

## Tuz stresine maruz kalan makarnalık buğday çeşitlerinde tohum çimlenmesinin fizyolojik göstergelerindeki farklılıklar

Differences in physiological indicators of seed germination in durum wheat cultivars subjected to salinity stress

Neslihan DORUK KAHRAMAN<sup>1</sup> , Ali TOPAL<sup>1</sup> 

<sup>1</sup>Selçuk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Konya, Türkiye.

ARTICLE INFO	ÖZET
<p><b>Article history:</b> Recieved / Geliş: 06.11.2023 Accepted / Kabul: 01.12.2023</p> <p><b>Anahtar Kelimeler:</b> Çimlenme kapasitesi İlk canlılık Tuzluluk Stres indeksi Toksik etki</p> <p><b>Keywords:</b> Germination capacity Initial vigor Salinity Stress index Toxic effect</p> <p>✉Corresponding author/Sorumlu yazar: Neslihan DORUK KAHRAMAN neslihan.doruk@gmail.com</p> <p>Makale Uluslararası Creative Commons Attribution-Non Commercial 4.0 Lisansı kapsamında yayınlanmaktadır. Bu, orijinal makaleye uygun şekilde atıf yapılması şartıyla, eserin herhangi bir ortam veya formatta kopyalanmasını ve dağıtılmasını sağlar. Ancak, eserler ticari amaçlar için kullanılamaz. © Copyright 2022 by Mustafa Kemal University. Available on-line at <a href="https://dergipark.org.tr/pub/mkutbd">https://dergipark.org.tr/pub/mkutbd</a> This work is licensed under a Creative Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.</p> <p> </p>	<p>Tuz stresi altında makarnalık buğday çeşitlerinin çimlenme ve erken fide dönemini değerlendirmek amacıyla, farklı tuz (NaCl) konsantrasyonları (0, 3 ve 6 g L<sup>-1</sup>) ve 10 adet makarnalık buğday çeşidi (Altıntaş-95, Ç-1252, Dumlupınar, Eminbey, Kunduru-1149, Kızıltan-91, Mirzabey-2000, Soylu, Svevo, Türköz) ile bu araştırma yürütülmüştür. Çalışmada çimlenme ve fide gelişiminin bazı indeksleri hesaplanmış ve analiz edilmiştir. Tuz stresi çimlenme kapasitesini (ÇK) ve çimlenme indeksini (Çİ), önemli ölçüde azaltırken, stres indeksini (Si) artırmıştır. Fide büyümesi ve başlangıç canlılığı (İC) da tuz etkisiyle önemli ölçüde engellenmiştir. İncelenen özellikler bakımından, çeşitler arasında farklılıklar ortaya çıkmış olup Altıntaş-95 artan tuz dozlarından en az etkilenen çeşit olurken, Kızıltan-91 ve Svevo en çok etkilenen çeşitler olmuştur. Çeşitlere bağlı olarak, tuz stresi çimlenme kapasitesini azaltırken fide gelişimini de etkilemiştir. Araştırma sonucu elde edilen bulgulara göre ortamda bulunan tuzun, osmotik etkisi nedeniyle bitkilerin su alımını engelleyerek çimlenmeyi geciktirdiği ve yüksek tuz seviyesinin (6 g L<sup>-1</sup> NaCl) bitkilerin hücresel yapılarına zarar verdiği bu nedenle de çimlenme ve fide gelişiminin etkilendiği gözlemlenmiştir. Bu bağlamda da buğday çeşitleri arasında belirgin bir ayırım yapma imkânı sağlayan ilk canlılık ve stres indeksinin, tuzluluğa karşı toleranslı bitki genotiplerini belirlemek için faydalı özellikler olduğu söylenebilir.</p> <p><b>ABSTRACT</b></p> <p>This study was conducted using ten different varieties of durum wheat (Altıntaş-95, Ç-1252, Dumlupınar, Eminbey, Kunduru-1149, Kızıltan-91, Mirzabey-2000, Soylu, Svevo, Türköz) to evaluate germination and early seedling stage under salt stress induced by increasing sodium chloride (NaCl) concentrations. In the study, some indices of germination and seedling development were calculated and analyzed. Salt stress significantly reduced germination capacity (GC), germination index (GI), while increasing the stress index (SI). Seedling growth and initial vitality (IV) were also significantly inhibited. Varietal differences emerged in all of these traits: Altıntaş-95 was the least affected variety, while Kızıltan-91 and Svevo were the most affected, and other varieties fell in between. Depending on the varieties, salt stress reduced germination capacity and also affected seedling development. Under low salt stress conditions (0-3 g L<sup>-1</sup> NaCl), it is believed that the main reason for the negative impact on germination is osmotic stress. Indeed, salt delayed germination by inhibiting water uptake by plants. Similarly, at high salt levels (6 g L<sup>-1</sup> NaCl), salt damaged the cellular structures of plants, significantly impacting both germination and seedling growth. In this context, it would be accurate to say that the first viability and stress index, which clearly distinguishes between the varieties studied, are useful traits for identifying salt-tolerant plant genotypes and can be employed in related studies.</p>
<b>Cite/Atf</b>	Doruk Kahraman, N., & Topal, A. (2024). Tuz stresine maruz kalan makarnalık buğday çeşitlerinde tohum çimlenmesinin fizyolojik göstergelerindeki farklılıklar. <i>Mustafa Kemal Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi</i> , 29 (1), 148-157. <a href="https://doi.org/10.37908/mkutbd.1385772">https://doi.org/10.37908/mkutbd.1385772</a>

## GİRİŞ

Dünyadaki önemli tahıl ürünlerinden biri olan makarnalık buğday, verimi sınırlayan birçok çevresel faktöre maruz kalmaktadır ve toprak tuzluluğu da bitki büyümesini güçlü bir şekilde etkileyen başlıca faktörlerden biridir (Pekşen ve ark., 2014; Dawood ve ark., 2022; Onder ve ark., 2010).

İklim değişikliği ve artan kimyasal kullanımına bağlı olarak bitkisel üretimde biyotik ve abiyotik stres faktörlerinin etkisi gün geçtikçe daha çok hissedilmektedir. Verimi etkileyen abiyotik stres faktörlerinden birisi olan toprak tuzluluğu, kaynağına bakılmaksızın (doğal, insan kaynaklı) dünyadaki ekilebilir arazilerin %20'sinden fazlasını etkilemektedir (Hickey ve ark., 2019). Tuzluluk, sürdürülebilir olmayan sulama uygulamaları ve tuzlu toprakların tarımsal üretime dahil edilmesi nedeniyle artmaktadır (Kopittke ve ark., 2019; Coban ve ark., 2018). Bu faktörlere iklim değişikliği de eklendiğinde, tuzluluk sorununun yakın gelecekte dünya tarımı için ciddi bir sorun teşkil edeceği tahmin edilmektedir (Dengiz ve ark., 2010). Munns ve Tester (2008) tuzluluğun her yıl 1.5 milyon hektarlık alanı tarım dışı bıraktığını bildirmişlerdir. Bu durumda, 2050 yılına kadar kullanılabilir arazilerin %50'si yitirilmiş olacaktır (Alzahrani ve ark., 2021).

Tuzluluğun etkileri, dokularda aşırı iyon ( $\text{Na}^+$  ve  $\text{Cl}^-$ ) birikimi nedeniyle doğrudan toksisite ve mineraller arasındaki rekabetin yol açtığı bitki beslenmesinde dengesizlik ile kendini gösterir. Tohum çimlenmesi, strese karşı en hassas dönem olmasının yanında (Patade ve ark., 2011) ürün verimini de belirleyen (Rajjou ve ark., 2012) bitki gelişiminin ilk aşamasıdır. Liu ve ark. (2023) çimlenme ve genç bitki döneminin ürün oluşumu için kritik aşamalar olduğunu bildirmişlerdir. Budaklı Çarpıcı ve Erdel (2016) de bitkilerin gelişimlerinin erken dönemlerinde tuza karşı diğer gelişim dönemlerinden daha hassas olduklarını ifade etmişlerdir. Araştırmacıların ifadeleri tuzluluk toleransının erken gelişim evrelerinde belirlendiği çalışmaların gerekliliğini ortaya koymuştur. Nitekim Yavuz ve ark. (2023), tuz uygulamasının çimlenme ve erken fide gelişim döneminde tuza toleranslı buğday genotiplerinin belirlenmesinde tatminkâr bir teknik olduğunu bildirmiştir. Tuz stresine yönelik riskleri azaltmak için çeşitli çözümler öne sürülmüştür. Ancak bu çözümler maliyetli ve uygulanması oldukça zordur. Bu nedenle tuzluluğun mahsul verimi üzerindeki olumsuz etkilerini daha iyi karşılayacak türler, genotipler ve çeşitler taranarak kayıpları en aza indirmek alternatif bir yöntem olarak düşünülebilir.

Mrani Alaoui ve ark. (2013), özellikle kurak ve yarı kurak alanlarda bitki büyüme ve gelişiminin ileriki aşamaları için, çimlenme aşamasının önemini bildirmiştir. Bununla birlikte, konuyla ilgili çalışma yapan birçok araştırmacı tuz ve diğer abiyotik stresler altında türlerin ve çeşitlerin çimlenme ve erken aşamalarında farklılıklar tespit etmişlerdir (Tanur & Yorgancılar, 2020; Doruk Kahraman & Gökmen, 2022). Tuz stresi altında iyi çimlenme ve fide gelişimine sahip çeşitlerin belirlenmesi için bu farklılıkların araştırılması önemlidir.

Tuza toleranslı çeşitlerin tercih edilmesi tuzlu toprakların ve suyun verimli kullanımı için etkili bir strateji olacaktır. Bu çalışmada, söz konusu yaklaşıma uygun olarak tuz stresinin makarnalık buğdayda tohum çimlenmesi üzerindeki etkisi incelenmiştir. Çalışmada toleranslı çeşitlerin belirlenmesi yanında, bitki hayat döngüsünün en hassas aşaması olan çimlenme ve erken vejetatif gelişme dönemlerine tuzluluğun etkileri araştırılmıştır.

## MATERYAL ve YÖNTEM

### *Bitki materyali ve çimlendirme deneyleri*

Araştırmada, 10 adet makarnalık buğday çeşidi (Altıntaş-95, Ç-1252, Dumlupınar, Eminbey, Kunduru-1149, Kızıltan-91, Mirzabey-2000, Soylu, Svevo, Türköz) materyal olarak kullanılmıştır. Makarnalık buğday çeşitlerine ait tohumlar 2020-2021 yetiştirme döneminde Konya ekolojik koşullarında yetiştirilmiş olup, araştırma Selçuk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarla Bitkileri Bölüm Laboratuvarında yürütülmüştür.

Tuz formu olarak toprakta biriken ve kültür bitkilerini etkileyen NaCl formu kullanılmıştır (Munns & Termaat, 1986). Çimlenme testine başlamadan önce tohumlar hipo-klorit (%5 ticari çamaşır suyu) içeren çözeltide 15 dakika

bekletilmiş ve ardından üç kez saf su ile durulanmıştır (Doruk Kahraman & Gökmen, 2022). Çimlenme ortamı olarak her bir çeşit için saf su (kontrol-0 tuz) ve 3, 6 g L<sup>-1</sup> sodyum klorür (NaCl) içeren tuzlu su çözeltisi ile ıslatılmış filtre kâğıdı bulunan 9 cm çapındaki plastik Petri kapları kullanılmıştır. Tohumlar iklim odasında 24±1 °C'de karanlık koşullarda çimlenmeye bırakılmıştır (Doruk Kahraman & Gökmen, 2022).

### **Deney tasarımı ve çimlenme göstergeleri**

Araştırma, 10 genotip ve üç çimlenme ortamı olmak üzere 2 faktörlü (genotip × NaCl konsantrasyonu) tesadüf parselleri deneme deseninde üç tekerrürlü olarak tasarlanmıştır. Toplam 90 parselden oluşan araştırmada filtre kâğıdı bulunan Petri kaplarına her uygulamadan 5 ml eklenip, 15 adet tohum yerleştirilmiş ve üzeri ikinci bir filtre kâğıdı ile kapatılarak her uygulamadan 3 ml daha ilave edilmiştir. Petri kapları kontrol edilmiş ve ihtiyaç görüldüğünde 3 ml ilave su verilmiştir. Kökçük uzunluğu 2 mm'yi geçen tohumlar çimlenmiş olarak kabul edilerek 7. ve 14. günde sayımları yapılmıştır (Fuller ve ark., 2012). Fide büyümesi dört haftalık uygulamadan sonra değerlendirilmiştir. Hasattan önce fidelerin boyları ölçülmüş, ardından sürgün, kök ve toplam biyokütle miktarları belirlenmiştir (Hmissi ve ark., 2023). Araştırmada çimlenme kapasitesi, çimlenme indeksi, ilk canlılık, stres indeksi, canlılık indeksi gibi özellikler incelenmiş olup, bu kapsamda bitkilerde kök uzunluğu, sürgün uzunluğu, kök ve sürgün kuru ağırlık ölçümleri yapılmıştır. Bu özellikler belirlenirken her bir Petri kabından rastgele seçilen 10 fide kullanılmıştır. Kuru ağırlık, taze sürgünlerin 105 °C'de 24 saat kurutulmasıyla belirlenmiştir (Atak ve ark., 2006; Saboor ve ark., 2006). Ayrıca Hmissi ve ark. (2023)' nın kullandığı çeşitli formüllere dayanarak aşağıdaki özellikler belirlenmiştir:

Çimlenme kapasitesi (ÇK, %): Bu özellik, makarnalık buğday tohumlarının çimlenmesinin fizyolojik sınırını oluşturan tuz konsantrasyonunun belirlenmesini sağlar ve maksimum çimlenen tohumların toplam tohum sayısına oranı olarak ifade edilir:

$$\text{ÇK} = \frac{b}{a} \times 100 \quad \text{Eq.(1)}$$

Burada a = toplam tohum sayısı, b = maksimum çimlenen tohum sayısı.

Çimlenme indeksi (Çİ): Tuz stresi altındaki çimlenme kapasitesinin (ÇKs) kontroldeki çimlenme kapasitesine (0 NaCl, ÇKk) oranı olarak ifade edilir. Aşağıdaki şekilde hesaplanır:

$$\text{Çİ} = \frac{\text{ÇKs}}{\text{ÇKk}} \quad \text{Eq.(2)}$$

İlk canlılık (İC): Çimlenme kapasitesini bitki büyümesiyle ilişkilendiren önemli bir özelliktir. Aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$\text{İC} = \frac{\text{ÇK}}{\text{KA}} \quad \text{Eq.(3)}$$

Burada ÇK = çimlenme kapasitesi, KA = bitki kuru ağırlığı.

Stres indeksi (Sİ): Bu özellik, her bir çeşitteki stres derecesinin göstergesidir. Aşağıdaki şekilde hesaplanır:

$$\text{Sİ} = 1 - \frac{\text{ÇKs} - \text{ÇKk}}{\text{ÇKk}} \quad \text{Eq.(4)}$$

Burada ÇKs = tuz stresi altında çimlenme kapasitesi, ÇKk = kontrol uygulamasında çimlenme kapasitesi.

Canlılık indeksi (Cİ): Fide canlılık indeksi Hmissi ve ark. (2023) formülü kullanılarak hesaplanmıştır.

$$= \text{Çimlenme kapasitesi (\%)} \times \text{Fide uzunluğu (cm)} \quad \text{Eq.(5)}$$

### **İstatistik analiz**

Denemede ölçülen ve gözlemlenen tüm veriler Tesadüf parsellerinde faktöriyel deneme desenine uygun olarak JMP 13.2.0 programında varyans analizine (ANOVA) tabi tutulmuş ve ortalamalar arasındaki farklar Duncan çoklu karşılaştırma testi kullanılarak belirlenmiştir (Snedecor & Cochran, 1967).

## **BULGULAR ve TARTIŞMA**

### **Çimlenme kapasitesi (ÇK %)**

Araştırmada, çimlenme kapasitesi bakımından çeşitler ve tuz dozları arasında istatistiki anlamda %1 seviyesinde önemli farklar saptanmıştır. Ayrıca çeşit x tuz interaksyonu da %1 seviyesinde önemli bulunmuştur (Çizelge 1). Çalışmada tuz stresinin, NaCl konsantrasyonuna ve genotipe bağlı olarak makarnalık buğdayın çimlenme kapasitesini azalttığı belirlenmiştir (Çizelge 1). Orta dereceli tuz stresinde (3 g L<sup>-1</sup> NaCl), ÇK'nın en fazla Svevo (%32) ve Türköz (%18) çeşitlerinde azaldığı, diğer dokuz çeşitte bahsi geçen iki çeşitte olduğu kadar önemli olmayan bir düşüş olduğu belirlenmiştir. Yüksek tuz stresinde (6 g L<sup>-1</sup> NaCl), tolerans derecelerine göre tüm çeşitlerde çimlenme kapasitesi önemli ölçüde azalmıştır. Buna göre Altıntaş-95, Mirzabey-2000 ve Dumlupınar az etkilenen grupta (%15) yer almıştır. Ç-1252, Eminbey, Kunduru-1149 ve Soylu orta derecede (%30-%40 arası) etkilenen grupta, Svevo ve Kızıltan-91 ise en hassas (%49) grupta yer almıştır. Çeşit x tuz interaksyonunun da önemli bulunduğu çalışmada, en yüksek çimlenme kapasitesine kontrolde Eminbey (%100) çeşidinin sahip olduğu ve onu yine kontrolde %97.7 ile Altıntaş-95 ve Soylu çeşitlerinin takip ettiği görülmüş, en düşük çimlenme kapasitesine ise 6 g L<sup>-1</sup> tuz dozunda sırasıyla Svevo (%46,7) ve Kızıltan-91 (%49) çeşitleri sahip olmuştur (Çizelge 1). Konuyla ilgili çalışma yapan bazı araştırmacılar, rizosferdeki tuz konsantrasyonundaki artışın çimlenme kapasitesini azalttığını ve çimlenmenin başlamasını engelleyerek çimlenme süresini uzattığını bildirmiştir (Patade ve ark., 2011; Ansari ve ark., 2012; Thiam ve ark., 2013; Dirik ve ark., 2018; Okumuş & Uzun, 2022). Elde ettiğimiz sonuçlar mevcut literatürle uyum içerisindedir. Bu çalışmada gözlemlenen çimlenme yüzdesindeki azalma ve çimlenme hızındaki yavaşlama, çimlenme esnasında Na<sup>+</sup> ve Cl<sup>-</sup>'nin alımının yüksek oranda olmasından, dolayısıyla hücrede toksisitenin oluşmasından kaynaklanıyor olabilir.

### **Çimlenme indeksi (Çİ)**

Çalışmada yer alan çeşitlerin tuza toleranslarını ayırt etmek için çimlenme indeksi (Çİ) hesaplanmıştır. Çimlenme indeksi bakımından çeşitler ve tuz dozları arasında istatistiki anlamda %1 seviyesinde önemli farklar saptanmıştır. Ayrıca çeşit x tuz interaksyonu da %1 seviyesinde önemli bulunmuştur (Çizelge 2).

Artan tuz seviyesinin çeşitlerde çimlenme indeksini azalttığı görülmektedir (Çizelge 2). Bu durumun tamamen NaCl konsantrasyonuna bağlı olduğu düşünülmektedir. Ayrıca veriler incelendiğinde makarnalık buğdayın çimlenme aşamasında tuzluluğa tepkisinde bazı genotipik farklılıklar da açıkça görülmektedir (Çizelge 2). Nitekim en yüksek çimlenme indeksi Altıntaş-95, Ç-1252, Kunduru-1149, Kızıltan-91, Mirzabey-2000'de en düşük ise Kızıltan-91 ve Svevo' da saptanmıştır. Çimlenme indeksi bakımından Altıntaş-95 çeşidi hariç ilk sıralarda yer alan çeşitler ile son sıralarda yer alan çeşitler yaklaşık aynı bulunmuştur. Çeşit ve tuz interaksyonunun da önemli olduğu çalışmada Altıntaş-95 çeşiti 3 g L<sup>-1</sup> tuz dozunda 0.95 ile en yüksek çimlenme indeksine sahip olurken onu 0.94 ile Kunduru-1149 ve 0.92 ile Ç-1252 ile Mirzabey-2000 çeşitleri takip etmiştir (Çizelge 2). Tüm koşulların eşit olduğu laboratuvar şartlarında çeşitler arasında ortaya çıkan bu farklar, genotiplerin tuza hassasiyetlerinin farklı olmasıyla açıklanabilir.

Çizelge 1. Farklı sodyum klorür (NaCl) konsantrasyonlarında makarnalık buğday tohumlarının çimlenme kapasitesi (ÇK; %)

Table 1. Germination capacity (GC, %) of durum wheat grains exposed to different concentrations of sodium chloride (NaCl)

Çeşitler	NaCl dozu (g L <sup>-1</sup> )			
	0	3	6	Ort.
Altıntaş-95	97.7 ab*	92.7 a-e	83.0 d-g	91.1 A**
Ç-1252	93.0 a-e	85.7 b-g	64.3 jk	81.0 BCD
Dumlupınar	93.3 a-d	66.3 ijk	75.7 ghij	78.4 CD
Eminbey	100.0 a	89.0 a-f	69.0 h-k	86.0 AB
Kunduru-1149	95.3 abc	90.0 a-e	57.0 kl	80.8 BCD
Kızıltan-91	95.7 abc	86.0 b-g	49.0 l	76.9 D
Mirzabey-2000	91.0 a-e	84.0 c-g	77.0 f-ı	84.0 BC
Soylu	97.7 ab	81.0 e-h	57.7 kl	78.8 CD
Svevo	91.0 a-e	62.0 k	46.7 l	66.6 E
Türköz	95.3 abc	77.7 f-ı	76.7 ghı	83.2 BCD
Ort.	95.0 A	81.4 B	65.6 C	

\*: Farklı harflerle gösterilen değerler arasındaki farklar istatistiksel olarak anlamlıdır (p<0.01).

\*\* :Büyük harflerle gösterilen ortalamalar arasındaki farklar istatistiksel olarak önemlidir (p<0.01).

Sima ve ark. (2013) konuyla ilgili yürüttükleri çalışmalarında çimlenmenin tuzluluğa karşı yüksek hassasiyetinin hasarlı ve gecikmiş enzim aktivitesine atfedildiğini öne sürmüşlerdir. Bouzidi ve ark. (2021) ise ortamdaki düşük tuz konsantrasyonlarının bir dormansi durumuna neden olduğunu ve toksik etkiye neden olmamasına rağmen çimlenme oranını düşürdüğünü ileri sürmüşlerdir. Araştırmacıların ifade ettikleri gibi, farklı tuz konsantrasyonları tohum çimlenmesini engelleyici etki gösterir ve sodyum iyonlarının toksik etkisi nedeniyle çimlenme kapasitesini azaltır. (Murillo-Amador ve ark., 2002).

Çizelge 2. Farklı sodyum klorür (NaCl) konsantrasyonlarında makarnalık buğday tohumlarının çimlenme indeksi (Çi)\*

Table 2. Germination index (GI) of durum wheat grains exposed to different concentrations of sodium chloride (NaCl)\*

Çeşitler	NaCl dozu (g L <sup>-1</sup> )		
	3	6	Ort.
Altıntaş-95	0.95 a*	0.85 abc	0.89 A**
Ç-1252	0.92 a	0.69 cde	0.80 ABC
Dumlupınar	0.72 bcd	0.81 abc	0.77 BC
Eminbey	0.89 ab	0.69 cde	0.79 ABC
Kunduru-1149	0.94 a	0.59 def	0.77 BC
Kızıltan-91	0.90 a	0.51 f	0.71 CD
Mirzabey-2000	0.92 a	0.84 abc	0.88 AB
Soylu	0.83 abc	0.59 def	0.71 CD
Svevo	0.69 cde	0.52 ef	0.61 D
Türköz	0.82 abc	0.80 abc	0.81 ABC
Ort.	0.86 A	0.69 B	

\*: Farklı harflerle gösterilen değerler arasındaki farklar istatistiksel olarak anlamlıdır (p<0.01).

\*\* :Büyük harflerle gösterilen ortalamalar arasındaki farklar istatistiksel olarak önemlidir (p<0.01).

### Çimlenme kapasitesine dayalı stres indeksi (Sİ-ÇK)

Çimlenme kapasitesine dayalı stres indeksi bakımından çeşitler ve tuz dozları arasında istatistiksel anlamda %1 seviyesinde önemli farklar saptanmıştır. Ayrıca çeşit x tuz etkileşimi de %1 seviyesinde önemli bulunmuştur (Çizelge 3).

Başka bir özellik olarak, çimlenme kapasitesine (Sİ-ÇK) dayalı olarak hesaplanan stres indeksi diğer gözlemlenen genotipik farklılıkları doğrulamaktadır. Sİ-ÇK'nın farklı buğday çeşitlerinde artan tuz stresi ile arttığını göstermektedir. Bununla birlikte, Svevo ve Soylu, NaCl konsantrasyonundan bağımsız olarak Sİ-ÇK'da en yüksek artışı gösterirken, Altıntaş-95 ve Mirzabey-2000, tuz stresi ile Sİ-ÇK'larını artırsalar bile en az duyarlı olmuşlardır (Çizelge 3). Faktörler arasındaki interaksiyonun da önemli bulunduğu çalışmada en yüksek stres indeksi, 6 g L<sup>-1</sup> tuz dozunda Kızıltan-91 (1.48) çeşidinde belirlenmiş ve onu Svevo (1.47) çeşidi takip etmiştir (Çizelge 3). Konuyla ilgili olarak sorgumda çalışma yapan Zulfiqar ve ark. (2013) sorgumun çimlenme sürecinde daha sonraki büyüme aşamasına göre tuzluluğa daha toleranslı olduğunu ifade etmişlerdir. Diğer taraftan, Ayers ve Hayward (1949) çimlenme ve bitki yaşam döngüsünün diğer aşamalarındaki tuz toleransının daima ilişkili olmadığını, bu durumun farklı bitki türlerine göre değiştiğini belirtmişlerdir. Çalışmadan elde edilen sonuçlar, tuz stresinin çimlenme aşamasıyla ilgili fizyolojik parametreler üzerinde olumsuz etkileri olduğunu gösterirken, genotipik farklılıkları da görmemizi sağlamıştır. Tuzluluk, buğdayın çimlenmesini geciktirmiş ve çimlenme kapasitesini önemli ölçüde azaltmıştır. Düşük tuz dozlarında ozmotik etki baskınken, şiddetli tuz stresinde toksik etki belirgin olmuştur.

Çizelge 3. Farklı sodyum klorür (NaCl) konsantrasyonlarında makarnalık buğday tohumlarının stres indeksi (Sİ-ÇK)  
Table 3. Stress index (SI-GC) of durum wheat grains exposed to different concentrations of sodium chloride (NaCl)

Çeşitler	NaCl dozu (g L <sup>-1</sup> )		Ort.
	3	6	
Altıntaş-95	1.05 f*	1.15 def	1.10 D**
Ç-1252	1.08 f	1.30 bcd	1.19 BCD
Dumlupınar	1.28 cde	1.19 def	1.23 BC
Eminbey	1.11 ef	1.31 bcd	1.21 BCD
Kunduru-1149	1.06f	1.41 abc	1.23 BC
Kızıltan-91	1.10 f	1.48 a	1.29 AB
Mirzabey-2000	1.07 f	1.16 def	1.11 CD
Soylu	1.17 def	1.41 abc	1.29 AB
Svevo	1.31 bcd	1.47 ab	1.39 A
Türköz	1.18 def	1.20 def	1.19 BCD
Ort.	1.14 B	1.30 A	

\*: Farklı harflerle gösterilen değerler arasındaki farklar istatistiksel olarak anlamlıdır (p<0.01).

\*\* :Büyük harflerle gösterilen ortalamalar arasındaki farklar istatistiksel olarak önemlidir (p<0.01).

### İlk canlılık (İC)

Çalışmada ilk canlılık bakımından çeşitler ve tuz dozları arasında istatistiksel anlamda %1 seviyesinde önemli farklar saptanmıştır. Ayrıca çeşit x tuz interaksiyonu da %1 seviyesinde önemli bulunmuştur (Çizelge 4).

Çalışmada çimlenme ve erken dönem fide gelişiminde tuz stresine cevap olarak genotipik farklılığın belirlenmesi amacıyla ilk canlılık (İC) belirlenmiştir. Bu özellik, çimlenme kapasitesi ile bitki büyümesini ilişkilendirmektedir (Hmissi ve ark., 2023). Çizelge 4'te görüldüğü gibi artan NaCl konsantrasyonu çeşitlerde İC'yi azaltmıştır. Konuyla ilgili çalışma yapan Hmissi ve ark. (2023) da artan tuz dozu ile beraber İC'nin azaldığını tespit etmişlerdir. Bununla birlikte bu parametre, çalışılan çeşitler arasında net bir ayırım yapmakta ve Kızıltan-91 ve Svevo'nun diğer çeşitlere, özellikle de Altıntaş-95 ve Türköz'e kıyasla hassasiyetini göstermektedir. Kızıltan-91, 3 ve 6 g L<sup>-1</sup> NaCl'de sırasıyla %33 ila %63 oranında canlılığını kaybederken, Svevo 3 ve 6 g L<sup>-1</sup> NaCl'de sırasıyla %42 ila %53 oranında canlılığını kaybetmiştir. Diğer çeşitlerde İC kaybı 3 g L<sup>-1</sup> NaCl'de %10'un altında kalmış ve yüksek NaCl konsantrasyonu olan 6 g L<sup>-1</sup> NaCl'de önemli hale gelmiştir. Altıntaş-95, Dumlupınar ve Türköz yüksek tuz stresinde bile en az İC kaybeden çeşitler olmuştur.

Çizelge 4. Farklı sodyum klorür (NaCl) konsantrasyonlarında makarnalık buğday tohumlarının ilk canlılık (İC) değerleri

Table 4. Initial vigor (IV) of durum wheat grains exposed to different concentrations of sodium chloride (NaCl)

Çeşitler	NaCl dozu (g L <sup>-1</sup> )			
	0	3	6	Ort.
Altıntaş-95	7.86 a*	7.36 a	7.73 a	7.65 A**
Ç-1252	4.56 b-f	4.56 b-f	3.73 e-j	4.28 CD
Dumlupınar	4.5 b-g	3.03 ı-l	3.10 h-l	3.54 DE
Eminbey	7.10 a	7.03 a	3.03 ı-l	5.72 B
Kunduru-1149	3.73 e-j	4.30 b-ı	2.70 jkl	3.57 DE
Kızıltan-91	5.53 b	3.70 e-k	2.00 l	3.74 D
Mirzabey-2000	3.73 e-j	3.70 e-k	3.23 g-l	3.55 DE
Soylu	4.80 b-e	4.33 b-h	3.30 f-k	4.14 CD
Svevo	4.23 c-ı	2.43 kl	2.00 l	2.88 E
Türköz	5.23 bcd	5.33 bc	4.03 d-ı	4.86 C
Ort.	5.13 A	4.58 B	3.48 C	

\*: Farklı harflerle gösterilen değerler arasındaki farklar istatistiksel olarak anlamlıdır (p<0.01).

\*\* :Büyük harflerle gösterilen ortalamalar arasındaki farklar istatistiksel olarak önemlidir (p<0.01).

### Canlılık indeksi (Ci)

Yapılan varyans analizinde canlılık indeksi bakımından çeşitler ve tuz dozları arasında istatistiki anlamda %1 seviyesinde önemli farklar saptanmıştır. Ayrıca çeşit x tuz interaksyonunu da %1 seviyesinde önemli bulunmuştur (Çizelge 5).

Çizelge 5. Farklı sodyum klorür (NaCl) konsantrasyonlarında makarnalık buğday tohumlarının canlılık indeksi (Ci)

Table 5. Vigor index (GI) of durum wheat grains exposed to different concentrations of sodium chloride (NaCl)

Çeşitler	NaCl dozu (g L <sup>-1</sup> )			
	0	3	6	Ort.
Altıntaş-95	2029 cd*	1439.3 fg	934.3 ijk	1467.5 A**
Ç-1252	1645 ef	1834.7 de	819 jkl	1432.8 AB
Dumlupınar	1962.0 d	965.0 ijk	1146.0 hı	1357.6 ABC
Eminbey	2636.7 a	999 ijk	724.7 klm	1453.4 AB
Kunduru-1149	1985.3 d	1420.7 fgh	475.3 mn	1293.7 BC
Kızıltan-91	2289.3 bc	1500 f	487 mn	1425.4 AB
Mirzabey-2000	1514 f	1173 ghı	593.7 lmn	1093.5 D
Soylu	2342.7 b	1188.3 ghı	557.7 lmn	1362.8 AB
Svevo	1661.7 ef	1030.3 ij	403.3 n	1031.7 D
Türköz	1977.3 d	1006.3 ijk	595.3 lmn	1193.0 CD
Ort.	2004.3 A	1255.6 B	673.6 C	

\*: Farklı harflerle gösterilen değerler arasındaki farklar istatistiksel olarak anlamlıdır (p<0.01).

\*\* :Büyük harflerle gösterilen ortalamalar arasındaki farklar istatistiksel olarak önemlidir (p<0.01).

Çizelge 5'te de görüldüğü gibi çeşitlerin canlılık indeksi artan tuz dozu ile azalmıştır. Çeşitler arasında Kunduru-1149 ve Svevo, 6 g L<sup>-1</sup> NaCl tuz dozunda en düşük (sırasıyla 475.3, 403.3) canlılık indeksine sahip olurken, 3 g L<sup>-1</sup> NaCl tuz dozunda en yüksek canlılık indeksi Ç-1252 ve Kızıltan-91 çeşitlerinde belirlenmiştir (sırasıyla 1894.7, 1500). Araştırmadan genotipler için elde edilen değerler 403.3 – 2636.7 arasında değişmiş ve istatistiki anlamda önemli olmuştur. Bununla birlikte canlılık indeksi parametresinin çimlenme kapasitesi kullanılarak hesaplandığından ötürü, çimlenme kapasitesi bakımından tuza en duyarlı olduğu belirtilen Svevo çeşidi (Çizelge 1), canlılık indeksi bakımından da en düşük değeri almıştır. Çalışmadan elde edilen sonuçlar konuyla ilgili çalışma yürüten araştırmacıların sonuçlarıyla uyum içerisindedir (Islam ve ark., 2022).

Elde edilen sonuçlara göre, incelenen tüm karakterlerde artan tuzluluğun, çimlenme ve fidelerin büyüme parametreleri üzerinde bir etkiye sahip olduğu görülmüştür. Çalışılan 10 çeşit arasında bazı genotipik farklılıklar tespit edilmiştir. Bu, bitkilerin tuz stresine karşı genetik olarak çeşitli tepkiler geliştirebileceğini ve bu farklılıkların tuzluluğa karşı toleransın değerlendirilmesinde önemli olduğunu göstermektedir. Özellikle, Altıntaş-95 çeşiti çalışmada tuzluluğa karşı toleranslı olarak belirlenirken, Svevo çeşidi ise hassas olarak belirlenmiştir. Araştırmada incelenen özelliklerden ilk canlılık (İC) ve stres indeksinin (Si), çalışılan çeşitleri birbirinden ayırmak için kullanılabilecek uygun özellikler olduğu ve tuzluluğa toleranslı çeşitleri belirlemek için faydalı olabileceği söylenebilir.

#### ÇIKAR ÇATIŞMA BEYANI

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

#### ARAŞTIRMACILARIN KATKI ORANI BEYANI

Yazarlar çalışmaya eşit oranda katkı sağlamışlardır.

#### ETİK ONAY BEYANI

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

#### KAYNAKLAR

- Alaoui, M.M., El Jourmi, L., Ouarzane, A., Lazar, S., El Antri, S., Zahouily, M., & Hmyene, A. (2013). Effet du stress salin sur la germination et la croissance de six variétés marocaines de blé (Effect of salt stress on germination and growth of six Moroccan wheat varieties). *Journal of Materials and Environmental Science*, 4 (6), 997-1004.
- Alzahrani, O., Abouseadaa, H., Abdelmoneim, T.K., Alshehri, M.A., Mohamed, E.M., El-Beltagi, H.S., & Mohamed, A.M. (2021). Agronomical, physiological and molecular evaluation reveals superior salt-tolerance in bread wheat through salt-induced priming approach. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 49 (2), 12310-12310. <https://doi.org/10.15835/nbha49212310>
- Ansari, S.A., & Husain, Q. (2012). Potential applications of enzymes immobilized on/in nano materials: A review. *Biotechnology Advances*, 30 (3), 512-523. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2011.09.005>
- Atak, M., Kaya, M.D., Kaya, G., Çikili, Y., & Çiftçi, C. Y. (2006). Effects of NaCl on the germination, seedling growth and water uptake of triticale. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 30 (1), 39-47.
- Ayers, A.D., & Hayward, H.E. (1949). A method for measuring the effects of soil salinity on seed germination with observations on several crop plants. *Soil Science Society of America Journal*, 13 (C), 224-226. <https://doi.org/10.2136/sssaj1949.036159950013000C0039x>
- Bouzidi, A., Krouma, A., & Chaieb, M. (2021). Chemical seed priming alleviates salinity stress and improves *Sulla carnosa* germination in the saline depression of Tunisia. *Plant Direct*, 5 (11), e357. <https://doi.org/10.1002/pld3.357>
- Budaklı Çarpıcı, E., & Erdel, B. (2016). Determination of responses of different alfalfa (*Medicago sativa* L.) varieties to salt stress at germination stage. *Yuzuncu Yil University Journal of Agricultural Sciences*, 26 (1), 61-67. <https://doi.org/10.29133/yyutbd.236433>
- Coban, F.; Ozer, H.; Ors, S.; Sahin, U.; Yildiz, G.; Cakmakci, T. (2018). Effects of deficit irrigation on essential oil composition and yield of fennel (*Foeniculum vulgare* Mill) in a high-altitude environment. *Journal of Essential Oil Research*, 30, 457-463.



- Dawood, M.F., Sofy, M.R., Mohamed, H.I., Sofy, A.R., & Abdel-kader, H.A. (2022). Hydrogen sulfide modulates salinity stress in common bean plants by maintaining osmolytes and regulating nitric oxide levels and antioxidant enzyme expression. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 22 (3), 3708-3726. <https://doi.org/10.1007/s42729-022-00921-w>
- Dengiz, O., Ozcan, H., Koksall, E. S., Baskan, O., & Kosker, Y. (2010). Sustainable natural resource management and environmental assessment in the Salt Lake (Tuz Golu) specially protected area. *Environmental Monitoring and Assessment*, 161, 327-342. <https://doi.org/10.1007/s10661-009-0749-4>
- Dirik, K.Ö., Saygılı, İ., Özkurt, M., & Sakin, M.A. (2018). Bazı yerel ekmeçlik buğday (*Triticum aestivum* L.) genotiplerinin ozmotik stres altında erken gelişme dönemindeki kuraklık toleransının belirlenmesi. *International Journal of Agricultural and Natural Sciences*, 1 (2), 95-101.
- Doruk Kahraman, N., & Gökmen, S. (2022). Effect of salt doses on biological values in durum wheat. *Selçuk Journal of Agriculture and Food Sciences*, 36 (2), 260-267. <https://doi.org/10.15316/SJAIFS.2022.034>
- Fuller, M.P., Hamza, J.H., Rihan, H.Z., & Al-Issawi, M. (2012). Germination of primed seed under NaCl stress in wheat. *International Scholarly Research Notices*, 167804. <https://doi.org/10.5402/2012/167804>
- Hickey, L.T., N. Hafeez, A., Robinson, H., Jackson, S.A., Leal-Bertioli, S.C.M., Tester, M., Gao, C., Godwin, I.D., Hayes, B.J., & Wulff, B.B. (2019). Breeding crops to feed 10 billion. *Nature Biotechnology*, 37 (7), 744-754. <https://doi.org/10.1038/s41587-019-0152-9>
- Hmissi, M., Chaieb, M., & Krouma, A. (2023). Differences in the physiological indicators of seed germination and seedling establishment of durum wheat (*Triticum durum* Desf.) cultivars subjected to salinity stress. *Agronomy*, 13 (7), 1718. <https://doi.org/10.3390/agronomy13071718>
- Islam, S., Biswas, P.K., Amin, A.K.M.R., Fujita, M., Paul, A.K., Mahmud, J.A., & Hasanuzzaman, M. (2022). Germination and growth performance of seedlings of ascorbic acid, silicon and gibberellic acid treated secondary seed of wheat under salt stress. *Bangladesh Agronomy Journal*, 25 (1), 115-128.
- Kopittke, P.M., Menzies, N.W., Wang, P., McKenna, B.A., & Lombi, E. (2019). Soil and the intensification of agriculture for global food security. *Environment International*, 132, 105078. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.105078>
- Liu, J., Wu, Y., Dong, G., Zhu, G., & Zhou, G. (2023). Progress of research on the physiology and molecular regulation of sorghum growth under salt stress by gibberellin. *International Journal of Molecular Sciences*, 24 (7), 6777. <https://doi.org/10.3390/ijms24076777>
- Munns, R., & Termaat, A. (1986). Whole-plant responses to salinity. *Functional Plant Biology*, 13 (1), 143-160. <https://doi.org/10.1071/PP9860143>
- Munns, R., & Tester, M. (2008). Mechanisms of salinity tolerance. *Annual Review of Plant Biology*, 59, 651-681. <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.59.032607.092911>
- Murillo-Amador, B., López-Aguilar, R., Kaya, C., Larrinaga-Mayoral, J., & Flores-Hernández, A. (2002). Comparative effects of NaCl and polyethylene glycol on germination, emergence and seedling growth of cowpea. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 188 (4), 235-247. <https://doi.org/10.1046/j.1439-037X.2002.00563.x>
- Okumuş, O. (2022). Çayir üçgülünde (*Trifolium pratense* L.) in vitro mutasyon uygulamalarının M1 generasyonunda tuz toleransına etkileri Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 69 s.
- Önder, M., & Kahraman, A. (2010). Global climate changes and their effects on field crops. 10<sup>th</sup> *International Multidisciplinary Geoconference SGEM, Conference Proceedings*. Volume II, Page: 589-592, 20-26 June 2010, Bulgaria.
- Patade, V.Y., Bhargava, S., & Suprasanna, P. (2011). Salt and drought tolerance of sugarcane under iso-osmotic salt and water stress: growth, osmolytes accumulation, and antioxidant defense. *Journal of Plant Interactions*, 6 (4), 275-282. <https://doi.org/10.1080/17429145.2011.557513>

- Pekşen, E., Peksen, A., & Gulumser, A. (2014). Leaf and stomata characteristics and tolerance of cowpea cultivars to drought stress based on drought tolerance indices under rainfed and irrigated conditions. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 3, 626-634.
- Rajjou, L., Duval, M., Gallardo, K., Catusse, J., Bally, J., Job, C., & Job, D. (2012). Seed germination and vigor. *Annual Review of Plant Biology*, 63, 507-533. <https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-042811-105550>
- Saboora, A., Kiarostami, K., Behroozbayati, F., & Hajhashemi, S. (2006). Salinity (NaCl) tolerance of wheat genotypes at germination and early seedling growth. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 9 (11), 2009-2021.
- Sima, N.A.K.K., Ahmad, S.T., & Pessaraki, M. (2013). Comparative study of different salts (sodium chloride, sodium sulfate, potassium chloride, and potassium sulfate) on growth of forage species. *Journal of Plant Nutrition*, 36 (2), 214-230. <https://doi.org/10.1080/01904167.2012.739242>
- Snedecor, G.W., & Cochran, W.G. (1967). *Statistical methods*. 6<sup>ed</sup>. Iowa State University, press USA, 456.
- Tanur, M., & Yorgancılar, M. (2020). Tuz stresine maruz bırakılan kanola (*Brassica napus* L.)'da priming uygulamalarının (salisilik asit ve askorbik asit) çimlenme üzerine etkisi. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 10 (4), 3109-3121. <https://doi.org/10.21597/jist.757788>
- Thiam, M., Champion, A., Diouf, D., & Ourèye SY, M. (2013). NaCl effects on in vitro germination and growth of some senegalese cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) cultivars. *International Scholarly Research Notices*, 382417. <http://dx.doi.org/10.5402/2013/382417>
- Yavuz, D., Rashid, B.A.R., & Seymen, M. (2023). The influence of NaCl salinity on evapotranspiration, yield traits, antioxidant status, and mineral composition of lettuce grown under deficit irrigation. *Scientia Horticulturae*, 310, 111776. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2022.111776>
- Zulfiqar, A., Khan, D., & Naeem, A. (2013). Salt tolerance of three sorghum cultivars during germination and early seedling growth. *International Journal of Biology and Biotechnology*, 10 (2), 193-202.