

Biyo-Priming Uygulamasının Mercimek (*Lens culinaris* M.)’te Çimlenme, Fide Gelişimi ve Tuzluluk Stresi Üzerine Etkisi

Berfin TARHAN, Mustafa CERİTOĞLU*

Siirt Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Siirt, TÜRKİYE

Geliş Tarihi/Received: 19.12.2023

Kabul Tarihi/Accepted: 28.07.2024

ORCID ID (Yazar sırasına göre / by author order)

orcid.org/0009-0006-0142-6267 orcid.org/0000-0002-4138-4579

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: ceritoglu@siirt.edu.tr

Öz: Bu çalışmanın amacı, ACC (1-Aminosiklopropan-1-Karboksilat) deaminaz enzim aktivitesi gösteren bitki gelişimini teşvik edici bakteri (Plant growth promoting bacteria, PGPB) strainlerinin mercimek (*Lens culinaris* M.)’te tuzluluk stresi üzerine etkilerinin çimlenme ve erken fide döneminde incelenmesidir. Araştırmada, 3 tuz (NaCl) konsantrasyonu (kontrol, 100 ve 200 mM) ve 6 PGPB suşu (kontrol, KF3A, KF3B, KF58B, KF58C ve KF63C) kullanılmıştır. Kontrol grubunda yer alan tohumlara saf su ile priming (hidro-priming) uygulanmıştır. Çalışma Siirt Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Laboratuvarı’nda tesadüf parsellerinde faktöriyel deneme desenine göre 4 tekerrürlü olarak 2023 yılında yürütülmüştür. Araştırma sonuçlarına göre, fide kuru ağırlığı ve fide gücü indeksi hariç tüm parametreler tuzluluk stresinden veya biyo-priming uygulamalarından önemli ölçüde ($p<0.05$ veya $p<0.01$) etkilenmiştir. Araştırmada çimlenme yüzdesi % 91.8-99.4, ortalama çimlenme süresi 1.24-1.90 gün, çimlenme üniformite katsayısı 48.8-81.2, çimlenme enerjisi 9.3-81.9, çimlenme indeksi 10.1-18.0, fide uzunluğu 1.8-3.8 cm, kök uzunluğu 3.5-6.0 cm, fide kuru ağırlığı 0.0176-0.0240 g, kök kuru ağırlığı 0.0119-0.0206 g, fide gücü indeksi 3.3-4.1, lateral kök sayısı 1.3-4.3 adet ve lateral kök toplam uzunluğu 0.46-2.54 cm aralığında değişmiştir. KF58C ve KF63C optimum ve stres koşulları altında mercimek fidesinin çimlenmesini ve fide gelişimini teşvike ettiği, ancak KF3A, KF3B ve KF58B strainlerinin hidro-priming uygulamasına kıyasla daha zayıf bitki gelişimi sağladığı kaydedilmiştir. Özellikle KF58C straininin fide uzunluğu, kök uzunluğu, lateral kök sayısı ve lateral kök toplam uzunluğunu önemli ölçüde artırdığı, köklerde kuru madde birikimini % 114 oranında teşvik ettiği belirlenmiştir. Sonuç olarak, ACC deaminaz aktivitesine sahip PGPB strainleri ile biyo-priming işleminin mercimekte tuzluluk stresinin geliştirilmesi bakımından sürdürülebilir ve çevreci bir çözüm olabileceği düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Abiyotik stres, faydalı mikroorganizma, *Lens culinaris*, stres yönetimi, tuzluluk

Effect of Bio-Priming Application on Germination, Seedling Growth and Salinity Stress in Lentil (*Lens culinaris* M.)

Abstract: The aim of this study is to investigate the effects of plant growth promoting bacteria (PGPB) strains exhibiting ACC (1-Aminocyclopropane-1-Carboxylate) deaminase enzyme activity on salt stress in germination and early seedling stages of lentil (*Lens culinaris* M.). The study utilized three NaCl concentrations (control, 100 mM, and 200 mM) and six PGPB strains (control, KF3A, KF3B, KF58B, KF58C and KF63C). Hydro-priming with distilled water was applied to seeds in the control group. The study was conducted in 2023 at Siirt University, Faculty of Agriculture, Field Crops laboratory, using a completely randomized factorial design with four replications. According to the results, all parameters, except seedling dry weight and seedling vigor index, were significantly ($p<0.05$ or $p<0.01$) affected by salt stress or bio-priming applications. Germination percentage ranged from 91.8% to 99.4%, average germination time from 1.24 to 1.90 days, germination uniformity coefficient from 48.8 to 81.2, germination energy from 9.3 to 81.9, germination index from 10.1 to 18.0, seedling length from 1.8 to 3.8 cm, root length from 3.5 to 6.0 cm, seedling dry weight from 0.0176 to 0.0240 g, root dry weight from 0.0119 to 0.0206 g, seedling vigor index from 3.3 to 4.1, lateral root number from 1.3 to 4.3, and total lateral root length from 0.46 to 2.54 cm. KF58C and KF63C were noted to promote germination and seedling development of lentil seedling under both optimum and stress conditions, while KF3A, KF3B, and KF58B strains provided weaker plant growth compared to

hydro-priming. Particularly, the KF58C strain significantly increased seedling length, root length, lateral root number, and total lateral root length, stimulating dry matter accumulation in roots by 114%. In conclusion, it is considered that bio-priming with PGPB strains possessing ACC deaminase activity could offer a sustainable and environmentally friendly solution for enhancing lentil tolerance to salt stress.

Keywords: Abiotic stress, beneficial microorganism, *Lens culinaris*, stress management, salinity

1. Giriş

Mercimek (*Lens culinaris* M.), yapılan arkeolojik kazılarda kullanılan radyokarbon tarihleme yöntemine göre tarımı yapılan en eski yemeklik tane baklagil bitkisi olarak kaydedilmiştir (Sonnante ve ark., 2009). Zengin kimyasal kompozisyonu nedeniyle özellikle az gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde temel protein kaynağını oluşturmaktadır. Bu nedenle gıda güvenliği ve insan beslenmesi açısından kritik bir öneme sahiptir. Dünyada 5.5 milyon hektar alanda 5.9 milyon ton (Anonymous, 2023), Türkiye’de ise 290 bin hektar alanda 400 bin ton (Anonim, 2023) mercimek üretilmektedir. Dünya nüfusunun hızla artması, gelir dengesizliklerinin yükselmesi, açlık ve yoksulluk sınırındaki insan sayısının artmasına bağlı olarak insan beslenmesinde hayvansal ürünlerin payı giderek daha fazla azalmakta ve tarımsal ürünlere olan talep artmaktadır (Palmer ve ark., 2018; Rampal, 2018). Ancak, küresel ısınmaya bağlı iklim değişikliği, kuraklık, tuzluluk, ekstrem sıcaklıklar, sanayi atıkları ve egzoz gazı kalıntılarına bağlı ağır metal toksisitesi, hastalık ve zararlı etmenlerinin faaliyetleri ve temel besin maddelerinin noksanlığı gibi çeşitli biyotik ve abiyotik faktörlerin etkisiyle diğer tarım ürünlerinde olduğu gibi mercimekte de önemli verim ve kalite kayıpları meydana gelmektedir (Sarker ve Karmoker, 2011; Sehgal ve ark., 2017; Delahunty ve ark., 2018; Warne ve ark., 2019; Akhtar ve ark., 2020; Pandey ve Sengar, 2020; Ganguly ve ark., 2021).

Tuzluluk, tarımsal üretimi bozan çevresel stres faktörleri arasında önemli bir yere sahiptir. Gıda ve Tarım Örgütü (Food and Agriculture Organization, FAO) raporuna göre, tuzluluk dünya üzerinde sulama imkânı bulunan alanların yaklaşık % 20'sini olumsuz yönde etkilemektedir (Anonymous, 2015). Ayrıca, tuzdan etkilenen alanların 2050 yılına kadar toplam ekilebilir arazinin % 50'si kadar olacağı tahmin edilmektedir (Butcher ve ark., 2016). Yanlış sulama uygulamaları ve değişen çevre koşulları sonucunda sodyum (Na⁺) ve klor (Cl⁻) iyonlarının toprakta arttığı belirlenmiştir (Shi-Ying ve ark., 2018; Wei ve ark., 2021). Yüksek Na⁺ birikimi su iletkenliğini ve havalandırmayı kısıtlar. Ayrıca, toprakta artan tuzlanma, bitkilerin rizosfer içindeki ve çevresindeki mikrobiyal çeşitliliği ve aktiviteyi olumsuz etkiler. Tuzluluk stresi bitkilerde

büyümeyi, gelişmeyi ve üretkenliği engelleyen çeşitli fizyolojik, morfolojik ve moleküler değişikliklere neden olur (Kumar ve Verma, 2018; Dirik ve ark., 2020). Tuzluluk, besin dengelerini, hormonların etkileşimini, spesifik iyon toksisitesini ve ozmotik etkileri bozarak özellikle baklagillerin gelişimini olumsuz etkilemektedir (He ve ark., 2015; Patil ve ark., 2016). Bu anlamda özellikle erken fide döneminde tuzluluk stresinin mercimekte çimlenme özelliklerini ve fide gelişimini önemli ölçüde azalttığı, dolayısıyla ilerleyen gelişme periyodunda da yüksek verim ve kalite kayıplarına yol açtığı rapor edilmiştir (Jha ve ark., 2019; Panuccio ve ark., 2021). Bitkisel üretimde tuzluluk stresinin azaltılması ve olası kayıpların en aza indirilmesi için; toleranslı genotiplerin ıslahı, biyoteknoloji ve fonksiyonel genomik, arbusküler mikorizal (AM) fungusların ve bitki gelişimini teşvik edici bakterilerin (Plant Growth Promoting Bacteria-PGPB) kullanılması, eksojen hormonlar ve ozmoprotektan uygulamaları, tohuma priming teknikleri ve besin yönetimi gibi birçok yönetim stratejisi bulunmaktadır (Farooq ve ark., 2017; Gupta ve ark., 2020; Iqbal ve ark., 2020). Bu stratejiler arasında özellikle ACC (1-Aminocyclopropane-1-Carboxylate) deaminaz aktivitesi gösteren PGPB strainleri ile biyo-priming uygulamaları düşük maliyetli, efektif ve sürdürülebilir yönleri ile ön plana çıkmaktadır. Yapılan bazı araştırmalarda, bu bakteri strainlerinin çeşitli bitki grupları üzerinde gelişim etkileri ve stres baskılayıcı rolleri incelenerek etkili sonuçlar alınmıştır (Erman ve ark., 2022a, 2022b; Mikail ve Çığ, 2023; Ceritoglu ve ark., 2024).

Bu deneysel çalışmanın amacı, PGPB strainleri ile biyo-priming uygulamasının mercimek (*L. culinaris*)’te çimlenme ve erken fide gelişim dönemine ait özellikler ve tuzluluk stresinin azaltılması üzerine etkilerinin incelenmesidir.

2. Materyal ve Yöntem

2.1. Araştırmada kullanılan bitkisel materyal ve PGPB strainleri

Çalışmada, ICARDA (Uluslararası Kurak Alanlarda Tarımsal Araştırma Merkezi-International Center for Agricultural Research in the Dry Areas) tarafından ıslah edilen ve ekstra-erkenci özellik gösteren 3771 kodlu mercimek (*L. culinaris*) hattına ait tohumlar kullanılmıştır.

Hattın ICARDA tarafından belirlenen tanımlayıcı bilgisi “x2011s133_119_15” olarak belirlenmiştir. Biyo-priming için kullanılan PGPB strainlerine

(KF3A, KF3B, KF58B, KF58C ve KF63C) ait tanımlayıcı bilgiler ve üstün özellikleri Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Bakteriyel izolatların taksonomik bilgisi ve belirlenen üstün özellikleri

Table 1. Taxonomic information and determined superior traits of bacterial isolates

Bakteri kodu	Tür ismi	Azot bağlama kapasitesi	Fosfat çözme kapasitesi	ACC deaminaz aktivitesi	Siderofor üretimi
KF3A	<i>Bacillus zhangzhouensis</i>	+	-	++	+
KF3B	<i>Paenarthrobacter nitroguajacolicus</i>	+	-	+++	+
KF58B	<i>Brevibacterium frigiditolerans</i>	+	Z ⁺	+++	++
KF58C	<i>Microbacterium oxydans</i>	+	Z ⁺	++	+
KF63C	<i>Paenibacillus xylanilyticus</i>	+	++	++	+

-. Özelliğe sahip değil, Z⁺: Zayıf, +: Normal, ++: Kuvvetli, +++: Çok kuvvetli

2.2. Deneyel planlama ve dizayn

Araştırma, Siirt Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü Laboratuvarı’nda Petri çalışması olarak yürütülmüştür. Araştırmada 5 farklı PGPB straini ve kontrol olmak üzere 6 priming uygulaması ile 3 farklı tuzluluk seviyesi (T0: Kontrol, T1: 100 mM NaCl ve T2: 200 mM NaCl) kullanılmıştır. Petri (90 mm x 15 mm) çalışması olarak planlanan deney tesadüf parsellerinde faktöriyel deneme desenine göre 4 tekerrürlü olarak yürütülmüştür. Priming uygulamasının kontrol grubunda saf su ile hidro-priming uygulanmıştır.

2.3. Bakteriyel süspansiyonların hazırlanması ve priming uygulamaları

Saflaştırılarak -86 °C’de muhafaza edilen strainlerin süspansiyonlarının hazırlanması işleminde, önce katı besi ortamı (Nutrient Agar, NA) sonrasında sıvı besi ortamı (Nutrient Broth, NB) kullanılmıştır. Aseptik koşullarda hazırlanan NA ortamında 72 saat geliştirilerek muhafaza edilen bakteriyel strainlerinden metal öze yardımıyla alınan örnekler 100 ml olarak hazırlanan NB içerisine inokule edilerek 30 °C’de bir gece yatay çalkalayıcı ile (150 rpm dk⁻¹) inkübasyona bırakılmıştır. Bakteriyel süspansiyonların konsantrasyonu steril saf su ile seyreltilerek ~10⁸ CFU (Colony-forming unit) olacak şekilde spektrofotometre kullanılarak ayarlanmıştır (Qi ve ark., 2017).

Araştırmada kullanılan tohumlar tartılarak yüzey sterilizasyonu için etil alkol (% 70’lik) içerisinde 1 dakika ve ardından % 10’luk NaOCl (Sodyum hipoklorit) içerisinde 5 dakika bekletilmiştir. Sterilizasyon sonrasında tohumlar üç kez saf su ile yıkandıktan sonra steril 2 kat Wattman filtre kâğıdı arasına yerleştirilerek steril kabin içerisinde ve oda sıcaklığında kurutulmuştur. Hazırlanan bakteriyel süspansiyonlar, 121 °C’de 20 dakika boyunca otoklavda (HIRAYAMA, HV-110L, Japan) steril edilen kapaklı balon joje

içerisine tohum:süspansiyon oranı 1:5 g ml⁻¹ olacak şekilde ilave edilmiştir (Ceritoğlu ve Erman, 2021). Uygulama yapılacak olan ve önceden tartılmış tohumlar her bir bakteriyel süspansiyon için balon jöjelere yerleştirilmiştir. Kapakları kapatılan balon jöjeler çalkalayıcıya (WiseShake, SHR-2D, Germany) yerleştirilerek 80 rpm’de ve oda sıcaklığında (24±2 °C) 2 saat boyunca inkübasyona bırakılmıştır (Darabi ve ark., 2014). Biyo-priming uygulanan tohumlar steril filtre kâğıdı arasında 10-12 saat kurumaya bırakılmıştır. Hidro-priming uygulaması, biyo-priming uygulamasındaki gibi gerçekleştirilmiş ve tohumlar solüsyon içerisinde 12 saat boyunca bekletilmiştir (Farooq ve ark., 2019). Hidro-priming sonrasında tohumlar filtre kâğıtları arasında 10-12 saat kurutulmuştur.

2.4. Deneyin kurulması ve yürütülmesi

Petri çalışması yürütülmeden önce tüm cam malzemeler 121 °C otoklavda 20 dakika steril edilmiştir. Her bir Petri kabında, 2 kat filtre kâğıdı arasına 25 adet homojen irilikte tohumlar yerleştirilmiştir. Başlangıçta her bir Petri kabına 4 ml tuz solüsyonları uygulanmış (kontrol grubuna saf su, diğer gruptaki Petri kaplarına belirlenen tuz konsantrasyonları); ilerleyen günlerde ihtiyaca göre solüsyonlar ilave edilmiştir. Petri 10 gün boyunca karanlık ortamda ve 2±24 °C sıcaklığa ayarlı etüv içerisinde muhafaza edilmiştir. On gün boyunca günlük olarak çimlenen tohum sayıları kaydedilmiş; gözlemler sırasında ölü ve problemli tohumlar Petri kaplarından uzaklaştırılmıştır.

2.5. İncelenen karakterler

Günlük olarak alınan parametreler sonucunda çimlenme karakterlerine ait çimlenme yüzdesi (Al-Ansari ve Ksiksi, 2021), ortalama çimlenme süresi (Ellis ve Roberts, 1981), çimlenme indeksi (Anonymous, 1983), çimlenme üniformitesi (Noorhosseini ve ark., 2018), çimlenme enerjisi (Li ve ark., 2020) ve fide gücü indeksi (Abdul-Baki ve Anderson, 1973) parametreleri tespit edilmiştir.

Çalışmanın bitirileceği 10. gün geldiğinde her bir Petri kabından Petri'yi temsil edecek ortalama 10 bitki seçilerek fide özellikleri belirlenmiştir. Yüzeysel suyunun arındırıldıktan sonra kök ve sürgün yaş ağırlıkları belirlenmiştir. Kök ve sürgünler kök bölgesinden ayrılarak önce açıkta kurutulmuş; daha sonra, 68 °C sıcaklığa ayarlanmış etüvde sabit ağırlığa gelinceye kadar bekletildikten sonra hassas terazide tartılarak belirlenmiştir. Sürgün ve kök uzunluğu, lateral kök sayısı ve lateral köklerin bitki başına ortalama uzunluğunu belirlemek amacıyla fideler portatif el tarayıcısı (iScan, portatif el tarayıcısı) ile 600 dpi çözünürlükte taranmıştır (Acikbas ve ark., 2021). Taranarak kayıt altına alınan görüntüler Image J programı yardımıyla manuel olarak analiz edilmiştir. Bu yöntem sayesinde ölçümle daha hassas ve stabil bir şekilde yapılmıştır (Ceritoğlu ve ark., 2020).

2.6. İstatistiksel değerlendirmeler

Petri çalışması sonucunda elde edilen veriler tesadüf parsellerinde faktöriyel deneme desenine göre JMP (5.0.2) paket programı kullanılarak varyans analizine (ANOVA) tabi tutulmuş ve ortalamalara ait değerler Asgari Önemli Fark (Least Significant Difference, LSD) testi ile gruplandırılmıştır (Kalaycı, 2005).

3. Bulgular

Yürütülen bu çalışma kapsamında ACC deaminaz enzim aktivitesi gösteren PGPB strainlerinin farklı tuzluluk stresi altında çimlendirilen mercimek tohumlarının çimlenme karakteristiği ve erken dönem fide özellikleri üzerine etkileri laboratuvar şartları altında incelenmiştir. İncelenen özellikler artan NaCl konsantrasyonuna bağlı olarak olumsuz etkilenmiş olmakla birlikte, karakterlerin biyoprümiting uygulamasına gösterdikleri reaksiyonların PGPB strainlerine bağlı olarak değişim gösterdikleri belirlenmiştir.

Değişen tuz konsantrasyonlarına bağlı olarak çimlenme özellikleri incelendiğinde; çimlenme yüzdesi, çimlenme üniformite katsayısı, çimlenme enerjisi ve çimlenme indeksinde istatistiksel olarak çok önemli ($p<0.01$), ortalama çimlenme süresinde ise önemli ($p<0.05$) farklılıkların olduğu görülmüştür. Tuz konsantrasyonlarının etkisi bakımından fide gelişim parametrelerinde önemli çıkan karakterler göz önüne alındığında, fide uzunluğunda istatistiksel anlamda önemli ($p<0.05$), diğer karakterlerde ise çok önemli ($p<0.01$) farklılıklar ortaya çıktığı saptanmıştır. Fide gücü indeksi ve fide kuru ağırlığı ise tuz seviyelerinde meydana gelen değişimlerden önemli ölçüde etkilenmemiştir. Priming uygulamalarının

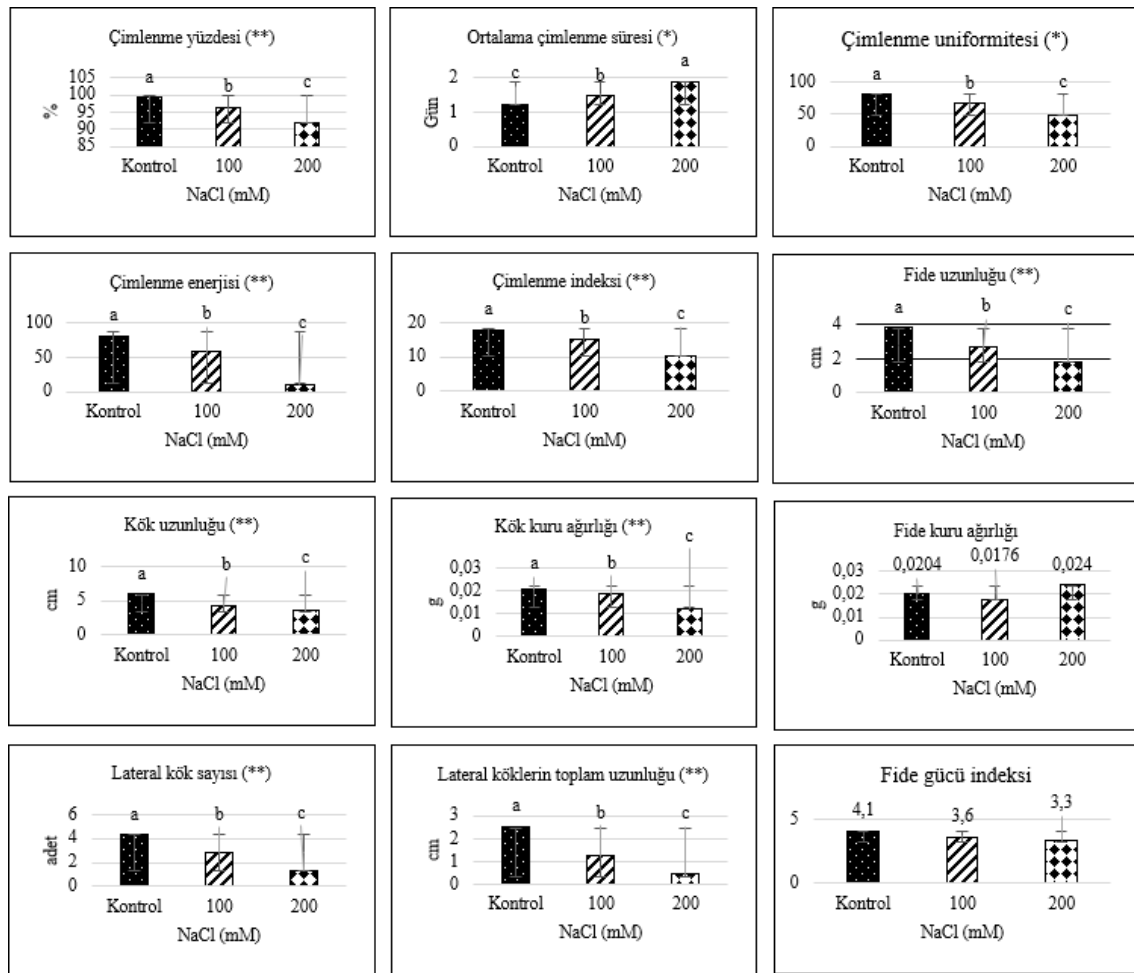
çimlenme yüzdesi ve fide gücü indeksi üzerine istatistiki açıdan önemli bir farklılık oluşturmadığı tespit edilmiştir. Diğer özellikler açısından ise; ortalama çimlenme süresi, çimlenme üniformite katsayısı ve fide uzunluğu açısından önemli ($p<0.05$), çimlenme enerjisi, çimlenme indeksi, kök uzunluğu, kök kuru ağırlığı, lateral kök sayısı ve lateral kök toplam uzunluğu açısından ise çok önemli ($p<0.01$) farklılıklara yol açtığı saptanmıştır. Tuz seviyelerinin bakteri uygulamaları ile interaksyonu (TxB) incelendiğinde ise çimlenme enerjisi ve çimlenme indeksi bakımından önemli ($p<0.05$), kök uzunluğu ve lateral kök toplam uzunluğu bakımından ise çok önemli ($p<0.01$) farklılıklara yol açtığı tespit edilmiştir (Şekil 1-3).

Tuz seviyelerinin çimlenme üzerine etkileri incelendiğinde, en düşük çimlenme yüzdesi (% 91.8) 200 mM NaCl uygulanan bitkilerde tespit edilirken, en yüksek çimlenme yüzdesi (% 99.4) kontrol grubunda belirlenmiştir. Ortalama çimlenme süresinin, kontrolden 200 mM NaCl uygulamasına doğru gidildikçe artış gösterdiği ve 1.24-1.90 gün aralığında değişim gösterdiği kaydedilmiştir. Artan tuz konsantrasyonlarına paralel olarak çimlenme üniformite katsayısı azalmış olup, en düşük 48.8 ile 200 mM NaCl uygulanan bitkilerde, en yüksek 81.2 ile kontrol bitkilerinde tespit edilmiştir. Benzer şekilde çimlenme enerjisi ve çimlenme indeksi parametreleri de artan tuz seviyelerine paralel olarak azalmıştır. En düşük çimlenme enerjisi (9.3) ve çimlenme indeksi (10.1) 200 mM NaCl uygulanan bitkilerde tespit edilirken, en yüksek çimlenme enerjisi (81.9) ve çimlenme indeksi (18.0) ise kontrol grubunda görülmüştür. Artan tuz konsantrasyonlarının fide gelişim parametreleri üzerine etkileri incelendiğinde; fide gücü indeksinin 3.3-4.1 aralığında değişim gösterdiği saptanmıştır. Fide uzunluğu ve kök uzunluğu artan NaCl konsantrasyonlarına paralel olarak azalmıştır. En düşük fide uzunluğu 1.8 cm ile 200 mM NaCl uygulanan bitkilerde, en yüksek ise 3.8 cm ile kontrol bitkilerinde belirlenmiştir. Kök uzunluğu bakımından en düşük (3.5 cm) ve en yüksek (6 cm) değerler sırasıyla 200 mM NaCl uygulanan ve kontrol bitkilerinde belirlenmiştir. Fide kuru ağırlığı bakımından tuz seviyeleri arasında bir fark oluşmamış; değerler, 0.0176-0.0240 g aralığında değiştiği kaydedilmiştir. Kök kuru ağırlığında en düşük değer 0.0119 g ile 200 mM NaCl uygulanan bitkilerde, en yüksek değer ise 0.0206 g ile kontrol bitkilerinde kaydedilmiştir. Lateral kök sayısı ve lateral köklerin toplam uzunluğu kontrolden 200 mM NaCl tuz seviyesine gidildikçe azalmıştır. Buna göre lateral kök sayısı 1.3-4.3 adet ve lateral

kök toplam uzunluğu 0.46-2.54 cm aralığında değişim göstermiştir (Şekil 1).

Deneyde incelenen karakterlerin PGPB strainlerine göre değişkenlik gösterdiği, bazı özelliklerin biyo-priming uygulamasından pozitif etkilenmesine rağmen, diğerlerinin etkilenmediği veya olumsuz tepki verdiği kaydedilmiştir. Biyo-priming uygulamasına bağlı olarak çimlenme yüzdesinin % 93.3-100.0 arasında değişim gösterdiği belirlenmiştir. Ortalama çimlenme süresinin KF58C (1.48 gün) ve KF63C (1.43 gün) strainleri ile muamele edilen tohumlarda kontrole (1.50 gün) göre daha düşük bulunduğu, diğer biyo-priming uygulanan tohumların ise kontrole göre daha geç çimlendiği belirlenmiştir. En düşük çimlenme üniformite katsayısı 60.0 ile KF3B uygulanan bitkilerde, en yüksek ise 70.9 ile KF63C ile muamele edilen tohumlarda tespit edilmiştir. Benzer şekilde, en düşük çimlenme enerjisi 40.8 ile KF3B uygulanan tohumlarda, en yüksek ise 62.2 ile KF58C uygulanan bitkilerde gözlemlenmiştir. En

düşük çimlenme indeksi 13.5 ile KF58B uygulanan tohumlarda elde edilmesine rağmen, istatistiki olarak KF3A ve KF3B ile aynı grupta yer almış, en yüksek ise 16.0 ile KF58C ile muamele edilen bitkilerde kaydedilmiştir. Araştırma sonuçlarına göre priming uygulamalarına bağlı olarak fide gücü indeksi 2.7-4.4 aralığında değişim göstermiştir. Fide uzunluğuna priming uygulamalarının etkisi incelendiğinde, en düşük (2.1 cm) ve en yüksek (3.9 cm) değerler sırasıyla KF3B ve KF58C uygulanan bitkilerde tespit edilmiştir. Kök uzunluğunda ise en düşük değer 2.1 cm ile KF3B uygulanan bitkilerde, en uzun değer 6.1 cm ile KF58C uygulanan bitkilerde kaydedilmiştir. Araştırmada fide kuru ağırlığı bakımından priming uygulamaları arasında önemli bir farklılık oluşmadığı ve 0.0145-0.0280 g aralığında değiştiği saptanmıştır. Kök kuru ağırlığında ise en düşük ve en yüksek değerler sırasıyla 0.0148 g ve 0.0196 g olarak KF3A ve KF58C uygulanan bitkilerde belirlenmiştir. Priming uygulamalarına bağlı olarak lateral kök



Şekil 1. Farklı NaCl seviyelerinin mercimekte çimlenme ve fide gelişimi üzerine etkisi

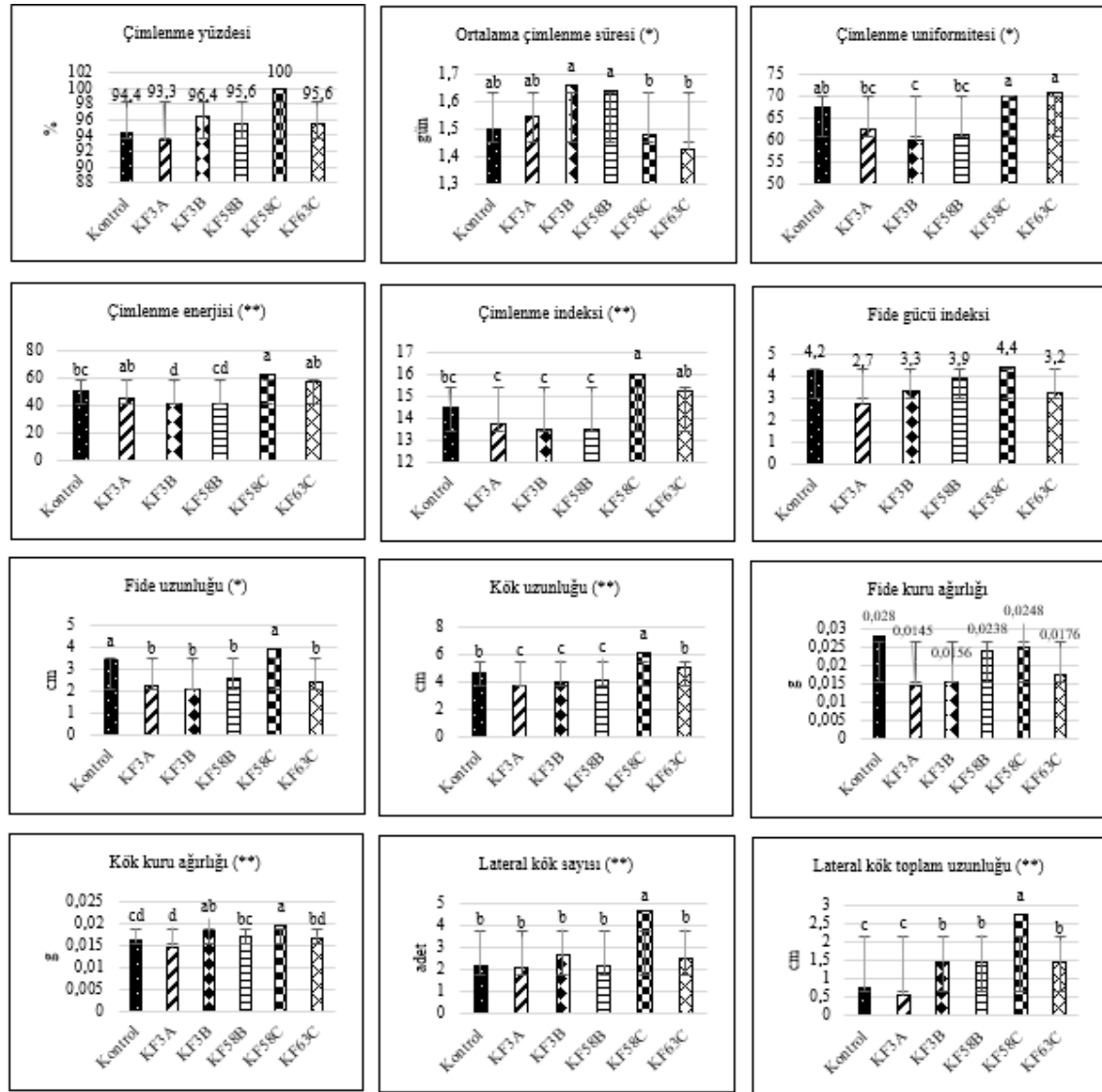
Figure 1. Effect of different NaCl levels on germination and seedling growth

*, p<0.05, **, p<0.01

sayısındaki değişim incelendiğinde; en düşük ve en yüksek değerler sırasıyla 2.1 adet ve 4.7 adet olarak KF3A ve KF58C uygulanan gruplarda kaydedilmiştir. Benzer şekilde, lateral köklerin toplam uzunluğunda en düşük (0.58 cm) ve en yüksek (2.73) değerler sırasıyla KF3A ve KF58C uygulanan bitkilerde tespit edilmiştir (Şekil 2).

ANOVA sonuçları incelendiğinde, tuz (T) x bakteri (B) interaksyonunun, incelenen özelliklerden; çimlenme enerjisi ve çimlenme indeksi açısından önemli ($p < 0.05$), kök uzunluğu ve lateral kök toplam uzunluğu açısından ise çok önemli ($p < 0.01$) farklılıkların oluşmasına yol açtığı, diğer karakterleri ise istatistiki açıdan etkilemediği belirlenmiştir. TxB interaksyonunun önemli ölçüde etkilediği karakterlerin stres ve uygulama

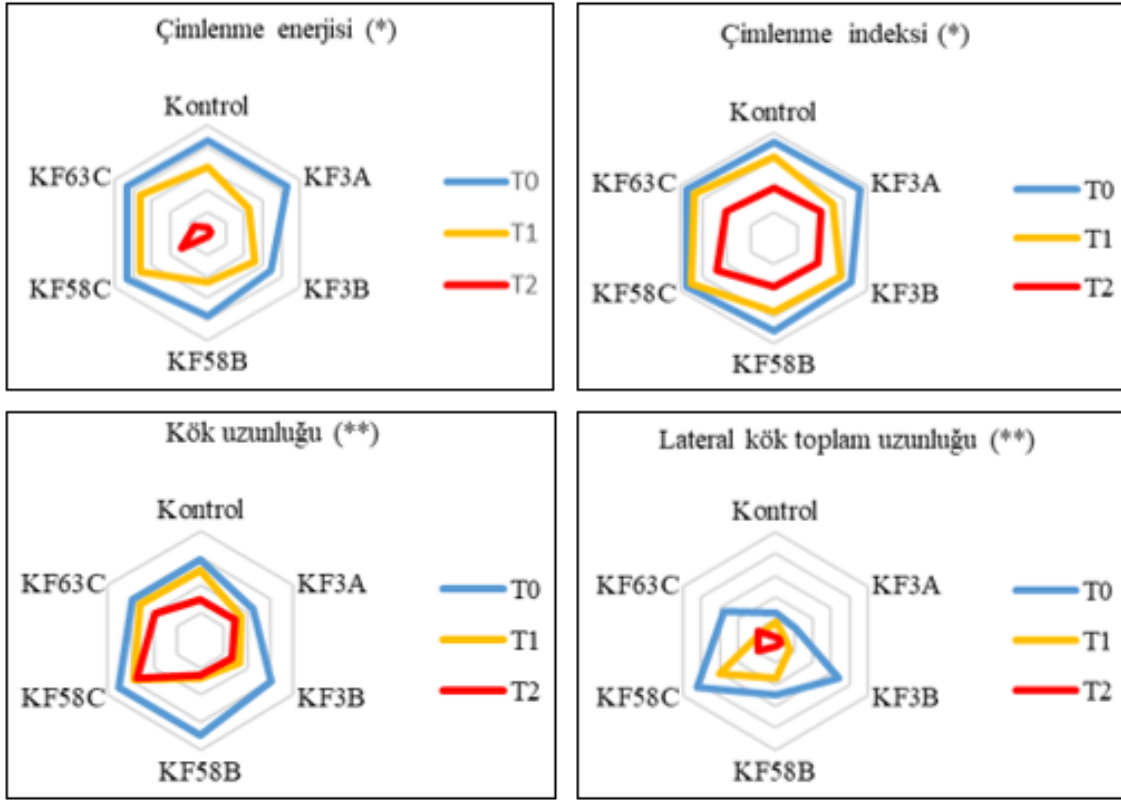
etkisi altında gösterdikleri tepkiler Radar grafik yardımıyla görselleştirilmiştir (Şekil 3). TxB interaksyonunun çimlenme enerjisi üzerine etkisi incelendiğinde, en yüksek değer 86.7 olarak tuz uygulanmayan gruptaki kontrol, KF3A, KF58C ve KF63C uygulamalarında, en düşük değer (2.5) ise 200 mM NaCl koşullarında çimlendirilen ve KF3B straini ile biyo-priming uygulanan tohumlardan elde edilmiştir. Grafikte açıkça görüldüğü üzere KF58C ve KF63 C uygulamaları tuzluluk stresine karşı toleransın artmasına imkân sağlamış; diğer uygulamalar ve kontrol grubunda ise neredeyse sifıra yakın bir değer bulunmuş ki, bu da ilk gün neredeyse hiç çimlenme gerçekleştiremediklerine işaret etmiştir. Çimlenme indeksi bakımından en yüksek değer 18.5 olarak tuz stresine maruz kalmayan ve KF63C ile priming uygulanan



Şekil 2. Farklı PGPB strainlerinin mercimekte çimlenme ve fide gelişimi üzerine etkisi

Figure 2. Effect of different PGPB strains on germination and seedling growth

*: $p < 0.05$, **: $p < 0.01$



Şekil 3. Biyo-priming uygulamasının farklı NaCl konsantrasyonları altındaki mercimekte bazı çimlenme ve kök özellikleri üzerine etkisi (TxB interaksyonu)

Figure 3. Effect of bio-priming application on some germination and root properties under different NaCl concentrations (TxB interaction)

T0: Tuz uygulanmayan, T1: 100 mM NaCl, T2: 200 mM NaCl, *: $p < 0.05$, **: $p < 0.01$

tohumlardan elde edilmiş olmakla birlikte, KF3A ve KF58C strainlerin ile kontrol grubundaki tohumlar ile aynı istatistikî grup içerisinde yer almıştır. En düşük çimlenme indeksi 200 mM NaCl koşullarında KF58B ile priming uygulanan bitkilerde 9.2 olarak gözlemlenmiştir. Artan NaCl konsantrasyonlarına bağlı olarak çimlenme indeksinin kontrol grubunda % 46.7 oranında azaldığı, bu oranın KF3A ve KF58C ile priming uygulanan tohumlarda sırasıyla % 33.2 ve %34.2'de kaldığı tespit edilmiştir. En yüksek kök uzunluğu (7.0 cm) tuz stresine maruz kalmayan ve KF58C ile priming uygulanan fidelerde gözlemlenirken, en düşük kök uzunluğu (2.5 cm) ise 200 mM NaCl koşullarında yetiştirilen ve KF58B ile priming uygulanan bitkilerde tespit edilmiştir. Lateral kök toplam uzunluğu bakımından en yüksek değer 4.26 cm olarak tuz stresine maruz bırakılmayan ve KF58C ile priming uygulanan fidelerden, en düşük ise 200 mM NaCl koşullarındaki kontrol ve KF3A gruplarından sırasıyla 0.16 cm ve 0.22 cm olarak ölçülmüştür. Lateral kök toplam uzunluğu kontrol bitkilerinde tuz stresine bağlı olarak % 87.6 oranında azalırken bu değer KF58C ve KF63C uygulanan fidelerde

sırasıyla % 77.9 ve % 66.6'ya kadar gerilemiştir. Azalıştaki farklılık kontrol ile KF58C arasında mukayese edildiğinde % 10 olarak görülebilir elde edilen değerler bakımından incelendiğinde lateral kök toplam uzunluğunun KF58C uygulanan bitkilerde (0.94 cm) kontrole (0.16 cm) göre yaklaşık 6 kat daha fazla olduğu belirlenmiştir. Bu durumun nedeni, KF58C uygulamasının kontrol grubunda da fide gelişimini önemli düzeyde artırmış olmasıdır (Şekil 3).

4. Tartışma ve Sonuç

Genel hatlarıyla değerlendirildiğinde, tuzluluk stresinin çimlenme ve fide gelişimi üzerine incelenen tüm özellikleri olumsuz etkilediği, 100 mM seviyesinde dahi kayda değer bir azalış görülmekle birlikte 200 mM NaCl konsantrasyonlarında önemli çimlenme ve gelişme kayıplarının ortaya çıktığı gözlemlenmiştir. Bununla birlikte, incelenen karakterlere ve priming uygulanan PGPB strainlerine göre değişmekle birlikte, incelenen karakterlerin strainlere farklı tepkiler gösterdiği kaydedilmiştir. Yani, bazı PGPB strainleri incelenen özellikler bakımından hem

optimum koşullarda hem de stres etkisi altında bitki gelişimini ve stres toleransını artırırken bazıları ise kontrolden bile daha düşük değerlerin elde edilmesine yol açmıştır.

Yapılan araştırmalar priming uygulamalarının çimlenme ve erken fide dönemine ait karakterlerin gelişmesine katkı sağladığını ortaya koymaktadır. Bu kapsamda; Langeroodi ve Noora (2017) soya (*Glycine max*), Açıkbaş ve Özyazıcı (2022) burçak (*Vicia ervilia* L.), Guo ve ark. (2022) tritikale (*Triticale hexaploide* L.), Khalequzzaman ve ark. (2023) pamuk (*Gossypium hirsutum* L.), Özyazıcı ve ark. (2023) dallı darı (*Panicum virgatum* L.), Ceritoglu ve ark. (2023) mercimek (*L. culinaris* M.) ve Keerthana ve ark. (2024) nohut (*Cicer arietinum* L.) bitkisinde farklı materyallerle tohumla priming uygulamasının çimlenme ve fide özelliklerinin gelişmesine katkı sağladığını rapor etmişlerdir. Öncelikle, bitkilerde tuzluluk stresi olarak tanımlanan ortamda Na^+ ve Cl^- iyonlarının belirli bir değerin üzerine çıkmasına ve bitkilerde birtakım olumsuzluklara yol açması olarak tanımlanmaktadır (Parihar ve ark., 2015). Bu nedenle, priming işlemi sonrasında Petri kaplarına ekimi gerçekleştirilen tohumlara çözünmüş NaCl uygulanması ortamdaki Na^+ ve Cl^- iyonlarının artmasına ve böylece bitkilerde tuzluluk stresinin oluşmasına yol açmıştır. Yürütülen araştırmalar tuzluluk stresine giren bitkilerde öncelikle iki temel sorunun (kökler tarafından yeterli su alınmaması ve artan Na^+/Cl^- iyon alımına bağlı olarak hücrelerin zarar görmesi) ortaya çıktığını ve diğer görülen semptomların bunlara bağlı gerçekleşen ikincil problemler olduğunu ortaya koymaktadır (Tuteja, 2007; Carillo ve ark., 2011; Angon ve ark., 2022). Bitkilerde artan tuzluluğa bağlı olarak su potansiyeli azalır, iyon dengesi bozulur ve toksisite meydana gelerek tüm fizyolojik evrelerde büyüme ve gelişmeyi olumsuz etkiler (Negrao ve ark., 2017; Kumar ve ark., 2020). Mevcut araştırmada, artan NaCl konsantrasyonunun çimlenmeye ait karakterleri olumsuz etkilemesine dair elde edilen bulguların sebebi, tuzluluk stresinin; çimlenme ortamının düşük ozmotik potansiyeli nedeniyle tohumların su emilimini sınırlandırması (Chakma ve ark., 2019), nükleik asit metabolizmasında görev alan enzimlerin aktivitesini etkileyerek toksisiteye yol açması (Heidari, 2010), protein metabolizmasını değiştirmesi (Yacoubi ve ark., 2013), hormonal dengesizliklere yol açması ve endosperm/kotiledon rezervinden fidelerin yararlanmasının önüne geçmesidir (Othman ve ark., 2006). Bordi (2010), kolzada (*Brassica napus*) NaCl uygulamasına bağlı olarak çimlenme yüzdesinin ve hızının sırasıyla % 38 ve % 33'e kadar azaldığını bildirmiştir. Khodarahmpour ve ark. (2012) mısır (*Zea mays*)'da 240 mM NaCl

uygulamasının çimlenme oranını % 32, kök uzunluğunu % 80 ve sürgün uzunluğunu % 78 ve tohum gücünü % 95 oranında azalttığını rapor etmişlerdir. Tuzluluk stresinin çimlenme ile ilgili karakterler üzerinde olumsuz etkiler gösterdiğini Foti ve ark. (2019) mercimekte (*L. culinaris* M.), Ceritoğlu ve Erman (2020) nohutta (*C. arietinum*), Feghhenabi ve ark. (2020) buğdayda (*Triticum aestivum* L.), Açıkbaş ve Özyazıcı (2021) yem bezelyesinde [*Pisum sativum* ssp *arvense* (L.) Poir], Ben Youssef ve ark. (2021) arpada (*Hordeum vulgare*), Lone ve ark. (2022) hardalda (*Brassica juncea*), Yıldırım ve ark. (2022) sorgumda [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] ve Açıkbaş ve ark. (2023) soyada [*G. max* (L) Merrill] rapor etmişlerdir. Mevcut araştırmada tuzluluk stresinin çimlenme karakteristiği üzerine etkilerine dair bulgular farklı araştırmacıların ortaya koyduğu sonuçlar ile uyum göstermektedir. Çimlenme sürecine benzer şekilde, erken fide dönemine ait gelişme parametrelerinin de tuzluluk stresine bağlı olarak ortaya çıkan toksisiteden kaynaklı olduğu açıktır. Henüz çimlenme sürecinde yeterli su alamayan ve metabolizmasında artan Na^+/Cl^- iyonlarından kaynaklı iyon dengesizliği ile mücadele etmeye çalışan bitkilerin optimum koşullar ile kıyaslandığında, gelişme geriliği göstermesi beklenebilecek bir durumdur. Nitekim, tuzluluk stresine bağlı olarak sürgün ve kök gelişiminin azaldığı (Atouei ve ark., 2019), lateral kök oluşumunun ve sayısının değişim gösterdiği bildirilmiştir (Arif ve ark., 2019; Ambastha ve ark., 2020).

Priming uygulamalarına bağlı olarak araştırma sonuçları incelendiğinde; çimlenme ile ilgili tüm karakterlerde (ortalama çimlenme süresi hariç) KF58C ve KF63C strainlerinin en üstün sonuçları ortaya koyduğu, en düşük ortalamaların ise KF3A veya KF3B strainleri ile priming uygulanan tohumlardan elde edildiği gözlemlenmiştir. Araştırmada kullanılan tüm strainler sahip oldukları diğer üstün özellikler dışında (N fiksasyonu, P çözme ve siderofor üretimi) tamamı ACC deaminaz enzim aktivitesine sahiptir. Yapılan araştırmalar ACC-deaminaz aktivitesi gösteren PGPB strainlerinin stres altındaki bitkilerde ani yükseliş gösteren etilen hormonunu α -ketobutirat ve amonyağa parçalayarak bitkilerde stres seviyesinin azaltılmasına katkı sağladığını göstermektedir (Nascimento ve ark., 2018; Orozco-Mosqueda ve ark., 2020). Bu nedenle özellikle KF58C ve KF63C strainlerinin artan tuz konsantrasyonuna bağlı olarak bitkilerde stresin azaltılmasına katkı sağladığı, böylece hidro-priming uygulanan kontrol grubundaki tohumlardan daha etkin bir şekilde bu süreci atlmasına imkân tanıdığı düşünülmektedir. Yine fide gelişimine ait parametreler

incelendiğinde, benzer bir senaryo ile karşılaşılmakta, fide kuru ağırlığı hariç tüm özelliklerde en üstün değerlerin KF58C ile priming uygulanan bitkilerden elde edildiği kaydedilmiştir. Optimum koşullarda ve stres altında ise yine en düşük değerler KF3A ve KF3B strainlerinde gözlemlenmiştir. Kumar ve ark. (2020), ACC deaminaz aktivitesine sahip PGPB strainlerinin kök uçlarının sayısını ve yüzey alanını artırdığını, böylece stres koşulları altında besin alımını ve hayatta kalmayı teşvik ettiğini ifade etmişlerdir. Bhise ve ark. (2017) birtakım farklı özellikler de bu sürece etki etmekle birlikte ACC deaminaz aktivitesinin bitkilerde stres toleransının geliştirilmesinde birincil mekanizma olduğunu belirtmişlerdir. Bu nedenle, araştırmada kullanılan ACC deaminaz etkisi gösteren KF58C ve KF63C strainlerinin hidro-priming uygulanan kontrol grubuna göre stres dayanımının daha yüksek olması beklenen bir sonuçtur. Öyle ise, KF3A ve KF3B strainlerinin de ACC deaminaz aktivitesine sahip olmasına rağmen hem stres koşulları altında hem de optimum koşullarda hidro-priming uygulanan kontrol bitkilerinden çimlenme ve fide gelişim özellikleri bakımından daha düşük performans sergiledikleri gözlemlenmiştir. Kontrolde daha düşük sonuçlar ortaya koyan bakteri strainlerinin çimlenme ve fide gelişimi bakımından olumsuz etki yapmasından ziyade hidro-priming uygulamasına kıyasla daha zayıf bir performans ortaya koydukları öngörülmektedir. Ancak, çeşitli araştırmacılar fitotoksik metabolitler, oksinler, hidrojen siyanür vb. üretimi sayesinde tohum çimlenmesini inhibe etmek suretiyle bu özelliklere sahip PGPB strainlerinin biyo-herbisit olarak kullanım olanaklarının da bulduklarını ortaya koymuşlardır (Abbas ve ark., 2017; Sindhu ve ark., 2018; Fang ve ark., 2022). Bu nedenle, özellikle KF3A ve KF3B strainlerinin çimlenme ve fide gelişimi üzerine herbisidal etki göstererek olumsuz sonuçların alınmış olma ihtimali de bulunmaktadır. Kullanılan PGPB strainlerinin sekonder metabolit üretimi bakımından laboratuvar testleri henüz yapılmamış olmasından dolayı biyo-herbisit özellik taşıma potansiyeli henüz belirlenmemiştir. Bu nedenle, KF3A ve KF3B strainlerinin hidro-priming uygulamasına kıyasla daha düşük performans göstermelerinin biyo-herbisidal özelliklerinden kaynaklanıp kaynaklanmadığının daha net ortaya koyulabilmesi için yeni araştırmalara ihtiyaç duyulmaktadır.

Araştırmada kullanılan bakteriyel strainlerden KF3A (*Bacillus zhangzhouensis*) ve KF3B (*Paenarthrobacter nitroguajacolicus*) incelenen özelliklerin büyük bir çoğunluğunda hidro-priming uygulanan kontrol grubundaki bitkilere göre daha düşük sonuçların elde edilmesine yol açarken

KF58C ve KF63C strainlerinin hem çimlenme hem de fide gelişim döneminde bitki gelişimini desteklediği, stres toleransının artmasına katkı sağladığı görülmüştür.

Sonuç olarak, tuzluluk seviyesi normal sınırların üzerinde olan alanlarda mercimek yetiştiriciliği bakımından KF58C ve KF63C strainlerine benzer özellikler taşıyan strainler ile biyo-priming işleminin sürdürülebilir ve çevreci bir çözüm olabileceği düşünülmektedir. Ayrıca, stres toleransının iyileştirilmesi ve bitki gelişiminin desteklenmesi amacıyla kullanılacak faydalı organizmaların fitotoksik etkilerinin incelenmesi ve bu kapsamda kullanımlarının detaylandırılması tavsiye edilmektedir. Biyo-priming uygulamalarının tuzluluk stresi üzerine etkilerinin daha net ve somut bilgiler ışığında gözlemlenebilmesi için toprak tuzluluğunun yüksek olduğu alanlarda kapsamlı saha çalışmalarının yürütülmesi, etkilerin kimyasal ve moleküler düzeyde incelenmesi gerekmektedir.

Etik Beyanı

Yazarlar, bu araştırma için etik onay gerekmediğini beyan etmektedir.

Finansman

Bu araştırma; Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) Bilim İnsanı Destek Programları Başkanlığı (BİDEB) tarafından yürütülen, 2209-A Üniversite Öğrencileri Araştırma Projeleri Destekleme Programı 2022 yılı 2. dönem kapsamında 1919B012215934 numaralı proje ile desteklenmiştir.

Yazarların Katkı Beyanı

Yazarlar; makaleye eşit katkıda bulduklarını, makalenin yayına hazır son halini gördüklerini/okuduklarını ve onayladıklarını beyan ederler.

Çıkar Çatışması Beyanı

Tüm yazarlar, bu çalışma için herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan etmektedir.

Teşekkür

Desteklerinden dolayı TÜBİTAK BİDEB'e teşekkür ederiz.

Kaynaklar

Abbas, T., Zahir, Z.A., Naveed, M., 2017. Bioherbicidal activity of allelopathic bacteria against weeds associated with wheat and their effects on growth of

- wheat under axenic conditions. *BioControl*, 62: 719-730.
- Abdul-Baki, A.A., Anderson, J.D., 1973. Vigor determination in soybean seed by multiple criteria. *Crop Science*, 13: 630-633.
- Acikbas, S., Ozyazici, M.A., Bektas, H., 2021. The effect of salinity on root architecture in forage pea (*Pisum sativum* ssp. *arvense* L.). *Legume Research-An International Journal*, 44(4): 407-412.
- Açıkbaş, S., Özyazıcı, M.A., 2021. Silisyum tohum ön uygulamasının tuz stresine maruz bırakılan yem bezelyesi [*Pisum sativum* ssp. *arvense* (L.) Poir]'nin çimlenme gelişimine etkisi. *Middle East International Conference on Contemporary Scientific Studies-V*, March 27-28, Ankara, Türkiye, s. 148-158.
- Açıkbaş, S., Özyazıcı, M.A., 2022. Salisilik asit tohum ön uygulama işleminin burçak (*Vicia ervilia* L.) bitkisinin çimlenme ve fide gelişimi etkisi. *ANADOLU 11 th International Conference on Applied Science*, December 29-30, Diyarbakır, Türkiye, s. 1005-1013.
- Açıkbaş, S., Özyazıcı, M.A., Bıçakçı, E., Özyazıcı, G., 2023. Germination and seedling development performances of some soybean [*Glycine max* (L.) Merrill] cultivars under salinity stress. *Turkish Journal of Range and Forage Science*, 4(2): 108-118.
- Akhtar, N., Prakash, N., Pandey, V.K., 2020. Technology interventions through cluster front line demonstration for enhancing yield of lentil under biotic stress and nutrient deficient soil. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 6: 251-254.
- Al-ansari, F., Ksiksi, T., 2021. A quantitative assessment of germination parameters: The case of *Crotalaria Persica* and *Tephrosia Apollinea*. *The Open Environmental Research Journal*, 9: 13-21.
- Ambastha, V., Friedmann, Y., Leshem, Y., 2020. Laterals take it better - Emerging and young lateral roots survive lethal salinity longer than the primary root in *Arabidopsis*. *Scientific Reports*, 10: 3291.
- Angon, P.B., Ul-Arif, T., Samin, S.I., Habiba, U., Hossain, A., Brestic, M., 2022. How do plants respond to combined drought and salinity stress?-A systematic review. *Plants*, 11(21): 2884.
- Anonim, 2023. Türkiye'de Mercimek Üretimi. Türkiye İstatistik Kurumu, (<https://data.tuik.gov.tr/Kategori/GetKategori?p=tarim-111&dil=1>), Ankara, (Erişim Tarihi: 27.06.2023).
- Anonymous, 1983. Seed Vigor Testing Handbook. Association of Official Seed Analysts (AOSA), Ithaca, New York.
- Anonymous, 2015. Status World's Soil Resources. Food and Agriculture Organization of the United Nations, (<https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>), Rome, Italy, (Erişim Tarihi: 25.05.2023).
- Anonymous, 2023. Production Quantity of Lentil on the World. (<https://www.statpub.com/index.php/statistics>), (Erişim Tarihi: 27.06.2023).
- Arif, M.R., Islam, M.T., Robin, A.H.K., 2019. Salinity stress alters root morphology and root hair traits in *Brassica napus*. *Plants*, 8(7):192.
- Atouei, M.T., Pourbabaee, A.A., Shorafa, M., 2019. Alleviation of salinity stress on some growth parameters of wheat by exopolysaccharide-producing bacteria. *Iranian Journal of Science and Technology*, 43: 2725-2733.
- Ben Youssef, R., Jelali, N., Boukari, N., Albacete, A., Martinez, C., Alfocea, F.P., Abdelly, C., 2021. The efficiency of different priming agents for improving germination and early seedling growth of local tunisian barley under salinity stress. *Plants*, 10(11): 2264.
- Bhise, K.K., Bhagwat, P.K., Dandge, P.B., 2017. Synergistic effect of *Chryseobacterium gleum* sp. SUK with ACC deaminase activity in alleviation of salt stress and plant growth promotion in *Triticum aestivum* L. *3 Biotech*, 7: 105.
- Bordi, A., 2010. The influence of salt stress on seed germination, growth and yield of canola cultivars. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 38: 128-133.
- Butcher, K., Wick, A.F., DeSutter, T., Chartterjee, A., Harmon, J., 2016. Soil salinity: A threat to global food security. *Agronomy Journal*, 108(6): 2189-2200.
- Carillo, P., Annunziata, M.G., Pontecorvo, G., Fuggi, A., Woodrow, P., 2011. Salinity stress and salt tolerance. In: A. Shanker, B. Venkateswarlu (Eds.), *Abiotic Stress in Plants: Mechanisms and Adaptations*, 1st Edn., InTechOpen, pp. 21-38.
- Ceritoglu, M., Erman, M., Çiğ, F., Ceritoğlu, F., Uçar, Ö., Soysal, S., El Sabagh, A., 2023. Enhancement of root system architecture, seedling growth, and germination in lentil under salinity stress by seed priming with silicon and salicylic acid. *Polish Journal of Environmental Studies*, 32(5): 4481-4491.
- Ceritoglu, M., Erman, M., Çiğ, F., Uçar, Ö., Soysal, S., Erden, Z., Toprak, Ç.C., 2024. Bio-priming treatment with PGPB strains in cowpea production increases grain yield and net income. *Research in Agricultural Sciences*, 55(2): 79-88.
- Ceritoğlu, M., Ceritoglu, F., Erman, M., Bektas, H., 2020. Root system variation of pulse crops at early vegetative stageearly vegetative stage. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 48(4): 2182-2197.
- Ceritoğlu, M., Erman, M., 2020. Mitigation of salinity stress on chickpea germination by salicylic acid priming. *Uluslararası Tarım ve Yaban Hayatı Bilimleri Dergisi*, 6(3): 582-591.
- Ceritoğlu, M., Erman, M., 2021. Effect of silicon priming treatments on germination and some agronomic traits in lentil. *3. International African Conference on Current Studies*, February 27-28, Abomey-Calavi, Benin, pp. 436-444.
- Chakma, P., Hossain, M., Rabbani, G., 2019. Effects of salinity stress on seed germination and seedling growth of tomato. *Journal of Bangladesh Agricultural University*, 17(4): 490-499.
- Darabi, F., Hatami, A., Zare, M.J., 2014. Plant growth-promoting rhizobacteria improved growth, yield and yield components of lentil (*Lens culinaris* Medic)

- under shading growing conditions. *International Journal of Biosciences*, 4(12): 346-352.
- Delahunty, A., Nuttall, J., Nicolas, M., Brand, J., 2018. Response of lentil to high temperature under variable water supply and carbon dioxide enrichment. *Crop and Pasture Science*, 69(11): 1103-1112.
- Dirik, K.Ö., Saygılı, I., Özkurt, M., Sakin, M.A., 2020. Examining of salt stress tolerance of some local bread wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes at early growth stage. *Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology*, 8(3): 688-693.
- Ellis, R.H., Roberts, E.H., 1981. The quantification of ageing and survival in orthodox seeds. *Seed Science and Technology*, 9: 373-409.
- Erman, M., Çığ, F., Ceritoğlu, F., Ceritoğlu, M., 2022a. Plant growth promoting bacteria enhances photosynthesis, nodulation and root system architecture in lentil under lead toxicity. *Journal of Central European Agriculture*, 23(3): 582-591.
- Erman, M., Çığ, F., Ceritoğlu, M., 2022b. Mercimekte çimlenme ve fide gelişimi üzerine optimum PGPB-priming protokolünün belirlenmesi. *Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 9(1): 62-70.
- Fang, W., Liu, F., Wu, Z., Zhang, Z., Wang, K., 2022. Plant-associated bacteria as sources for the development of bioherbicides. *Plants*, 11: 3404.
- Farooq, M., Gogoi, N., Hussain, M., Bartkahur, S., Paul, S., Bharadwaj, N., Migdadi, H.M., Alghamdi, S.S., Siddique, K.H.M., 2017. Effects, tolerance mechanisms and management of salt stress in grain legumes. *Plant Physiology and Biochemistry*, 118: 199-217.
- Farooq, M., Romdhane, L., Al Sulti, M.K.R.A., Rehman, A., Al-Busaidi, W.M., Lee, D.J., 2019. Morphological, physiological and biochemical aspects of osmopriming-induced drought tolerance in lentil. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 206(2): 176-186.
- Feghhenabi, F., Hadi, H., Khodaverdiloo, H., van Genuchten, M., 2020. Seed priming alleviated salinity stress during germination and emergence of wheat (*Triticum aestivum* L.). *Agricultural Water Management*, 231: 106022.
- Foti, C., Khah, E.M., Pavli, O.I., 2019. Germination profiling of lentil genotypes subjected to salinity stress. *Plant Biology*, 21(3): 480-486.
- Ganguly, S., Roy, A., Murmu, S.K., Sagolsem, D., Sarkar, M., Sen, S., Das, D., Das, C., Chakraborty, P., Bhattacharyya, P.K., Nath, R., Tripathi, K., Sarker, A., Bhattacharyya, S., 2021. Variation in P-acquisition ability and acid phosphatase activity at the early vegetative stage of lentil and their validation on P-deficiency field. *Acta Physiologiae Plantarum*, 43: 109.
- Guo, Y., Li, D., Liu, L., Sun, H., Zhu, L., Zhang, K., Zhao, H., Zhang, Y., Li, A., Bai, Z., Tian, L., Dong, H., Li, C., 2022. Seed priming with melatonin promotes seed germination and seedling growth of *Triticale hexaploide* L. under PEG-6000 induced drought stress. *Frontiers in Plant Science*, 13: 932912.
- Gupta, A., Singh, S.K., Singh, M.K., Singh, V.K., Modi, A., Singh, P.K., Kumar, A., 2020. Plant growth-promoting rhizobacteria and their functional role in salinity stress management. In: P. Singh, A. Kumar and A. Borthakur (Eds.), *Abatement of Environmental Pollutants Trends and Strategies*, Elsevier Inc. All, pp. 151-160.
- He, Y., Fu, J., Yu, C., Wang, X., Jiang, Q., Hong, J., Lu, K., Xue, G., Yan, C., James, A., Xu, L., Chen, J., Jiang, D., 2015. Increasing cyclic electron flow is related to Na⁺ sequestration into vacuoles for salt tolerance in soybean. *Journal of Experimental Botany*, 66: 6877-6889.
- Heidari, M., 2010. Nucleic acid metabolism, proline concentration and antioxidants enzyme activity in canola (*Brassica napus* L.) under salinity stress. *Agricultural Sciences in China*, 9(4): 504-511.
- Iqbal, S., Hussain, S., Qayyum, M.A., Ashraf, M., Saifullah, M., 2020. The response of maize physiology under salinity stress and its coping strategies. In: A. Hossain (Ed.), *Plant Stress Physiology*, 1st Edn., IntechOpen, pp. 1-26.
- Jha, U.C., Bohra, A., Jha, R., Parida, S.K., 2019. Salinity stress response and 'omics' approaches for improving salinity stress tolerance in major grain legumes. *Plant Cell Reports*, 38: 255-277.
- Kalaycı, M., 2005. Örneklerle Jump Kullanımı ve Tarımsal Araştırma İçin Varyans Analizi Modelleri (1. Baskı). Eskişehir Anadolu Tarımsal Araştırma Enstitüsü Yayınları, Yayın No: 21, Eskişehir.
- Keerthana, M., Ramakrishnan, R.S., Nagre, S., Kumar, A., Sharma, R., Upadhyay, A., Samaiya, R.K., 2024. Seed germination and seed vigour induction through foliar application of plant growth regulators and nutrients under drought stress in chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Archives of Current Research International*, 24(1): 13-23.
- Khalequzzaman, Ullah, H., Himanshu, S.K., Islam, N.T., Tisarum, R., Cha-um, S., Datta, A., 2023. Seed priming improves germination, yield, and water productivity of cotton under drought stress. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 23: 2418-2432.
- Khodarahmpour, Z., Ifar, M., Motamedi, M., 2012. Effects of NaCl salinity on maize (*Zea mays* L.) at germination and early seedling stage. *African Journal of Biotechnology*, 11: 298-304.
- Kumar, A., Singh, S., Gaurav, A.K., Srivastava, S., Verma, J.P., 2020. Plant growth-promoting bacteria: Biological tools for the mitigation of salinity stress in plants. *Frontiers in Microbiology*, 11: 1216.
- Kumar, A., Verma, J.P., 2018. Does plant-Microbe interaction confer stress tolerance in plants: A review? *Microbiological Research*, 207: 41-52.
- Langeroodi, A.R.S., Noora, R., 2017. Seed priming improves the germination and field performance of soybean under drought stress. *The Journal of Animal & Plant Sciences*, 27(5): 1611-1620.
- Li, W., Zhang, H., Zeng, Y., Xiang, L., Lei, Z., Huang, Q., Li, T., Shen, F., Cheng, Q., 2020. A salt tolerance evaluation method for sunflower (*Helianthus annuus*

- L.) at the seed germination stage. *Scientific Reports*, 10: 10626.
- Lone, J.A., Raza, M.A., Erman, M., Çiğ, F., Çiğ, A., Ceritoğlu, M., Soysal, S., El Sabagh, A., 2022. A reliable screening characteristic for salinity tolerance of *Brassica juncea* at the root development and seedling stage and an effective screening method. In: *Renaissance of Hill Agriculture through Advanced Genetics and Crop Breeding Interventions for Attaining Food and Nutrition Security under Climate Change Scenario*, September 10-12, New Delhi, India, p. 36.
- Mikail, N., Çiğ, A., 2023. Estimation of root length using regression tree method in *Sesbania punicea* seeds. *International Conference on Food, Agriculture and Animal Sciences*, April 27-29, Sivas, Türkiye, pp. 286-294.
- Nascimento, F.X., Rossi, M.J., Glick, B.R., 2018. Ethylene and 1-Aminocyclopropane-1-carboxylate (ACC) in plant-bacterial interactions. *Frontiers in Plant Science*, 9: 114.
- Negrao, S., Schmöckel, S.M., Tester, M., 2017. Evaluating physiological responses of plants to salinity stress. *Annals of Botany*, 119(1): 1-11.
- Noorhosseini, S.A., Jokar, N.K., Damalas, C.A., 2018. Improving seed germination and early growth of garden cress (*Lepidium sativum*) and basil (*Ocimum basilicum*) with hydro-priming. *Journal of Plant Growth Regulation*, 37: 323-334.
- Orozco-Mosqueda, M.C., Glick, B.R., Santoyo, G., 2020. ACC deaminase in plant growth-promoting bacteria (PGPB): An efficient mechanism to counter salt stress in crops. *Microbiological Research*, 235: 126439.
- Othman, Y., Al-Karaki, G., Al-Tawaha, A.R., Al-Horani, A., 2006. Variation in germination and ion uptake in barley genotypes under salinity conditions. *World Journal of Agricultural Sciences*, 2: 11-15.
- Özyazıcı, G., Açıkbay, S., Özyazıcı, M.A., 2023. Effects of salicylic acid priming application in some switchgrass (*Panicum virgatum* L.) cultivars. *International Journal of Nature and Life Sciences*, 7(2): 137-146.
- Palmer, S.M., Winham, D.M., Oberhauser, A.M., Litchfield, R.E., 2018. Socio-ecological barriers to dry grain pulse consumption among low-income women: A mixed methods approach. *Nutrients*, 10(8): 1108.
- Pandey, A.K., Sengar, R.S., 2020. Effect of salt stress on salt tolerant indices of morpho-physiological traits and yield attributes of lentil (*Lens culinaris* Medik.). *International Journal of Chemical Studies*, 8(1): 2292-2301.
- Panuccio, M.R., Romeo, F., Marra, F., Mallamaci, C., Hussain, I., Muscolo, A., 2021. Salinity tolerance of lentil is achieved by enhanced proline accumulation, lower level of sodium uptake and modulation of photosynthetic traits. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 208(1): 40-52.
- Parihar, P., Singh, S., Singh, R., Singh, V.P., Prasad, S.M., 2015. Effect of salinity stress on plants and its tolerance strategies: a review. *Environmental Science and Pollution Research*, 22: 4056-4075.
- Patil, G., Do, T., Vuong, T.D., Valliyodan, B., Lee, J.D., Chaudhary, J., Shannon, J.G., Nguyen, H.T., 2016. Genomic-assisted haplotype analysis and the development of high-throughput SNP markers for salinity tolerance in soybean. *Scientific Reports*, 6: 1-13.
- Qi, G., Pan, Z., Andriamanohiarisoamanana, F.J., Yamashiro, T., Iwasaki, M., Kawamoto, K., Umetsu, K., 2017. Isolation and characterization of plant growth promoting bacteria (PGPB) from anaerobic digestate and their effect on common wheat (*Triticum aestivum*) seedling growth. *International Journal of Environmental & Agriculture Research*, 3(11): 46-52.
- Rampal, P., 2018. An analysis of protein consumption in India through plant and animal sources. *Food and Nutrition Bulletin*, 39(4): 564-580.
- Sarker, B.C., Karmoker, J.L., 2011. Effects of phosphorus deficiency on accumulation of biochemical compounds in lentil (*Lens culinaris* Medik.). *Bangladesh Journal of Botany*, 40(1): 23-27.
- Sehgal, A., Sita, K., Kumar, J., Kumar, S., Singh, S., Siddique, K.H.M., Nayyar, H., 2017. Effects of drought, heat and their interaction on the growth, yield and photosynthetic function of lentil (*Lens culinaris* Medikus) genotypes varying in heat and drought sensitivity. *Frontiers in Plant Science*, 8: 1776.
- Shi-Ying, Z., Cong, F., Yong-xia, W., Yun-sheng, X., Wei, X., Xiao-Long, C., 2018. Salt-tolerant and plant growth-promoting bacteria isolated from high-yield paddy soil. *Canadian Journal of Microbiology*, 64: 968-978.
- Sindhu, S.S., Khandelwal, A., Phour, M., Sehrawat, A., 2018. Bioherbicidal potential of rhizosphere microorganisms for ecofriendly weed management. In: V. Meena (Ed.), *Role of Rhizospheric Microbes in Soil*, 1st Edn., Springer, Singapore, pp. 331-376.
- Sonnante, G., Hammer, K., Pignone, D., 2009. From the cradle of agriculture a handful of lentils: History of domestication. *Rendiconti Lincei*, 20: 21-37.
- Tuteja, N., 2007. Mechanisms of high salinity tolerance in plants. *Methods in Enzymology*, 428: 419-438.
- Warne, T., Ahmed, S., Shanks, C.B., Miller, P., 2019. Sustainability dimensions of a North American lentil system in a changing World. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 3: 88.
- Wei, C., Ren, S., Yang, P., Wang, Y., He, X., Xu, Z., Wei, R., Wang, S., Chi, Y., Zhang, M., 2021. Effects of irrigation methods and salinity on CO₂ emissions from farmland soil during growth and fallow periods. *Science of The Total Environment*, 752: 141639.
- Yacoubi, R., Job, C., Belghazi, M., Chaibi, W., Job, D., 2013. Proteomic analysis of the enhancement of seed vigour in osmoprimed alfalfa seeds germinated under salinity stress. *Seed Science Research*, 23(2): 99-110.

Yıldırım, C., Başak, M., Aydınöğlu, B., 2022. Gibberellik asit (GA3) uygulamalarının farklı tuz yoğunluklarında sorgum [*Sorghum bicolor* (L.)

Moench] tohumlarının çimlenme ve fide gelişimi üzerine etkileri. *Türkiye Tarımsal Araştırmalar Dergisi*, 9(3): 323-333.

ALINTI: Tarhan, B., Ceritoğlu, M., 2024. Biyo-Priming Uygulamasının Mercimek (*Lens culinaris* M.)'te Çimlenme, Fide Gelişimi ve Tuzluluk Stresi Üzerine Etkisi. *Türkiye Tarımsal Araştırmalar Dergisi*, 11(2): 128-140.
CITATION: Tarhan, B., Ceritoğlu, M., 2024. Effect of Bio-Priming Application on Germination, Seedling Growth and Salinity Stress in Lentil (*Lens culinaris* M.). *Turkish Journal of Agricultural Research*, 11(2): 128-140. (In Turkish).