

Atf İçin: Yolci M S, Tunçtürk R, Tunçtürk M, 2022. Tıbbi Adaçayı (*Salvia officinalis* L.)’nda Bor Toksisitesi ve Rizobakteri (PGPR) Uygulamalarının Fide Gelişimi ve Fizyolojik Özellikleri Üzerine Etkileri. İğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 12(2): 1102-1113.

To Cite: Yolci M S, Tunçtürk R, Tunçtürk M, 2022. The Effects of Boron Toxicity and Bacteria (PGPR) Applications on Growth Development and Physiological Properties in Medicinal Sage (*Salvia officinalis* L.). Journal of the Institute of Science Technology, 12(2): 1102-1113.

Tıbbi Adaçayı (*Salvia officinalis* L.)’nda Bor Toksisitesi ve Rizobakteri (PGPR) Uygulamalarının Fide Gelişimi ve Fizyolojik Özellikleri Üzerine Etkileri

Muhammed Said YOLCI^{*}, Rüveyde TUNÇTÜRK¹, Murat TUNÇTÜRK¹

ÖZET: Bu çalışmada; farklı rizobakteri (*Azospirillum lipoferum*, *Bacillus megaterium* ve *Frateruria aurentia*) ve bor dozlarının (0 mM, 5 mM, 10 mM ve 20 mM) tıbbi adaçayı (*Salvia officinalis*L.) bitkisinin fide gelişim parametreleri ile toplam flavonol ve klorofil miktarları, yaprak alanı ve sıcaklığı gibi fizyolojik özellikler üzerine etkilerini belirlemek amacıyla tam kontrollü iklim kabininde 2021 yılında yürütülmüştür. Deneme, Tesadüf Parselleri Deneme Deseni’ne göre faktöriyel düzende 4 tekerrürlü olarak kurulmuştur. Araştırmada, kök ve fide uzunluğu (cm), kök ve fide yaş ağırlığı (g), kök ve fide kuru ağırlığı (g) gibi büyüme ve gelişim parametreleri ile toplam flavonol ve klorofil içeriği (dualex değeri), yaprak alanı (cm²) ve sıcaklığı (°C) gibi fizyolojik parametreler incelenmiştir. Araştırma sonucunda; PGPR uygulamalarının kök uzunluğu, fide yaş ağırlığı, fide uzunluğu, kök yaş ve kuru ağırlığı ve yaprak alanı üzerindeki etkisi istatistiksel olarak önemli bulunurken, fide kuru ağırlığı, yaprak sıcaklığı, flavonol ve klorofil miktarı üzerine etkisi istatistiksel olarak önemsiz olmuştur. Rizobakteri uygulamaları ile büyüme parametrelerinde kontrole kıyasla önemli artışların olduğu kaydedilmiştir. Bor dozlarının yaprak sıcaklığı hariç, diğer parametreler üzerindeki etkisinin önemli olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, artan bor dozları ile büyüme parametrelerinde azalmaların olduğu, ancak, toplam flavonol ve klorofil içeriğinde ise artışların olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Fide gelişimi, bor dozları, adaçayı, toplam flavonol, toplam klorofil

The Effects of Boron Toxicity and Bacteria (PGPR) Applications on Growth Development and Physiological Properties in Medicinal Sage (*Salvia officinalis* L.)

ABSTRACT: In this study; it was carried out in order to determine the effects on physiological properties such as total flavonol and chlorophyll amounts, leaf area and temperature with the seedling growth parameters of medicinal sage (*Salvia Officinalis*) plant of different rhizobacteria (*Azospirillum lipoferum*, *Bacillus megaterium* and *Frateruria aurentia*) and boron doses (0 mM, 5 mM, 10 mM and 20 mM) in a fully controlled climate cabinet in 2021. The experiment was set up in factorial order with 4 replications according to the Completely Randomized Plots Trial Design. In the study, it was investigated growth and development parameters such as root and seedling length (cm), root and seedling fresh weight (g), root and seedling dry weight (g) with physiological parameters such as total flavonol and chlorophyll content (dualex value), leaf area (cm²) and temperature (°C). As a result of the research, While the effects of PGPR applications on root length, seedling fresh weight, seedling length, root fresh and dry weight and leaf area were found to be statistically significant, the effects on seedling dry weight, leaf temperature, flavonol and chlorophyll content were found to be statistically insignificant. Significant increases in growth parameters were noted with rhizobacteria applications compared to control. It was determined that the effect of boron doses on other parameters except leaf temperature was significant. In addition, it was determined that there were decreases in growth parameters with increasing boron doses, but increases in total flavonol and chlorophyll content

Keywords: Seedling growth, boron doses, sage, total flavonol, total chlorophyll

¹ Muhammed Said YOLCI (Orcid ID: 0000-0002-5304-7342), Rüveyde TUNÇTÜRK (Orcid ID: 0000-0002-7995-0599), Murat TUNÇTÜRK (ORCID ID: 0000-0002-3759-8232), Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Van, Türkiye

***Sorumlu Yazar/Corresponding Author:** Muhammed Said YOLCI, e-mail: musayol65@gmail.com

Bu çalışma 5 Ocak Uygulamalı Bilimler Kongresi özet kitapçığında yayınlanmıştır.

GİRİŞ

Lamiaceae familyası; dünya genelinde yaklaşık olarak 240 cins ve 7000 tür barındırmaktadır (Dinç ve ark., 2009). *Salvia* cinsi 1000 türü ile Lamiaceae familyasının en zengin cinsidir (Walker ve ark., 2007). *Salvia officinalis* odunsu sapsı, grimsi yaprakları, maviden mora kadar değişen çiçekleri ile çok yıllık otsu bir bitkidir (Barrett ve ark., 2000). *Salvia officinalis*'in Ukrayna, Moldova, Almanya, İtalya, İngiltere, Türkiye, Hindistan, Japonya ve Güney Afrika gibi karasal iklime sahip dünyanın birçok ülkesinde kültürü yapılmaktadır (Grdisa ve ark., 2015). Türkiye'de doğal yayılış alanına sahip olmayan *Salvia officinalis*'in özellikle Ege, Akdeniz ve Marmara bölgelerinde yetiştiriciliği yapılmaktadır (Bağdat, 2006). Tıbbi adaçayının üretim alanı ve miktarı göz önüne alındığında Türkiye'nin önde gelen illeri sırasıyla; Antalya, Denizli, Kütahya, Tekirdağ, Muğla ve Manisa'dır (Tüik, 2020).

Tıbbi adaçayı bünyesinde barındırdığı fenolik bileşikler, terpenoitler ve uçucu yağlardan ötürü dünya genelinde antidiyabetik, antimikrobiyal, antienflamatuvar, spazm çözücü, kalp-damar destekleyici, antikanser gibi geniş kapsamlı kullanım alanına sahiptir (Ghorbanpour ve ark., 2016). Ülkemizde tıbbi adaçayının çiçek ve yaprakları ağız yaralarında, faranjitte, antiseptik ve analjezik amaçlı, sinir sistemi uyarıcı ve yatıştırıcı ve sindirim kolaylaştırıcı olarak sıklıkla kullanıldığı bilinmektedir (Melo ve ark., 2012; Miraj ve Kiani, 2016).

Bitkilerde bor elementi başlıca; hücre zarı ve duvarında, birçok enzim aktivitesinde, biyokimyasal süreçlerde üretilen metabolit, hormon ve çeşitli iyonların taşınmasında görev almaktadır (Dordas ve ark., 2000). Bitkilerin doğal veya kültür ortamlarında topraktan bor mineralini yetersiz miktarda almaları durumunda; kök organında zayıflamalar, karbonhidrat metabolizmasında ve taşınımında aksaklıklar, DNA ve RNA gibi nükleik asitlerin üretiminde sorunlar, topraktan alınan mineral maddelerin bitkiye aktarılmasında zorluklar, toprak altı ve üstü akşamlarda çürümeler, bitki boyunda ve kuru madde birikiminde azalmalar ve meyve olgunlaşma süresinde uzamalar şeklinde kendini göstermektedir (Zhao ve ark., 2003; Wimmer ve Eichert, 2013; Behboudian ve ark., 2016). Bor, toprakta yüksek konsantrasyonlarda bulunduğu bitkide toksik etki yapmaktadır. Bitkide toksik seviyede olan borun belirtileri kendini karbondioksit özümlemesinde, fotosistem kimyası, karbonhidrat metabolizması ve antioksidan sistemlerde sorunlar ve yaprakta gözle görülen tipik kloroz ve nekrozlar ile göstermektedir (Han ve ark., 2009; Reid, 2013). Bitkiler için zorunlu besin elementi olan bor; doğada her element gibi farklı konsantrasyonlarda bulunmaktadır. Borun farklı konsantrasyonlarda bulunması bazı bitkiler için aşırı olurken bazı bitkiler için ise istenen miktarın altında olabilmektedir. Bu açıdan borun belirli aralıklarda tutulması bitkilerin büyüme ve gelişmelerinde kritik rol oynamaktadır (García-Sánchez ve ark., 2020). Bitkilerde bor toksisitesinin önüne geçilmesi amacıyla bazı yöntemler uygulanmaktadır. Bu yöntemlerin başlıcaları; topraktaki borun seviyesini düşürmek ve bu sayede bitkinin bor alımını kısıtlamak, borun hücreler arasında taşınımını çeşitli maddeler yardımıyla azaltmak, besin elementi takviyeleri, bitki büyüme düzenleyicileri ve bitki büyüme ve gelişiminde görev alan mikroorganizmaların kullanımı ile bitkinin fizyolojik dayanıklılığını arttırmaktır (Hua ve ark., 2021).

Bitki büyüme ve gelişimini teşvik eden rizobakteriler (PGPR=Plant Growth Promoting Rhizobacteria); bitkinin topraktan mineral madde alımını arttırarak mahsulün kalite ve verimini arttırmak, bitkiyi sentetik gübrelerin zararlarından korumak, olumsuz çevresel koşullara karşı direncini arttırmak gibi birçok yararlı yönleriyle kullanılmaya başlanmıştır (Qiu ve ark., 2019; Khan ve ark., 2021b).

Samreen ve ark., (2019), kanolada yaptıkları çalışmada; bora toleranslı olan *Bacillus* MN-54 suşunun, alkali-kireçli toprakta fosfatı çözmeye etkili olduğu ve bitkinin büyümesine olumlu katkıda bulunduğunu tespit etmişlerdir. *Bacillus subtilis* ve *Bacillus boroniphilus türlerinin*; krom ile kirletilmiş toprakta yetiştirilen mısırın fosfat alınımına ve büyümesine olumlu katkı sağladığını bildirmişlerdir (Afzal ve ark., 2020). Ahmed ve Fujiwara (2010), topraktan izole ettikleri *Bacillus* suşunun yüksek bor seviyesinde (450 mmol L^{-1}) yaşayabildiğini ve bulunduğu ortamda yaşayan bitkilerin hücre içi bor seviyesini hücre dışına göre daha düşük seviyede tuttuğunu tespit etmişlerdir. *Azospirillum* cinsine ait türlerin kök büyüme ve gelişimini desteklediği, verimde artış sağladığı ve kuraklık stresi zararlarını azalttığını bildirmişlerdir (Czarnes ve ark., 2020). Dolayısıyla; Otoprakta yaşayan faydalı mikroorganizmaları başarılı bir şekilde formüle etmek ve verimli uygulama programları tasarlamak için mikroorganizma-bitki etkileşimlerini yöneten moleküler ve fizyolojik mekanizmaların anlaşılması zorunlu hale gelmiştir (Lephatsi ve ark., 2021).

Bu çalışma, farklı bor düzeylerinin ve kök bakterisi (PGPR) uygulamalarının, tıbbi adaçayının fide gelişimi ve fizyolojik özellikleri üzerindeki etkilerini incelemek amacıyla yürütülmüştür.

MATERYAL VE METOT

Deneme Van YYÜ Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü' ne ait tam kontrollü iklim odasında 2021 yılında yürütülmüştür. Araştırmada tıbbi adaçayı (*Salvia officinalis* L.) tohumluk materyali olarak Van YYÜ tıbbi ve aromatik bitkiler bahçesinden elde edilmiş tohumlar kullanılmıştır. Deneme, Tesadüf Parselleri Deneme Deseninde iki faktörlü, 4 tekerrürlü olarak yürütülmüştür. Bor, bitki bünyesinde eser miktarlarda bulunduğu büyüme ve gelişmeye katkı sağlarken, yüksek konsantrasyonlarda toksisiteye neden olan bir elementtir. Bu çalışmada, bor kaynağı olarak borik asit (H_2BO_3) formunun farklı dozları (0 (kontrol), 5, 10 ve 20 mM) ile bitki büyüme ve gelişimine katkı sağlayan toprak rizosferinde yaşamlarını sürdüren bazı faydalı bakteriler (*Azospirillum lipoferum* (1×10^6 kob ml^{-1}), *Bacillus megaterium* (1×10^5 kob ml^{-1}) ve *Frateuria aurentia* (1×10^5 kob ml^{-1})) kullanılarak yürütülmüştür. Öncelikle, tohum yüzeyleri % 3'lük sodyum hipoklorit ile sterilize edilmiş ve tohumlar steril hale getirildikten sonra torf (3/4) ve perlit (1/4) ile doldurulmuş viyollere beşer adet ekilmiştir. Ekimden ortalama üç gün sonra çimlenme başlamış ve çimlenmeden 1 hafta sonra viyollerde birer bitki kalacak şekilde tekleme işlemi yapılmıştır. Ekimden 28 gün sonra bitkilerin 4-5 yapraklı oldukları dönemde, hacimce 1/3 oranında torf (Klassman) ve 2/3 oranında bahçe toprağı konulmuş 1 litrelik saksılara aktarılmıştır. Saksılar dikimden sonra 16/8 saatlik aydınlık/karanlık fotoperiyotta, 25 °C sıcaklık %65 nemli iklim odasına yerleştirilmiştir. Su tutma kapasiteleri ortalama 230 ml olarak ölçülen saksılara ekimle birlikte saf su verilerek saksı kapasitesine ulaşmaları sağlanmıştır. Tüm saksılara fideler aktarıldıktan dört gün sonra gün aşırı olacak şekilde ortalama 120 ml saf su 18 gün boyunca verilmiştir. Viyollerden saksılara aktarılan fideler 20 gün bekledikten sonra Amonyum Sülfat (%21), Triple Süper Fosfat (%46) ve Potasyum Sülfat (%50 K_2O ve %16-20 S) gübre karışımından oluşan solüsyon temel gübreleme amacıyla tüm saksılara 120 ml olacak şekilde 1 kez verilmiştir. Gübre uygulamasından iki gün sonra bakteri uyg ulaması yapılacak saksılara dört gün arayla üçer defa sulama suyu yerine 10 ml L^{-1} dozunda hazırlanan bakteri solüsyonları uygulanmıştır. Kontrol uygulamalarına sadece saf su verilmiştir. Bakteri uygulamaları yapılan saksılara 3 günlük arayla yukarıda belirtilen dozlara göre hazırlanan bor solüsyonları 120 ml olacak şekilde üç kez uygulanmıştır. Deneme; bor stresinin belirtileri belirginleştğinde (saksılara aktarımdan 39 gün sonra) sonlandırılmıştır.

Bitkilerin fide uzunlukları; toprak ile en uç nokta arasındaki mesafenin, kök uzunlukları ise saksıdan çıkarılan toprağın çeşme suyu ile yumuşatılıp köklerin ayrılmasından sonra cetvel yardımıyla

ölçülmesiyle cm olarak kaydedilmiştir. Toprak üstü ve toprak altı aksamın yaş ağırlıkları; birbirinden ayrılan kök ve fidelerin hassas terazide ayrı ayrı tartılmasıyla belirlenmiştir. Kök ve fidelerin kuru ağırlıkları; kök ve fidelerin ayrı ayrı kese kağıtlarına konularak etüvde 70 °C' de 48 saat bekletildikten sonra hassas terazide ölçülmesiyle belirlenmiş ve g olarak ifade edilmiştir. Deneme sonlandırılmadan hemen önce yaprak sıcaklıkları; infrared termometre yardımıyla °C olarak, yaprak alan indeksi ise, Easy Leaf Area programı kullanılarak cm² olarak belirlenmiştir. Yine hasattan hemen önce, klorofil ve flavonol içeriği sensörde bulunan yaprak klipsi sayesinde gerçek zamanlı ve tahribatsız olarak ölçüm yapabilen Dualex Scientific⁺ (FORCE-A, Fransa) cihazı ile ölçülerek kaydedilmiştir.

Elde edilen verilerin istatistiksel analizleri COSTAT (sürüm 6.03) paket programı ile çoklu karşılaştırma testleri ise Duncan testine göre yapılmıştır (Düzgüneş ve ark., 1987).

BULGULAR VE TARTIŞMA

Araştırma verilerine göre; PGPR uygulamalarının kök uzunluğu ve fide yaş ağırlığı üzerine etkisi istatistiksel olarak %5 düzeyinde önemli bulunurken, fide uzunluğu, kök yaş ve kuru ağırlığı ve yaprak alanı üzerinde %1 düzeyinde önemli bulunmuştur. Rizobakteri uygulamalarının fide kuru ağırlığı, yaprak sıcaklığı, flavonol ve klorofil miktarı üzerine etkisi istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur (Çizelge1,2). Çalışmada, bor dozlarının, yaprak sıcaklığı üzerindeki etkisi önemli bulunmazken, kök uzunluğu üzerindeki etkisi %5 seviyesinde ve diğer parametreler üzerindeki etkisi %1 düzeyinde önemli bulunmuştur. Ayrıca PGPR x B interaksiyonunun fide uzunluğu, fide yaş ağırlığı, klorofil ve flavonol içeriği ile yaprak sıcaklığı üzerindeki etkisi istatistiksel olarak önemsiz iken, diğer incelenen tüm parametreler üzerindeki etkisi % 1 seviyesinde önemli bulunmuştur (Çizelge 1,2).

PGPR uygulamaları bakımından en uzun kökler 29.16 cm ile P1 uygulamalarından elde edilirken, P2 uygulamaları ile aralarında istatistiksel bir farklılığın bulunmadığı tespit edilmiştir. En düşük değer 24.25 cm ile kontrol uygulamalarından sağlanmıştır. Bor uygulamaları yönünden ise en uzun kökler 29.91 cm ile kontrolden elde edilirken, B2 uygulamaları ile aynı Duncan grubunda yer aldığı Çizelge 1' den görülmektedir. En kısa kökler 23.16 cm ile B3 uygulamalarından tespit edilmiştir. PGPR × B interaksiyonunda, en yüksek değer 33.33 cm ile P3 uygulamalarının yapıldığı ve borun uygulanmadığı kontrol grubundan elde edilmiştir. Ancak, P0 x B1, P1 x B0, P1 x B1 uygulamaları ile aynı Duncan grubunda yer almışlardır. Çalışmada bor dozlarının artışına bağlı olarak kök uzunluğu değerlerinde kısmen düşüşlerin olduğu Çizelge 1' den izlenebilmektedir. Toprakta bor elementinin toksik seviyede bulunması ile yeni gelişen kökçüklerin büyüme ve gelişiminin engellendiği ve kök uzunluğu ve ağırlığındada düşüşlerin olduğu bildirilmiştir (Liu ve ark., 2000). Zeytin bitkisinde farklı dozlarda uygulanan bor elementinin artışına bağlı olarak büyüme parametrelerinde düşüşlerin meydana geldiği (Rostami ve ark., 2017), çeltikte kök uzunluğunun artan bor dozlarına bağlı olarak azaldığı (Riaz ve ark., 2021), nohut yetiştirilen alana uygulanan bakterilerin kök uzunluğunda artışlara neden olduğu (Mehboob ve ark., 2021) araştırmacılar tarafından tespit edilmiştir.

Çalışmada en uzun boylu fideler 25.60 cm ile P1 uygulamalarından elde edilirken, P2 ve P3 uygulamaları ile aralarında istatistiksel bir farklılığın bulunmadığı belirlenmiştir. En kısa boylu fideler ise 19.87 cm ile kontrol grubundan elde edilmiştir. Bor dozları açısından ise en yüksek boylu bitkiler 27.36 cm ile kontrolden tespit edilirken, en kısa boylu fideler 19.84 cm ile B3 uygulamalarından tespit edilmiştir (Çizelge 1). Toprakta bitki için toksik dozda bulunabilen bor, fide ve kök bölgesinde uzunluk ve ağırlıkça azalmalara neden olmaktadır. Bu durum; toprakta konsantre olan borun, su ve diğer besin elementlerinin alınımını engellemesi ve buna bağlı gelişim geriliğinin meydana gelmesi

şeklinde açıklanmıştır (Rostami ve ark., 2017). Çeşitli araştırmacılar tarafından; kadmiyum, kurşun ve bor ile kirletilmiş topraklarda yetiştirilen kolzada toprağa *Bacillus megaterium* uygulamalarının, metallere verdiği zararları azaltmada etkili oldukları (Esringü ve ark., 2014), fesleğen bitkisine uygulanan *Azospirillum* bakterisinin *Bacillus* bakterisine ve kontrole kıyasla bitki boyunu daha fazla arttırdığı (Tahami ve ark., 2017), aspir bitkisinde uygulanan farklı bor dozlarına paralel olarak bitki boyunda azalmaların gözlemlendiği (Sulus ve Leblebici, 2020) bildirilmiştir.

Kök yaş ağırlığı bakımından en yüksek değer 1.36 g ile P3 rizobakteri uygulamalarından elde edilirken, en düşük değer 0.81 g olarak rizobakteri uygulanmayan kontrol parsellerinden elde edilmiştir. Bor toksisitesi açısından ise en fazla kök yaş ağırlığı değeri 1.33 g ile kontrolden, en düşük değer ise 0.77 g ile B1 uygulamalarından tespit edilmiştir. PGPR x B interaksiyonunda en yüksek kök yaş ağırlığı değeri 1.67 g ile P2 x B2 interaksiyonundan elde edilirken, P1 x B3 ve P3 x B0 interaksiyonu ile aralarında istatistiksel bir farklılığın bulunmadığı Çizelge 1' den izlenebilmektedir. Konu ile ilgili yapılan çalışmalarda; buğdayda artan bor dozlarının kök yaş ağırlığını azalttığı (Yorgancılar ve Bababaoğlu 2005), *Bacillus megaterium* bakterisinin *Arabidopsis thaliana*'da kontrole göre kök yaş ağırlığını arttırdığı (Dahmani ve ark., 2020), mısırda artan bor dozlarına bağlı olarak kök ve fide yaş ağırlığını azalttığı (Nawaz ve ark., 2020) tespit edilmiştir.

Araştırmada en yüksek fide yaş ağırlığı değeri 5.19 g ile P3 uygulamalarından, en düşük değer ise 4.18 g ile P1 uygulamalarından belirlenmiştir. Bor dozları bakımından ise fide yaş ağırlığına dair en yüksek değer 5.27 g ile B1 dozundan elde edilmiştir. Ancak Çizelge 1 incelendiğinde B0 ve B2 uygulamaları ile aralarında istatistiksel olarak bir farklılığın olmadığı ve aynı Duncan grubunda yer aldığı belirlenmiştir. Farklı bitkilerde, söz konusu deneme faktörleri ile yapılan çalışmalarda; asperde uygulanan bor dozlarına bağlı olarak büyüme parametrelerinde azalmaların meydana geldiği (Day ve ark., 2017), *Bacillus megaterium* toprak bakterisinin fasulyenin ağırlıkça artışına neden olduğu (López-Bucio ve ark., 2007), nanede artan bor dozlarının fide yaş ve kuru, kök yaş ve kuru ağırlıklarında azalmalara neden olduğu (Choudhary ve ark., 2021) bildirilmiştir.

Çalışma verilerine göre; en yüksek kök kuru ağırlığı 0.12 g ile P3 rizobakteri uygulamalarından elde edilirken, en düşük değer 0.08 g ile P1 uygulamalarından tespit edilmiştir. Bor dozları bakımından en yüksek kök kuru ağırlığı değeri 0.12 g ile B2 dozundan en düşük değer ise 0.08 g ile B1 dozundan belirlenmiştir. PGPR x B interaksiyonunda en yüksek değer 0.17 g ile P2 x B3 ve P1 x B2 interaksiyonlarından elde edilmiştir. Ancak P3 x B0 ve P3 x B2 interaksiyonları ile istatistiksel bakımdan önemli farklılık oluşturmadıkları ve aynı Duncan grubunda yer aldıkları belirlenmiştir. Sorgum bitkisine uygulanan faydalı bakterilerin kuru ağırlıkta artışlara neden olduğu (Malhotra ve Srivastava, 2006), bor dozlarının 30 mg L⁻¹'den itibaren kök ve fide kuru ağırlıklarında azalmalara neden olduğu (Song ve ark., 2019), kanolada bor dozlarına bağlı olarak kök kuru ağırlığında azalmaların olduğunu (Metwally ve ark., 2018) bildirmişlerdir.

PGPR uygulamaları bakımından fide kuru ağırlığı değerleri 0.61-0.71 g arasında tespit edilmiştir. Artan bor dozlarına bağlı olarak fide kuru ağırlığı değerlerinin azaldığı, en yüksek değer B0 (0.72 g) uygulamalarından elde edildiği ancak B1 ve B2 uygulamaları ile istatistiksel açıdan önemli bir farklılığın bulunmadığı ve aynı Duncan grubunda yer aldığı tespit edilmiştir. En düşük değer ise B3 (0.54 g) uygulamalarında tespit edilmiştir. PGPR x B interaksiyonu göz önüne alındığında en yüksek fide kuru ağırlığı değeri 0.92 g ile P3 uygulamalarının yapıldığı B1 uygulamalarından elde edilmiştir (Çizelge 1). Mısırda artan bor konsantrasyonlarıyla birlikte kuru ağırlıkta düşüşlerin gözlemlendiği (Çelik ve ark., 2019), fesleğende fosfat çözücü bakteri uygulamalarının organik gübre uygulamalarına göre büyüme ve gelişmeye katkı sağladığı (Weisany ve ark., 2012), farklı buğday genotiplerine uygulanan

bor dozlarının artışına bağlı olarak fide ve kök yaş-kuru ağırlıklarının azaldığını bildirmişlerdir (Khan ve ark., 2021a).

Çizelge 1: Tıbbi adaçayında bor dozları ve PGPR uygulamalarının fide gelişimi üzerine etkileri

UYGULAMALAR	BOR DOZLARI	Kök Uzunluğu (cm)	Fide Uzunluğu (cm)	Kök Yaş Ağırlığı (g)	Fide Yaş Ağırlığı (g)	Kök Kuru Ağırlık (g)	Fide Kuru Ağırlık (g)
Kontrol (P0)	B0 (0 mM)	30.00 ab	23.83	1.10 bcde	5.33	0.11 bc	0.74 abc
	B1 (5 mM)	31.33 a	21.73	1.02 cde	5.09	0.10 bc	0.59 bcd
	B2 (10 mM)	19.66 bc	21	0.75 ef	4.37	0.11 bc	0.65 bc
	B3 (20 mM)	16.00 c	12.95	0.38 g	3.11	0.07 cde	0.60 bcd
	Ort	24.25 B	19.87 B	0.81 C	4.47 BC	0.10 B	0.65
<i>Azospirillum lipoferum</i> (P1)	B0 (0 mM)	31.67 a	28.2	1.27 abc	3.75	0.05 cde	0.53 bed
	B1 (5 mM)	31.33 a	27.7	0.51 fg	4.75	0.06 cde	0.60 bed
	B2 (10 mM)	20.00 bc	25.57	0.46 fg	4.35	0.05 cde	0.65 bc
	B3 (20 mM)	31.00 a	20.97	1.64 a	3.87	0.17 a	0.64 bc
	Ort	29.16 A	25.60 A	0.97 B	4.18 C	0.08 C	0.61
<i>Bacillus megaterium</i> (P2)	B0 (0 mM)	26.67 abc	29.6	1.21 abcd	5.98	0.05 cde	0.81 ab
	B1 (5 mM)	24.67 abc	25.23	0.75 def	5.1	0.12 b	0.69 abc
	B2 (10 mM)	29.33 ab	24.07	1.67 a	5.59	0.17 a	0.82 ab
	B3 (20 mM)	24.33 abc	23.17	0.75 def	3.77	0.07 cde	0.52 cd
	Ort	26.25 AB	25.51 A	1.10 B	5.11 AB	0.11 B	0.71
<i>Frateuriaa urentia</i> (P3)	B0 (0 mM)	33.33 a	27.83	1.73 a	5.43	0.15 a	0.79 abc
	B1 (5 mM)	29.33 ab	25.37	0.78 def	6.16	0.07 cde	0.92 a
	B2 (10 mM)	29.33 ab	24.07	1.57 a	4.67	0.15 a	0.58 bcd
	B3 (20 mM)	18.33 c	22.3	1.38 ab	4.5	0.13 b	0.41 d
	Ort	27.58 AB	24.89 A	1.36 A	5.19 A	0.12 A	0.68
BOR (B) DOZLARI	B0 (0 mM)	29.91 A	27.36 A	1.33 A	5.12 A	0.09 BC	0.72 A
	B1 (5 mM)	26.83 AB	25.00 B	0.77 C	5.27 A	0.08 C	0.70 A
	B2 (10 mM)	27.33 A	23.67 B	1.11 B	4.74 A	0.12 A	0.68 A
	B3 (20 mM)	23.16 B	19.84 C	1.04 BC	3.81 B	0.11 AB	0.54 B
PGPR (P)		*	**	**	*	**	öd
BOR (B)		*	**	**	**	**	**
PGPR × B		**	öd	**	öd	**	**
VK (Varyasyon Katsayısı)		18.4	9.97	17.77	18.04	16.62	19.28

*P<0.05 düzeyinde, ** P<0.01 düzeyinde önemli, öd: önemli değil

Aynı sütunda aynı küçük harfle gösterilen ortalamalar arasında %5 seviyesinde herhangi bir fark yoktur

Aynı sütunda aynı büyük koyu harfle gösterilen ortalamalar arasında %5 seviyesinde herhangi bir fark yoktur

Aynı sütunda aynı italik büyük harfle gösterilen ortalamalar arasında %5 seviyesinde herhangi bir fark yoktur.

Araştırmada; PGPR uygulamaları bakımından, toplam flavonol miktarı 0.51-0.59 arasında tespit edilmiştir. Bor dozları bakımından en yüksek flavonol değeri 0.64 olarak B3 uygulamalarından elde edilirken, en düşük değer 0.50 ile kontrolden sağlanmıştır (Çizelge 2). Fenolik bileşikler ve flavonoidlerin bir kısmını içeren flavonoller; olumsuz çevre şartlarında stoplazma ve endoplazmik retikulumda üretimi artmakta, serbest radikallerin verdiği zararları azaltmada görev almaktadırlar (İbrahim ve Jaafar, 2011). Ağır metal toksisitesinde bitki direncinin yükseltilmesinde etkili olan B2 vitamininin artırılması flavonollerin miktarı ile doğru orantılı olarak değişmektedir. Flavonollerin dolaylı yollarla olumsuz çevre koşullarına karşı bitkiye direnç sağladığı bilinmektedir (Li ve ark., 2018). Çalı fasulyesinde bakır ve kadmiyum uygulamalarının artan dozlarına bağlı olarak flavonol miktarında artışların gözlemlendiği (Wianowska ve ark., 2004), fasulyede uygulanan kadmiyum dozlarına paralel olarak flavonol miktarının da arttığını bildirmişlerdir (El Hocine ve ark., 2020). Çörekotunda artan tuz dozlarının toplam antosiyanin ve toplam flavonol miktarlarında artışlara neden olduğunu

(Golkar ve ark., 2020), Azarafshan ve ark., (2020), ıtır bitkisinde UV stresininin flavonol miktarını arttırdığını bildirmişlerdir.

Çizelge 2. Tıbbi adaçayında bor dozları ve PGPR uygulamalarının bazı fizyolojik özellikler üzerine etkileri

UYGULAMALAR		Toplam Flavonol Miktarı (Duallex değeri)	Yaprak Alanı (cm ²)	Yaprak Sıcaklığı (°C)	Toplam Klorofil miktarı (Duallex değeri)
PGPR	BOR DOZLARI (B)				
Kontrol (P0)	B0 (0 mM)	0.47	11.75 a	21.27	18.47
	B1 (5 mM)	0.45	11.34 a	22.17	17.93
	B2 (10 mM)	0.53	5.63 cd	22.20	21.67
	B3 (20 mM)	0.59	3.87 e	22.10	27.10
Ort		0.51	8.14 A	21.93	21.29
<i>Azospirillum lipoferum</i> (P1)	B0 (0 mM)	0.45	7.04 bcd	22.30	17.37
	B1 (5 mM)	0.52	7.47 bc	21.67	17.13
	B2 (10 mM)	0.63	6.28 cd	22.13	21.50
	B3 (20 mM)	0.71	3.71 e	21.87	24.97
Ort.		0.59	6.12 B	21.99	20.24
<i>Bacillus megaterium</i> (P2)	B0 (0 mM)	0.47	8.79 ab	22.57	16.27
	B1 (5 mM)	0.49	7.20 bc	21.73	19.30
	B2 (10 mM)	0.65	6.08 cd	22.13	25.27
	B3 (20 mM)	0.72	4.71 de	22.43	21.63
Ort		0.58	6.69 B	22.21	20.61
<i>Frateuria aurentia</i> (P3)	B0 (0 mM)	0.54	5.52 cde	22.37	21.47
	B1 (5 mM)	0.54	6.93 bcd	21.70	19.90
	B2 (10 mM)	0.57	6.42 bcd	21.97	20.27
	B3 (20 mM)	0.54	5.90 cd	22.17	21.77
Ort		0.55	6.19 B	22.05	20.85
BOR (B) DOZLARI	B0 (0 mM)	0.51 C	8.27 A	22.12	18.39 B
	B1 (5 mM)	0.50 BC	8.23 A	21.81	18.56 B
	B2 (10 mM)	0.59 AB	6.10 B	22.10	22.17 A
	B3 (20 mM)	0.64 A	4.55 C	22.14	23.86 A
PGPR		öd	**	öd	öd
BOR (B)		**	**	öd	**
PGPR × B		öd	**	öd	öd
VK (Varyasyon Katsayısı)		18.31	15.48	2.23	16.96

*P<0,05 düzeyinde, ** P<0,01 düzeyinde önemli, öd: önemli değil

Aynı sütunda aynı küçük harfle gösterilen ortalamalar arasında %5 seviyesinde herhangi bir fark yoktur

Aynı sütunda aynı büyük koyu harfle gösterilen ortalamalar arasında %5 seviyesinde herhangi bir fark yoktur

Aynı sütunda aynı italik büyük harfle gösterilen ortalamalar arasında %5 seviyesinde herhangi bir fark yoktur

Denemede; en fazla yaprak alanı 8.14 cm² ile rizobakteri uygulanmayan kontrol grubundan, en düşük değer ise 6.12 cm² ile P1 uygulamalarından ölçülmüştür. Ancak P1 uygulamaları ile P2 ve P3 uygulamaları arasında istatistiksel olarak önemli bir farklılık tespit edilmemiştir. Bor dozlarının artışına paralel olarak yaprak alanında azalmanın meydana geldiği belirlenmiştir. Bor uygulamalarına göre en yüksek değer 8.27 cm² ile kontrolden elde edilirken, B1 uygulamaları ile aynı Duncan

grubunda yer almıştır. En düşük değere 4.55 cm² ile B3 dozundan ölçülmüştür. PGPR × B interaksiyonunda en yüksek değer (11.75 cm²) rizobakteri ve bor stresinin uygulanmadığı kontrol uygulamalarından elde edilmiş ve P0 × B1 interaksiyonu ile istatistiksel olarak önemli farklılık oluşturmadığı ve aynı Duncan grubunda yer aldığı tespit edilmiştir. Pancarda 2 mg L⁻¹'den sonraki bor uygulamalarında yaprak alanının gittikçe azaldığını (Song ve ark., 2019), çeltikte bor dozu ile yaprak alanının ters orantılı olarak değiştiğini (Riaz ve ark., 2021) bildirmişlerdir.

Rizobakteri uygulamaları bakımından yaprak sıcaklığı değeri 21.93-22.21 °C olarak belirlenirken, bor uygulamalarına göre bu değerler 21.81-22.14 °C arasında tespit edilmiştir. Lordkaev ve ark., (2019), bor uygulamalarının buğday hatlarına etkilerini araştırdıkları çalışmada bor uygulamalarının yaprak sıcaklığını etkilemediğini bildirmişlerdir.

Çalışmada, PGPR uygulamalarına göre toplam klorofil miktarı 20.24-21.29 dualex değeri arasında belirlenirken, bor dozlarının artışına paralel olarak toplam klorofil miktarının arttığı gözlemlenmiştir. Bor uygulamalarına göre en yüksek değer 23.86 olarak B3 dozundan elde edilmiştir. Ancak B2 bor dozu ile aralarında istatistiksel olarak önemli bir farklılığın olmadığı belirlenmiştir. En düşük değer ise 18.39 ile kontrolden tespit edilirken, B1 uygulamaları ile istatistiksel olarak önemli bir farklılığın olmadığı belirlenmiştir. Bor bitkilerde başlıca; fotosentez mekanizmasında üretilen şekerlerin taşınımında, antioksidan mekanizmasında, bitki büyüme ve gelişiminde görev almaktadır (Zhao ve ark., 2003). Araştırma bulgularımız ile paralellik gösteren Fujiyama ve ark., (2019)' nın soyada yaptıkları çalışmada, toksik seviyeye ulaşmayan bor dozlarının klorofil miktarında artışlara neden olduğunu bildirmişlerdir. Çalışmamızda, uygulanan bor dozlarının klorofil miktarında artışlara neden olmasının borun toksik seviyeye ulaşmamasından kaynaklanmış olabileceği düşünülmektedir. Diğer taraftan, bazı araştırmacılar tarafından, artan bor dozlarıyla birlikte çeltikte klorofil a, klorofil b, toplam klorofil ve toplam karotenoid gibi fotosentetik pigmentlerde düşüşlerin meydana geldiği bildirilirken (Riaz ve ark., 2021), toksik seviyede bor elementine maruz kalmış bitkilerde klorofil miktarında düşüşlerin olduğu ve buna bağlı olarak fotosentez oranında da azalmaların meydana geldiği (Camacho-cristobal ve ark., 2008) bildirilmiştir.

SONUÇ

Günümüzde tarımsal üretimin yapıldığı alanların metal ve yarı metallerce kirletilmiş olduğu ve kirletilmeye devam ettiği bir gerçektir. Bor içeriğinin yüksek olduğu topraklarda üretimi yapılan bitkilerin agronomik ve fizyolojik parametrelerinde anormallikler ve dolayısıyla verim düşüklüğü gibi sorunlar meydana gelmekte ve dolaylı olarak hayvan ve insanların sağlığı da tehdit edilmektedir. Toprakta yaşamlarını sürdüren ve son zamanlarda kullanımı giderek artan faydalı rizobakterilerin bitki ile olan ilişkilerinin belirlenmesi, çevresel stres durumlarında bitkiye olası katkılarının tespit edilmesi ekolojik tarımın benimsenmesi ve sürdürülebilirliği açısından büyük bir öneme sahiptir. Araştırma sonucunda; bor dozlarının artışı ile birlikte incelenen büyüme parametrelerinde olumsuz sonuçlara neden olduğu, bitkisel üretimde temel yapıtaşı olan toplam klorofil ve bitkinin çevresel şartlara uyum ve direncini sağlamada görevli toplam flavonol miktarında ise olumlu katkılar sağladığı tespit edilmiştir. Çalışmada; *Azospirillum lipoferum*, *Bacillus megaterium* ve *Frateuria aurentia* bakterilerinin tıbbi adaçayında bor toksisitesini tolere etmede kontrole göre oldukça etkili oldukları belirlenmiştir. Dolayısıyla; faydalı toprak bakterilerinin kuraklık başta olmak üzere çeşitli abiyotik stres durumlarında bitkiye olumlu katkılar sağlayacağı kanaatine varılmıştır.

Çıkar Çatışması

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

Yazar Katkısı

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamış olduklarını beyan eder.

KAYNAKLAR

- Afzal MJ, Khan MI, Cheema SA, Hussain S, Anwar-ul-Haq M, Ali MH, Naveed M, 2020. Combined application of Bacillus sp. MN-54 and phosphorus improved growth and reduced lead uptake by maize in the lead-contaminated soil. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(35): 44528–44539.
- Ahmed I, Fujiwara T, 2010. Mechanism of boron tolerance in soil bacteria. *Canadian journal of microbiology*, 56(1): 22-26.
- Azarafshan M, Peyvandi M, Abbaspour H, Noormohammadi Z, Majd A, 2020. The effects of UV-B radiation on genetic and biochemical changes of *Pelargonium graveolens* L' Her. *Physiology and Molecular Biology of Plants*, 26(3): 605-616.
- Bağdat RB, 2006. Tıbbi ve Aromatik Bitkilerin Kullanım Alanları, Tıbbi Adaçayı (*salvia officinalis* L.) ve Ülkemizde Kekik Adıyla Bilinen Türlerin Yetiştirme Teknikleri. *Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü Dergisi*, 15(1-2): 19-28.
- Barrett SCH, Wilken DH, Cole WW, 2000. Heterostyly in the Lamiaceae: The case of *Salvia brandegeei*. *Plant Systematics and Evolution*, 223(3): 211–219
- Behboudian MH, Pickering AH, Dayan E, 2016. Deficiency diseases, principles. In: second ed. In: Thomas B, Murray BG, Murphy D.J, (Eds.), *Encyclopedia of Applied Plant Sciences Vol. 1*. Elsevier, pp 219–224, Amsterdam.
- Camacho-Cristobal JJ, Rexach J, Gonzalez-Fontes A, 2008. Boron in plants: Deficiency and toxicity. *Journal of Integrative Plant Biology*, 50(10): 1247–1255.
- Choudhary S, Zehra A, Mukarram M, Wani KI, Naeem M, Khan MMA, Aftab T, 2021. Salicylic acid-mediated alleviation of soil boron toxicity in *Mentha arvensis* and *Cymbopogon flexuosus*: Growth, antioxidant responses, essential oil contents and components. *Chemosphere*, 276: 130153.
- Czarnes S, Mercier PE, Lemoine DG, Hamzaoui J, Legendre L, 2020. Impact of soil water content maize responses to the plant growth-promoting rhizobacterium *Azospirillum lipoferum* CRT1. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 206(5): 505-516.
- Çelik H, Turan MA, Aşık BB, Öztüfekçi S, Katkat AV, 2019. Effects of soil-applied materials on the dry weight and boron uptake of maize shoots (*Zea mays* L.) under high boron conditions. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 50(7): 811-826.
- Dahmani MA, Desrut A, Moumen B, Verdon J, Mermouri L, Kacem M, Vriet C, 2020. Unearthing the plant growth-promoting traits of *Bacillus megaterium* RmBm31 an endophytic bacterium isolated from root nodules of *retamamonosperma*. *Frontiers Plant Sciences*, 11: 124.
- Day S, Çıkılı Y, Aasim M, 2017. Screening of three safflower (*Carthamus tinctorius*L.) cultivars under boron stress. *Acta Scientiarum Polonorum Hortorum Cultus*, 16(5): 109–116.
- Diñç M, Pinar NM, Dogu S, Yildirimli S, 2009. Micro morphological studies of *Lallemantia* l. (*Lamiaceae*) species growing in Turkey. *Acta Biologica Cracoviensia Series Botanica*, 51(1): 45-54.
- Dordas C, Chrispeels MJ, Brown PH, 2000. Permeability and channel-mediated transport of boric acid across membrane vesicles isolated from squash roots. *Plant physiology*, 124(3): 1349-1362.

- Düzgüneş O, Kesici T, Kavuncu O, Gürbüz F, 1987. Research and Experimental Methods. Statistical Methods-II. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları No: 1, pp:1021-1295, Ankara-Turkey.
- El hocine BAK, Bellout Y, Amghar F, 2020. Effect of Cadmium Stress on The Polyphenol Content Morphological, Physiological, and Anatomical Parameters of Common Bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Applied Ecology and Environmental Research*, 18(2): 3757-3774.
- Esringü A, Turan M, Güneş A, Karaman MR, 2014. Roles of *Bacillus megaterium* in remediation of boron lead, and cadmium from contaminated soil. *Communications in soil science and plant analysis*, 45(13): 1741-1759.
- Fujiyama BS, Silva ARB, Silva Júnior ML, Cardoso NRP, Fonseca AB, Viana RG, Sampaio LS, 2019. Boron fertilization enhances photosynthesis and water use efficiency in soybean at vegetative growth stage. *Journal of Plant Nutrition*, 42(19): 2498–2506.
- García-Sánchez F, Simón-Grao S, Martínez-Nicolás JJ, Alfosea-Simón M, Liu C, Chatzissavvidis C, Pérez-Pérez JG, Cámara-Zapata JM, 2020. Multiple stresses occurring with boron toxicity and deficiency in plants. *Journal of Hazardous Materials*, 397: 122713.
- Ghorbanpour M, Hatami M, Kariman K, Abbaszadeh Dahaji P, 2016. Phytochemical variations and enhance deficiency of antioxidant and antimicrobial ingredients in *Salvia officinalis* as inoculated with different rhizobacteria. *Chemistry & biodiversity*, 13(3): 319-330.
- Golkar P, Bakhshi G, Vahabi MR, 2020. Phytochemical, biochemical, and growth changes in response to salinity in callus cultures of *Nigella sativa* L. *In Vitro Cellular & Developmental Biology-Plant*, 56(2): 247-258.
- Grdiša M, Jug-Dujaković M, Lončarić M, Carović-Stanko K, Ninčević T, Liber Z, Šatović Z, 2015. Dalmatian sage (*Salvia officinalis* L.): A review of biochemical contents, medical properties and genetic diversity. *Agriculturae Conspectus Scientificus*, 80(2): 69-78.
- Han S, Tang N, Jiang H, Yang L, Li Y, Chen L, 2009. CO₂ assimilation, photosystem II photochemistry, carbohydrate metabolism and antioxidant system of citrus leaves in response to boron stress. *Plant Science*, 176(1): 143–153.
- Hua T, Zhang R, Sun H, Liu C, 2021. Alleviation of boron toxicity in plants: Mechanisms and approaches. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 51(24): 2975-3015.
- Ibrahim MH, Jaafar HZE, 2011. Photosynthetic capacity photochemical efficiency and chlorophyll content of three varieties of *Labisia pumila* Benth. exposed to open field and greenhouse growing conditions. *Acta Physiologiae Plantarum*, 33(6): 2179–2185.
- Khan MI, Afzal MJ, Bashir S, Naveed M, Anum S, Cheema SA, Wakeel A, Sanullah M, Ali MH, Chen Z, 2021b. Improving nutrient uptake, growth, yield and protein content in chickpea by the co-addition of phosphorus fertilizers, organic manures, and *Bacillus* sp. Mn-54. *Agronomy*, 11(3): 1-13.
- Khan MK, Pandey A, Hamurcu M, Avsaroglu ZZ, Ozbek M, Omay AH, Gezgin S, 2021a. Variability in Physiological Traits Reveals Boron Toxicity Tolerance in *Aegilops* Species. *Frontiers in plant science*, 12: 1-15.
- Lephatsi MM, Meyer V, Piater LA, Dubery IA, Tugizimana F, 2021. Plant Responses to Abiotic Stresses and Rhizobacterial Biostimulants: Metabolomics and Epigenetics Perspectives. *Metabolites*, 11(7): 457-488.

- Li M, Zhang X, Yang H, Li X, Cui Z, 2018. Soil Sustainable Utilization Technology: Mechanism of Flavonols in Resistance Process of Heavy Metal. *Environmental Science and Pollution Research*, 25(26): 26669-26681.
- Liu D, Jiang W, Zhang L, Li L, 2000. Effects of boron ions on root growth and cell division of broad bean (*V. faba* L.). *Israel Journal of Plant Sciences*, 48(1): 47–51.
- López-Bucio J, Campos-Cuevas JC, Hernández-Calderón E, Velásquez- Becerra C, Farías-Rodríguez R, Macías-Rodríguez LI, Valencia-Cantero E, 2007. *Bacillus megaterium* rhizobacteria promote growth and alter root-system architecture through an auxin- and ethylene-independent signaling mechanism in *Arabidopsis thaliana*. *Molecular Plant-Microbe Interactions*, 20(2): 207–217.
- Lordkaew S, Yimyam N, Jamjod S, Rerkasem B, 2019. Evaluating boron efficiency in heat tolerant wheat germplasm. *International Journal of Agriculture and Biology*, 21(2): 385-390.
- Malhotra M, Srivastava S, 2006. Targeted engineering of *Azospirillum brasilense* SM with indoleacetamide pathway for indoleacetic acid over- expression. *Can. J. Microbiology*, 52(11): 1078–1084.
- Mehboob N, Hussain M, Minhas WA, Yasir TA, Naveed M, Farooq S, Zuan ATK, 2021. Soil-Applied boron combined with Boron-Tolerant Bacteria (*Bacillus* sp. MN54) improve root proliferation and nodulation, yield and agronomic grain biofortification of chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Sustainability*, 13(17): 9811.
- Melo G, Fonseca JP, Farinha TO, Pinho RJ, Damiao MJ, Grespan R, Cuman RKN, 2012. Anti-inflammatory activity of *Salvia officinalis* L. *Journal of Medicinal Plant Research*, 6(35): 4934-4939.
- Metwally AM, Radi AA, El-Shazoly RM, Hamada AM, 2018. The role of calcium, silicon and salicylic acid treatment in protection of canola plants against boron toxicity stress. *Journal of plant research*, 131(6): 1015-1028.
- Miraj S, Kiani S, 2016. A review study of therapeutic effects of *Salvia officinalis* L. *Der Pharmacia Lettre*, 8(6): 299-303.
- Nawaz M, Ishaq S, Ishaq H, Khan N, Iqbal N, Ali S, Alyemini MN, 2020. Salicylic Acid Improves Boron Toxicity Tolerance by Modulating the Physio-Biochemical Characteristics of Maize (*Zea mays* L.) at an Early Growth Stage. *Agronomy*, 10(12): 1-15.
- Reid RJ, 2013. Boron toxicity and tolerance in crop plants. In *Crop improvement under adverse conditions* Springer pp. 333-346, New York.
- Riaz M, Kamran M, El-Esawi MA, Hussain S, Wang X, 2021. Boron-toxicity induced changes in cell Wall components boron forms and antioxidant defense system in rice seedlings. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 216: 112192.
- Rostami H, Tabatabaei SJ, ZareNahandi F, 2017. Effects of different boron concentration on the growth and physiological characteristics of two olive cultivars. *Journal of Plant Nutrition*, 40(17): 2421-2431.
- Samreen T, Zahir ZA, Naveed M, Asghar M, 2019. Boron tolerant phosphorus solubilizing *Bacillus* spp. MN-54 improved canola growth in alkaline calcareous soils. *International Journal of Agriculture and Biology*, 21(3): 538-546.
- Song B, Hao X, Wang X, Yang S, Dong Y, Ding Y, Zhou J, 2019. Boron stress inhibits beet (*Beta vulgaris* L.) growth through influencing endogenous hormones and oxidative stress response. *Soil Science and Plant Nutrition*, 65(4): 346-352.

- Sulus S, Leblebici S, 2020. The Effect of Boric Acid Application on Ecophysiological Characteristics of Safflower Varieties (*Carthamus tinctorius* L.). *Fresenius Environmental Bulletin*, 29(9): 8177-8185.
- Tahami MK, Jahan M, Khalilzadeh H, Mehdizadeh M, 2017. Plant growth promoting rhizobacteria in an ecological cropping system: A study on basil (*Ocimum basilicum* L.) essential oil production. *Industrial Crops and Products*, 107: 97–104.
- TÜİK, 2020. Dış Ticaret İstatistikleri. <https://data.tuik.gov.tr/Kategori/GetKategori?p=dis-ticaret-104> Erişim Tarihi: 10/11/2021.
- Walker JB, Sytsma KJ, 2007. Staminal Evolution in the Genus *Salvia* (Lamiaceae): Molecular Phylogenetic Evidence for Multiple Origins of the Staminal Lever. *Annals of Botany*, 100(2): 375–391.
- Weisany V, Rahimzadeh S, Sohrabi Y, 2012. Effect of biofertilizers on morphological, physiological characteristic and essential oil content in basil (*Ocimum basilicum* L.). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, 28(1): 73-87.
- Wianowska D, Maksymiec W, Dawidowicz AL, Tukiendorf A, 2004. The influence of heavy metal stress on the level of some flavonols in the primary leaves of *Phaseolus coccineus*. *Acta physiologiae plantarum*, 26(3): 247-254.
- Wimmer MA, Eichert T, 2013. Mechanisms for boron deficiency- mediated changes in plant water relations. *Plant Sciences*, 203: 25–32.
- Yorgancilar M, Babaoglu M, 2005. Investigation of the effect of boron on germination of wheat varieties in vitro and pot conditions. *Journal of Selcuk University Faculty of Agriculture*. 19(35): 109-114.
- Zhao DL, Oosterhuis D, Dugger P, Richter D, 2003. Cotton Growth and Physiological Responses to Boron Deficiency. *Journal of Plant Nutrition*, 26(4): 855–867.
- Qiu Z, Egidi E, Liu H, Kaur S, Singh BK, 2019. New frontiers in agriculture productivity: Optimised microbial inoculants and insitu microbiome engineering. *Biotechnology Advances*, 37(6): 1-11.