

Araştırma Makalesi

Tuz Stresi Altında Karabuğday (*Fagopyrum esculentum* Moench.)'ın Çimlenmesi ve Fide Büyümesi Üzerine Borik Asit ile Tohum Ön Uygulamasının Etkisi

Semih Açıkbaş¹  Gülten Özyazıcı¹  Mehmet Arif Özyazıcı^{1*} 

¹Siirt Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Siirt, Türkiye
*Sorumlu yazar: arifozyazici@siirt.edu.tr

Geliş Tarihi: 26.08.2024

Kabul Tarihi: 13.11.2024

Öz

Tuzluluk, bitkilerin çimlenmesini, büyümesini ve verimliliğini olumsuz yönde etkileyen dünya çapında ciddi bir sorundur. Tohum ön uygulaması (priming), başta tuz stresi olmak üzere birçok abiyotik stres faktörlerinin etkisini hafifleterek, tohumların çimlenmesini, fide gelişimini, bitkilerin büyümesini ve verimini artıran bir tekniktir. Bu çalışma, tuz stresi altındaki karabuğday (*Fagopyrum esculentum* Moench.)'ın bor (B) ile priming uygulamasının çimlenme ve fide gelişimine etkisini incelemek için yürütülmüştür. Çalışmada karabuğday tohumları, dört farklı konsantrasyon seviyesinde (1, 2, 3 ve 4 mM) borik asit (H_3BO_3) çözeltisi ile ön uygulamaya tabi tutulmuştur. Priming uygulamasından sonra bu tohumlar, farklı seviyelerde (0, 100 ve 200 mM) sodyum klorür ($NaCl$) ile muamele edilmiştir. Borik asit ve tuzluluğun çimlenme yüzdesi, ortalama çimlenme süresi, çimlenme üniformite katsayısı, çimlenme enerjisi, çimlenme indeksi, fide yaş ağırlığı ve fide güç indeksi gibi farklı fizyolojik büyüme parametreleri üzerine etkisi gözlenmiştir. Priming uygulanmayan tohumların $NaCl$ stresi altında daha az çimlenme performansı ve fide büyümesi gösterdiği gözlemlenmiştir. Borik asit ile ön işlem uygulanan tohumlar, kontrol (ön işlem uygulanmayan) konusuna kıyasla çimlenme ve fide özelliklerinde (çimlenme yüzdesi hariç) daha iyi gelişim göstermiştir. Bu sonuçlara göre, tuz stresi yaşanan alanlarda, çimlenmeyi iyileştirmeye yönelik olarak ekim öncesi karabuğday tohumlarının 1.0 mM borik asit konsantrasyonu ile ön işleme tabi tutulması önerilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Karabuğday, borik asit, tuz stresi, çimlenme yüzdesi, fide güç indeksi.

Influence of Seed Priming with Boric Acid on Germination and Seedling Growth of Buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench.) Under Salt Stress

Abstract

Salinity is a serious problem worldwide that negatively affects plant germination, growth and productivity. Seed priming is a technique that increases seed germination, seedling development, plant growth and yield by alleviating the effects of many abiotic stress factors, especially salt stress. Present study was carried out to investigate the effects of boron (B) priming on germination and seedling development of buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench.) under salt stress. In this study seeds of buckwheat were primed with four different concentration levels (1, 2, 3, and 4 mM) of boric acid (H_3BO_3) solutions. After priming, these seeds were treated with different levels (0, 100, and 200 mM) of sodium chloride ($NaCl$). The effect of H_3BO_3 and $NaCl$ was observe on different physiological growth parameter including germination percentage, mean germination time, germination uniformity coefficient, germination energy, germination index, seedling fresh weight, and seedling vigor index were observed. It was observed that seeds without priming exhibited reduced germination performance and seedling growth under $NaCl$ stress. Whereas priming of seeds with H_3BO_3 showed improved in germination and seedling traits (except for germination percentage) as compared to non-primed seeds. According to these results, it is recommended to pretreat buckwheat seeds with 1.0 mM boric acid concentration before sowing to improve germination in areas experiencing salt stress.

Keywords: Buckwheat, boric acid, salt stress, germination percentage, seedling vigor index.

Giriş

Asya, Orta ve Doğu Avrupa'nın geleneksel bir ürünü olan karabuğday (*Fagopyrum esculentum* Moench.) (Wijngaard ve Arendt, 2006), Polygonaceae familyasına ait; genel olarak ılıman iklimlerde yetiştirilen, yüksek lif, mineral besin maddeleri, vitamin ve protein seviyeleri, dengeli amino asit bileşimi ve yüksek biyolojik değeri nedeniyle önem verilen bir yalancı tahıl (pseudo tahıllar) türüdür (Wijngaard ve Arendt, 2006; Özyazıcı ve Turan, 2021; Gabr ve ark., 2022; Borgonovi ve ark., 2024). Karabuğday ayrıca, polifenoller, fitosteroller, flavonoidler gibi önemli miktarda biyoaktif bileşenler de içerir (Wijngaard ve Arendt, 2006; Özyazıcı ve ark., 2023; Sofi ve ark., 2023). Karabuğday, hızlı gelişmesi ve kısa vejetasyon süresine sahip olması nedeniyle iyi bir ara ürün ve ekim nöbeti bitkisi olarak kullanılması (Kara ve Yüksel, 2014), yeşil ot, kuru ot ve silaj bitkisi şeklinde hayvan yemi olarak değerlendirilebilme potansiyeli (Kara ve Yüksel, 2014; Özyazıcı ve Açıkbaş, 2022a; Özyazıcı, 2023a), karışık yetiştirme sistemlerinin önemli bir bileşeni olması (Salehi ve ark., 2018; Biszczak ve ark., 2020; Cheriye ve ark., 2020) gibi önemli tarımsal özelliklere de sahiptir. Karabuğday aynı zamanda, özellikle çölyak hastaları tarafından günlük beslenmenin bir parçası olarak tüketilebilen, sağlıklı ve fonksiyonel bir gıda ürünü olarak da büyük bir önem taşımaktadır (Wijngaard ve Arendt, 2006). Karabuğday tarımında; sıcaklık, tuzluluk, besin maddeleri gibi birçok faktör, bitkinin verimliliğini, ürün kalitesini ve potansiyelini etkilemektedir (Slawinska ve Obendorf, 2001; Taylor ve Obendorf, 2001; Matsuura ve ark., 2005; Biçer ve Özyazıcı, 2020; Özyazıcı, 2020).

Tuzluluk, kurak ve yarı kurak bölgelerde bitkisel üretimi sınırlayan en önemli faktörlerden biridir (Açıkbaş ve ark., 2023). Tuzlu topraklarda, sodyum klorür (NaCl)'ün aşırı birikimi; bitkilerde osmotik stres, iyon toksisitesi ve oksidatif stresi sonuçlandırarak tohum çimlenmesinde önemli oranda azalmaya, klorofilin parçalanmasına ve fotosentetik oranlarda düşüğe neden olur (Liu ve ark., 2018; Navada ve ark., 2020; Rezayian ve ark., 2023). Bu anlamda çimlenme dönemi, genellikle bitki yaşam döngüsünün tuza en duyarlı aşaması olarak kabul edilmektedir (Ashraf ve Wahid, 2000; Acikbas ve ark., 2021). Günümüzde, çimlenme ve fide gelişim döneminden hasada kadar geçen süreç içerisinde, bitkiler üzerindeki abiyotik streslerin etkisini engellemek için çeşitli stratejiler geliştirilmiştir. Özellikle daha hassas olan çimlenme ve fide gelişim aşamalarında, bitkilerin abiyotik stres faktörlerine karşı toleransının iyileştirilmesinde ve/veya abiyotik stresin etkisini hafifletmek için priming teknikleri sıklıkla kullanılmakta (Gupta ve ark., 2024; Oyebamiji ve ark., 2024); bu teknik, çeşitli abiyotik stres altında, çimlenme karakterlerinin iyileştirilmesine, bitki gelişimi ve ürün veriminin teşvik edilmesine katkı sağlamaktadır (Sedghi ve ark., 2010; Marthandan ve ark., 2020; Rhaman ve ark., 2020; Mutum ve ark., 2021; Özyazıcı, 2021).

Çimlenme öncesi değişiklikler, genellikle hidro-priming, ozmo-priming, halo-priming, kimyasal priming, besinsel priming, hormonal priming, biyo-priming, nano priming ve redoks priming gibi çeşitli tohum priming yaklaşımlarıyla sağlanabilmektedir (Pawar ve Laware, 2018; Ceritoğlu ve ark., 2021; Mim ve ark., 2022). Tohum ön uygulamasının çimlenme hızını artırdığı (Deering ve Young, 2006; Iqbal ve ark., 2020), ortalama çimlenme süresini kısalttığı (Moazz Ali ve ark., 2020; Özyazıcı, 2022a), fide canlılığını ve fide oluşumunu iyileştirdiği (Harris, 1996; Arif ve ark., 2005; Ali ve ark., 2007; Ghiyasi ve ark., 2019) rapor edilmiştir. Priming teknikleri kapsamında birçok çalışmada, tohum çimlenmesi ve fide canlılığının, makro ve mikro besin çözeltilerinde tohum ön uygulamaları ile arttırıldığı gösterilmiştir (Ceritoglu ve ark., 2021; Mim ve ark., 2022; Faisal ve ark., 2023; Ghimire ve ark., 2023). Mikro besin maddeleri açısından zenginleştirilmiş tohumların (tohum priming) kullanımının, aynı zamanda, mikro besin eksikliklerinin giderilmesinde de etkili bir strateji olduğu bildirilmiştir (Musakhandov, 1984; Harris ve ark., 1999). Mondal ve Bose (2019), mikro besin maddelerinin uygulanmasında kolay ve uygun maliyetli bir yöntem olan tohum aşılamanın, kaynak sıkıntısı çeken çiftçiler için de cazip bir seçenek sunduğunu ifade etmişlerdir.

Bu anlamda, bor (B) ihtiva eden farklı formdaki besin çözeltileri de priming tekniğinde sıklıkla kullanılmaktadır (Abdollahi ve ark., 2012; Özyazıcı ve Açıkbaş, 2021, 2022b; Açıkbaş ve Özyazıcı, 2023). Diğer yandan, tohum ön uygulama etkileri; tuzluluk, düşük veya yüksek sıcaklık, kuraklık, ağır metal gibi stres ortamı koşullarında devam eder. Bu nedenle, tuzluluk stresi koşullarında tohumların gücünü arttırmak için optimum çimlenme oranı ve fide oluşumu amacıyla farklı priming yöntemlerinin incelenmesi gereklidir. Bu yöntemlerde, tohum ön uygulaması sırasında, solüsyonun konsantrasyonunun belirlenmesi sonucu etkileyen en kritik faktörlerden biridir. Özellikle bor gibi besin maddelerinin kullanıldığı çözeltilerle tohum ön uygulaması, çimlenmeyi ve erken fide büyümesini ve bazı tarımsal karakterleri iyileştirir; fakat aynı zamanda, farklı ürünlerde önemli oranda bazı verim

kayıplarına da yol açar (Mondal ve Bose, 2019). Bu nedenle, bor ile priming uygulamasına yönelik olarak uygun çözelti konsantrasyonunun test edilip optimize edilmesi, özellikle tarla uygulamasından önce önem taşımaktadır. Bu çalışmada, tuzluluk koşullarında karabuğday (*F. esculentum*) tohumlarına farklı dozlarda borik asit priming uygulamalarının çimlenme ve fide gelişimine etkisinin incelenmesi amaçlanmıştır.

Materyal ve Yöntem

Deney alanı

Çalışma, Siirt Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarla Bitkileri Bölümü Laboratuvarı'nda kontrollü şartlar altında (25 ± 1 °C) yürütülmüştür.

Bitki materyali

Çalışmanın bitkisel materyalini, "Güneş" karabuğday (*F. esculentum*) çeşidine ait tohumlar oluşturmuştur.

Tohum ön uygulaması ve deneysel tasarım

Araştırmada karabuğday tohumları ilk olarak, 4 farklı borik asit (H_3BO_3 ; BA) dozları ($BA_1= 1$ mM, $BA_2= 2$ mM, $BA_3= 3$ mM ve $BA_4= 4$ mM) ile ön uygulamaya tabi tutulmuştur. Daha sonra, ön uygulama yapılmış ve yapılmamış (kontrol) tohumlar, çeşitli konsantrasyonlarda ($T_0= 0$ mM, $T_1= 100$ mM ve $T_2= 200$ mM) NaCl (T) ile simüle edilen tuzluluk stresi koşulları altında çimlendirilmiştir. Buna göre laboratuvar deneyi, tesadüf parsellerinde faktöriyel deneme desenine göre 4 tekerrürlü olarak Petri kaplarında kurulmuştur.

Her tekrür için 20 adet tohum kullanılmıştır. Tohumlar önce, 5 dakika % 70 etil alkolde steril edilmiş; daha sonra, 3 kez steril su ile durulanmıştır. Bu işleme ek olarak, tohum yüzeyindeki mikroorganizmaların deforme olması için 1 dakika % 10'luk sodyum hipoklorit ($NaOCl$) + % 0.01 tween20 solüsyonu ile tohumları iyice kaplayacak şekilde yüzey sterilizasyonu gerçekleştirilmiştir. Steril hale gelen tohumlar, Petri kapları (90 mm x 15 mm)'nda, iki katlı Whatman's filtre kâğıdının arasına yerleştirilmiştir.

Dört farklı konsantrasyonda hazırlanan BA solüsyonları, her bir Petri kabına 5 ml olacak şekilde uygulanmış ve tohumlar 8 saat süreyle priming uygulamasına tabi tutulmuştur. Uygulamada, Johnson ve ark. (2005) tarafından bildirilen esaslara göre, tohum/solüsyon oranı 2:1 g/ml olarak ayarlanmıştır. Tohum ön uygulamaları sonrası, tohumlar saf su ile tüm yüzey temizlenecek şekilde yıkanarak kurutma kağıdı içerisinde önce kabaca kurutulmuş; daha sonra, tekrar kuru filtre kağıdı arasına alınarak başlangıç nemine kadar (% 3±) kurutulmuştur (Jatana ve ark., 2020). Priming uygulanan tohumlar ile ön uygulama yapılmayan (kontrol) tohumlar yeni Petri'lere yerleştirilerek, Petri kapları 25 ± 1 °C sıcaklığa ayarlı etüv (BINDER, GmbH, Almanya)'de çimlenmeye bırakılmıştır. Çalışmada, 24 saatte 1 kez olacak şekilde her gün aynı saatte çimlenen tohumlar sayılmıştır. Çalışmanın bittiği güne kadar 48 saatte bir olmak üzere, nemlilik durumuna göre, tuzluluk stresinin incelendiği Petri'lere tuz konsantrasyonlarına bağlı olarak tuz çözeltisi, kontrol grubuna ise saf su ilave edilmiştir.

Çimlenme ve fide gelişim parametreleri ölçüm yöntemi

Çalışmada; çimlenme yüzdesi, ortalama çimlenme süresi, çimlenme üniformite katsayısı, çimlenme enerjisi ve çimlenme indeksi gibi çimlenme parametreleri ile fide yaş ağırlığı ve fide güç indeksi özellikleri incelenmiştir. Çimlenme oranı tespit edilirken, Scott ve ark. (1984) ile Soltani ve ark. (2012)'nin bildirdiği esaslara göre en az 2 mm kökçük çıkışı çimlenme kıstası olarak kabul edilmiştir. Denemede, 10. günün sonunda her bir Petri kabındaki bitkilerden rastgele seçilen 10 bitkide, filtre kağıdı ile yüzeydeki fazla su arındırıldıktan sonra, fide yaş ağırlığı (FYA) ölçümleri hassas terazi ile yapılmıştır.

Çimlenme yüzdesi (ÇY) (%): Her 24 saatte bir çimlenen tohumlar sayılarak Scott ve ark. (1984) kullandığı Eşitlik 1'e göre belirlenmiştir.

$$\text{ÇY} = (\text{NÇTS}/\text{TS}) \times 100 \quad (1)$$

Eşitlikte *NÇTS*, normal çimlenen tohum sayısını; *TS*, kullanılan toplam tohum sayısını ifade etmektedir.

Ortalama çimlenme süresi (OÇS) (gün): Genel olarak tohumların çimlendiği günü belirlemede kullanılmakta olup, Eşitlik 2'ye göre hesaplanmıştır (Ellis ve Roberts, 1981).

$$\text{OÇS} = \Sigma(N_i T_i / N_i) \quad (2)$$

Burada N_i , T_i gününde çimlenen tohum sayısını; T_i , çimlenmenin başlangıcından itibaren geçen günlerin sayısını ifade etmektedir.

Çimlenme üniformite katsayısı (ÇK): Bewely ve Black (1994) tarafından bildirilen Eşitlik 3 yardımıyla hesaplanmıştır.

$$\text{ÇK} = \Sigma n / \Sigma[(\text{OÇS}-t)^2 n] \quad (3)$$

Eşitlikte t , ekim günü olan 0. günden başlayarak gün cinsinden süreyi; n , t gününde çimlenmeyi tamamlayan tohum sayısını ifade etmektedir.

Çimlenme enerjisi (ÇE): Li ve ark. (2020) tarafından bildirilen Eşitlik 4 yardımıyla hesaplanmıştır.

$$\text{ÇE} = (T_1/N) \times 100 \quad (4)$$

Eşitlikte T_1 , birinci günde çimlenen tohum sayısını; N , toplam tohum sayısını ifade etmektedir.

Çimlenme indeksi (Çİ): Wang ve ark. (2004) tarafından bildirilen Eşitlik 5 yardımıyla hesaplanmıştır.

$$\text{Çİ} = \Sigma(G_i/T_i) \quad (5)$$

Eşitlikte G_i , i . gündeki çimlenme yüzdesini; T_i , çimlenme süresinin günlerini ifade etmektedir.

Fide güç indeksi (FGİ): Kalsa ve Abebie (2012) tarafından bildirilen Eşitlik 6 yardımıyla hesaplanmıştır.

$$\text{FGİ} = \text{ÇY} \times \text{FYA} \quad (6)$$

İstatistiksel analizler

Elde edilen veriler, tesadüf parsellerinde faktöriyel deneme desenine göre varyans analizine tabi tutulmuş ve ortalamalar arasındaki farklılıklar TUKEY çoklu karşılaştırma testi ile belirlenmiştir (Açıkgöz ve Açıkgöz, 2001).

Bulgular

Borik asit priming uygulamasının tuz stresi altındaki karabuğday tohumlarının çimlenmesi ve bazı fide büyüme özelliklerine etkilerine ilişkin sonuçlar Çizelge 1’de verilmiştir.

Çimlenme yüzdesi

Borik asit ile tohum ön uygulamaları ve farklı tuz konsantrasyonlarının karabuğday tohumlarının çimlenme yüzdesine etkisi istatistiki anlamda önemsiz bulunmuştur. Çimlenme yüzdesi yönünden TxBA interaksyonu da önemsiz çıkmıştır. Farklı tuz konsantrasyonları ve BA priming uygulamalarına göre karabuğday tohumlarının çimlenme yüzdesi değerleri % 86.7-98.3 arasında değişkenlik göstermiştir (Çizelge 1).

Ortalama çimlenme süresi

Yüksek tuz konsantrasyonu karabuğday tohumunun ortalama çimlenme süresini geciktirdiği, OÇS yönünden anlamlı değişimin T_1 dozundan sonra meydana geldiği, T_2 tuz konsantrasyonunda 1.88 gün ile en yüksek OÇS değerinin elde edildiği görülmüştür. Buna karşılık, BA priming uygulamaları ise kontrole göre ortalama çimlenme süresini kısaltmış; borik asidin tüm uygulama dozlarında OÇS yönünden en düşük değerler saptanmıştır. Ortalama çimlenme süresi yönünden tuz ve BA dozlarının bu etkileri istatistiki açıdan $p < 0.01$ düzeyinde önemli bulunmuştur. Çalışma sonucunda, OÇS yönünden ikili interaksyon istatistiksel olarak önemsiz olmuştur (Çizelge 1).

Çimlenme üniformite katsayısı

Karabuğday tohumlarının çimlenme üniformite katsayısı, tuz konsantrasyonlarından ve BA priming uygulamalarından istatistiki anlamda çok önemli ($p < 0.01$) düzeyde etkilenmiştir. Borik asit priming uygulamalarının ortalaması olarak en yüksek ÇK değeri istatistiki olarak birinci grupta yer alan T_0 (64.4) ve T_1 (71.2) tuz konsantrasyonlarında belirlenirken; en düşük ÇK, 51.4 ile T_2 uygulamasında saptanmıştır. Borik asit priming uygulamaları incelendiğinde, en yüksek ÇK tuz konsantrasyonlarının ortalaması olarak BA₁, BA₂ ve BA₄ (sırasıyla, 65.2, 69.3 ve 64.1), en düşük ÇK değeri ise kontrol (51.8) konusunda belirlenmiştir (Çizelge 1).

Çalışmada, T_0 uygulamasında en yüksek ÇK, BA₂ dozunda saptanırken; T_1 ’de BA₄, T_2 ’de BA₃ konusunda tespit edilmiştir. Farklı tuz konsantrasyonları altında BA priming uygulamalarının bu farklı etkileri, TxBA interaksyonunun istatistiksel olarak önemli ($p < 0.05$) çıkmasına neden olmuştur (Çizelge 1).

Çizelge 1. Farklı tuz (T) konsantrasyonlarındaki karabuğday tohumlarına borik asit (BA) priming uygulamalarının çimlenme ve bazı fide gelişim özelliklerine etkisi¹

Table 1. Effects of boric acid (BA) priming applications on germination and some seedling development characteristics of buckwheat seeds at different salt (T) concentrations¹

Tuz dozları (mM)	BA dozları (mM)	ÇY (%)	OÇS (gün)	ÇK	ÇE	Çİ	FYA (mg)	FGİ
T ₀	Kontrol	98.3	1.63	62.0 a-d	46.7 b-e	14.4 a-d	155.9 c	15.3 bc
	BA ₁	91.7	1.40	67.8 abc	68.3 ab	15.7 abc	198.1 bc	18.1 ab
	BA ₂	90.0	1.20	76.9 ab	75.0 ab	16.4 ab	238.9 ab	21.5 a
	BA ₃	86.7	1.57	56.5 bcd	53.3 a-d	13.7 bcd	267.0 a	23.2 a
	BA ₄	91.7	1.57	58.7 a-d	51.7 a-d	14.0 a-d	224.4 ab	20.6 ab
Ortalama		91.7	1.47 B	64.4 A	59.0 A	14.8 A	216.9 A	19.7 A
T ₁	Kontrol	98.3	1.93	51.4 cd	8.3 fg	10.7 de	97.3 d	9.6 cd
	BA ₁	95.0	1.30	73.4 abc	70.0 ab	16.4 ab	94.8 d	9.1 d
	BA ₂	96.7	1.30	77.5 ab	73.3 ab	16.9 ab	92.3 d	9.0 d
	BA ₃	96.7	1.40	71.0 abc	63.3 abc	15.9 abc	97.3 d	9.4 d
	BA ₄	98.3	1.23	82.5 a	81.7 a	17.9 a	92.6 d	9.0 d
Ortalama		97.0	1.43 B	71.2 A	59.3 A	15.6 A	94.9 B	9.2 B
T ₂	Kontrol	91.7	2.20	42.1 d	5.0 g	9.0 e	64.9 d	6.0 d
	BA ₁	98.3	1.83	54.4 bcd	25.0 d-g	12.1 cde	69.0 d	6.8 d
	BA ₂	93.3	1.73	53.5 bcd	26.7 d-g	11.9 cde	65.2 d	6.1 d
	BA ₃	95.0	1.73	56.1 bcd	36.7 c-f	12.9 b-e	76.6 d	7.3 d
	BA ₄	96.7	1.90	51.1 cd	20.0 efg	11.4 de	57.3 d	5.6 d
Ortalama		95.0	1.88 A	51.4 B	22.7 B	11.5 B	66.6 C	6.4 C
BA ortalamaları								
	Kontrol	96.1	1.92 A	51.8 B	20.0 B	11.4 B	106.1 C	10.3 B
	BA ₁	95.0	1.51 B	65.2 A	54.4 A	14.7 A	120.6 BC	11.3 AB
	BA ₂	93.3	1.41 B	69.3 A	58.3 A	15.1 A	132.1 AB	12.2 AB
	BA ₃	92.8	1.57 B	61.2 AB	51.1 A	14.2 A	146.9 A	13.3 A
	BA ₄	95.6	1.57 B	64.1 A	51.1 A	14.4 A	124.7 BC	11.7 AB
Önemlilik düzeyi (P)								
	T	0.0980 ^{öd}	0.0001 ^{**}	0.0001 ^{**}	0.0001 ^{**}	0.0001 ^{**}	0.0001 ^{**}	0.0001 ^{**}
	BA	0.7862 ^{öd}	0.0001 ^{**}	0.0012 ^{**}	0.0001 ^{**}	0.0001 ^{**}	0.0001 ^{**}	0.0389 [*]
	TxB _A	0.6741 ^{öd}	0.1088 ^{öd}	0.0303 [*]	0.0001 ^{**}	0.0038 ^{**}	0.0001 ^{**}	0.0344 [*]

¹: Aynı konuda, aynı sütunda aynı harfle gösterilen ortalamalar arasındaki farklılık istatistiki açıdan önemli değildir. *: p<0.05 düzeyinde önemlilik, **: p<0.01 düzeyinde önemlilik, öd: istatistiksel olarak önemsiz

Çimlenme enerjisi

Çimlenme enerjisi, tohumların gücünü değerlendirmek için en temel özelliklerden biri olup, aynı zamanda iyi bir fide gelişmesinin de önemli bir göstergesidir (Bayat ve ark., 2015). Tuz konsantrasyonları ve BA priming uygulamalarının karabuğday tohumlarının çimlenme enerjisi üzerine istatistiki anlamda çok önemli (p<0.01) etkisi olmuştur. Tuz stresinin önemli etkisi, 200 mM tuz konsantrasyonunda kendini göstermiş; T₀ ve T₁ tuzluluk seviyelerinde ÇE değeri sırasıyla 59.0 ve 59.3 iken, 200 mM dozunda ÇE 22.7'ye düşmüştür. Borik asit priming uygulamaları ise ÇE üzerine olumlu etkide bulunmuş; kontrol konusunda 20.0 olan ÇE değeri, BA dozlarında 51.1-58.3 arasında değişkenlik göstermiştir. Çalışmada ayrıca, ÇE yönünden TxBA interaksyonu da istatistiksel açıdan çok önemli bulunmuştur. İnteraksiyonun anlamlı çıkmasında, farklı tuzluluk seviyeleri altında BA uygulamalarının farklı tepkiler göstermesi etkili olmuştur. Örneğin, T₀ tuz seviyesinde en yüksek ÇE değeri BA₂ priming uygulamasında saptanırken; T₁ dozunda BA₄, T₂ tuzluluk seviyesinde ise BA₃ uygulamasında elde edilmiştir (Çizelge 1).

Çimlenme indeksi

Çimlenme indeksi yönünden tuz konsantrasyonları ve BA priming uygulamalarının etkisi ile TxBA interaksyonu istatistiki anlamda çok önemli (p<0.01) çıkmıştır. Tuz konsantrasyonları yönünden en yüksek Çİ değeri, BA dozlarının ortalaması olarak istatistiki anlamda birinci grubu oluşturan T₀ ve T₁ tuzluluk seviyelerinde belirlenirken (sırasıyla, 14.8 ve 15.6); en düşük Çİ, en yüksek tuz konsantrasyonunda (T₂) ortalama 11.5 olarak tespit edilmiştir. Çimlenme indeksi bakımından BA

priming uygulamalarının etkisi incelendiğinde, en düşük Çİ değeri 11.4 ile kontrol konusunda saptanmış; BA dozlarının Çİ değeri 14.2-15.1 arasında değişkenlik göstererek kontrole göre önemli düzeyde farklılık oluşturmuştur. Ayrıca, TxBA interaksyonu da istatistiki açıdan çok önemli ($p<0.01$) bulunmuştur. İnteraksiyon incelendiğinde, en yüksek Çİ değeri $T_1 \times BA_4$, en düşük Çİ değeri ise $T_2 \times \text{Kontrol}$ işleminde tespit edilmiştir (Çizelge 1).

Fide yaş ağırlığı

Tuz stresi altında, çimlenen karabuğday tohumlarının fide gelişimi olumsuz yönde etkilenmiş, tuzluluk düzeyi arttıkça fide yaş ağırlığı azalmıştır. Buna göre en yüksek FYA ortalama 216.9 mg ile T_0 tuz düzeyinde, en düşük FYA ise 66.6 mg ile T_2 tuz seviyesinde belirlenmiştir. Borik asit priming uygulamaları ise kontrol konusuna göre FYA değerlerinde anlamlı artışlar sağlamış; en yüksek FYA ortalama 146.9 mg ile BA_3 priming uygulamasında elde edilirken, en düşük FYA değeri 106.1 mg ile kontrol konusunda saptanmıştır. Farklı tuzluluk seviyeleri ve BA priming uygulamalarının FYA üzerindeki bu etkileri istatistiki açıdan $p<0.01$ düzeyinde önemli bulunmuştur. Çalışmada ayrıca, FYA yönünden TxBA interaksyonu da anlamlı çıkmış; interaksyonun önemli çıkması, farklı tuzluluk seviyelerinde karabuğday tohumlarının BA priming uygulamalarına farklı tepkiler göstermesi ile açıklanabilir (Çizelge 1).

Fide güç indeksi

Fide yaş ağırlığı değerlerinde olduğu gibi, FGİ de tuzluluk seviyelerinden olumsuz yönde etkilenmiş; en yüksek FGİ (19.7) T_0 uygulamasında saptanırken, en yüksek tuz konsantrasyonunda (200 mM NaCl) FGİ değeri önemli oranda düşüş göstererek 6.4 değeri ile en düşük değeri göstermiştir. Borik asit priming uygulamaları incelendiğinde, en yüksek FGİ ortalama 13.3 ile BA_3 dozunda, en düşük değer ise ortalama 10.3 ile kontrol grubunda saptanmıştır. Fide güç indeksi yönünden, tuz konsantrasyonlarının bu etkileri istatistiki açıdan $p<0.01$, BA priming uygulamalarının etkileri ise $p<0.05$ düzeyinde önemli bulunmuştur. Tuzluluk ve BA priming uygulamalarının birlikte etkileri de anlamlı ($p<0.05$) çıkmıştır. İnteraksiyonun önemli çıkmasının sebebi; tuzluluk probleminin olmadığı durumda tohumlara BA priming uygulamasının fide gelişimi üzerine etkileri istatistiki açıdan önemli farklılık göstermesi, tuzluluk probleminin yaşandığı durumlarda ise (T_1 ve T_2 uygulamalarında) BA priming uygulamasının fide gelişiminde etkisiz kalmasıdır (Çizelge 1).

Tartışma ve Sonuç

Bor, bitkilerin yaşam döngüsünde hücre duvarı gelişimi, karbonhidrat ve RNA metabolizması gibi çeşitli fizyolojik süreçleri düzenleyen önemli bir mikro besin maddesi olmasının (Herrera-Rodriguez ve ark., 2010) yanı sıra; bitkilerin çimlenmesini, plazma membranı bütünlüğünü ve tohum gelişmesini düzenlemesi (Oosterhuis, 2001) ile abiyotik stres faktörlerinin olumsuz etkisinin azaltılmasında da önemli rol oynamaktadır. Tohum ön uygulama işlemi, çimlenme fizyolojisini geliştirdiği ve tohumları çeşitli stres etmenlerine karşı hazırladığı genel olarak bilinmektedir (Bose ve ark., 2018). Ayrıca bu yöntemle; nükleik asitlerin onarımı ve birikimi, protein sentezinin artması, zar stabilitesinin onarımı ve antioksidan savunma sisteminin tetiklenmesi yoluyla tohum performansının da arttığı bildirilmektedir (Hsu ve ark., 2003).

Araştırmada, tohum ön uygulaması yapılmayan kontrol grubuna kıyasla, BA priming uygulamalarının genel olarak çimlenme ve fide gelişim özellikleri üzerine pozitif yönde etkiler yapmıştır. Bu etkiler, özellikle düşük BA konsantrasyonlarında ortaya çıkmıştır. Borun düşük konsantrasyonda çimlenmedeki olumlu etkileri, nişasta metabolizmasında yer alan nişasta fosforilazı ve a-amilaz gibi temel enzimleri aktive etmesiyle (Cresswell ve Nelson, 1973; Chatterjee ve ark., 1990) açıklanabilir. Nitekim yüksek bor konsantrasyonlu çözeltilerde priming uygulamasının toksik olduğu bildirilmiştir (Bonilla ve ark., 2004). Rehman ve ark. (2012), çeltikte bor ile tohum ön uygulamalarının kontrole göre ortalama çimlenme süresini kısalttığı, çimlenme enerjisini, çimlenme indeksini ve fide yaş ağırlığını arttırdığı, buna karşılık ÇK değerini azalttığını rapor etmişlerdir. Araştırmacılar ayrıca, daha düşük konsantrasyonlarda borik asit ile priming uygulamasının fide gelişim parametrelerini önemli ölçüde iyileştirdiğini bildirmişlerdir. Iqbal ve ark. (2017), ekmeklik buğday tohumları ile yaptıkları çalışmalarında, borik asit ve boraks bor materyalleri ile yapılan priming uygulamalarının özellikle düşük bor konsantrasyonlarında çimlenme ve fide gelişim özelliklerine ait değerlerin yüksek olduğunu; 0.01 M boraks çözeltisi ile ön uygulamanın, çimlenme ve fide gelişimini iyileştirmede aynı dozdaki BA priming uygulamasından daha iyi olduğunu bildirmişlerdir. Farklı bitki türleri ile yapılan bazı çalışmalarda da bor içeren çözeltiler ile priming uygulamalarının tohumların çimlenme potansiyelini ve

bazı fide gelişim özelliklerini iyileştirdiği rapor edilmiştir (Farooq ve ark., 2011; Aboutalebian ve ark., 2012; Ghasemi ve ark., 2016; Shahverdi ve ark., 2017; Asghar ve ark., 2019; Özyazıcı ve Açıkbaş, 2021; Chakraborty ve Bose, 2023; Özyazıcı, 2023b). Diğer yandan, istatistiksel açıdan önemli olmamakla birlikte, BA priming uygulaması priming yapılmayan konuya göre daha düşük çimlenme yüzdelere yol açtığı bulunmuştur. Benzer bulgular, içerisinde borik asidin de bulunduğu farklı priming ajanları ile *Triticum aestivum*'da (Ghimire ve ark., 2023), farklı bor dozlarının ele alındığı nohut ve mercimek bitkilerinde (Sarı, 2023) de rapor edilmiştir.

Toprak tuzluluğu, ürün verimliliğini azaltan ana faktörlerden biridir. Tuzluluk önemli bir abiyotik stres olup, bitkilerin büyümesi ve verimliliği üzerinde olumsuz etkilere neden olur (Bakht ve ark., 2012). Araştırma sonucunda, tuz konsantrasyonunun en yüksek seviyesinde dahi karabuğday tohumlarının çimlenme yüzdesinin olumsuz etkilenmediği; buna karşılık, 200 mM konsantrasyonundaki tuzluluk düzeyinde, incelenen diğer çimlenme parametrelerinin önemli düşüşler sergilediği görülmüştür. Tuzun neden olduğu çimlenme inhibisyonu, Huang ve Redmann (1995) ve Zhu (2003) tarafından da bildirildiği üzere, spesifik iyon toksisitesi veya ozmotik stresle ilişkili olabilir. Yüksek tuzluluk seviyelerinde tohum çimlenmesinin engellendiği farklı bitki türleri ile yapılan diğer birçok araştırma raporlarında (Bybordi ve Tabatabaei, 2009; Zhu ve Bañuelos, 2016; Özyazıcı, 2022b; Gökkaya ve Arslan, 2023; Ahmed ve ark., 2024) da bildirilmiştir.

Mevcut araştırma sonuçlarına göre, tuz stresi arttıkça fide yaş ağırlığı ve fide güç indeksi değerlerinde ciddi azalmalar meydana gelmiştir. Bir başka ifade ile karabuğday tohumları, fide gelişimi aşamasında çimlenme devresine göre tuzluluktan daha fazla etkilenmiştir. Bu durum, tuzluluğun su potansiyelini azaltarak metabolik süreçleri olumsuz etkilemesi ile açıklanabilir. Bu sonuçlar Zaman ve ark. (2006 ve 2010) tarafından güçlü bir şekilde desteklenmektedir. Tuz stresi fide gelişimini azalttığı *Brassica napus* L. (Bybordi ve Tabatabaei, 2009), ekmeçlik buğday (Akbarimoghaddam ve ark., 2011), *Parthenium argentatum* A. Gray (Zhu ve Bañuelos, 2016), yulaf (Iqbal ve ark., 2020) ve sorgum (Gökkaya ve Arslan, 2023; Ahmed ve ark., 2024) bitkileri ile yapılan bazı çalışmalarda da bildirilmiştir.

Borik asit priming uygulamaları, tuz stresi altındaki karabuğday tohumlarının çimlenme özelliklerini iyileştirdiği; buna karşılık fide yaş ağırlığı ve fide güç indeksi değerlerinde etkisinin olmadığı belirlenmiştir. Zhu ve Bañuelos (2016) tuz stresinin, *P. argentatum* bitkisi tohumlarının çimlenmesini ve fide büyümesini engellese de, 5 mg/L borun varlığı belirli *P. argentatum* hatlarında tuz toksisitesini azalttığını ve kabul edilebilir bir çimlenme yüzdesinin korunmasına yardımcı olduğunu belirlemişlerdir. Sorgum (*Sorghum bicolor* L.) çeşitlerinde yapılan çalışmada, sorgum tohumlarının çimlenme döneminde karşılaşılabilecekleri tuzluluk stresi koşullarında bor uygulamalarının bu etkiyi azalttığı, ancak, borun bu pozitif etkisinin düşük dozda bor uygulamaları ile olduğu bildirilmiştir (Gökkaya ve Arslan, 2023).

Farklı priming teknikleri ile yapılan diğer bazı çalışmalarda da, örneğin; marul (*Lactuca sativa*) tohumlarında silisyum priming (Alves ve ark., 2019), nohutta salisilik asit priming (Ceritoğlu ve Erman, 2020), *Isatis indigotica* Fort. bitkisinde $CaCl_2$, GA_3 ve hidrojen peroksit (H_2O_2) ile priming (Jiang ve ark., 2020), çemen (*Trigonella foenum-graecum*)'de hidro-priming (Mahmoudi ve ark., 2020), yem baklası (*Vicia faba* L.)'nda gallik asit ve H_2O_2 priming (Bouazzi ve ark., 2024), *Scutellaria baicalensis* Georgi bitkisinde polietilen glikol (polyethylene glycol, PEG) ile priming (Wang ve ark., 2024) uygulamaları tuz stresi altında çimlenmeyi ve/veya fide büyümesini iyileştirdiği ve/veya tuz stresinin zararlı/olumsuz etkilerini hafiflettiği rapor edilmiştir. Ayrıca birçok araştırma, olumsuz koşullar altında ön çimlenmenin metabolik aktivitesini uyararak tohum çimlenmesini ve fide çıkışını iyileştirmek için pratik, uygun maliyetli ve düşük riskli bir alternatif olarak tohum priming uygulamalarının kullanılmasını savunmaktadır (Jiménez-Arias ve ark., 2015; Migahid ve ark., 2019; Farooq ve ark., 2020).

Sonuç olarak bu çalışma, özellikle düşük konsantrasyonda borik asit ile karabuğday tohumu ön uygulamasının, çimlenme ve bazı fide gelişim parametrelerini iyileştirme açısından önemli bir potansiyele sahip olduğunu göstermiştir. Karabuğdayın fide gelişim döneminde tuz stresine daha duyarlı olduğu görülmüştür. Borik asit ile tohum ön hazırlığı, tuz stresi altında karabuğday tohumunun özellikle çimlenme yeteneğini arttırabilen umut verici bir besinsel priming tekniği olduğu söylenebilir. Bu sonuçlara göre, tuz stresi yaşanan alanlarda, çimlenmeyi iyileştirmeye yönelik olarak ekim öncesi karabuğday tohumlarının 1.0 mM borik asit konsantrasyonu ile ön işleme tabi tutulması önerilmektedir.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamış olduklarını beyan eder.

Çıkar Çatışması Beyanı

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

Kaynaklar

- Abdollahi, M., Eshghi, S., Tafazzoli, E., Moosavi, N., 2012. Effects of paclobutrazol, boric acid and zinc sulfate on vegetative and reproductive growth of strawberry cv. Selva. *Journal Agriculture Science Technology*. 14(2): 357-363.
- Aboutalebian, M.A., Ekbatani, G.Z., Sephehri, A., 2012. Effects of on-farm seed priming with zinc sulfate and urea solutions on emergence properties, yield and yield components of three rainfed wheat cultivars. *Annals Biological Research*. 3: 4790-4796.
- 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., 2023. Tuz stresine maruz bırakılan İtalyan çimi (*Lolium multiflorum* L.) tohumlarına borik asit priming uygulamasının bazı çimlenme ve fide parametrelerine etkisi. *Abant 2. Uluslararası Güncel Akademik Çalışmalar Sempozyumu*, 28-30 Aralık, Abant, 113-124.
- 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.
- Açıkgöz, N., Açıkgöz, N., 2001. Tarımsal araştırmaların istatistiki değerlendirilmesinde yapılan bazı hatalar: I. Tek faktörlü denemeler. *Anadolu*. 11(1): 135-147.
- Ahmed, A.M., Wais, A.H., Ditta, A., Islam, M.R., Chowdhury, M.K., Pramanik, M.H., Ismaan, H.N., Soufan, W., El Sabagh, A., Islam, M.S., 2024. Seed germination and early seedling growth of sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) genotypes under salinity stress. *Polish Journal of Environmental Studies*. 33(3): 3019-3032.
- Akbarimoghaddam, H., Galavi, M., Ghanbari, A., Panjehkeh, N., 2011. Salinity effects on seed germination and seedling growth of bread wheat cultivars. *Trakia journal of Sciences*. 9(1): 43-50.
- Ali, S., Arif, M., Gul, R., Khan, A., Shah, S.S., Ali, I., 2007. Improving maize seed emergence and early seedling growth through water soaking. *Scientific Khyber*. 19: 173-177.
- Alves, R.D.C., Nicolau, M.C.M., Checchio, M.V., Sousa, G.D.S., Oliveira, F.D.A.D., Prado, R.M., Gratão, P.L., 2020. Salt stress alleviation by seed priming with silicon in lettuce seedlings: an approach based on enhancing antioxidant responses. *Bragantia*. 79(1): 19-29.
- Arif, M., Ali, S., Shah, A., Javed, N., Rashid, A., 2005. Seed priming maize for improving emergence and seedling growth. *Sarhad J Agric*. 21: 539-543.
- Asghar, M.K., Sarwar, M.A. Malik, S.R. Ahmad, W. Zareen, S. Ali, S., Ali, A., 2019. Seed priming with boron improves achene yield and oil contents of sunflower. *Pakistan Journal of Agricultural Research*. 32(1): 73-77.
- Ashraf, M., Wahid, S., 2000. Time-course changes in organic metabolites and mineral nutrients in germinating maize seeds under salt (NaCl) stress. *Seed Science and Technology*. 28: 641-656.
- Bakht, J., Khan, M.J., Shafi, M., Khan, M.A., Sharif, M., 2012. Effect of salinity and ABA application on proline production and yield in wheat genotypes. *Pak J Bot*. 44(3): 873-878.
- Bayat, M., Azadeh, R., Reza, A., Mehdi, R., 2015. The effect of priming and duration of priming on germination indices and seedling characteristics of *Althaea officinalis* L. plant. *Iranian Journal of Seed Science and Technology*. 4(1): 73-82.
- Bewely, J., Black, M., 1994. *Seeds: Physiology of Development and Germination*. New York.
- Biçer, A., Özyazıcı, G., 2020. İkinci ürün olarak yetiştirilen karabuğday (*Fagopyrum esculentum* Moench.)'da vermikompost dozlarının verim ve bazı kalite özelliklerine etkisi. *Euroasia Journal of Mathematics, Engineering, Natural & Medical Sciences*. 7(9): 273-287.
- Biszcak, W., Rożyło, K., Kraska, P., 2020. Yielding parameters, nutritional value of soybean seed and weed infestation in relay-strip intercropping system with buckwheat. *Acta Agric. Scand. Sect. B-Soil Plant Sci*. 70: 640-647.
- Bonilla, I., El-Hamdaoui, A., Bolanos, L., 2004. Boron and calcium increase *Pisum sativum* seed germination and seedling development under salt stress. *Plant Soil*. 267: 97-107.
- Borgonovi, S.M., Iametti, S., Speranza, A.R., Di Nunzio, M., 2024. Cell culture models for assessing the effects of bioactive compounds in common buckwheat (*Fagopyrum esculentum*): A systematic review. *Food & Function*. 15: 2799-2813.

- Bose, B., Kumar, M., Singhal, R.K., Mondal, S., 2018. Impact of seed priming on the modulation of physico-chemical and molecular processes during germination, growth and development of crops. In: A. Rakshit and H. Singh (Eds.), *Advances in Seed Priming*, Springer, Singapore, pp. 23-40.
- Bouazzi, A., Bouallegue, A., Kharrat, M., Abbes, Z., Horchani, F., 2024. Seed priming with gallic acid and hydrogen peroxide as a smart approach to mitigate salt stress in faba bean (*Vicia faba* L.) at the germination stage. *Russian Journal of Plant Physiology*. 71(4): 104.
- Bybordi, A., Tabatabaei, J., 2009. Effect of salinity stress on germination and seedling properties in canola cultivars (*Brassica napus* L.). *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*. 37(2): 71-76.
- Ceritoglu, M., Çiğ, F., Erman, M., 2021. Influence of different concentrations of boric acid and priming time on barley germination and seedling growth. *International İstanbul Modern Scientific Research Congress-II*, 23-25 Aralık, İstanbul, pp. 409-416.
- Ceritoğlu, M., Erman, M., 2020. Mitigation of salinity stress on chickpea germination by salicylic acid priming. *International Journal of Agriculture and Wildlife Science*. 6(3): 582-591.
- Ceritoğlu, M., Erman, M., Çiğ, F., Şahin, S., Acar, A., 2021. Bitki gelişimi ve stres toleransının geliştirilmesi üzerine sürdürülebilir bir strateji: Priming tekniği. *Türkiye Tarımsal Araştırmalar Dergisi*. 8(3): 374-389.
- Chakraborty, P., Bose, B., 2023. Effects of various concentrations of boron on germination, seedling growth and sugar mobilization in wheat, using boric acid primed seeds. *Journal of Crop and Weed*. 19(1): 22-31.
- Chatterjee, C., Sinha, P., Agarwala, S.C., 1990. Boron nutrition of cowpea. *Proc. Indian Acad. Sci. (Plant Sci.)*. 100(5): 311-318.
- Cheriere, T., Lorin, M., Corre-Hellou, G., 2020. Species choice and spatial arrangement in soybean-based intercropping: Levers that drive yield and weed control. *Field Crops Res*. 256: 107923.
- Cresswell, C.F., Nelson, H., 1973. The influence of boron on the RNA level, α -amylase activity and level of sugars in germinating *Themeda rriandra* Forsk. seed. *Ann Bot*. 37: 427-438.
- Deering, R.H., Young, T.P., 2006. Germination speeds of exotic annual and native perennial grasses in California and the potential benefits of seed priming for grassland restoration. *California Native Grasslands Association*. 16: 14-17.
- Ellis, R.A., Roberts, E.H., 1981. The quantification of ageing and survival in orthodox seeds. *Seed Science and Technology*. 9(2): 373-409.
- Faisal, S., Muhammad, S., Luqman, M., Hasnain, M., Rasool, A., Awan, M.U.F., Khan, Z.I., Hussain, I., 2023. Effects of priming on seed germination, physico-chemistry and yield of late sown wheat crop (*Triticum aestivum* L.). *Polish Journal of Environmental Studies*. 32(2): 1113-1124.
- Farooq, M., Rehman, A., Al-Alawi, A.K.M., Al-Busaidi, W.M., Lee, D.J., 2020. Integrated use of seed priming and biochar improves salt tolerance in cowpea. *Scientia Horticulturae*. 272: 109507.
- Farooq, M., Siddique, K.H.M., Rehman, H., Aziz, T., Lee, D.-J., Wahid, A., 2011. Rice direct seeding: Experiences, challenges and opportunities. *Soil Tillage Res*. 111: 87-98.
- Gabr, A.M., Fayek, N.M., Mahmoud, H.M., El-Bahr, M.K., Ebrahim, H.S., Sytar, O., El-Halawany, A.M., 2022. Effect of light quality and media components on shoot growth, rutin, and quercetin production from common buckwheat. *ACS Omega*. 7(30): 26566-26572.
- Ghasemi, A., Ansari, M.R., Omidyar, R., 2016. Optimum concentration of boric acid and sodium molybdate for enhancing mung bean productivity in Nepal. *Advances in Agriculture and Agricultural Sciences*. 2: 60-66.
- Ghimire, N.P., Mehata, D.K., Yadav, S.P.S., Shrestha, S., Paudel, P., Shah, P., Prasai, G., Bhujel, S., 2023. Seed priming with various chemical agents stimulates the germination and growth attributes synergistically in wheat (*Triticum aestivum* L.) varieties. *Peruvian Journal of Agronomy*. 7(3): 186-199.
- Ghiyasi, M., Amirnia, R., Rahimi, A., Özyazıcı, G., 2019. Farklı dormansi giderme ve priming uygulamalarının *Citrullus colocynthis* tohumlarının çimlenme ve fide büyümesi üzerine etkileri. *EJONS International Journal on Mathematic, Engineering and Natural Sciences*. 11: 21-32.
- Gökkaya, T.H., Arslan, M., 2023. Germination and growth parameters in sorghum cultivars (*Sorghum bicolor* L.) effected by boron application under salinity stress. *KSU J. Agric Nat*. 26(3): 629-638.
- Gupta, N., Rai, S.K., Kumar, R., Singh, P.M., Chaubey, T., Singh, V., Behera, T.K., 2024. Seed priming with engineered nanomaterials for mitigating abiotic stress in plants. In: R.N. Pudake, R.M. Tripathi and S.S. Gill (Eds.), *Nanotechnology for Abiotic Stress Tolerance and Management in Crop Plants*, Academic Press, pp. 229-247.
- Harris, D., 1996. The effects of manure, genotype, seed priming, depth and date of sowing on the emergence and early growth of *Sorghum bicolor* (L.) Moench in semi-arid Botswana. *Soil Tillage Res*. 40: 73-88.
- Harris, D., Joshi, A., Khan, P.A., Gothkar, P., Sodhi, P.S., 1999. Onfarm seed priming in semi-arid agriculture: Development and evaluation in maize, rice and chickpea in India using participatory methods. *Exp Agric*. 35: 15-29.

- Herrera-Rodriguez, M.B., Gonzalez-Fontes, A., Rexach, J., Camacho-Cristobal, J.J., Maldonado, J.M., Navarro-Gochicao, M.T., 2010. Role of boron in vascular plants and response mechanism to boron stresses. *Plant Stress*. 4: 115-122.
- Hsu, C.C., Chen, C.L., Chen, J.J., Sung, J.M., 2003. Accelerated aging enhanced lipid peroxidation in bitter melon seeds and effects of priming and hot water soaking treatments. *Scientia Horticulturae*. 98: 201-212.
- Huang, J., Redmann, R.E., 1995. Salt tolerance of *Hordeum* and *Brassica* species during germination and early seedling growth. *Can J Plant Sci*. 75: 815-819.
- Iqbal, S., Farooq, M., Cheema, S.A., Afzal, I., 2017. Boron seed priming improves the seedling emergence, growth, grain yield and grain biofortification of bread wheat. *International Journal of Agriculture & Biology*. 19: 177-182.
- Iqbal, S., Khan, A.M., Dilshad, I., Moatter, K., Ahmed, T., Gilani, S.A., 2020. Influence of seed priming with CuSO_4 and ZnSO_4 on germination and seedling growth of oat under NaCl stress. *Pure and Applied Biology*. 9(1): 897-912.
- Jatana, B.S., Ram, H., Gupta, N., 2020. Application of seed and foliar priming strategies to improve the growth and productivity of late sown wheat (*Triticum aestivum* L.). *Cereal Research Communications*. 48: 383-390.
- Jiang, X.-W., Zhang, C.-R., Wang, W.-H., Xu, G.-H., Zhang, H.-Y., 2020. Seed priming improves seed germination and seedling growth of *Isatis indigotica* Fort. under salt stress. *HortScience*. 55(5): 647-650.
- Jiménez-Arias, D., Pérez, J.A., Luis, J.C., Martín-Rodríguez, V., Valdés-González, F., Borges, A.A., 2015. Treating seeds in menadione sodium bisulphite primes salt tolerance in *Arabidopsis* by inducing an earlier plant adaptation. *Environmental and Experimental Botany*. 109: 23-30.
- Johnson, S.E., Lauren, J.G., Welch, R.M., Duxbury, J.M., 2005. A comparison of the effects of micronutrient seed priming and soil fertilization on the mineral nutrition of chickpea (*Cicer arietinum*), lentil (*Lens culinaris*), rice (*Oryza sativa*) and wheat (*Triticum aestivum*) in Nepal. *Experimental Agriculture*. 41: 427-448.
- Kalsa, K.K., Abebie, B., 2012. Influence of seed priming on seed germination and vigor traits of *Vicia villosa* ssp. *dasycarpa* (Ten.). *African Journal of Agricultural Research*. 7(21): 3202-3208.
- Kara, N.K., Yüksel, O., 2014. Karabuğdayı hayvan yemi olarak kullanabilir miyiz? *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi*. 1(3): 295-300.
- 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(1): 1-9.
- Liu, L., Xia, W., Li, H., Zeng, H., Wei, B., Han, S., Yin, C., 2018. Salinity inhibits rice seed germination by reducing α -amylase activity via decreased bioactive gibberellin content. *Frontiers in Plant Science*. 9: 275.
- Mahmoudi, H., Salah, I.B., Zaouali, W., Hamrouni, L., Gruber, M., Ouerghi, Z., Hosni, K., 2020. Priming-induced changes in germination, morpho-physiological and leaf biochemical responses of fenugreek (*Trigonella foenumgraecum*) under salt stress. *Plant Biosystems-An International Journal Dealing with all Aspects of Plant Biology*. 154(5): 601-614.
- Marthandan, V., Geetha, R., Kumutha, K., Renganathan, V.G., Karthikeyan, A., Ramalingam, J., 2020. Seed priming: A feasible strategy to enhance drought tolerance in crop plants. *Int. J. Mol. Sci*. 21: 8258.
- Matsuura, A., Inanaga, S., Murata, K., 2005. Differences in the vegetative growth between common and tartary buckwheat in saline hydroponic culture. *Plant Product. Sci*. 5: 533-538.
- Migahid, M.M., Elghobashy, R.M., Bidak, L.M., Amin, A.W., 2019. Priming of *Silybum marianum* (L.) Gaertn seeds with H_2O_2 and magnetic field ameliorates seawater stress. *Heliyon*. 5(6): e01886.
- Mim, T.F., Anwar, P., Ahmed, M., Sriti, N., Moni, E.H., Hasan, A.K., Yeasmin, S., 2022. Competence of different priming agents for increasing seed germination, seedling growth and vigor of wheat. *Fundamental and Applied Agriculture*. 6(4): 444-459.
- Moazz Ali, M., Javed, T., Mauro, R.P., Shabbir, R., Afzal, I., Yousef, A.F., 2020. Effect of seed priming with potassium nitrate on the performance of tomato. *Agriculture*. 10(11): 498.
- Mondal, S., Bose, B., 2019. Impact of micronutrient seed priming on germination, growth, development, nutritional status and yield aspects of plants. *Journal of Plant Nutrition*. 42(19): 2577-2599.
- Musakhandov, A.N., 1984. Effect of trace elements and methods of their application on yield of horse beans. *Dokl Akad. Nauk SSSR*. 3: 26-88.
- Mutum, B., Maity, U., Roy, B., Dutta, P., Basak, S., 2021. Effects of priming of wheat (*Triticum aestivum*) seeds on its growth and yield attributes under rainfed and irrigated condition. *Biological Forum-An International Journal*. 13(3a): 31-38.
- Navada, S., Vadstein, O., Gaumet, F., Tveten, A.-K., Spanu, C., Mikkelsen, Ø., Kolarevic, J., 2020. Biofilms remember: Osmotic stress priming as a microbial management strategy for improving salinity acclimation in nitrifying biofilms. *Water Research*. 176: 115732.

- Oosterhuis, D., 2001. Physiology and nutrition of high yielding cotton in the USA. *Informacoes Agronomicas N-Setembro*. 95: 18-24.
- Oyebamiji, Y.O., Adigun, B.A., Shamsudin, N.A.A., Ikmal, A.M., Salisu, M.A., Malike, F.A., Lateef, A.A., 2024. Recent advancements in mitigating abiotic stresses in crops. *Horticulturae*. 10: 156.
- Ozyazici, G., Turan, N., 2021. Effect of vermicompost application on mineral nutrient composition of grains of buckwheat (*Fagopyrum esculentum* M.). *Sustainability*. 13: 6004.
- Özyazıcı, G., 2020. Azotlu gübre dozlarının karabuğday (*Fagopyrum esculentum* Moench.) bitkisinin tohum verimi ve bazı tarımsal özelliklerine etkisi. *ISPEC Tarım Bilimleri Dergisi*. 4(3): 635-648.
- Özyazıcı, G., 2021. Determination of germination characteristics of milk thistle (*Silybum marianum* L.) plant under salt stress. *ISPEC 8th International Conference on Agriculture, Animal Sciences and Rural Development*, 24-25 December, Bingöl, Turkey, 1256-1267.
- Özyazıcı, G., 2022a. Rezene (*Foeniculum vulgare* Mill.) genotiplerinin çimlenme özellikleri üzerine silisyum uygulamalarının etkisi. *II-International Conference on Global Practice of Multidisciplinary Scientific Studies*, July 26-28, Batumi, Georgia, 1628-1639.
- Özyazıcı, G., 2022b. Tuz stresinin aspir (*Carthamus tinctorius* L.) genotiplerinin çimlenme özellikleri üzerine etkisi. *II-International Conference on Global Practice of Multidisciplinary Scientific Studies*, July 26-28, Batumi, Georgia, 1617-1627.
- Özyazıcı, G., 2023b. Fesleğen (*Ocimum basilicum* L.)’de çimlenme parametrelerine borik asit uygulamalarının etkisi. *7. International Scientific Research and Innovation Congress*, 16-17 December, Ankara, Türkiye, 1032-1039.
- Özyazıcı, M.A., 2023a. Silaj yapımında kullanılan bitkiler. K. Kökten ve S. Seydoşoğlu (Editörler), *Her Yönüyle Silaj*, İKSAD Publishing House, Ankara, Türkiye, pp. 63-99.
- Özyazıcı, G., Özyazıcı, M.A., Açıkbay, S., 2023. Yaygın karabuğday (*Fagopyrum esculentum* Moench)’ın sekonder metabolitleri ve biyolojik aktiviteleri. *7. International Scientific Research and Innovation Congress*, 16-17 December, Ankara, Türkiye, 1040-1049.
- Özyazıcı, M.A., Açıkbay, S., 2021. Borik asit priming uygulamasının yem bezelyesi [*Pisum sativum* ssp. *arvense* L. (Poir.)]’nin çimlenme ve fide gelişimine etkileri. *ISPEC 8th International Conference on Agriculture, Animal Sciences and Rural Development*, December 24-25, Conference Proceedings Book, Bingöl, Turkey, 1093-1105.
- Özyazıcı, M.A., Açıkbay, S., 2022a. Farklı azot dozlarının yaygın karabuğday (*Fagopyrum esculentum* Moench)’da yem verimi ve besin maddesi içeriğine etkisi. *II-International Conference on Global Practice of Multidisciplinary Scientific Studies*, Conference Proceedings Book, July 26-28, Batumi, Georgia, 1605-1616.
- Özyazıcı, M.A., Açıkbay, S., 2022b. Arı otu (*Phacelia tanacetifolia* Bentham)’na borik asit priming uygulamasının çimlenme ve fide gelişim parametrelerine etkisi. *5. International Sciences and Innovation Congress*, 11-12 November, Ankara, Turkey, 198-205.
- Pawar, V.A., Laware, S.L., 2018. Seed priming: A critical review. *International Journal of Scientific Research in Biological Sciences*. 5(5): 94-101.
- Rehman, A.U., Farooq, M., Cheema, Z.A., Wahid, A., 2012. Seed priming with boron improves growth and yield of fine grain aromatic rice. *Plant Growth Regulation*. 68: 189-201.
- Rezayian, M., Ebrahimzadeh, H., Niknam, V., 2023. Metabolic and physiological changes induced by nitric oxide and its impact on drought tolerance in soybean. *J. Plant Growth. Regul.* 42: 1905-1918.
- Rhaman, M.S., Imran, S., Rauf, F., Khatun, M., Baskin, C.C., Murata, Y., Hasanuzzaman, M., 2020. Seed priming with phytohormones: An effective approach for the mitigation of abiotic stress. *Plants*. 10: 37.
- Salehi, A., Mehdi, B., Fallah, S., Kaul, H.-P., Neugschwandtner, R.W., 2018. Productivity and nutrient use efficiency with integrated fertilization of buckwheat–fenugreek intercrops. *Nutr. Cycl. Agroecosystems*. 110: 407-425.
- Sarı, D., 2023. Effects of PEG-induced drought stress and different boron levels on seed germination and seedling growth characteristics in chickpea (*Cicer arietinum* L.) and lentil (*Lens culinaris* Medik.). *Turkish Journal of Agricultural Research*. 10(2): 154-161.
- Scott, S.J., Jones, R.A., Williams, W.A., 1984. Review of data analysis methods for seed germination. *Crop Science*. 24: 1192-1199.
- Sedghi, M., Nemati, A., Esmailpour, B., 2010. Effect of seed priming on germination and seedling growth of two medicinal plants under salinity. *Emirates Journal of Food and Agriculture*. 22(2): 130.
- Shahverdi, M.A., Omidi, H., Tabatabaei, S.J., 2017. Determination of optimum duration and concentration of Stevia (*Stevia rebaudiana* Bert.) seed priming with boric acid (H₃BO₃). *Turkish Journal of Agricultural Research*. 4(1): 24-30.
- Slawinska, J., Obendorf, R.L., 2001. Buckwheat seed set *in planta* and during *in vitro* inflorescence culture: Evaluation of temperature and water deficit stress. *Seed Sci. Research*. 11: 223-233.

- Sofi, S.A., Ahmed, N., Farooq, A., Rafiq, S., Zargar, S.M., Kamran, F., Dar, T.A., Mir, S.A., Dar, B.N., Mousavi Khaneghah, A., 2023. Nutritional and bioactive characteristics of buckwheat, and its potential for developing gluten-free products: An updated overview. *Food Sci. Nutr.* 11: 2256-2276.
- Soltani, A., Khodarahmpour, Z., Jafari, A.A., Nakhjavan, S., 2012. Selection of alfalfa (*Medicago sativa* L.) cultivars for salt stress tolerance using germination indices. *African Journal of Biotechnology.* 11(31): 7899-7905.
- Taylor, D.P., Obendorf, R.L., 2001. Quantitative assessment of some factors limiting seed set in buckwheat. *Crop Sci.* 41: 1792-1799.
- Wang, R., Li, C., Zeng, L., Liu, L., Xi, J., Li, J., 2024. Polyethylene glycol priming enhances the seed germination and seedling growth of *scutellaria baicalensis georgi* under salt stress. *Plants.* 13: 565.
- Wang, Y.R., Yu, L., Nan, Z.B., Liu, Y.L., 2004. Vigor tests used to rank seed lot quality and predict field emergence in four forage species. *Crop Sciences.* 44(2): 535-541.
- Wijngaard, H.H., Arendt, E.K., 2006. Buckwheat. *Cereal Chemistry.* 83(4): 391-401.
- Zaman, B.U., Ali, A., Mahmood, I.A., Arshadullah, M., Shahzad, A., Khan, A.M., 2010. Potassium consumption by rice plant from different sources under salt stress. *Pak J Sci Indus Res.* 53: 271-277.
- Zaman, B.U., Rehana, A., Salim, M., Safdar, A., Niazi, B.H., Arshad, A., Mahmood, I.A., 2006. Growth and ionic relations of *Brassica campestris* and *B. juncea* L. Czern & Coss. under induced salt stress. *Pak J Agri Sci.* 43: 103-107.
- Zhu, H., Bañuelos, G., 2016. Influence of salinity and boron on germination, seedling growth and transplanting mortality of guayule: A combined growth chamber and greenhouse study. *Industrial Crops and Products.* 92: 236-243.
- Zhu, J.K., 2003. Regulation of ion homeostasis under salt stress. *Curr. Opin. Plant Biol.* 6: 441-445.



This work is licensed under a Creative Commons Attribution CC BY 4.0 International License.