

Yılmaz, E. G., K. Dinc, I. Tiryaki, Bazı Yerel Fasulye (*Phaseolus vulgaris* L.) Genotiplerinin Çimlenme Evresindeki Tuz Stresine Toleranslık Seviyelerinin Belirlenmesi. International Journal of Life Sciences and Biotechnology, 2023. 6(2): p. 166-183. DOI: 10.38001/ijlsb.1302613

## Bazı Yerel Fasulye (*Phaseolus vulgaris* L.) Genotiplerinin Çimlenme Evresindeki Tuz Stresine Toleranslık Seviyelerinin Belirlenmesi

Enes Gökhan Yılmaz<sup>1</sup> , Kezban Dinç<sup>1</sup> , İskender Tiryaki<sup>1\*</sup> 

### ÖZET

Bu çalışma Türkiye'nin çeşitli yerlerinden toplanan 18 yerel fasulye (*Phaseolus vulgaris* L.) genotipinin çimlenme dönemindeki tuz stresine tolerans düzeylerinin belirlenmesi amacıyla yürütülmüştür. Tesadüf blokları desenine göre 4 tekerrürlü olarak yürütülen çalışmada her tekerrürde 25 adet tohum olacak şekilde içinde çift kat filtre kağıdı bulunan kapaklı plastik kaplarına tek sıra halinde yerleştirilmiş ve 15 mL 200 mM NaCl eklenerek  $28 \pm 0.5$  °C'de karanlık ortamda çimlenme denemesine alınmıştır. Her genotipin kontrol tohumları, aynı koşullar altında saf su (dH<sub>2</sub>O) eklenerek test edilmiştir. Çimlenen tohumlarda son çimlenme oranı, çimlenme hızı ve çimlenme homojenite parametreleri hesaplanmıştır. Tuz stresi Pv-6, Pv-8 ve Pv-14 kodlu genotiplere ait tohumların çimlenme oranlarında herhangi bir gerilemeye neden olmazken, Pv-2 kodlu yerel genotipe ait tohumların çimlenme oranında %36.84'lik gerilemeye neden olmuştur. Tuz stresi koşullarında çimlenme hızı  $G_{50} = 1.41$  gün (Pv-1) ile  $G_{50} = 3.94$  gün (Pv-12) arasında değişirken, kontrol koşullarda 0.84 gün (Pv-1) ile 2.60 gün (Pv-18) arasında değişmiştir. Çimlenme homojenite süreleri Pv-1 kodlu genotipte en yavaş ( $G_{10-90} = 3.03$  gün) olurken, Pv-13 kodlu genotipte en homojen çimlenme ( $G_{10-90} = 1.59$ ) gerçekleşmiştir. Tohumların zamana bağlı çimlenme dinamiklerine ait değişimler kontrollü şartlarda erken dönemlerde var olan genetik varyasyonun çimlenme süresinin uzamasına bağlı olarak azaldığını buna karşın stres şartlarında genetik varyasyonun artan bir şekilde çimlenmenin sonraki zaman dilimlerinde ortaya çıktığını göstermiştir. Tohumların iki boyutlu yüzey alan ölçümleri ile belirlenen tohum iriliklerinin tuz stresi ile olan ilişkisinin ortaya konması amacıyla yapılan analiz sonuçları, tohum büyüklükleri ile tuz stresi şartlarındaki çimlenme oranları arasında doğrusal bir ilişkinin olmadığını, ancak hem kontrol hem de tuz stresi şartlarındaki çimlenme hızı ( $G_{50}$ ) ve çimlenme homojenite ( $G_{10-90}$ ) değerleri arasında sırasıyla pozitif ve negatif bir ilişkinin var olduğunu göstermiştir. Çalışma sonuçları, yerel fasulye genotiplerinin incelenen çimlenme parametreleri açısından tuz stresine karşı önemli farklılıklar gösterdiğini ve tuza tolerant olduğu belirlenen genotiplerin bu amaçla yapılacak ıslah çalışmalarında başarıyla kullanılabilceğine işaret etmektedir.

### MAKALE GEÇMİŞİ

Geliş

26 Mayıs 2023

Kabul

15 Temmuz 2023

### ANAHTAR

### KELİMELER

Tuz stresi,  
çimlenme,  
çimlenme dinamiği,  
iki boyutlu tohum yüzey  
alanı,  
tohum iriliği

<sup>1</sup> Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarımsal Biyoteknoloji Bölümü, Çanakkale

\*Sorumlu Yazar: İskender Tiryaki, e-mail: [tiryaki46@yahoo.com](mailto:tiryaki46@yahoo.com)

# Determination of Salt Stress Tolerance Levels of Some Local Bean (*Phaseolus vulgaris* L.) Genotypes at Germination Stage

## ABSTRACT

This study was carried out to determine the tolerance levels of 18 local bean genotypes collected from various locations of Turkey at the germination stage. The germination test was conducted with 25 seeds with 4 replications by using a completely randomized block design. Seeds were placed on double filter paper in a covered plastic box and were incubated at  $28 \pm 0.5$  °C in darkness. Control seeds of each genotype were treated with dH<sub>2</sub>O and were germinated under the same conditions as described before. The germination percentage, germination rate, and homogeneity of the seeds were calculated. The highest reduction rate in the final germination percentage was determined in the Pv-2 (36.84%) local genotype, while no deleterious effect of salt stress was observed in genotypes Pv-6, Pv-8, and Pv-14. Germination speed varied between  $G_{50} = 1.41$  days (Pv-1) and  $G_{50} = 3.94$  days (Pv-12) in salt stress conditions, while it was changed between 0.84 days (Pv-1) and 2.60 days (Pv-18) under control conditions. The highest germination delay was determined in Pv-1 ( $G_{10-90} = 3.03$  days), while the Pv-13 variety ( $G_{10-90} = 1.59$  days) had the best germination homogeneity. The germination dynamics of seeds in time showed that the genetic variation existed in the early periods of germination in terms of genotype based performances in germination percentages decreased over time under controlled conditions while such genetic variation increasingly appeared in the later periods of time under salt stress conditions. The analysis to reveal the relationship between the seed size based on the two-dimensional surface area and salt stress tolerance levels of the seeds showed that there was no any linear relationship between the seed size and germination percentage of the genotype under salt stress conditions. However, it showed that there was a positive and negative relationship between rate ( $G_{50}$ ) and span ( $G_{10-90}$ ) of germination under both control and salt stress conditions, respectively. The results of the study revealed that the local bean genotypes showed significant variation for salt stress tolerance levels based on germination parameters determined and those genotypes which were determined as salt tolerant could be successfully used in such breeding programs.

## ARTICLE HISTORY

Received

26 May 2023

Accepted

15 July 2023

## KEYWORDS

Salt stress, germination, germination dynamics, two-dimensional seed surface area, seed size

## Giriş

Tuz stresi küresel anlamda, tarımsal üretimi olumsuz yönde etkileyen en önemli abiyotik stres faktörlerinden biridir [1, 2]. Günümüzde dünya genelindeki tarım arazilerinin %20'sinde görülen tuzluluğun, 2050 yılına kadar %50'ye çıkacağı tahmin edilmektedir [3, 4]. Bitkiler, kompleks fizyolojik ve moleküler mekanizmaları ile toprakta bulunan tuzlara karşı çeşitli seviyelerde yanıt verirler [5]. Tuz stresi bitkilerin farklı gelişim evrelerinde farklı etkiler göstererek bitki büyüme ve gelişimi olumsuz yönde etkilemekte ve sonuçta verimde önemli kayıplara neden olmaktadır [3, 6]. Topraktaki yüksek tuzluluk aynı zamanda fizyolojik kuraklık yaratarak tohumların su alımını engelleyen, hücre içi iyon dengesizliğine neden olarak devamında iyon toksisitesinin oluşmasına ve böylece çimlenmenin engellenmesine neden olmaktadır [5, 7, 8]. Bitkilerde tuza karşı toleranslık bitkinin gelişim dönemine, tuz stresinin şiddet ve süresine bağlı olarak büyük değişkenlik

gösterebilmektedir [9]. Ancak, genel olarak değerlendirildiğinde bitkilerin biyotik ve tuz stresinin dahil olduğu abiyotik stres faktörlerine karşı en hassas olduğu gelişim dönemi çimlenme ve erken fide evresi olduğu kabul edilmektedir [10]. Tohum çimlenmesi bitki büyüme ve gelişiminin ön koşulu olması nedeniyle [11] eldeki mevcut bitki materyallerinin tuz stresine olan toleranslık seviyelerinin belirlenmesi ve bunların ıslah programlarına dahil edilmesi büyük bir önem taşımaktadır [5].

Dünya ve ülkemizde ekim alanı ve üretim miktarı açısından önemli bir yeri olan *Fabaceae* familyası içerisinde yer alan fasulye bitkisi (*Phaseolus vulgaris* L.) protein, lif, karbonhidrat ve mineral maddeler yönünden zengin bir içeriğe sahip olup bitkisel proteinler yönünden önemli bir besin kaynağı olarak görülmektedir [12, 13]. Bu nedenle fasulye ve dahil olduğu yemeklik dane baklagiller artan dünya nüfusunun protein açığının hızlı ve ekonomik olarak giderilmesinde başvurulacak en önemli besin kaynaklarının başında gelmektedir [7]. Çoğu kültür bitkisinde olduğu gibi, baklagillerin tuz stresine karşı tepkisi büyük ölçüde değişkenlik göstermektedir [10]. Bununla birlikte fasulyenin dahil olduğu baklagiller diğer kültür bitkileri ile kıyaslandığında tuz stresine karşı daha hassas oldukları bilinmektedir [7, 13]. Ancak, her bitki türünde olduğu gibi *P. vulgaris* içerisinde de genetik varyasyonun bir sonucu olarak tuz ve diğer stres faktörlerini göreceli olarak daha iyi tolere edebilen hat ve genotiplerin var olduğu ve bu testlerin hedef genetik havuz kullanılarak ayrıca test edilmesi gerektiği bilinmektedir [14]. Bu çalışma ülkemizin çok farklı iklim ve toprak koşullarında yaygın olarak yetiştiriciliği yapılan yerel hat, köy popülasyonu, köy çeşidi ya da yerel genotip gibi farklı adlarla isimlendirilen ve büyük bir varyasyon gösteren yerel fasulye genotiplerinin çimlenme evresindeki tuz stresine toleranslık seviyelerinin belirlenmesi amacıyla yürütülmüştür.

## **Materyal ve Metot**

### **Tohum materyali**

Çalışmada kullanılan yerel fasulye (*Phaseolus vulgaris* L.) genotipleri ve temin edildikleri bölgeler Tablo 1’de sunulmuştur.

### **Yöntem**

Yerel fasulye genotiplerinin tuz stresine karşı tolerans düzeylerini en iyi ortaya koyacak tuz konsantrasyonu (200 mM NaCl) yapılan ön denemeler ve ilgili literatür göz önüne alınarak belirlenmiştir [15]. Her yerel genotipe ait tohumlar çimlenme denemesine alınmadan önce kendi içinde tohum iriliği bakımından homojen hale getirilmiş ve

çimlenme denemesinde bu tohumlar kullanılmıştır. Her yerel genotipe ait 25'er adet tohum 4 tekerrürlü olacak şekilde içerisinde çift katlı kurutma kâğıdı üzerine, kapaklı plastik (10x11.5x5 cm) çimlendirme kaplarına alınmış ve devamında üzerlerine 15 ml 200 mM NaCl ilave edilerek  $28 \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 'de karanlık şartlarda çimlendirmeye bırakılmıştır. İklimlendirme kabini içerisindeki raflar arası ortaya çıkabilecek olası sıcaklık farklılıkları göz önüne alınarak çalışma tesadüf blokları deneme desenine göre tertip edilmiştir. Çalışmada 3-4 mm'lik radikula çıkışı çimlenmiş tohum olarak kabul edilmiş ve çimlenen tohumlar kaptan günlük olarak uzaklaştırılmıştır. Çimlenme denemesi çimlenme değerlerinin sabitlendiği güne kadar (5 gün) devam ettirilmiştir.

**Tablo 1.** Çalışmada kullanılan yerel fasulye genotiplerine ait kayıt kodu, yerel genotip adları ve tedarik yeri

**Table 1.** Registration codes of genotypes, names of genotypes and locations of seed supply

Kayıt kodu	Yerel Genotip Adı	Tedarik yeri
<b>Pv-1</b>	Karınca Fasulyesi	Konya/Akşehir
<b>Pv-2</b>	Oturak Fasulye	Konya/Akşehir
<b>Pv-3</b>	Boncuk Fasulye	Kütahya/Altıntaş (Yeşilyurt)
<b>Pv-4</b>	Hımıs Fasulyesi	Erzurum
<b>Pv-5</b>	Çalı Fasulyesi	Konya/Akşehir
<b>Pv-6</b>	Oturak Fasulye	Konya/Akşehir
<b>Pv-7</b>	Beyaz Şeker Fasulye	Konya/Akşehir
<b>Pv-8</b>	Oturak Fasulye	Bursa /Mustafakemalpaşa
<b>Pv-9</b>	Oturak Fasulye	Çanakkale
<b>Pv-10</b>	Ayşekadın Fasulye	Konya/Akşehir
<b>Pv-11</b>	İspir Fasulyesi	Erzurum
<b>Pv-12</b>	Çalı Fasulyesi	Van
<b>Pv-13</b>	Çil kız Fasulyesi	Konya/Akşehir
<b>Pv-14</b>	Barbunya Fasulye	Konya/Akşehir
<b>Pv-15</b>	Çapan Fasulye	Konya/Akşehir
<b>Pv-16</b>	Fıstık Fasulyesi	Konya/Akşehir
<b>Pv-17</b>	Sarıkız Fasulyesi	Konya/Akşehir
<b>Pv-18</b>	Siyah Şeker Fasulye	Konya/Akşehir

Çimlenen tohumlara ait son çimlenme yüzdesi (%), çimlenen tohumların %50'sinin çimlenmesi için geçen zaman ( $\text{Çim}_{50}$ ) çimlenme hızı ve çimlenen tohumların %10 çimlenmeden %90 çimlenme oranına ulaşması için geçen zaman ( $\text{G}_{10-90}$ ) ise çimlenme

homojenitesinin belirlenmesinde daha önce açıklandığı şekilde tespit edilmiştir [16]. Çalışmada kontrol olarak her genotipe ait tohumlar yukarıda açıklandığı şekilde 15 ml dH<sub>2</sub>O varlığında çimlenme denemesine alınmış ve ilgili çimlenme parametreleri yukarıda belirtildiği şekilde tespit edilmiştir.

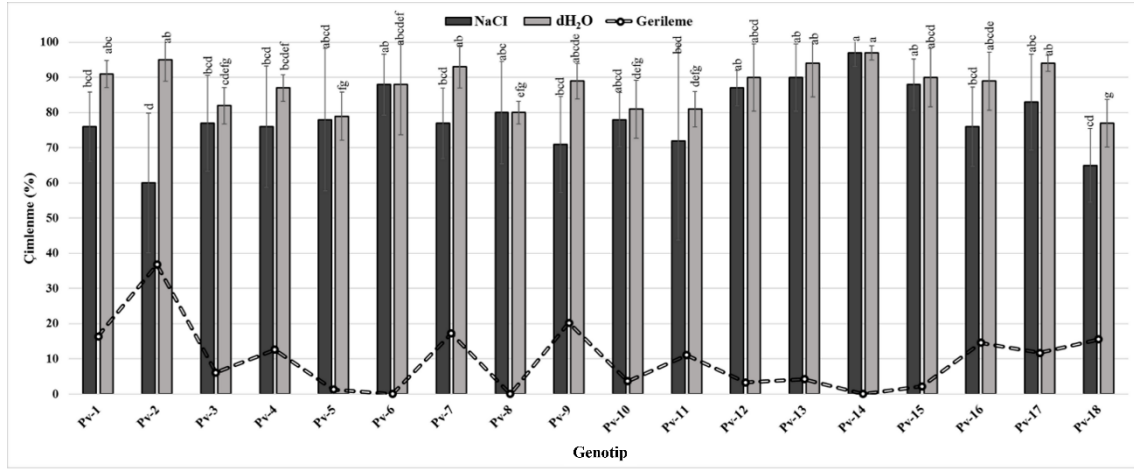
### **Veri Analizi**

Son çimlenme yüzdesi verilerine açısal transformasyon ( $\arcsin\sqrt{FGP}$ ) uygulanmış ve istatistiksel analizde kullanılmıştır [16]. Tuz stresinin tohumların son çimlenme oranlarında meydana getirdiği gerileme oranları daha önce açıklandığı şekilde hesaplanmıştır [11]. Her yerel genotipten rastgele seçilen 4 tohuma ait yüzey alanları ImageJ paket programı kullanılarak tespit edilmiş ve bu değerler yerel fasulye genotipleri arasında tohum iriliği bakımından gözlenen varyasyonun çimlenme parametreleri ile olan olası ilişkisini ortaya koymak amacıyla korelasyon analizlerinde kullanılmıştır.

Elde edilen tüm veriler SAS [17] paket programı ile analiz edilmiş ve ortalamalar arasındaki farklılıklar en küçük önemli fark (LSD) testi ile  $p \leq 0.05$  seviyesinde test edilmiştir.

### **Bulgular**

Tuz stresi, kontrol koşullarına kıyasla yerel fasulye genotiplerinin son çimlenme oranlarında önemli gerilemelere neden olmuştur (Şekil 1). Genotiplerin kontrol koşullarında son çimlenme oranları %77 ile %97 arasında değişirken, aynı genotiplerin tuz stresi koşulları altında son çimlenme oranları %60 ile %97 arasında değişiklik göstermiştir (Şekil 1). Pv-2 ve Pv-14 kodlu yerel genotipler, 200 mM NaCl tuz stresi altında sırasıyla en duyarlı (%60) ve tuz stresine en tolerant (%97) genotipler olarak belirlenmiştir (Şekil 1). Tuz stresine bağlı olarak son çimlenme oranlarındaki en yüksek gerileme %36.84 ile Pv-2 kodlu genotipte gerçekleşirken, Pv-6, Pv-8 ve Pv-14 kodlu genotiplerde tuz stresinin herhangi bir olumsuz etkisi tespit edilmemiştir (Şekil 1). Kontrole göre kıyaslandığında Pv-14 kodlu genotip hem kontrol hem de tuz stresi şartlarında da en yüksek çimlenme değerlerine (%97) sahip olmuştur (Şekil 1).

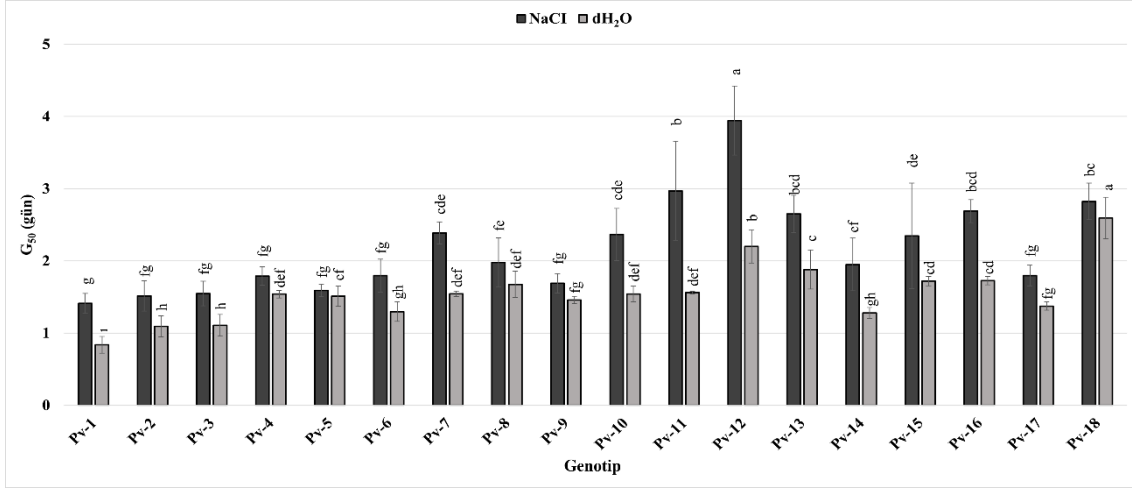


**Şekil 1** 200 mM NaCl tuz stresi ve kontrol koşullarında çimlendirilen yerel fasulye genotiplerinin son çimlenme oranları ile tuz stresine bağlı olarak çimlenme oranlarında meydana gelen gerileme değerleri (%). Bar üzerindeki çizgiler standart sapmayı göstermektedir (n=4). Aynı harfler  $p \leq 0.05$  seviyesinde anlamlı değildir

**Fig 1** Final germination percentage and reduction rates of local bean genotypes germinated under 200 mM NaCl salt stress and control conditions. The bar shows the standard deviation (n=4). The same letters are not significant at  $p \leq 0.05$

Tuz stresi kontrol tohumları ile kıyaslandığında tohumların çimlenme hızlarında çok önemli gerilemelere neden olmuştur (Şekil 2). Çimlenme hız değerleri yerel genotipler arasında büyük bir varyasyon göstermiştir (Şekil 2). Tuz stresi varlığında en hızlı tohum çimlenmesi  $G_{50} = 1.41$  gün ile Pv-1 kodlu genotipten elde edilirken Pv-12 kodlu genotipte bu değer 3.9 gün ile en yavaş olarak gerçekleşmiştir (Şekil 2). Buna karşın kontrol tohumlarında en hızlı ( $G_{50} = 0.83$  gün) ve en yavaş ( $G_{50} = 2.59$  gün) tohum çimlenme değerleri sırasıyla Pv-1 ve Pv-18 kodlu genotiplerden elde edilmiştir (Şekil 2).

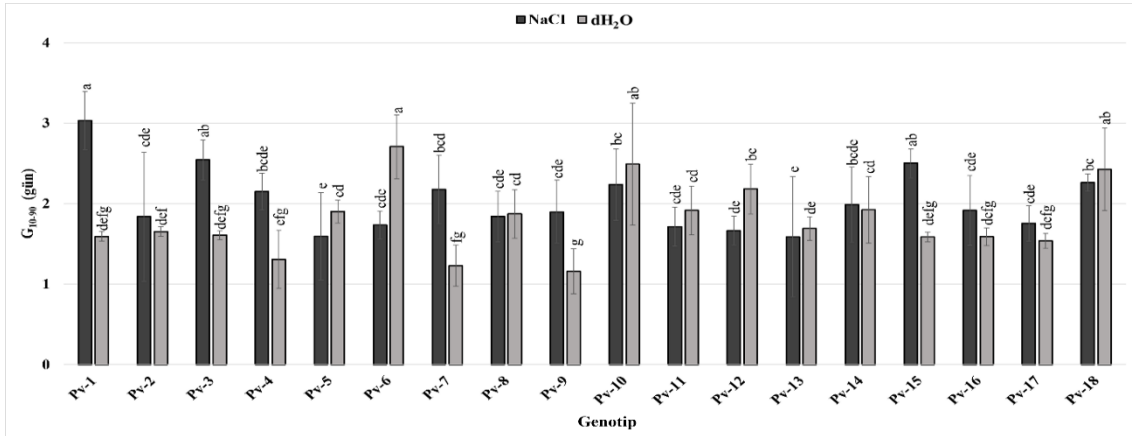
Tuz stresi tohumların çimlenme homojenitelerinde ( $G_{10-90}$ ) genotipe bağlı olarak hem olumlu ve hem de olumsuz etkiler meydana getirmiştir (Şekil 3). Tuz stresi kontrol tohumları ile kıyaslandığında Pv-1 kodlu genotipe ait tohumların %10 çimlenmeden %90 çimlenme oranına ulaşması için geçen sürede 1.44 günlük bir gecikmeye neden olurken Pv-6 kodlu genotipe ait tohumlarda 0.97 günlük bir iyileşmeye neden olmuştur (Şekil 3).



**Şekil 2** 200 mM NaCl tuz stresi ve kontrol koşullarında çimlendirilen yerel fasulye genotiplerine ait çimlenme hızı ( $G_{50}$ ) verileri. Bar üzerindeki çizgiler standart sapmayı göstermektedir ( $n=4$ ). Aynı harfler  $p \leq 0.05$  seviyesinde anlamlı değildir

**Fig 2** Germination speed ( $G_{50}$ ) of local bean genotypes germinated under 200 mM NaCl salt stress and control conditions. The bar shows the standard deviation ( $n=4$ ). The same letters are not significant at  $p \leq 0.05$

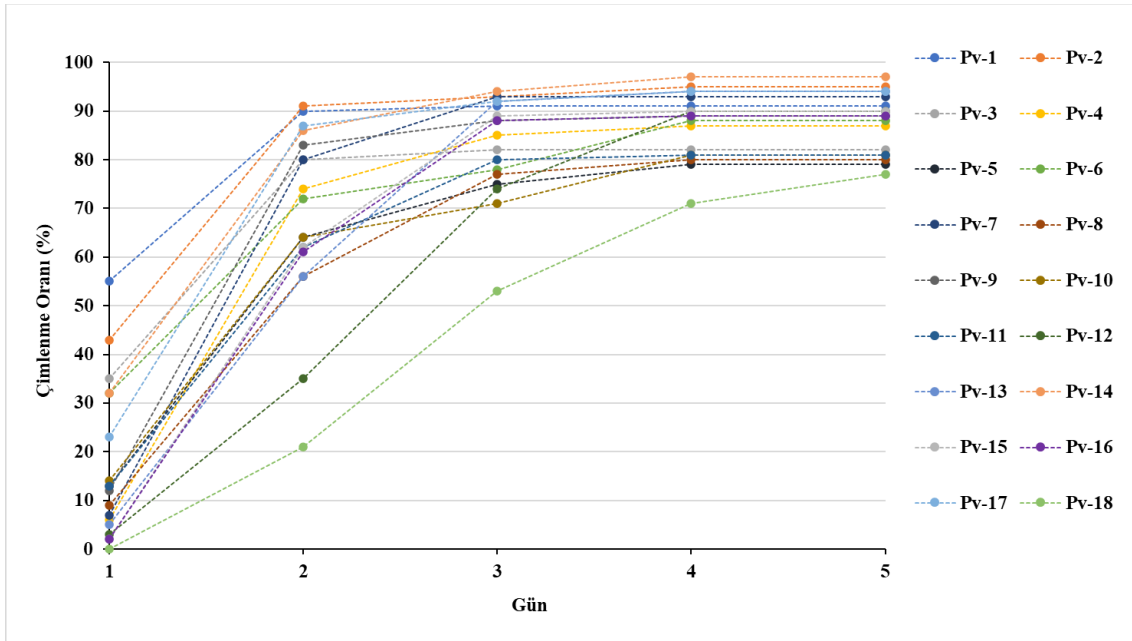
Tuz stresi varlığında en homojen tohum çimlenmesi  $G_{10-90} = 1.58$  gün ve  $G_{10-90} = 1.59$  gün ile sırasıyla Pv-13 ve Pv-5 kodlu genotiplerden elde edilmiştir (Şekil 3). Buna karşın kontrol tohumlarında en homojen tohum çimlenmesi  $G_{10-90} = 1.16$  gün ve  $G_{10-90} = 1.23$  gün ile sırasıyla Pv-9 ve Pv-7 kodlu genotiplerde tespit edilmiştir (Şekil 3). Pv-14 kodlu genotipe ait tohumlar tuz stresinden etkilenmeden kontrol şartlarına benzer bir çimlenme homojenitesi ( $G_{10-90} = 1.9$  gün) göstermiştir (Şekil 3).



**Şekil 3** 200 mM NaCl tuz stresi ve kontrol koşullarında çimlendirilen yerel fasulye genotiplerine ait çimlenme homojenitesi ( $G_{10-90}$ ) verileri. Bar üzerindeki çizgiler standart sapmayı göstermektedir ( $n=4$ ). Aynı harfler  $p \leq 0.05$  seviyesinde anlamlı değildir

**Fig 3** Germination span ( $G_{10-90}$ ) of local bean genotypes germinated under 200 mM NaCl salt stress and control conditions. The bar shows the standard deviation ( $n=4$ ). The same letters are not significant at  $p \leq 0.05$

Tohumların kontrol şartlarındaki zamana bağlı çimlenme dinamiklerine ait değişimler Şekil 4'te, aynı tohumların tuz stresi varlığında zamana bağlı çimlenme dinamiklerindeki değişimler ise Şekil 5'te verilmiştir. Sonuçlar kontrol şartlarında yerel genotiplerin çimlenme oranlarında çimlenmenin ilk iki gününde büyük bir varyasyon gösterdiklerini ancak bu varyasyonun sonraki günlerde azalarak sabitlendiğini göstermiştir (Şekil 4). Çimlenmenin ilk gününde en yüksek çimlenme oranları %55 ve %43 ile sırasıyla Pv-1 ve Pv-2 kodlu genotiplerden elde edilirken Pv-18 kodlu genotipte çimlenme meydana gelmemiştir (Şekil 4). Çimlenmenin ilk gününde %32 çimlenme oranına sahip Pv14 kodlu genotip çimlenmenin son gününde %97 ile en yüksek çimlenme oranına sahip olmuştur (Şekil 4). Buna karşın çimlenmenin birinci gününde en yüksek çimlenme oranlarına sahip Pv-1 ve Pv-2 kodlu genotiplerde son çimlenme oranları sırasıyla %91 ve %95 olarak gerçekleşmiştir. Diğer taraftan Pv-18 kodlu yerel genotip ilk gündeki çimlenme performansına paralel olarak tüm zamanlarda en düşük çimlenme performansı göstermiştir (Şekil 4).



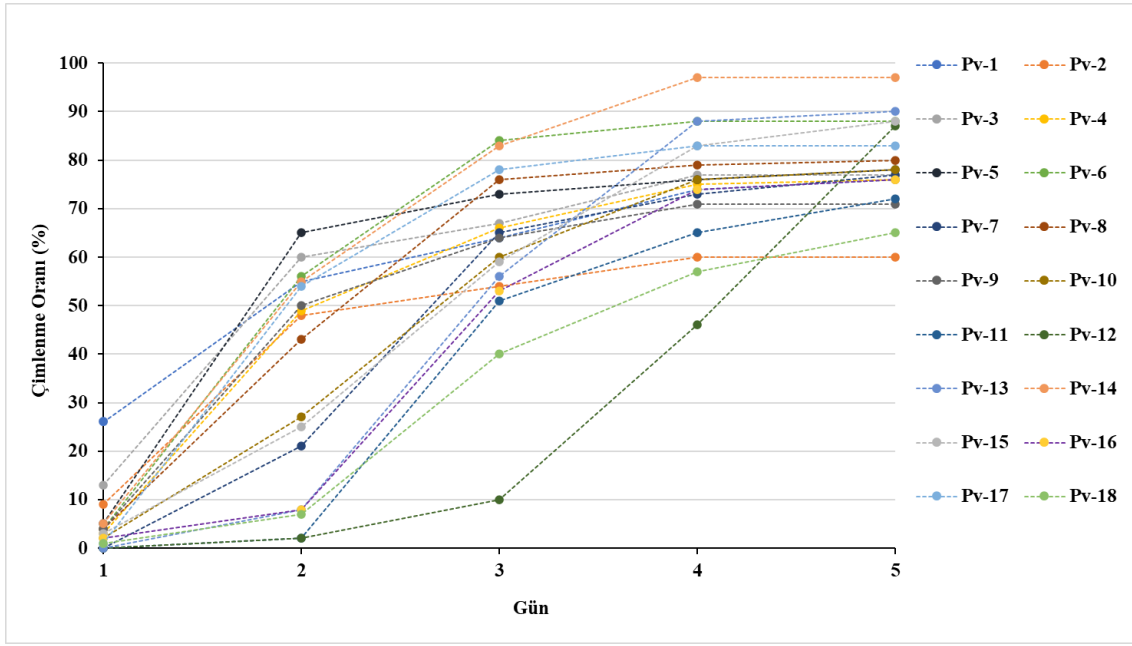
**Şekil 4** Yerel fasulye genotiplerinin kontrol koşullarında günlük çimlenme oranları

**Fig 4** Daily germination percentages of local bean genotypes under control conditions

Tuz stresi yerel genotiplere ait kontrol tohumlarının ilk gün(ler)de ortaya çıkan çimlenme oranlarındaki başlangıç varyasyonunun azalmasına neden olmuştur (Şekil 5). Tuz stresi şartlarında çimlenmenin ilk gününde en yüksek çimlenme oranları %26 ve %13 ile



sırasıyla Pv1 ve Pv3 kodlu genotiplerden elde edilirken Pv7, Pv11, Pv12 ve Pv13 kodlu genotiplerde hiç çimlenme meydana gelmemiştir (Şekil 5). Buna karşın ilk günde %5 oranında çimlenen Pv5 ve Pv14 kodlu genotipler, ikinci günde sırasıyla %65 ve %55 ile yüksek çimlenme oranlarına sahip olmuşlardır (Şekil 5). En yüksek son çimlenme oranı %97 ile Pv14 kodlu genotipten elde edilmiştir (Şekil 5). Buna karşın %90 ile ikinci en yüksek son çimlenme oranına sahip Pv13 kodlu genotip çimlenmenin ilk iki gününde sırasıyla %0 ve %8'lik çimlenme oranlarına sahip olmuştur (Şekil 5).

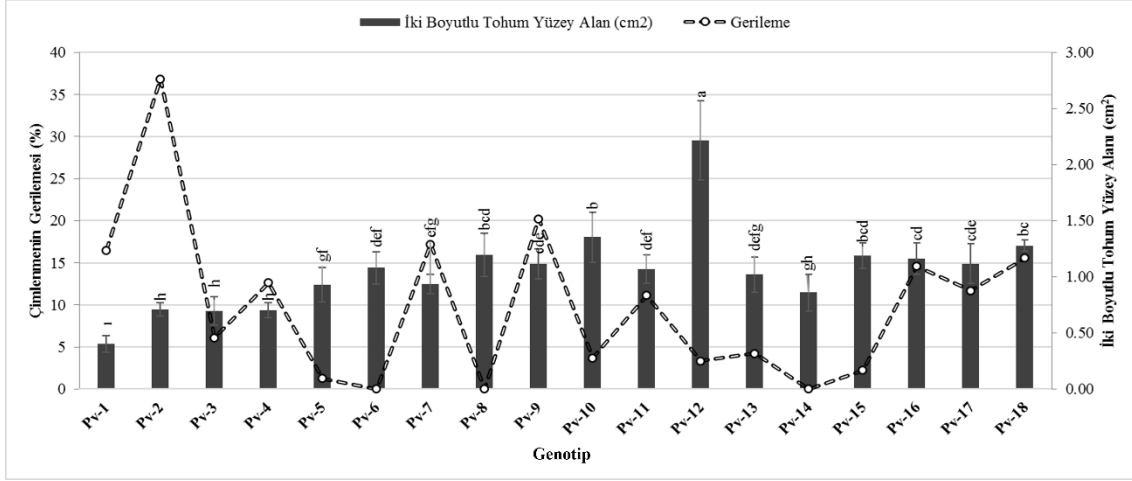


Şekil 5 Yerel fasulye genotiplerinin 200 mM tuz stresi koşullarında günlük çimlenme oranları

Fig 5 Daily germination percentages of local bean genotypes under 200 mM NaCl salt stress conditions

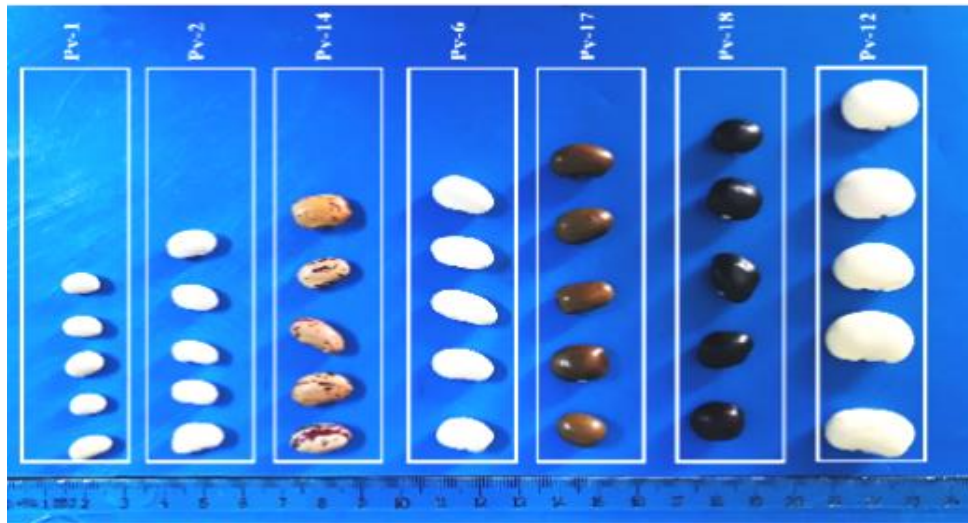
Yerel fasulye genotipleri arasında tohum iriliği bakımından gözlenen varyasyonun bir ölçü değeri olarak ele alınan iki boyutlu yüzey alan ölçümlerine ait veriler Şekil 6'da, tohumlara ait örnek görsel Şekil 7'de, tohumların iki boyutlu yüzey alan büyüklüğü ile kontrol ve tuz stresi şartlarındaki çimlenme parametreleri arasındaki ilişkiye ait korelasyon verileri sırasıyla Tablo 2 ve Tablo 3'te verilmiştir. İki boyutlu tohum yüzey alan ölçümlerine göre en iri tohum, 2.22 cm<sup>2</sup> ile Pv-12 kodlu genotip olurken en küçük tohum ise 0.40 cm<sup>2</sup> ile Pv-1 kodlu genotipin olduğu belirlenmiştir (Şekil 6). Tohum iriliği ile tohumların tuz stresine bağlı olarak çimlenme oranlarında meydana gelen gerileme oranları büyük bir varyasyon göstermiştir (Şekil 6). Pv-2 kodlu genotipte iki boyutlu tohum yüzey alanı 0.71 cm<sup>2</sup> ve tuz stresine bağlı çimlenme oranındaki gerileme %36.84

ile en yüksek olurken, Pv-6, Pv-8 ve Pv-14 kodlu genotiplerde iki boyutlu tohum yüzey alanları sırasıyla 1.08 cm<sup>2</sup>, 1.20 cm<sup>2</sup> ve 0.86 cm<sup>2</sup> olurken tuz stresi bu genotiplerin çimlenme oranlarında herhangi bir gerilemeye neden olmamıştır (Şekil 6).



**Şekil 6** Yerel fasulye genotiplerine ait tohumların iki boyutlu yüzey alan büyüklükleri ve tuz stresi şartlarında çimlenme oranlarında meydana gelen gerilemeler. Bar üzerindeki çizgiler standart sapmayı göstermektedir (n=4). Aynı harfler p ≤ 0.05 seviyesinde anlamlı değildir

**Fig 6** Two-dimensional seed surface area of local bean genotypes and reduction rates on the germination percentages due to salt stress. The bar shows the standard deviation (n=4). The same letters are not significant at p ≤ 0.05



**Şekil 7** Tohum iriliklerine ilişkin iki boyutlu tohum yüzey alan ölçümlerinde kullanılan bazı yerel fasulye genotiplerine ait örnek görsel

**Fig 7** Example image of some local bean genotypes used to determine two-dimensional seed surface area measurements

Kontrol şartlarında çimlendirilen tohumların çimlenme parametreleri ile iki boyutlu tohum yüzey alan büyüklükleri arasında yapılan korelasyon analiz sonuçları çimlenme hız değerleri ( $G_{50}$ ) ile iki boyutlu tohum yüzey alan büyüklükleri arasında çok önemli ( $P < 0.001$ ) pozitif ( $r = 0.65$ ) bir ilişkinin var olduğunu, buna karşın çimlenme homojenite değerleri ( $G_{10-90}$ ) arasında ise çok önemli ( $P < 0.0062$ ) negatif ( $r = - 0.31$ ) bir ilişkinin var olduğunu göstermiştir (Tablo 2).

**Tablo 2** Kontrol şartlarında tohum iriliğine ait yüzey alan büyüklüğü ile çimlenme parametreleri arasındaki korelasyon tablosu

**Table 2** Correlation table between seed surface area and germination parameters under control conditions

	FGP	$G_{50}$	$G_{10-90}$	İki Boyutlu Tohum Yüzey Alanı (cm <sup>2</sup> )
FGP	1,00000	-0,2726**	-0,2634**	0,10652
$G_{50}$		1,00000	0,28299**	0,65651**
$G_{10-90}$			1,00000	-0,31979**
İki Boyutlu Tohum Yüzey Alanı (cm <sup>2</sup> )				1,00000

FGP: Son Çimlenme Yüzdesi,  $G_{50}$ : Çimlenen hızı,  $G_{10-90}$ : Çimlenme Homojenitesi. \*\*:  $P < 0.05$  seviyesinde farklı.

Tuz stresi şartlarında çimlendirilen tohumların çimlenme parametreleri ile iki boyutlu tohum yüzey alan büyüklükleri arasında yapılan korelasyon analiz sonuçları tohumların tuz stresi varlığındaki çimlenme hız değerleri ( $G_{50}$ ) ile iki boyutlu tohum yüzey alan büyüklükleri arasında çok önemli ( $P < 0.0001$ ) pozitif ( $r = 0.70$ ) bir ilişkinin var olduğunu, buna karşın tohum yüzey alan büyüklüğü ile tohumların tuz stresi varlığındaki çimlenme homojenite değerleri ( $G_{10-90}$ ) arasında ise çok önemli ( $P < 0.0024$ ) negatif ( $r = - 0.35$ ) bir ilişkinin var olduğunu göstermiştir (Tablo 3).

## Tartışma

Baklagillerin tuz stresine karşı göstermiş oldukları tepkiler büyük değişkenlik göstermektedir [10]. Fasulyenin diğer kültür bitkileriyle kıyaslandığında tuz stresine karşı daha hassas olduğu bilinmektedir [7, 13]. Tohum çimlenmesi, bitki büyümesinin ve gelişiminin ilk başlangıç noktası olması nedeniyle, bitkilerin özellikle çimlenme ve erken fide evresinde tuz stresinden daha fazla etkilenebileceği bilinmektedir [11, 18]. Ancak fasulye gibi tuz stresine göreceli olarak daha hassas olarak kabul edilen bitki türleri de

dahil olmak üzere mevcut genetik materyalin barındırdığı genetik varyasyonlar dikkate alınarak elde edilen materyalin her bir stres faktörüne karşı ayrıca test edilmesi gerektiği gözden kaçırılmaması gereken önemli bir gerçektir. Zira yapılan birçok çalışma her genetik materyalin amaca uygun olarak taranması ve ilgili stres faktörüne karşın olası genetik varyasyonun test edilmesinin bitki ıslahı uygulamalarında başvurulacak ilk yöntemsel yaklaşımlar olduğunu ortaya koymaktadır [19, 20].

**Tablo 3** Tuz stresi şartları altında tohum iriliğine ait yüzey alan büyüklüğü ile çimlenme parametreleri arasındaki korelasyon tablosu

**Table 3** Correlation table between seed surface area and germination parameters under salt stress conditions

	FGP	G <sub>50</sub>	G <sub>10-90</sub>	İki Boyutlu Tohum Yüzey Alanı (cm <sup>2</sup> )
FGP	1,00000	-0,04948	-0,05904	0,16361
G <sub>50</sub>		1,00000	-0,16441	0,70387**
G <sub>10-90</sub>			1,00000	-0,35275**
İki Boyutlu Tohum Yüzey Alanı (cm <sup>2</sup> )				1,00000

FGP: Son Çimlenme Yüzdesi, G<sub>50</sub>: Çimlenen hızı, G<sub>10-90</sub>: Çimlenme Homojenitesi. \*\*: P <0.05 seviyesinde farklı.

Ülkemizde uzun yıllardan bu yana genelde yetiştirme sezonu sonunda hasat edilen tohumdan ayrılarak gelecek yılın tohumluklarının kullanılması şeklinde yapılan yerel fasulye yetiştiriciliği, kendi içerisinde genetik olarak durulmuş popülasyonları oluşturmuş ve devamında bu popülasyonlar zaman içerisinde yerel hat, köy popülasyonu, köy çeşidi, ata tohum ya da yerel çeşit gibi farklı isimler veya tamamen bölgeye özgün çeşit adlarıyla isimlendirilmişlerdir. Bu çalışma ülkemizin farklı bölgelerinden temin edilen 18 adet yerel fasulye genotipinin çimlenme evresindeki tuz stresine verdikleri tepkileri belirlemek ve bu anlamda olası genetik varyasyonu ortaya koymak amacıyla yürütülmüştür. On sekiz yerel fasulye genotipine ait tohumlar ön denemeler ve ilgili referans [15] dikkate alınarak belirlenen tuz stresi (200 mM NaCl) varlığında çimlenme denemesine alınmış ve sonuçlar tuz stresi olmadan çimlendirilen kontrol (dH<sub>2</sub>O) tohumlarına ait çimlenme verileri ile karşılaştırılmıştır. Çalışma sonuçları kullanılan yerel fasulye genotipleri arasında tuz stresine toleranslık bakımından büyük bir varyasyonun var olduğunu göstermiştir (Şekil 1-3). Sonuçlar aynı zamanda tuz stresinin belirlenen çimlenme parametreleri üzerine olumlu ya da olumsuz etkilerinin yerel genotipe ve

kullanılan çimlenme parametresine bağlı olarak büyük oranda değiştiğini göstermiştir. Örneğin, tuz stresi Pv-2 genotipine ait tohumların son çimlenme oranlarında %36.8 gerilemeye neden olurken, Pv-6, Pv-8 ve Pv-14 genotiplerinde herhangi bir olumsuz etki göstermemiştir (Şekil 1). Diğer taraftan, tuz stresi Pv-12 genotipine ait tohumların çimlenme hızlarında önemli gerilemelere neden olmuş ancak aynı genotipin son çimlenme oranında göreceli büyük düşüşe neden olmamıştır (Şekil 1-2). Buna karşın tuz stresi Pv-12 genotipinin dahil olduğu bazı fasulye genotiplerinde (Pv-11, Pv-13 ve Pv-18) çimlenme homojenitelerinde ise iyileşmelere neden olmuştur (Şekil 5). Yapılan bir çalışmada en yüksek tuz konsantrasyonu olarak uygulanan 200 mM NaCl varlığında çimlendirilen fasulye genotiplerinde tohumların çimlenme oranlarında çok önemli gerilemeler meydana gelmiş [15] ve bu gerilemelerin %83'lere varabileceği rapor edilmiştir [21]. Farklı çalışmalarda aynı tuz konsantrasyonlarında ortaya çıkan farklılıklar bu çalışmanın yapılma amacını teyit eder şekilde tuza toleranslık seviyelerinin kullanılan genotipe bağlı olarak büyük oranda değişebileceğini, çalışma amacına yönelik olarak kullanılacak çeşit ya da genotiplerin her bir çalışmada ayrıca test edilmesi gerektiğini ortaya koymuştur. Çalışma sonuçları aynı zamanda tuz stresinin tohumların çimlenme hız ve homojenite parametrelerinde önemli farklılıklar meydana getirebileceğini ve yapılacak taramalarda tohumların çimlenme oranları yanında bu parametrelerin de değerlendirmelere alınması gerektiğine işaret etmektedir. Zira, çimlenme oranlarında tuz stresine bağlı olarak ortaya çıkan gerileme oranları bakımından benzer olan çeşit adaylarının tespitinde çimlenme hızı ve homojenite verileri belirleyici bir faktör olarak ele alınabilecektir. Her ne kadar bu çalışmada Pv-6, Pv-8 ve Pv-14 genotipleri tuz stresinden etkilenmeden yüksek çimlenme oranları (sırasıyla %88, %80 ve %97) vermiş ve çimlenme hızı sırasıyla ( $G_{50} = 1.79$  gün,  $G_{50} = 1.97$  gün ve  $G_{50} = 1.95$  gün) ve homojenite değerleri ( $G_{10-90} = 1.73$  gün,  $G_{10-90} = 1.84$  gün ve  $G_{10-90} = 1.98$  gün) göreceli olarak iyi bir performans sergilemiş olsalar da bu durum diğer bazı genotipler için geçerli olmamıştır (Şekil 1-3). Nitekim tuz stresinde son çimlenme oranı %88 olan Pv-15 kodlu yerel genotipte çimlenme hızı ( $G_{50} = 2.34$  gün) ve homojenite değerleri ( $G_{10-90} = 2.50$  gün) kontrole göre önemli oranda gerilemiştir (Şekil 1-3). Diğer taraftan çalışmada kullanılan Pv-6, Pv-8 ve Pv14 kodlu genotiplerde uygulanan tuz konsantrasyonundan hiç etkilenmemiş, buna karşın tuz stresine bağlı olarak çimlenme oranında meydana gelen en yüksek gerileme oranı (%36.84) göreceli düşük kalmıştır [21]. Bu sonuçlar fasulyede

benzer amaçlı yapılacak çalışmalarda daha yüksek tuz konsantrasyonlarının denenmesi gerektiğini, ıslah ön materyallerinin oluşturulması amacıyla yapılacak taramalarda hassas ve tolerant genotiplerin belirlenmesinde bu durumun gerçek tolerant genotiplerin açığa çıkarılması için çok önemli olabileceğini göstermiştir. Ayrıca kontrollü şartlardaki tohum çimlenme dinamiğine ait analiz sonuçları çimlenmenin erken dönemlerinde var olan genetik varyasyonun çimlenme süresinin uzamasına bağlı olarak zaman içerisinde azaldığını ancak stres şartlarında bu genetik varyasyonun artan bir şekilde çimlenmenin sonraki zaman dilimlerinde ortaya çıktığını göstermiştir (Şekil 4-5). Nitekim kontrol tohumlarında çimlenmenin birinci gününde çimlenme oranları bakımında var olan genetik varyasyon zaman içinde azalmış ve neticede çimlenmenin 4. ve 5. günlerinde sabitlenmiştir (Şekil 5). Bunun nedeni kontrol tohumlarının su alım evresinde (Faz I) tohum kabuk kalınlığı, kabuk yüzey alan genişliği, kabuk sertliği yanında tohum kabuk yüzeyinde yer alan ve genotipe bağlı olarak doğrudan tohumun su ve oksijen alım hızını kontrol eden mikrofil ve strofil açıklık farklılıklarından kaynaklı olabileceği değerlendirilmiştir [22]. Buna karşın tuz stresi şartlarında çimlenmenin erken evrelerinde genotipler arasında daralmış bir genetik varyasyonun ortaya çıkmış olması, aynı zamanda ozmotik bir dengeleyici olan NaCl'ün çimlenmenin faz I evresinde tohum su alım hızının genotipten kısmen bağımsız olarak daha kontrollü bir şekilde gerçekleşmesine ve faz I evresini tüm genotiplerde uzatmasından kaynaklı olabileceğine işaret etmektedir [22-23]. Nitekim tuz stresi şartlarında gerçek genotip performanslarının çimlenmenin ikinci ya da üçüncü günlerinde ortaya çıkması buna işaret etmektedir (Şekil 5). Bu sonuçlar özellikle stres şartlarında tohum çimlenmesi için kullanılacak sürenin genotiplerin ilgili stres faktörüne karşı olan olası tepkilerinin ortaya konması ve çeşit ya da genotip ayrımlarının doğru bir şekilde yapılabilmesi açısından çok önemli olabileceğine işaret etmektedir.

Genellikle büyük tohumların küçük tohumlara göre daha uzun sürede çimlendikleri, ancak daha yüksek çimlenme oranına sahip oldukları rapor edilmiştir [24-27]. Çalışma sonuçları tohumların iki boyutlu yüzey alan ölçümleri ile belirlenen tohum irilikleri ile kontrol ya da tuz stresi şartlarında çimlenen tohumlara ait son çimlenme oranları (FGP) arasında doğrusal bir ilişkinin var olmadığını göstermiştir (Şekil 1, Tablo 2-3). Sonuçlar aynı zamanda tohum iriliği ile tuz stresine bağlı olarak çimlenme oranlarında meydana gelen gerileme oranları arasında da doğrusal bir ilişkinin var olmadığını göstermiştir

(Şekil 6, Tablo 3). Diğer taraftan tohum iriliklerinin gerek kontrol ve gerekse tuz stresi şartlarındaki çimlenen tohumlara ait çimlenme hızı ( $G_{50}$ ) ve homojenite değerleri ( $G_{10-90}$ ) arasında sırasıyla pozitif ve negatif bir ilişkinin var olduğu tespit edilmiştir (Tablo 2-3, Şekil 2-3). Bu durum tohumların tuz stresi şartlarında çimlenme dinamik eğrilerinde de net olarak görülebilmektedir. Örneğin, en küçük tohum yüzey alanına sahip ( $0.40 \text{ cm}^2$ ) Pv-1 kodlu genotipe ait tohumlarda, çimlenen tohumların %50'sinin çimlenmesi için geçen süre  $G_{50}=1.41$  gün olurken yüzey alanı en fazla olan ( $2.22 \text{ cm}^2$ ) Pv-12 kodlu yerel genotipte bu değer  $G_{50}=3.94$  gün olarak gerçekleşmiştir (Şekil 5-6). Bu durum tohum kabuk oranı açısından daha fazla ve aynı zamanda ince kabuk yüzey alanına sahip olan küçük tohumların hızlı çimlenme performansı gösterdikleri literatür bildirimleri ile uyumlu bulunmuştur [25, 28].

Diğer taraftan yüzey alanı ile tohum çimlenme homojenite değerleri arasında istatistiksel açıdan ortaya çıkan önemli negatif ilişki ise genotiplerin tuz stresi şartlarındaki çimlenme performanslarının belirlenmesinde çimlenme homojenite değerlerinin ( $G_{10-90}$ ) çimlenme hızı değerlerine ( $G_{50}$ ) göre daha önemli ve belirleyici olabileceğine işaret etmektedir (Tablo 2, Şekil 2, 6). Nitekim tuz stresi şartlarında çimlenme dinamik eğrilerinde küçük tohumlu Pv-1 kodlu yerel genotipe ait homojenite değeri  $G_{10-90}=3.03$  gün iken iri taneli Pv-12 kodlu genotipte bu değer  $G_{10-90}=1.66$  gün olarak tespit edilmiştir (Tablo 2, Şekil 3, 6). Bu sonuçlar gerek kontrol şartlarında ve gerekse de tuz stresi şartlarında tohum iriliğine bağlı olarak çimlenme hızında meydana gelen gerilemeye karşın homojen çimlenme için geçen sürenin kısaldığını, iri fasulye tohumlarının daha homojen bir çimlenme performansı göstereceklerine işaret etmektedir (Şekil 3, Tablo 2-3). Sonuçlar aynı zamanda büyük fasulye tohumlarının kotiledonlar aracılığı ile daha fazla yedek besin maddesi bulundurmalarının stres şartlarından bağımsız olarak çimlenme hızından daha ziyade tohumların çimlenme gücü performansı açısından önemli olabileceğini göstermektedir [29]. Bu sonuçlar, iri fasulye tohumlarının sahip oldukları depo besin maddelerinin çimlenme sırasındaki kullanım ve taşınımının çimlenme oranlarının belirlenmesinde doğrudan etkili olmadığını ve çimlenme sırasındaki tuz stresi gibi olası stres şartlarının giderilmesinde de kullanılmadıklarına işaret etmektedir. Sonuçlar aynı zamanda genotiplerin tuz stresi şartlarına olan tepkilerinin genetik arka plana bağlı olarak ortaya çıkan hücre iyon denge şartlarında özel mekanizmalar tarafından kontrol edilebileceğini işaret etmektedir.

## Sonuç

Bu araştırma 18 yerel fasulye genotipinin çimlenme evresindeki tuz stresine karşı toleranslık seviyelerinin belirlenmesi ve ilgili stres faktörüne karşı genetik varyasyonun ortaya konması amacıyla yürütülmüştür. Çalışma sonuçları 200 mM'ın üzerinde bir tuz stresinin benzer çalışmalarda kullanılabileceğini, kullanılan genotipler arasında tuz stresine toleranslık bakımından büyük bir genetik varyasyonun var olduğunu, Pv-14 kodlu yerel genotipin tuza toleranslık ıslahı çalışmalarında kullanılabileceğini göstermiştir. Çalışma sonuçları aynı zamanda benzer çalışmalarda genotiplerin ilgili stres faktörlerine karşı gerçek performanslarının belirlenmesinde çimlenme parametreleri yanında tohum irilikleri gibi fiziksel özelliklerin de ayrıca değerlendirmeye alınması gerektiğini ortaya koymuştur.

### Abbreviations/Kısaltmalar

FGP: Son çimlenme oranı/ Final germination percentage, NaCl: Sodyum Klorür/ Sodium chloride, G<sub>50</sub>: Çimlenme hızı/ Germination rate, G<sub>10</sub>-G<sub>90</sub>: Çimlenme homojenitesi/ Span of germination, mM : Milimolar/ Millimolar, LSD: En küçük önemli fark/ Least significant difference

### Acknowledgments / Teşekkürler

Thank you to everyone who helped us on the collection of seeds.  
Tohumların temini sırasında yardımlarını esirgemeyen herkese teşekkür ederiz.

### Funding / Fon desteği

The author did not receive any support from any organization for the submitted work.  
Yazarlar bu çalışma için herhangi bir kuruluştan destek almamıştır.

### Data Availability statement / Veri Kullanılabilirliği bildirim

The author confirms that the data supporting this study are cited in the article.  
Yazarlar, bu çalışmayı destekleyen verilere makalede atıfta bulunulduğunu onaylamaktadır.

### Compliance with ethical standards / Etik standartlara uyum

#### Conflict of interest / Çıkar çatışması

The authors declare no conflict of interest.  
Yazarlar herhangi bir çıkar çatışması beyan etmemektedir.

#### Ethical standards / Etik standartlar

The study was conducted based on the ethical standards.  
Çalışma etik standartlara uygundur.

#### Authors' contributions / Yazar katkıları

I.T conceived the idea, performed data analysis, enriched the concept and graphics, evaluated and approved the final manuscript, E.G.Y collected data, performed the numerical calculations and data analysis, drafted the manuscript, K.D. collected the seeds from suppliers and carried out experiments.

I.T fikri tasarladı, veri analizi gerçekleştirdi, konsepti ve grafikleri zenginleştirdi, son taslağı değerlendirdi ve onayladı, E.G.Y verileri topladı, sayısal hesaplamaları ve veri analizini gerçekleştirdi, taslağı hazırladı, K.D. tedarikçilerden tohumları topladı ve deneyler yaptı.



## Kaynaklar

1. Gama, P.B.S., et al., Physiological response of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) seedlings to salinity stress. African Journal of Biotechnology, 2010. 6(2):p. 79–88.
2. Taïbi, K., et al., Effect of salt stress on growth, chlorophyll content, lipid peroxidation and antioxidant defence systems in *Phaseolus vulgaris* L. South African Journal of Botany, 2016 105: p. 306-312.
3. Garcia, C. L., et al., Effect of salinity stress and microbial inoculations on glomalin production and plant growth parameters of snap bean (*Phaseolus vulgaris*). Agronomy, 2019. 9(9): p. 545
4. Tiryaki, I., Bazı tarla bitkilerinin tuz stresine gösterdikleri adaptasyon mekanizmaları. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Tarım ve Doğa Dergisi, 2018. 21(5): p. 800-808.
5. Tiryaki, I. and N. Isidogru, Determination of salt tolerance levels and genetic relationships of *Vicia sativa* cultivars using gene targeted functional markers. Acta Botanica Croatica, 2022. 81(1): p. 80-88.
6. Porcel, R., R. Aroca and J. M. Ruiz-Lozano, Salinity stress alleviation using arbuscular mycorrhizal fungi. A review. Agronomy for Sustainable Development, 2012. 32(1): p. 181-200.
7. Farooq, M., et al., Effects, tolerance mechanisms and management of salt stress in grain legumes. Plant Physiology and Biochemistry, 2017. 188: p. 199-217.
8. Khayamim, S., et al., Seed germination, plant establishment, and yield of sugar beet genotypes under salinity stress. Journal of Agricultural Science and Technology, 2014. 16(4): p. 779-790.
9. Bu, Y., et al., Adverse effect of urease on salt stress during seed germination in *Arabidopsis thaliana*. Febs Letters, 2015. 589(12): p. 1308-1313.
10. Hussain, N., et al., Salinity and drought management in legume crops, in Climate change and management of cool season grain legume crops, S. Yadav and R. Redden, Editors. 2010, Springer Netherlands. Dordrecht: Dordrecht. p. 171-191.
11. Yilmaz, E. G., I. Tiryaki and U. Sari, Genetic variation among einkorn genotypes based on gene targeted functional markers and its possible relationship with drought tolerance at seed germination stage. Molecular Biology Reports, 2022. 49(8): p. 7389–7398.
12. A. M. De Ron et al., Common bean, in grain legumes handbook of plant breeding, A. De Ron, Editor. 2015, Springer. New York: New York. p. 1–36.
13. Fidan, E. and A. Ekincialp, Investigation of responses of some bean (*Phaseolus vulgaris* L.) genotypes to different levels of salt stress. Yuzuncu Yıl University Journal of Agricultural Sciences, 2017. 27(4): p. 558–568.
14. Hiz, M. C., et al., Transcriptome analysis of salt tolerant common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) under saline conditions. Plos one, 2014. 9(3): p. e92598.
15. Özkorkmaz, F. and N. Yilmaz, Farklı tuz konsantrasyonlarının fasulye (*Phaseolus vulgaris* L.) ve börülçede (*Vigna unguiculata* L.) çimlenme üzerine etkilerinin belirlenmesi. Ordu University Journal of Science Tecnology, 2017. 7(2): p. 196–200.
16. Tiryaki, I. and S. A. Kaplan, Enhanced germination performance of dormant seeds of *Eragrostis tef* in the presence of light. Tropical Grasslands-Forrajes Tropicales, 2019. 7(3): p. 244–251.
17. SAS, SAS/STAT Software. 2019. SAS Institute Inc., Northern California.
18. Tiryaki, I., et al., Priming combined with plant growth regulators promotes germination and emergence of dormant *Amaranthus cruentus* L. seeds,” Seed science and technology, 2005. 33(3): p. 571–579.
19. Govindaraj, M., M. Vetriventhan, and M. Srinivasan, Importance of genetic diversity assessment in crop plants and its recent advances: An overview of its analytical perspectives. Genetics Research International, 2015. 2015(14): p. 1–14.
20. Ismael A., et al., Genetic variation in drought-tolerance traits and their relationships to growth in *Pinus radiata* D. don under water stress. Frontiers in plant science, 2022. 12: p. 3043.
21. Al-huraby A. I. and S. O. Bafeel, The effect of salinity stress on the *Phaseolus vulgaris* L. plant African Journal of Biological Sciences, 2022. 4(1): p. 94–107.

22. Bewley J. D., et al., *Seeds: Physiology of development, germination and dormancy*. 2013, Heidelberg, Germany: Springer Science Berlin.
23. Rajjou, L., et al., Seed germination and vigor. *Annual review of plant biology*, 2012. 63: p. 507–533.
24. Baskin C. C. and J. M. Baskin, *Seeds: ecology, biogeography, and evolution of dormancy and germination*. 1998, San Diego: Academic Press.
25. Souza, M. L. and M. Fagundes, Seed size as key factor in germination and seedling development of *Copaifera langsdorffii* (Fabaceae). *American Journal of Plant Sciences*, 2014. 2014(17): p. 2566–2573.
26. Harper, L. J., *Population biology of plants*. 1977, London: Academic Press.
27. Geritz, S. A., Evolutionarily stable seed polymorphism and small-scale spatial variation in seedling density. *The American Naturalist*, 1995. 146(4): p. 685–707.
28. Saeed, S. and S. S. Shaukat, Effect of seed size on germination, emergence, growth and seedling survival of *Senna occidentalis* Link. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 2000. 3(2): p. 292–295.
29. He, Y., et al., Seed size effect on seedling growth under different light conditions in the clonal herb *Ligularia virgaurea* in Qinghai-Tibet Plateau. *Acta Ecologia Sinica*, 2007. 27(8): p.3091–3108.