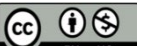


Biyostimulant uygulamalarının fasulyede fosforun yararlanılabilirliği ve verim üzerinde etkisi

Effect of biostimulant applications on phosphorus availability and yield in beans

Serap ASLAN¹ , Melek EKİNCİ¹ , Ertan YILDIRIM¹ 

¹Atatürk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü, Erzurum, Türkiye.

ARTICLE INFO	ÖZET
Article history: Recieved / Geliş: 07.05.2025 Accepted / Kabul: 04.07.2025 Anahtar Kelimeler: Biyostimulant Fosfor Fasulye Bitki gelişimi verim Keywords: Biostimulant Phosphorus Bean Plant growth Yield ✉Corresponding author/Sorumlu yazar: Ertan YILDIRIM ertanyil@atauni.edu.tr	Bu çalışmada farklı formda fosfor içeren gübrelere birlikte uygulanan biyostimulantların fasulyede bitki gelişimi ve verimi üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Çalışmada 6 farklı kombinasyondan oluşan uygulamalar [B1: Diamonyum fosfat (DAP), B2: DAP+humik asit (HA)+bakteri, enzim hormon (BEH), B3: kaya fosfat (KF), B4: KF+HA+BEH, B5: DAP+HA+BEH+salisilik asit (SA)+fulvik asit (FA) ve B6: KF+HA+BEH+SA+FA] bitki kök bölgesine topraktan uygulanmıştır. Uygulamaların bitki boyu, gövde çapı, yaprak alanı, bitki başına bakla sayısı, bitki başına bakla ağırlığı, bitki yaş ağırlığı, kök yaş ağırlığı, bitki kuru ağırlığı, kök kuru ağırlığı, klorofil içeriği ile yaprak mineral madde içeriği üzerine etkileri incelenmiştir. Ayrıca toprak mineral madde içeriği, pH, EC, kireç ve organik madde içerikleri de değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre uygulamalar arasında istatistiksel olarak önemli farklılıkların olduğu, farklı formda fosfor içeren gübrelere birlikte uygulanan biyostimulantların bitkilerde kontrol bitkilerine göre bitki boyu, gövde çapı, yaprak alanı, bitki ve kök gelişimi, klorofil içeriği, bakla verimi, bakla sayısı ve bakla ağırlığı üzerinde olumlu yönde etkiler yaptığı tespit edilmiştir. Ayrıca bitki ve toprak mineral içeriğinde de uygulamaların iyileştirici etkisi belirgin olmuştur. Özellikle farklı kaynaklardan oluşturulan biyostimulant formülasyonlarının fosfor gübresi ile birlikte kullanımının fasulye bitkisinde bitki büyümesi, verim ve kalite yönünden olumlu etkiler sağlamanın yanı sıra gübre kullanım etkinliğini artırması ve sürdürülebilir tarımda uygulanabilmesi açısından faydalı olabileceği düşünülmektedir.
	ABSTRACT In this study, the effects of biostimulants applied together with different forms of phosphorus-containing fertilizers on plant growth and yield in bean were investigated. In the study, applications consisting of 6 different combinations (B1: Diammonium phosphate (DAP), B2: DAP+humic acid (HA)+bacteria, enzyme hormone (BEH), B3: rock phosphate (KF), B4: KF+HA+BEH, B5: DAP+HA+BEH+salicylic acid (SA)+fulvic acid (FA) and B6: KF+HA+BEH+SA+FA) were applied to the plant root zone through the soil. The effects of the applications on plant height, stem diameter, leaf area, number of pods per plant, pod weight per plant, plant fresh weight, root fresh weight, plant dry weight, root dry weight, chlorophyll content and leaf mineral content were investigated. Additionally, soil mineral content, pH, EC, lime and organic matter contents were also evaluated. According to the results obtained, it was determined that there were statistically significant differences between the applications and that biostimulants applied together with fertilizers containing different forms of phosphorus had positive effects on plant height, stem diameter, leaf area, plant and root development, chlorophyll content, pod yield, pod number and pod weight in plants compared to control plants. In addition, the amendatory effect of the applications on plant and soil mineral content has been evident. It is thought that the use of biostimulant formulations, especially those produced from different sources, together with phosphorus fertilizer will provide positive effects on bean plants in terms of plant growth, yield and quality, as well as increasing fertilizer use efficiency and being applicable in sustainable agriculture.
Makale Uluslararası Creative Commons Attribution-Non Commercial 4.0 Lisansı kapsamında yayınlanmaktadır. Bu, orijinal makaleye uygun şekilde atıf yapılması şartıyla, eserin herhangi bir ortam veya formatta kopyalanmasını ve dağıtılmasını sağlar. Ancak, eserler ticari amaçlar için kullanılamaz. © Copyright 2022 by Mustafa Kemal University. Available on-line at https://dergipark.org.tr/tr/pub/mkutbd This work is licensed under a Creative Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.  	
Cite/Atıf	Aslan, S., Ekinci, M., & Yıldırım, E. (2026). Biyostimulant Uygulamalarının Fasulyede Fosforun Yararlanılabilirliği ve Verim Üzerinde Etkisi. <i>Mustafa Kemal Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi</i>, 31(1), 14-27. https://doi.org/10.37908/mkutbd.1694330

GİRİŞ

Dünya nüfusun hızla artması, çarpık kentleşme ve buna bağlı olarak tarım alanlarının giderek azalmasıyla birlikte tarımsal gıdalara erişim gün geçtikçe zorlaşmaktadır. Tarım ürünleri üretiminin talebi karşılamada yetersiz kalması, üretim maliyetlerinin artması, sürekli ürün yetiştirilen topraklarda bulunan elementlerin üretime bağlı olarak tükenmesi vb. sebeplerle mevcut tarım alanlarında verim ve kaliteyi arttırıcı tedbirleri almak zorunlu bir ihtiyaç haline gelmiştir. Bu amaçla toprakta miktarı azalan bitki besin elementlerini yerine koymak, bitkinin bu maddeleri kolayca alabilmesini sağlamak amacıyla çeşitli girdiler kullanılmaktadır.

Tarımsal üretimde bitki büyüme, gelişme, verim ve kalitesinde gübreleme önemlidir. Bitkinin ihtiyaç duyduğu bir elementin eksikliği gidermenin en etkili yolu gübrelemedir. Genellikle toprakta temel elementlerin çoğu bitkilerin ihtiyaç duyduğu miktarda bulunmakla birlikte özellikle N, P ve K gibi besinlerin gübreleme ile bitkiye verilmesi gerekmektedir. Zira bitkiler genellikle ortamdaki N'u diğer besin maddelerinden çok alırken, ardından P ve K gelmektedir (Wang ve ark., 2021; Yahaya ve ark., 2023). Bu besin maddelerinin bitki büyüme ve gelişimindeki pozitif etkisinin yanı sıra fazlalıkları da olumsuzluklar ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle gübreleme bitkinin yanı sıra çevre ve insan sağlığı için de dikkat edilmesi gereken bir uygulamadır. Gübreler, uygulama oranları toprak verimlilik durumuna ve bitki gereksinimlerine bağlı olarak, temel bitki elementleri ve bu elementleri içeren bileşikler ile sağlanmaktadır. Fosfor minerali bitkiler için azottan sonra en fazla ihtiyaç duyulan mineraldir. Fosfat içeren kayalarda doğal olarak katı formda bulunmaktadır. Hidroksiapatit fosfat gübresi üretiminde kullanılan fosfatın ana kaynağı olup, yaygın olarak üretilen fosfatlı gübreler içinde süperfosfat, monoamonyum fosfat, triple süperfosfat ve diamonyum fosfat (DAP) yer almaktadır (Xiong ve ark., 2018, Sinha & Tandon, 2020; Yahaya ve ark., 2023). Düşük çözünürlüğe rağmen kaya fosfatı, toprak koloidleriyle reaksiyona girmesi nedeniyle bitkiler tarafından sınırlı ölçüde kullanılabilir. Bu nedenle topraklarda P eksikliği söz konusu olup, fosfatlı gübrelerle ihtiyaç duyulmakta ve çözünürlüklerine bağlı olarak farklı P gübre formları şeklinde üretilip kullanılmaktadır (Shen ve ark., 2011, Bindraban ve ark., 2020, Yahaya ve ark., 2023).

Biyostimulantlar bitki gelişimi, ürün kalitesi ve verimi ile bitkilerin strese dayanımını artırmada önemli rol oynayan, bitkilere tohumdan, topraktan ve yapraktan uygulanabilen, içeriğinde organik veya inorganik bileşikler ile mikroorganizmalar bulundurabilen, ayrıca bazı gruplarında pozitif yönde toprak düzenleyici etkileri de bulunan maddelerdir. Biyostimulantlar olarak amino asitler ve diğer azotlu bileşikler, humik ve fulvik asitler, kitin ve kitosan benzeri polimerler, deniz yosunu ve bitki ekstraktları, inorganik bileşikler, yararlı mantarlar ve yararlı bakteriler kullanılmaktadır (Kulahtaş & Çokuysal, 2016). Biyostimulant olarak kullanılan bitki büyümesini teşvik eden bakteriler bitki gelişimi ve veriminde artış sağlamaları nedeniyle son yıllarda önemli bir yere sahip olmuş ve kullanımları gün geçtikçe artmıştır. Bakteriler bitkilerde büyüme hormonlarının üretimini ve fosfor gibi bazı minerallerin alınımını artırır, etilen sentezini engeller, siderofor, vitamin ve antibiyotik üretirler, strese toleransı ve bitkilerde hastalıklara karşı dayanıklılığı uyarırlar (Chen & Roberson, 1996; Pal ve ark., 2000; Romerio, 2000). Ayrıca biyostimulant etkileri nedeniyle humik maddeler de besin alımı, asimilasyonu ve dağıtımı, bitki büyümesi ve stres toleransı sağlaması gibi bitki metabolizmasında etkin bir role sahiptirler. Bu nedenle tarımsal üretimde humik maddelerin dışsal uygulaması yoğun bir şekilde yapılmaktadır (Canellas ve ark., 2015). Çeşitli hormonları içeren biyostimulanlar da özellikle ürün kalitesini artırmak ve çevresel streslerin olumsuz etkilerini azaltmak için tercih edilmektedir (Jahan ve ark., 2024). Biyostimulanların gerek normal gerekse stres koşulları altında besin alımını artırdığı ve bu özellikleriyle verimi olumsuz etkilemeden gübre kullanımını azaltmada etkin bir şekilde kullanılabileceği belirtilmektedir (Halpern ve ark., 2015).

Fasulye, dünyada ve ülkemizde yoğun olarak yetiştirilmekte ve tüketimi yapılmakta olup, taze, kuru, konserve ve turşu gibi farklı şekillerde değerlendirilmektedir. Yoğun talep edilmesi nedeniyle yetiştiriciliğinin sağlıklı ve sürdürülebilir olması önem arz etmektedir. Yetiştiriciliğinde maksimum verim elde etmek için doğru gübre uygulaması önemlidir. N, P ve K fasulyenin sağlıklı büyümesi ve üretimi için gerekli olan temel besin maddeleridir.

Fasulye toprak rizobiyasıyla atmosferik azotu (N₂) toprağa sabitleyebilen baklagillerden olsa da, N, P ve K gibi besin maddelerine ihtiyaç duyulmakta ve besin eksikliği olan topraklarda fasulye üretiminde verim çeşitli gübrelerin uygulanmasıyla büyük ölçüde artırılabilir (Ndakidemi ve ark., 2006). Fosfor gübrelemesine fasulye yetiştiriciliğinde önem verilmektedir. Nitekim fasulyenin verimi P uygulamasıyla artmakta, P ayrıca fasulyede nodülasyon ve atmosferik azot fiksasyonunda da olumlu etkili sağlamaktadır (Zewdie & Hassen, 2021).

Bitkilerin ihtiyacı olan fosfor gübre olarak uygulanırken toprak özelliği, iklim, gübredeki bitki besin elementlerinin miktarı ve yetiştirilen bitki dikkate alınmalıdır. Bitkiler tarafından fosfor kullanım etkinliği üzerine toprağa uygulanacak fosforlu gübre miktarının doğru olarak belirlenmesi de üzerinde durulması gereken başka bir önemli konudur (Kaçar, 2013). Bu nedenle yapılan bu çalışmada, farklı formda fosfor içeren gübrelerle birlikte uygulanan bakteri, enzim, hormon, humik asit ve fulvik asit içeren biyostimulant karışımlarının fasulyede bitki büyümesi, verim ve kalite parametreleri üzerindeki etkileri araştırılmıştır.

MATERYAL ve YÖNTEM

Bu araştırma 2023 yılında Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Bahçe Bitkileri Bölümü sera ve laboratuvarında yürütülmüştür. Araştırmada bitkisel materyal olarak ülkemizde yaygın olarak yetiştiriciliği yapılan, güçlü bitki yapısı ve yana kol atarak gelişen oturak çalı tipinde Gina fasulye çeşidi (*Phaseolus vulgaris* L.) kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan saksılar 2:1:1 (v:v) oranında hazırlanmış toprak:kum:torf karışım ile doldurulmuş ve serada deneme tezgâhlarının üzerine rastgele yerleştirilmiştir.

Saksılar her bir uygulama için 3 tekerrür ve her tekerrürde 3 bitki olacak şekilde gruplandırılmış ve hazırlanan biyostimulant solüsyonları (Çizelge 1) saksılara tohum ekimi yapılacak ocaklara (50 ml) uygulanmıştır. Daha sonra tohumlar yaklaşık 2-3 cm derinliğe gelecek ve aynı ocağa 3 tohum düşecek şekilde ekilmiş ve can suyu verilmiştir. Çimlenen tohumlar toprak yüzeyine çıktıktan sonra her ocakta bir bitki kalacak şekilde seyreltme yapılmıştır. Sera içi sıcaklık ölçümü günlük olarak yapılmış ve ortalama sıcaklık gündüz 25±5 °C gece 18±5 °C ve ortalama nem %55±5 olarak ölçülmüştür.

Bitkiler tohum ekiminden bir hafta sonra toprak yüzeyine çıkmaya başlamış olup, bitkiler büyüyüp oluşan baklalar hasat edilerek ve yaklaşık dört ay sonra çalışma sonlandırılmıştır. Çalışmada süresince ve sonunda bitki boyu, gövde çapı, yaprak alanı, bitki başına bakla sayısı, bitki başına bakla ağırlığı, bitki yaş ağırlığı, kök yaş ağırlığı, bitki kuru ağırlığı, kök kuru ağırlığı, yaprak klorofil miktarları ile yaprak N, P, K, Ca, Mg, S, Mn, Fe, Zn, B, Cu, Na ve Cl içeriği gibi çeşitli ölçüm ve analizler yapılmıştır. Ayrıca toprak N, P, K, S Na, B, Cu, Fe, Zn, Mn, pH, EC, kireç ve organik madde içeriği belirlenmiştir.

Yaprak alanı ölçümü için CI-202 taşınabilir yaprak alanı ölçer cihazı kullanılırken, klorofil ölçümü için Thermo Scientific Multiscan GO cihazı kullanılmıştır. Bitkilerin klorofil içerikleri spektrofotometrik olarak 645 ve 663 nm dalga boylarında mg g⁻¹ taze ağırlık olarak belirlenmiştir. Klorofil a, klorofil b ve toplam klorofil içerikleri Lichtenthaler ve Wellburn (1983) ve Wellburn (1994) yöntemine göre hesaplanmıştır.

Bitki, kök ve baklaların yaş ağırlıkları hassas terazi ile tartılarak tespit edildikten sonra, etüvde 50 °C de 48 saat kurutulup tartılmış ve kuru ağırlık olarak kaydedilmiştir.

Yaprak örneklerinin azot içeriği, Micro Kjeldahl yaş yanma yöntemi kullanılarak belirlenirken (Bremner, 1996), diğer mineral içerikleri spektrofotometrik (Optima 2100 DV ICP/OES, Perkin-Elmer, Shelton, CT) yöntem ile ölçüldü (Mertens 2005a, 2005b).

Toprak örneklerinin analizleri (pH, organik madde, EC, CaCO₃ ve mineral içeriği) McLean (1982), Nelson & Sommers (1982) ve Rhoades (1982) tarafından belirtilen yöntemlere göre yapılmıştır.

Çizelge 1. Çalışmada kullanılan biyostimulant uygulamaları ve içerikleri

Table 1. Biostimulant applications and contents used in the study

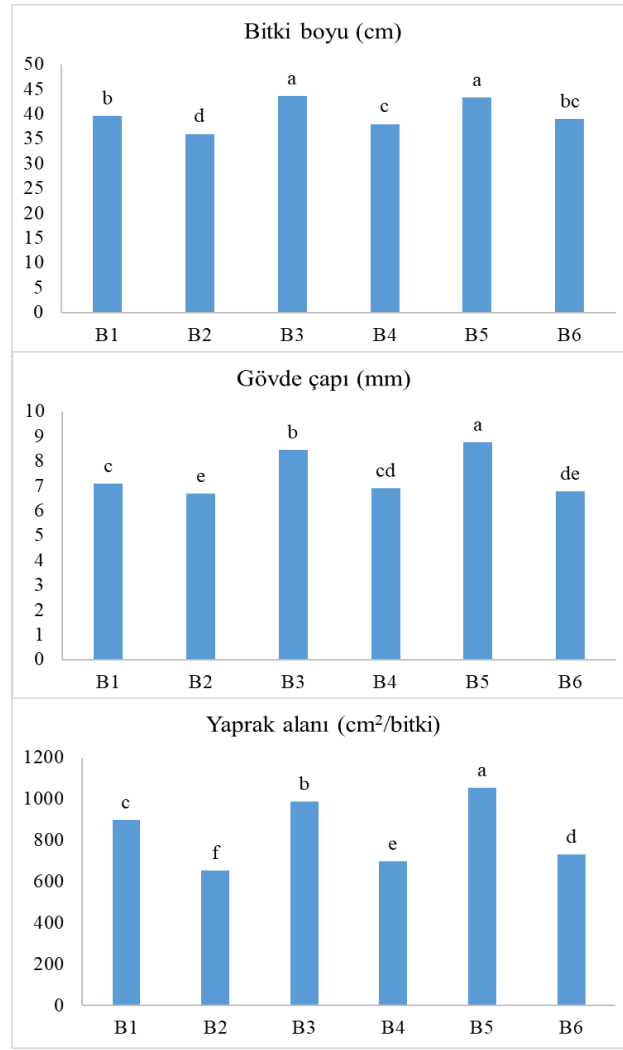
UYGULAMA	UYGULAMA İÇERİĞİ
B1	Diamoyum fosfat (DAP)
B2	DAP+humik asit (HA) + bakteri (<i>Paenibacillus polymyxa</i> , <i>Pseudomonas fluorencens</i> , <i>Bacillus megaterium</i> , <i>B. pumulis</i> , <i>B. subtilis</i> , <i>B. amyloliquefaciens</i> , <i>B. licheniformis</i> , <i>Azobacter chroococcum</i> , <i>Azospirillum brasilense</i>) + enzim (proteaz, ksilinaz, selulaz/hemuselor, fitar)+hormon (6-benziylaminoprine, IAA ve GA) (BEH)
B3	Kaya fosfat (KF)
B4	KF+HA+BEH
B5	DAP+HA+BEH+ salisilik asit (SA)+ fulvik asit (FA)
B6	KF+HA+BEH+SA+FA

Çalışma 6 uygulama, 3 tekerrür ve her tekerrürde 3 bitki olmak üzere tesadüf parselleri deneme deseninde toplamda 54 bitki ile düzenlenmiştir. Araştırma sonucunda elde edilen veriler SPSS programı kullanılarak varyans analizine tabi tutulmuş ve Duncan çoklu karşılaştırma testi ile istatistik analizi yapılmıştır (SPSS, 2010).

BULGULAR ve TARTIŞMA

Çalışmada farklı formülasyonlardan oluşan biyostimulant uygulamalarının fasulyede bitki büyümesi ve bakla gelişimi üzerine etkileri istatistiksel olarak önemli bulunmuş ve elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

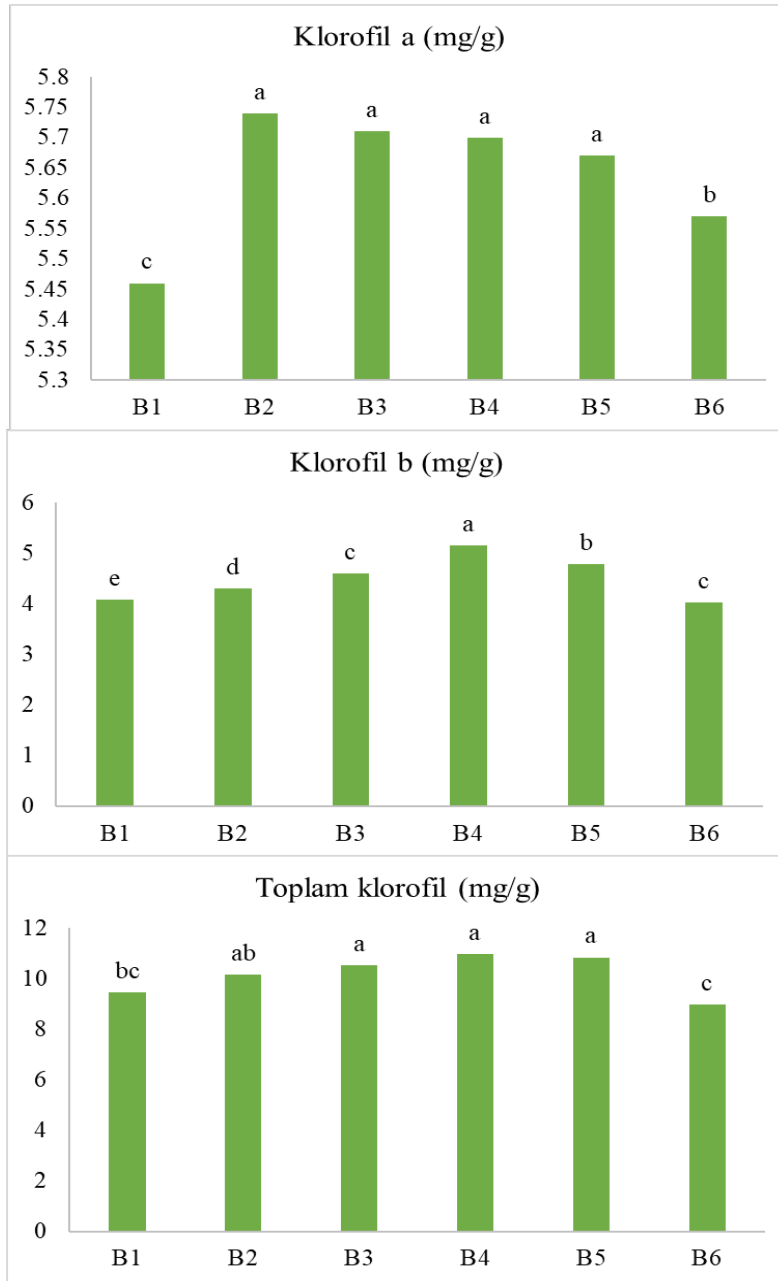
Bitki boyu en yüksek B3 (43.67 cm) ve B5 (43.33 cm) uygulamalarında, en düşük bitki boyu ise B6 (36.00 cm) uygulamasıyla elde edilmiş DAP kaynaklı uygulamalarda genel olarak KF içerikli uygulamalara göre bitki boyunda artış görülmüştür (Şekil 1).



Şekil 1. Uygulamaların fasulyede bitki boyu, gövde çapı ve yaprak alanı içeriği üzerine etkileri. Aynı harfle verilen ortalamalar arasında %5 seviyesinde istatistiksel olarak fark bulunmamaktadır.

Figure 1. Effects of applications on plant height, stem diameter and leaf area content in bean. There is no statistical difference ($p < 0.001$) at the 5% level between the means given with the same letter.

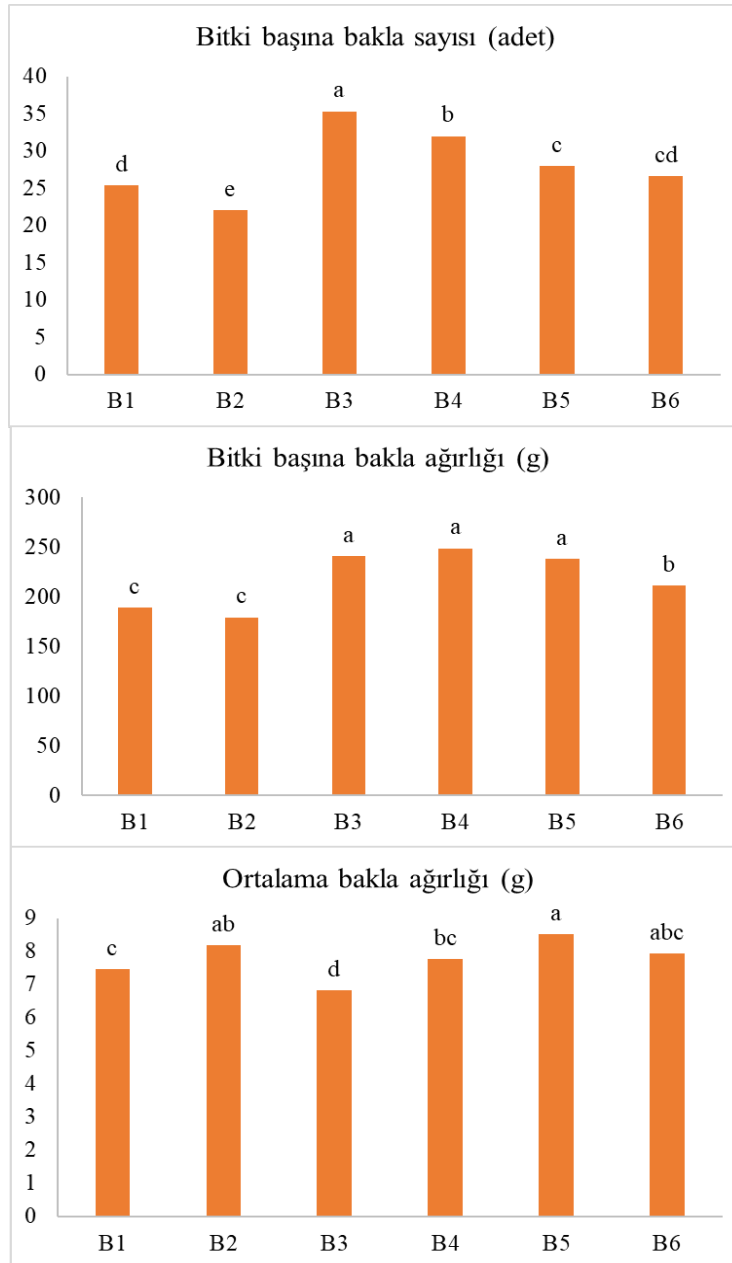
En yüksek gövde çapı (8.76 mm) ve yaprak alanı (1054.77 cm² bitki⁻¹) B5 uygulamasında, en düşük gövde çapı (6.69 mm) ve yaprak alanı (654.53 cm² bitki⁻¹) ise B6 uygulamasında görülmüştür. Bu veriler, SA ve FA eklemelerinin ve DAP bazlı uygulamaların daha iyi sonuç verdiğini göstermiştir (Şekil 2). Klorofil içeriği bakımından da uygulamaların etkisi önemli bulunmuştur. En yüksek klorofil a içeriği B2 (5.74 mg g⁻¹), B3 (5.71 mg g⁻¹), B4 (5.70 mg g⁻¹) ve B5 (5.67 mg g⁻¹) uygulamalarında meydana gelmiş, B1 ve B6 uygulamalarında klorofil içeriği düşük çıkmıştır. Benzer şekilde klorofil b içeriği en düşük B1 (4.09 mg g⁻¹) ve B6 (4.03 mg g⁻¹) uygulamalarında belirlenirken, en yüksek B4 (5.15 mg g⁻¹) uygulamasında ölçülmüştür. Toplam klorofil içeriği B3 (10.54 mg g⁻¹) B4 (10.98 mg g⁻¹) ve B5 (10.85 mg g⁻¹) uygulamalarında diğer uygulamalara göre daha yüksek olmuştur. B6 (8.97 mg g⁻¹) uygulamasındaki bitkilerde toplam klorofil içeriği en düşük seviyede olmuştur (Şekil 2).



Şekil 2. Uygulamaların fasulyede klorofil a, klorofil b ve toplam klorofil içeriği üzerine etkileri. Aynı harfle verilen ortalamalar arasında %5 seviyesinde istatistiksel olarak fark bulunmamaktadır.

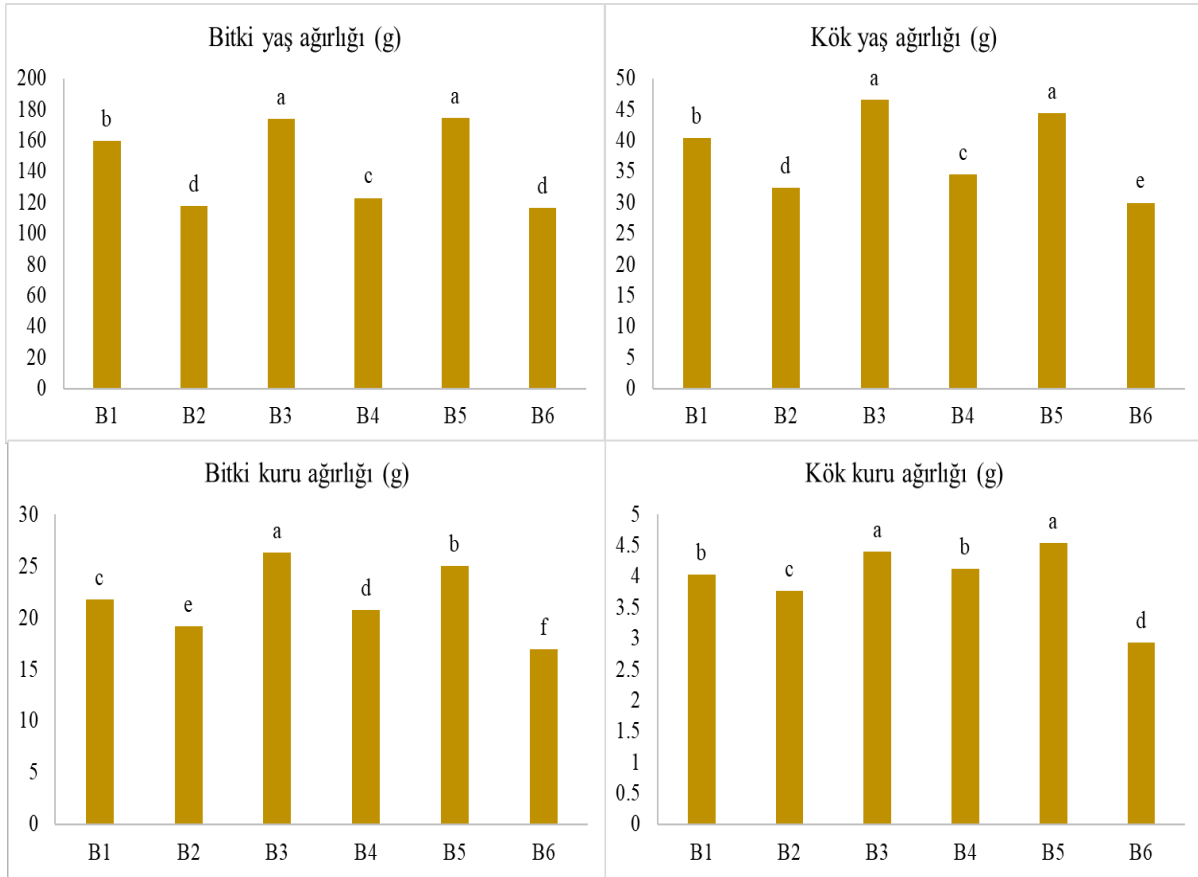
Figure 2. Effects of applications on chlorophyll a, chlorophyll b and total chlorophyll content in beans. There is no statistical difference ($p < 0.001$) at the 5% level between the means given with the same letter.

B3 uygulamasında (35.33 adet) bitki başına en yüksek bakla sayısı meydana gelirken, B2 uygulamasındaki (22.00 adet) bakla sayısı en düşük olmuştur. Bitki başına bakla ağırlığında en yüksek değerleri B3 (241.37 g), B4 (248.89 g) ve B5 (238.41 g) uygulamalarında en düşük ise B2 (179.37 g) uygulamasında elde edilmiştir. B5 (8.53 g) uygulaması ile ortalama bakla ağırlığı en yüksek değeri verirken B3 uygulaması (6.83 g) ise ortalama bakla ağırlığında en düşük değeri vermiştir (Şekil 3).



Şekil 3. Uygulamaların fasulyede bitki başına bakla sayısı, bitki başına bakla ağırlığı ve ortalama bakla ağırlığı üzerine etkileri. Aynı harfle verilen ortalamalar arasında %5 seviyesinde istatistiksel olarak fark bulunmamaktadır. *Figure 3. Effects of applications on the number of pods per plant, pod weight per plant and average pod weight in beans. There is no statistical difference ($p < 0.001$) at the 5% level between the means given with the same letter.*

Bitki yaş ağırlığı ve kök yaş ağırlığı en fazla B3 (173.97 gr ve 46.50 g) ve B5 (174.68 g ve 44.41 g) uygulamalarında belirlenirken, en düşük B6 (116.44 g ve 29.96 g) uygulamasında olmuştur. Bitki kuru ağırlığı B3 (26.28 g) uygulamasında en fazla olurken, kök kuru ağırlığı B3 (4.40 g) ve B5 (4.54 g) uygulamalarında diğer uygulamalara göre daha fazla olmuştur. Bitki kuru ağırlığı (16.96 g) ve kök kuru ağırlığı (2.93 g) B6 uygulamasında en düşük seviyede olmuştur (Şekil 4).



Şekil 4. Uygulamaların fasulyede bitki yaş ve kuru ağırlığı, kök yaş ve kuru ağırlığı üzerine etkileri. Aynı harfle verilen ortalamalar arasında %5 seviyesinde istatistiksel olarak fark bulunmamaktadır.

Figure 4. Effects of applications on plant fresh and dry weight, root fresh and dry weight in bean. There is no statistical difference ($p < 0.001$) at the 5% level between the means given with the same letter.

Yaprak mineral madde içeriği bakımından (Ca ve S hariç) uygulamalar arasında önemli istatistiksel farklılıklar meydana gelmiştir. Yaprak N (%3.49), P (%1.91), K (%0.89) ve Mg (%0.27) içeriği en yüksek B6 uygulamasında belirlenmiş, B2 uygulamasında değerler daha düşük olmuştur (Tablo 2). Yaprak Mn, Fe, Zn, B, Cu ve Na içeriği bakımından uygulamaların etkisi önemli çıkarken, Cl içeriği bakımından uygulamalar arasında önemli bir farklılık olmamıştır. Mn (9.27 mg kg^{-1}), Fe (32.60 mg kg^{-1}), Zn (8.14 mg kg^{-1}) ve Na (31.05 mg kg^{-1}) içeriği B6 uygulamasında diğer uygulamalara göre artış meydana gelirken, B içeriği B3 (2.32 mg kg^{-1}), B5 (2.28 mg kg^{-1}) ve B6 (2.24 mg kg^{-1}) uygulamalarında, Cu içeriği ise B5 (0.35 mg kg^{-1}) ve B6 (0.36 mg kg^{-1}) uygulamalarında daha yüksek seviyede olmuştur. B2 uygulamasında bu mineral madde içerikleri daha düşük olmuştur (Çizelge 2).

Çalışmada uygulamaların toprak özellikleri üzerine etkileri incelenmiş, uygulamalar arasında istatistiksel olarak önemli farklılıklar olduğu görülmüştür (Çizelge 3). B1 uygulaması en yüksek (7.97) toprak pH değerine sahip olurken B6 uygulaması (7.07) en düşük pH değerini göstermiştir. Toprak elektriksel iletkenliği açısından uygulamalar arasında önemli farklılıklar meydana gelmiş, B6 uygulaması en yüksek ($81.39 \text{ mikromhos cm}^{-1}$), B2 uygulaması ise ($62.66 \text{ mikromhos cm}^{-1}$) en düşük toprak EC değerine sahip olan uygulamalar olmuştur. Toprak kireç miktarı B5 uygulamasında en yüksek (%0.72), B1 (%0.60) ve B3 (%0.59) uygulamalarında ise en düşük seviyededir. Toprak organik madde içeriği uygulamalar arasında farklılık göstermiş B1 ve B2 uygulamalarında daha fazla organik madde tespit edilmiştir. Toprak mineral madde içeriği bakımından uygulamaların etkisi istatistiksel olarak (K hariç) önemli bulunmuştur. Toplam N içeriği en fazla (%0.08) B6 uygulamasından elde edilirken, P içeriği B3 (61.75 ppm), B4 (65.40

ppm), B5 (63.98 ppm) ve B6 (63.62 ppm) uygulamalarında daha yüksek olmuştur. S içeriği B2 (20.74 ppm) ve B4 (20.42 ppm) uygulamalarında, Ca içeriği B2 (17.20 ppm), B3 (17.50 ppm) ve B4 (16.05 ppm) uygulamalarında, Mg içeriği ise B3 (2.47 ppm) ve B6 (2.21 ppm) uygulamalarında diğer uygulamalara göre daha yüksek seviyede olmuştur. Toprak Na ($0.29 \text{ cmol kg}^{-1}$), Zn (0.42 ppm) ve Mn (1.97 ppm) içeriği en fazla B6 uygulamasında belirlenirken, B içeriği en fazla (0.53 ppm) B4 uygulamasında, Cu içeriği en fazla B3 (1.48 ppm), B5 (1.58 ppm) ve B6 (1.65 ppm) uygulamalarında, Fe içeriği ise en fazla (0.23 ppm) B4 uygulamasında belirlenmiştir. Toprak mineral madde içeriği bakımından genellikle B1 ve B2 uygulamalarında miktarlar daha düşük seviyede olduğu belirlenmiştir (Çizelge 3).

Çizelge 2. Uygulamaların yaprak mineral içeriği miktarı üzerine etkisi

Table 2. Effect of applications on leaf mineral content

	B1	B2	B3	B4	B5	B6
N (%)	1.66 c	1.68 c	1.90 b	2.01 b	2.04 b	3.49 a
P (%)	1.37 cd	1.24 d	1.45 bcd	1.71 abc	1.84 ab	1.91 a
K (%)	0.65 d	0.52 e	0.64 d	0.83 b	0.76 c	0.89 a
CA (%)	0.76 ^{ns}	0.65	0.95	1.00	0.84	0.74
MG (%)	0.17 cd	0.15 d	0.23 b	0.24 b	0.19 c	0.27 a
S (%)	0.43 ^{ns}	0.44	0.67	0.50	0.75	0.43
MN (MG KG ⁻¹)	6.54 c	5.63 d	8.08 b	6.75 c	6.94 c	9.27 a
FE (MG KG ⁻¹)	25.71 c	22.32 d	29.88 b	24.36 c	29.80 b	32.60 a
ZN (MG KG ⁻¹)	4.43 d	4.33 d	4.82 bc	4.88 b	4.66 c	8.14 a
B (MG KG ⁻¹)	1.73 b	1.53 d	2.32 a	1.93 b	2.28 a	2.24 a
CU (MG KG ⁻¹)	0.26 bc	0.14 d	0.25 c	0.31 ab	0.35 a	0.36 a
NA (MG KG ⁻¹)	24.56 b	26.03 b	23.00 b	25.67 b	24.11 b	31.05 a
CL (MG KG ⁻¹)	89.63 ^{ns}	86.36	85.95	87.31	96.16	107.07

Aynı satırda yer alan ve aynı harfle verilen ortalamalar arasında %5 seviyesinde istatistiksel olarak fark bulunmamaktadır. *There is no statistical difference ($p < 0.001$) at the 5% level between the means in the same row and given with the same letter.*

Çizelge 3. Uygulamaların toprak özellikleri ve mineral içeriği miktarı üzerine etkisi

Table 3. Effects of applications on soil properties and mineral content.

	B1	B2	B3	B4	B5	B6
PH	7.97 a	7.28 bc	7.46 b	7.20 bcd	6.92 d	7.07 cd
EC (MİKROMHOS CM ⁻¹)	71.97 bc	62.66 c	68.76 bc	67.63 bc	75.17 ab	81.39 a
KİREÇ (%)	0.60 c	0.64 bc	0.59 c	0.68 ab	0.72 a	0.67 ab
OM (%)	2.46 a	2.69 a	1.45 bc	2.20 ab	2.02 ab	1.12 c
TOPLAM N (%)	0.073 b	0.066 c	0.078 ab	0.078 ab	0.076 a	0.080 a
P (PPM)	32.51 c	46.52 b	61.75 a	65.40 a	63.98 a	63.62 a
K (CMOL KG ⁻¹)	3.42 ^{ns}	3.07	3.32	3.32	3.63	3.58

CA (MG KG⁻¹)	14.41 b	17.20 a	17.50 a	16.05 a	13.86 b	12.33 c
MG (CMOL KG⁻¹)	1.00 e	1.06 e	2.47 a	1.31 d	1.90 c	2.21 a
S (MG KG⁻¹)	19.02 b	20.74 a	20.13 ab	20.42 a	15.57 d	17.01 d
MN (PPM)	1.46 d	1.06 f	1.80 b	1.26 e	1.65 c	1.97 a
FE (PPM)	0.11 d	0.17 c	0.12 d	0.23 a	0.21 ab	0.19 bc
ZN (PPM)	0.10 e	0.10 e	0.14 d	0.21 c	0.38 b	0.42 a
B (PPM)	0.41 bc	0.40 c	0.39 c	0.53 a	0.48 ab	0.45 bc
CU (PPM)	0.99 bc	0.65 c	1.48 a	1.21 ab	1.58 a	1.65 a
NA (CMOL KG⁻¹)	0.13 d	0.20 b	0.17 c	0.17 c	0.21 b	0.29 a

Aynı satırda yer alan ve aynı harfle verilen ortalamalar arasında %5 seviyesinde istatistiksel olarak fark bulunmamaktadır. *There is no statistical difference ($p < 0.001$) at the 5% level between the means in the same row and given with the same letter.*

Bu çalışma kapsamında farklı formda fosfor içeren gübrelerle birlikte uygulanan biyostimulantların fasulyede bitki büyümesi, verim ve kalite parametreleri üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Elde edilen bulgular neticesinde uygulamaların bitki boyu, gövde çapı, yaprak alanı, kök gelişimi ve klorofil içeriği gibi bitkisel büyüme parametrelerinde artışlara neden olduğu belirlenmiştir. Özellikle fosfat içeren gübreler ile bakteri, enzim, hormon, humik asit ve fulvik asitten oluşturulan biyostimulant karışımlarının daha yüksek sonuçlar verdiği görülmüştür. Ayrıca elde edilen veriler doğrultusunda, fasulyenin bakla sayısı, bakla ağırlığı ve verim gibi doğrudan ekonomik değer taşıyan unsurlarında da biyostimulant uygulamalarının pozitif etkileri olduğu ortaya konmuştur.

Bitki kuru ve yaş ağırlıklarının biyostimulant uygulamalarıyla artması, bitkilerin genel sağlık ve besin elementleri açısından daha iyi bir duruma geldiğini göstermektedir. Bu durum, bitki gelişimini teşvik eden mikroorganizmaların ve organik maddelerin bitki büyümesine olan katkısını vurgulayan Aydoğan ve ark., (2013) ve Rawat ve ark., (2021)'in çalışmalarının sonuçlarıyla da tutarlıdır. Sonuçlarımız özellikle fosfor çözücü bakterileri uygulamalarının biyolojik verim artışını belirgin şekilde desteklediğini ortaya koyduğu çalışmalara benzer sonuçlar göstermiştir.

Biyostimulant maddelerin bitkide metabolik süreçlerini etkilemesinde fitohormon sentezi veya aktivitesini uyarması, kök büyümesini kolaylaştırması, besin maddelerinin alınımını, taşınmasını ve kullanımını iyileştirmesinden kaynaklanmaktadır (Calvo ve ark., 2014). Biyostimulantların fasulyede meydana getirdikleri etkiler daha önce yapılan çalışmalarda da belirlenmiş olup, bu çalışmalarda kullanılan biyostimulantların içeriği farklılık göstermiştir. Örneğin, El-Sheikha ve ark. (2022) humik asit, solucan gübresi çayı, moringa yaprak özütü ve maya özütünden oluşan biyostimulant uygulamasının fasulyede bitki büyüme, verim, klorofilde ve kimyasal bileşimde iyileşme sağladığını, moringa yaprak özütü kullanımının bitki boyunu, yaprak sayısını, taze ve kuru ağırlığı artırdığı, bitki gövde çapı ve bakla kalitesinin de solucan gübresi veya humik asit ile önemli ölçüde daha yüksek olduğunu belirlemişlerdir. Benzer olarak yapılan bir çalışmada da farklı kaynaklardan elde edilen (deniz yosunu, aminoasit vs) biyostimulantların fasulyede bakla sayısını artırmada olumlu etki gösterdiği, tohum sayısını ve verimini, protein içeriğini ve flavonoid içeriğini artırdığı belirlenmiştir (Kocira ve ark., 2020).

Çalışmada uygulama formülasyonunda kullanılan humik asit ve fulvik asit fasulyede özellikle kök gelişimindeki etkileri nedeniyle bitki büyümesinde aktif rol oynamıştır. Çünkü humik maddeler, bitki kök mimarisi ve büyüme metabolizmasındaki değişikliklerle, kök boyunun artması, dallanma ve/veya daha büyük yüzey alanına sahip yoğun kök tüy oluşumu ile sonuçlanan biyostimulantörler olarak kabul edilmektedir (Canellas & Olivares, 2014). Farklı dozlardaki mineral gübre ve humik asit kombinasyonlarının taze fasulyedeki etkilerinin incelendiği bir başka çalışmada; artan mineral gübre uygulama seviyesi ile bitki boyu, yaprak ve dal sayısı, tüm bitki taze ve kuru ağırlığının, bakla uzunluğu, bakla ağırlığı, klorofil, lif, toplam protein, N, P ve K içeriğinin arttığı, ayrıca humik asit

seviyesinin de artırılmasıyla taze fasulye bitkilerinin vejetatif büyümesinin, yeşil bakla veriminin ve kalitesinin daha da iyileştirildiği görülmüştür (El-Bassiony ve ark., 2010).

Çalışmada bakteri, enzim, hormon, humik asit ve fulvik asit kombinasyonları ile oluşturulan biyostimulantların bitki mineral madde içeriğinde de artış sağladığı görülmüştür. Nitekim bakteri ve humik maddelerin bitkilerin topraktan mineral madde alımını ve dağıtımını sağlamada etkin olduğu bilinmektedir. Besin alımındaki düzen bitki büyüme ve bakla gelişiminde de fayda sağlamıştır.

Mineral gübreleme fasulye yetiştiriciliğinde sıkça kullanılmaktadır. Baklagiller için azot ihtiyacı daha az olurken, fosfor ve potasyum uygulaması yüksek verim elde etmede hayati bir rol oynamaktadır (Dikr & Abayechaw, 2022). Nitekim fasulyede fosforlu gübreleme ile kuru madde verimi, verim bileşenleri, yaprak alanı ve bitki başına dal sayısı gibi büyüme parametreleri artmaktadır (Turuko & Mohammed, 2014). Fosfor, baklagiller için kritik derecede önemli olan bir besin olup, bitkilerin ve biyo-membranların nükleik asit yapısının bir bileşeni olarak, hücre bölünmesinde ve doku gelişiminde, hücrelerin enerji metabolizmasında rol oynar ve bitkilerde birincil ve ikincil metabolitlerin biyosentezi için gereklidir (Dikr & Abayechaw, 2022). Fosfor fasulyede, fotosentetik ve solunum organları arasındaki dengeyi sağlayarak bitki büyümesini desteklemekte, kuru maddeyi, bakla sayısını, tohum verimini ve toplam biyokütleyi artırmaktadır (Lynch ve ark., 1991; Dikr & Abayechaw, 2022),

Bitkilerde fosfor ihtiyacını karşılamak için, toprak çözeltisinde düşük olan fosfor konsantrasyonları nedeniyle kararsız fosfor fraksiyonlarından fosforun hızlı ve kalıcı bir şekilde harekete geçirilmesi gereklidir (Zafar ve ark., 2011). Bunun içinde farklı kombinasyonlar oluşturulabilmektedir. Bitki büyümesini teşvik eden rizobakteriler ile mineral azot uygulamasının fasulyede büyümesini destekleyebileceği, sürgün ve kök birikimine fayda sağlayabileceği, nodül sayısını artırabileceği ve verim bileşenlerini iyileştirebileceği belirlenmiştir (Gabre ve ark., 2020). Fosfor biyolojik azot fiksasyonunda da önemli bir rol oynayarak azotun simbiyotik fiksasyonunun gerçekleşmesi için köklerin topraktaki uyumlu rizobiyalarla etkileşime girmesini ve kök büyümesini etkiler (Dikr & Abayechaw, 2022). Zafar ve ark. (2011) bitki büyümesini teşvik eden rizobakteri (PGPR) lerin baklagillerin fosfor çözünürlüğünü ve nodülasyonunu artırma potansiyeli olduğunu, mineral fosfor ve PGPR'nin entegre uygulamasının fasulyede, sürgün boyu, sürgün taze ağırlığı, sürgün kuru ağırlığı, klorofil içeriği, kök uzunluğu, kök taze ağırlığı ve kök kuru ağırlığı, bitki başına nodül sayısı, nodül taze ağırlığı ve nodül kuru ağırlığı, bitki başına bakla sayısı ve tane verimini önemli ölçüde artırdığını belirlemişlerdir. Araştırmacılar, düşük P gübre oranları ve PGPR uygulamasının üretim maliyeti ve üretkenliğin sürdürülmesi açısından maksimum faydalar sağlayan tamamlayıcı bir strateji olduğunu ileri sürmüşlerdir.

Bu çalışmada ayrıca yapılan uygulamalar ile topraktaki N, P, K, Ca, Mg, S gibi makro besin elementleri ile Mn, Fe, Zn, B, Cu gibi mikro besin elementlerinin içeriklerinde de anlamlı farklılıkların olduğu belirlenmiştir. Bu sonuçlar Rawat ve ark. (2021)'in fosfat çözücü mikroorganizmaların toprakta besin elementlerinin çözünürlüğünü artırarak bitkilerin beslenmesine sağladıkları katkı hakkındaki bulguları da destekleyici niteliktedir. Ayrıca humik asit ve fulvik asitin de toprak kalitesinde rolü bulunmaktadır. Çünkü humik maddeler toprakta su tutma kapasitesini artırır, toprak yapısının stabilize eder, toprak mikrobiyal aktivitesini artırır, toprağın fizikokimyasal özelliklerini ve besin maddelerinin bulunabilirliğini ve dolaşımını etkileyerek toprağın kalitesini ve verimliliğini artırır (Khaled & Fawy, 2011; Vikram ve ark., 2022). Çalışmamıza benzer olarak humik asit ve fosforun eş zamanlı olarak kullanılması ile bulunabilir fosfor konsantrasyonunu artırabileceği ve fosfatlı gübrenin daha fazla etkinliğinin sağlanabileceği bildirilmiştir (Du ve ark., 2013). Genel olarak değerlendirildiğinde özellikle bakteri, enzim, hormon, humik asit veya fulvik asitin birlikte kullanıldığı biyostimulantların fasulyede bitki gelişimi ve verimini artırabileceği, bunun yanı sıra kaynağı fark etmeksizin fosfor yarayışlılığını artırarak bitkinin fosfor gübrelemesinden daha fazla yarar sağlayabileceği görülmüştür.

SONUÇ ve ÖNERİLER

Farklı formda fosfor gübreleri ile birlikte kullanılan biyostimülantların fasulyede bitki gelişimi, verim ve diğer bazı özellikleri üzerine yapılan bu çalışmada kullanılan biyostimulant içeriğinin farklı olması nedeniyle elde edilen sonuçlar önemlidir. Sonuç olarak, farklı formülasyonlardaki biyostimülantların fasulyede bitki büyümesini teşvik ettiği, verim ve kalitesini artırdığı belirlenmiştir. Çalışmada kullanılan biyostimulantlar özellikle yoğun kimyasal gübre kullanımının azaltılması ve sürdürülebilir tarım uygulaması açısından faydalı olabilecektir. Ancak, uygulama dozları ve yöntemleri, bitki gelişim aşamaları ve farklı bitki türlerindeki etkilerinin belirlenmesi konusunda daha fazla araştırma yapılması önem arz etmektedir.

ÇIKAR ÇATIŞMA BEYANI

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler. Bu çalışma birinci yazarın yüksek lisans tezinin bir bölümüdür.

ARAŞTIRMACILARIN KATKI ORANI BEYANI

Yazarlar çalışmaya eşit oranda katkı sağlamış olduklarını beyan eder.

ETİK ONAY BEYANI

Bu makalede insan veya hayvan deneklerle herhangi bir çalışma bulunmaması nedeniyle etik onaya gerek duyulmamaktadır.

KAYNAKLAR

- Aydoğan, M.N., Algur, Ö.F., & Özdemir, M. (2013). Trikalsiyum fosfat çözebilen bazı bakteri ve mikrofungusların izolasyonu ve karakterizasyonu. *Adyutayam Dergisi*, 1(1), 11-20.
- Bindraban, P.S., Dimkpa, C.O., & Pandey, R. (2020). Exploring phosphorus fertilizers and fertilization strategies for improved human and environmental health. *Biology and Fertility of Soils*, 56(3), 299-317. <https://doi.org/10.1007/s00374-019-01430-2>
- Bremner JM. 1996. Nitrogen-total. Methods of soil analysis part 3 chemical methods. SSSA Book Series 5. Madison (WI): Soil Science Society of America.
- Calvo, P., Nelson, L., & Kloepper, J.W. (2014). Agricultural uses of plant biostimulants. *Plant and Soil*, 383, 3-41. <https://doi.org/10.1007/s11104-014-2131-8>
- Canellas, L.P., & Olivares, F.L. (2014). Physiological responses to humic substances as plant growth promoter. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, 1, 1-11. <https://doi.org/10.1186/2196-5641-1-3>
- Canellas, L. P., Olivares, F. L., Aguiar, N. O., Jones, D. L., Nebbioso, A., Mazzei, P., & Piccolo, A. (2015). Humic and fulvic acids as biostimulants in horticulture. *Scientia Horticulturae*, 196, 15-27. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.09.013>
- Chen, C. & Roberson EB. (1996). Diffusion of glucose in microbial extracellular polysaccharide as affected by water potential. *Soil Biology & Biochemistry*, 28: 877-884.
- Dikr, W., & Abayechaw, D. (2022). Effects of phosphorus fertilizer on agronomic, grain yield and other physiological traits of some selected legume crops. *J. Biol. Agric. Healthc*, 12, 1-13.
- Du, Z. Y., Qing-Hua, W. A. N. G., Fang-Chun, L. I. U., Hai-Lin, M. A., Bing-Yao, M. A., & SS, M. (2013). Movement of phosphorus in a calcareous soil as affected by humic acid. *Pedosphere*, 23(2), 229-235. [https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(13\)60011-9](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(13)60011-9)

- El-Bassiony, A.M., Fawzy, Z.F., Abd El-Baky, M.M. H., & Mahmoud, A. R. (2010). Response of snap bean plants to mineral fertilizers and humic acid application. *Res. J. Agric. Biol. Sci*, 6(2), 169-175.
- El Sheikha, A.F., Allam, A.Y., Taha, M., & Varzakas, T. (2022). How does the addition of biostimulants affect the growth, yield, and quality parameters of the snap bean (*Phaseolus vulgaris* L.)? How is this reflected in its nutritional value?. *Applied Sciences*, 12(2), 776. <https://doi.org/10.3390/app12020776>
- Gabre, V. V., Venancio, W. S., Moraes, B. A., Furmam, F. D. G., Galvão, C. W., Gonçalves, D. R. P., & Etto, R. M. (2020). Multiple effect of different plant growth promoting microorganisms on beans (*Phaseolus vulgaris* L.) crop. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 63(spe), e20190493. <https://doi.org/10.1590/1678-4324-solo-2020190493>
- Halpern, M., Bar-Tal, A., Ofek, M., Minz, D., Muller, T., & Yermiyahu, U. (2015). The use of biostimulants for enhancing nutrient uptake. *Advances in Agronomy*, 130, 141-174.
- Jahan, M. S., Hasan, M. M., & Rahman, M. A. (2024). Hormones and biostimulants in plants: physiological and molecular insights on plant stress responses. *Frontiers in Plant Science*, 15, 1413659.
- Kaçar, B. (2013). Bitki Besleme ve Toprak Verimliliği. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, Ankara.
- Khaled, H., & Fawy, H. A. (2011). Effect of different levels of humic acids on the nutrient content, plant growth, and soil properties under conditions of salinity. *Soil and Water Research*, 6(1), 21. DOI:10.17221/4/2010-SWR
- Kocira, A., Lamorska, J., Kornas, R., Nowosad, N., Tomaszewska, M., Leszczyńska, D., Kozłowicz, K., & Tabor, S. (2020). Changes in biochemistry and yield in response to biostimulants applied in bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Agronomy*, 10(2), 189. <https://doi.org/10.3390/agronomy10020189>
- Külahtaş, B. & Çokuysal B., 2016, Biyostimulantların sınıflandırılması ve Türkiye'deki durumu. *Çukurova Tarım Gıda Bil. Der.* 31(3): 185-200, 2016 (Özel Sayı)
- Lichtenthaler, H. K., & Wellburn, A. R. (1983) Determinations of total carotenoids and chlorophylls a and b of leaf extracts in different solvents. 603rd Meeting, Liverpool, 591-592.
- Lynch, J., Läuchli, A., & Epstein, E. (1991). Vegetative growth of the common bean in response to phosphorus nutrition. *Crop Science*, 31(2), 380-387.
- McLean EO. (1982). Soil pH and lime requirement. In: Page AL, editor. Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties. 2nd ed. Madison (WI): Wiley; p. 199–224.
- Mertens D. (2005a). AOAC official method 922.02. Plants preparation of laboratory sample. In: Horwitz W, Latimer GW, editors. Official methods of analysis. 18th ed. Gaithersburg (MD): AOAC; p. 1–2.
- Mertens D. (2005b). AOAC official method 975.03. In: Horwitz W, Latimer GW, editors. Metal in plants and pet foods. Official methods of analysis. 18th ed. Gaithersburg (MD): AOAC; p. 3–4.
- Ndavidemi, P. A., Dakora, F. D., Nkonya, E. M., Ringo, D., & Mansoor, H. (2006). Yield and economic benefits of common bean (*Phaseolus vulgaris*) and soybean (*Glycine max*) inoculation in northern Tanzania. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 46(4), 571-577.
- Nelson, D.W., & Sommers E. (1982). Total carbon, organic carbon and organic matter. In: Page AL, Miller RH, Keeny DR, editor. Methods of soil analysis part 2. Agronomy monographs 9. Madison (WI): ASA and SSSA; p. 539–579.
- Pal, K.K., Tilak, K.V.B.R., Saxena, A.K., Dey, R., & Singh, C.S., (2000). Antifungal characteristics of a fluorescent *Pseudomonas* strains involved in the biological control of *Rhizoctonia solani*. *Microbiol Research*, 155: 233-242.
- Rawat, P., Das, S., Shankhdhar, D., & Shankhdhar, S. C. (2021). Phosphate-solubilizing microorganisms: mechanism and their role in phosphate solubilization and uptake. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 21(1), 49-68. <https://doi.org/10.1007/s42729-020-00342-7>
- Rhoades JD. (1986). Soluble Salts. In: Klute A, editor. Soluble salts. Methods of soil analysis-part II. Agronomy Monograph No: 9. Madison (WI): ASA and SSSA; p. 167–179.
- Romerio, R. S. (2000). Preliminary results on PGPR research at the Universidade federal de viçosa, Brazil. Fifth International PGPR Workshop, 29 October - 3 November, 2000, Cordoba-Argentina.

- Shen, J., Yuan, L., Zhang, J., Li, H., Bai, Z., Chen, X., Zhang, W., & Zhang, F. (2011). Phosphorus dynamics: from soil to plant. *Plant Physiology*, 156(3), 997-1005.
- Sinha, D., & Tandon, P. K. (2020). An overview of nitrogen, phosphorus and potassium: Key players of nutrition process in plants. *Sustainable Solutions for Elemental Deficiency and Excess in Crop Plants*, 85-117. https://doi.org/10.1007/978-981-15-8636-1_5
- SPSS (2010) SPSS Inc. 18.0 base user's guide. Chicago (IL), Prentice Hall.
- Turuko, M., & Mohammed, A. (2014). Effect of different phosphorus fertilizer rates on growth, dry matter yield and yield components of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *World Journal of Agricultural Research*, 2(3), 88-92. DOI:10.12691/wjar-2-3-1
- Vikram, N., Sagar, A., Gangwar, C., Husain, R., & Kewat, R.N. (2022). Properties of humic acid substances and their effect in soil quality and plant health. In *Humus and humic substances-recent advances*. IntechOpen. . DOI: 10.5772/intechopen.105803
- Wang, Y., Chen, Y.F., & Wu, W.H. (2021). Potassium and phosphorus transport and signaling in plants. *Journal of Integrative Plant Biology*, 63(1), 34-52. <https://doi.org/10.1111/jipb.13053>
- Wellburn, A. R., (1994) The spectral determination of chlorophylls a and b, as well as total carotenoids, using various solvents with spectrophotometers of different resolution. *Journal of Plant Physiology*, 144(3), 307-313.
- Xiong, L., Wang, P., Hunter, M. N., & Kopittke, P. M. (2018). Bioavailability and movement of hydroxyapatite nanoparticles (HA-NPs) applied as a phosphorus fertiliser in soils. *Environmental Science: Nano*, 5(12), 2888-2898. DOI: 10.1039/C8EN00751A
- Yahaya, S. M., Mahmud, A. A., Abdullahi, M., & Haruna, A. (2023). Recent advances in the chemistry of nitrogen, phosphorus and potassium as fertilizers in soil: A review. *Pedosphere*, 33(3), 385-406. <https://doi.org/10.1016/j.pedsph.2022.07.012>
- Zafar, M., Abbasi, M.K., Rahim, N., Khaliq, A., Shaheen, A., Jamil, M., & Shahid, M. (2011). Influence of integrated phosphorus supply and plant growth promoting rhizobacteria on growth, nodulation, yield and nutrient uptake in *Phaseolus vulgaris*. *African Journal of Biotechnology*, 10(74), 16781-16792.
- Zewdie, T., & Hassen, E. (2021). Review on effects of phosphorus fertilizer rates on growth, yield components and yield of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Journal of Current Research in Food Science*, 2(1), 34-39.