangeable cations. *Methods of soil analysis: Part 2 chemical and microbiological properties*, 9, 159-165.
- Turan, M., Ekinci, M., Yildirim, E., Gunes, A., Karagoz, K., Kotan, R., Dursun, A., 2014. Plant growth promoting rhizobacteria improved growth, nutrient and hormone content of cabbage (*Brassica oleracea*) seedlings. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*. Vol. 38; No.3.
- Turatbekova, A., Parmanova, N., Abdukadirova, M., Khadzhiev, A., Arzikulov, X., Xodjimatov, M. B., 2024. Study on the effect of organic fertilizers for enhancing the yield and quality of the white cabbage (*Brassica oleracea* var. *capitata f. alba*). In *E3S Web of Conferences* (Vol. 563, p. 03075). EDP Sciences.
- Uğur, A., Özden, B., Saç, M.M., Yene, G, 2003. Biomonitoring of 210Po and 210Pb using lichens and mosses around a uraniferous coal-fired power plant in western Turkey. *Atmospheric Environment* 37(16): 2237-2245.
- Usman, M., 2015. Cow dung, goat aand poultry manure and their effects on the average yields and growth parameters of tomato crop. *Journal of biology, agriculture and healthcare*, 5(5): 7-10.
- Ünlü, E., Şekerci, A. D., Yılmaz, S., Yetişir, H., 2023. Field trial of PGPR, *Bacillus megaterium* E-U2-1, on some vegetable species. *Journal of Applied Biological Sciences*, 17(1), 125-137.
- Vale, A. P., Santos, J., Melia, N., Peixoto, V., Brito, N. V., Oliveira, M. B. P., 2015. Phytochemical composition and antimicrobial properties of four varieties of *Brassica oleracea* sprouts. *Food Control*, 55, 248-256.
- Vancoillie, F., Duyck, Y. E., Van Poucke, C., Van Loey, A. M., Grauwet, T., 2025. Health-related compound profile of *brussels sprouts* plants (*Brassica oleracea* var. *gemmifera*). *Discover Food*, 5(1), 29.
- Vásconez, R. D. A., Mossot, J. E. M., Shagñay, A. G. O., Tenorio, E. M., Utreras, V. C., Vaca, I., 2020. Evaluación de *Bacillus spp.* como rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal (rpcv) en brócoli (*Brassica oleracea* var. *italica*) lechuga (*Lactuca sativa*). *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 21(3), 1-16.
- Vij, S., Sharma, N., Sharma, M., Mohanta, T. K., Kaushik, P., 2022. Application of trichoderma viride and pseudomonas fluorescens to cabbage (*Brassica oleracea* L.) improves both its seedling quality and field performance. *Sustainability*, 14(13), 7583.
- Vural, H., D. Eşiyok ve İ. Duman., 2000. *Kültür Sebzeleri (Sebze Yetiştirme)*. Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Bahçe Bitkileri Bölümü, Bornova/İzmir, ISBN:9759719002 s:118.
- Wang Y, Wang D, Shi P and Omasa K., 2014. Estimating rice chlorophyll content and leaf nitrogen concentration with a digital still color camera under natural light. *Plant Methods* 10: 2-11.
- Wang, C. J., Yang, W., Wang, C., Gu, C., Niu, D. D., Liu, H. X., Guo, J. H., 2012., Induction of drought tolerance in cucumber plants by A consortium of three plant growth-promoting rhizobacterium strains. *Plos one*, 7(12), e52565.

- Wang, Q., Zhou, Q., Huang, L., Xu, S. A., Fu, Y., Hou, D., Yang, X., 2022. Cadmium phytoextraction through *Brassica juncea* L. under different consortia of plant growth-promoting bacteria from different ecological niches. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 237, 113541.
- Yadegari, M., Rahmani, H. A., Noormohammadi, G., Ayneband, A., 2010. Plant growth promoting rhizobacteria increase growth, yield and nitrogen fixation in *Phaseolus vulgaris*. *Journal of Plant nutrition*, 33(12), 1733-1743.
- Yaghi, O. M., Li, G., Li, H., 1995. Selective binding and removal of guests in a microporous metal-organic framework. *Nature*, 378(6558), 703-706.
- Yeshiwas, Y., 2017. Effect of different rate of nitrogen fertilizer on the growth and yield of cabbage (*Brassica oleraceae*) at debre markos, north west ethiopia. *African Journal of Plant Science*, 11(7), 276-281.
- Yıldırım, E. 2022. Effects of plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) and different fertilizer combinations on yield and quality properties in cauliflower (*Brassica oleracea* L. var. *botrytis*). *Akademik Ziraat Dergisi*, 11(1), 35-46.
- Yıldırım, E., Karlıdag, H., Turan, M., Dursun, A., Goktepe, F., 2011. Growth, nutrient uptake, and yield promotion of broccoli by plant growth promoting rhizobacteria with manure. *HortScience*, 46(6), 932-936.
- Yılmaz, A., Yılmaz, H., Soydemir, H. E., Çiftçi, V., 2022. Soya (*Glycine max* L.)’da PGPR ve AMF uygulamalarının verim özellikleri ve protein içeriğine etkisi. *Uluslararası Tarım ve Yaban Hayatı Bilimleri Dergisi*, 8(1), 108-118.
- Yildirim, E., Turan, M., Ekinci, M., Dursun, A., Gunes, A., Donmez, M., 2015. Growth and mineral content of cabbage seedlings in response to nitrogen fixing rhizobacteria treatment. *Rom Biotech Lett*, 20, 10929-10935.
- Yoldas, F., Ceylan, S., Yagmur, B., Mordogan, N., 2008. Effects of nitrogen fertilizer on yield quality and nutrient content in broccoli. *Journal of plant Nutrition*, 31(7), 1333-1343.
- Yoldas, F., Ceylan, S., Yagmur, B., Mordogan, N., 2008. Effects of nitrogen fertilizer on yield quality and nutrient content in broccoli. *Journal of plant Nutrition*, 31(7), 1333-1343.
- Yordanova, Y.R., Cristov, K.N., Popova, L.P., 2004. Antioxidative enzymes in barley plants subjected to soil flooding. *Environmental and Experimental Botany*, 51, 93-101.
- Zaki, M. F., Tantawy, A. S., Saleh, S. A., Helmy, Y. I., 2012. Effect of bio-fertilization and different levels of nitrogen sources on growth, yield components and head quality of two broccoli cultivars.
- Zamzami, A., Jawi, A., 2023. The Effectiveness of organic fertilizers of chicken, cow and sheep manure against the growth of cabbage, caisim, chicory plants vegetatively. In *Proceeding International Conference on Religion, Science and Education* (Vol. 2, pp. 591-596).
- Zhang, T., Jian, Q., Yao, X., Guan, L., Li, L., Liu, F., ... & Lu, L., 2024. Plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) improve the growth and quality of several crops. *Heliyon*, 10(10).
- Zhang, X., Li, J., Shao, L., Qin, F., Yang, J., Gu, H., Pan, X., 2023. Effects of organic fertilizers on yield, soil physico-chemical property, soil microbial community diversity and structure of *Brassica rapa* var. *Chinensis*. *Frontiers in Microbiology*, 14, 1132853.
- Zhang, Y., Tang, S., Jin, Q., Gao, W., Li, Y. L., Huang, S. W., Wang, H., 2024a. Yield, nutritional and flavor quality of chinese cabbage under different rates of chicken manure substituted for chemical fertilizer. *Scientia Horticulturae*, 326, 112749.

- Zhang, Y., Zhang, J., Zhang, J., Li, H., Li, C., Wang, X., 2024b. Effects of the application of organic fertilizers on the yield, quality, and soil properties of open-field chinese cabbage (*Brassica rapa* spp. *pekinensis*) in China: a meta-analysis. *Agronomy*, 14(11), 2555.
- Zhao, S., Li, K., Zhou, W., Qiu, S., Huang, S., He, P., 2016. Changes in soil microbial community, enzyme activities and organic matter fractions under long-term straw return in north-central China. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 216, 82-88.
- Zhao, X., Rajashekar, C. B., Carey, E. E., Wang, W., 2006. Does organic production enhance phytochemical content of fruit and vegetables current knowledge and prospects for research. *HortTechnology*, 16(3), 449-456.
- Zhong, W., Gu, T., Wang, W., Zhang, B., Lin, X., Huang, Q., Shen, W., 2010. The effects of mineral fertilizer and organic manure on soil microbial community and diversity. *Plant and soil*, 326, 511-522.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler	
Adı Soyadı:	Musa HATİPOĞLU
Doğum tarihi:	
Doğum Yeri:	
Uyruğu:	
Adres:	
Tel:	
E-mail:	
Eğitim	
Lise:	Dara Tarım Meslek Lisesi
Lisans:	Ayn Şems Üniversitesi, Ziraat Fakültesi,
Yüksek lisans:	Ayn Şems Üniversitesi, Kurak Bölgelerde Tarıma Yönelik Araştırmalar ve Yüksek Eğitim Enstitüsü, Kurak Bölgelerde Gelişmiş Ziraat Sistemleri Anabilim Dalı (2015)
Doktora:	Atatürk Üniversitesi
Yabancı Dil Bilgisi	
İngilizce:	İyi
Diğer	Arapça Ana dil
Üye Olunan Mesleki Kuruluşlar	
	Yok
Tezden Üretilmiş Yayınlar	
	1. Tweersh. M, M; M.M.F. Abdullah; U. A El-Behairy; A. Abou El-Yazied. (2015). Effect of Grafting on Productivity and Quality of Tomato Grown in nutrient Film System. Journal of Biol. Chem. Environ. Sciç., 10 (3), 79-92. Yüksek Lisans tezinden üretilmiş Makaledir.