



# PGPR uygulanmış ortamlara humik asit ilavesinin Kirik buğdayının (*Triticum aestivum* L. var. *delfii*) makro element alımına etkisi

 Ferit SÖNMEZ\*

Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tohum Bilimi ve Teknolojisi Bölümü, Bolu

## Öz

Bu çalışma PGPR bakterileri uygulanmış ortamlarda yetiştirilen Kirik buğdayının makro element içeriği üzerine humik asit uygulamalarının etkisinin belirlenmesi amacıyla kurulmuştur. Çalışmada sekiz adet bakteri ile humik asitin 0, 1000 ve 2000 mg kg<sup>-1</sup> dozları kullanılmıştır. İklim odasında yürütülen çalışma, tesadüf parsellerinde faktöriyel deneme desenine göre kurulmuş ve 2 kg toprak alan saksılarda 3 tekerrürlü olarak yürütülmüştür. Çalışmaya yaklaşık ik ay devam edilmiş ve çalışma sonunda Kirik buğdayının toprak üstü aksamında azot, fosfor, potasyum, kalsiyum ve magnezyum elementleri analiz edilmiştir. Analiz sonuçlarına göre bakteri, humik asit ve bakteri x humik asit interaksyonu azot, fosfor, potasyum, kalsiyum ve magnezyum içerikleri üzerine P<0.01 düzeyinde önemli etkide bulunmuştur. Bazı bakteri uygulamaları Kirik buğdayının azot içeriğini kontrole göre artırmışken bazı bakteriler azaltmıştır. Genel olarak bakteri uygulamaları fosfor içeriğini kontrole göre artırmışken, potasyum, kalsiyum ve magnezyum içerikleri düşüş göstermiştir. Ortama humik asitin artan dozlarının uygulanması azot ve fosfor içeriklerini artırmışken, potasyum, kalsiyum ve magnezyum içeriklerinde düşüşe neden olmuştur. PGPR uygulanmış ortamlarda humik asidin artan dozlarının azot ve fosfor elementlerinin alımını artırdığı, potasyum, kalsiyum ve magnezyum elementlerinin alımını ise azalttığı belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** PGPR, makro element, buğday, humik asit, gübreleme.

## Determination of the effect of humic acid addition on the macro element uptake of Kirik wheat (*Triticum aestivum* L. var. *delfii*) in PGPR treated media

### Abstract

This study was established to determine the effect of humic acid applications on the macro element contents of Kirik wheat grown in growing media with PGPR bacteria. Eight bacteria and 0, 1000 and 2000 mg kg<sup>-1</sup> doses of humic acid were used in the study. The study carried out in the greenhouse was established according to the factorial experimental design in randomized plots and was carried out in 3 replications in pots including 2 kg soil. The study continued for about two months and at the end of the study, nitrogen, phosphorus, potassium, calcium and magnesium elements were analyzed in the above-ground part of Kirik wheat. According to the results of the analysis, the interaction of bacteria, humic acid and bacteria x humic acid had a significant effect on nitrogen, phosphorus, potassium, calcium and magnesium contents at P<0.01 level. While some bacterial treatments increased the nitrogen content of Kirik wheat compared to the control, some bacteria decreased it. Generally, bacterial treatments increased phosphorus content compared to control, while potassium, calcium and magnesium contents decreased. The application of increasing doses of humic acid to the medium increased the nitrogen and phosphorus contents, while it caused a decrease in the potassium, calcium and magnesium contents. It was determined that increasing doses of humic acid increased the intake of nitrogen and phosphorus elements and decreased the intake of potassium, calcium and magnesium elements in PGPR applied media.

**Keywords:** PGPR, macro element, wheat, humic acid, fertilization.

© 2022 Türkiye Toprak Bilimi Derneği. Her Hakkı Saklıdır

\* Sorumlu yazar:

Tel. : 0 533 301 3696

E-posta : [sonmezferit@ibu.edu.tr](mailto:sonmezferit@ibu.edu.tr)

Makale Türü: **ARAŞTIRMA MAKALESİ**

Geliş Tarihi : 7 Haziran 2022

Kabul Tarihi : 4 Aralık 2022

e-ISSN : 2146-8141

DOI : 10.33409/tbbbd.1127512

## Giriş

Kimyasal gübre kullanım maliyetinin arttığı bir dönemde toprakların mevcudiyetinde varolan faydalı organizmaların özel koşullarda çoğaltılarak tarımsal üretimde mikrobiyal gübre olarak uygulanması daha da bir önem kazanmıştır. Kimyasal gübre kullanımı ile verimde artış olanakları sağlanmasına karşılık toprakların sağlığı üzerine olumsuz etkileride gözardı edilmemesi gereken önemli bir konudur. Nitekim fosforlu gübre uygulamaları ile toprağın kadmiyum içeriğinde artışlar olduğu bilinen bir gerçekliktir. Yine uzun süreli gübre uygulamaları ile toprak pH'sında yaşanan, kimi bölgeler için, düşüşler önemli sorunları da yapısında barındırmaktadır. Kimyasal gübre kullanımı ile toprakların tuzlanması, ağır metal birikimi, besin elementi dengesizlikleri, mikrobiyal popülasyonda ki değişimler, sulardaki ötrofikasyon ve nitrat kirliliği, atmosfere azot ve kükürt içeren bileşenlerin karışması, sera etkisi gibi sorunlar ortaya çıkmaktadır (Sönmez ve ark., 2008)

Toprakların ayrılmaz bir parçası olan mikroorganizmalar içerisinde faydalı olanların varlığı yaklaşık yüzyıldan daha uzun bir süredir bilinmekteydi. Bunların mikrobiyal gübre olarak kullanımı ile ilgili düşüncelerin varlığı yakın zamanlarda çoğalmış ve son yıllarda ki teknolojik gelişmeler ışığında bu organizmaların mikrobiyal gübreye dönüştürülerek tarımsal üretimde kullanımı yaygınlaşmıştır. Ülkemizde de buna benzer bir gelişme süreci yaşanmış ve artık milli imkânlarla geliştirilen ve satışı yapılan mikrobiyal gübrelerimiz mevcuttur. Mikrobiyal gübre kullanımı ile bitkilerin ve toprağın besin element içeriğinde artışlar olduğu yapılan çalışmalar ile bildirilmiştir (Şahin ve ark., 2015; Kotan ve ark., 2021). Mikrobiyal gübre üretiminde kullanılan ve Bitki Gelişimini Teşvik Eden Bakteriler (PGPR) olarak adlandırılan bu mikroorganizmalar atmosferdeki elementel azotu bağlamalarının yanı sıra, topraklardaki fosfatı çözmeleri, fitohormon ve enzim üretmeleri gibi direk etkileriyle bitki gelişimini olumlu etkilemenin yanı sıra kodlandıkları bitkide sistemik dayanıklılığı artırma, yetiştirme ortamındaki diğer patojenler ile yer ve besin rekabeti sonucu onları baskılama ve ürettikleri bazı sekonder metabolitler ile patojenlerin gelişimini engelleme gibi dolaylı etkileriyle de bitki gelişimini destekledikleri yapılan çalışmalarla bildirilmektedir (İmriz ve ark., 2014; Sonkurt ve Çığ, 2019; Söğüt ve Çığ, 2019; Soylu ve ark., 2020; Kotan ve ark., 2021; Çığ ve ark., 2021).

Düşük kaliteli linyitler ve bazı turbalar, içerdikleri yüksek orandaki azot ve humik asit dolayısıyla son yıllarda tarımsal üretimde gübre olarak kullanım da yaygınlaşmaktadır (Tuncalı ve ark., 2002). Linyit rezervlerimiz ise ülkemizin çeşitli bölgelerinde farklı kalite ve tipte yer almakta ve en büyük linyit rezervimiz Kahramanmaraş-Afşin-Elbistan bölgesindedir (Ay, 2015). Bu bölgedeki linyit yataklarının düşük ısı değer ve kalitesi, fakat yüksek humik asit içeriği nedeniyle humusça zengin kömürlerin tek başına veya yapay gübrelerle karıştırılarak komposit bir gübre olarak kullanımı denenmekte ve hatta uygulama alanı bulmaktadır (Peker ve Kural, 1979). Başlangıçta katı humik asit kullanımı daha çok gübreleme amacıyla olsada daha sonraları toprak düzenleyici olarak kullanımı yaygınlaşmıştır. Humik asitlerin tarımsal işlemlerde önemli rolleri arasında toprakların katyon değişim kapasitesini (KDK) artırmaları ile toprak verimliliğini yükseltmek, toprakta suda-çözünebilir inorganik gübreleri muhafaza ederek, yetiştirilen bitkilere gerektiği kadarını serbest bırakmak ve özellikle kimyasal gübrelerin olumsuz etkilerini azaltmak şeklinde sıralayabiliriz (Akıncı, 2011). Humik moleküllerin içerisindeki çok çeşitli fonksiyonel gruplar, birçok değişik yollarla, metallerle kompleks oluştururlar (Livens, 1991). Humik maddeler —COOH fonksiyonel grubuna ek olarak, bu maddelerin negatif yükleri fenolik -OH, enolik -OH, alkolik -OH, =NH ve C=O yapıları gibi yüksek miktarda oksijen içeren fonksiyonel gruplara sahip olmaları nedeniyle topraktaki katyonların yağış yada sulama suyu ile topraktan yıkanarak uzaklaşmasını azaltmakta ve topraklarda doğal şelat olarak görev yapmaktadır (Stevenson, 1994). Humik maddelerin eşsiz özelliği geniş bir pH aralığında tampon özelliği göstermesi nedeniyle tamponlanma kapasitesi dar bir pH aralığında yetişen bitkiler için çok önem kazanmaktadır (Stevenson, 1994). Humik maddeler toprak pH'nı nötralize etmekte ve böylece pH nötralize olduğu zaman, toprakta kolloitlerinde adsorbe/absorbe olan ve bitki kökleri tarafından alınamayan birçok iz element alınabilir hale gelmektedir (Yılmaz, 2007). Humik asit üretiminde kullanılan leonarditin yapısındaki düşük molekül ağırlıklı humik maddeler (fulvat) bitkilerin metabolik işlemlerini etkileyen kimyasal reaksiyonlarla bağlantılıyken, yüksek molekül ağırlıklı humik maddeler (humat) toprağın fiziksel özelliklerini değiştirmektedir (Karaman ve ark., 2014).

Humik asit ve bakteri uygulamalarının bitkinin verim ve verim öğeleri ile klorofil pigmentlerinde, besin element içeriklerinde önemli artışlar sağladığı yapılan çalışmalar ile bildirilmiştir (Güneş, 2007; Erman e ark., 2012; Olivares ve ark., 2015; Tunçtürk ve ark., 2016; Ekin, 2019a; Ekin, 2019b; Hamidreza ve Sergei, 2019). Bu çalışmada PGPR kodlanmış Kirik buğdaylarının makro besin element içeriği üzerine artan humik asit uygulamalarının etkisi araştırılmıştır.

## Materyal ve Yöntem

Çalışma Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümüne ait iklim odasında yürütülmüştür. Çalışmada kullanılan organizmalar TÜBİTAK TOVAG1080147 projesinden elde edilen PGPR<sub>1</sub>-TV77B; *Bacillus subtilis*, PGPR<sub>2</sub>-TV60D; *Bacillus megaterium*, PGPR<sub>3</sub>-TV33A; *Hafnei alvei*, PGPR<sub>4</sub>-TV98A; *Bacillus psychrosaccharolyticus*, PGPR<sub>5</sub>-TV15B; *Bacillus atrophaeus*, PGPR<sub>6</sub>-TV99D; *Bacillus megaterium*, PGPR<sub>7</sub>-TV103B; *Bacillus subtilis*, PGPR<sub>8</sub>-TV108A; *Bacillus megaterium*'dur. İlk dört bakteri azot fikser özelliği, son dört bakteri ise fosfat çözücü özelliği ön planda olan organizmalardır. Çalışmada Kirik buğdayı (*Triticum aestivum* L. var. delfii) test bitkisi olarak kullanılmıştır. Bakteri suşları saf kültür olarak NB ortamında 28°C geliştirilmiş ve bakteriyel süspansiyon 108 cfu/tohum olacak şekilde Kirik buğdayı tohumlarına aşılansmıştır (Tozlu ve ark., 2012). Hazırlanan saksılara bakteri kodlanmış 10 adet olacak şekilde Kirik buğdayı tohumu ekilmiştir. Saksılar 2 kg toprak alan saksılardır. Deneme 3 tekerrürlü olacak şekilde Tesadüf parsellerinde faktöriyel deneme desenine göre yürütülmüştür.

Hazırlanan saksılara humik asidin üç dozu, (HA<sub>0</sub>; 0 mg kg<sup>-1</sup> humik asit, HA<sub>1</sub>; 1000 mg kg<sup>-1</sup> humik asit ve HA<sub>3</sub>; 2000 mg kg<sup>-1</sup>) Agrohüm ticari ürününden (%86 HA) uygulanmıştır. Toplam 27 saksıda deneme yürütülmüştür. Denemeye yaklaşık 8 hafta devam edilmiştir. Organizmaların etkinliğinin net belirlenmesi için kontrol dahil ortama sabit dozda azot ve fosfor gübrelemeleri yapılmamıştır. Deneme sonunda toprak üstü aksam dikkatlice kesilmiş, normal su ve saf suda yıkandıktan kese kağıtları içerisinde etüvde sabit ağırlığa gelinceye kadar kurutulmuş, kahve öğütücü değirmenlerde öğütülerek analize hazır hale getirilmişlerdir. Bitki örneklerinde yapılan analizler Kacar ve İnal (2009)'ın belirttiği şekilde, azot, mikro kjehldahl yöntemi ile, fosfor; spektropotometrede belirlenmiş, potasyum, kalsiyum ve magnezyum; kuru yakma sonucu elde edilen ekstraktların ASS aletinde okutulması suretiyle belirlenmiştir. Elde edilen veriler CoStat istatistik programı yardımıyla analiz edilmiştir.

Denemede kullanılan toprak ve humik asite ait bazı analiz sonuçları Çizelge 1'de verilmiştir. Denemede kullanılan toprak alkalın, tuzsuz, organik madde içeriği ile toplam azot ve yarıyıllı fosfor içerikleri az, ekstrakte edilebilir potasyum yeterli, ekstrakte edilebilir kalsiyum iyi, ekstrakte edilebilir magnezyum yüksek, alınabilir demir, mangan ve bakır içerikleri yeterli sınır değeri içerisinde iken çinko noksan sınır değerleri içerisinde yer almaktadır (Tüzüner, 1990).

Çizelge 1. Deneme toprağı ve humik asite ait bazı fiziksel ve kimyasal analiz sonuçları

Materyal	pH	Tuz	Kireç	Organik Madde	Azot	Bünye	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu
		$\mu\text{S cm}^{-1}$	%											
Toprak	8.05	305	7.6	0.15	0.079	Kumlu-killi-tın	3.6	254	2374	875	5.06	19.1	0.37	0.66
Humik asit	4.0	2500	-	50	1.8	-	1.5	800	700	200	1200	-	50	-

## Bulgular ve Tartışma

Çalışma sonucunda elde edilen verilerin yapılan varyans analiz sonuçları Çizelge 2'de, uygulamalara ait ortalamalar ve Duncan harflendirme sonuçları Çizelge 3'te ve interaksiyonlara ait görseller Şekil 1, 2, 3, 4 ve 5'te verilmiştir. Bakteri, humik asit ve bakteri x humik asit interaksiyonları azot, fosfor, potasyum, kalsiyum ve magnezyum içerikleri üzerine P<0.01 düzeyinde önemli etkide bulunmuşlardır (Çizelge 2).

Çizelge 2. Bakteri ve humik asit uygulamalarının Kirik buğdayının makro element içeriğine etkisine ait varyans analiz tablosu

V.K.	Sd	Azot		Fosfor		Potasyum		Kalsiyum		Magnezyum	
		K.O..	F	K.O.	F	K.O..	F	K.O..	F	K.O..	F
Bakt.	11	1.516	2232.8***	8980090	233.7***	0.565	242.7***	47223	142.3***	201052	259.9***
H.A.	2	0.198	292.1***	1208477	31.4***	0.106	45.4***	43379	130.7***	45624	58.9***
Bakt.x H.A.	22	0.042	61.3***	374347	9.7***	0.040	17.2***	55497	167.3***	23248	30.0***
Hata	72	0.0001		38426		0.002		331		773	

\*\*\* %0.01

Çizelge 3'te görüleceği üzere kontrolde %1.644 olan azot içeriği, PGPR<sub>2</sub> uygulamasında %1.979 olarak en yüksek değeri vermiştir. Bu ikisi arasında %20.3'lük artış elde edilmiştir. En düşük değer ise PGPR<sub>5</sub> bakteri uygulamasında %1.487 olarak belirlenmiş, %10.6 oranında düşüş elde edilmiştir. Artan humik asit uygulaması ile azot içeriği artış göstermiştir. Kontrol (%1.515) ile 2000 mg kg<sup>-1</sup> HA uygulaması (%1.924) arasında %27.0 oranında artış elde edilmiştir.

Çizelge 3. Bakteri ve humik asit uygulamalarının Kirik buğdayının makro element içeriğine etkisine ait ortalamalar ve Duncan harflendirme sonuçları

Uygulamalar	Azot %	Fosfor mg kg <sup>-1</sup>	Potasyum %	Kalsiyum mg kg <sup>-1</sup>	Magnezyum mg kg <sup>-1</sup>
<b>Bakteriler</b>					
Kontrol	1.644 h*	3933 c	1.902 a	1639 a	1072 d
PGPR <sub>1</sub>	1.823 c	4324 a	1.853 b	1622 a	1147 b
PGPR <sub>2</sub>	1.979 a	4359 a	1.700 de	1431 g	1037 e
PGPR <sub>3</sub>	1.670 g	3481 e	1.682 e	1518 de	1044 e
PGPR <sub>4</sub>	1.778 d	4107 bc	1.831 bc	1529 d	1095 cd
PGPR <sub>5</sub>	1.487 j	4239 ab	1.811 bc	1492 f	1039 e
PGPR <sub>6</sub>	1.541 i	3981 c	1.534 g	1529 d	999 f
PGPR <sub>7</sub>	1.742 e	3408 e	1.615 f	1444 g	950 g
PGPR <sub>8</sub>	1.861 b	4039 c	1.812 bc	1600 b	1192 a
<b>Humik Asit, mg kg<sup>-1</sup></b>					
HA <sub>0</sub>	1.515 b	3332 c	1.748 b	1559 a	1136 a
HA <sub>1</sub>	1.689 b	3943 b	1.870 a	1565 a	991 c
HA <sub>2</sub>	1.924 a	4321 a	1.619 c	1500 b	1095 b

\* sütun içerisinde aynı harfle gösterilen ortalamalar arasında istatistiksel olarak önemli düzeyde fark yoktur (PGPR<sub>1</sub>-TV77B; *B. Subtilis*, PGPR<sub>2</sub>-TV60D; *B. Megaterium*, PGPR<sub>3</sub>-TV33A; *H. Alvei*, PGPR<sub>4</sub>-TV98A; *B. Psychrosaccharolyticus*, PGPR<sub>5</sub>-TV15B; *B. Atrophaeus*, PGPR<sub>6</sub>-TV99D; *B. Megaterium*, PGPR<sub>7</sub>-TV103B; *B. Subtilis*, PGPR<sub>8</sub>-TV108A; *B. Megaterium*, HA<sub>0</sub>; 0 mg kg<sup>-1</sup> humik asit, HA<sub>1</sub>; 1000 mg kg<sup>-1</sup> humik asit, HA<sub>2</sub>; 2000 mg kg<sup>-1</sup>)

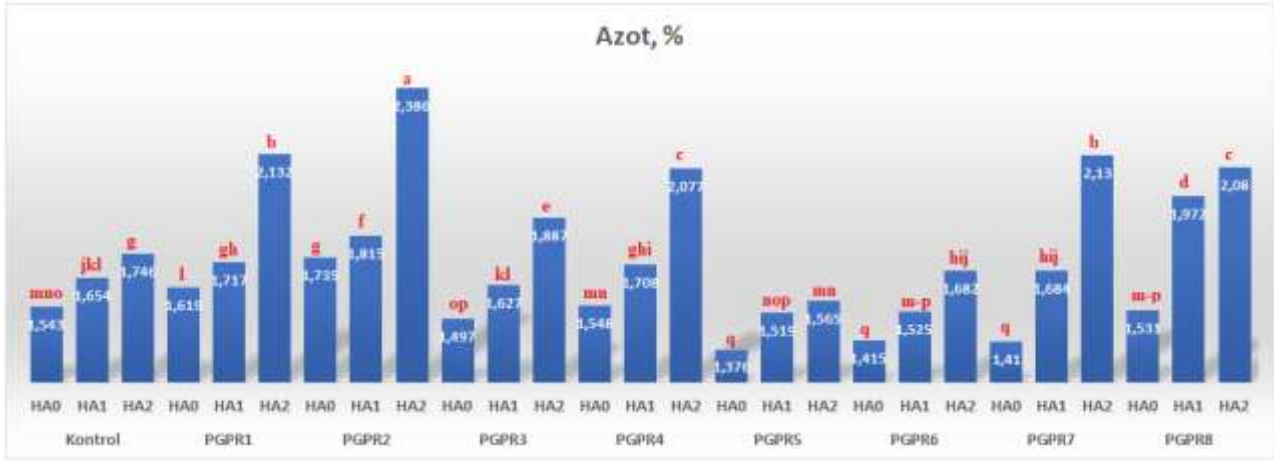
Fosfor içeriğine bakteri uygulamalarının etkisi incelendiğinde kontrolde 3933 mg kg<sup>-1</sup> olan fosfor içeriği PGPR<sub>2</sub> (4359 mg kg<sup>-1</sup>) ve PGPR<sub>1</sub> (4324 mg kg<sup>-1</sup>) uygulamalarında en yüksek değerlere ulaşılmıştır. Kontrolde göre sırasıyla %10.8 ve %9.9 oranında artışlar elde edilmiştir. En düşük fosfor içeriği ise PGPR<sub>7</sub> bakteri uygulamasında (3408 mg kg<sup>-1</sup>) olarak tespit edilmiştir. Kontrolde göre %15.4 oranında azalış elde edilmiştir. Humik asit uygulama dozuna bağlı olarak bitkinin fosfor içeriğinde artış elde edilmiştir. Humik asit uygulanmayan bitkilerde 3332 mg kg<sup>-1</sup> olan fosfor içeriği 2000 mg kg<sup>-1</sup> HA uygulaması ile 4321 mg kg<sup>-1</sup>'a yükselmiş, bu değişim %29.7 oranında gerçekleşmiştir (Çizelge 3).

Kirik buğdayını potasyum içeriği bakteri uygulamaları ile düşüş göstermiştir. Bakteri uygulanmayan kontrol bitkilerinde %1.902 olan potasyum içeriği en düşük değeri %1.543 ile PGPR<sub>5</sub> bakteri uygulamasında vermiştir. Bu ikisi arasında %23.4 oranında fark elde edilmiştir. Humik asit uygulamaları ile de potasyum içeriği azalmıştır. Kontrolde %1.748 olan potasyum içeriği 2000 mg kg<sup>-1</sup> HA uygulaması ile %1.619'a düşmüştür. Yaklaşık %8.0 oranında düşüş elde edilmiştir (Çizelge 3).

Kalsiyum içeriği uygulanan bakterilerin etkisi kontrole göre azalış göstermiş ve en düşük kalsiyum içeriği 1431 mg kg<sup>-1</sup> ile PGPR<sub>2</sub> bakteri uygulamasında belirlenmiştir. Kontrolde göre %14.5 oranında azalış gerçekleşmiştir. Humik asit uygulaması ile önce bir miktar artış olmasına karşılık 2000 mg kg<sup>-1</sup> HA uygulaması ile belirgin bir azalış elde edilmiştir. Kontrolde 1559 olan kalsiyum içeriği 2000 mg kg<sup>-1</sup> HA uygulaması ile 1500 mg kg<sup>-1</sup>'a düşmüş ve bu azalış % 3.9 oranında gerçekleşmiştir (Çizelge 3).

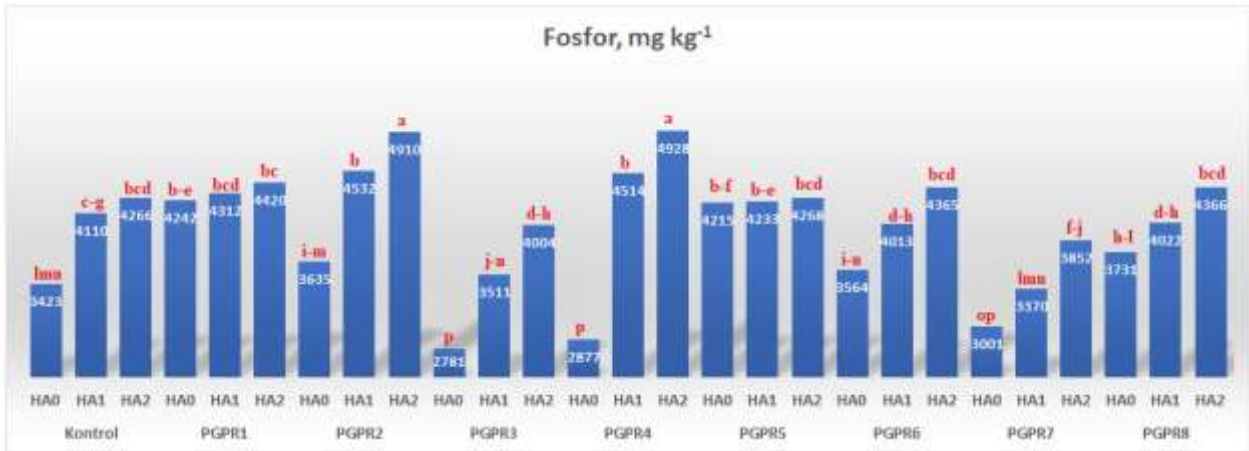
Buğday bitkisinin magnezyum içeriği bakteri uygulamaları ile kontrolde göre artış ve azalış şeklinde değişimler göstermiştir. PGPR<sub>2</sub> ve PGPR<sub>8</sub> bakteri uygulamalarında kontrole göre magnezyum içeriğini artırmışken, diğerleri kontrole göre azaltmışlardır. Kontrolde 1072 mg kg<sup>-1</sup> olan magnezyum içeriği PGPR<sub>2</sub> ve PGPR<sub>8</sub> bakteri uygulamalarında sırasıyla 1147 mg kg<sup>-1</sup> ve 1192 mg kg<sup>-1</sup>'a yükselmiş ve bu yükselişler %7 ve %11.2 oranında gerçekleşmiştir. En düşük magnezyum içeriği 950 mg kg<sup>-1</sup> ile TV103B bakteri uygulamasında elde edilmiş, bu değişim %12.8 oranında gerçekleşmiştir (Çizelge 3).

Şekil 1'de izlendiği gibi PGPR'ları içeren ortamlara humik asitin uygulanması durumunda Kirik buğdayının azot içeriğine etkilerinin olumlu yönde olduğu görülmektedir. En belirgin değişim PGPR<sub>2</sub> bakteri uygulamasında ve ortamda 2000 mg kg<sup>-1</sup> humik asit varlığında elde edilmiştir. HA<sub>0</sub>xPGPR<sub>2</sub> uygulamasında %1.735 olan azot içeriği HA<sub>2</sub>xPGPR<sub>2</sub> uygulamasında %2.386'a yükselmiş, bu artış %35.5 oranında artış olarak gerçekleşmiştir. Yine bir diğer önemli değişimi PGPR<sub>7</sub> bakteri uygulamasında gerçekleşmiştir. HA<sub>0</sub>xPGPR<sub>7</sub> uygulamasında bitki azot içeriği %1.410 iken HA<sub>2</sub>xPGPR<sub>7</sub> uygulamasında %2.130'a yükselmiş, bu artış %51.1 oranında gerçekleşmiştir. Diğer bakteri uygulamalarında da humik asitin varlığında bakteriler bitkinin azot içeriğinde artış sağlamışlardır.



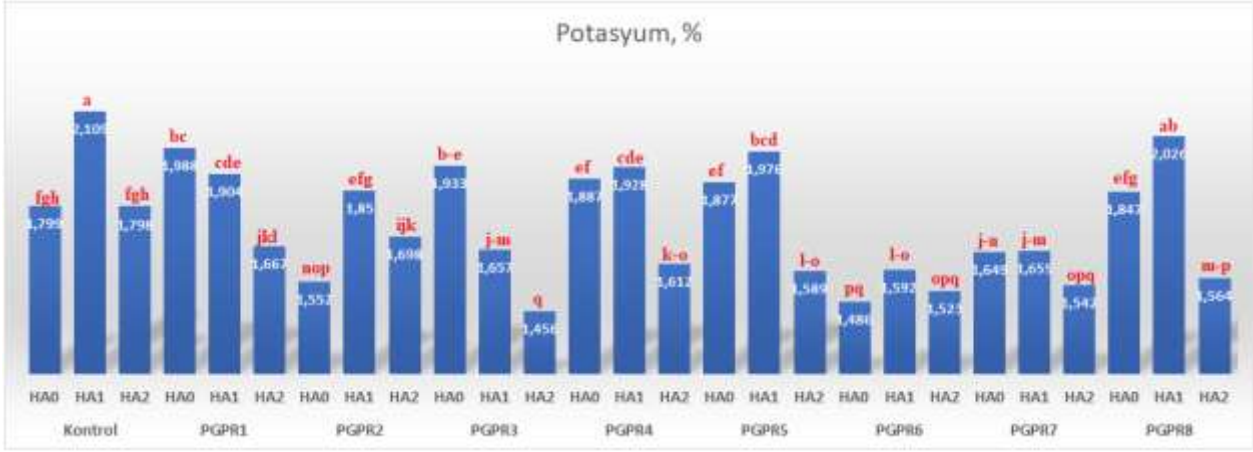
Şekil 1. Bakteri x humik asit interaksiyonunun Kirik buğdayının azot içeriğine etkisi, HA<sub>0</sub>; 0 mg kg<sup>-1</sup> humik asit, HA<sub>1</sub>; 1000 mg kg<sup>-1</sup> humik asit, HA<sub>2</sub>; 2000 mg kg<sup>-1</sup>; PGPR<sub>1</sub>-TV77B; *Bacillus subtilis*, PGPR<sub>2</sub>-TV60D; *Bacillus megaterium*, PGPR<sub>3</sub>-TV33A; *Hafnei alvei*, PGPR<sub>4</sub>-TV98A; *Bacillus psychrosaccharolyticus*, PGPR<sub>5</sub>-TV15B; *Bacillus atrophaeus*, PGPR<sub>6</sub>-TV99D; *Bacillus megaterium*, PGPR<sub>7</sub>-TV103B; *Bacillus subtilis*, PGPR<sub>8</sub>-TV108A; *Bacillus megaterium*, Lsd ( $p < 0.05$ ); 0.042

Artan humik asit uygulamaları ile bitkinin fosfor içeriğinde elde edilen artışlar, özellikle bakteri uygulamalarında daha belirgin olduğu tespit edilmiştir. Kontrol grubu bitkilerinde HA<sub>0</sub> (3423 mg kg<sup>-1</sup>) ile HA<sub>2</sub> (4266 mg kg<sup>-1</sup>) arasında %24.6'lık bir artış elde edilmişken HA<sub>0</sub>xPGPR<sub>4</sub> (2781 mg kg<sup>-1</sup>) ile HA<sub>2</sub>xPGPR<sub>4</sub> (4928 mg kg<sup>-1</sup>) uygulamasında bu artış oranı %71.3 oranında gerçekleşmiştir. PGPR<sub>3</sub>, PGPR<sub>4</sub> ve PGPR<sub>7</sub> olarak kodlanan bakterilerin humik asit uygulanmayan ortamlardaki bitkilerinin fosfor içeriklerini, kontrol grubu bitkilerinin de aşağısında olacak şekilde azaltırken humik asitin 2000 mg kg<sup>-1</sup> uygulama dozlarında en yüksek artış oranlarına ulaştırmıştır. Diğer bakterilerde de artan humik asit uygulamalarının ile bitkinin fosfor içeriğinde artış meydana getirdiği görülmektedir (Şekil 2).



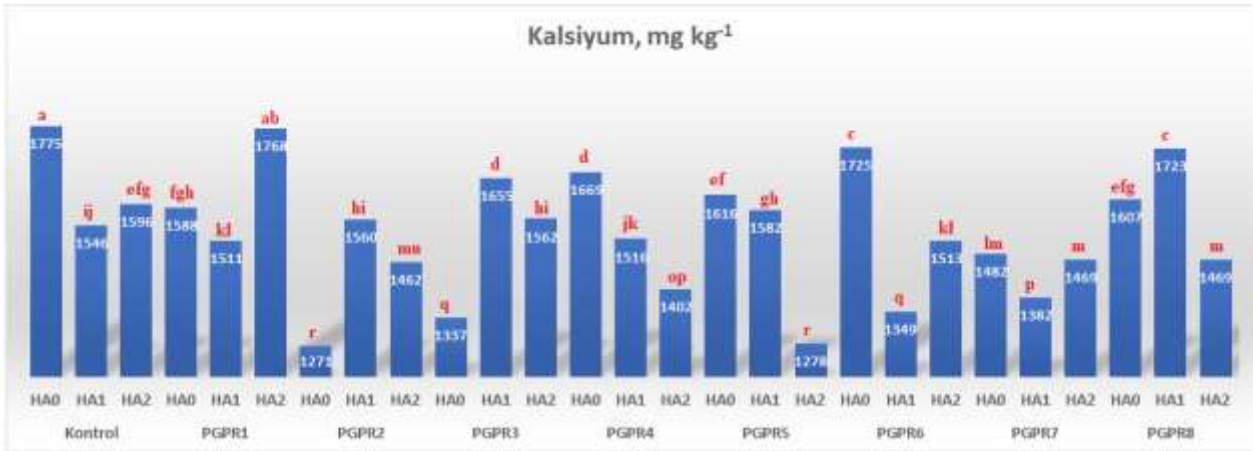
Şekil 2. Bakteri x humik asit interaksiyonunun Kirik buğdayının fosfor içeriğine etkisi, HA<sub>0</sub>; 0 mg kg<sup>-1</sup> humik asit, HA<sub>1</sub>; 1000 mg kg<sup>-1</sup> humik asit, HA<sub>2</sub>; 2000 mg kg<sup>-1</sup>; PGPR<sub>1</sub>-TV77B; *Bacillus subtilis*, PGPR<sub>2</sub>-TV60D; *Bacillus megaterium*, PGPR<sub>3</sub>-TV33A; *Hafnei alvei*, PGPR<sub>4</sub>-TV98A; *Bacillus psychrosaccharolyticus*, PGPR<sub>5</sub>-TV15B; *Bacillus atrophaeus*, PGPR<sub>6</sub>-TV99D; *Bacillus megaterium*, PGPR<sub>7</sub>-TV103B; *Bacillus subtilis*, PGPR<sub>8</sub>-TV108A; *Bacillus megaterium*, Lsd ( $p < 0.05$ ); 319

Genel olarak humik asitin 1000 mg kg<sup>-1</sup> uygulama dozu tüm bakteri uygulamalarında potasyum içeriğini kontrole göre artırmışken, 2000 mg kg<sup>-1</sup> humik asit uygulanmış ortamlarda potasyum içeriğinde düşüş gözlenmiştir. Bakteri uygulanmayan kontrol grubu bitkilerde (%1.799) kontrole göre HA<sub>1</sub> dozu (%2.109) %17.2 potasyum içeriğini artırmışken, HA<sub>2</sub> dozun (%1.798)'da belirgin bir düşüş belirlenmemiştir. PGPR<sub>1</sub> ve PGPR<sub>2</sub> olarak kodlanan bakteri uygulamalarında 1000 mg kg<sup>-1</sup> humik asit uygulamasına göre 2000 mg kg<sup>-1</sup> humik asit uygulamasında görülen potasyum içeriğinde düşüş azalmışken, PGPR<sub>3</sub>, PGPR<sub>4</sub>, PGPR<sub>5</sub>, PGPR<sub>6</sub>, PGPR<sub>7</sub> ve PGPR<sub>8</sub> olarak kodlanan bakterilerde daha fazla düşüş belirlenmiştir (Şekil 3).



Şekil 3. Bakteri x humik asit interaksiyonunun Kirik buğdayının potasyum içeriğine etkisi, HA<sub>0</sub>; 0 mg kg<sup>-1</sup> humik asit, HA<sub>1</sub>; 1000 mg kg<sup>-1</sup> humik asit, HA<sub>2</sub>; 2000 mg kg<sup>-1</sup>; PGPR<sub>1</sub>-TV77B; *Bacillus subtilis*, PGPR<sub>2</sub>-TV60D; *Bacillus megaterium*, PGPR<sub>3</sub>-TV33A; *Hafnei alvei*, PGPR<sub>4</sub>-TV98A; *Bacillus psychrosaccharolyticus*, PGPR<sub>5</sub>-TV15B; *Bacillus atrophaeus*, PGPR<sub>6</sub>-TV99D; *Bacillus megaterium*, PGPR<sub>7</sub>-TV103B; *Bacillus subtilis*, PGPR<sub>8</sub>-TV108A; *Bacillus megaterium*, Lsd ( $p < 0.05$ ); 0.084

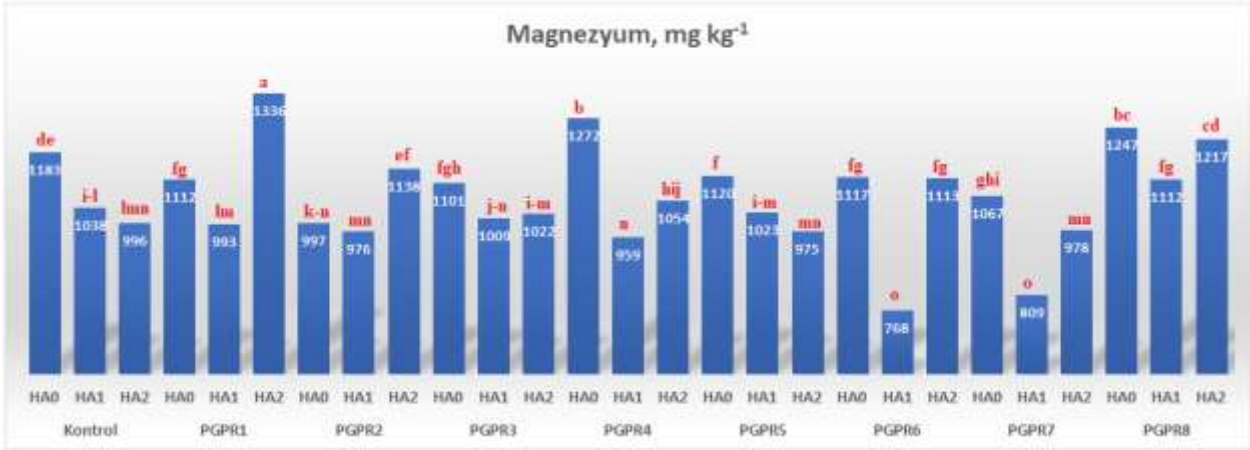
Bakteri uygulanmayan kontrol grubu bitkilerde humik asidin artan dozları kalsiyum içeriğinde düşüslere neden olmuştur. Humik asidin 0 mg kg<sup>-1</sup> uygulamasında 1775 mg kg<sup>-1</sup> olan kalsiyum içeriği Ha<sub>1</sub> uygulama dozunda 1546 mg kg<sup>-1</sup>'a, HA<sub>2</sub> uygulama dozunda 1596 mg kg<sup>-1</sup>'a düşmüştür. Bu düşüşler sırasıyla %14.8 ve %11.2 oranında gerçekleşmiştir. Bakterilerin varlığında humik asidin artan dozları Kirik buğdayının kalsiyum içeriğinde düşüşe ve artışa neden olmuştur. PGPR<sub>2</sub> olarak kodlanan bakteri uygulaması ile Kirik buğdayının kalsiyum içeriklerinde çok belirgin artışlar elde edilmiştir. Ha<sub>0</sub>xPGPR<sub>2</sub> uygulamasında 1272 mg kg<sup>-1</sup> olan kalsiyum içeriği HA<sub>1</sub>xPGPR<sub>2</sub> ve HA<sub>2</sub>xPGPR<sub>2</sub> uygulamalarında sırasıyla 1560 mg kg<sup>-1</sup> ve 1462 mg kg<sup>-1</sup>'a yükselmiştir. Bu artışlar sırasıyla %22.6 ve 14.9 oranında gerçekleşmiştir (Şekil 4).



Şekil 4. Bakteri x humik asit interaksiyonunun Kirik buğdayının kalsiyum içeriğine etkisi, HA<sub>0</sub>; 0 mg kg<sup>-1</sup> humik asit, HA<sub>1</sub>; 1000 mg kg<sup>-1</sup> humik asit, HA<sub>2</sub>; 2000 mg kg<sup>-1</sup>; PGPR<sub>1</sub>-TV77B; *Bacillus subtilis*, PGPR<sub>2</sub>-TV60D; *Bacillus megaterium*, PGPR<sub>3</sub>-TV33A; *Hafnei alvei*, PGPR<sub>4</sub>-TV98A; *Bacillus psychrosaccharolyticus*, PGPR<sub>5</sub>-TV15B; *Bacillus atrophaeus*, PGPR<sub>6</sub>-TV99D; *Bacillus megaterium*, PGPR<sub>7</sub>-TV103B; *Bacillus subtilis*, PGPR<sub>8</sub>-TV108A; *Bacillus megaterium*, Lsd ( $p < 0.05$ ); 29

Kirik buğdayının magnezyum içeriği bakteri uygulanmayan ortamlarda humik asidin artışı ile azalış göstermiştir. Humik asidin 0 mg kg<sup>-1</sup> uygulamasında 1183 mg kg<sup>-1</sup> olan magnezyum içeriği, Ha<sub>1</sub> uygulama dozunda 1038 mg kg<sup>-1</sup>'a, HA<sub>2</sub> uygulama dozunda 996 mg kg<sup>-1</sup>'a düşmüştür. Ortama bakteri uygulaması ile magnezyum içeriğindeki değişimler oldukça farklılık göstermiştir. Bazı bakteriler magnezyum içeriğini kontrol uygulamalarına göre artırmışken (HA<sub>0</sub>xPGPR<sub>4</sub> ve HA<sub>0</sub>xPGPR<sub>8</sub>), bazıları da azaltmıştır (HA<sub>0</sub>xPGPR<sub>2</sub>, HA<sub>0</sub>xPGPR<sub>3</sub>, HA<sub>0</sub>xPGPR<sub>5</sub>, HA<sub>0</sub>xPGPR<sub>6</sub> ve HA<sub>0</sub>xPGPR<sub>7</sub>). Humik asidin 2000 mg kg<sup>-1</sup> uygulandığı ortamlarda PGPR<sub>1</sub>, PGPR<sub>2</sub> ve PGPR<sub>8</sub> kodlu bakteriler magnezyum içeriğinde artış sağlamışken humik asidin 1000 mg

kg<sup>-1</sup> uygulandığı ortamlarda ise PGPR1, PGPR2, PGPR3, PGPR6, PGPR7, ve PGPR8 kodlu bakteriler düşüşe neden olmuşlardır (Şekil 5).



Şekil 5. Bakteri x humik asit interaksiyonunun Kirik buğdayının magnezyum içeriğine etkisi, HA<sub>0</sub>; 0 mg kg<sup>-1</sup> humik asit, HA<sub>1</sub>; 1000 mg kg<sup>-1</sup> humik asit, HA<sub>2</sub>; 2000 mg kg<sup>-1</sup>; PGPR<sub>1</sub>-TV77B; *Bacillus subtilis*, PGPR<sub>2</sub>-TV60D; *Bacillus megaterium*, PGPR<sub>3</sub>-TV33A; *Hafnei alvei*, PGPR<sub>4</sub>-TV98A; *Bacillus psychrosaccharolyticus*, PGPR<sub>5</sub>-TV15B; *Bacillus atrophaeus*, PGPR<sub>6</sub>-TV99D; *Bacillus megaterium*, PGPR<sub>7</sub>-TV103B; *Bacillus subtilis*, PGPR<sub>8</sub>-TV108A; *Lsd* ( $p < 0.05$ ); 45

Toprakların canlılığının vazgeçilmez unsurlarından olan mikroorganizmaların özel ortamlarda çoğaltılarak gübre amacıyla kullanımı günümüzde yaygınlaşmıştır. Ayrıca toprak düzenleyici olarak kullanımı yaygınlaşan humik asitin bitki yetiştirme ortamınlarıda bu mikroorganizmaların faaliyetleri üzerine etkilerinin belirlenmesi önem arz etmektedir.

Çalışmamızda humik asit uygulamalarının PGPR bakterilerinin Kirik buğdayının makro element içerikleri üzerine etkisi araştırılmıştır. PGPR bakterilerinin humik asidin varlığında makro element alınımı üzerine etkileri oldukça farklılık göstermiştir. Azot içeriği üzerine bakteri uygulamaları genelde kontrole göre artış sağlamıştır (Çizelge 3). Bu durum PGPR uygulamalarının bitkinin nitrat alımını ve nitrat redüktaz enziminin aktivitesini artırmaları (Oliveira ve ark., 2015) ve kök bölgesinde besin elementlerinin yarıyışlı miktarlarını artırmaları (Glick, 1995; İpek ve Eşitken, 2017) nedeniye gerçekleştirmektedirler. Yine humik asit uygulamalarının bitkinin azot içeriğinde artış sağladığı, bu durumun humik asit uygulamalarının toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik özellikleri üzerine olumlu etkisinden kaynaklanmış olabileceği düşünülmektedir. Humik asitxPGPR uygulamaları genel olarak azot içeriğinde en yüksek değere (HA<sub>2</sub>xPGPR<sub>2</sub>; %2.380) ulaştırmıştır. Bu durum humik asit ve bazı PGPR'ların birlikte uygulanmasının bitkilerin azot içeriğinde artışın daha fazla gerçekleşebileceğini ve özellikle azotlu gübre kullanımını azaltmak için iyi bir alternatif uygulama olabileceğini göstermektedir.

PGPR<sub>3</sub> ve PGPR<sub>7</sub> olarak kodlanan organizmalar haricinde diğer bakteriler bitkinin fosfor içeriğini kontrole göre artırmışlardır. En yüksek artış kontrole göre (3933 mg kg<sup>-1</sup>) PGPR<sub>2</sub> kodlu bakteri (4359 mg kg<sup>-1</sup>) uygulamasında elde edilmiştir. Burada PGPR<sub>1</sub> ve PGPR<sub>2</sub> bakterileri azot fikse eden bakteriler olmasına karşılık bitkinin fosfor alımını daha çok artırdıkları belirlenmiştir (Çizelge 3). Humik asit uygulamaları ile de bitkinin fosfor içeriğinde de artış elde edilmiştir. Kontrolde 3332 mg kg<sup>-1</sup> olan fosfor içeriği 2000 mg kg<sup>-1</sup> humik asit uygulamasında 4321 mg kg<sup>-1</sup>'a yükselmiştir. Gerek PGPR uygulamaları ile gerekse humik asit uygulamaları ile bitkinin fosfor içeriğinde elde edilen artışlar PGPR ve humik asit uygulamalarının toprakların alınabilir fosfor içeriğinde artışa neden olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Nitekim humik asitin ve bakterilerin ayrı ayrı veya birlikte uygulandığı benzer çalışmalarda hem toprakların hemde bitkilerin fosfor içeriğinde artışlar olduğu bildirilmektedir (Jamal ve ark., 2018; Sönmez ve Alp, 2019; Korkmaz ve ark., 2021). Humik asit uygulamaları ile topraklarda yararışlılığı yüksek olan humik asit-metal fosfat kompleks bileşiği (Weir ve Soper, 1963) ile suda çözünür fosfatın miktarında artış (Wang ve ark., 1995) sağlamakta ve böylece bu topraklardan bitkiler tarafından fosforun alınabilirliği artmaktadır. PGPR'ların toprakta var olan ve bitkiler tarafından alınabilirliği düşük olan fosfat bileşiklerini salgılamış oldukları organik asitler (Peret ve ark., 2014; Sözer Bahadır ve ark., 2018; Wu ve ark., 2018; Bectaoui ve ark., 2020) ile çözünürlüğünü artırmak yolu ile bitkilerce alınabilirliğini sağlamaktadırlar. Bazı PGPR'lar indol asetik asit salınımı yapmakta ve böylece bitkilerin besin element absorpsiyonunun fazla olduğu saçak kök

oluşumunu teşvik etmektedirler (Datta ve Basu, 2000; Sözer Bahadır ve ark., 2018). Humik ait ve PGPR'ların birlikte uygulanması ile bitkinin fosfor içeriğindeki artış en yüksek seviyelere çıkmış. Bu durum özellikle azot fikse eden bakteri ( $HA_2 \times PGPR_4$ ) uygulamalarında daha belirgin olduğu görülmüştür. Bu durum muhtemelen azot ve fosfor arasındaki sinergistik etkiden (Kacar ve Katkat, 2008) kaynaklanmıştır. Ayrıca humik asitin yetiştirme ortamlarına uygulanması sonucunda kök bölgesi rizosferinin pH'sında düşüş sağlamak için bitkilerin ortama daha fazla proton ( $H^+$ ) salgılamasını teşvik etmekte (Azevedo ve ark., 2019; Jing ve ark., 2020) ve böylece fosfor alımını artırmaya yardımcı olmaktadır.

Humik astin  $1000 \text{ mg kg}^{-1}$  uygulaması potasyum içeriğini artırmışken,  $2000 \text{ mg kg}^{-1}$  uygulaması kontrol ile aynı sonucu vermiştir (Şekil 3). Bakteri uygulamalarının humik asit uygulamalarında gözlenen potasyum içeriğindeki değişimlere etkisi oldukça farklılık göstermiştir. TV77B ve TV33A olarak kodlanana bakteriler potasyum içeriklerinde düşüşe neden olmuşken, diğer bakteriler hem artış hemde azalış şeklinde etkilerde bulunmuşlardır. Bu durum humik asitin uygulanması ile toprakların başta kation değişim kapasitesindeki artışın yanı sıra birçok fiziksel ve kimyasal özelliklerde iyileştirmeler sağlamasından kaynaklanmaktadır. Ayrıca humik asit uygulamaları, bitkilerin auxin ve sitokinin gibi hormon üretimini teşvik etmek (van Tol de Castro ve ark., 2021; Ampong ve ark., 2022) suretiyle besin element alımında değişimlere nede olmaktadır. Ortama ilave edilen  $1000 \text{ mg kg}^{-1}$  humik asit miktarı potasyum alımını artırmasına karşılık,  $2000 \text{ mg kg}^{-1}$  humik asit uygulaması dozunda ki düşüşün nedeni humik asitin toprakların KDK'sındaki getirmiş olduğu artış ile daha fazla yarıyışlı kation absorbe edebilmesinden kaynaklanmış olabilir. Nitekim Giannouli ve ark. (2009) humik asit uygulamalarının toprağın KDK'sını artırdığını bildirmişlerdir.

Kirik buğdayının kalsiyum içeriği humik asit uygulamaları ile azalış göstermiştir. Ortama PGPR aşılması ile kalsiyum içeriğindeki değişimler farklılık arz etmiştir.  $PGPR_1$ ,  $PGPR_2$ ,  $PGPR_3$  ve  $PGPR_8$  olarak kodlanan bakteriler humik asitin artışına karşılık bitkinin kalsiyum içeriğini kontrol uygulamalarına göre artırmışken,  $PGPR_2$ ,  $PGPR_4$ ,  $PGPR_5$  ve  $PGPR_7$  olarak kodlanan bakteriler ise bu düşüşü engelleyememiş hatta daha fazla azalışa neden olmuşlar (Şekil 4). Humik asit uygulamaları ile toprak pH'sında düşümler olduğu birçok çalışma ile bildirilmiştir (Rupiasih, 2005; Laskosky ve ark., 2020). Benzer olarak PGPR'ların üretmiş oldukları organik asitlerin (Bhattacharya ve ark., 1986) toprak pH'sında düşüşe neden olduğu bildirilmiştir (Çığ ve ark., 2021). Bunun sonucunda bitkilerin kalsiyum alımı azalmaktadır. Bitkinin potasyum alımındaki artış kalsiyum alımının azalmasında neden olmuş olabilir (Şekil 3).

Magnezyum içeriği bakteri uygulanmayan kontrol bitkilerinde uygulanan humik asit dozuna bağlı olarak azalış göstermiştir. Bakteri uygulamaları ile magnezyum içeriği hem artış hemde azalış şeklinde bir değişim göstermiştir.  $PGPR_1$  ve  $PGPR_2$  olarak kodlanan bakteri uygulamalarında artan humik asit dozlarında bitkinin magnezyum içeriğinde artışlar elde edilirken, diğer bakteri uygulamalarında azalışlar elde edilmiştir (Şekil 5). Gerek humik asit uygulamalarında gerekse PGPR uygulamalarında magnezyum içeriğindeki düşümler toprak pH'sında ki düşümlerin etkisinden kaynaklanmış olabileceği gibi potasyum ve amonyum ile magnezyum arasındaki rekabetin sonucu olarak köklerden daha az magnezyum absorpsiyonundan (Güneş ve ark. 2013) kaynaklanmış olabilir.

## Sonuç

Sonuç olarak PGPR'lar dolaylı mekanizmaları ile fitopatojenik mikroorganizmaya karşı antagonistik etkiye sahip olmaları (Bashan ve de-Bashan, 2005) ve doğrudan mekanizmalarında ise oksin, sitokininler ve giberellinler gibi bitki büyüme düzenleyicileri, inorganik fosfatın çözündürülmesi ve organik fosfatın ve/veya besin maddelerinin mineralizasyonu ve atmosferik azotun asimbiyotik fiksasyonu (Glick, 1995; Zahir ve diğerleri, 2004) yolu ile bitkilerin gelişmelerine olumlu yönde etki etmektedirler. PGPR uygulamalarının toprağın K, Ca, Mg, Fe, Mn ve Zn içeriklerinde artışlar sağladığıda bildirilmemtedir (Orhan ve ark., 2006). Bununda bir sonucu olarak bazı durumlarda bitkilerin makro ve mikro element alımında iyileşmeler sağlamaktadırlar. Humik asit uygulamaları ile toprağın mikrobiyal populasyon ve aktivitesinde (Li ve ark., 2019), emzim aktivitesinde (Maji ve ark., 2017), amonyum konsantrasyonunda artış sağlanması, nitrifikasyonun azalması (Dong ve ark., 2009), fosfataz aktivitesinde artış sağlanması (Sharma ve ark., 2013) ve KDK'da artış (Laskosky ve ark., 2020) sağlanmasının bir sonucu olarak bitkilerin kök ve kök üstü aksamında verim artışları, klorofil pigment içeriğinde ve besin element içeriklerinde önemli değişimler meydana gelmektedir (Delfine ve ark., 2005; Bybordi ve Ebrahimian, 2013; Rose ve ark., 2014; Khan ve ark., 2018; Olaetxea ve ark., 2020; Nasiroleslami ve ark., 2021). PGPR ve humik asit uygulamalarının birlikte uygulanmasının besin element içeriği bakımından büyük fayda sağlayacağı düşünülmektedir.



**Kaynaklar**

- Akinci Ş, 2011. Hüyük asitler, bitki büyümesi ve besleyici alımı. *Fen Bilimleri Dergisi*, 23(1), 46-56.
- Ampong K, Thilakarathna MS, Gorim LY, 2022. Understanding the role of humic acids on crop performance and soil health. *Frontiers in Agronomy*, <https://doi.org/10.3389/fagro.2022.848621>.
- Ay F, 2015. Hüyük asit ve hüyük asit kaynaklarının jeolojik ve ekonomik önemi. *Cumhuriyet Üniversitesi Fen Fakültesi Fen Bilimleri Dergisi (CFD)*, 36(1), 28-51.
- Azevedo IG, Olivares FL, Ramos AC, Bertolazi AA, Canellas LP, 2019. Humic acids and *Herbaspirillum seropedicæ* change the extracellular H<sup>+</sup> flux and gene expression in maize roots seedlings. *Chem. Biol. Technol. Ag.* 6, 8.
- Bashan Y, de-Bashan LE, 2005. Bacteria/plant growth-promotion. In: *Encyclopedia of Soils in the Environment*, ed. D. Hillel, pp. 103–115. Oxford: Elsevier.
- Bhattacharya P, Dey BK, Banik S, Nath S, 1986. Organic manures in relation to rhizosphere effect. IV. Effect of organic manures on phosphate solubilizing power of rice and succeeding wheat rhizosphere soils. *Zentralblatt für Microbiologie* 141, 357–365.
- Bechtaoui N, Raklami A, Benidire L, Tahiri A, Göttfert M, Oufdou K, 2020. Effects of PGPR Co-inoculation on growth, phosphorus nutrition and phosphatase/phytase activities of faba bean under different phosphorus availability conditions. *Pol. J. Environ. Stud.*, 29(2), 1557–1565.
- Çiğ F, Sönmez F, Nadeem MA, Sabagh AE, 2021. Effect of biochar and PGPR on the growth and nutrients content of einkorn wheat (*Triticum monococcum* L.) and post-harvest soil properties. *Agronomy*, 11, 2418.
- Çiğ F, Erman M, Ceritoğlu M, 2021. Combined Application of Microbial Inoculation and Biochar to Mitigate Drought Stress in Wheat. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 11(Special Issue): 3528-3538.
- Datta C, Basu PS, 2000. Indole acetic acid production by a *Rhizobium* species from root nodules of a leguminous shrub *Cajanus cajan*. *Microbiol Res.*, 155, 123-127.
- Delfine S, Tognetti R, Ersilio Desiderio AA, 2005. Effect of foliar application of N and humic acids on growth and yield of durum wheat. *Agron. Sustain. Dev.*, 25, 183–191. doi: 10.1051/agro:2005017.
- Dong L, Córdoba-Kreylos AL, Yang J, Yuan H, Scow KM, 2009. Humic acids buffer the effects of urea on soil ammonia oxidizers and potential nitrification. *Soil Biol. Biochem.*, 41, 1612–1621. doi: 10.1016/j.soilbio.2009.04.023.
- Ekin Z, 2019a. Integrated use of humic acid and plant growth promoting rhizobacteria to ensure higher potato productivity in sustainable agriculture. *Sustainability*, 11, 3417; doi:10.3390/su11123417.
- Ekin Z, 2019b. Co-Application of humic acid and bacillus strains enhances seed and oil yields by mediating nutrient acquisition of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) plants in a semi-arid region. *Applied Ecology and Environmental Research*, 18(1), 1883-190.
- Erman M, Çiğ F, Bakırtaş E, 2012. Farklı dozlarda hüyük asit ve rhizobium bakteri aşılmasının mercimekte verim, verim öğeleri ve nodülasyona etkileri. *Tarım Bilimleri Araştırma Dergisi*, 5(1), 64-67.
- Erman, M., Çakmakçı, R., Kotan, R., Çiğ, F., Karagöz, K., Sönmez, F., 2008. Isolation of plant growth promoting bacteria from the Van Lake Basin and investigation of their use in some cultural plants. *TÜBİTAK TOVAG* 108 O 147.
- Glick BR, 1995. The enhancement of plant growth by free-living bacteria. *Can. J. Microbiol.*, 41(2):109–117.
- Giannouli A, Kalaitzidis S, Siavalas G, Chatziapostolou A, Christanis K, Papazisimou S, 2009. Evaluation of Greek low-rank coals as potential raw material for the production of soil amendments and organic fertilizers. *Int. J. Coal Geol.*, 77, 383–393. doi: 10.1016/j.coal.2008.07.008
- Güneş A, 2007 Allüvyial materyaller üzerinde oluşan topraklarda yetiştirilen mısır bitkisinin (*Zea mays* L) verim ve besin içeriği üzerine organik ve mineral gübre uygulamalarının etkisi. *Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Toprak Anabilim Dalı yüksek lisans tezi. Erzurum.*
- Günes A, Alpaslan M, İnal A, 2013. *Plant Nutrition and Fertilization*, 3rd ed.; Ankara University Faculty of Agriculture Publications: Ankara, Turkey, p. 579.
- Hamidreza B, Sergei B, 2019. The effect of humic acid, plant growth promoting rhizobacteria and seaweed on essential oil, growth parameters and chlorophyll content in basil (*Ocimum basilicum* L.). *Agri Res& Tech: Open Access J.*, 19(4), 556103. doi: 10.19080/ARTOAJ.2019.19.556103.
- İmriz G, Özdemir F, Topal İ, Ercan B, Taş MN, Yakışır E, Okur O, 2014. Bitkisel üretimde bitki gelişimini teşvik eden Rizobakteri (PGPR)'ler ve etki mekanizmaları. *Elektronik Mikrobiyoloji Dergisi*, 12 (2), 1-19.
- İpek M, Eşitken M A, 2017. The actions of PGPR on micronutrient availability in soil and plant under calcareous soil conditions: An Evaluation over Fe Nutrition. In: Singh, D., Singh, H., Prabha, R. (eds) *Plant-*

- Microbe Interactions in Agro-Ecological Perspectives. Springer, Singapore. [https://doi.org/10.1007/978-981-10-6593-4\\_4](https://doi.org/10.1007/978-981-10-6593-4_4).
- Jamal A, Hussain I, Sarır MS, Sharif M, Fawad M, 2018. Investigating combination and individual impact of phosphorus and humic acid on yield of wheat and some soil properties. *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi*, 5(4), 492–500.
- Jing J, Zhang S, Yuan L, Li Y, Lin Z, Xiong Q, Zhao B, 2020. Combining humic acid with phosphate fertilizer affects humic acid structure and its stimulating efficacy on the growth and nutrient uptake of maize seedlings. *Sci Rep*, 10;17502 <https://doi.org/10.1038/s41598-020-74349-6>.
- Karaman MR, Şahin S, Geboloğlu N, Turan M, Güneş A, Tutar A, 2012. Hümik asit uygulamalması altında farklı domates çeşitlerinin (*Lycopersicon esculentum* L.) demir alım etkinlikleri. *Sakarya Üniversitesi, Fen Edebiyat Dergisi*, 14(1), 301–308.
- Khan RU, Khan MZ, Khan A, Saba S, Hussain F, Jan IU, 2018. Effect of humic acid on growth and crop nutrient status of wheat on two different soils. *J. Plant Nutr.*, 41, 453–460. doi: 10.1080/01904167.2017.1385807.
- Korkmaz A, Gezgin S, Yılmaz F, 2021. Organomineral ve kimyasal gübre ile farklı fosfor uygulamalarının silaj mısırın verimi ve fosfor kullanım etkinliği üzerine etkileri. *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi*, 36(2), 268 – 275.
- Kotan R, Tozlu AE, Güneş A, Dadaşoğlu F, 2021. Elma fidan yetiştiriciliğinde *Bacillus subtilis* içerikli bir mikrobiyal gübrenin kullanım olanaklarının belirlenmesi. *Atatürk Üniv. Ziraat Fak. Derg.*, 52(1), 46-55.
- Laskosky JD, Mante AA, Zvomuya F, Amarakoon I, Leskiw L, 2020. A bioassay of long-term stockpiled salvaged soil amended with biochar, peat, and humalite. *Agrosyst. Geosci. Environ.*, 3, e20068. doi: 10.1002/agg2.20068.
- Li Y, Fang F, Wei J, Wu X, Cui R, Li G, Zheng F, Tan D, 2019. Humic acid fertilizer improved soil properties and soil microbial diversity of continuous cropping peanut: A three-year experiment. *Sci. Rep.* 9, 1–9. doi: 10.1038/s41598-019-48620-4
- Livens FR, 1991. Chemical reactions of metals with humic material. *Environmental Pollution*, 70, 183.
- Maji D, Misra P, Singh S, Kalra A, 2017. Humic acid rich vermicompost promotes plant growth by improving microbial community structure of soil as well as root nodulation and mycorrhizal colonization in the roots of *Pisum sativum*. *Appl. Soil Ecol.*, 110, 97–108. doi: 10.1016/j.apsoil.2016.10.008.
- Nasiroleslami E, Mozafari H, Sadeghi-Shoae M, Habibi D, Sani B, 2021. Changes in yield, protein, minerals, and fatty acid profile of wheat (*Triticum aestivum* L.) under fertilizer management involving application of nitrogen, humic acid, and seaweed extract. *J. Soil Sci. Plant Nutr.*, 21, 2642–2651. doi: 10.1007/s42729-021-00552-7.
- Olaetxea M, Mora V, Baigorri R, Zamarreño AM, García-Mina JM, 2020. The singular molecular conformation of humic acids in solution influences their ability to enhance root hydraulic conductivity and plant growth. *Molecules*, 26, 7–10. doi: 10.3390/molecules26010003.
- 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, 38–43.
- Olivares FL, Aguiar NO, Rosa RCC, Canellas LP, 2015. Substrate biofortification in combination with foliar sprays of plant growth promoting bacteria and humic substances boosts production of organic tomatoes. *Sci. Hortic.*, 183, 100–108.
- Peker C, Kural O, 1979. Linyitlerin gübre olarak değerlendirilmesi. *Kimya Mühendisliği Dergisi*, 95; 35-38.
- Péret B, Desnos T, Jost R, Kanno S, Berkowitz O, Nussaume L, 2014. Root architecture responses: In search of phosphate. *Plant Physiol.*, 166 (4), 1713.
- Rose MT, Patti AF, Little KR, Brown AL, Jackson WR, Cavagnaro TR, 2014. A meta-analysis and review of plant-growth response to humic substances: Practical implications for agriculture. *Adv. Agron.*, 124, 37–89. doi: 10.1016/B978-0-12-800138-7.00002-4.
- Rupiasih NN, 2005. A review: Compositions, structures, properties and applications of humic substances. *J. Adv. Sci. Technol.*, 8, 16–25.
- Sharma SB, Sayyed RZ, Trivedi MH, Gobi TA, 2013. Phosphate solubilizing microbes: Sustainable approach for managing phosphorus deficiency in agricultural soils. *Springerplus* 2, 587. doi: 10.1186/2193-1801-2-587.
- Sonkurt, M., Çiğ, F., 2019. The effect of plant growth-promoting bacteria on the development, yield and yield components of bread (*Triticum aestivum* L.) and durum (*Triticum durum*) wheats. *Applied Ecology and Environmental Research*, 17 (2): 3877-3896.

- Soylu EM, Soyly S, Kara M, Kurt Ş, 2020. Sebzelerde sorun olan önemli bitki fungal hastalık etmenlerine karşı vermikomposttan izole edilen mikrobiyomların in vitro antagonistik etkilerinin belirlenmesi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Tarım ve Doğa Dergisi, 23 (1), 7-18.
- Söğüt S, Çığ F, 2019. Determination of the effect of plant growth promoting bacteria on wheat (*Triticum aestivum* L.) development under salinity stress conditions. Applied Ecology and Environmental Research 17(1):1129-1141.
- Sönmez İ, Kaplan M, Sönmez S, 2008. kimyasal gübrelerin çevre kirliliği üzerine etkileri ve çözüm önerileri. Batı Akdeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü Derim Dergisi, 25(2), 24-34.
- Sönmez F, Alp Ş, 2019. The effects of applications humic acids on macronutrient, micronutrient, heavy metal and soil properties. YYÜ Tar Bil Derg., 29(4), 809-816.
- Sözer Bahadır P, Liaqat F, Eltem R, 2018. Plant growth promoting properties of phosphate solubilizing *Bacillus* species isolated from the Aegean Region of Turkey. Turkish Journal of Botany 42, 183-196.
- Stevenson FJ, 1994. Humus Chemistry: Genesis, Composition, Reactions. 2nd. Edition, John Wiley and Sons, Inc, New York, pp. 285.
- Şahin U, İkinci M, Yıldırım E, Kızıloğlu MF, 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.
- Tozlu E, Karagöz K, Babagil GE, Dizikısa T, Kotan R, 2012. Effect of some plant growth promoting bacteria on yield, yield components of dry bean (*Phaseolus vulgaris* L. cv. Aras 98). Atatürk Üniv. Ziraat Fak. Derg., 43(2), 101-106.
- Tuncalı E. Çiftçi B, Yavuz N, Toprak S, Köker A, Ayçık H, Gencer Z, Şahin N, 2002. Chemical and technological properties of turkish tertiary coals. General Directorate Of Mineral Research And Exploration, 353-400, Ankara.
- Tunçtürk R, Kulaz H, Çiftçi V, 2016. Farklı rhizobium suşları ve organik gübre uygulamalarının çemen (*Trigonella foenum-graecum* L.)' de bazı tarımsal karakterler üzerine etkisi. YYÜ Tarım Bilimleri Dergisi, 26(4), 475-483.
- Tüzüner A, 1990. Toprak ve Su Analizleri Laboratuvarları El Kitabı. Tarım ve Köy İşleri Bakanlığı, Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü. Ankara.
- van Tol de Castro TA, Berbara RLL, Tavares OCH, Mello DF, Da G, Pereira EG, 2021. Humic acids induce a eustress state via photosynthesis and nitrogen metabolism leading to a root growth improvement in rice plants. Plant Physiol. Biochem., 162, 171-184. doi: 10.1016/j.plaphy.2021.02.043.
- Wang X, Wang Z, Li S, 1995. The effect of humic acids on the availability of phosphorus fertilizers in alkaline soils, Soil use and management, 11(2), 99-102.
- Weir CC, Soper RJ, 1963. Interaction of phosphates with ferric organic complexes. Canadian Journal of Soil Science, 43, 393-399.'
- Wu L, Kobayashi Y, Wasaki J, Koyama H, 2018. Organic acid excretion from roots: a plant mechanism for enhancing phosphorus acquisition, enhancing aluminum tolerance, and recruiting beneficial rhizobacteria. Soil Sci. Plant Nutr., 64(6), 697.
- Yılmaz C, 2007. Hümik ve Fülvik Asit. Hasad Bitkisel Üretim, Ocak, 260 74.
- Zahir AZ, Arshad M, Frankenberger WT, 2004. Plant growth promoting rhizobacteria: Applications and perspectives in agriculture. Advances in Agronomy, 81: 97-168.