



# Tuz stresi altındaki tütün bitkisine yapraktan silisyum (Si) uygulamalarının etkileri

## *Effects of foliar silicon (Si) applications on tobacco plant under salt stress*

Ahmet KINAY<sup>1</sup> , Halil ERDEM<sup>2\*</sup> 

<sup>1</sup>Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, 60240 Tokat, Türkiye

<sup>2</sup>Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, 60240 Tokat, Türkiye

<sup>1</sup><https://orcid.org/0000-0003-4554-2148>; <sup>2</sup><https://orcid.org/0000-0002-3296-1549>

### To cite this article:

Kinay, A. & Erdem, H. (2022). Tuz stresi altındaki tütün bitkisine yapraktan silisyum (Si) uygulamalarının etkileri. Harran Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi, 26(3): 380-388.

DOI:10.29050/harranziraat.1098905

### \*Address for Correspondence:

Halil ERDEM

e-mail:

erdemh@hotmail.com

### Received Date:

05.04.2022

### Accepted Date:

07.07.2022

© Copyright 2018 by Harran University Faculty of Agriculture. Available on-line at [www.dergipark.gov.tr/harranziraat](http://www.dergipark.gov.tr/harranziraat)



This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License.

### ÖZ

Tuzluluk bitkilerde verim ve kaliteyi olumsuz yönde etkileyen en önemli abiyotik stres faktörleri arasında yer almasına karşılık, silisyum (Si) bitkilerde stres faktörlerini azaltan bir element olarak bilinmektedir. Bu çalışmada tütün bitkisinde tuz stresinin neden olduğu hasara karşı yapraktan Si uygulamalarının koruyucu etkisinin araştırılması amaçlanmıştır. Çalışmada dört farklı (0, 1.5, 3, 4.5 ve 6 dS m<sup>-1</sup>) tuz dozu altında yetiştirilen Canik 190/5 tütün çeşidine yapraktan 1 ve 2 defa Si uygulamaları yapılmıştır. Tüm bitki kuru madde verimi, Na, K, Ca, Mg, P konsantrasyonu ile K/Na oranı incelenmiştir. Artan dozlarda tuz uygulamaları tütün bitkisinin yeşil aksam kuru madde veriminde azalmaya neden olurken, yapraktan Si uygulamaları kuru madde verimindeki azalmayı yavaşlatmıştır. Kontrol uygulamalarının ortalama bitki kuru madde verimi 6.42 g bitki<sup>-1</sup> iken, yapraktan 1 defa Si uygulamasında bu değer 6.65 g bitki<sup>-1</sup>'e çıkmış, yapraktan 2 defa Si uygulamasında ise 7.08 g bitki<sup>-1</sup>'e çıkmıştır. Silisyum uygulamaları tütün bitkisinin Na konsantrasyonlarında azalmaya neden olurken, K konsantrasyonları ile K/Na oranlarında artışa neden olarak bitkinin tuza karşı dayanıklılığını arttırmıştır. Çalışma sonucunda; tütün bitkisinin tuz stresine karşı dayanıklılığının artırılmasında yapraktan Si uygulamalarının pozitif etkisinin olabileceği, uygulama sayısı bakımından ise yapraktan 2 defa uygulamanın daha etkili olduğu ortaya çıkmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Silisyum, Sodyum, Stres, Tuz, Tütün

### ABSTRACT

While salinity is among the most important abiotic stress factors that negatively affect yield and quality in plants, silicon (Si) is known as an element that reduces stress factors in plants. In this study, it was aimed to investigate the protective effect of foliar silicon (Si) applications against the damage caused by salt stress in tobacco plants. In the study, Si applications were made once and twice from the leaves of Canik 190/5 tobacco cultivars grown under four different (0, 1.5, 3, 4.5 and 6 dS m<sup>-1</sup>) salt doses. Shoot dry matter yield, Na, K, Ca, Mg, P concentration and K/Na ratio were investigated. While increasing doses of salt applications caused a decrease in the shoot dry matter yield of the tobacco plant, foliar Si applications slowed the decrease in dry matter yields. While the average plant dry matter yield of control applications was 6.42 g plant<sup>-1</sup>, this value increased to 6.65 g plant<sup>-1</sup> in the application of Si once from the leaf, and it increased to 7.08 g plant<sup>-1</sup> in the application of Si application twice from the leaf. Silicon applications caused a decrease in Na concentrations of the tobacco plant, and increased the plant's resistance to salt by causing an increase in K concentrations and K/Na ratios. According to the results obtained; It has been revealed that foliar Si applications may have a positive effect on increasing the resistance of the tobacco plant against salt stress, and in terms of the number of applications, 2 applications on the leaf are more effective.

**Key Words:** Silicon, Natrium, Stress, Salt, Tobacco

## Giriş

Bitkiler, tarımsal sistemler için tehdit oluşturan çeşitli abiyotik streslerle sürekli olarak karşı karşıyadır. Özellikle tuzluluk stresi, tüm dünyada özellikle kurak ve yarı kurak bölgelerde bitki büyümesi ile verimliliğini etkileyen önemli bir abiyotik faktör olarak kabul edilmektedir (Muneer ve Jeong, 2015). Dünya çapında yaklaşık 800 milyon hektar arazi tuzluluktan etkilenmektedir (Abbasi ve ark., 2015). Bu rakamlar dünyanın toplam alanının %6'lık bir kısmını oluşturmaktadır ve hemen hemen hepsi doğal nedenlere dayanmaktadır (Shah ve Thivakaran, 2014). Türkiye'de de yaklaşık 1.5 milyon hektar alanda tuzluluk ve alkalilik sorunu bulunmaktadır (Uras ve Sonmez, 2010). Bu da sulamaya uygun arazilerin yaklaşık %32.5'ine denk gelmektedir (Ekmekçi ve ark., 2005). Tuzluluğun bitki besin maddelerinin yarıyışlılığını azalttığını, bunların hem bitki tarafından alınmalarını hem de bitki içinde taşınmalarını ve dağılımını olumsuz etkileyerek beslenme bozukluklarına neden olduğu bildirilmiştir (Munns ve Tester, 2008; Talaat ve ark., 2015). Tuzlar ortamın osmotik basıncını yükselterek bitkinin su alımını ve dolayısıyla beslenmesini yavaşlatmakta veya durdurmaktadır. Ya da Na ve Cl gibi tuzların ortamda fazla bulunması nedeniyle bitki besin maddelerinin alınımını zorlaştırıp, metabolizmayı bozarak bitkinin bünyesine zarar vermektedirler (Hao ve ark., 2021; Zhao ve ark., 2021). Nefissi Ouertani ve ark. (2021)'a göre tuz stresinin osmotik etkisi, bitkilerde büyüme oranında azalma, yaprak renginde değişim, kök/gövde oranında görülen değişim ve bitkilerde olgunlaşma hızını değiştirme gibi şekillerde kendini gösterirken, tuz stresinin iyonik etkisi, daha çok meristem dokulara veya yaprağa zarar vermek suretiyle kendini göstermektedir. Tuz stresinde tuzun osmotik etkisi nedeniyle bitkilerde transpirasyon ve iyonların köke kitle hareketi ile taşınımı engellenerek bitki gelişimi olumsuz etkilenmektedir. Ayrıca tuzun iyonik etkisi nedeniyle de iyonlar arasında rekabet oluşarak bitkilerin dengeli bir şekilde beslenmesi

engellenmekte ve bitkilerde beslenme bozuklukları oluşmaktadır. Bitkilerde fazla tuzun hücredeki su potansiyelini azaltması ile birlikte, hücredeki iyon dengesini de bozarak bitki gelişimini olumsuz etkilemektedir (Hao ve ark., 2021). Bitkilerin topraktan fazla miktarda tuz alımı sonucu bitki hücrelerinin  $\text{Na}^+$  ve  $\text{Cl}^-$  iyonlarının konsantrasyonlarının artmasına,  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{K}^+$  ve  $\text{Mg}^{+2}$  iyonlarının ise konsantrasyonlarında azalmaya neden olmaktadır (Shafiq ve ark., 2021). Silisyum (Si) oksijenden sonra yer kabuğunda en bol bulunan elementtir ve bitkilerdeki konsantrasyonu genellikle makro besin değerlerine kadar ulaşabilmektedir (Kang ve ark., 2015). Silisyum toprak çözeltisinde çözülmüş halde, Fe ve Al oksit ve hidroksitlere adsorbe halde ve çözülmüş halde olmak üzere 3 farklı fraksiyonda bulunur (Schaller ve ark., 2021). Bitkiler Si'ü toprak çözeltisinden kökleri ile mono silisik asit ( $\text{Si}(\text{OH})_4$ ) anyon formunda absorbe ederler (Zhu ve Gong, 2014). Silisyum, bitkilerde büyümeyi iyileştirdiği, sağlamlık sağladığı ve çeşitli biyotik/abiyotik streslere karşı bitkilerin toleransını artırmasından dolayı tarımsal açıdan faydalı bir elementtir (Meena ve ark., 2014; Abbas ve ark., 2015; Servet ve Eşikten, 2018). Bunun yanında Si bazı bitkiler için (çeltik, şeker kamışı gibi bazı sucul bitkiler) mutlak gerekli element olarak anılmaktadır (Singh ve ark., 2005). Silisyum bitkilerde başlıca tuz tolerans mekanizmaları olan  $\text{Na}^+$  ve  $\text{K}^+$  taşınmasını ve birikimini kontrol ederek bitkilerin tuza karşı dayanıklılığını arttırdığı bildirilmiştir (Zhu ve Gong, 2014). Tuzluluk gibi abiyotik stres faktörlerine maruz kalan bitkilere Si uygulamalarının antioksidatif savunma mekanizmasının çalışmasını teşvik ettiği, bitki gövdesini kuvvetlendirdiği, fotosentez ve su kullanım etkinliği gibi olumlu etkilerinin olduğu, stres altındaki bitkilerde lipid peroksidasyonunu ve membran geçirgenliğini azaltarak stres faktörlerine karşı bitkilerin dayanıklılığını artırdığı bildirilmiştir (Moussa, 2006; Tuna ve ark., 2008). Salatalık bitkisi ile yapılan bir çalışmada, Si uygulaması ile bitkinin Na alınımının azaldığı, böylece bitkinin tuz stresinden daha az etkilendiği rapor edilmiştir (Qian ve ark., 2006). Silisyumun

ekmeklik buğday (Taha ve ark., 2021), arpa (Liang ve ark., 2003), domates (Romero-Aranda ve ark., 2006), fasulye (Zuccarini, 2008), bakla (Shahzad ve ark., 2013) ve bamyaya (Abbas ve ark., 2015) dahil olmak üzere birçok bitkide tuz stresini hafifletmede önemli rolü olduğu bildirilmiştir. Bu bağlamda, tuzluluk stresinin tütün bitkisi üzerindeki olumsuz etkilerinin üstesinden gelmek için yaprakdan Si takviyesi alternatif bir yaklaşım sağlayabilir. Bu çalışmada, tuz stresine karşı yaprakdan yapılan Si uygulamalarının tütün bitkisinin verim ve Na, K, Ca, Mg, P konsantrasyonu ile K/Na oranına etkisi araştırılmıştır.

## Materyal ve Metot

### Materyal

Denemede bitki materyali olarak Canik 190/5 tütün çeşidi kullanılmıştır. Canik 190/5 erkenci bir çeşit olup, 75-95 cm arasında bitki boyuna sahip, ortalama yaprak sayısı ise 34'dür. Yapraklarının yapısı ince dokulu, ortalama %1.10 düzeyinde nikotin oranına sahip bir çeşittir (Peksüslü, 1998). Denemede kullanılan Canik 190/5 çeşidi fideleri viyollerde torf ortamında float sisteminde yetiştirilmiştir. Sera denemesinde kullanılan toprak killi tın tekstüre sahip olup, organik maddesi az (%1.26), alkali karakterli (pH 7.93), kireç içeriği yüksek (%22.1) ve tuzsuz olup (%0.03), 1 N NH<sub>4</sub>OAc'da ekstrakte edilebilir Si konsantrasyonu 12.3 mg kg<sup>-1</sup> (az)'dır. Deneme toprağının bitkiye yarayışlı P konsantrasyonu 2.35 mg kg<sup>-1</sup> (noksan) ve K konsantrasyonu ise 167 mg kg<sup>-1</sup> (yeterli)'dir.

### Metot

Sera denemesi tesadüf parselleri deneme desenine göre 4 tekerrürlü olarak kurulmuştur. Plastik saksıların kullanıldığı denemede her saksıya 2100 g toprak tartılmıştır. Temel gübreleme olarak tüm saksılara 250 mg kg<sup>-1</sup> N, Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>, 100 mg kg<sup>-1</sup> P ve 125 mg kg<sup>-1</sup> K, KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> formunda, 2 mg kg<sup>-1</sup> Fe, Fe-EDTA formunda ve 2 mg kg<sup>-1</sup> Zn, ZnSO<sub>4</sub>.7 H<sub>2</sub>O formunda uygulama homojen olarak toprağa karıştırılarak yapılmıştır.

Denemeye konu olan tuz uygulamaları 4 farklı dozda (0, 1.5, 3.0, 4.5 ve 6.0 dS m<sup>-1</sup> toprak) ve NaCl formunda uygulanmıştır. Her saksıya 1 adet tütün fidesi dikilmiş, bitkiler su ihtiyaçlarına göre saf su ile sulanmıştır. Tuz uygulamalarına denemenin kurulması esnasında 1.5 dS m<sup>-1</sup> (kontrol uygulaması hariç) dozu ile başlanmış, diğer tuz uygulamaları ise fide dikiminden sonra her üç günde bir 1.5 dS m<sup>-1</sup> dozlar halinde ilgili saksılara sulama suyu ile birlikte verilmiştir. Silisyum uygulamaları yaprakdan 1 ve 2 defa olacak şekilde, %0.5 Si dozunda ve silisik asit (H<sub>4</sub>O<sub>4</sub>Si) formunda yapılmıştır. Yapraktan 1 defa olan Si uygulamaları tütün bitkisine 6 yapraklı dönemde iken, yaprakdan 2 defa olan Si uygulamaları ise tütün bitkisine 6 yapraklı dönemde 1 defa ve 12 yapraklı dönemde ise 1 defa olacak şekilde yapılmıştır. Yaprak uygulamalarında yayıcı yapıştırıcı olarak %0.01 Tween kullanılmıştır.

Yeşil aksamda ortaya çıkan büyüme gerilemesine bağlı olarak denemenin 44. gününde (bitkiler 17 yapraklı iken) hasat (toprak üstü aksam) edilmiştir. Hasat edilen bitki örnekleri laboratuvar ortamında yıkandıktan sonra 48 saat boyunca 70°C'de kurutulmuş, hassas terazi ile tüm bitki kuru madde verimleri belirlendikten sonra agat değirmeninde öğütülmüştür. Öğütülen örneklerden 0,2 g tartılarak mikrodalga cihazında (Mars Xpress) yaş yakma metoduna göre H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-HNO<sub>3</sub> asit karışımında yakılmıştır. Daha sonra bu örneklerde ICP-OES (Varian Vista Pro) cihazında Na, K, Ca, P ve Mg elementlerinin konsantrasyonları ile K/Na oranları belirlenmiştir (Kacar ve İnal, 2008).

Araştırmadan elde edilen veriler çalışmanın yürütülme deseni olan tesadüf parselleri deneme desenine göre JMP 13.0 istatistik programı ile varyans analizi yapılmıştır. Elde edilen verilerin ortalamaları ise Duncan çoklu karşılaştırma testine tabi tutulmuş ve gruplamalar yapılmıştır.

## Araştırma Bulguları ve Tartışma

Artan dozlarda tuz uygulamaları altında yetiştirilen tütün bitkisine yaprakdan 1 ve 2 defa Si

uygulamalarının bitki kuru madde verimi, yeşil aksam Na, K konsantrasyonları ile K/Na oranları Çizelge 1’de verilmiştir. Tütün bitkisinin yeşil aksam kuru madde verimi, Si uygulamalarından bağımsız olarak değerlendirildiğinde tüm tuz uygulamalarının yeşil aksam kuru madde veriminde istatistiksel olarak önemli azalmalara neden olduğu görülmüştür. Tuz uygulamasının yapılmadığı (T0) durumda ortalama yeşil aksam kuru madde verimi 8.86 g bitki<sup>-1</sup> iken bu değer tuzun 1.5 (T1.5), 3.0 (T3), 4.5 (T4.5) ve 6.0 (T6) dS m<sup>-1</sup> uygulamalarında sırası ile 7.50, 6.43, 5.65 ve 5.14 g bitki<sup>-1</sup>’ye düşmüştür. Tuz stresi altında bitki büyümesinde kuru madde verimlerinde meydana gelen gerilemeler biber (Aktas ve ark., 2006), domates (Turhan ve ark., 2009), buğday (Poustini ve Siosemardeh, 2004), pamuk (İbrahim ve ark., 2007), şeker kamışı (Ashraf ve ark., 2007), mercimek (Sidari ve ark., 2008), mısır (Eker ve ark., 2006), çilek (Dikilitaş ve Dikilitaş, 2021), reyhan (Kaya ve İnan, 2017) ve nohut (Özcan, 2000) gibi bitkilerde de olduğu bildirilmiştir. Söz konusu gerilemeler, bitki yetiştirme ortamındaki tuz konsantrasyonlarına bağlı olarak su yarıyışlılığının azalmasından, transpirasyon ile karbonhidrat fiksasyonundaki azalmalardan ve bitki bünyesindeki iyon dengelerinin bozulmasından kaynaklanmaktadır (Hao ve ark., 2021).

Farklı tuz dozları altında tütün bitkisinin yeşil aksam kuru madde veriminde ortaya çıkan azalmaya karşın, kontrol uygulamasına göre yapraktan 1 ve 2 defa Si uygulamaları kuru madde verimlerinde ortaya çıkan azalmanın şiddetini azaltarak daha düşük olmuştur (Çizelge 1). Örneğin kontrol uygulamasının T0 dozunda 8.83 g bitki<sup>-1</sup> olan kuru madde verimi T3 uygulamasında %31.25 düzeyinde azalış ile 6.07 g bitki<sup>-1</sup>’e düşmüştür. Buna karşın yapraktan 1 defa Si uygulamasında 8.88 g bitki<sup>-1</sup> olan T0 dozunun kuru madde verimi T3 dozunda %27 düzeyinde azalma ile 6.48 g bitki<sup>-1</sup>’e, yapraktan 2 defa Si uygulamasında 8.87 g bitki<sup>-1</sup> olan T0 dozunun kuru madde verimi %24 düzeyinde azalma ile 6.74 g bitki<sup>-1</sup>’e düşmüştür. Yeşil aksam kuru madde verimi bakımından Si uygulamalarının tuz stresine

karşı pozitif etki yaptığı ve uygulama sayısı bakımından ise iki defa uygulamanın daha etkili olduğu görülmüştür. Elde edilen sonuçlar, Öztekin ve Tural (2021) tarafından su kültürü koşullarında kuzu marulu bitkisinde 3.6 dS m<sup>-1</sup> NaCl ve 100 ppm Si uygulamalarının yapıldığı bir çalışma ile benzerlik göstermektedir. Kontrol uygulamasında bitki kuru madde verimi 0.164 g bitki<sup>-1</sup> iken, 3.6 dS m<sup>-1</sup> tuz uygulaması altında bu değer 0.133 g bitki<sup>-1</sup>’e düştüğünü, 3.6 dS m<sup>-1</sup> + 100 ppm Si uygulamasında ise kuru madde veriminin 0.159 g bitki<sup>-1</sup>’ye çıktığını belirtmişlerdir. Araştırmacılar elde ettikleri sonuçlara göre özellikle tuz stresi altında besin solüsyonuna silisyum ilavesinin tuz stresinin olumsuz etkisini giderdiğini bildirmişlerdir. Ahmad ve ark. (2019), su kültürü koşullarında maş fasulyesine 0 (kontrol), 50 ve 100 mM NaCl dozlarında tuz ile 2 mM Si uygulamalarının yapıldığı bir çalışma yürütmüşlerdir. Araştırmacılar kontrol uygulamasının yeşil aksam kuru madde veriminin 1 g bitki<sup>-1</sup> iken bu değer 50 mM tuz dozunda 0.6 g bitki<sup>-1</sup>’e, 100 mM tuz dozunda ise 0.4 g bitki<sup>-1</sup>’e düştüğünü, buna karşın 50 mM NaCl + 2 mM Si uygulaması ile bu değer 0.7 g bitki<sup>-1</sup>’ye, 100 mM NaCl + 2 mM Si uygulamasında ise 0.5 g bitki<sup>-1</sup>’ye çıktığını bildirmişlerdir. Araştırmacılar ayrıca tuz dozları altında kök ve sürgün uzunluğunda ortaya çıkan azalmaların Si uygulaması ile iyileştiğini ve bu durumun da bitki veriminde pozitif bir etkiye neden olduğunu bildirmişlerdir.

Artan dozlarda tuz uygulamalarının tütün bitkisinin yeşil aksam Na konsantrasyonlarında istatistiksel olarak önemli düzeyde artışa neden olduğu, ancak bu artışın yapraktan 1 ve 2 defa Si uygulamaları ile azaldığı görülmüştür (Çizelge 1). Kontrol uygulamasının T0 dozunun Na konsantrasyonu %0.17 iken aynı uygulamanın T6 dozunda %2.24’e çıkmıştır. Bu durum yapraktan 1 defa Si uygulamasında ise T0 dozunda %0.18 olan Na konsantrasyonu T6 dozunda %1.76’ya çıkmış, 2 defa Si uygulamasında ise %0.17 olan T0 uygulamasının Na konsantrasyonu T6 uygulamasında %1.07’ye çıkmıştır. Yapraktan 2 defa Si uygulamalarının yeşil aksam Na konsantrasyonlarında daha fazla azalmaya neden

olduğu ortaya çıkmıştır. Kontrol koşullarının ortalama Na konsantrasyonu %1.02 iken, bu değer yapraktan 1 defa Si uygulaması ile %12.74 düzeyinde azalma ile %0,89'a, yapraktan 2 defa Si uygulaması ile %33.3 düzeyinde azalma ile %68'e düşmüştür (Çizelge 1). Elde ettiğimiz sonuçlara benzer şekilde maş fasulyesine 0 (kontrol), 50 ve 100 mM NaCl dozlarında tuz uygulaması ile bitkinin yeşil aksam Na konsantrasyonu T0 dozunda 5.2 mg g<sup>-1</sup>'den T50 dozunda 26.4, T100 dozunda ise 35.2 mg g<sup>-1</sup>'e çıktığı, buna karşın 2 mM Si uygulaması ile T50 dozunda 26.4 mg g<sup>-1</sup> olan Na konsantrasyonu 20.6 mg g<sup>-1</sup>'e, 35.2 mg g<sup>-1</sup> olan T100 dozu 28.8 mg g<sup>-1</sup>'e düşüğü bildirilmiştir

(Ahmad ve ark., 2019). Alzahrani ve ark. (2018), sera koşullarında topraktan 200 mM NaCl uygulaması altında yetiştirdiği buğday bitkisine artan dozlarda Si (0, 2, 4 ve 6 mM Si) uygulaması ile buğday bitkisinin yeşil aksam Na konsantrasyonlarında istatistiksel olarak önemli azalmaların olduğunu bildirmişlerdir. Araştırmacılar NaCl 0; Si 0 mM uygulamasında 1.46 mg g<sup>-1</sup> olan Na konsantrasyonunun, 200 NaCl; Si 0 mM dozunda 9.24 mg g<sup>-1</sup>'a çıktığını, bu değer 200 mM dozunun Si 2, 4 ve 6 mM dozlarında sıra ile 6.33, 4.21 ve 4.27 mg g<sup>-1</sup>'e düştüğünü bildirmişlerdir.

Çizelge 1. Farklı tuz dozları altında yetiştirilen tütün bitkisine yapraktan Si uygulamalarının yeşil aksam kuru madde verimi, Na ve K konsantrasyonu ile K/Na oranına etkisi

Table 1. The effect of foliar Si applications on shoot dry matter yield, Na and K concentration and K/Na ratio on tobacco plants grown under different salt doses.

NaCl Dozu NaCl Dose	Kontrol Control	Si 1 defa Si 1 times	Si 2 defa Si 2 times	Ortalama Average
<b>Tüm bitki kuru madde verimi (g bitki<sup>-1</sup>)</b> <i>Shoot dry matter yield (g plant<sup>-1</sup>)</i>				
dS m <sup>-1</sup>				
0	8.83	8.88	8.87	<b>8.86<sup>A</sup></b>
1.5	6.58	7.46	8.46	<b>7.50<sup>B</sup></b>
3.0	6.07	6.48	6.74	<b>6.43<sup>C</sup></b>
4.5	5.39	5.68	5.88	<b>5.65<sup>CD</sup></b>
6.0	5.21	4.76	5.46	<b>5.14<sup>D</sup></b>
<b>Ortalama Average</b>	<b>6.42<sup>B</sup></b>	<b>6.65<sup>B</sup></b>	<b>7.08<sup>A</sup></b>	
<b>Na Konsantrasyonu (%)</b> <i>Na Concentration (%)</i>				
0	0.17 <sup>f</sup>	0.18 <sup>f</sup>	0.17 <sup>f</sup>	<b>0.17<sup>D</sup></b>
1.5	0.56 <sup>f</sup>	0.51 <sup>f</sup>	0.45 <sup>f</sup>	<b>0.50<sup>C</sup></b>
3.0	0.97 <sup>d</sup>	0.95 <sup>d</sup>	0.75 <sup>e</sup>	<b>0.89<sup>B</sup></b>
4.5	1.15 <sup>c</sup>	1.04 <sup>cd</sup>	0.97 <sup>d</sup>	<b>1.05<sup>B</sup></b>
6.0	2.24 <sup>a</sup>	1.76 <sup>b</sup>	1.07 <sup>cd</sup>	<b>1.69<sup>A</sup></b>
<b>Ortalama Average</b>	<b>1.02<sup>A</sup></b>	<b>0.89<sup>B</sup></b>	<b>0.68<sup>C</sup></b>	
<b>K Konsantrasyonu (%)</b> <i>K Concentration (%)</i>				
0	2.53	2.74	2.67	<b>2.64<sup>C</sup></b>
1.5	3.12	2.85	2.98	<b>2.98<sup>B</sup></b>
3.0	3.00	3.20	3.27	<b>3.16<sup>B</sup></b>
4.5	3.14	3.36	3.37	<b>3.29<sup>A</sup></b>
6.0	2.98	3.11	3.00	<b>3.03<sup>B</sup></b>
<b>Ortalama Average</b>	<b>2.96</b>	<b>3.05</b>	<b>3.06</b>	
<b>K/Na Oranı</b> <i>K/Na Ratio</i>				
0	14.9	15.4	15.4	<b>15.2<sup>A</sup></b>
1.5	5.85	5.60	6.71	<b>6.06<sup>B</sup></b>
3.0	3.07	3.39	4.48	<b>3.65<sup>C</sup></b>
4.5	2.74	3.27	3.47	<b>3.16<sup>C</sup></b>
6.0	1.34	1.77	2.88	<b>2.00<sup>D</sup></b>
<b>Ortalama Average</b>	<b>5.58<sup>B</sup></b>	<b>5.89<sup>B</sup></b>	<b>6.58<sup>A</sup></b>	

Ashraf ve ark. (2010), Si'un bitki hücrelerinde  $\text{Na}^+$  ve  $\text{K}^+$  düzeylerini olumlu yönde etkileyerek bitkide tuz stresinin azaltılabileceğini bildirmişlerdir. Yapraktan 1 ve 2 defa Si uygulamaları tütün bitkisinin yeşil aksam K konsantrasyonunu arttırmış, ancak bu artış istatistiksel olarak önemsiz çıkmıştır (Çizelge 1). Ortalama K konsantrasyonu bakımından sonuçlar değerlendirildiğinde kontrol uygulamalarının K konsantrasyonu %2.96 iken bu değer yapraktan 1 defa Si uygulamalarında %3.05'e, yapraktan 2 defa Si uygulamalarında ise %3.06'ya çıkmıştır. Potasyum, bitki hücrelerinin su durumunu iyileştirmede (Marschner, 1995) ve dolayısıyla  $\text{Na}^+$ 'un toksik etkilerini hafifletmeye katkıda bulunmada önemli bir role sahiptir (Zhu ve Gong, 2014). Alzahrani ve ark. (2018) toprağa artan dozlarda Si uygulamaları ile tuz stresi altındaki buğday bitkisinin K alımına pozitif etki ettiğini bunun da tuz stresine karşı bitkinin dayanıklılığını arttırdığını bildirmişlerdir. Liang ve ark. (1996), plazma membranında H-ATPaze aktivitesinin artışına bağlı olarak yetiştirme ortamına Si'un dahil edilmesiyle tuz stresi altında yetişen bitkilerin K alımında önemli bir artışa, Na alımında azalmaya neden olduğunu bildirmiştir.

Rizosfer bölgesinde  $\text{Na}^+$  konsantrasyonunun artması ile bitki kök hücrelerine  $\text{Na}^+$ 'un girişi artarken,  $\text{K}^+$ 'un hücreye alımı azalmakta, buna bağlı olarak da bitki kök hücrelerinin  $\text{K}/\text{Na}^+$  dengesi bozulmaktadır. Bunun sebebi,  $\text{Na}^+$ 'un,  $\text{K}^+$ 'un bağlanacağı alanlar için  $\text{K}^+$  ile yarışmasıdır (Ahmad ve ark., 2015). Artan dozlarda tuz uygulamaları ile tütün bitkisinin  $\text{K}/\text{Na}$  oranlarında istatistiksel olarak önemli düzeyde azalmaya neden olduğu, ancak yapraktan 1 ve 2 defa Si uygulamaları ile  $\text{K}/\text{Na}$  oranlarında artışa neden olduğu görülmüştür (Çizelge 1). Kontrol uygulamalarının ortalama  $\text{K}/\text{Na}$  oranı 5.58 iken, yapraktan 1 defa Si uygulamasında bu oran 5.89'a, yapraktan 2 defa Si uygulaması ile 6.58'e çıkmıştır. Ahmad ve ark. (2019) maş fasulyesine artan dozlarda (0, 50 ve

100 mM NaCl) tuz ve 2 mM Si uygulamaları ile bitkinin  $\text{K}/\text{Na}$  oranlarının Si uygulaması olmadığı durumlarda azaldığını, buna karşın Si uygulamaları ile  $\text{K}/\text{Na}$  oranının arttığını bildirmişlerdir. Liang ve ark. (1996), tuz stresi altındaki iki farklı arpa çeşidine silisyum uygulamasının bitkilerde  $\text{K}/\text{Na}$  oranını arttırarak sodyumun toksik etkisini hafiflettiğini bildirmişlerdir. Üç farklı tuz (0, 60 ve 100 mM NaCl) dozu ortamında yetiştirilen ayçiçeği bitkisine 30 ve 60 mg Si  $\text{kg}^{-1}$  uygulamasının K konsantrasyonu ile  $\text{K}/\text{Na}$  oranının artırdığını, bunun yanında bitkinin Na alımının ise azaldığı bildirilmiştir (Saqib ve ark., 2011).

Artan dozlarda tuz uygulamaları tütün bitkisinin ortalama Ca, Mg ve P konsantrasyonlarını istatistiksel olarak önemli düzeyde arttırırken, Si uygulamaları bitkinin Ca, Mg ve P konsantrasyonlarında istatistiksel olarak önemli bir değişime neden olmamıştır (Çizelge 2). Tütün bitkisinin T0 dozu koşullarında ortalama Ca konsantrasyonu %2.26 iken bu durum T1.5, T3, T4.5 ve T6 dozunda sıra ile %2.31, %2.49, %2.56 ve %2.57'ye çıktığı görülmüştür. Bunun yanında Si uygulamaları bakımından değerlendirildiğinde ise kontrol uygulamasının ortalama Ca konsantrasyonu %2.39 iken bu durum 1 defa Si uygulamasında %2.53, 2 defa Si uygulamasında ise %2.39 olmuştur. Benzer değişim Mg ve P konsantrasyonlarında da görülmüştür (Çizelge 2). Yapılan çalışmalarda aşırı Na varlığında bitkinin ortamdaki daha fazla Ca alması tuzluluğa karşı toleransın bir göstergesi olarak değerlendirilmektedir (Parvin ve ark., 2019; Mulaudzi ve ark., 2020). Tuz stresi koşullarında buğday ve çeltik bitkilerinin P konsantrasyonlarında artış ve azalışlara neden olduğu (Miransari ve Smith, 2019; Naheed ve ark., 2008), bunun yanında Si uygulamalarının ise bitkide Al, Na, ve Mn toksitesini önleyerek P noksanlığını giderdiği bildirilmiştir (Ma ve Yamaji, 2006).

Çizelge 2. Farklı tuz dozları altında yetiştirilen tütün bitkisine yapraktan Si uygulamalarının tüm bitki Ca, Mg ve P konsantrasyonuna etkisi

Table 2. The effect of foliar Si applications on shoot Ca, Mg and P concentrations of tobacco plants grown under different salt doses.

NaCl Dozu NaCl Dose dS m <sup>-1</sup>	Kontrol Control	Si 1 defa Si 1 times	Si 2 defa Si 2 times	Ortalama Average
	Ca Konsantrasyonu (%) Ca Concentration (%)			
0	2.16	2.34	2.28	<b>2.26<sup>C</sup></b>
1.5	2.44	2.18	2.29	<b>2.31<sup>BC</sup></b>
3.0	2.35	2.66	2.46	<b>2.49<sup>AB</sup></b>
4.5	2.44	2.74	2.48	<b>2.56<sup>A</sup></b>
6.0	2.56	2.73	2.42	<b>2.57<sup>A</sup></b>
<b>Ortalama Average</b>	<b>2.39</b>	<b>2.53</b>	<b>2.39</b>	
Mg Konsantrasyonu (%) Mg Concentration (%)				
0	0.44	0.50	0.47	<b>0.47<sup>B</sup></b>
1.5	0.54	0.49	0.53	<b>0.52<sup>B</sup></b>
3.0	0.55	0.59	0.60	<b>0.58<sup>A</sup></b>
4.5	0.56	0.63	0.63	<b>0.61<sup>A</sup></b>
6.0	0.56	0.61	0.57	<b>0.58<sup>A</sup></b>
<b>Ortalama Average</b>	<b>0.53</b>	<b>0.53</b>	<b>0.56</b>	
P Konsantrasyonu (%) P Concentration (%)				
0	0.24	0.23	0.24	<b>0.24<sup>B</sup></b>
1.5	0.25	0.25	0.24	<b>0.24<sup>B</sup></b>
3.0	0.25	0.26	0.26	<b>0.26<sup>A</sup></b>
4.5	0.27	0.25	0.26	<b>0.26<sup>A</sup></b>
6.0	0.26	0.27	0.25	<b>0.26<sup>A</sup></b>
<b>Ortalama Average</b>	<b>0.25</b>	<b>0.25</b>	<b>0.25</b>	

## Sonuçlar

Sonuçlar genel olarak değerlendirildiğinde, artan dozlarda tuz uygulamaları altında yetiştirilen tütün bitkisinin yeşil aksam kuru madde veriminde istatistiksel olarak önemli azalmaların olduğu, buna karşılık yapraktan 1 ve 2 defa Si uygulamaları ile tütün bitkisinin yeşil aksam kuru madde verimlerinde ortaya çıkan azalmanın daha az düzeyde olduğu belirlenmiştir. Tütün bitkisinin yeşil aksam Na konsantrasyonunun artan dozlarda NaCl uygulamaları ile paralel şekilde arttığı, buna karşın Si uygulamaları ile Na konsantrasyonunda ortaya çıkan artışın daha düşük olmasına neden olmuştur. Silisyum uygulamaları tütün bitkisinin Na konsantrasyonlarında azalmaya neden olurken, K konsantrasyonlarında (istatistiksel olarak önemsiz çıkmasına rağmen) ve buna bağlı olarak da K/Na oranlarında artışa neden olmuş ve buda bitkinin tuza karşı dayanıklılığını arttırmıştır.

Silisyum uygulamaları bakımından sonuçlar değerlendirildiğinde yapraktan 2 defa Si uygulamalarının bitkinin tuza karşı dayanıklılığını arttırmada daha etkili olduğu görülmüştür.

**Çıkar Çatışması Beyanı:** Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

**Yazar Katkısı:** Yazarlar makaleye eşit oranda katkıda bulduklarını beyan ederler.

## Kaynaklar

- Abbas, T., Balal, R. M., Shahid, M. A., Pervez, M. A., Ayyub, C. M., Aqueel, M. A. & Javaid, M. M. (2015). Silicon-induced alleviation of NaCl toxicity in okra (*Abelmoschus esculentus*) is associated with enhanced photosynthesis, osmoprotectants and antioxidant metabolism. *Acta Physiologiae Plantarum*, 37(2), 1-15.
- Abbasi, G. H., Akhtar, J., Ahmad, R., Jamil, M., Anwar-ul-Haq, M., Ali, S. & Ijaz, M. (2015). Potassium

- application mitigates salt stress differentially at different growth stages in tolerant and sensitive maize hybrids. *Plant growth regulation*, 76(1), 111-125.
- Ahmad, P., Ahanger, M. A., Alam, P., Alyemeni, M. N., Wijaya, L., Ali, S. & Ashraf, M. (2019). Silicon (Si) supplementation alleviates NaCl toxicity in mung bean [*Vigna radiata* (L.) Wilczek] through the modifications of physio-biochemical attributes and key antioxidant enzymes. *Journal of Plant Growth Regulation*, 38(1), 70-82.
- Ahmad, P., Hashem, A., Abd-Allah, E. F., Alqarawi, A., John, R., Egamberdieva, D. & Gucl, S. (2015). Role of *Trichoderma harzianum* in mitigating NaCl stress in Indian mustard (*Brassica juncea* L) through antioxidative defense system. *Frontiers in plant science*, 6, 868.
- Aktas, H., Abak, K. & Cakmak, I. (2006). Genotypic variation in the response of pepper to salinity. *Scientia Horticulturae*, 110(3), 260-266.
- Alzahrani, Y., Kuşvuran, A., Alharby, H. F., Kuşvuran, S. & Rady, M. M. (2018). The defensive role of silicon in wheat against stress conditions induced by drought, salinity or cadmium. *Ecotoxicology and environmental safety*, 154, 187-196.
- Ashraf, M., Afzal, M., Ahmed, R., Mujeeb, F., Sarwar, A. & Ali, L. (2010). Alleviation of detrimental effects of NaCl by silicon nutrition in salt-sensitive and salt-tolerant genotypes of sugarcane (*Saccharum officinarum* L.). *Plant and Soil*, 326(1), 381-391.
- Ashraf, M., Kanwal, S., Tahir, M., Sarwar, A. & Ali, L. (2007). Differential salt tolerance of sugarcane genotypes. *Pakistan Journal of Agricultural Sciences*, 44(1), 85-89.
- Eker, S., Cömertpay, G., Konaşkan, Ö., Ülger, A. C., Öztürk, L. & Çakmak, İ. (2006). Effect of salinity stress on dry matter production and ion accumulation in hybrid maize varieties. *Turkish journal of agriculture and forestry*, 30(5), 365-373.
- Ekmekçi, E., Apan, M. & Kara, T. (2005). Tuzluluğun bitki gelişimine etkisi. *Anadolu tarım bilimleri dergisi*, 20(3), 118-125.
- Dikilitaş, S. K., & Dikilitaş, M. (2021). Determination of the physiological and biochemical effects of humic acid application in strawberry plant grown under salt stress. *Harran Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi*, 25(3), 326-335.
- Hao, S., Wang, Y., Yan, Y., Liu, Y., Wang, J. & Chen, S. (2021). A review on plant responses to salt stress and their mechanisms of salt resistance. *Horticulturae*, 7(6), 132.
- Ibrahim, M., Akhtar, J., Younis, M., Riaz, M., Anwarul-Haq, M. & Tahir, M. (2007). Selection of cotton (*Gossypium hirsutum* L.) genotypes against NaCl stress. *Soil and Environment*, 26(1), 59-63.
- Kacar, B. & İnal, A. (2008). *Bitki analizleri* (Vol. No: 1241). Ankara: Nobel Yayın Dağıtım.
- Kang, J., Zhao, W., Zhao, M., Zheng, Y. & Yang, F. (2015). NaCl and Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> coexistence strengthens growth of the succulent xerophyte *Nitraria tangutorum* under drought. *Plant growth regulation*, 77(2), 223-232.
- Kaya, A., & İnan, M. (2017). Tuz (NaCl) stresine maruz kalan reyhan (*Ocimum basilicum* L.) bitkisinde bazı morfolojik, fizyolojik ve biyokimyasal parametreler üzerine salisilik asidin etkileri. *Harran Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi*, 21(3), 332-342.
- Liang, Y., Chen, Q., Liu, Q., Zhang, W. & Ding, R. (2003). Exogenous silicon (Si) increases antioxidant enzyme activity and reduces lipid peroxidation in roots of salt-stressed barley (*Hordeum vulgare* L.). *Journal of plant physiology*, 160(10), 1157-1164.
- Liang, Y., Shen, Q., Shen, Z. & Ma, T. (1996). Effects of silicon on salinity tolerance of two barley cultivars. *Journal of Plant Nutrition*, 19(1), 173-183.
- Ma, J. F. & Yamaji, N. (2006). Silicon uptake and accumulation in higher plants. *Trends in plant science*, 11(8), 392-397.
- Marschner, H. (1995). Nutritional physiology. In H. Marschner (Ed.), *Mineral Nutrition of Higher Plants*. (Vol. 2nd ed., pp. 313-363). London: Academic Press.
- Meena, V., Dotaniya, M., Coumar, V., Rajendiran, S., Kundu, S. & Subba Rao, A. (2014). A case for silicon fertilization to improve crop yields in tropical soils. *Proceedings of the National Academy of Sciences, India Section B: Biological Sciences*, 84(3), 505-518.
- Miransari, M. & Smith, D. (2019). Sustainable wheat (*Triticum aestivum* L.) production in saline fields: a review. *Critical reviews in biotechnology*, 39(8), 999-1014.
- Moussa, H. R. (2006). Influence of exogenous application of silicon on physiological response of salt-stressed maize (*Zea mays* L.). *Int. J. Agric. Biol*, 8(3), 293-297.
- Mulauzdi, T., Hendricks, K., Mabiya, T., Muthevhuli, M., Ajayi, R. F., Mayedwa, N., . . . Iwuoha, E. (2020). Calcium Improves germination and growth of *Sorghum bicolor* seedlings under salt stress. *Plants*, 9(6), 730.
- Muneer, S. & Jeong, B. R. (2015). Proteomic analysis of salt-stress responsive proteins in roots of tomato (*Lycopersicon esculentum* L.) plants towards silicon efficiency. *Plant growth regulation*, 77(2), 133-146.
- Munns, R. & Tester, M. (2008). Mechanisms of salinity tolerance. *Annu. Rev. Plant Biol.*, 59, 651-681.
- Naheed, G., Shahbaz, M., Akram, N. A. & Ashraf, M. (2008). Interactive effect of rooting medium application of phosphorus and NaCl on plant biomass and mineral nutrients of rice (*Oryza sativa* L.). *Pak. J. Bot*, 40(4), 1601-1608.
- Nefissi Ouertani, R., Abid, G., Karmous, C., Ben Chikha, M., Boudaya, O., Mahmoudi, H., . . . Ghorbel, A. (2021). Evaluating the contribution of osmotic and oxidative stress components on barley growth under salt stress. *AoB Plants*, 13(4), plab034.
- Özcan, H. (2000). Tuz Stresinde Bazı Nohut (*Cicer aietinum* L. cvs.) Çeşitlerinin Gelişimi ve Prolin, Sodyum, Klor, Fosfor ve Potasyum Konsantrasyonlarındaki Değişimler. *Turkish journal of agriculture and forestry*, 24(6), 649-654.
- Öztekin, G. B. & Tural, A. (2021). Kuzu Marulu (*Valerianella locusta* (L.) Laterr) Yetiştiriciliğinde Besin Solüsyonuna Silisyum İlavesinin Tuz Stresine Karşı Etkileri. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fen Bilimleri Dergisi*, 37(1), 36-46.



- Parvin, K., Nahar, K., Hasanuzzaman, M., Bhuyan, M. & Fujita, M. (2019). Calcium-mediated growth regulation and abiotic stress tolerance in plants. In *Plant abiotic stress tolerance* (pp. 291-331): Springer.
- Peksüslü, A. (1998). Bazı Türk Tütün Çeşitlerinin İzmir-Bornova Koşullarında Morfolojik, Fizyolojik ve Biyokimyasal Özellikleri. *EÜ Fen Bilimleri Enstitüsü (Doktora Tezi). Bornova-İzmir*.
- Poustini, K. & Siosemardeh, A. (2004). Ion distribution in wheat cultivars in response to salinity stress. *Field crops research*, 85(2-3), 125-133.
- Qian, Q.-Q., Zai, W.-S., Zhu, Z.-J. & Yu, J.-Q. (2006). Effects of exogenous silicon on active oxygen scavenging systems in chloroplasts of cucumber (*Cucumis sativus* L.) seedlings under salt stress. *Zhi wu Sheng li yu fen zi Sheng wu xue xue bao= Journal of Plant Physiology and Molecular Biology*, 32(1), 107-112.
- Romero-Aranda, M. R., Jurado, O. & Cuartero, J. (2006). Silicon alleviates the deleterious salt effect on tomato plant growth by improving plant water status. *Journal of plant physiology*, 163(8), 847-855.
- Saqib, R. M., Ashraf, M., Shahzad, S. M. & Imtiaz, M. (2011). Silicon nutrition for mitigation of salt toxicity in sunflower (*Helianthus annuus* L.). *International Journal of Agriculture and Applied Sciences (Pakistan)*.
- Schaller, J., Puppe, D., Kaczorek, D., Ellerbrock, R. & Sommer, M. (2021). Silicon cycling in soils revisited. *Plants*, 10(2), 295.
- Servet, A. R. A. S., & Eşitken, A. (2018). Effects of silicon to salt stress on strawberry plant. *Harran Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi*, 22(4), 478-483.
- Shafiq, F., Iqbal, M., Ali, M. & Ashraf, M. A. (2021). Fullerenol regulates oxidative stress and tissue ionic homeostasis in spring wheat to improve net-primary productivity under salt-stress. *Ecotoxicology and environmental safety*, 211, 111901.
- Shah, J. P. & Thivakaran, G. A. (2014). GIS study on chemical properties of salt affected soils of coastal kachchh, Gujarat, India. *Annual Research & Review in Biology*, 3492-3503.
- Shahzad, M., Zörb, C., Geilfus, C. M. & Mühling, K. H. (2013). Apoplastic Na<sup>+</sup> in *Vicia faba* leaves rises after short-term salt stress and is remedied by silicon. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 199(3), 161-170.
- Sidari, M., Santonoceto, C., Anastasi, U., Preiti, G. & Muscolo, A. (2008). Variations in four genotypes of lentil under NaCl-salinity stress. *American Journal of Agriculture and Biological Science*, 3, 410-416.
- Singh, A., Singh, R. & Singh, K. (2005). Growth, yield and economics of rice (*Oryza sativa*) as influenced by level and time of silicon application. *Indian Journal of Agronomy*, 50(3), 190-193.
- Taha, R. S., Seleiman, M. F., Shami, A., Alhammad, B. A. & Mahdi, A. H. (2021). Integrated application of selenium and silicon enhances growth and anatomical structure, antioxidant defense system and yield of wheat grown in salt-stressed soil. *Plants*, 10(6), 1040.
- Talaat, N. B., Ghoniem, A. E., Abdelhamid, M. T. & Shawky, B. T. (2015). Effective microorganisms improve growth performance, alter nutrients acquisition and induce compatible solutes accumulation in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) plants subjected to salinity stress. *Plant growth regulation*, 75(1), 281-295.
- Tuna, A. L., Kaya, C., Higgs, D., Murillo-Amador, B., Aydemir, S. & Girgin, A. R. (2008). Silicon improves salinity tolerance in wheat plants. *Environmental and Experimental Botany*, 62(1), 10-16.
- Turhan, A., Seniz, V. & Kuscu, H. (2009). Genotypic variation in the response of tomato to salinity. *African Journal of biotechnology*, 8(6).
- Uras, S. & Sonmez, S. (2010). Tarım Alanlarında Tuzluluk Oluşumu ve Bitkiler ile Çevre Üzerine Etkileri. *Ege Üniversitesi Zir. Fak. Dergisi*, 574-579.
- Zhao, S., Zhang, Q., Liu, M., Zhou, H., Ma, C. & Wang, P. (2021). Regulation of plant responses to salt stress. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(9), 4609.
- Zhu, Y. & Gong, H. (2014). Beneficial effects of silicon on salt and drought tolerance in plants. *Agronomy for sustainable development*, 34(2), 455-472.
- Zuccarini, P. (2008). Effects of silicon on photosynthesis, water relations and nutrient uptake of *Phaseolus vulgaris* under NaCl stress. *Biologia Plantarum*, 52(1), 157-160.