

## Silisyumun Fasulyede (*Phaseolus vulgaris* L.) Tuz (NaCl) Stresini Azaltmadaki Etkisi

Erol ORAL<sup>1</sup>, Rüveyde TUNÇTÜRK<sup>2</sup>, Murat TUNÇTÜRK<sup>3</sup>, Haluk KULAZ<sup>4</sup>

<sup>1,2,3,4</sup> Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Van

<sup>1</sup><https://orcid.org/0000-0001-9413-1092>, <sup>2</sup><https://orcid.org/0000-0002-3759-8332>, <sup>3</sup><https://orcid.org/0000-0002-7995-0599>,

<sup>4</sup><https://orcid.org/0000-0003-3044-5046>

✉: Sorumlu Yazar e-posta: eroloral65@gmail.com

### ÖZET

Bu çalışma, farklı tuz (NaCl) dozu uygulamaları (kontrol, 50, 100 ve 150 mM) altında yetiştirilen fasulyede (*Phaseolus vulgaris* L.) silisyum uygulamalarının (kontrol, 50, 100 ve 200 ppm) bitkide bazı fizyolojik ve biyokimyasal parametreler üzerindeki etkilerini belirlemek amacıyla yapılmıştır. Fasulye bitkisinin kök ve gövde uzunluğu, kök ve gövde yaş ağırlığı, kök ve gövde kuru ağırlığı, yaprak alan indeksi, SPAD indeksi yaprak dokularında iyon sızıntısı, yaprak dokularında membran dayanıklılık indeksi ve malondialdehit (MDA) düzeyi gibi parametreler incelenmiştir. Çalışma sonucunda; tuz stresinin incelenen tüm parametreler üzerine olan etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. Tuz stresi koşullarının yaprak dokularında iyon sızıntısı ve MDA dışındaki tüm parametrelerde azalışlara neden olduğu tespit edilmiştir. Silisyum uygulamalarının ise yaprak dokularında bağıl su içeriği, yaprak dokularında iyon sızıntısı ve yaprak dokularında membran dayanıklılık indeksi hariç diğer tüm parametreler üzerindeki etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmuştur (p<0.05 ve p<0.01).

### Araştırma Makalesi

#### Makale Tarihçesi

Geliş Tarihi : 11.03.2020

Kabul Tarihi : 21.05.2020

#### Anahtar Kelimeler

Fasulye

*Phaseolus vulgaris* L.

Silisyum

Tuz

## Effect of Silicium on Reducing Salt (NaCl) Stress in Beans (*Phaseolus vulgaris* L.)

### ABSTRACT

In this study, the effects of silicon applications (control, 50, 100 and 200 ppm) on some physiological and biochemical parameters in the plant (*Phaseolus vulgaris* L.) grown under different salt (NaCl) dose applications (control, 50, 100 and 150 mM) were determined. Parameters such as root and stem length, root and stem age weight, root and stem dry weight, leaf area index, SPAD index, ion leakage in leaf tissues, membrane resistance index in leaf tissues and malondialdehyde (MDA) level were investigated. The results indicated that the effect of salt stress on all parameters examined was found statistically significant. It was determined that salt stress conditions caused ion leakage in leaf tissues and decreased in all parameters except MDA. The effect of silicon applications on all other parameters except for relative water content in leaf tissues, ion leakage in leaf tissues and membrane resistance index in leaf tissues was found statistically significant (p <0.05 and p <0.01).

### Research Article

#### Article History

Received : 11.03.2020

Accepted : 21.05.2020

#### Keywords

Beans

*Phaseolus vulgaris* L.

Silicon

Salt

**To Cite :** Oral E, Tunçtürk R, Tunçtürk M, Kulaz H 2020. Silisyumun Fasulyede (*Phaseolus vulgaris* L.) Tuz (NaCl) Stresini Azaltmada Etkisi. KSÜ Tarım ve Doğa Derg 23 (6): 1616-1625. DOI: 10.18016/ksutarimdog.vi.702302.

## GİRİŞ

Dünyada ve Ülkemizde tarımsal üretimi etkileyen en önemli stres faktörlerinden biriside toprak tuzluluğudur (Saqip ve ark. 2011). Bu etki günümüzde sürekli artarak birçok üründe verim ve kalitenin azalmasına neden olmuştur. Bu konuda yürütülen çalışmalarda toprakta tuzluluk seviyesinin 2 dSm<sup>-1</sup> düzeyine ulaştığında verimde azalma, 4.5 dSm<sup>-1</sup> ulaştığında ise verimde %50' ye varan kayıplara

neden olduğu belirtilmiştir (Maas 1990). Özellikle kurak ve yarı kurak iklim bölgelerinde sulanan veya sulamaya yeni açılan arazilerde büyük bir sorun haline almıştır (Kızılgöçer ve ark. 2017). Bu durumu tetikleyen en temel sebep bilinçsiz sulama ve evaporasyondur. Özellikle topraktan suyun buharlaşması sonucu toprak ve bitki kök bölgesinde tuz birikmesi görülür (Mahajan ve Tuteja 2005). Günümüzde modern tarım uygulamaları ile birlikte üretimde kullanılan girdilere (gübreler,

hormonlar ve ilaçlar) ilaveten vahşi sulama yöntemleri tuzluluğu tetikleyen başlıca nedenlerdir (Bat ve ark., 2019). Dünya üzerinde sulanan toprakların %6'sında tuzluluk problem görülmektedir (Kanber ve ark., 2005). Ülkemizde bu oran ise toplam sulanabilen arazilerin %32.5'ine karşılık gelmektedir. Toprakta tuzluluk ve alkalileşmenin en temel sebebi sulama, drenaj ve toprak özellikleri olarak sıralanmaktadır. Toprakta tuz  $\text{CaCl}_2$ ,  $\text{NaCl}$ ,  $\text{Mg}(\text{SO}_4)_2$ ,  $\text{NaHCO}_3$ ,  $\text{NaSO}_4$  ve  $\text{Ca}(\text{SO}_4)_2$  gibi değişik formlarda bulunmasına rağmen en büyük problem  $\text{NaCl}$  formundaki tuzdur (Marschner 1995). Bu formdaki tuz bitkilerde morfolojik ve anatomik gerileme ve bozukluklara neden olmaktadır (Lewitt 1980). Toprakta tuz oranı arttıkça su oranında azalma kendini bitki hücrelerinde hidroliz ve bozulma olarak göstermektedir. Bitki bu durumdan kendini koruyabilmek için stomalarını kapatarak fotosentez aktivitesini azaltacaktır. Bu durum da bitkide verim ve kalite kayıplarının artmasına neden olmaktadır. Stres şartlarının devam etmesi durumunda ise iyon dengesinin bozulmasına bağlı olarak hücre ve bitki ölümleri görülmektedir (Ashraf ve ark. 2004). Tuzlu topraklar üzerinde yürütülen çalışmalarda yüksek oranda  $\text{Na}:\text{Ca}$ ,  $\text{Na}:\text{K}$ ,  $\text{Ca}:\text{Mg}$  ve  $\text{Cl}:\text{NO}_3^-$  içerdikleri tespit edilmiştir. Bu iyonlar bitkide ve toprakta birçok fizyolojik ve morfolojik reaksiyonda görev aldıkları belirtilmiştir (Ali ve ark. 2012). Benzer çalışmalarda toprağa ve bitkiye uygulanan silisyumun  $\text{Na}$ -silikat bileşiği oluşturarak tuz stresine karşı bitkiyi koruduğu görülmüştür. Bitkinin fizyolojik ve morfolojik fonksiyonlarının düzelmesi verim ve kalite parametrelerine olumlu bir şekilde yansdığı tespit edilmiştir (Liang ve Ding 2002). Bitki tarafından alınan silisyumun hücre zarının esnekliğini artırarak kök ve sürgün büyümesini teşvik ettiği görülmüştür. Ayrıca bitkinin iletim demetlerinde özellikle polimerize olarak kanalların daralmasına ve transpirasyonu inhibe ederek daha az  $\text{Na}$  taşınmasına neden olmaktadır. Böylece daha güçlü gelişecek bitki dokuları tuz stresinden daha az etkilenecektir (Zhu ve ark. 2011). Yürütülen benzer çalışmalarda temel amaç tuz stresinden kaynaklı zararın bitkiler üzerindeki etkilerinin tam olarak tespit edilmesidir (Gupta ve Srivastava 1998). Ekonomik değeri oldukça yüksek olan fasulye önemli bir bitkisel protein kaynağıdır. İnsan beslenmesinde binlerce yıldır yemeklik dane baklagiller çok önemli bir yere sahiptir. İnsan sağlığı için gerekli hayvansal kaynaklı proteinlerin sağlanamadığı durumlarda söz konusu eksiklik yemeklik tane baklagillerden sağlanabilmektedir (Adak 2014). Baklagiller özellikle demir, fosfor, kalsiyum ve potasyum gibi vitaminlerce zengin olmasına ilave olarak diyetsel lif oranları çok yüksektir (Pekşen ve Artık 2005). Beslenme programlarında baklagiller tahıllar ile çok iyi bir grup oluşturur. Özellikle yüksek lysin içeriği ile birlikte kolesterol oranları çok düşük seviyededir. İnsan

beslenmesinde yemeklik dane baklagiller proteinlerin %22, karbonhidratların ise % 7'sini karşılamaktadır. Baklagillerde %18-31.6 oranında bulunan protein beslenme problemlerinin yansıra vücudun ihtiyacının giderilmesinde önemli ve ucuz bir kaynaktır (Altunkaynak 2018). Dünyada ekimi ve üretimi bakımından bu familyada ilk sırayı fasulye almaktadır. Fasulyenin kuru ve taze olarak tüketimi oldukça yaygındır. Dünya üzerinde yaklaşık 29.8 milyon hektar bir alanda tarımı yapılmaktadır. Toplam üretim miktarı 23.8 milyon ton olup, hektara verimi 810  $\text{kg}'\text{dır}$  (FAO 2018). Ülkemizde ise fasulye ekim alanı 897 bin ha, üretim 228 bin ton dekara verim ise 259  $\text{kg}/\text{da}'\text{dır}$  (TÜİK 2018). Son yıllarda fasulye tarımında toprak tuzluluğuna dayalı verim ve kalite kayıpları oldukça artmıştır. Bu nedenle ekonomik değeri yüksek bir ürün olan fasulyede bu kayıpları önleyecek çeşitli araştırmalara ihtiyaç duyulmaktadır. Benzer çalışmalar ile tuz stresini azaltacak çeşitli uygulamaların tespiti zaruret halini almıştır. Bu çalışmada fasulyede tuz stresinin azaltılmasında silisyumun koruyucu ve aynı zamanda önleyici etkisinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

## MATERYAL ve YÖNTEM

Bu çalışma 2019 yılında Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarla Bitkileri Bölümüne ait iklim odasında Tesadüf Parselleri Deneme Deseni' ne göre Faktöriyel düzende 4 tekerrürlü olarak saksılarda yürütülmüştür. Araştırmada fasulye (*Phaseolus vulgaris* L.) türüne ait Topçu çeşidi kullanılmıştır. Araştırmada dört farklı Silisyum (0, 50, 100 ve 200 ppm) ve dört farklı tuz seviyesi (0, 50, 100 ve 150 mM  $\text{NaCl}$ ) kullanılmıştır. Saksı denemelerinde, 20 cm çap ve 20 cm yüksekliği olan toplam 64 adet plastik saksı kullanılmıştır. Saksılara 300 gram perlit 2 kg elenmiş toprak ile karıştırılarak doldurulmuştur. Fakültemiz Toprak Bölüm laboratuvarında saksılarda kullanılan toprak analiz edilmiş olup, kinli-tınlı bünyeli, hafif alkali reaksiyonuna sahip, organik madde kireç ve tuz içeriği yönünden düşük seviyede olduğu görülmüştür. Perlit toprak ile karıştırılmadan önce çeşme suyu daha sonrasında saf su ile yıkandıktan sonra eklenmiştir (Kına 2008). Her saksıda 3 adet fasulye tohumu olacak şekilde (02.07.2019) ekim yapılmıştır. Ekim yapıldıktan hemen sonra saf olarak 50 cc can suyu verilmiştir. Saksılarda çıkış ve sonrasında iki gün ara ile sürekli 50 cc su verilmiştir (Koç 2005). Bu çalışmada silisyum dozları toplamda 4 kez uygulanmış olup, silisyumla birlikte  $75 \text{ mg kg}^{-1}$  Namonyum sülfat (% 21) ve  $60 \text{ mg kg}^{-1}$   $\text{P}_2\text{O}_5$  riple süper fosfat (% 42) gübrelerinden hazırlanan besin çözeltisi tek uygulama ile verilmiştir. Saksıdaki fasulye fidelerinden en iyisi kalacak şekilde tekleme yapılmıştır. Fasulye fidesi 3-4 yapraklı olduğu dönemde 2 gün ara ile sodyum silikat ( $\text{Na}_2(\text{SiO}_2)_n\text{O}$ ) gübre dozları (0, 50, 100 ve 200 ppm) uygulanmıştır. Araştırmada kontrol olarak kabul

edilen saksılar hariç başlangıç tuz dozları (0, 50, 100 ve 150 mM NaCl) uygulanmaya başlanmıştır. Bitkide tuz dozu uygulamaları bittikten sonra fizyolojik sorunlar ortaya çıkana kadar devam edilmiştir (Seymen ve Önder 2005). Bitkilerde önce yapraklarda daha sonra diğer kısımlarda görülen sararma ve benzeri problemler ile birlikte fideler hasat edilmiştir (28.07.2019). Saksıdaki bitki üzerinde kök ve gövde uzunluğu, kök ve gövde yaş ağırlığı, kök ve gövde kuru ağırlığı, yaprak alan indeksi, SPAD indeksi, yaprak dokularında membran dayanıklılık indeksi, yaprak dokularında iyon sızıntısı, yaprak lipid peroksidasyon düzeyi gibi ölçümler yapılmıştır. Yaprak alan indeksi Easy Leaf Area programı kullanılarak, SPAD indeksi Minolta SPAD-502 cihazı ile bağlı (oransal) su içeriği Arora ve ark. (2002)' in yöntemine göre, yaprak dokularında iyon sızıntısı ve membran dayanıklılık indeksi Premchandra ve ark. (1990); Sairam, (1994) yöntemlerine göre belirlenmiştir. Ayrıca çalışmada lipid peroksidasyon düzeyini belirleyen malondialdehid (MDA); bitkiden alınan 0.5 g yaprak örneği 10 ml % 0.1'lik trikloro asetik asit (TCA) ile homojenize edildikten sonra homojenat 15000 g'de 5 dakika santrifüj edilmiştir. Santrifüj edilen örneğin süpernatant kısmından 1 ml alınıp, üzerine 4 ml % 20'lik TCA içerisinde çözülmüş % 0.5' lik tiobarbiturik asit (TBA) eklenmiştir. Karışım 95°C su banyosunda 30 dakika bekletildikten sonra hızla buz banyosunda soğutulup 10000 g'de 10 dakika santrifüj yapıldıktan sonra süpernatant kısmınının 532 ve 600 nm dalga boyunda absorbansı belirlenip aşağıdaki eşitlik ile malondialdehit (MDA) içeriği hesaplanmıştır (Heath ve Packer, 1968; Sairam ve Saxena, 2000).

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

## **BULGULAR ve TARTIŞMA**

### **Kök uzunluğu (cm)**

Araştırma sonucunda elde edilen verilere göre fasulye fidelerinde tuz dozları, silisyum ve tuz x Si uygulamasının kök uzunluğu üzerine etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. Çalışmada ortalama en uzun kök uzunluğu 20.8 cm ile 100 mM NaCl uygulamasından, en düşük kök uzunluk değeri ise 19.8 cm ile 150 mM tuz dozu uygulamasından tespit edilmiştir (Çizelge 1). Genç fidelerin bünyelerine aldıkları tuz önemli bir stres kaynağıdır. Stres kaynağı olarak tuz bitkiler tarafından alındıktan sonra osmotik basınç ve iyon stresini artmasına neden olmaktadır (Parida ve Das 2005). Farklı bitkilerle yürütülen bir çalışmada tuz stresi hücre bölünmesi ve büyümesini olumsuz yönde etkileyerek kök uzunluğunun azalmasına yol açtığı belirtilmiştir (Bressan 2008). "Si" ön uygulamasına tabi tutulan fasulye bitkisinde ortalama en uzun kök değeri 22.3 cm

ile 200 ppm silisyum dozunda ölçülmüştür. En düşük kök uzunluğu ise 19.3 cm ile kontrol uygulamalarından alınmıştır (Çizelge 1). Avcu ve ark (2013), tarafından yürütülen bir çalışmada bitkilerde selenyum ve silisyumun tuz stresinin azaltıcı etkileri elde ettiğimiz bulgular ile benzerlik göstermektedir. Çalışmada kök uzunluğu bakımından Sİ x Tuz interaksyonu istatistiksel olarak % 5 düzeyinde önemli bulunmuştur (Çizelge 1). En uzun kök uzunluğu 22.3 cm ile 200 ppm "Si" ön uygulamasında 100 mM NaCl uygulanan bitkilerden elde edilmiştir. En düşük kök uzunluğu ise 18.0 cm ile 0 ppm (kontrol) silisyum ile 150 mM tuz dozunda ölçülmüştür. Kök rizosferinde tuz miktarının artmasıyla birlikte ilk olarak osmotik stres oluşmaktadır. Oluşan bu dışsal osmotik stres, kullanılabilir su miktarının da azalmasına sebep olur ve bu olay "fizyolojik kuraklık" olarak da adlandırılır (Tuteja, 2007). Benzer bir araştırmada aşırı tuzlu topraklarda toprağa verilen silisyumun Na-silikat oluşturmak suretiyle bitkilerde kök ve gövde gelişimi üzerine olan tuzun olumsuz etkilerini azalttığı belirtilmiştir. Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar ile bulgularımız benzerlik göstermektedir (Matichenkov ve Bocharnikova 2001).

### **Gövde uzunluğu (cm)**

Elde edilen sonuçlara göre ortalama gövde uzunluğu üzerine tuz, silisyum ve tuz x "Si" interaksyonu önemli bulunmuştur (Çizelge 1). Tuz konsantrasyonlarına bağlı olarak ortalama en uzun gövde (38.5 cm) 50 mM tuz dozundan tespit edilirken, kontrolle aynı grupta yer almıştır. En kısa gövde ise (21.5 cm) 150 mM tuz dozundan ölçülmüştür. Bitkiler üzerine tuz kaynaklı iyonların toksik etkileri başta bitkide hücre membran stabilitesi olmak üzere, enzim aktivitesini, su dengesini, mineral beslenmeyi, yağ depo ve sentezini olumsuz yönde etkilemektedir. Bunun sonucunda bitki fide döneminde başta gövde uzunluğu olmak üzere kök gelişimi olumsuz yönde etkilenmektedir (Horoz ve Korkmaz 2014). Benzer bir araştırmada artan tuz (0, 50, 100 ve 150 mM) dozlarının buğdayda gövde uzunluğu üzerine etkisinin olumsuz olduğu bildirilmiştir (Kızılgöçü ve ark. 2010). Araştırmada silisyum ön uygulamasına tabi tutulmuş fasulyede en uzun gövde (43.0 cm) 100 ppm "Si" dozundan ölçülürken, 200 ppm Si uygulamaları ile aynı Duncan grubunda yer almıştır. En düşük gövde uzunluğu ise (23.8 cm) "Si" uygulanmayan kontrol bitkilerinden elde edilirken, 50 ppm Si uygulamaları ile aynı grup içerisinde yer almıştır (Çizelge 1). Günümüzde abiyotik ve biyotik stres faktörlerinin olumsuz etkilerini azaltmaya yönelik çok sayıda yöntem ve uygulama bulunmaktadır. Bunlardan birisi de silisyum bitkide hastalık ve zararlıların ortaya çıkmasını azalttığı gibi tuz ve kuraklık gibi stres şartlarında bitkiye direnç ve dayanıklılık da

sağlamaktadır (Demir ve ark. 2013, Horoz ve Korkmaz 2014). “Si” x Tuz interaksiyonunda ise en uzun gövde 54.3 cm ile 100 ppm Si ve x 0 mM (kontrol) NaCl uygulamalarından tespit edilirken en düşük gövde uzunluğu değeri (21.0 cm ) silisyumun kontrol uygulamaları ile tuzun 150 mM dozundan elde edilmiştir. Bae ve ark. (2012) bluegrass (*Poa pratensis L.*) 9 çim bitkisinde 400 mM NaCl uygulamasından sonra verilen 0.1 mM silisin ( $Na_2SiO_3$ ) kontrol grubuna göre çimin sürgün uzunluğunu %48 artırdığını bildirmişlerdir.

### Yaş ve kuru kök ağırlığı (g)

Araştırma sonucunda yaş ve kuru kök ağırlıkları üzerine uygulama ve interaksiyonları istatistiksel olarak önemli bulunmuştur (Çizelge 1). Tuz stresine maruz kalan fasulye fidelerinin en yüksek yaş ve kuru kök ağırlıkları sırasıyla 3.03 ve 0.29 g ile tuz uygulanmayan kontrol uygulamasından elde edilirken, en düşük değerler ise (1.62 ve 0.10 g) 150 mM NaCl konsantrasyonundan elde edilmiştir. Tuz dozlarındaki artış bitkide su alım etkinliğini azaltarak yaş ve kuru kök ağırlıklarının düşüşüne neden olduğu bildirilmiştir. (Kızılgeçi ve ark. 2010, Oral ve ark. 2020). Benzer araştırmalarda ekmeklik buğdayda artan tuz konsantrasyonlarının bitkilerde yaş ve kuru gövde ağırlıklarını azalttığı belirtilmiştir (Akbari ve ark. 2007, Muhammad ve Hussain 2012). Silisyumun uygulamaları bakımından araştırmada en yüksek yaş ve kuru kök ağırlıkları sırasıyla 2.58 ve 0.24 g ile 200 ppm, en düşük değerler (2.13 ve 0.18 g ) ile kontrol dozundan elde edilmiştir. Konu ile ilgili bir çalışmada silisyumun uygulamalarının fasulye bitkisinde kök yaş ve kuru ağırlıkları üzerine etkisi bu çalışmadaki bulgulara benzer şekilde olumlu yönde olmuştur (Demir ve ark. 2013). Si x Tuz interaksiyonunda kök yaş ve kuru ağırlıkları bakımından en yüksek değerler sırasıyla 3.54 ve 0.35 g olarak elde edilmiştir (Çizelge 1). En yüksek kök yaş ağırlığı tuz uygulamalarının yapılmadığı kontrol grubu ile 200 ppm Si uygulamasından elde edilmiştir. Kök kuru ağırlığı ise en yüksek değer 0 mM tuz dozu ile 200 ppm Si uygulamalarında tespit edilmiştir. Benzer bir araştırmada tuz stresinde bitkilerin su alımı olumsuz etkilenmektedir. Bunun sonucunda bitkide kök yaş ve kuru ağırlıklarında azalma meydana geldiği bildirilmiştir. Sorgumda kök gelişimini teşvik ederek kök yaş ve kuru ağırlık oranlarını arttırdığı bildirilmiştir (Lux ve ark. 2002, Hattori ve ark. 2005). Benzer bir çalışmada çim bitkisinde yaş kök ağırlığının kontrol grubuna göre % 72 artışı bildirilmiştir (Bae ve ark. 2012).

### Yaş ve kuru gövde ağırlığı (g)

Gövde yaş ve kuru ağırlıkları üzerine silisyum, tuz ve silisyum x tuz interaksiyonlarının etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmuştur (Çizelge 1). Fasulyede en

yüksek yaş ve kuru gövde ağırlıkları sırasıyla 3.86 g ve 0.41 g ile tuz uygulamalarının kontrol grubundan elde edilirken, en düşük değerler ise (1.35 ve 0.21 g) ile 150 mM tuz (NaCl) konsantrasyonundan elde edilmiştir. Artan tuz konsantrasyonlarına bağlı olarak yaş ve kuru gövde ağırlıklarının azaldığına dair araştırmacı bulguları ile çalışma sonuçlarımız benzerdir (Öztürk ve ark. 1994, Gonk ve ark. 2005, Oral ve ark. 2020). Tuz stresine maruz kalan bitkilerde zarar durumu tuzun yoğunluğuna ve süresine bağlı olarak değişmektedir. Bitkilerde tuz; büyüme, gelişme, çimlenme, hücre bölünmesi ve fotosentez gibi birçok fizyolojik ve biyolojik olaylar üzerine etkilidir (Yılmaz ve ark. 2011). Çizelge 1’de görüldüğü gibi silisyum dozları bakımından en yüksek yaş ve kuru kök ağırlıkları (3.01 ve 0.36 g) 200 ppm silisyum dozundan elde edilmiştir. En düşük değerler ( 2.19 ve 0.29 g) 0 ppm(kontrol) silisyum dozundan elde edilmiştir. Benzer bir çalışmada kurak ve tuz stresinin buğday ve yulafta bitki boyu üzerine olumsuz etkisini silisyumun azalttığı bildirilmiştir (Gong ve ark. 2005). Her iki parametre için Si x Tuz interaksiyonunda en yüksek değerler sırasıyla; 4.40 ve 0.45 g ile 0 mM tuz ( kontrol) ve 100 ppm silisyum uygulamalarından elde edilmiştir. Benzer çalışmada tuzlu topraklarda yetiştirilen bitkilerin topraktan aldıkları tuz iyonları NaCl şeklinde yapraklarda biriktiği belirtilmiştir. Tuz stresine maruz kalan bitkilerde zaman içerisinde biomas kayıplarının görüldüğü belirtilmektedir (Gong ve ark. 2005).

### Yaprak alan indeksi ( $cm^2$ )

Farklı tuz konsantrasyonlarında ortalama en yüksek yaprak alan indeksi  $63.0 cm^2$  ile kontrol (0 mM) grubundan elde edilirken, en düşük yaprak alan indeksi değeri ise  $8.1 cm^2$  ile 150 mM tuz dozundan elde edilmiştir (Çizelge 2). Özellikle NaCl tuzları bitkide su miktarının azalmasını neden olduğundan iyon dengesi bozularak büyüme ve gelişme aktivitelerinin azalmasına neden olmaktadır. Benzer çalışmalarda artan tuz dozlarına paralel olarak yaprak alan indeksinin azaldığı tespit edilmiştir (Parida ve Das 2005). Çizelge 2’de görüldüğü gibi fasulyede silisyum dozları bakımından en yüksek yaprak alan indeksi değeri  $37.3 cm^2$  ile en yüksek silisyum uygulamalarından (200 ppm), en düşük değer ise  $21.0 cm^2$  kontrolden elde edilmiştir. Kontrol ile 50 ppm Si uygulamaları ile aralarında istatistiksel olarak önemli bir farklılık olmadığı tespit edilmiştir. Artan silisyum dozlarının bitkide yaprak alan indeksini artırdığı görülmektedir. Gong ve ark. (2005) tarafından yürütülen bir çalışmada fasulyede silisyum uygulamalarının bitki bioması ve özellikle de yaprak alan indeksini artırdığı bildirilmiştir. Silisyum x tuz interaksiyonu açısından; en yüksek yaprak alan indeksi  $70.4 cm^2$  değeri ile tuzun uygulanmadığı kontrol grubunda 200 ppm Si uygulamasında

ölçülmüştür. Benzer bir araştırmada tuz stresi altındaki domates bitkisinde silisyum ön uygulamalarının bitki doku ve organlarında zarar seviyesini azalttığına dair tespitler yapılmıştır.

Ayrıca bitkide yaprak sayısı, yaprak alan indeksi ve SPAD indeksi değerinde artışların olduğu belirtilmiştir(Al-aghabary ve ark. 2007).

Çizelge 1 Tuz stresi altındaki fasulyede (*Phaseolus vulgaris* L.) silisyum uygulamalarının bazı büyüme ve gelişim parametreleri üzerine etkisi

Table 1 The effect of silicon applications on some growth and development parameters in beans under salt stress (*Phaseolus vulgaris* L.)

Stres Uygulamaları (Stress Treatment)							
Tuz Dozları (Salt Doses)	Si Dozları (Doses)	Kök Uzunluğu (cm) (Root Length)	Gövde Uzunluğu (cm) (Body Length)	Kök Yaş Ağırlığı (g) (Root Fresh Weight)	Gövde Yaş Ağırlığı (g) (Body Fresh Weight)	Kök Kuru Ağırlığı (g) (Root Dry Weight)	Gövde Kuru Ağırlığı (g) (Body Dry Weight)
Kontrol (T <sub>0</sub> ) (Control T <sub>0</sub> )	Si <sub>0</sub>	19.3 cd	26.0 f	2.59 bc	3.47de	0.27c	0.37c
	Si <sub>50</sub>	20.0 c	29.7 e	2.82 b	3.57d	0.25 d	0.39b
	Si <sub>100</sub>	21.7 ab	54.3 a	3.20 ab	4.40 a	0.29 b	0.45a
	Si <sub>200</sub>	22.2 a	42.2 b-e	3.54 a	4.02 ab	0.35 ab	0.44 ab
Ortalama (T <sub>0</sub> ) (Average T <sub>0</sub> )		20.8 A	38.1 A	3.03 A	3.86 A	0.29 A	0.41 A
50 mM (T <sub>50</sub> ) (50 mM - S <sub>50</sub> )	Si <sub>0</sub>	20.0 c	24.7 fg	2.55 bcd	2.57f-h	0.25 d-f	0.34 d
	Si <sub>50</sub>	20.2 c	27.7 ef	2.60 bc	3.22ef	0.27c	0.35 cd
	Si <sub>100</sub>	20.7bc	48.0 b	2.79 b	3.33e	0.28bc	0.39b
	Si <sub>200</sub>	20.7bc	53.7 a	2.94 b	3.97b-d	0.34 a	0.43 ab
Ortalama (T <sub>50</sub> ) (Average S <sub>50</sub> )		20.4 B	38.5 A	2.72 B	3.27B	0.28 A	0.37B
100 mM (T <sub>100</sub> ) (100 mM - S <sub>100</sub> )	Si <sub>0</sub>	19.6 cd	23.7 g	1.99 de	1.45k-m	0.11i	0.29de
	Si <sub>50</sub>	20.0 c	21.7 h	2.03 d	1.59j	0.14gh	0.33 de
	Si <sub>100</sub>	21.4 ab	48.3ab	2.09 cd	1.52k	0.17fg	0.28d-f
	Si <sub>200</sub>	22.3 a	54.0 a	2.00 d	2.53 g-j	0.15 g	0.34 d
Ortalama (T <sub>100</sub> ) (Average - S <sub>100</sub> )		20.8 A	36.9 B	2.03 C	1.77 C	0.14 B	0.31 C
150 mM (T <sub>150</sub> ) (150 mM - S <sub>150</sub> )	Si <sub>0</sub>	18.0 d	21.0 h	1.42 h	1.28mn	0.08 k	0.18hi
	Si <sub>50</sub>	18.7 d	22.0 gh	1.60 gh	1.08n	0.10jk	0.15i
	Si <sub>100</sub>	20.0 c	21.3 h	1.65 g	1.50k	0.11i	0.24 f-h
	Si <sub>200</sub>	22.3 a	21.7h	1.83 efg	1.54 ij	0.13 hi	0.25ef
Ortalama (T <sub>150</sub> ) (Average S <sub>150</sub> )		19.7 C	21.5 C	1.62 D	1.35 D	0.10 C	0.21 D
Si Dozlarının Ortalaması (Si Doses Average)	Si <sub>0</sub>	19.3 C	23.8 B	2.13 B	2.19 C	0.18 C	0.29 B
	Si <sub>50</sub>	19.7 C	25.3 B	2.26 B	2.36 B	0.19 C	0.30 B
	Si <sub>100</sub>	20.9 B	43.0 A	2.43 AB	2.68 B	0.21 B	0.34 AB
	Si <sub>200</sub>	21.9 A	42.9 A	2.58 A	3.01A	0.24 A	0.36 A
VK (%) (CV %)		5.84	12.2	14.5	11.1	14.3	12.3
Tuz Dozları (Salt Doses)		**	**	*	*	**	**
Si Dozları (Si Doses)		**	**	*	*	**	**
Si x Tuz Doz. (Si x Salt Dos.)		*	**	*	*	**	**

Si: Silisyum (Si: Silicon); Si<sub>0</sub>: Kontrol Dozu (Si<sub>0</sub>: Control Doses); T<sub>0</sub>: Kontrol Tuz Dozu (T<sub>0</sub>: Control Salt Doses); VK(%): Varyasyon katsayısı (CV%: Variation Coefficient); \*P<0.05 düzeyinde (\*P<0.05 level), \*\* P<0.01 düzeyinde önemli (P<0.01 level significant).

### SPAD İndeksi

SPAD indeksi üzerine her iki uygulama faktörü ile interaksiyonun etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. Tuz uygulamaları bakımından; En

yüksek SPAD indeksi 47.8 ile tuzun kontrol (0 mM NaCl) uygulamalarından elde edilirken, en düşük indeks değeri ise 42.6 ile 100 mM tuz dozu uygulamalarından tespit edilmiştir (Çizelge 2). Koyro

(2002) tarafından yürütülen bir çalışmada tuz zararının en fazla kloroplastlar üzerinde olduğu belirtilmiştir. Çizelge 2'de görüleceği gibi SPAD indeksi bakımından silisyum uygulamaları sonucu en yüksek değer 46.4 ile kontrol uygulamalarından elde edilirken, kontrol ile 100 ppm Si uygulamaları arasında istatistiksel olarak önemli bir farklılık tespit edilmemiştir. En düşük SPAD indeks değeri ise 43.6 ile 50 ppm Si dozundan tespit edilmiştir. Silisyum ön uygulamasına tabi tutulmuş çeltikte tane veriminin %10, total klorofil içeriğinin ise %57 oranında artışı belirtilmiştir (Bae ve ark. 2012, Kim ve ark. 2012). Özellikle tuzlu topraklarda silisyum klorofildeki parçalanmayı azaltarak kalite verimini artırdığı söylenebilir. "Si" x Tuz interaksiyonunda en yüksek SPAD indeks değeri 50.2 ile her iki uygulama faktörünün kontrol uygulamalarından elde edilirken, en düşük değer ise 40.7 ile 150 mM tuz dozunda ve 50 ppm Si uygulamalarından elde edilmiştir. Benzer bir çalışmada Tuna ve ark. (2008) hazırlanan besin solüsyonunda buğday bitkisini tuz stresine maruz bırakılmıştır. Bu çalışmada  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  ilavesi ile tuzluluğun bitki kuru madde klorofil içeriği üzerindeki negatif etkilerini ortadan kaldırdığı tespit edilmiştir. Silisyum ilavesiyle yapraklarda prolin içeriği ve membrangeçirgenliğinin azaldığı da bildirmiştir. Benzer bir çalışmada total klorofil kapsamının %57 oranında artırdığını bildirmişlerdir (Bae ve ark 2012).

#### Yaprak Dokularında İyon Sızıntısı (%)

Farklı tuz dozu uygulamaları ile Tuz x Silisyum interaksiyonunun yaprak dokularında iyon sızıntısı üzerine etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmuştur (Çizelge 2). En fazla iyon sızıntısı %78.4 ile 150 mM tuz dozu uygulamalarında tespit edilirken, en düşük değer %36.1 ile 50 mM tuz dozundan elde edilmiştir. Kontrol ile 50 mM tuz uygulamaları arasında istatistiksel olarak farklılık bulunmamaktadır. Tuz dozlarına paralel olarak iyon sızıntı miktarının artmasının nedeni olarak bitki hücre membranı ve stabilitesinde meydana gelen hasardan ileri geldiği düşünülmektedir (Bat ve ark. 2019). Mishra and Choudhuri (1999) tarafından yürütülen bir çalışmada bitki hücre membranında meydana gelen zarar sonucu açığa çıkan iyon sızıntısının bitki türüne, stres kaynağına, stres süresi ve şiddetinin yanı sıra antioksidantların cinsine bağlı olarak değiştiği belirtilmiştir. Silisyum uygulamalarının fasulye yaprak dokularında iyon sızıntısı üzerine etkisi istatistiksel olarak önemsiz olduğu belirlenmiştir (Çizelge 2). Silisyum dozu uygulamaları sonucu fasulyenin yaprak dokularında iyon sızıntısı oranı %49.1-52.2 arasında değişiklik göstermiştir. Tuz x "Si" interaksiyonu bakımından en yüksek iyon sızıntısı oranı % 84.5 ile 50 ppm Si ve 150 mM tuz uygulamalarından tespit edilmiştir. Tuz gibi

stres faktörlerine maruz kalan bitkilerde ilk belirtiler hücre membranı ve stabilitesi üzerinde kendisini göstermekte, dayanıklılık mekanizmalarının açıklanmasında bu direnç önemli bir parametre olarak kabul edilmektedir. Stres şartlarına karşı silisyum, gibberellik asit ve deniz yosunu gibi ön uygulamaların stres koruyucu ve önleyici etkilere sahip oldukları belirlenmiştir (Zhu ve ark. 2004). Tuz stresinde membran hasar derecesi hücreden sızan elektrolitlerin ölçülmesiyle tespit edilmektedir. Bu miktara bakılarak bitkinin stres şartlarına olan dayanıklılık indeksi belirlenmektedir (Bajji ve ark. 2001). Zarar derecesi bitkinin genetik yapısına, stres şartlarının derecesine ve süresine bağlı olarak değişmektedir.

#### Yaprak Dokularında Membran Dayanıklılık İndeksi (%)

Yaprak dokularında membran dayanıklılık indeksi üzerine, tuz stresi uygulamaları ile Si x Tuz interaksiyonunun etkisi istatistiksel olarak önemli bulunurken, silisyum uygulamalarının etkisi önemsiz bulunmuştur (Çizelge 2). Tuz uygulamaları bakımından en yüksek değer % 66.6 ile 50 mM tuz dozu uygulamalarından elde edilmiştir. Fakat kontrol ile aynı grup içerisinde yer almıştır. En düşük değer ise %23.9 ile 150 mM tuz dozundan elde edilmiştir. Artan tuz dozlarına paralel olarak yaprak dokularında membran dayanıklılık indeksi kontrol grubuna göre giderek azalmıştır. Benzer bir çalışmada membran zararından kaynaklı iyon sızıntılarının miktarı stresin derecesi hakkında bilgi vermektedir. Bu stres indeksi olarak tanımlanmaktadır. Söz konusu indeks; bitki türüne, stres süresine, şiddetine ve antioksidanların cinsine bağlı olarak artmakta, azalmakta ya da değişmemektedir (Mishra ve Choudhuri 1999). Silisyum uygulamaları bakımından membran dayanıklılık indeksi değeri % 49.7-52.7 arasında değişiklik göstermektedir. Tuz x "Si" uygulamaları bakımından en yüksek değer ise %76.9 ile 200 ppm ve 50 mM tuz uygulamalarından tespit edilmiştir. 50 mM tuz uygulamalarında ve silisyumun kontrol grubuyla aralarında istatistiksel bir farklılığı olmadığı görülmektedir (Çizelge 2). Yürütülen benzer bir çalışmada; silisyumun bitkilerin oksidatif kapasitelerini artırarak tuz ve kuraklık stresine karşı koruduğu belirtilmiştir (Takahashi 1995).

#### Yaprak Dokularında Bağlı Su İçeriği (%)

Tuz stresi uygulamalarının yaprak dokularında bağlı su içeriği üzerine etkisi istatistiksel olarak önemli bulunurken, Silisyum ve "Si" x tuz dozu uygulamalarının etkisi ise önemsiz bulunmuştur. Tuz dozları bakımından en fazla bağlı su içeriği % 74.2 ile kontrol uygulamalarından alınırken 50 mM tuz uygulamaları ile aralarında istatistiksel bir farklılık tespit edilememiştir. Stres şiddeti arttıkça su içeriğinde azalmaların meydana geldiği ve en düşük

oranın % 66.8 olarak 100 mM tuz dozlarından tespit edildiği Çizelge 2' de görülmektedir. 100 mM ve 150 mM tuz dozları arasında istatistiksel olarak bir farklılık bulunmamaktadır. Bitki fizyolojisinde dokularda su dengesinin ayarlanması strese karşı önemli bir direnç kaynağıdır. Benzer çalışmalarda tuz ve kuraklık gibi stres faktörleri bağıl su içeriğini

olumsuz yönde etkilemektedir. Elde ettiğimiz sonuçlar bazı araştırmacıların sonuçları ile benzerlik göstermektedir (Egert ve Tevini 2002, Özkur 2010). Bae ve ark (2012) 'nın tuz stresine karşı silisyum uygulamalarının bağıl su içeriğini %61 artığı belirtilmiştir. Bu sonuçlar çalışmamızdan elde ettiğimiz bulgular ile benzerlik göstermektedir.

Çizelge 2. Tuz stresi altındaki fasulyede (*Phaseolus vulgaris* L.) silisyum uygulamalarının bazı fizyolojik parametreler üzerine etkisi

Table 2. The effect of silicon applications on some physiological parameters in beans under salt stress (*Phaseolus vulgaris* L.)

Stres Uygulamaları ( <i>Stress Treatment</i> )							
Tuz Dozları ( <i>Salt Doses</i> )	Si Dozları ( <i>Si Doses</i> )	Yaprak Alan İnd.(cm <sup>2</sup> ) ( <i>Leaf Area İnd cm<sup>2</sup></i> )	SPAD İndeksi ( <i>SPAD İndex</i> )	YDİS (%) ( <i>LTIL %</i> )	YDMDİ (%) ( <i>LTMSİ %</i> )	YDBSİ (%) ( <i>LTPWC%</i> )	MDA (nmol g <sup>-1</sup> ) ( <i>MDA nmol g<sup>-1</sup></i> )
Kontrol(T <sub>0</sub> ) ( <i>Control S<sub>0</sub></i> )	Si <sub>0</sub>	56.9cd	50.2 a	47.1i-l	52.6 ij	73.4	0.316 d-f
	Si <sub>50</sub>	57.2 c	46.2b	24.4 pr	70.3 b-d	73.9	0.374 c-e
	Si <sub>100</sub>	67.4a-c	48.2 ab	33.3np	72.4 ab	76.9	0.458 a-d
	Si <sub>200</sub>	70.4 a	46.5b	41.5lm	66.4 f	72.6	0.477 a-c
Ortalama (T <sub>0</sub> ) ( <i>Average S<sub>0</sub></i> )		63.0 A	47.8 A	36.6 C	65.4 A	74.2 A	0.234 C
50 mM (T <sub>50</sub> ) ( <i>50 mM S<sub>50</sub></i> )	Si <sub>0</sub>	12.4 lm	45.6 c	27.8 p	74.0 a	70.9	0.264 ef
	Si <sub>50</sub>	16.1 jk	46.2 b	33.3 n-p	67.4 d-f	74.2	0.439 b-d
	Si <sub>100</sub>	26.2 h-j	48.1 ab	47.8 i-l	59.4 gh	75.1	0.374 d
	Si <sub>200</sub>	53.7 d-h	46.8 b	35.3 mn	76.9a	74.1	0.516 a
Ortalama (T <sub>50</sub> ) ( <i>Average S<sub>50</sub></i> )		27.1 B	46.7 AB	36.1 C	66.6 A	73.6 A	0.319 B
100 mM (T <sub>100</sub> ) ( <i>100 mM S<sub>100</sub></i> )	Si <sub>0</sub>	7.8 r	42.9 f	53.5 gh	41.9 mn	67.7	0.156 f-h
	Si <sub>50</sub>	8.4 p	41.2 g	54.2 g	49.6 jk	69.2	0.180 fg
	Si <sub>100</sub>	9.1 n	44.6 d	55.2 g	45.6 kl	62.3	0.484 ab
	Si <sub>200</sub>	14.7 kl	42.0 f	49.9 hi	40.8 n	67.5	0.456 a-d
Ortalama T <sub>100</sub> ( <i>Average T<sub>100</sub></i> )		10.0 C	42.6 B	53.2 B	44.5 B	66.8 B	0.398 A
150 mM (T <sub>150</sub> ) ( <i>150 mM S<sub>150</sub></i> )	Si <sub>0</sub>	7.0 rs	46.8 b	80.3 a-d	27.5 pr	67.0	0.241 f
	Si <sub>50</sub>	7.5 r	40.7 h	84.5 a	23.0 s	68.5	0.169 f
	Si <sub>100</sub>	7.3 rs	43.7 e	66.6 d-g	33.4 p	62.2	0.228 f
	Si <sub>200</sub>	10.4 mn	43.7 e	82.1 a	27.7 pr	61.7	0.298 ef
Ortalama T <sub>150</sub> ( <i>Average S<sub>150</sub></i> )		8.1 D	43.7 B	78.4 A	23.9 C	69.0 B	0.413 A
Silisyum Dozlarının Ortalaması ( <i>Silicon Doses Averages</i> )	Si <sub>0</sub>	21.0 C	46.4 A	52.1	49.7	69.7	0.244 B
	Si <sub>50</sub>	22.3 C	43.6 B	49.1	52.6	71.4	0.290 B
	Si <sub>100</sub>	27.5 B	46.1 A	50.7	52.7	69.1	0.386 A
	Si <sub>200</sub>	37.3 A	44.8 B	52.2	52.9	56.5	0.436 A
VK (%) ( <i>CV %</i> )		9.81	5.41	9.51	11.1	10.8	14.4
Tuz Dozları ( <i>Salt Doses</i> )		**	**	*	*	*	**
Si Dozları ( <i>Si Doses</i> )		*	**	öd	öd	öd	*
Si x Tuz Dozları ( <i>Si x Salt Doses</i> )		*	**	*	*	öd	*

Si: Silisyum (*Silicon*); Si<sub>0</sub>: Kontrol Dozu (*Control Doses, Si<sub>0</sub>*); T<sub>0</sub>: Kontrol Tuz Dozu (*Control Salt Doses, S<sub>0</sub>*); VK (%): Varyasyon katsayısı (*CV %: Coefficient Variation*); öd: önemli değil (*Non significant*); MDA: Malondialdehit; YDBSİ: Yaprak Dokularında Bağıl Su İçeriği (*Leaf Tissues Proporsal Water Content, LTPWC*); YDİS: Yaprak Dokularında İyon Sızıntısı (*Leaf Tissues İon Leak LTİL*); YDMDİ: Yaprak Dokularında Membran Dayanıklılık İndeksi (*Leaf Tissues Membrane Strenght İndex, LTMSİ*); \*P<0.05 düzeyinde (\*P<0.05 level), \*\* P<0.01 düzeyinde önemli (P<0.01 level significant).

### MDA(Malondialdehit, nmol g<sup>-1</sup>)

Bu çalışmada, fasulyede lipid peroksidasyon seviyesi (MDA) üzerine farklı seviyelerde tuz ve silisyum uygulamaları ile her iki faktörün interaksyonunun etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmuştur (Çizelge 2). Bitkide tuz stresi arttıkça MDA miktarında paralel olarak artmıştır. En yüksek MDA miktarı 0.413 nmol g<sup>-1</sup> ile 150 mM tuz dozundan tespit edilirken, 100 mM tuz dozu ile aynı Duncan grubunda yer almıştır. En düşük değer ise 0.234 nmol g<sup>-1</sup> ile tuzun kontrol grubundan elde edilmiştir (Çizelge 2). Artan tuz dozları fidelerde lipid peroksidasyonun son ürünü olarak bilinen malondialdehit miktarında artışlara neden olmaktadır. Bu artışlar bitki dokularındaki oksitadif hasarın bir göstergesi olup, bunun sonucunda fidelerde büyüme ve gelişmede azalma meydana gelmektedir (Takahashi 1995). Silisyumun stres şartlarında hücre zarında lipid oksidasyon sonucu ortaya çıkan MDA miktarında önemli bir azalma meydana getirdiği bildirilmiştir (Aydın ve ark. 2012). Silisyum uygulamaları bakımından, en yüksek MDA değeri 0.44 nmolg<sup>-1</sup> ile kontrol uygulamalarından elde edilmiştir. Fakat 50 ppm silisyum dozu ile aynı Duncan grubunda yer aldığı görülmektedir (Çizelge 2).

En düşük MDA değeri ise 0.244 nmol g<sup>-1</sup> ile 200 ppm uygulamasından elde edilirken 100 ppm Si dozu ile aynı grup içerisinde yer almıştır. Silisyumun bitki hücrelerinde plazma membranlarının geçirgenliğinin yanı sıra membran lipid peroksidasyonunu azaltmaktadır. Ayrıca, membran fonksiyonu ve bütünlüğünü koruyarak tuz stresinin olumsuz etkisini gidermekte ve tuzlu koşullarda bitki gelişimini ve verimini iyileştirmektedir (Zhu ve ark. 2004). "Si" x Tuz interaksyonunda en yüksek değer 0.516 nmol g<sup>-1</sup> ile 100 mM x 0 ppm Si (kontrol) uygulamalarından elde edilmiştir. Tuz iyonlarının toksik etkisi membran etkinliğini, su dengesini, besin maddesi taşınımı, yağların depolanması ve sentezini sekteye uğratarak bitkisel üretimde verim ve kalite kayıplarına neden olmaktadır (Horoz ve Korkmaz 2014, Yılmaz ve ark. 2011).

### SONUÇ

Bu sonuçlara göre silisyum uygulamasının fasulye fidelerinde tuzun stres etkisinin azaldığı tespit edilmiştir. Araştırmada kullanılan 100 ve 200 ppm silisyum dozları kök ve gövde uzunluğu, kök yaş ve kuru ağırlık, gövde yaş ve kuru ağırlıkları, SPAD indeksi, yaprak alan indeksi ve MDA gibi özelliklerden olumlu sonuçlar elde edilmiştir. Ayrıca bitkilerin fizyolojik olarak en hassas oldukları dönem çıkıştan sonraki genç dönem olması nedeniyle benzeri çalışmaların bu dönemde yürütülmesi daha sağlıklı sonuçlar verebilir. Tuz stresine karşı bitkilere dayanıklılık sağlayan silisyumun gibi benzer koruyucu maddelerin yanı sıra gübre uygulamalarına da yer

verilmelidir. Özellikle geniş alanlarda tuz stresinden kaynaklı ekonomik kayıpların minimize edilmesinde silisyum ve benzeri kimyasalların maliyet analizlerine bakılarak sağladığı katkı hesaplanmalıdır.

### Çıkar Çatışması Beyanı

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

### Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamış olduklarını beyan ederler.

### KAYNAKLAR

- Adak M 2014 Türkiye'de Yemelik Baklagillerin Önemi, Üretimi ve İzlenen Politikalar. Tarım ve Mühendislik, 103:24-30.
- Akbari G, Sanavy SAMM, Yousafzadeh S 2007. Effect of Auxin and Salt Stress (NaCl) on Seed Germination of Wheat Cultivars (*Triticum aestivum* L). Pak. J. Biol. Sci., 10(15): 2557-2561.
- Anonim 2018. Türkiye İstatistik Kurumu, www.tuik.gov.tr (Erişim Tarihi: 28. 12. 2019).
- Anonim 2018. FAO Statistical Database. www.faostat.fao.org (28.12.2019).
- Al-aghaby K, Zhu Z, Shi Q 2007. Influence of Silicon Supply on Chlorophyll Content, Chlorophyll Fluorescence and Antioxidative Enzyme Activities in Tomato Plants under Salt Stress. Journal of Plant Nutrition, 27(12): 2101- 2115.
- Altunkaynak ÖA 2018. Fasulyede (*Phaseolus vulgaris* L.) Farklı Azot Dozlarının ve Bakteri Aşılmasının Tane Verimi ve Verim Özellikleri Üzerine Etkileri, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarla Bitkileri Ana Bilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 35.S Konya.
- Ali A, Basra SMA, Hussain S, Iqbal J, Alias MA, Bukhsh HA, Sarwar M 2012. Salt Stress Alleviation in Field Crops Through Nutritional Supplementation of Silicon. Pakistan Journal of Nutrition, 11 (8): 637-655.
- Arora A, Sairam RK, Srivastava GC 2002. Oxidative Stress and Antioxidative Systems in Plants, Curr. Science, 82: 1227-1238.
- Ashraf MY, Akhtar K, Hussain F, Iqbal J 2004. Screening of Different Accession of three 18 Potential Grass Species from Cholistan Desert For Salt Tolerance. Pak.J. Bot., 38: 1589- 1597.
- Avcu S, Akhoundnejad Y, Daggan HY 2013. Domatest Tuz Stresi Üzerine Selenyum ve Silikon Uygulamasının Etkileri. Tarım Bilimleri Dergisi, 6 (1): 183-188.
- Aydın A, Kant C, Turan M, 2012. Humic Acid Application Alleviate Salinity Stress of Bean (*Phaseolus vulgaris* L.) Plants Decreasing in



- Membrane Leakage. African Journal of Agriculture Research, 7: 1073-1086.
- Bae EJ, Lee KS, Huh MR, Lim CS 2012. Silicon Significantly Alleviates The Growth Inhibitory Effects of NaCl in Salt-Sensitive 'Perfection' and 'Midnight' Kentucky Bluegrass (*Poa pratensis* L.). Horticulture, Environment and Biotech, 53(6): 477-483.
- Bat M, Tunçtürk R, Tunçtürk M 2019. Ekinezya (*Echinacea purpurea* L.) Bitkisinde Kuraklık Stresi ve Deniz Yosunu Uygulamalarının Bazı Fizyolojik Parametreler Üzerine Etkisi, KSÜ Tarım ve Doğa Dergisi, 23 (1):99-107.
- Bajji M, Kinet JM, Lutts S 2001. The Use of the Electrolyte Leakage Method for Assessing Cell Membrane Stability as a Water Stress Tolerance Test in Durum Wheat. Plant Growth Regulation, 36: 61-70.
- Bressan RA 2008. Stress Fizyolojisi, Bitki Fizyolojisi Palma Yayıncılık, 591-620.
- Demir E, Ellialtıoğlu G, Yaşar F, Kuşvuran G, Yücer M, Türközü D 2013. Tuz Stresi Uygulamasının Yerli Kavun Aksiyonlarına ait Fiderlerde İyon Dağılımı İncelenmesi, Nevşehir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 30-45.
- Düzgüneş O, Kesici T, Kavuncu O, Gürbüz F 1987. Research and Experimental Methods. Statistical Methods-II. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, 1:1021-1295.
- Egert M, Tevini M 2002. Influence of Drought on Physiological Parameters Symptomatic for Oxidative Stress in Leaves of Chives (*Allium schoenoprasum*) Environmental and Experimental Botany, 48: 43-49.
- Gong H, Chen G, Chen G, Wang S, Zhang C 2005. Silicon Alleviates Oxidative Damage of Wheat Plants In Pots under Drought. Plant Science, 169:313-321.
- Gupta SC, Srivastava JP 1998. Effect of Salt Stress on Morpho Physiological Parameters in Wheat. Indian Journal Plant Physiol, 32 (2): 169-171.
- Hattori T, Inanaga S, Araki H, Morita S, Luxova M, Lux A 2005. Application of Silicon Enhance Drought Tolerance in Sorghum bicolor. Physiologia Plant, 123(4):459-466.
- Heath RL, Packer L 1968. Photoperoxidation in Isolate Chloroplast. I. Kinetics and Stoichiometry of Fatty Acid Peroxidation. Arch. Biochem. Biophys, 125: 189-198.
- Horoz A, Korkmaz A 2014. Çeltikte (*Oryza sativa* L.) Tuz Stresinin Azaltmada Silisyumlu Gübrelerin Etkisi, Tarım Bilimleri Dergisi, 20:215-229.
- Kanber R, Çullu MA, Kendirli B, Antepli S, Yılmaz N 2005. Sulama, Drenaj ve Tuzluluk, Türkiye Ziraat Müh., VI. Teknik Kongresi, Ankara, 3-7 Ocak, 2005.
- Kına A 2008. Farklı Tuz Konsantrasyonlarının, İki Farklı Çilek (*Fragaria x ananassa*) Çeşidinde Bazı Bitkisel ve Kimyasal Özelliklerine Etkisi. Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarla Bitkileri Ana Bilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Van, 66 s.
- Kızılgöçü F, Yıldırım M, Akıncı C 2010. Bazı Ekmeklik Buğday Genotiplerinin Tuzluluğa Tepkilerinin Belirlenmesi 1. Uluslar arası Katılımlı Kamu Üniversite Sanayi İşbirliği Sempozyumu ve Mermercilik Şurası 24-26 Mayıs 2010: 301-307, Diyarbakır.
- Kızılgöçü F, Tazebay N, Namlı M, Albayrak Ö, Yıldırım M 2017. The Drought Effect on Seed Germination and Seedling Growth in Bread Wheat (*Triticum aestivum* L.). International Journal of Agriculture Environment and Food Science, International Journal of Agriculture Environment and Food Sciences, (1): 33-37.
- Kim Y, Khan A, Shinwari ZK, Kim DH, Waqas M, Kamran M, Lee IJ 2012. Silicon Treatment to Rice (*Oryza sativa* L.) Cv 'Gopumbyeo' Plants During Different Rowth Periods and its Effect on Growth and Grain Yield. Pakistan Journal of Botany, 44 (3): 891-897.
- Koç S 2005. Fasulyelerde Tuzluluğa Tolerans Bakımından Genotipsel Farklılıklar Erken Bitki Gelişimi Aşaması Belirlenmesi. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarla Bitkileri Ana Bilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Adana, 86 s.
- Koyro HW 2002. Environment Plants Molecules, Ultrastructural Effects of Salinity in Higher Plants, Salinity, 522.
- Lewitt J 1980. Responses of Plants to Environmental Stresses Vol. II, 2nd 6 ed. Academic Press, New York, pp:607.
- Liang YC, Ding RX 2002. Influence of Silicon on Microdistribution of Mineral Ions in Roots of Salt Stressed Barley as Associated with Salt Tolerance In Plants. Science China (Series C), 45:298-308.
- Lux A, Luxova M, Hattori T, Inanaga S, Sugimoto Y 2002. Silicification in Sorghum (*Sorghum bicolor* L.) Maas Cultivars with Different Drought Tolerance, Physiologia Plantarum, 115:87-92.
- EV 1990. Crops Salt Tolerance Agriculture Salinity Assessment and Management, American Society Civil Engineers, In: KK. Tanji, New York, 1:262-334.
- Mahajan S, Tuteja N 2005. Cold, Salinity and Drought Stress: an Overview. Archives of Biophysics, 444:139-158.
- Marschner H 1995. Mineral Nutrition of Higher Plant Academic Press, 1:657-680.
- Matichenkov VV, Bocharnikova EA 2001. The Relationship Between Silicon and Soil Physical and Chemical Properties. In: L.E. Datnoff, G.H. Snyder, H. Korndorfer, eds. Silicon in Agriculture. Amsterdam: Elsevier, pp. 209-219.
- Mishra A, Choudhuri AD 1999. Effects of Salicylic Acid on Heavy Metal-Induced Membran

- Deterioration Mediated By Lipoygenase in Rice *Biologia Plantarum*, 42 (3): 409-415.
- Muhammad Z, Hussain F 2012. Effect of NaCl Salinity on The Germination and Seedling Growth of Seven Wheat Genotypes. *Pak. J. Botanic* 44(6): 1845-1850.
- Oral E, Altuner F, Tunçtürk R, Baran İ 2020. Gibberellik Asit (GA<sub>3</sub>) Ön Uygulamasına Tabi Tutulmuş Kinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) Tohumunda Tuz (NaCl) Stresinin Çimlenme Özellikleri Üzerine Etkisi, *KSÜ Tarım ve Doğa Dergisi*, 23(1): 123-134.
- Öztürk M, Gemici M, Özdemir F, Keyikçi 1994. Tohum Çimlenmesi Olayında Bitkisel Hormonla ve Çimlenme Simülatörünün Tuz Stresini Azaltmadaki Rolü. XII. Ulusal Biyoloji Kongresi, Edirne, 1: 44-48.
- Parida AK, Das AB 2005. Salt Tolerance and Salinity Effects on Plants: a Review, *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 60: 324-349.
- Premchandra GS, Saneoka A, Ogato S 1990. Cell Membrane Stability and Indicator of Drought Tolerance, as Affected by Applied Nitrogen in Soybean. *Journal of Agriculture Science*, 115: 63-66.
- Pekşen E, Artık C 2005. Antibesinsel Maddeler ve Yemelik Tane Baklagillerin Besleyici Değerleri, *Ondokuz Mayıs Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 20 (2): 110-120.
- Saqib MR, Ashraf M, Shahzad SM, İmtiaz M 2011. Silicon Nutrition for Mitigation of Salt Toxicity in Sunflower (*Helianthus annuus* L.), *Int. J. Agric. Applied Sciences*, 3:1.
- Sairam RK 1994. Effect of Moisture Stress on Physiological Activities of Two Contrasting Wheat Genotypes. *Indian Journal of Experimental Biology*, 32: 594-597.
- Sairam RK, Saxena DC 2000. Oxidative Stress and Antioxidants in Wheat Genotypes: Possible Mechanism of Water Stress Tolerance. *J. Agron.* 13-18, Beijing, China 223 p.
- Seymen B ve Önder M 2015. Kuru Fasulye (*Phaseolus vulgaris* L.) Genotiplerinde Tuzluluğun Fide Gelişimi Üzerine Etkisi. *Selçuk Üniversitesi, Selçuk Tarım Bilimleri Dergisi*, 2(2): 109-115.
- Özkur Ö 2010. Kapari (*Capparis ovata*) Bitkisinde Kuraklık Stresi Koşullarında Antioksidant Savunma Sistemi İncelenmesi. *Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyoloji Anabilim Dalı, Doktora Tezi*, 75s.
- Takahashi E 1995. Uptake Mode and Physiological Functions of Silica. *Japan Journal Soil Science Plant Nutrient* 49: 357-360.
- Trenholm LE, Datnoff LE, Nagata RT 2004. Influence of Silicon on Drought and Shade Tolerance of St. Augustinegrass. *Hort Technology*, 14: 487-490.
- Tuna AL, Kaya C, Higgs DEB, Murillo Amador B, Aydemir S, Girgin AR 2008. Silicon Improves Salinity Tolerance in Wheat Plants. *Environmentl and Experimental Botany*, 62(1): 10-16.
- Tuteja N 2007. Mechanisms of High Salinity Tolerance in Plants, *Methods in Enzymology*, 428: 419-438.
- Yılmaz E, Tuna AL, Bürün B 2011. Bitkilerin Tuz Stresi Etkilerine Karşı Geliştirdikleri Tolerans Stratejileri. *Ç.Ü. Fen Bilimleri Dergisi*, 7 (1): 47-66.
- Zhu ZJ, Fan HF, He Y 2004. Roles of Silicon Mediated Alleviation of Salt Stress In Higher Plants: A review, *Proceedings of the 5th. International Conference of Silicon in Agriculture (September 13-18), Beijing, China* 223 p.