

Bazı bitki büyümesini teşvik eden rizobakterilerin (PGPR) buğday ve mısır tohumlarının gelişimi üzerindeki sinerjik etkisinin in vitro koşullarda belirlenmesi

Kemal KARACA^{1*}, Şevval BORA², Rengin ELTEM²

¹Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyomühendislik Anabilim Dalı, İzmir, TÜRKİYE

²Ege Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Biyomühendislik Bölümü, İzmir, TÜRKİYE

Geliş Tarihi (Received Date): 30.11.2023

Kabul Tarihi (Accepted Date): 06.01.2025

Öz

Yapılan bu çalışmada yerel kaynaklardan izole edilmiş, PGPR (Plant Growth Promoting Rhizobacteria) özellikleri belirlenmiş 9 *Bacillus* suşunun buğday, 5 *Bacillus*, 1 *Pseudomonas* ve 1 *Stenotrophomonas* suşunun ise mısır tohumlarının gelişimi üzerindeki sinerjik etkileri incelenmiştir. Bakteri suşlarının her birinden hazırlanan biyoinokülanların (10^8 kob/ml) tek tek suşlar ve eşit hacimlerde karıştırılmasıyla oluşturulan ikili ve üçlü suş kombinasyonları şeklinde steril buğday tohumları ile muamele edilip saksılara yerleştirilmiştir. Steril mısır tohumları ise saksılara yerleştirildikten sonra biyoinokülanların tek tek suşlar ve eşit hacimlerde karıştırılmış ikili, üçlü ve dördümlü suş kombinasyonları şeklinde inoküle edilmiştir. Denemeler üçer tekrarlı olacak şekilde tasarlanmıştır. Kontrollü koşullar altında buğday ve mısır tohumlarının gelişim denemeleri sırasıyla 30 ve 45 gün boyunca devam edilmiştir. Tohumların gelişimi gövde uzunluğu, gövde yaş, gövde kuru, kök yaş ve kök kuru ağırlıkları açısından kontrol grubu ile istatistiksel olarak karşılaştırıldığında buğday için (*B. subtilis* B.3.P.5 + *B. subtilis* 1.19 + *B. subtilis* 36.5) ve (*B. subtilis* B.3.P.5 + *B. subtilis* 36.5 + *B. simplex* B.1.2.k), mısır için ise (*B. subtilis* 1.19 + *B. simplex* B.1.2.k + *B. megaterium* 42.3) ve (*B. megaterium* 42.3 + *B. subtilis* 36.5 + *S. rhizophila* 118.1 + *P. chlororaphis* P-102-b-a) kombinasyonlarının yüksek sinerjik etkiye sahip olduğu belirlenmiştir.

Anahtar kelimeler: PGPR, sinerjik etki, buğday, mısır, tohum gelişimi

*Kemal KARACA, kemalkaracal@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-2193-2854>

Şevval BORA, sevvvalbora@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0005-1846-8298>

Rengin ELTEM, rengin.elttem@ege.edu.tr, <https://orcid.org/0000-0002-0642-7676>

Determination of the synergistic effect of some plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on the development of wheat and maize seeds *in vitro* conditions

Abstract

*In this study, the synergistic effects of 9 Bacillus strains isolated from local sources with PGPR (Plant Growth Promoting Rhizobacteria) properties on the development of wheat seeds, 5 Bacillus, 1 Pseudomonas and 1 Stenotrophomonas strains on the growth of maize seeds were investigated. Bioinoculants (10^8 cfu/ml) prepared from each of the bacterial strains in the form of single combinations, and double and triple strain combinations created by mixing equal volumes were treated with sterile wheat seeds and placed in pots. After sterile maize seeds were placed in pots, bioinoculants were inoculated into seeds as single strains and in equal volumes of mixed double, triple and quadruple strain combinations. Trials were designed to be repeated in triplicate. Growth trials of wheat and maize seeds under controlled conditions were continued for 30 and 45 days, respectively. When the development of seeds was statistically compared with the control group in terms of shoot length, shoot fresh, shoot dry, root fresh and root dry weights, it was determined that combinations of (*B. subtilis* B.3.P.5 + *B. subtilis* 1.19 + *B. subtilis* 36.5) and (*B. subtilis* B.3.P.5 + *B. subtilis* 36.5 + *B. simplex* B.1.2.k) for wheat, and (*B. subtilis* 1.19 + *B. simplex* B.1.2.k + *B. megaterium* 42.3) and (*B. megaterium* 42.3 + *B. subtilis* 36.5 + *S. rhizophila* 118.1 + *P. chlororaphis* P-102-b-a) for maize had a high synergistic effect.*

Keywords: PGPR, synergistic effect, wheat, maize, seed development

1. Giriş

Rizosferde bitki besin maddelerinin doğal rezervleri bulunmaktadır fakat bu rezervlerin büyük bir kısmı genel olarak bitkilerin kullanabileceği formda değildir. Kimyasal veya biyolojik aktivite yoluyla besin elementleri toprağa az miktarda salınmakta ve bu miktar mahsul gereksinimlerini sağlamak için yeterli değildir [1]. Bitki büyümesini teşvik eden rizobakteriler (Plant Growth Promoting Rhizobacteria, PGPR) genel olarak besinlerin mobilizasyonunu ve bitki büyüme hormonlarının sentezini, bitki stres direncinin uyarılmasını ve toprak kaynaklı bitki hastalıklarına neden olan fitopatogenlerin mücadelesine katkı sağlamaktadır [2-5]. *Acinobacter*, *Aspergillus*, *Azoarcus*, *Azospirillum*, *Azotobacter*, *Arthrobacter*, *Bacillus*, *Clostridium*, *Enterobacter*, *Frankia*, *Gluconacetobacter*, *Paenibacillus*, *Pseudomonas*, *Rhizobium*, *Serratia*, *Streptomyces*, *Stenotrophomonas* ve *Trichoderma* gibi bitki büyümesini teşvik eden mikroorganizmalar (Plant Growth Promoting Microorganisms, PGPM), uzun yıllardır dünya genelinde mikrobiyal gübre olarak kullanılmakta, mahsul verimi ve toprak verimliliğinin artmasına katkıda bulunduğundan sürdürülebilir tarım ve ormancılıkta önemli bir yere sahiptir [3, 4, 6-10]. PGPR'ler arasında en çok çalışma yapılan bakterilerin başında gelen *Bacillus* ve *Pseudomonas* türleri *in vitro* olarak seri bir şekilde üretilebildikleri için en çok tercih edilen bakteriler arasındadır [6,11].

Bacillus türlerinin tarım alanlarında bulunan birçok suşu doğrudan veya dolaylı olarak bitki büyümesine olumlu katkıda bulunarak mahsul verimini arttırmaktadır. Stres koşullarına dayanıklı endospor oluşturma, peptid antibiyotiklerin, peptid sinyal moleküllerinin ve hücre dışı enzimlerin salgılanması gibi fizyolojik özellikler *Bacillus* türlerinin rizosferin her yerinde bulunmalarına ve olumsuz çevre koşullarında uzun süre hayatta kalmalarına katkıda bulunmaktadır [6]. *Pseudomonas* türleri, toprakta bulunan ve rizosferde büyümeye iyi bir şekilde uyum sağlamış olan, mikrobiyal gübre ve biyolojik mücadele etmeni özelliklerine sahip aerobik gram-negatif bakterilerdir [11]. *Bacillus* ve *Pseudomonas* suşları çeşitli antibiyotikler, antimikrobiyal metabolitler, siderofor, hidrojen siyanür (HCN) ile çeşitli litik enzimleri üreterek fitopatogenlerin kontrolünü ve topraktaki azot, fosfor, potasyum vb. gibi minerallerin bitki tarafından daha kolay kullanılmasını, indol-3-asetik asit (IAA) ve giberellin (GA) gibi fitohormonların üretilmesini sağlayarak bitki büyümesini desteklemektedir [2, 10-16]. *Stenotrophomonas* türleri özellikle kükürt ve azot döngüsünde önemli rol oynayan, tuz stresine dirençli, PGPR endofitik bakteriler arasında yer almaktadır [17, 18].

Bitki büyümesinin teşviki ve bitki patojenlerinin kontrolünde genellikle tek mikroorganizma suşu içeren ürünler kullanılmıştır. Ancak tek bir mikrobiyal suşun toprakta aktif olması yerine mikrobiyal suş karışımının kullanılması hem doğal ortamı taklit etmektedir hem de suşlar yararlı özellikleri ile birbirlerini destekleyip sinerjik etki oluşturarak genetik müdahaleye gerek kalmadan PGPR aktivitesinin spektrumunu genişleterek aktivitenin etkinliğini ve güvenilirliğini arttırmaktadır [19-21].

Bu çalışma kapsamında yerel kaynaklardan izole edilmiş ve bazı önemli PGPR özellikleri belirlenmiş olan 9 farklı *Bacillus* suşunun buğday tohumlarının gelişimine; 5 *Bacillus*, 1 *Pseudomonas* ve 1 *Stenotrophomonas* suşlarının ise mısır tohumlarının gelişimine olan sinerjik etkilerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Çalışmada kullanılan suşların tek tek ve birbirleriyle oluşturulan kombinasyonlarının bitki gelişimi üzerindeki sinerjik etkileri gövde uzunluğu, gövde yaş, gövde kuru, kök yaş ve kök kuru ağırlıkları açısından kontrol grubu ile karşılaştırılarak buğday ve mısır tohumlarının gelişiminde en yüksek sinerjik etkiyi oluşturan özgün PGPR suş kombinasyonlarının seçilmesi hedeflenmektedir. Bitki gelişiminde hem PGPR suşlarının kullanımı hem de bunların sinerjik etkilerinin önemi literatüre katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

2. Materyal ve Metot

2.1. Çalışmada kullanılan PGPR suşları

Denememizde daha önceki çalışmalar kapsamında Ege Üniversite Biyomühendislik Bölümü Endüstriyel Mikrobiyoloji Laboratuvarı kültür koleksiyonunda bulunan IAA ve çözülmüş fosfat miktarları; azotsuz ortamda büyüme ve siderofor sentezi; proteaz, kitinaz, selülaz, β -1,3-glukanaz ve kitosanaz gibi litik enzim aktiviteleri; bazı hasat öncesi ve hasat sonrası fitopatogenlere karşı antagonistik aktiviteleri belirlenmiş 9 *Bacillus*, 1 *Pseudomonas chlororaphis* ve 1 *Stenotrophomonas rhizophila* suşları (Tablo 1) biyoinkülant olarak kullanılmıştır [22-27].

Bitki materyali olarak ekmeclik buğday (*Triticum aestivum* L.) ve “Dekalb (DKC 6442)” mısır (*Zea mays* L.) tohumları kullanılmıştır.

Tablo 1. Çalışmada kullanılan PGPR suşları

PGPR suşları
<i>Bacillus subtilis</i> 1.19 *
<i>Bacillus subtilis</i> 36.5 *
<i>Bacillus subtilis</i> B.3.P.5 *
<i>Bacillus subtilis</i> 1.4.a
<i>Bacillus megaterium</i> 42.3 *
<i>Bacillus megaterium</i> 44.3
<i>Bacillus subtilis</i> 24.4.i
<i>Bacillus subtilis</i> 26.1
<i>Bacillus simplex</i> B.1.2.k *
<i>Pseudomonas chlororaphis</i> P-102-b-a *
<i>Stenotrophomonas rhizophila</i> 118.1 *

* Mısır tohumu çimlendirme denemesinde kullanılan PGPR suşları

2.2. PGPR suşlarını içeren biyoinkülanların oluşturulması

Bacillus spp. suşları ile *Stenotrophomonas rhizophila* 118.1 Nutrient Agar (NA) ve *P. chlororaphis* P-102-b-a ise King's Medium B agar besiyeri içeren petri plakalarında çizgi ekim yöntemi ile saflık kontrolleri yapılmıştır. Aktifleştirilen suşların her birinden aşılı kültürü hazırlamak için öze yardımı ile sırasıyla 250 ml'lik erlenlerde 50 ml Nutrient Broth (NB) ve King's Medium B Broth'a aktarılmıştır. Erlenler *Bacillus* spp. suşları için 18 saat, *S. rhizophila* ve *P. chlororaphis* suşları için 24 saat boyunca 180 rpm karıştırma hızında 30°C'de inkübe edilmiştir. İnkübasyon sonrası 1 L'lik erlenlerde 250 ml olacak şekilde hazırlanan *Bacillus* spp. ve *S. rhizophila* suşları için NB, *P. chlororaphis* suşu için ise King's Medium B Broth ortamlarına aşılı kültüründen %2 oranında inoküle edilmiştir. *P. chlororaphis* ile *S. rhizophila* suşu 30 saat ve *Bacillus* spp. suşları 4 gün süresince 180 rpm karıştırma hızında 30°C'de inkübe edilmiştir. Her bir suş için kullanılacak biyoinkülan sıvısı 10⁸ kob/ml olacak şekilde 0,5 McFarland skalasına göre ayarlanmıştır [13, 24-27].

2.3 Tohum sterilizasyonu

Buğday ve mısır tohumlarının sterilizasyonu Çakmakçı ve ark. (2007)'a göre yapılmıştır. Her bir tohum %70'lik etanol ile 2 dk, %1,2'lik NaOCl ile 10 dk muamele edildikten sonra 10 kere steril çeşme suyu, 3 kere steril saf su ile durulanmıştır [28].

2.4 Buğday tohumu gelişim denemesi

Buğday tohumu çimlendirme denemesinde ikili ve üçlü bakteri kombinasyonları 9 adet *Bacillus* spp. suşunun her birinden eşit hacimlerde karıştırılarak erlenlerde toplam 100 ml olacak şekilde biyoinkülanlar hazırlanmıştır. Tekli ve kombinasyonlardan oluşan kültür çözeltilerini içeren her bir erlenin içine steril edilmiş buğday tohumları eklenerek çalkalamalı inkübatörde 30 dakika boyunca karıştırılarak bakteri kültürleri tohumlar ile muamele edilmiştir. Bakteri kültürleri ile çalkalanan steril tohumlar ¾ ü toprak ile

doldurulmuş 150 ml hacmindeki plastik saksılara beşer adet olacak şekilde yerleştirilmiş ve üzerleri toprak ile örtülmüştür. Bakteri içermeyen kontrol grubu ile tekli (n=9), ikili (n=21) ve üçlü (n=13) toplam 44 deneme seti üçer tekerrürlü olacak şekilde 132 saksı ile beyaz floresan ışık altında 16 saat aydınlık 8 saat karanlık fotoperiyot koşullarında deneme başlatılmıştır. Belirli aralıklarla sulanarak 30 gün süreyle çimlendirme denemesi sürdürülmüştür. Daha sonra bitkiciklerin her birinin kökleri topraktan çıkarılmış ve su ile yavaşça yıkanarak köklerden tüm toprakların temizlenmesi sağlanmıştır. Kök ve gövde birbirinden ayrılarak istatistiksel analizler için gövde uzunluğu (mm), gövde yaş ve kuru ağırlığı (g), kök yaş ve kuru ağırlığı (g) ölçümleri yapılmıştır. Kuru ağırlıklar için gövde ve kökler etüvde üç gün boyunca 60°C'de kurutulmuştur [28-31].

2.5. Mısır tohumu gelişim denemesi

Mısır tohumu çimlendirme denemesinde PGPR olarak 5 *Bacillus* spp., *S. rhizophila* ve *P. chlororaphis* suşları (Tablo 1) ile erlenlerde toplam 200 ml olacak şekilde farklı biyoinokülantlar hazırlanmıştır. Steril tohumlar ¼ ü toprak ile doldurulmuş 500 ml'lik plastik saksılara beşer adet olacak şekilde yerleştirildikten sonra her bir saksıya 10 ml biyoinokülant ilavesi yapılmış ve üzeri toprakla kapatılmıştır. Tekli (n=7), ikili (n=11), üçlü (n=32) ve dördü (n=31) toplam 81 deneme seti üçer tekerrürlü olacak şekilde 243 saksı ile beyaz floresan ışık altında 16 saat aydınlık 8 saat karanlık fotoperiyotta deneme başlatılmıştır. Yine üç tekerrür olacak şekilde NPK (Azot-N, Fosfor-P, Potasyum-K) ilave edilen (1,7 g/plastik saksı) ve gübre (kimyasal ve biyoinokülant) içermeyen kontrol saksıları da denemede yer almıştır. Saksılar ilk günden itibaren belirli aralıklarla sulanmış ve deneme 45. günde sonlandırılmıştır. Saksılardan nazikçe çıkarılan bitkiciklerin kökleri su ile yıkanmış ve toprağından arındırılmıştır. Kökler iyice temizlendikten sonra kök ve gövde birbirinden ayrılarak gövde uzunluğu, gövde yaş ve kuru ağırlığı, kök yaş ve kuru ağırlığı tartımları yapılmıştır. Kuru ağırlıklar için gövde ve kökler etüvde üç gün boyunca 60°C'de kurutulmuştur [32-34].

2.6. İstatistiksel analizler

İstatistik analizler PASW Statistic paket programı (versiyon 18) kullanılarak Tukey testine (P<0,05) göre gerçekleştirilmiştir [30].

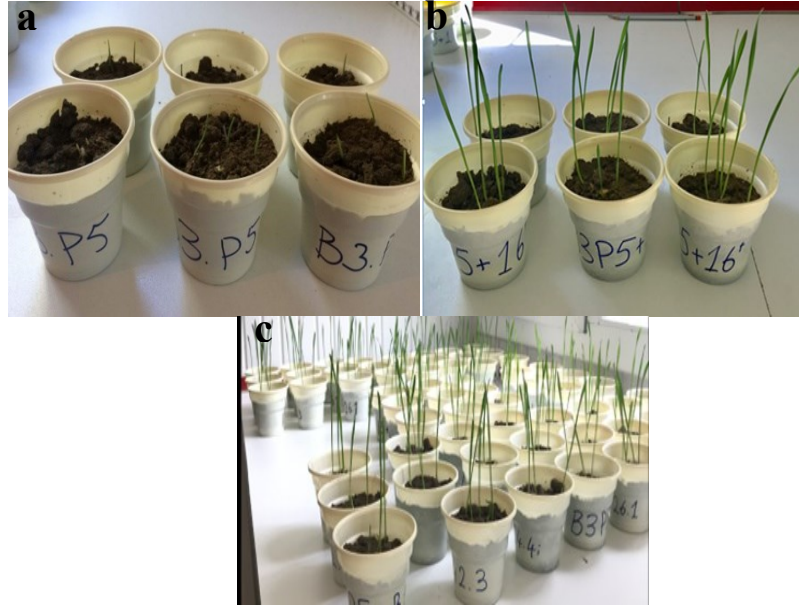
3. Bulgular ve tartışma

Son yıllarda ticari mikrobiyal gübre ve biyolojik mücadele biyopreparatlarının içeriklerine bakıldığında genellikle birden fazla ve farklı türlere/genuslara ait mikroorganizmaların bir arada kullanıldığı görülmektedir. Ayrıca fungal hastalıklara karşı aynı anda içerikleri farklı mikroorganizmadan oluşan iki biyopreparatın bir arada kullanılmasının sinerjik etkiler oluşturduğu belirtilmektedir. Örneğin Antraknoza sebep olan *Colletotrichum* sp.'a karşı BioJect Spot-Less (*P. aureofaciens*) ile Trichodex (*T. harzianum*) biyolojik mücadele biyopreparatlarının birlikte kullanımının oldukça etkili olduğu belirtilmektedir [35].

3.1 Buğday tohumu gelişim denemesi

Buğday (*Triticum aestivum* L.), dünyanın birçok yerinde tarım ekonomisinde önemli rol oynayan, en iyi evcilleştirilen önemli bir tahıl ürünü ve insan hayatı için vazgeçilemez önemli besin kaynaklarından [36-38]. Ülkemizde de buğday tarımı önemli bir yere

sahiptir. Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) 2024 verilerine göre 20,8 milyon tonluk buğday üretilmiştir [39]. Buğday üretiminin ülkemiz ve dünyada önemi göz önüne alınarak çalışmamızda PGPR *Bacillus* spp. suşlarının sinerjik etkilerinin buğday tohumlarının gelişimi üzerindeki etkisinin belirlenmesi amaçlanıp incelenmiştir. Çalışmamızda buğday tohumlarının gelişmesinin farklı günlerdeki görselleri Şekil 1’de gösterilmiştir. 9 PGPR *Bacillus* spp. suşlarının biyoinokülan olarak tek tek, ikili ve üçlü kombinasyon uygulamalarının sinerjik etkileri gövde uzunluğu, gövde yaş ve kuru ağırlığı, kök yaş ve kuru ağırlığı sonuçları incelenerek istatistiksel olarak değerlendirilmiştir (Tablo 2).



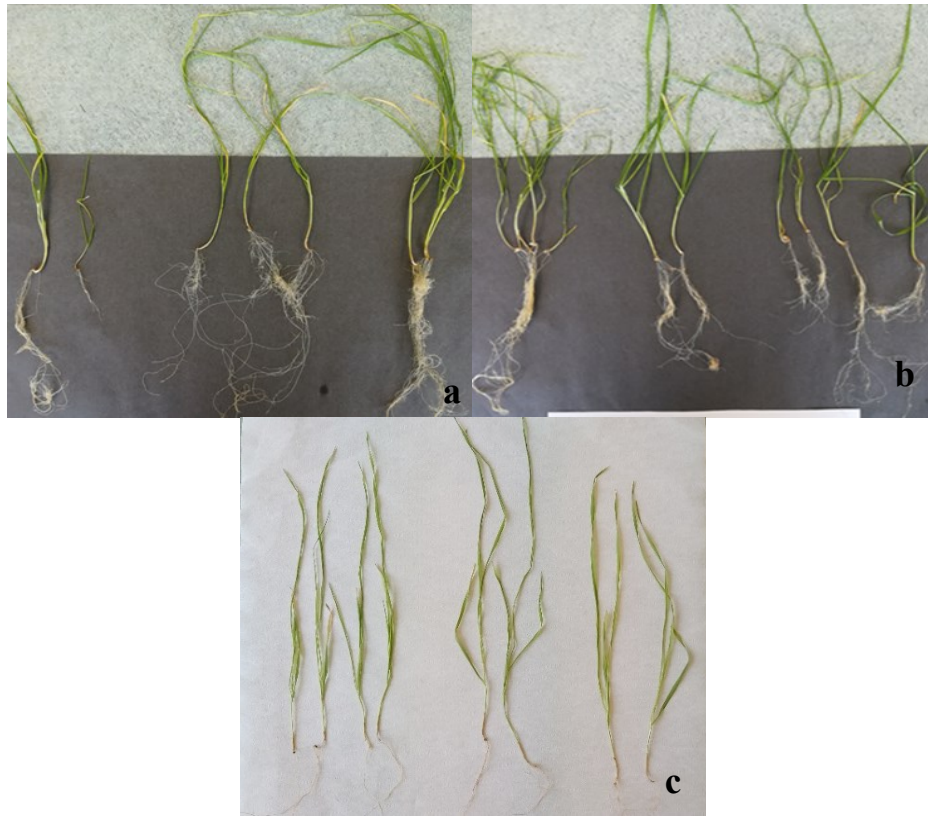
Şekil 1. Buğday tohumlarının gelişmesinde a) 3.gün b-c) 6.gün

Tablo 2. PGPR suşları ile hazırlanan bazı biyoinokülanların buğday bitkiciklerinin büyümesi üzerindeki etkisinin istatistiksel sonuçları

Deneme Setleri (<i>Bacillus</i> spp. kodları)	Gövde Uzunluğu (mm)	Gövde Yaş Ağırlığı (g)	Gövde Kuru Ağırlığı (g)	Kök Yaş Ağırlığı (g)	Kök Kuru Ağırlığı (g)
Kontrol	49,5 ± 0,9 ^{ab}	0,034 ± 0,005 ^{a-i}	0,0045 ± 0,0005 ^c	0,005 ± 0,002 ^{g-i}	0,004 ± 0,001 ^{b-j}
B.3.P.5	47,6 ± 2,6 ^{abc}	0,045 ± 0,005 ^{a-e}	0,005 ± 0,0004 ^{bc}	0,012 ± 0,002 ^{b-i}	0,0042 ± 0,001 ^{f-j}
1.19	40,8 ± 4,7 ^{a-c}	0,038 ± 0,006 ^{a-h}	0,006 ± 0,0007 ^{abc}	0,011 ± 0,002 ^{c-i}	0,009 ± 0,001 ^{a-i}
36.5	41,8 ± 4,68 ^{a-d}	0,06 ± 0,01 ^a	0,006 ± 0,001 ^{abc}	0,017 ± 0,01 ^{a-g}	0,005 ± 0,003 ^{d-j}
B.1.2.k	47,2 ± 1,7 ^{abc}	0,05 ± 0,006 ^{abc}	0,0055 ± 0,001 ^{abc}	0,011 ± 0,001 ^{c-i}	0,0048 ± 0,001 ^{f-j}
24.4.i	37,4 ± 3,66 ^{a-e}	0,04 ± 0,003 ^{a-g}	0,012 ± 0,01 ^a	0,02 ± 0,005 ^{a-d}	0,01 ± 0,003 ^{a-f}
26.1	32,3 ± 6,76 ^{d-e}	0,03 ± 0,01 ^{b-i}	0,005 ± 0,001 ^{bc}	0,023 ± 0,004 ^{ab}	0,01 ± 0,002 ^{abc}
1.19 + 1.4.a	35,4 ± 9,5 ^{b-e}	0,053 ± 0,01 ^{ab}	0,008 ± 0,002 ^{abc}	0,028 ± 0,002 ^a	0,01 ± 0,003 ^{a-e}
B.3.P.5 + 36.5	43,6 ± 3,6 ^{a-d}	0,034 ± 0,002 ^{a-i}	0,007 ± 0,0007 ^{abc}	0,01 ± 0,002 ^{b-i}	0,01 ± 0,003 ^{a-g}
B.3.P.5 + 1.19 + 36.5	32,3 ± 9,8 ^{d-e}	0,03 ± 0,01 ^{c-i}	0,01 ± 0,004 ^{abc}	0,02 ± 0,002 ^{a-d}	0,014 ± 0,002 ^a
B.3.P.5 + 36.5 + B.1.2.k	26,2 ± 3,7 ^e	0,02 ± 0,005 ^{f-i}	0,007 ± 0,0002 ^{abc}	0,018 ± 0,006 ^{a-f}	0,013 ± 0,0003 ^{ab}
B.3.P.5 + 36.5 + 24.4.i	51,7 ± 1,7 ^a	0,02 ± 0,005 ^{f-i}	0,006 ± 0,001 ^{abc}	0,005 ± 0,0008 ⁱ	0,004 ± 0,0007 ^{f-j}
B.3.P.5 + 36.5 + 42.3	39,4 ± 3,2 ^{a-e}	0,033 ± 0,002 ^{b-i}	0,011 ± 0,001 ^{ab}	0,01 ± 0,001 ^{b-i}	0,01 ± 0,001 ^{a-d}

*Değerler standart sapmalı 3 tekrarın ortalamasıdır. Her bir sütun için aynı harfle gösterilenler arasında Tukey testi (P>0,05) anlamlı bir farklılık yoktur.

Raupach ve Klopper (1998), rizobakteri suş karışımlarının PGPR performanslarını arttıran veya azaltan kombinasyonların araştırılmasının önemini belirtmişlerdir [19]. Tablo 2 incelendiğinde kök kuru ağırlığı açısından (*B. subtilis* B.3.P.5 + *B. subtilis* 36.5 + *B. subtilis* 1.19) ve (*B. subtilis* B.3.P.5 + *B. subtilis* 36.5 + *B. simplex* B.1.2.k) kombinasyonlarının istatistiksel olarak en anlamlı farka ($P<0,05$) sahip olduğu görülmektedir (Şekil 2). Bu kombinasyonları oluşturan PGPR suşlarının tek tek inoküle edildiği denemeler (*B. subtilis* B.3.P.5, *B. subtilis* 36.5, *B. subtilis* 1.19, *B. simplex* B.1.2.k) kök kuru ağırlığı açısından incelendiğinde düşük kök kuru ağırlığı saptanırken, bu suşların bir arada kullanıldığı denemelerde daha yüksek bir kök kuru ağırlığı saptanmış (Tablo 2) ve sonuç olarak sinerjik bir etkinin olduğu belirlenmiştir. Çalışmamızda buğday bitkisi için yüksek sinerjik etkiye sahip potansiyel mikrobiyal gübre formülasyonları olarak *B. subtilis* B.3.P.5 + *B. subtilis* 36.5 + *B. subtilis* 1.19 ve *B. subtilis* B.3.P.5 + *B. subtilis* 36.5 + *B. simplex* B.1.2.k kombinasyonları belirlenmiştir.



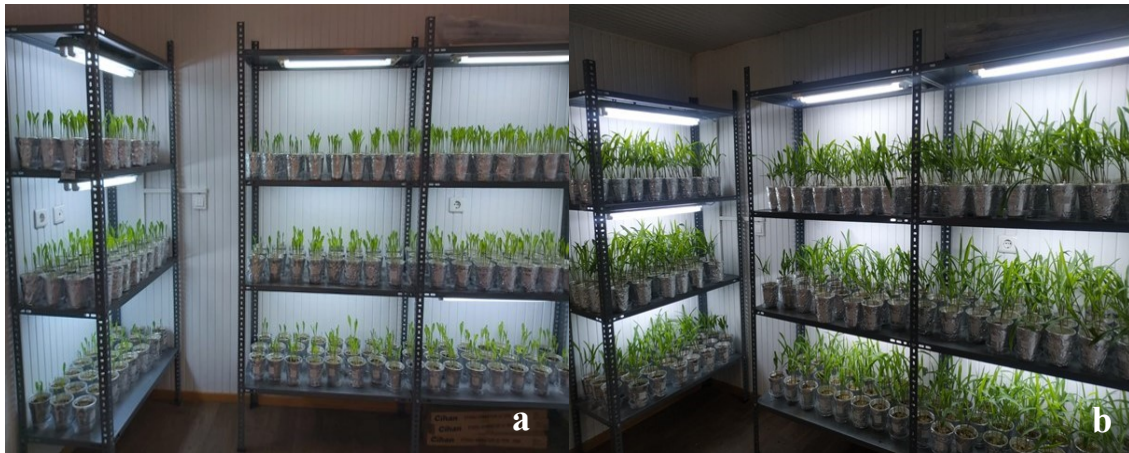
Şekil 2. Buğday bitkicikleri a) *B. subtilis* B.3.P.5 + *B. subtilis* 1.19 + *B. subtilis* 36.5, b) *B. subtilis* B.3.P.5 + *B. subtilis* 36.5 + *B. simplex* B.1.2.k, c) Kontrol grubu

Ali ve ark. (2019), yaptıkları çalışmada kimyasal gübre, mikrobiyal gübre ve mikrobiyal gübre + kimyasal gübrelerin buğday üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Bitki büyümesi açısından en etkili sonuçları kimyasal ve mikrobiyal gübrenin birlikte kullanıldığı deneme setlerinde ulaşımlardır. Bitki uzunluğu 45.günde mikrobiyal gübre ve kimyasal gübre denemesinde ortalama 37,1 cm ve mikrobiyal gübre denemesinde 31,83 cm olarak belirlenmiştir [1]. Denememizde bitki toplam uzunluğu ölçümü yapılmamış sadece gövde uzunluğu ölçülmüş ve buğday bitkiciklerinin gövde uzunluğu (*B. subtilis* B.3.P.5 + *B. subtilis* 36.5 + *B. subtilis* 24.4.i) kombinasyonla 30.günde 51,7 mm'e ulaşmıştır (Tablo 2). Hussain ve ark. (2020), yaptıkları çalışmada *Paenibacillus polymyxa* ZM27, *Bacillus*

aryabhatai ZM31, *B. subtilis* ZM63 ve *B. aryabhatai* S10 suşlarını kullanarak saksı ve tarla denemeleri yapmışlardır. 50 gün süren saksı denemeleri sonucu *P. polymyxa* ZM27 + *B. subtilis* ZM63 + *B. aryabhatai* S10 kombinasyonu ile kontrol grubuna göre sırasıyla bitki toplam uzunluğu ve kuru gövde ağırlığında %53 ve %47'lik artış olduğunu bildirmişlerdir [38]. Yaptığımız denemede ise gövde uzunluk, kök yaş ağırlık, kök kuru ağırlık, gövde yaş ağırlık ve gövde kuru ağırlık açısından en etkili bulunan deneme setleri kontrol grubu ile kıyaslandığında sırasıyla %4,4, %260, %250, %76,5 ve %166,7'lik artışlar belirlenmiştir. Ansari ve ark. (2023), çalışmalarında *B. subtilis*-FAB1 ve *P. azotoformans*-FAP3 suşlarının tekli ve ikili inoküle edildiği buğday tohumlarının çimlenmesini ve kuraklık stresini incelemişlerdir. Buğday tohumlarının çimlenme oranı kontrol grubuna (%80) göre tekli inoküle edilen denemelerde % 5-10, ikili inoküle edilen denemelerde %16'ya kadar artış göstermiştir. Kuraklık stresi altında (%40 PEG) ise çimlenme oranlarında tekli inoküle edilen denemelerde % 2,3 ve ikili inoküle edilen denemelerde %3,6'ya kadar artış görülmüştür [40].

3.2 Mısır tohumu gelişimi denemesi

Verimde büyük farklılıklar oluşmasına rağmen mısır Dünyanın her yerinde yetiştirilen önemli bir tahıldır. Mısır, nişasta, tatlandırıcılar, yağ, içecek, yapıştırıcı, endüstriyel alkol ve yakıt dahil olmak üzere çeşitli gıda ve endüstriyel ürünlerin üretiminde kullanıldığı için Dünya ve Türkiye ekonomisi için önemli bitkiler arasında yer almaktadır [41]. Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) 2022 verilerine göre 8,1 milyon tonluk mısır üretimi yapılmıştır[39]. Önemli bir tahıl olan mısır tohumlarının gelişiminde PGPR suşlarından oluşturulan biyoinokülantlar içinden yüksek sinerjik etkiye sahip kombinasyonun belirlenmesi amacı ile çalışmamız gerçekleştirilmiştir. Mısır tohumlarının çimlendirme denemesinin farklı günlerdeki görselleri Şekil 3'de gösterilmiştir. Tablo 3'de verilen değerler parametrelere göre istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar ($P < 0,05$) gösteren kombinasyonlardır. Beş farklı *Bacillus* spp., *S. rhizophila* ve *P. chlororaphis* suşlarının mısır tohumlarının gelişiminde oluşturdukları sinerjik etkiyi oluşturan PGPR kombinasyonu yapılan deneme ile belirlenmiştir.



Şekil 3. Çimlenen mısır tohumlarının a) 9.günü, b) 20.günü

Tablo 3 incelendiğinde kök kuru ağırlığı açısından (*B. subtilis* 1.19 + *B. simplex* B.1.2.k + *B. megaterium* 42.3) ve (*B. megaterium* 42.3 + *B. subtilis* 36.5 + *S. rhizophila* 118.1 + *P. chlororaphis* P-102-b-a) kombinasyonlarının istatistiksel olarak en anlamlı farka

($P < 0,05$) sahip olduğu görülmektedir (Şekil 4). Bu kombinasyonları oluşturan PGPR suşlarının tek tek inoküle edildiği denemeler (*B. subtilis* 1.19, *B. simplex* B.1.2.k, *B. megaterium* 42.3, *S. rhizophila* 118.1 ve *P. chlororaphis* P-102-b-a) kök kuru ağırlığı açısından incelendiğinde düşük kök kuru ağırlığı saptanırken, bu suşların bir arada kullanıldığı denemelerde daha yüksek bir kök kuru ağırlığı saptanmış (Tablo 3) ve buğday denemesinde de elde edildiği gibi sinerjik bir etkinin olduğu belirlenmiştir. Farklı genuslara ait suşların bir arada kullanılmasında da sinerjik etki olduğu sonucuna varılmıştır. Sadece NPK uygulaması yapılan deneme setinde ölçüm yapılan parametrelerin hepsinde bakteri içermeyen kontrol grubu değerlerinin altında kalmıştır.

Tablo 3. PGPR suşları ile hazırlanan bazı biyoinokülanların mısır bitkiciklerinin büyümesi üzerindeki etkisinin istatistiksel sonuçları

Deneme Setleri (PGPR kodları)	Gövde Uzunluğu (mm)	Gövde Yaş Ağırlığı (g)	Gövde Kuru Ağırlığı (g)	Kök Yaş Ağırlığı (g)	Kök Kuru Ağırlığı (g)
Kontrol	10,1 ± 0,9 ^{bc}	0,4 ± 0,05 ^{b-e}	0,024 ± 0,001 ^c	1,4 ± 0,4 ^{e-m}	0,22 ± 0,04 ^{de}
NPK	7,9 ± 1,8 ^c	0,28 ± 0,2 ^{cde}	0,04 ± 0,02 ^{abc}	1,31 ± 0,9 ^{f-m}	0,21 ± 0,09 ^{de}
1.19	10,3 ± 0,9 ^{bc}	0,5 ± 0,09 ^{a-e}	0,03 ± 0,001 ^{bc}	0,52 ± 0,4 ^{klm}	0,15 ± 0,03 ^{de}
B.1.2.k	9,5 ± 0,6 ^{bc}	0,4 ± 0,1 ^{b-e}	0,023 ± 0,007 ^c	0,67 ± 0,02 ^{klm}	0,17 ± 0,05 ^{de}
42.3	8,4 ± 0,9 ^c	0,3 ± 0,2 ^{cde}	0,02 ± 0,015 ^c	0,74 ± 0,3 ^{j-m}	0,17 ± 0,14 ^{de}
102-b-a	9,4 ± 0,7 ^{bc}	0,35 ± 0,02 ^{cde}	0,027 ± 0,004 ^c	0,8 ± 0,2 ^{j-m}	0,2 ± 0,04 ^{de}
118.1	13,6 ± 3,1 ^{abc}	0,5 ± 0,1 ^{a-e}	0,03 ± 0,1 ^{bc}	1,75 ± 0,1 ^{c-m}	0,25 ± 0,08 ^{b-e}
42.3+36.5	20,15 ± 7,5 ^a	0,77 ± 0,16 ^{abc}	0,07 ± 0,003 ^{abc}	1,89 ± 0,4 ^{b-m}	0,51 ± 0,14 ^{a-e}
B.1.2.k+1.19	12,8 ± 2,6 ^{abc}	0,52 ± 0,03 ^{a-e}	0,12 ± 0,085 ^a	1,47 ± 0,22 ^{c-m}	0,52 ± 0,07 ^{a-e}
36.5+42.3+102-b-a	12,04 ± 3,5 ^{bc}	0,96 ± 0,1 ^a	0,06 ± 0,03 ^{abc}	1,46 ± 0,8 ^{c-m}	0,49 ± 0,13 ^{a-e}
1.19+B.1.2.k+42.3	13,6 ± 1,2 ^{abc}	0,53 ± 0,13 ^{a-e}	0,05 ± 0,003 ^{abc}	3,87 ± 0,3 ^a	0,76 ± 0,14 ^a
36.5+B.1.2.k+102-b-a	13,4 ± 0,5 ^{abc}	0,95 ± 0,04 ^a	0,05 ± 0,01 ^{abc}	2,89 ± 0,5 ^{a-f}	0,27 ± 0,07 ^{b-e}
42.3+36.5+118.1+102-b-a	14,2 ± 2,2 ^{abc}	0,6 ± 0,2 ^{a-e}	0,064 ± 0,04 ^{abc}	3,05 ± 1,5 ^{a-d}	0,68 ± 0,45 ^{ab}
1.19+B.3.P.5+102-b-a	13,4 ± 0,6 ^{abc}	0,68 ± 0,1 ^{a-e}	0,05 ± 0,02 ^{abc}	3,46 ± 0,9 ^{ab}	0,49 ± 0,25 ^{a-e}
36.5+B.1.2.k+42.3+102-b-a	14,8 ± 1,8 ^{abc}	0,92 ± 0,2 ^{ab}	0,08 ± 0,007 ^{abc}	1,44 ± 0,2 ^{d-m}	0,48 ± 0,08 ^{a-e}

Değerler standart sapmalı 3 tekrarin ortalamasıdır. Her bir sütun için aynı harfle gösterilenler arasında Tukey testi ($P > 0,05$) anlamlı bir farklılık yoktur.

Nezarat ve Gholami (2009), yaptıkları çalışmada mısır bitkisinin ve verimi üzerine 4 farklı *Pseudomonas* ve 2 farklı *Azospirillum* suşlarının etkilerini incelemişlerdir. Saksı denemeleri kontrol grubuna göre tek tek bakteri suşlarının inoküle edildiği mısır bitkilerinde yaprak yaş ve kök kuru ağırlık açısından istatistiksel olarak anlamlı farklılık görülmemiş ($P > 0,05$), yaş kök ve toplam bitki ağırlığı açısından anlamlı farklılığa ($P < 0,05$) ulaşmışlardır [42]. Gholami ve ark. (2012) *Azotobacter chroococcum* s-5 ve *Azospirillum lipoferum* s-21 ile ko-inoküle edilen mısır tohumlarında yaprak ve gövde kuru ağırlıklarında sırasıyla %72 ve %84 oranında artış belirlemiştir [43]. Çalışmamızda

istatistiksel olarak anlamlı bulunan deneme setlerinde gövde uzunluk, kök yaş ağırlık, kök kuru ağırlık, gövde yaş ağırlık ve gövde kuru ağırlık açısından kontrol grubu ile kıyaslandığında sırasıyla %99,8, %182,5, %245,5, %130 ve %421,7'lik artışlar gerçekleşmiştir. Tilak ve ark. (2006), çalışmalarında *Rhizobium* sp. AR-2-2 k suşu ile ko-inoküle etmek üzere topraktan izole ettikleri PGPR *A. chroococcum*, *Azospirillum brasilense*, *P. fluorescens*, *P. putida* ve *B. cereus* suşlarının güvercin bezelyesi (*Cajanus cajan*) üzerindeki sinerjik etkilerini incelemişlerdir. Bakteri inoküle edilmemiş ve sadece *Rhizobium* sp. AR-2-2 k inoküle edilmiş kontrol grupları ile karşılaştırıldığında *Rhizobium* sp. AR-2-2 k ile ko-inoküle edilen *P. fluorescens*, *P. putida* ve *B. cereus* denemelerde bitki büyümesi ve nodül oluşumu açısından anlamlı bir artış bildirmişlerdir. Toprağa inoküle edilecek suşun toprakta bulunan yerli mikrobiyal flora ile olumlu veya olumsuz etkileşiminin araştırılmasının önemini belirtmişlerdir [44].



Şekil 4. Mısır denemesi a) Kontrol grubu, b) 1.19+B.1.2.k+42.3 kombinasyonu

Pan ve ark. (2023), PGPR'ler ve arbusküler mikorizal fungus (AMF)'lar ile kullanımının sinerjik etkisini belirlemek için *B. amyloliquefaciens* FZB42 ve *Glomus mosseae* suşlarının tekli ve ikili suş karışımının birlikte inoküle edildiği denemede tuz stresi altında *Nitraria tangutorum* Bobr. fidelerinin gelişimini ve tuz stres toleransını incelemişlerdir. Rizobakteri ve fungusun birlikte inoküle edilen fideler kontrol ve tekli deneme grupları ile karşılaştırıldığında bitki kök ağırlığı (g), yüzey alanı (cm²) ve uzunluğu (cm) açısından istatistiksel olarak anlamlı artış gösterdiğini ve tuz stresi altında büyümenin desteklendiğini bildirmişlerdir [45]. Suşların birbirlerinin uyumunun yanında spesifik kombinasyonların yapılmasının da önemini belirtmişlerdir. PGPR'ler ile fungusların beraber kullanılarak sinerjik etkiler yaratmasının da üzerinde durulması gerektiği düşünülmektedir. Örneğin kök, toprak ve hava kaynaklı bitki hastalıklarının kontrolünde yaygın olarak kullanılan bir ürün olan Bio Protector, *Trichoderma viride*, *T. harzianum*, *P. fluorescens* ve *B. subtilis* suşlarının karışımından oluşmaktadır [46].

4. Sonuç ve öneriler

Mikrobiyal ürünlerin tarımsal faaliyetler için önem kazanması son yıllarda bu alanlarda yapılan çalışmalara hız kazandırmıştır. Mikrobiyal gübrelerin geliştirilmesinde suşların PGPR aktivitelerini belirledikten sonraki adım formülasyonda bir arada kullanılacak suşların belirlenmesidir. Suşları tek başına kullanmak yerine farklı uygun suşların karışımı ile oluşacak sinerjik etkiler ile PGPR aktivitelerini artırarak bitki gelişimi pozitif yönde arttırdığı çalışmamız ile gösterilmiş ve literatür ile desteklenmiştir. Tarımsal üretimde kullanılacak PGPR kombinasyonlarının ürünlere göre ayrı ayrı belirlenmesinin yararlı olacağı, laboratuvar ölçekli tohum gelişimi denemeleri sonuçları göz önüne alındığında belirlenen kombinasyonların tarla denemelerinde kullanılarak sonuçların desteklenmesi ve bakteri suşlarının her biri için formülasyon çalışmaları yapılması gerektiği düşünülmektedir. Çalışmalar incelendiğinde son yıllarda abiyotik strese dirençli PGPR suşların belirlenmesinin önemi ortaya çıkmaktadır ve bu suşlar ile yapılacak çalışmaların literatüre katkılarının önemli olacağı ortaya çıkmaktadır.

Teşekkür

Yapılan çalışmalar “1512-Girişimcilik Destek Programı (BİGG)” ve “2209-B Üniversite Öğrencileri Sanayi Yönelik Araştırma Projeleri Destekleme Programı” 1139B412000866 nolu projeler ile desteklenmiştir. Tübitak TEYDEP ve BİDEB birimlerine mali destekleri için teşekkür ederiz.

Kaynaklar

- [1] Ali, A. F., Salim, H. A., and Alsaady, M. H. M., Response of two wheat cultivars to inoculation of *Bacillus subtilis* and Phosphorus fertilizer, **In Journal of Physics: Conference Series**, Vol. 1294, No. 9, p. 092036, (2019).
- [2] Wang, Y., Pei, Y., Wang, X., Dai, X., and Zhu, M., Antimicrobial metabolites produced by the plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR): *Bacillus* and *Pseudomonas*. **Advanced Agrochem.** 3, 206-221, (2024).
- [3] Dey, A., Liquid biofertilizers and their applications: an overview. **Environmental and Agricultural Microbiology: Applications for Sustainability**, 275-292, (2021).
- [4] Daniel, A. I., Fadaka, A. O., Gokul, A., Bakare, O. O., Aina, O., Fisher, S., Burt, A. F., Mavumengwana, V., Keyster, M., and Klein, A. Biofertilizer: the future of food security and food safety. **Microorganisms**, 10(6), 1220, (2022).
- [5] Rai, A., Belkacem, M., Assadi, I., Bollinger, J. C., Elfalleh, W., Assadi, A. A., Amrane, A., and Mouni, L. Bacteria in soil: Promising bioremediation agents in arid and semi-arid environments for cereal growth enhancement. **Applied Sciences**, 12(22), 11567, (2022).
- [6] Kumar, A., Prakash, A., and Johri, B. N., *Bacillus* as PGPR in crop ecosystem. **Bacteria in agrobiolgy: crop ecosystems**, 37-59, (2011).
- [7] Sarbani, N. M. M., and Yahaya, N., Advanced development of bio-fertilizer formulations using microorganisms as inoculant for sustainable agriculture and environment—a review. **Malaysian Journal of Science Health & Technology**, 8(1), 92-101, (2022).

- [8] Malgioglio, G., Rizzo, G. F., Nigro, S., Lefebvre du Prey, V., Herforth-Rahmé, J., Catara, V., and Branca, F., Plant-microbe interaction in sustainable agriculture: the factors that may influence the efficacy of PGPM application. **Sustainability**, 14(4), 2253, (2022).
- [9] Laishram, B., Devi, O. R., Dutta, R., Senthilkumar, T., Goyal, G., Paliwal, D. K., Panotra, N., and Rasool, A., Plant-Microbe Interactions: PGPM as Microbial Inoculants/Biofertilizers for Sustaining Crop Productivity and Soil Fertility. **Current Research in Microbial Sciences**, 100333, (2024).
- [10] Li, T., Tang, J., Karuppiyah, V., Li, Y., Xu, N., and Chen, J., Co-culture of *Trichoderma atroviride* SG3403 and *Bacillus subtilis* 22 improves the production of antifungal secondary metabolites. **Biological Control**, 140, 104122, (2020).
- [11] David, B. V., Chandrasehar, G., and Selvam, P. N., *Pseudomonas fluorescens*: a plant-growth-promoting rhizobacterium (PGPR) with potential role in biocontrol of pests of crops. In **Crop improvement through microbial biotechnology** (pp. 221-243). Elsevier, (2018).
- [12] Tsotetsi, T., Nephali, L., Malebe, M., and Tugizimana, F., *Bacillus* for plant growth promotion and stress resilience: what have we learned?. **Plants**, 11(19), 2482. (2022).
- [13] Varatharaju, G., Nithya, K., Suresh, P., Rekha, M., Balasubramanian, N., Gomathinayagam, S., Manoharan, P. T., and Shanmugaiah, V., Biocontrol properties and functional characterization of rice rhizobacterium *Pseudomonas* sp. VsMKU4036. *Journal of Pure and Applied Microbiology*, 14(2), 1545-1556, (2020).
- [14] Olaniyan, F. T., Alori, E. T., Adekiya, A. O., Ayorinde, B. B., Daramola, F. Y., Osemwegie, O. O., and Babalola, O. O. The use of soil microbial potassium solubilizers in potassium nutrient availability in soil and its dynamics. **Annals of Microbiology**, 72(1), 45 (2022).
- [15] Raio, A., and Puopolo, G., *Pseudomonas chlororaphis* metabolites as biocontrol promoters of plant health and improved crop yield. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**, 37(6), 99, (2021).
- [16] Barin, M., Asadzadeh, F., Hosseini, M., Hammer, E. C., Vetukuri, R. R., and Vahedi, R., Optimization of biofertilizer formulation for phosphorus solubilizing by *Pseudomonas fluorescens* Ur21 via response surface methodology. **Processes**, 10(4), 650, (2022).
- [17] Kumar, A., Soni, R., Kanwar, S. S., and Pabbi, S., *Stenotrophomonas*: A versatile diazotrophic bacteria from the rhizospheric soils of Western Himalayas and development of its liquid biofertilizer formulation. **Vegetos**, 32, 103-109, (2019).
- [18] Liu, Y., Gao, J., Bai, Z., Wu, S., Li, X., Wang, N., Du, X., Fan, H., Zhuang, G., Bohu, T., and Zhuang, X., Unraveling mechanisms and impact of microbial recruitment on oilseed rape (*Brassica napus* L.) and the rhizosphere mediated by plant growth-promoting rhizobacteria. **Microorganisms**, 9(1), 161, (2021).
- [19] Raupach, G. S., and Kloepper, J. W., Mixtures of plant growth-promoting rhizobacteria enhance biological control of multiple cucumber pathogens. **Phytopathology**, 88(11), 1158-1164, (1998).
- [20] Lim, J. H., and Kim, S. D., Synergistic plant growth promotion by the indigenous auxins-producing PGPR *Bacillus subtilis* AH18 and *Bacillus licheniformis* K11.

- Journal of the Korean Society for Applied Biological Chemistry**, 52, 531-538, (2009).
- [21] Kumar, M., Mishra, S., Dixit, V., Kumar, M., Agarwal, L., Chauhan, P. S., and Nautiyal, C. S., Synergistic effect of *Pseudomonas putida* and *Bacillus amyloliquefaciens* ameliorates drought stress in chickpea (*Cicer arietinum* L.). **Plant signaling & behavior**, 11(1), e1071004, (2016).
- [22] İmamoğlu, Ö., *Çeşitli kaynaklardan izole edilen Bacillus sp. izolatlarının kitosanaz aktivitesinin ve antifungal etkisinin belirlenmesi*. Doktora Tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyoteknoloji Anabilim Dalı, İzmir, (2008).
- [23] Bahadır, P. S., *Mikrobiyal Gübre Olarak Çeşitli Bacillus Biyopreparatlarının Optimum Üretim Koşulları ve Performanslarının İncelenmesi*. Doktora Tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyomühendislik Anabilim Dalı, İzmir, (2017).
- [24] Bahadır, P. S., Liaqat, F., and Eltem, R., Plant growth promoting properties of phosphate solubilizing *Bacillus* species isolated from the Aegean Region of Turkey. **Turkish Journal of Botany**, 42(2), 183-196, (2018).
- [25] Oztopuz, O., Sarigul, N., Liaqat, F., Park, R. D., and Eltem, R., Chitinolytic *Bacillus subtilis* Ege-B-1.19 as a biocontrol agent against mycotoxigenic and phytopathogenic fungi. **Turkish Journal of Biochemistry**, 44(3), 323-331, (2019).
- [26] Çağlayan, K., *Biyogübre olarak Pseudomonas türlerinin üretim optimizasyonu*. Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyoteknoloji Anabilim Dalı, İzmir, (2021).
- [27] Dülgeroğlu, B., *Bitki gelişimini teşvik eden rizobakterilerin (PGPR) hasat sonrası fungal patojenler üzerindeki etkisinin in vitro koşullarda belirlenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyomühendislik Anabilim Dalı, İzmir, (2023).
- [28] Çakmakçı, R., Dönmez, M. F., and Erdoğan, Ü., The effect of plant growth promoting rhizobacteria on barley seedling growth, nutrient uptake, some soil properties, and bacterial counts. **Turkish Journal of Agriculture and Forestry**, 31(3), 189-199, (2007).
- [29] Kumar, A., Maurya, B. R., and Raghuwanshi, R., Isolation and characterization of PGPR and their effect on growth, yield and nutrient content in wheat (*Triticum aestivum* L.). **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**, 3(4), 121-128, (2014).
- [30] Mahato, S., Bhuju, S., and Shrestha, J., Effect of *Trichoderma viride* as biofertilizer on growth and yield of wheat. **Malaysian Journal of Sustainable Agriculture**, 2(2), 01-05, (2018).
- [31] Noroña, D., Arancibia, M. Y., Amancha, P., Paucar, M., Gonzalez, O., Quilambaqui, M., Portilla, A., and Delgado, E., Drying kinetics of wheat, barley and maize grain. **Italian Journal of Food Science**, 106-116, (2018).
- [32] Özler, E., Ergüneş, G., ve Tarhan, S., Mısırdaki farklı ön işlemlerin kuruma hızına etkisi. **Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi**, 21(2), 160-166, (2006).
- [33] Gholami, A., Shahsavani, S., and Nezarat, S., The effect of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on germination, seedling growth and yield of

- maize. **International Journal of Agricultural and Biosystems Engineering**, 3(1), 9-14, (2009).
- [34] Ahmed, A., Sultan, T., Qadir, G., Afzal, O., Ahmed, M., Shah, S. S., Asif, M., Ali, S., and Mehmood, M. Z., Impact assessment of plant growth promoting rhizobacteria on growth and nutrient uptake of maize (*Zea mays*). **Pakistan Journal of Agricultural Research**, 33, 234-246, (2020).
- [35] Mandal, D., Shukla, A. C., and Siddiqui, M. W., Sustainable Horticulture, Volume 2:: Food, Health, and Nutrition. Canada, **CRC Press**, (2018).
- [36] Zalila-Kolsi, I., Mahmoud, A. B., Ali, H., Sellami, S., Nasfi, Z., Tounsi, S., and Jamoussi, K., Antagonist effects of *Bacillus* spp. strains against *Fusarium graminearum* for protection of durum wheat (*Triticum turgidum* L. subsp. *durum*). **Microbiological research**, 192, 148-158, (2016).
- [37] Çelikten, M., ve Bozkurt, İ. A., Buğday Kök Bölgesinden İzole Edilen Bakterilerin Buğday Gelişimine Olan Etkilerinin Belirlenmesi. **Mustafa Kemal Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi**, 23(1), 33-48, (2018).
- [38] Hussain, A., Ahmad, M., Nafees, M., Iqbal, Z., Luqman, M., Jamil, M., Maqsood, A., Mora-Poblete, F., Ahmar, S., Chen, J. T., Alyemeni, M. N., and Ahmad, P., Plant-growth-promoting *Bacillus* and *Paenibacillus* species improve the nutritional status of *Triticum aestivum* L. **Plos one**, 15(12), e0241130, (2020).
- [39] TÜİK, Bitkisel Üretim İstatistikleri 2024, (2024). <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Bitkisel-Uretim-Istatistikleri-2024-53447> (30.12.2024).
- [40] Ansari, F. A., Ahmad, I., and Pichtel, J., Synergistic effects of biofilm-producing PGPR strains on wheat plant colonization, growth and soil resilience under drought stress. **Saudi Journal of Biological Sciences**, 30(6), 103664, (2023).
- [41] Ranum, P., Peña-Rosas, J. P., and Garcia-Casal, M. N., Global maize production, utilization, and consumption. **Annals of the new York academy of sciences**, 1312(1), 105-112, (2014).
- [42] Nezarat, S., and Gholami, A., Screening Plant Growth Promoting Rhizobacteria for Improving Seed Germination, Seedling Growth and Yield of Maize. **Pakistan Journal of Biological Sciences**, 12(1), 26-32, (2009).
- [43] Gholami, A., Biyari, A., Gholipoor, M., and Asadi Rahmani, H., Growth promotion of maize (*Zea mays* L.) by plant-growth-promoting rhizobacteria under field conditions. **Communications in soil science and plant analysis**, 43(9), 1263-1272, (2012).
- [44] Tilak, K. V. B. R., Ranganayaki, N., and Manoharachari, C., Synergistic effects of plant-growth promoting rhizobacteria and Rhizobium on nodulation and nitrogen fixation by pigeonpea (*Cajanus cajan*). **European Journal of Soil Science**, 57(1), 67-71, (2006).
- [45] Pan, J., Huang, C., Peng, F., Wang, T., Liao, J., Ma, S., You, G., and Xue, X., Synergistic combination of arbuscular mycorrhizal fungi and plant growth-promoting rhizobacteria modulates morpho-physiological characteristics and soil structure in *Nitraria tangutorum* bobr. Under saline soil conditions. **Research in Cold and Arid Regions**, 14(6), 393-402, (2022).
- [46] Woo, S. L., Ruocco, M., Vinale, F., Nigro, M., Marra, R., Lombardi, N., Pascale, A., Lanzuise, S., Manganiello, G., and Lorito, M., *Trichoderma*-based products

and their widespread use in agriculture. **The Open Mycology Journal**, 8(1), (2014).