



Tarım Bilimleri Dergisi
Tar. Bil. Der.

Dergi web sayfası:
www.agri.ankara.edu.tr/dergi

Journal of Agricultural Sciences

Journal homepage:
www.agri.ankara.edu.tr/journal

Çeltikte (*Oryza sativa* L.) Tuz Stresinin Azaltılmasında Silisyumlu Gübrelemenin Etkisi

Ayhan HORUZ^a, Ahmet KORKMAZ^a

^aOndokuzmayıs Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, 55139, Samsun, TÜRKİYE

ESER BİLGİSİ

Araştırma Makalesi

DOI: 10.1501/Tarimbil_0000001281

Sorumlu Yazar: Ayhan HORUZ, E-posta: ayhanh@omu.edu.tr, Tel: +90 (362) 312 19 19/1061

Geliş Tarihi: 19 Temmuz 2013, Düzeltmelerin Gelişi: 20 Şubat 2014, Kabul: 06 Mart 2014

ÖZET

Toprak tuzluluğu bitki verim ve kalitesini olumsuz yönde etkileyen en önemli abiyotik stres faktörlerinden birisidir. Silisyum (Si) bitkilerde stres faktörlerini azaltan bir element olarak bilinmektedir. Bu çalışmanın amacı, tuz x Si interaksyonunun çeltik dane verimine, tuzlaşmanın toprakların yarayırlı Si kapsamına ve tuz stresinin önlenmesinde Si'un etkilerini incelemektir. Bu amaçla Samsun yöresi çeltik topraklarından 5 adet toprak örneği alınmıştır. Topraklarda farklı tuz düzeyi oluşturmak için 9:5:5:1 oranında Na₂SO₄:NaCl:CaCl₂:MgSO₄ tuz karışımından 1, 2, 3, 4 ve 5 no'lu topraklara EC değeri sırasıyla, 10.27, 3.55, 10.98, 5.75 ve 7.22 dS m⁻¹'ye ulaşacak şekilde uygulanmıştır. Topraklarda faktöriyel denemedenesine göre (2x5)³ tekerrürlü seradenemesi kurularak çeltik bitkisi yetiştirilmiştir. Hertuz seviyesinde (tuzsuz ve tuzlu) topraklara 0, 50, 100, 200 ve 400 mg Si kg⁻¹ silisik asit (H₄SiO₄) verilmiştir. Ayrıca bütün topraklara toprak analizine göre yarayırlı NPK seviyeleri eşitlenecek şekilde gübreleme yapılmıştır. Silisyum gübrelemesiyle çeltik dane veriminde sağlanan ortalama artışın EC'si 3.55 dS m⁻¹ olan toprakta % 55.5 ile EC'si 10.98 dS m⁻¹ olan toprakta ise % 2.31 arasında olduğu tespit edilmiştir. Tuz x Si interaksyonu 4 toprakta önemli olduğu ve optimum Si dozunun toprakların tuz seviyelerine göre değiştiği belirlenmiştir. Toprakların EC seviyeleri arttıkça yarayırlı Si kapsamında ve Si gübrelemesinin çeltik dane veriminde sağladığı artışlarda azalma görülmüştür. Silisyum çeltik danesinin Na içeriğini genellikle azaltırken; K içeriğini artırmış; Ca, Mg ve P içeriğinde ise belirgin bir eğilim gözlenmemiştir. Çeltiğin dane verimi ile Na içeriği arasında çok önemli negatif ilişki (R = - 0.664) elde edilirken, silisyumlu gübreleme danenin K/Na, Ca/Na, Mg/Na ve P/Na oranlarını genellikle artırmıştır. Sonuç olarak, tuzlu topraklarda yetiştirilen çeltik bitkisine uygulanacak optimum Si dozunun 200 mg kg⁻¹ olduğu ve çeltik yetiştiriciliğinde silisyumlu gübrelemenin toprakta tuzluluk ve alkaliliğin zararlarını azaltan pratik bir uygulama olabileceği kanaatine varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Tuz; Çeltik toprağı; Çeltik; Dane verimi; Yarayırlı Si ve Na

The Effect of Silicon Fertilization on Reducing Salt Stress in Rice (*Oryza sativa* L.)

ARTICLE INFO

Research Article

Corresponding Author: Ayhan HORUZ, E-mail: ayhanh@omu.edu.tr, Tel: +90 (543) 762 00 43

Received: 19 July 2013, Received in Revised Form: 20 February 2014, Accepted: 06 March 2014

ABSTRACT

Soil salinity is one of the most significant abiotic stress factors that adversely affect yield and quality. Silicon (Si) is known as a nutrient element reducing the deleterious effects of these stresses in plants. The objective of this study was to investigate the effect of salt x Si interaction on rice yield, the effect of salinity on available Si content of soils and the reducing effect of silicon on salt induced-stresses. For this aim, 5 different soil samples were taken from rice grown soils around Samsun. To obtain the different salt levels in soils, a salt mixture of $\text{Na}_2\text{SO}_4:\text{NaCl}:\text{CaCl}_2:\text{MgSO}_4$ at the 9:5:5:1 ratio were added into the soil 1, 2, 3, 4, and 5 to reach 10.27, 3.55, 10.98, 5.75 and 7.22 dS m^{-1} EC values, respectively. A greenhouse experiment was conducted in factorial experimental design (2 x 5) with three replicates in each soil with growing rice plant. In each salt level (non-saline and saline) 0, 50, 100, 200, and 400 mg Si kg^{-1} as silicic acid (H_4SiO_4) were given into the soils. Also, NPK fertilizations according to the soil analyses were made to obtain the same levels of these elements in each soil. Increases in the mean grain yield upon silicon fertilization ranged between 55.5% for the soil having 3.55 dS m^{-1} EC and 2.31% for the soil having 10.98 dS m^{-1} EC. The salt x Si interaction was significant in 4 soils and the optimum Si rate for each soil was dependent on salinity levels of the soils. Increments in the available Si concentration of soils and the rice grain yield by silicon fertilization decreased with increasing EC values of soils. While silicon decreased Na concentration of rice grain; K concentration increased; Ca, Mg and P concentrations did not show any distinct tendency. Rice grain yield had a significant negative relation with Na content ($R = -0.664$) while silicon fertilization increased the ratios of K/Na, Ca/Na, Mg/Na and P/Na. Consequently, it was determined that the optimum Si dose for rice grown in saline soils was 200 mg kg^{-1} and silicon fertilization could be a practical way of reducing the deleterious effect of soil salinity and alkalinity in rice cultivation.

Key words: Salt; Paddy soil; Rice; Grain yield; Available Si and Na

© Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi

1. Giriş

Toprak tuzluluğu, bitkisel verimi azaltan abiotik stres faktörü (Saqib et al 2011) olmasının yanında, tarım alanlarında etkisini artırarak devam ettiren önemli bir agronomik problemdir (Flower 2006). Tuz stresi, tarımı yapılan birçok bitki türünde verim ve kalite azalmalarına neden olmaktadır. Topraktaki tuzluluk düzeyi 2 dS m^{-1} 'in üzerine çıktığında hassas bitkilerde verimde azalmalar başlamakta, 4.5 dS m^{-1} olunca % 50 oranında ürün kaybı olabilmektedir (Maas 1990). Kurak ve yarı kurak iklime sahip bölge topraklarının tuzlaşmasında en büyük etmenlerden biri tarım alanlarının aşırı sulanması ve kullanılan sulama suyunun yetersiz kalitede olması nedeniyle evapotranspirasyon sonucu, suda çözülmüş haldeki tuzların toprak yüzeyinde ve bitki kök bölgesinde birikmesidir (Mahajan & Tuteja 2005). Tuz stresine dayanıklı halofitler tuz içeriği % 2-6'dan % 20'ye kadar olan topraklarda yaşamlarını devam ettirebilirlerken (Strogonov 1964); hassas olan glükofitlerin, NaCl tuz kapsamı % 0.01'in üzerinde olan topraklarda fizyolojik fonksiyon bozukluğu gösterdiği, çeşitli derecelerde

zarara uğradığı ve gelişiminin olumsuz etkilendiği bildirilmiştir (Ungar 1991; Shannon et al 1994).

Toprak çözeltisinde CaCl_2 , NaCl , MgSO_4 , NaHCO_3 , Na_2SO_4 ve CaSO_4 gibi birçok tuz formu bulunmaktadır (Marschner 1995). Ancak, bitkisel üretimde en fazla ürün kaybına neden olan tuz NaCl 'dir. Toprakta NaCl birikimine bağlı tuz artışı, bitkilerin büyüme ve gelişmelerinde önemli derecede gerilemelere neden olmaktadır (Hilal et al 1997). Tuz zararı olarak bilinen bu olayda bitkilerin morfolojisi ve anatomisinde gözlenebilen önemli değişimler ortaya çıkmaktadır (Lewitt 1980). Toprak çözeltisinde tuz konsantrasyonu arttığında suyun osmotik potansiyeli artmakta ve bitkiler su dengesini koruyabilmek için stomalarını kapattıklarından, solunum ve fotosentez gibi biyokimyasal olayların gerilemesi sonucu bitki büyümesi, verim miktar ve kalitesi azalmaktadır. Hatta ağırlaşan ve/veya sürekli hale gelen stres koşullarında yükselen Na konsantrasyonu önce hücre membran fonksiyonlarını, metabolik aktivitenin azalmasına bağlı hücre içi iyon dengesini bozarak, hücre büyümesinin durmasına ve ölümüne

neden olmaktadır (Ashraf et al 1994; Rus et al 2001; Ashraf & Harris 2004).

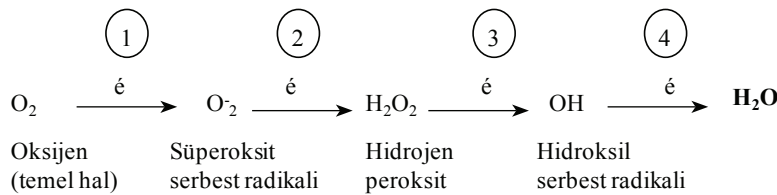
Tuzlu topraklar yüksek oranda Na:Ca, Na:K, Ca:Mg ve Cl:NO₃ içerirler. Bu durum iyon dengesizliği nedeni ile bitki büyüme süreçlerinin fizyolojik ve metabolik bileşenlerinde olumsuz değişmelere sebep olur (Ali et al 2012). Tuzluluk, toprakta yüksek oranda çözülmüş durumdaki iyonların osmotik potansiyeli artırması sonucu, toprak suyunun bitkiler tarafından kullanılamamasına; bitki dokularında Na⁺ ve Cl⁻ konsantrasyonlarının artışı ile K⁺/Cl⁻ oranının değişmesi nedeniyle spesifik iyon toksitesine neden olmaktadır. (Apse & Blumwald 2002). Tuzlardan kaynaklanan iyonların toksik seviyesi bitki hücrelerinin membran stabilitesini, enzimlerin etkinliğini, su dengesini, mineral beslenmeyi, yağ depo ve sentezini olumsuz etkiler (Saqib et al 2011; Yetişir & Uygur 2009).

Tuzlu topraklara uygulanan silisyum, tuzları Na-silikat şeklinde bağlayarak bitki tarafından alınan Na miktarını ve bitkilerde oluşacak tuz zararını yani tuz stresini azalmaktadır. Bu etki; fotosentetik aktivitenin K/Na oranının, enzim aktivitesinin ve ksilemde çözünebilir madde konsantrasyonunun artmasıyla gerçekleşir (Liang 1999; Matichenkov & Bocharnikova 2001). Diğer taraftan SiO₂'in çeltik kavuzunda depolanması, transpirasyonu azaltır ve su stresini önler. Ayrıca silisyum, tuz stresi şartlarında etileni (C₂H₄) uyarmak suretiyle yaprakların süperoksit dismutaz aktivitesini (SDA) artırarak hücrede lipidlerin peroksidasyonuna sebep olan reaktif oksijen türlerini (süperoksit radikali 'O₂'

H₂O₂ ve 'OH) baskılamaktadır (Alexieva et al 2003; Edreva 2005). Bu olay süperoksit olarak adlandırılan reaktif oksijen türlerinin H⁺-ATPaz (H⁺ pompası) tarafından protonlanarak H₂O'ya indirgenmesiyle gerçekleştirilmektedir (Şekil 1). Bu sayede bitkiler için hayati öneme sahip plazma membranlarının fonksiyonu, strüktürel yapısı ve dengesi korunmaktadır (Liang & Ding 2002; Munns & Tester 2008).

Silisyumun tuz stresini hafiflettiğine dair pek çok çalışma yapılmıştır (Matoh et al 1986; Yeo et al 1999). Bu etkilere ilave olarak diğer biyotik ve abiyotik faydaları Epstein (2001), Ma (2004) ve Zhu et al (2011) tarafından detaylı bir şekilde tartışılmıştır. Ma et al (2001), çeltikte silisyumun su dengesinin sağlanmasındaki önemine bağlı olarak kurak periyotlarda silisyum gübrelemesinin gerekli olduğunu bildirmiştir. Silisyum seven (silisyumu kolayca absorbe etme ve depolama kabiliyetine sahip) bir bitki olan çeltikte (İdris et al 1975; Balasta & Perez 1989) silisyum sap dayanaklığını ve tahıllarda yatmaya karşı direnci artırdığı bildirilmiştir (Epstein 1994). Tuna et al (2008), tam besin solüsyonunda ve tuz stresi altında (100 mM NaCl) gelişen buğday bitkisine 0.25 ve 0.5 mM Na₂SiO₃ ilavesinin tuzluluğun bitki kuru madde ve klorofil içeriği üzerindeki negatif etkilerini kaldırdığını ifade etmişlerdir. Ayrıca, silisyum ilavesiyle yapraklarda prolin içeriği ve membran permeabilitesinin azaldığını bildirmişlerdir.

Bu çalışmada; çeltik bitkisinde silisyumun tuz stresinin önlenmesindeki etkilerini tespit etmek amacıyla, tuz x Si interaksyonunun çeltik dane



Şekil 1- Oksijenin mono elektron redüksiyonu ile H₂O'ya indirgenmesi (Acar 1999)

Figure 1- Reduction of oxygen to the H₂O through mono electron reduction (Acar 1999)

verimine, tuzluluğun toprakların yarayışlı Si kapsamına ve çeltik danesinin Na içeriği üzerine etkileri belirlenmiştir.

2. Materyal ve Yöntem

Samsun'un Bafra ilçesinden farklı tuzluluk ve alkalilik derecesine sahip çeltik topraklarından 5 adet kompozit yüzey toprak (0-20 cm) örneği alınmıştır. Toprak örneklerinin alındıkları yerler, GPS koordinatları, bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri Çizelge 1'de, tuzlu toprakların EC ve yarayışlı Si kapsamı ile orijinal toprakların besin elementi kapsamları Çizelge 2'de verilmiştir.

Yöre çeltik topraklarında tuz stresinin azaltılmasında silisyumlu gübrelemenin etkisini belirlemek amacıyla, Ondokuzmayıs Üniversitesi Ziraat Fakültesinde, 3 tekerrürlü olarak 2 (kontrol ve tuz eklenmiş) x 5 (Si gübreleme dozu) faktöriyel deneme desenine göre bir sera denemesi kurulmuştur. Denemede saksılara 4 mm den elenmiş 2 kg fırın kuru toprak konulmuştur. Orijinalinde farklı sodyum absorpsiyon oranı (SAO) ve EC değerlerine sahip bu topraklarda farklı tuz stresi oluşturmak için 1, 2, 3, 4 ve 5 nolu topraklara (EC değerlerini sırasıyla, 10.27, 3.55, 10.98, 5.75 ve 7.22 dS m⁻¹ seviyelerine yükseltmek için) farklı miktarlarda 9:5:5:1 oranında Na₂SO₄:NaCl:CaCl₂:MgSO₄ tuz karışımı uygulanmıştır. Topraklara her iki tuz seviyesinde (tuzsuz ve tuzlu) ekimden önce 0, 50, 100, 200 ve 400 mg kg⁻¹ dozlarında Si gübresi (silisik asit, H₄SiO₄), 75 mg N kg⁻¹ (NH₄)₂SO₄ (% 21 N) ve 60 mg P₂O₅ kg⁻¹ triple süper fosfat (% 42 P₂O₅) gübrelere verilerek homojen bir şekilde karıştırılmıştır.

Her saksıya 15.07.2011 tarihinde ön çimlenmeye tabi tutulmuş 20 adet Osmancık-77 çeltik tohumu ekilmiştir. Çıkış sonrası her saksıda 15 bitki kalacak şekilde seyreltme yapılmıştır. Çeltiğin kardeşlenme ve sapa kalkma dönemlerinde sırasıyla 75 ve 50 mg kg⁻¹ ilave azot amonyum sülfat formunda; başaklanma döneminde ise 100 mg kg⁻¹ N üre formunda uygulanmıştır. Topraklara saturasyon yüzdelere getirecek miktarlarda su verildikten sonra saksı içerisinde toprak üzerinde 5 cm su yüksekliği oluşacak şekilde sulama yapılmıştır. Gün aşırı eksilen su, saksılara tartılarak ilave edilmiştir.

Denemede çeltik bitkileri 05.12.2011 tarihinde hasat edilmiştir. Çeltiğin kavuzlu dane örnekleri 65 °C'de kurutulduktan sonra verim miktarları (g saksı⁻¹) belirlenmiş ve çelik değirmende öğütülerek homojen hale getirilmiştir. Tuzlu topraklarda silisyum gübrelemesinin kontrole (Si: 0 dozu) göre dane miktarında sağladığı değişim aşağıdaki gibi hesaplanmıştır (Aktaş 1994).

% Değişim = (Tuzlu topraktaki silisli dane ürün - Tuzlu topraktaki kontrol ürün)/(Tuzlu topraktaki kontrol ürün) x 100

2.1. Toprak analizleri

Toprak örneklerinde tekstür (Bouyoucos 1951); pH, EC ve SAO (Soil Survey Laboratory 1992); KDK (Rhoades 1986); kireç (Soil Survey Staff 1993); organik madde (Kacar 1994); toplam N (Bremner & Mulvaney 1982); Olsen-P spektrofotometrik olarak; K, Ca, Mg ve Na AAS (Perkin-Elmer, A-400) ile (Kacar 1994); yarayışlı Fe, Mn, Zn ve Cu AAS ile (Lindsay & Norvell 1978); yarayışlı silisyum 0.18 M NaOAC + 0.87 M CH₃COOH pH= 4.0 ile ekstrakte edilerek ICP-OES (Perkin-Elmer, DV) Optima 2100 ile belirlenmiştir (Kacar & İnal 2008).

2.2. Bitki analizleri

Kavuzlu çeltik danesi 550 °C'de kuru yakma metodu ile yakıldıktan sonra Na, K, Ca ve Mg içeriği AAS ile P içeriği ise spektrofotometrik yöntemle Kacar & İnal (2008)'a göre belirlenmiştir.

2.3. İstatiksel analizler

Tuzsuz ve tuzlu toprak şartlarında Si gübrelemesi ile yetiştirilen çeltik bitkisinden elde edilen verilere SPSS (version 17.0) paket programında ANOVA analizi uygulanmış ve ortalamalar Tukey testi ile P<0.05 seviyesinde karşılaştırılmıştır (Yurtsever 1984).

3. Bulgular ve Tartışma

3.1. Tuzun, silisyum gübrelemesinin ve tuz x silisyum interaksiyonunun çeltik dane verimine etkisi

Çeltik topraklarında tuzun, silisyum gübrelemesinin ve tuz x silisyum interaksiyonunun çeltik dane verimine etkisi Çizelge 3'de verilmiştir. Silisyum

Çizelge 1- Toprak örneklerinin alındıkları yerler ve bazı fizikokimyasal özellikleri

Table 1- Location of soil samples and their physicochemical properties

Toprak No	Yeri	GPS	Kum	Silt	Kil	pH	OM	EC	SAO
			%	%	%	1:1	%	dS m ⁻¹	
1	Bafra-Emenli1	N 4140147 E 03549335	12.55	15.10	72.35	7.85	2.88	0.57	2.36
2	Bafra-Emenli2	N 4138143 E 03551494	17.90	25.43	56.67	7.91	3.48	0.43	0.62
3	Bafra-Sahilkent	N 4140934 E 03552754	15.63	27.52	56.85	7.79	3.36	0.83	1.47
4	Bafra-Doğancı1	N 4137800 E 03601589	13.09	15.10	71.81	8.08	3.65	0.55	3.16
5	Bafra-Dağancı2	N 4139449 E 03600800	26.77	36.10	37.13	7.75	3.56	0.54	0.46

Çizelge 2- Tuzlu toprakların EC ve yarayırlı Si kapsamı ile orijinal toprakların besin element kapsamı

Table 2- EC and available Si contents of saline soils and available Si and available nutrient contents of untreated soils

Toprak No	Tuzlu toprak		Orijinal toprak yarayırlı		Orijinal toprakta ekstrakte edilebilir katyonlar				Orijinal toprakta yarayırlı mikro elementler			
	EC	Yarayırlı Si	Si	P	Na	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu
	(dS m ⁻¹)	(mg kg ⁻¹)	(mg kg ⁻¹)			(mek 100 g ⁻¹)			(mg kg ⁻¹)			
1	10.27	9.36	12.42	38.42	10.91	0.58	37.5	14.46	74	68	0.51	5.12
2	3.55	8.96	14.46	49.92	2.05	0.72	35.0	9.88	123	59	0.54	6.46
3	10.98	10.10	13.71	20.66	10.04	0.56	36.0	11.28	107	35	0.72	6.53
4	5.75	9.98	13.72	47.43	7.52	0.70	33.5	17.30	34	12	0.55	7.97
5	7.22	10.47	11.49	33.27	7.87	0.63	34.2	10.71	153	59	1.06	8.40

uygulanmasıyla elde edilen çeltik dane verimlerine ait genel ortalamalar dikkate alındığında 1, 2 ve 3 nolu topraklarda azalma; 4 ve 5 nolu topraklarda ise artış olduğu tespit edilmiştir. Genellikle yüksek dozlarda tuzun fazla miktarda azalmaya; düşük dozlarda tuzun ise az miktarda azalış veya artışlara neden olduğu görülmüştür. Azalmanın nedeni Na'nın toksik etkisi ile iyon dengesizliğine (Na-Ca, Na-K, Na-Mg) sebep olmasından veya Si uygulanmasına rağmen bitkilerde tuz direncinin fazla gelişmemesinden kaynaklanmıştır (Lee

et al 2001; Tuna et al 2008). Dane verimindeki artışın nedeni ise az miktarda tuz ilavesinin dane veriminde olumlu etkilere sebep olduğu ve tuz karışımında K, Ca ve Mg'un verimi artırmasıyla ilgili olabilir (Kacar & Katkat 2009). Bu etki düşük tuz seviyelerinde çeltik bitkisinin tuz toleransının Si ilavesiyle daha yüksek seviyede gerçekleşmiş olmasından ve silisyumun özellikle Na tuzları ile kompleksler oluşturarak Na'nın olumsuz etkisini azaltmasından da kaynaklanabilir (Hussain & Rehman 1992; Kardoni et al 2013). Çünkü birçok

araştırmacı silisyumun toprakta tuzların zararlı etkilerini hafifleterek çeltik ve diğer birçok bitkide verimi olumlu yönde etkilediğini bildirmişlerdir. (Liang et al 1996; Kaya et al 2006; Islam et al 2007; Abou-Baker et al 2011; Saqib et al 2011).

Tuz x Si interaksyonu 3 nolu toprak hariç diğer topraklarda (1, 2, 4 ve 5) önemli olması nedeniyle silisyumlu gübrelemesinin çeltik dane verimine etkisi büyük oranda toprakların tuz ve SAO seviyelerine bağlı bulunmuştur (Şekil 2). Diğer bir ifadeyle tuzun dane verimine etkisi Si uygulamalarına, Si'un dane verimine etkisi ise farklı tuz seviyelerine bağlı olarak değişmiştir. Bütün topraklarda tuzla birlikte değişik dozlarda uygulanan Si, Si uygulanmayan (Si-0) tuzlu topraklara göre çeltik dane verimini artırmıştır. Bu sonuç silisyum gübrelemesinin, sadece tuzun çeltik bitkisine olan zararlı etkilerini azaltmadığını aynı zamanda tuz stresine karşı dane verimini de olumlu

yönde etkilediğini göstermektedir. Hilal et al (1997) bitkisel üretimde en fazla ürün kaybına toprakta NaCl tuzunun sebep olduğunu ve bu tuzun bitkilerin büyüme ve gelişmelerinde önemli gerilemelere neden olduğunu bildirmişlerdir. Kim et al (2012) silisyumun çeltik bitkisi için önemli bir element olduğunu ve Si uygulamasının çeltik dane verimini dekara % 10 artırdığını bildirmişlerdir. Bae et al (2012) bluegrass (*Poa pratensis* L.) çim bitkisine 400 mM NaCl uygulamasından sonra verilen 0.1 mM silisyumun (Na_2SiO_3) kontrole göre çimin sürgün uzunluğunu % 48, taze ağırlığı % 72, nispi nem içeriğinin % 61 ve total klorofil içeriğini % 57 oranında artırdığını bildirmişlerdir.

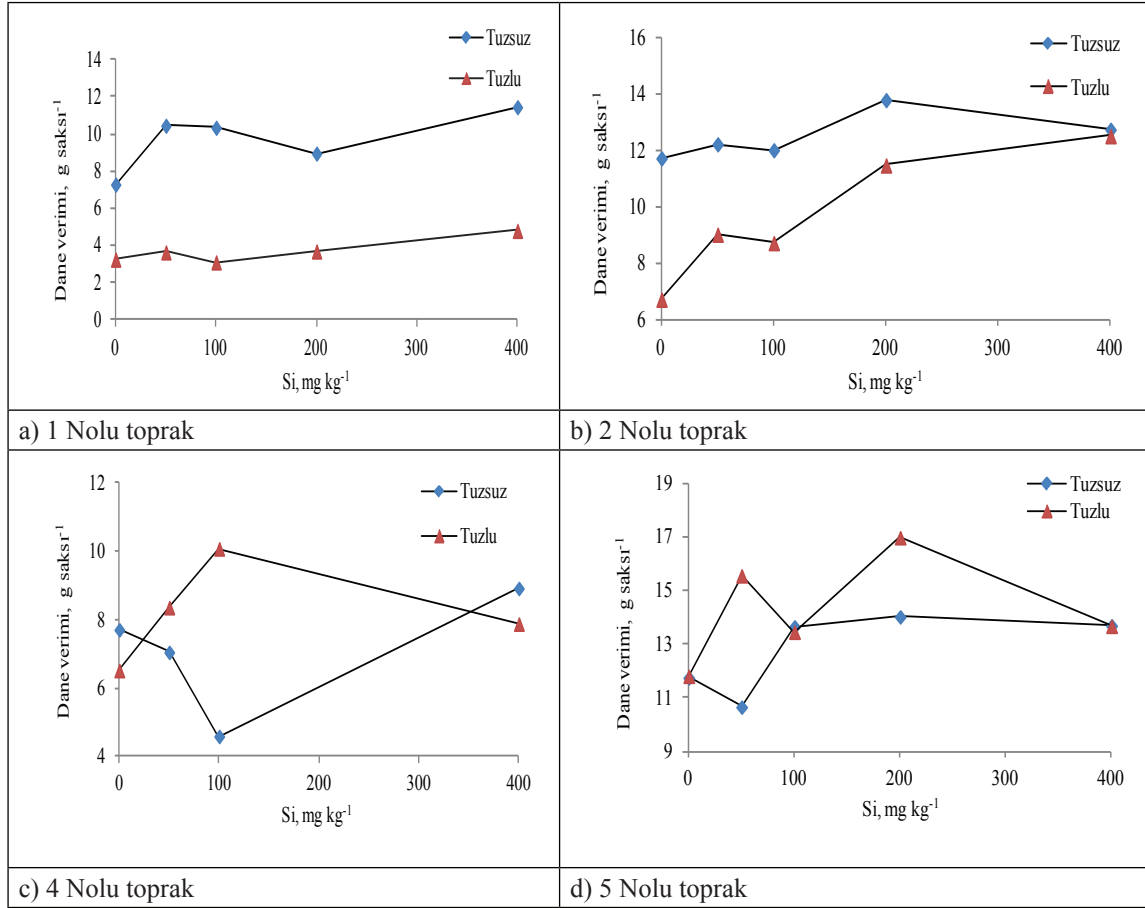
Tuzsuz şartlarda en yüksek çeltik dane verimi 1, 3 ve 4 nolu topraklarda 400; 2 ve 5 nolu topraklarda 200 mg Si kg⁻¹ seviyelerinde elde edilmiştir. Tuzlu şartlarda ise 1 ve 2 nolu topraklarda 400, 3 nolu toprakta 50, 4 nolu toprakta 100 ve 5 nolu toprakta

Çizelge 3- Tuz x Si interaksyonunun çeltik dane verimine etkisi

Table 3- The effects of salt x Si interaction on rice grain yield

Toprak No:	Tuz seviyesi	Silisyum dozları (mg kg ⁻¹)					Genel ortalama
		0	50	100	200	400	
1	Tuzsuz	7.28c	10.45a	10.34a	8.95b	11.45a	9.69
	Tuzlu	3.24e	3.63de	3.09e	3.68de	4.79d	3.68
	Genel ort.	5.25C	7.04AB	6.72B	6.31BC	8.12A	6.69
2	Tuzsuz	11.73a	12.23a	12.02a	13.80a	12.75a	12.5
	Tuzlu	6.71c	9.02b	8.72bc	11.48a	12.52a	9.69
	Genel ort.	9.21B	10.62B	10.37B	12.63A	12.64A	11.09
3	Tuzsuz	9.44	10.36	9.71	10.05	11.23	10.16
	Tuzlu	7.26	8.60	6.35	7.23	7.53	7.39
	Genel ort.	8.35öd	9.48öd	8.03öd	8.64öd	9.38öd	8.78
4	Tuzsuz	7.71bc	7.05bc	4.59d	-	8.92ab	7.07
	Tuzlu	6.52c	8.36ab	10.08a	-	7.88bc	8.21
	Genel ort.	7.11öd	8.33öd	7.71öd	-	8.4öd	7.63
5	Tuzsuz	11.75dc	10.66d	13.65bc	14.02b	13.69bc	12.76
	Tuzlu	11.81dc	15.55ab	13.45bc	16.97a	13.67bc	14.28
	Genel ort.	11.78C	13.10BC	13.55B	15.50A	13.68B	13.52

*, aynı sütunda aynı harflerle gösterilen ortalamalar arasındaki fark istatistikî bakımdan % 5 seviyesinde önemsizdir



Şekil 2- Toprakların tuz X Si interaksiyonları ile dane verimi arasındaki ilişki

Figure 2- The relationships between salinity X Si interactions of soils and grain yield

200 mg Si kg⁻¹ seviyelerinde elde edilmiştir. Tuzsuz şartlarda çeltiğin optimum silisyum ihtiyacı 200-400 mg Si kg⁻¹ aralığında değişirken, tuzlu şartlarda çeltiğin optimum silisyum ihtiyacı 50-400 mg Si kg⁻¹ aralığında değiştiği belirlenmiştir. Tuzlu toprak şartlarında Si'un tuz stresini önlemede etkinliğinin artan tuz seviyesine bağlı olarak birlikte değişken olduğu bulunmuştur. Hanafy Ahmed et al (2008) serada tuz stresi altında yetiştirilen buğday veriminde en fazla düşüşün en yüksek tuz seviyesinde (2000, 4000 ve 6000 mg kg⁻¹ NaCl) olduğunu, en fazla artışın ise en yüksek Si (250, 500 ve 1000 mg SiO₂ kg⁻¹) seviyesinde olduğunu bildirmişlerdir. Kardoni et al

(2013) bakla bitkisine 1, 2, 3, 4, 5 dS m⁻¹ seviyelerinde NaCl tuzu ve 0.5, 1, 2 mM Si uygulandığında en yüksek verimin en düşük tuz (1 dS m⁻¹) seviyesi ile 1 mM Si seviyesinde elde edildiğini belirterek, tuz seviyesi arttıkça Si'un etkinliğinin azaldığını ve bakla veriminin düştüğünü bildirmişlerdir.

3.2. Tuzlu topraklarda silisyumlu gübrelemenin çeltik dane verimi ve tuz stresini önlemedeki etkinliği

Tuzlu topraklarda silisyumlu gübrelemenin kontrole göre dane veriminde sağladığı değişim Çizelge 4'de verilmiştir. Çizelgeden görüleceği üzere Si gübrelemenin kontrole göre sağladığı

ortalama artış 1 nolu toprakta (EC 10.27 dS m⁻¹) % 17.2, 2 nolu toprakta (EC 3.55 dS m⁻¹) % 55.5, 3 nolu toprakta (EC 10.98 dS m⁻¹) % 2.31, 4 nolu toprakta (EC 5.75 dS m⁻¹) % 34.6 ve 5 nolu toprakta (EC 7.22 dS m⁻¹) % 26.3 bulunmuştur. EC ve SAO oranı arttıkça Si gübrelemesinin çeltik dane veriminde sağladığı artışlarda azalma görülmüştür. Başka bir ifadeyle Si gübrelemesinin ürün artışındaki pozitif etkisi artan tuzlulukla ve SAO ile birlikte azalmaktadır. Matoh et al (1986), 100 mM NaCl varlığında çeltikte sap ve kök büyümesinin % 60 gerilediği ancak Si ilavesiyle tuzun sebep olduğu zararın hafifletildiğini; Qureshi & Barrett-Lennard (1998), buğday bitkisinin % 45 verim kaybına uğradığını bildirmişlerdir. Cai (1999)'da benzer şekilde Si gübrelemesinin tuz zararını önleyerek fıstıkta dane verimini % 10-26 oranında artırdığını bildirmiştir.

Islam et al (2007), 3 çeltik genotipine (Q-31, Y-1281 ve MR-219) 5 farklı seviyede tuz uygulaması (3, 6, 9, 12 ve 15 dS m⁻¹) sonunda tüm genotiplerde 1000 dane ağırlığı ve dane verimi gibi verim bileşenlerinin düştüğünü; sadece MR-219 genotipinin 6 dS m⁻¹ tuz değerine kadar dayanabildiğini bildirmişlerdir. Aynı araştırmacılar çeltiğin tuza orta derecede hassas bitki olduğunu, çoğu çeltik çeşidinin 8 dS m⁻¹ tuz seviyelerinde önemli derecede zarar gördüğünü ve yüksek tuz seviyelerinde çeltikte % 30-40 oranında ürün kaybı yaşandığını bildirmişlerdir. Benzer şekilde, Abdullah et al (2001)'da tuz seviyelerinin çeltik

dane verimini azalttığını ve verim öğelerini olumsuz etkilediğini bildirmişlerdir. Day et al (2008), çerezlik ayçiçeğine 5-10-20 dS m⁻¹ NaCl uygulamalarından 10 dS m⁻¹ tuzun çimlenme ve fide gelişimini azalttığını; Abou-Baker et al (2011), 7.5 dS m⁻¹ tuz seviyesinde yetiştirilen fasulye bitkisine 300, 390, 120 ve 480 mg lt⁻¹ sırasıyla Si, K, Mg ve SO₄ (MgSiO₄, K₂SiO₄, K₂SO₄ ve MgSO₄'dan) içeren bir solüsyonun yapraktan 3 farklı zamanda (30, 60 ve 80. gün) uygulanması ile tuz stresinin azaldığını ve verim öğelerinin arttığını bildirmişlerdir. Chai et al (2010), 10 g kg⁻¹ tuz seviyesinde yetiştirilen çime uygulanan 0.48 g Si kg⁻¹ seviyesinin çimin çimlenme oranını, 0.72 g Si kg⁻¹ seviyesinin bitki uzunluğu ve toprağı kaplama özelliğini ve 0.96 g Si kg⁻¹ seviyesinin kardeşlenme sayısını artırdığını bildirmişlerdir. Hussain & Rehman (1992) EC 2.5 dS m⁻¹'de ayçiçeği veriminde azalma eğiliminin başladığını, EC 7.3 dS m⁻¹'de % 30 ve EC 10 dS m⁻¹'de % 50 verim kaybının olduğunu ifade etmişlerdir.

Farklı seviyelerde tuz ilave edilen topraklarda Si dozlarına bağlı olarak tuzsuz kontrole göre dane veriminde sağlanan değişim ve silisyumun tuz zararını önleme oranları Çizelge 5'de verilmiştir. Çizelgeden de görüleceği üzere tuzluluk, tuzsuz kontrole göre 1, 2, 3 ve 4 nolu topraklarda sırasıyla % 55.50, 42.80, 23.09 ve 15.43 oranında bir azalmaya yol açmış 5 nolu toprakta ise tuzluluk % 0.51'lik bir artışla önemli bir değişikliğe neden olmamıştır. Silisyum gübrelemesinin tuz zararını önleme oranları

Çizelge 4- Tuzlu topraklarda silisyumlu gübrelemenin kontrole göre dane veriminde sağladığı değişim

Table 4- Relative grain yield in comparison to control of silicate fertilization in saline soils

Si (mg kg ⁻¹)	Topraklar				
	1	2	3	4	5
0	-	-	-	-	-
50	+12.04	+34.43	+18.46	+28.22	+31.67
100	-4.63	+29.96	-12.53	+54.60	+13.89
200	+13.58	+71.09	-0.41	-	+43.69
400	+47.84	+86.59	+3.72	+20.86	+15.75
Ortalama değişim	+17.21	+55.52	+2.31	+34.56	+26.25

Çizelge 5- Tuzlu topraklarda silisyumun artan dozlarında tuzsuz kontrole göre dane veriminde sağlanan değişim ve silisyumun tuz zararını önleme oranı (%)

Table 5- Difference in grain yield comparing to indigenous soils (control) in increasing doses of silicate in saline soils and silicate-induced recovery rate of salt damage

Si mg kg ⁻¹	Topraklar									
	1		2		3		4		5	
	Değişim	TZÖÖ [†]	Değişim	TZÖÖ	Değişim	TZÖÖ	Değişim	TZÖÖ	Değişim	TZÖÖ
0	-55.50	-	-42.80	-	-23.09	-	-15.43	-	+0.51	-
50	-50.14	+5.36	-23.10	+19.69	-8.90	+14.19	+8.43	+23.87	+32.34	+31.83
100	-57.55	-2.05	-25.66	+17.14	-32.73	-9.64	+30.74	+46.17	+14.47	+13.96
200	-49.45	+6.05	-2.13	+40.66	-23.41	-0.32	-	-	+44.43	+43.91
400	-34.20	+21.13	+6.73	+49.53	-20.23	+2.86	+2.20	+17.64	+16.34	+15.83

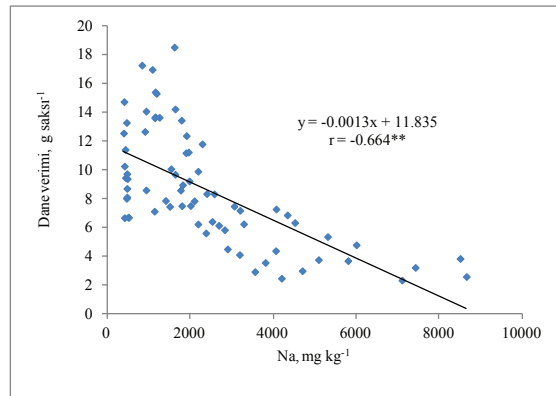
†, TZÖÖ, tuz zararını önleme oranı

1 nolu tuzlu toprakta % (-2.05)–(+21.13) arasında, 2 nolu toprakta % (+17.14)–(+49.53) arasında, 3 nolu toprakta % (-0.32)–(+14.19) arasında, 4 nolu toprakta % (+17.64)–(+46.17) arasında, 5 nolu toprakta % (+13.96)–(+43.91) arasında değişmiştir.

3.3. Tuzlu topraklarda silisyumun çeltik danesinin mineral bileşimine etkisi

Artan dozlarda uygulanan Si gübresinin çeltik danesinin Na içeriğine etkisi 1, 4 ve 5 nolu topraklarda daha belirgin olmak üzere tüm EC değerlerinde istatistiksel olarak önemli (P<0.05) bulunmuştur (Çizelge 6). Tuz uygulamalarının çeltik danesinin Na içeriğinde artışa neden olduğu ve dane verimini önemli derecede (R = -0.664**) azalttığı belirlenmiştir (Şekil 3). Sodyum kaynaklı dane veriminde azalışın sebebi Na ve/veya Cl iyon toksitesi ve dolaylı etkilerinden kaynaklanmış olabilir. Çünkü tuz stresi sadece osmotik strese ve iyon toksitesine neden olmakla kalmaz aynı zamanda superoksit, hidrojen peroksit, hidroksil radikalleri ve tek değerli oksijen (¹O₂) gibi reaktif oksijen türlerinin birikmesini teşvik eden oksidatif bir stres oluşturmaktadır (Guetadahan et al 1998; Lee et al 2001). Silisyum gübrelemesi ise danenin Na içeriğini önemli derecede azaltarak Na'un bitkiye zararlı etkisini önlediği tespit edilmiştir. Bu azalmanın sebebi toprakta serbest ya da değişebilir Na ile silisik asidin sodyum silikat bileşikleri

şeklinde çökmesinin yanı sıra Si'un bitki kök ksileminde birikmek suretiyle bitkiye taşınan Na'un önlenmesi veya azaltılması ile izah edilebilir (Matichenkov & Bocharnikova 2001). Tuna et al (2008) sera şartlarında besin solüsyonuna 100 mM NaCl uygulamasının buğday bitkisinin Na içeriğini arttırdığını Ca ve K içeriğini azalttığını, besin solüsyonuna 0.25 ve 0.5 mM Na₂SiO₃ uygulamalarının ise buğday bitkisinin Na içeriğini önemli derecede azaltarak, Ca ve K içeriğini arttırdığını bildirmişlerdir.



Şekil 3- Tuzlu topraklarda Na ile dane verimi arasındaki ilişki (n:72)

Figure 3- Relationships between Na and grain yield in saline soils (n:72)

Çizelge 6- Tuzlu topraklarda silisyum uygulamasının çeltik danesinin Na, K, Ca, Mg ve P içeriğine ve bazı element oranlarına etkisi

Table 6- The effect of silicate application on Na, K, Ca, Mg, and P concentrations and some elemental ratio in saline soils

Toprak No	Si	Na	K	Ca	Mg	P	K/Na	Ca/Na	Mg/Na	P/Na	K/Ca+Mg	Na/Ca+Mg
mg kg ⁻¹												
1	0	8190a [†]	4867b	1466a	1933a	3329	0.59	0.18	0.24	0.41	1.43	2.41
	50	6300b	6403a	1038ab	1575ab	3537	1.02	0.16	0.25	0.56	2.45	2.40
	100	4663c	6183a	892ab	1570ab	3554	1.33	0.19	0.34	0.76	2.51	1.89
	200	3423d	6270a	956ab	1363b	3379	1.83	0.28	0.40	0.99	2.70	1.48
	400	3360d	5900a	819b	1210b	2988	1.76	0.24	0.36	0.89	2.91	1.66
2	0	483a	4097b	469a	942	2764	8.48	0.97	1.95	5.72	2.90	0.34
	50	460ab	5417a	372ab	960	2938	11.78	0.81	2.09	6.39	4.07	0.35
	100	480ab	5657a	322b	798	2864	11.78	0.67	1.66	5.97	5.05	0.43
	200	463ab	5717a	253b	920	2805	12.34	0.55	1.99	6.05	4.87	0.39
	400	410b	6027a	234b	912	2489	14.70	0.57	2.22	6.07	5.26	0.36
3	0	2657ab	4270c	695	983	3229	1.61	0.26	0.37	1.22	2.54	1.58
	50	2157b	5030b	659	1143	3096	2.33	0.31	0.53	1.44	2.79	1.20
	100	3447a	4867b	717	1093	3163	1.41	0.21	0.32	0.92	2.69	1.90
	200	2420ab	5233b	631	1037	3162	2.16	0.26	0.43	1.31	3.14	1.45
	400	1970b	5697a	581	1135	2813	2.89	0.29	0.58	1.43	3.32	1.15
4	0	4573a	3617b	183	787b	2980a	0.79	0.04	0.17	0.65	3.73	4.71
	50	1963b	4950a	302	937ab	2830ab	2.52	0.15	0.48	1.44	4.00	1.58
	100	1753b	4843a	261	865ab	2639b	2.76	0.15	0.49	1.51	4.30	1.56
	400	1163b	5733a	324	1093a	2717b	4.93	0.28	0.94	2.34	4.05	0.82
5	0	2053a	3670b	266	890	3146a	1.79	0.13	0.43	1.53	3.17	1.78
	50	990b	4263ab	209	835	2880ab	4.31	0.21	0.84	2.91	4.08	0.95
	100	1447b	4340ab	231	802	2756ab	3.00	0.16	0.55	1.90	4.20	1.40
	200	1290b	4970a	227	860	2905ab	3.85	0.18	0.67	2.25	4.57	1.19
	400	1307b	5200a	179	733	2556b	3.98	0.14	0.56	1.96	5.70	1.43

†, aynı sütunda aynı harflerle gösterilen ortalamalar arasındaki fark istatistiki bakımdan % 5 seviyesinde önemsizdir

Tuzlu topraklarda çeltik danesinin K içeriği üzerine silisyumun etkisi tüm topraklarda önemli bulunmuş (P<0.05) silisyum gübrelemesiyle K içeriği artmıştır. Liang et al (1996), silisyumun bitkilerde K:Na oranını artırarak sodyumun toksik etkisini hafiflettiğini bildirmişlerdir. Saqib et al (2011), 60 ve 100 mM NaCl uygulamasına karşı yapılan 30 ve 60 mg Si kg⁻¹ uygulamasının ayçiçeği bitkisinde K ve K/Na oranını artırdığını, silisyumun

Na'ı tuttuğunu ve bitkiler tarafından alınımın azaltılarak dokulara zarar vermesinin engellendiğini de ifade etmişlerdir. Gerami & Rameeh (2012), 100 mg Si kg⁻¹ uygulamasının toprakta ve çeltik sapında K içeriğini artırdığını bildirmişlerdir. Ayrıca yaprak apoplast veya vakuolünde düşük Na, yüksek K:Na oranı sitoplazmanın düşük Na içeriğini muhafaza etmede ve dolayısıyla bitkilerin tuza toleransında

önemli bir mekanizma olduğu bildirilmiştir (Cuin et al 2003; Ashraf et al 2006).

Çeltik danesinin Ca içeriğine Si gübrelemesinin etkisi 1 ve 2 nolu toprakta önemli ($P<0.05$) olup çeltik danesinin Ca içeriği Si gübrelemesiyle önemli derecede azalmıştır. Diğer topraklarda Si gübrelemesinin danenin Ca içeriğine etkisi önemsiz bulunmuştur.

Silisyum gübrelemesi, çeltik danesinin Mg içeriğini 1 nolu toprakta önemli derecede azaltırken, 4 nolu toprakta ise artırmıştır ($P<0.05$). 3 nolu toprakta Si uygulamasına bağlı artma, 2 ve 5 nolu topraklarda ise azalma eğilimi söz konusudur. Silisyum uygulamaları ile çeltik Mg içeriğindeki değişimin sebebinin, oluşan Mg-silikat miktarına bağlı olduğu düşünülmektedir. Çünkü Si toprak özelliklerine bağlı olarak (tekstür, pH, tuz, SAO vs) yarayışlı K, Ca, Na ve Fe gibi elementlerle bileşikler oluşturarak çökelebilmekte ve bu şekilde Mg yarayışlılığının artmasına veya ilgili elementlerle Mg arasındaki antagonistik ilişkiler sebebiyle bitkilerin Mg alımının azalmasına sebep olabilmektedir (Matichenkov & Bocharnikova 2001; Sulok et al 2007; Kacar & Katkat 2009). Semiz et al (2012) 10 dS m⁻¹ NaCl tuzu uygulamasının rezene bitkisinin Mg içeriğini azalttığını bildirmişlerdir.

4 ve 5 nolu topraklarda yetişen çeltik bitkisinin danesinde P konsantrasyonu Si gübrelemesiyle önemli derecede azalırken; diğer topraklarda önemli bir değişim olmamıştır. Tuz stresinin çeltik ve buğday bitkilerinin P içeriğini bazı çeşitlerde artırdığı bazı çeşitlerde ise azalttığı (Cooper & Dumbroff 1973; Alparlan et al 1998); Ma et al (1999) ise silisyumun Al, Na, N ve Mn toksitesini önleyerek P noksanlığını giderdiğini bildirmişlerdir.

Genel olarak Si gübrelemesi çeltik danesinin K/Na, Ca/Na, Mg/Na ve P/Na oranlarını artırmıştır. Bazı bitkiler tuzlu koşullarda Na iyonu yerine K veya Ca iyonlarını tercih etmesini sağlayan mekanizmalara sahiptirler ve bu sayede bünyelerinde K/Na ve Ca/Na oranlarını yüksek tutarak tuza karşı dayanıklılık göstermektedirler (Muhammed et al 1987; Maathuis & Altmann 1999). Yıldız & Terzi (2011) Na/K oranının bir genotipin tuza toleransının

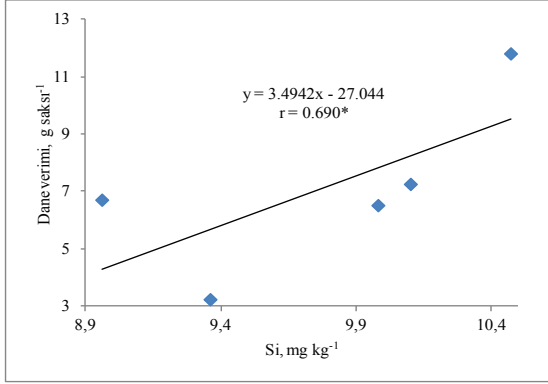
belirlenmesinde güvenli bir indeks olduğunu bildirmişlerdir. Chai et al (2010), 0.48 ve 0.96 g kg⁻¹ Si'un çimin Na/K oranını azalttığını ve verim ögelerini artırdığını bildirmişlerdir.

Tuz uygulanan topraklarda yetiştirilen çeltik bitkisinin dane Na içeriği ile K, Ca, Mg ve P içerikleri arasında pozitif ilişkiler elde edilmiştir (sırasıyla $R = 0.092, 0.815^{**}, 0.888^{**}$ ve 0.748^{**}). Ayrıca danede K içeriği ile Ca içeriği arasında da pozitif ilişki elde edilmiştir ($R = 0.364^{*}$). Kacar (1984), toprakların Na içeriği arttıkça P içeriğinin de arttığını ve bu etkinin özellikle kireçli topraklarda daha fazla olduğunu bildirmiştir. Dolayısıyla tuzlu topraklarda artan anyon konsantrasyonuna bağlı olarak spesifik olmayan reaksiyonlarla tutulmuş olan fosforun çözelti fazına geçmesine neden olabileceği düşünülmektedir.

Benzer şekilde tuz uygulaması çeltik danesinin Na, Ca ve Mg konsantrasyonlarını artırmıştır. Danenin Na içeriği ile K/Ca+Mg oranı arasında negatif ilişki ($R = - 0.745^{**}$) ve Ca+Mg içeriği arasında ise pozitif ilişki ($R = 0.831^{**}$) bulunmuştur. Ali et al (2012) tuzlu topraklarda Na:K, Na:Ca ve Ca:Mg oranının arttığını ve osmotik stres ve iyon dengesizliğinden dolayı bitki gelişiminin olumsuz etkilendiğini bildirmişlerdir.

Artan Si gübrelemesiyle K/Ca+Mg oranı artma eğilimi ($R = 0.425^{*}$), Na/Ca+Mg oranı ise azalma eğilimi göstermiştir ($R = - 0.313^{*}$). Bunun sebebinin Na'un, sodyum silikat şeklinde çökerek çözünmeyen bileşik oluşturmasına ve çeltik danesinin K, Ca ve Mg iyonlarının alımının artmasına bağlayabiliriz (Hilal et al 1997; Matichenkov & Bocharnikova 2001; Dastan et al 2011; Bae et al 2012).

Ayrıca tuz uygulamalarının kontrol toprakların yarayışlı Si kapsamını (orijinal topraklara göre) azalttığını göstermiştir (Çizelge 3). Ancak toprakların yarayışlı Si kapsamının artmasına bağlı olarak çeltik dane veriminin arttığı görülmüştür (Şekil 4). Nitekim Si uygulanmamış tuzlu kontrol topraklarda yarayışlı Si kapsamlarıyla çeltik dane verimi arasında pozitif ilişki bulunmuştur ($R = 0.690^{**}$). Tuzlu topraklara

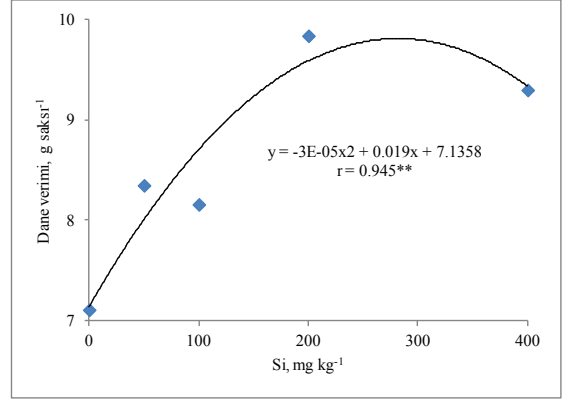


Şekil 4- Tuz uygulanmış kontrol toprakların yarayışlı Si kapsamı ile çeltik dane verimi arasındaki ilişki

Figure 4- Relationships between available silicate concentration and grain yield in saline soils without Si fertilization

uygulanan Si gübrelemesiyle çeltik danesinin Na içeriği arasında çok önemli negatif ilişki (Şekil 3; $R = -0.664^{**}$) elde edilmesi, silisyumun tuzların zararlı etkisini bertaraf ederek dane veriminde artışlara neden olduğunu göstermektedir. Yaptığımız çalışmaya paralel şekilde, birçok araştırmacı da tuzlu topraklara Si uygulamalarının çeltik verimini artırdığını bildirilmişlerdir (Savant et al 1997; Epstein 1999; Liang et al 2007).

Tuzlu topraklara artan dozlarda uygulanan Si gübrelemesi çeltik dane verimini 5 toprağın ortalaması olarak 0, 50, 100, 200 ve 400 mg kg⁻¹ Si dozlarında sırasıyla, 7.11, 8.35, 8.16, 9.84 ve 9.30 g saksır⁻¹ olarak değiştirmiştir. Elde edilen ilişkiye göre çeltik dane veriminin 200 mg kg⁻¹ Si dozuna kadar artırdığı bulunmuştur ($R = 0.945^{**}$; Şekil 5). Gerami ve Rameeh (2012) çeltik bitkisine 50 ve 100 mg kg⁻¹ Si uygulamalarında en yüksek dane veriminin 100 mg kg⁻¹ Si ile elde edildiğini bildirmişlerdir. Çünkü silisik asidin bitkide kritik seviye olan 100 mg kg⁻¹'in üzerine çıktığında fitol bağlarının ($\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$) polimerize olduğu ve bu şekilde tuz gibi strese sebep olan şartları hafiflettiği bildirilmiştir (Exley 1998).



Şekil 5- Tuzlu topraklarda silisyum gübrelemesi ile çeltik dane verimi arasındaki ilişki

Figure 5- Relationships between silicate fertilization and grain yield in saline soils

4. Sonuçlar

Tuzun çeltik bitkisinin dane verimini azalttığı, fakat bu azalmanın Si gübrelemesiyle önlenebildiği görülmüştür. Tuz x Si interaksiyonunun önemli olduğu ve silisyumlu gübrelemenin etkisinin toprakların tuz seviyesine göre değiştiği tespit edilmiştir. Toprakların tuz ve SAO seviyeleri arttıkça Si gübrelemesiyle çeltik dane veriminde kontrole göre sağlanan artışta azalmalar belirlenmiştir. Diğer bir ifadeyle Si gübrelemesinin yüksek tuz ve SAO'na sahip topraklarda tuzluluk ve sodiklik stresini önlemedeki etkinliğinin azaldığı bulunmuştur. Tuzlulaşma, toprakların yarayışlı silisyum kapsamında azalmaya neden olmuştur. Tuzlu topraklara uygulanan Si dozları arttıkça çeltik dane veriminin arttığı, Na içeriğinin azaldığı ve K kapsamını arttığı bulunmuştur. Uygulanan silisyum dozlarının çeltik danesinin Ca, Mg ve P içeriğine etkisi topraklara göre değişken olduğu bulunmuştur. Genel olarak silisyum gübrelemesi ile çeltik danesinin K/Na, Ca/Na, Mg/Na, P/Na ve K/Ca+Mg oranları artma eğilimi gösterirken, Na/Ca+Mg ise oranı azalma eğilimi göstermiştir. Ayrıca tuzlu topraklarda maksimum çeltik dane verimi için uygulanacak optimum Si dozunun 200 mg kg⁻¹ olduğu belirlenmiştir.

Kaynaklar

- Abdullah Z, Khan M A & Flowers T Z (2001). Causes of sterility in seed set of rice under salinity stress. *Journal of Agronomy and Crop Science* **167** (1): 25-32
- Abou-Baker N H, Abd-Eladl M & Mohsen M A (2011). Use of silicate and different cultivation practices in alleviating salt stress effect on bean plants. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences* **5**(9): 769-781
- Acar O (1999). Kurağa dayanıklı bazı arpa (*Hordeum* ssp.) çeşitlerinde süperoksit dismutaz (SOD) aktivitelerinin araştırılması. Doktora tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü (Basılmamış), İzmir
- Aktaş M (1994). Bitki Besleme ve Toprak Verimliliği. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, Ders Kitabı:1361, Ankara
- Alexieva V, Ivanov S, Sergiev I & Karanov E (2003). Interaction between stresses. *Bulgarian Journal of Plant Physiology, Special Issue*, pp. 1-17
- Ali A, Basra S M A, Hussain S, Iqbal J, Alias M A, Bukhsh H A & Sarwar M (2012). Salt stress alleviation in field crops through nutritional supplementation of silicon. *Pakistan Journal of Nutrition* **11**(8): 637-655
- Alparslan M, Güneş A & Taban S (1998). Tuz stresinde çeltik ve buğday çeşitlerinin kalsiyum, fosfor, demir, bakır, çinko ve mangan kapsamlarında değişimler. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry* **22**: 227-233
- Apse M P & Blumwald E (2002). Engineering salt tolerance in plants. *Current Opinion in Biotechnology* **13**: 146-150
- Ashraf M Y, Azmi A R, Khan A H & Ala S A (1994). Effect of water stress on total phenol, peroxidase activity and chlorophyll contents in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Acta Physiologiae Plantarum* **16**: 185-191
- Ashraf M & Harris P J C (2004). Potential biochemical indicators of salinity tolerance in plants. *Plant Science* **166**: 3-16
- Ashraf M Y, Akhtar K, Hussain F & Iqbal J (2006). Screening of different accession of three potential grass species from Cholistan desert for salt tolerance. *Pakistan Journal of Botany* **38**: 1589-1597
- Bae E J, Lee K S, Huh M R & Lim C S (2012). Silicon significantly alleviates the growth inhibitory effects of NaCl in salt-sensitive 'Perfection' and 'Midnight' Kentucky Bluegrass (*Poa pratensis* L.). *Horticulture, Environment, and Biotechnology* **53**(6): 477-483
- Balasta M L F C & Perez C M (1989). Effects of silica level on some properties of *Oryza sativa* L. straw and hull. *Canadian Journal Botany* **67**: 2356-2363
- Bouyoucos G J (1951). A recalibration of hydrometer method for making mechanical analysis of soils. *Agronomy Journal* **143**:9
- Bremner J M & Mulvaney C S (1982). Methods of Soil Analysis, part 2 Chemical and Microbiological Properties, pp. 595-624
- Cai D (1999). Effect of silicon fertilization on crop grown in the yellow river alluvial plains of China. In: *Conference Silicon in Agriculture* (26-30 September). Fort Lauderdale, Florida, USA. pp. 26
- Chai Q, Shao X & Zhang J (2010). Silicon effects on *Poa pratensis* responses to salinity. *The American Society for Horticultural science* **45**(12): 1876-1881
- Cooper A W & Dumbroff E B (1973). Plant adjustment to osmotic stress in balanced mineral nutrient media. *Canadian Journal of Botany* **51**: 763-773
- Cuin T A, Miller A J, Laurie S A & Leigh R A (2003). Potassium activities in cell compartments of salt-grown barley leaves. *Journal of Experimental Botany* **54**: 657-661
- Dastan S, Ghasemi-Mianaie A, Mobasser H R & Mirhadi M J (2011). Silicon and potassium effects on lodging-related morphological characteristics and agronomical indices of rice (*Oryza sativa* L.) in Iran. Proceedings of The 5th International Conference on Silicon in Agriculture (13-18 September Beijing China), pp. 30-31
- Day S, Kaya M D & Kolsarıcı Ö (2008). Bazı Çerezlik Ayçiçeği (*Helianthus annuus* L.) Genotiplerinin Çimlenmesi Üzerine NaCl Konsantrasyonlarının Etkileri. *Tarım Bilimleri Dergisi* **14**(3): 230-236
- Edreva A (2005). Generation and Scavenging of Reactive Oxygen Species in Chloroplasts: A Submolecular Approach. *Agriculture, Ecosystem and Environment* **106**: 119-133
- Epstein E (1994). The anomaly of silicon in plant biology. *Proceedings of the National Academy of Sciences (USA)* **91**: 11-17
- Epstein E (1999). Silicon. Annual Review. Plant Physiology. *Plant Molecular Biology* **50**: 641-664
- Epstein E (2001). Silicon in Plants: Facts vs Concepts, In: Datnoff L E, Synder G H, and Korndorfer G H (eds.), *Silicon in Agriculture*, Elsevier Science, Amsterdam, pp.1-15
- Exley C (1998). Silicon in life: A bioinorganic solution to bioorganic essentiality. *Journal of Inorganic Biochemistry* **69**: 139-144.

- Flowers T (2006). Advances in molecular breeding toward drought and salt tolerant crops, *Journal of Experimental Botany* **57**: 1079-1095
- Gerami M & Rameeh V (2012). Study of silicon and nitrogen effects on yield components and shoot ions nutrient composition in rice. *Agriculture* **58**(3): 93-98
- Guetadahan Y, Yaniv Z, Zilikas B A & Benhayyim G (1998). The effect of salt stress on lipid peroxidation and antioxidants in the leaf of cultivated tomato and its wild salt tolerant relative *Lycopersicon pennilli*. *Journal of Plant Physiology* **104**: 169-174
- Hanafy Ahmed A H, Harb E M, Higazy M A & Morgan Sh H (2008). Effect of silicon and boron foliar applications on wheat plants grown under saline soil conditions. *International Journal of Agricultural Research* **3**: 1-26.
- Hilal M, Zenoff M, Ponessa G, Moreno H & Massa E M (1997). Saline Stress Alters the Temporal Patterns of Xylem Differentiation and Alternative Oxidase Expression in Developing Soybean Roots. *Plant Physiology* **117**(2): 695-701
- Hussain M K & Rehman O U (1992). Breeding sunflower for salt tolerance: Genetic variability for yield and yield components for salt tolerance in sunflower (*Helianthus annuus* L.). In: *Proc. Pak. Sci. Conf.* 16-21 May, Khanspur, Pakistan, pp. 112-117
- Idris M, Hossain M M & Choudhury F A (1975). The effect of silicon on lodging of rice in presence of added nitrogen. *Plant Soil* **43**: 691-695
- Islam M Z, Baset Mia M A, Islam M R & Akter A (2007). Effect of different saline levels on growth and yield attributes of mutant rice. *Journal of Soil and Nature* **1**(2): 18-22
- Kacar B & İnal A (2008). Bitki Analizleri. Nobel Yayın No. 1241, Ankara
- Kacar B (1984). Bitki Besleme. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayın No: 899, Ankara
- Kacar B (1994). Bitki ve Toprağın Kimyasal Analizleri III, Analizleri. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Eğitim Araştırma ve Geliştirme Vakfı Yayın No:3, Ankara
- Kacar B & Katkat V (2009). Bitki Besleme. 4. Baskı, Nobel Yayın No:849, Ankara
- Kardoni F, Seyyed Mosavi S J, Parande S & Torbaghan M E (2013). Effect of salinity stress and silicon application on yield and component yield of fababeen (*Vicia faba*). *International Journal of Agriculture and Crop Sciences* **6**(12): 814-818
- Kaya C, Tuna L & Higgs D (2006). Effect of silicon on plant growth and mineral nutrition of maize grown under water stress conditions. *Journal of Plant Nutrition* **29**(8): 1469-1480
- Kim Y, Khan A, Shinwari Z K, Kim DH, Waqas M, Kamran M & Lee I J (2012). Silicon treatment to rice (*Oryza Sativa* L. Cv 'Gopumbyeo') plants during different rowth periods and its effections growth and grain yield. *Pakistan Journal of Botany* **44**(3): 891-897
- Lee D H, Kim Y S & Lee C B (2001). The inductive responses of the antioxidant enzymes by salt stress in rice (*Oryza sativa* L.). *Journal of Plant Physiology* **158**: 737- 45
- Lewitt J (1980). Responses of Plants to Environmental Stresses. Vol. II, 2nd ed. Academic Press, New York, pp. 607
- Liang Y C, Shen Q R, Shen Z G & Ma T S (1996). Effects of silicon on salinity tolerance of two barley cultivars. *Journal of Plant Nutrition* **19**: 173-183
- Liang Y C (1999). Effects of silicon on enzyme activity, and sodium, potassium and calcium concentration in barley under salt stress. *Plant Soil* **209**: 217-224
- Liang Y C & Ding R X (2002). Influence of silicon on micro distribution of mineral ions in roots of salt-stressed barley as associated with salt tolerance in plants. *Science China (Series C)* **45**: 298-308
- Liang Y, Sun W, Zhu Y G & Christie P (2007). Mechanisms of silicon-mediated alleviation of abiotic stresses in higher plants: a review. *Environment and Pollution* **147**: 422-428
- Lindsay W L & Norwell W A (1978). Development of a DTPA soil test for zinc, manganese and copper. *Soil Science Society of America Journal* **42**: 421-428.
- Ma J F, Miyake Y & Takahashi E (1999). Silicon as a beneficial element for crop plant. In: Conference "Silicon in Agriculture", 26-30 September 1999. Fort Lauderdale, pp. 3. Florida, USA.
- Ma J F, Miyake Y & Takahashi E (2001). Silicon as a beneficial element for crop plants. In: Datnoff L, Snyder G, Korndorfer G (Eds.), *Silicon in Agriculture*. Elsevier Science, New York, pp. 17-39
- Ma J F (2004). Role of silicon in enhancing the resistance of plants to biotic and abiotic stresses. *Soil Science and Plant Nutrition* **50**: 11-18
- Maathuis F J M & Altmann A (1999). K⁺ Nutrition and Na⁺ toxicity: The basis of cellular K⁺/Na⁺ ratios. *Annual Botany* **10**: 123-133

- 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 Plants, Academic Press, New York, pp. 657-680
- Matichenkov V V & Bocharnikova E A (2001). The relationship between silicon and soil physical and chemical properties. In: L.E. Datnoff, G.H. Snyder, H. Komdorfer, eds. Silicon in Agriculture. Amsterdam: Elsevier, pp. 209-219
- Matoh T, Kairusmee P & Takahashi E (1986). Salt-induced damage to rice plants and alleviation effect of silicate. *Soil Science and Plant Nutrition* **32**: 295-304
- Muhammed S, Akbar M & Neue H U (1987). Effect on Na/Ca and Na/K ratios in saline culture solution on the growth and mineral nutrition of rice (*Oryza Sativa*). *Plant and Soil* **104**: 57-62
- Munns R & Tester M (2008) Mechanisms of salinity tolerance. *Annual Review of Plant Biology* **59**: 651–681
- Qureshi R H & Barrett-Lennard E G (1998). Saline Agriculture for Irrigated Land in Pakistan: A Handbook. Monograph No. 50, Australian Centre for International Agricultural Research, Canberra, Australia, pp: 146
- Rhoades J D (1986). Cation Exchange Capacity. Chemical and Microbiological Properties. In : *Methods of Soil Analysis*, Part II. ASA and SSSA Agronomy Monograph no. 9 (2nd ed), Madison, pp. 149-157
- Rus A, Yokoi S, Sharkhuu A, Reddy M, Lee B H, Matsumoto T K, Koiwa H, Zhu J K, Bressan R A & Hasegawa P M (2001) AtHKT1 is a salt tolerance determinant that controls Na⁺ entry into plant roots. *Proceeding of the National Academy of Science (USA)* **98**: 14150–14155
- Saqib M R, Ashraf M, Shahzad S M & Imtiaz M (2011). Silicon nutrition for mitigation of salt toxicity in sunflower (*Helianthus annuus* L.). *International Journal of Agricultural Applied Science* **3**(1): 38-43
- Savant N K, Snyder G H & Datnoff L E (1997). Silicon management and sustainable rice production. *Advances in Agronomy* **58**: 151-199
- Semiz G D, Ünlükara A, Yurtsever E, Suarez D L & Telci İ (2012). Salinity impact on yield, water use, mineral and essential oil content of fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.). *Journal of Agricultural Sciences* **18**(3): 177-186
- Shannon M C, Grieve C M & Francois L E (1994). Whole-plant response to salinity R.E. Wilkinson (Ed.), Plant-Environment Interactions, Mercel Dekker, New York, pp. 199-244
- Soil Survey Laboratory (1992). Procedures for Collecting Soil Samples and Methods of Analysis for Soil Survey. Soil Surv. Invest. Rep. I. U.S. Gov. Print. Office, Washington D.C. USA
- Soil Survey Staff (1993). Key to Soil Taxonomy. Ninth edition. USDA, Natural Resources Conservation Services
- Strogonov B P (1964). Physiological Basics of Salt Tolerance of Plants as Affected by Various Types of Salinity. TPST, Jerusalem
- Sulok K, Ahmad M T, Asrın W, Rajan A & Ahzam M (2007). Towards growing Bario rice on low land soils: A preliminary nitrogen and potassium fertilization trial. *American Journal of Agricultural and Biological Science* **2**(2): 99-105
- Tuna A L, Kaya C, Higgs D E B, Murillo-Amador B, Aydemir S & Girgin A R (2008). Silicon improves salinity tolerance in wheat plants. *Environmental and Experimental Botany* **62** (1): 10-16
- Ungar I A (1991). Ecophysiology of Vascular Halophytes. Boca Raton FL: CRC Press
- Yeo A R, Flowers S A, Rao G, Welfare K, Senanayake N & Flowers T J (1999). Silicon reduces sodium uptake in rice (*Oryza sativa* L.) in saline conditions and this is accounted for by a reduction in the transpirational bypass flow. *Plant Cell Environmental* **22**: 559-565
- Yetişir H & Uygur V (2009). Plant growth and mineral element content of different gourd species and watermelon under salinity stress. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry* **33**: 65-77
- Yıldız M & Terzi H (2011). Türkiye’de Ekimi Yapılan Bazı Arpa Çeşitlerinde Erken Fide Evresi Tuz Toleransının Belirlenmesi. *Tarım Bilimleri Dergisi* **17**(1): 1-9
- Yurtsever N (1984). Deneysel İstatistik Metodları. Gübre Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü Yayınları, Teknik Yayın No: 56, Ankara
- Zhu Z J, Fan H F & He Y (2011). Roles of silicon-mediated alleviation of salt stress in higher plants: A review, *Proceedings of the 5th. International Conference on Silicon in Agriculture* (September 13-18), Beijing, China, pp. 223-235