



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

Çeltik Topraklarının Silisyumlu Gübrelemeye Tepkisi

Ayhan HORUZ^a, Ahmet KORKMAZ^a, M. Rüştü KARAMAN^b

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

^bGaziosmanpaşa Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, Tokat, TÜRKİYE

ESER BİLGİSİ

Araştırma Makalesi — Bitkisel Üretim

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

Geliş Tarihi: 17 Temmuz 2013, Düzeltmelerin Gelişi: 01 Eylül 2013, Kabul: 03 Eylül 2013

ÖZET

Silisyum (Si) çeltik tarafından yüksek miktarlarda alınan mutlak gerekli besin elementleri arasında yer almaktadır. Buna bağlı olarak çeltik topraklarında zaman zaman noksanlığı görülmektedir. Bu çalışmada önemli çeltik üretim merkezlerinden biri olan Samsun'un Bafra ve Terme ilçelerinden 18 toprak örneği alınarak, sera şartlarında tesadüf parselleri deneme desenine göre 3 tekerrürlü saksı denemesiyle toprakların çeltik yetiştiriciliği için silisyum statusü ve silisyumlu gübreleme tepkisi belirlenmeye çalışılmıştır. Denemede her saksıya 2 kg fırın kuru toprak konularak ekimden önce 0-50-100-200 ve 400 mg Si kg⁻¹ dozlarında silisik asit (H₄SiO₄) gübresi, 75 mg kg⁻¹ N amonyum sülfat (% 21) ve 60 mg kg⁻¹ P₂O₅ triple süper fosfat (% 42) gübrelerinden verilmiştir. Saksılara ön çimlendirmeye tabi tutulmuş Osmancık 77 çeltik çeşidi tohumundan 15 adet ekilmiştir. Ekimden 142 gün sonra çeltik danesi kavuzu ile birlikte hasat edilmiştir. Deneme sonucunda yöre çeltik topraklarının % 83'ünde silisyumlu gübreleme ile çeltik dane veriminin önemli derecede (P<0.01) arttığı (% 1.56-45.85) tespit edilmiştir. Toprakların değişik dozlarda (50-200 mg kg⁻¹) silisyuma ihtiyaç duydukları ve yöre topraklarına uygulanacak optimum Si dozunun ortalama 87 mg kg⁻¹ olduğu bulunmuştur. Ayrıca çeltikte oransal ürününün % 85'ini almak için yöre topraklarında kritik Si konsantrasyonunun 17.11 mg kg⁻¹ olduğu ve bu değer in altındaki toprakların silisyum bakımından yetersiz oldukları belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Çeltik toprakları; Silisyum; Çeltik; Dane verimi

Response of Paddy Soils to Silicon Fertilization

ARTICLE INFO

Research Article — Crop Production

Corresponding Author: Ayhan HORUZ, E-mail: ayhanh@omu.edu.tr, Tel: +90 (362) 312 19 19 /1061

Received: 17 July 2013, Received in Revised Form: 01 September 2013, Accepted: 03 September 2013

ABSTRACT

Silicon (Si) is of nutrient element required very large amounts by rice plant. Thus silicon deficiency can commonly observed in paddling soils. In this study, silicon status and reponse to the silicon fertilizer of Bafra and Terme districts of Samsun for rice cultivation were investigated by means of a pot experiment set up in completely randomised design with three replications. For this purpose, 18 paddy soil samples were taken. Rice plants were grown in a pot filled with 2 kg

of oven-dry soil and fertilized with 0-50-100-200 and 400 mg Si kg⁻¹ as silicic acid (H₄SiO₄), 75 mg N kg⁻¹ ammonium sulfate (21%) and 60 mg P₂O₅ kg⁻¹ tripl superfosfate (42%) before sowing. Initially fifteen germinated seeds of Osmancık 77 rice cultivar, were planted into each pot. Rice grains with husk were harvested after 142 days from planting. The results showed that rice grain yield (1.56 - 45.85%) significantly increased (P<0.01) by silicon fertilization in 83% of the paddy soils in the region. It was found that paddy soils require different doses of Si (50-200 mg kg⁻¹) and averagely 87 mg kg⁻¹ of optimum Si dose for the region soils. Also, a critical concentration of 17.11 mg of available Si is required to obtain a relative grain yield of 85% in the experimental soils and below this level silicon deficiency limits grain yield.

Keywords: Paddy soils; Silicon; Rice; Grain yield

1. Giriş

Silisyum (Si) yer kabuğunda % 27.7 oranında bulunan ve miktar bakımından oksijenden sonra ikinci sırada yer alan bir elementtir. Toprakta SiO₂ ve değişik silikat mineralleri halinde bulunur. Silikat minerallerinin ayrışmasıyla silisyum bitkiye yararılı formlara dönüşür (Loué 1986).

Toprak çözeltisinde silisyum, monosilik asit [Si(OH)₄] formunda olup ortalama miktarı 30-40 mg kg⁻¹ SiO₂ civarındadır. Bununla birlikte aynı pH'da toprak çözeltisinin silisyum kapsamı 7-80 mg kg⁻¹ SiO₂ aralığında değiştiği belirtilmiştir (Jones & Handreck 1967). Hull (2004) ise toprak çözeltisinin genellikle litrede 3-17 mg Si ihtiva ettiğini ve bu miktarın çoğu toprak çözeltilerinde bulunan fosfordan 100 kat daha fazla olmasına rağmen çeltik için düşük olarak kabul edildiğini bildirmiştir.

Silisyum, bazı bitkilerde yüksek konsantrasyon gradientine karşı aktif absorpsiyonla alındığı gibi pasif absorpsiyonla da alınabilmektedir (Hodson & Evans 1995; Savant et al 1997a). Çeltik gibi Si akümüle eden bitkilerin köklerinde toprak çözeltisinde bulunan silisyumdan (0.1-1.6 kg Si ha⁻¹) daha fazla silisyum bulunması bu bitkilerin silisyuma özel taşıyıcı proteinlere sahip oldukları ve silisyumun aktif olarak alındığını göstermektedir (Takahashi 1995; Ma et al 2001). Diğer bitkilerin ise silisyumu pasif absorpsiyonla aldıkları kabul edilmektedir (Epstein 1994). Lewin & Reimann (1969) silisyumun çeltikte mutlak gerekli bir element olduğunu belirtmiş ve silisyumun bitkiler tarafından monosilik asit formunda alındığını bildirmişlerdir. Mitani & Ma (2005) bitkilerde

silisyum alımının pasif taşınma ile daha çok transpirasyona bağlı olduğunu belirtmişlerdir. Epstein (1999)'e göre tahıllar içerisinde çeltiğin en fazla silisyum akümüle eden bitki olduğunu ve sapında % 10-15 arasında silisyum içerdiğini bildirmiştir. Datnoff & Rutherford (2004) bitki türleri tarafından alınan Si miktarının çok farklı olduğunu, Si biriktiren tahılların Si kapsamlarının baklagillere ve diğer dikotiledon bitkilere göre 10 kat daha fazla olduğunu da ifade etmişlerdir (tahıllarda % 2 SiO₂ içeriğine karşılık, baklagillerde % 0.2 düzeyindedir).

Dünyanın her yerinde, mineral toprakların birçoğunda, Si bolca bulunmasına rağmen; çeltik gibi bu elemente yüksek miktarlarda ihtiyaç duyan bitkilerin sürekli ekimi Si eksikliğine sebep olabilmektedir. Özellikle çeltiğin Si akümülatör bitki olması sebebiyle, yoğun tarım alanlarında silisyumun topraktan uzaklaşması ve yeteri kadar silisyumlu gübrelemenin yapılmadığı durumlarda çeltik veriminin de azaldığı bildirilmiştir (Mauad et al 2003). Yoğun tarım nedeniyle toprak çözeltisinden çok fazla Si alınmakta ve bunun tekrar doğal yollarla yenilenebilmesi mümkün olamamaktadır (Savant et al 1997a).

Silisyum noksanlığı çok yaşlı ve aşırı yıkanmış topraklarda; Asya, Afrika ve Latin Amerika ülkelerinin düşük baz doygunluğu ve düşük pH'ya sahip oksisol ve histosol gibi çeltik topraklarında; düşük miktarda Si ihtiva eden ana materyal üzerinde oluşmuş topraklarda ve yoğun çeltik yetiştiriciliği sonucu aşırı Si sömürülmesine bağlı olarak yararılı Si kapsamı azalmış çeltik topraklarında çok sık görülmektedir (Savant et al 1997b);

Dobermann & Fairhurst 2000). Çeltik bitkisinde silisyum noksanlığının kardeşlenme ile salkım oluşum başlangıcı arası dönemde ve olgunlaşma dönemlerinde yaprakta kritik Si seviyesinin % 5'in altına düşmesi durumunda ortaya çıktığı ve sapta optimum Si kapsamının olgunlaşma döneminde % 8 ile 10 arasında olduğu bildirilmiştir. Bitkilerde silisyum noksanlık belirtileri çok iyi bilinmemekle birlikte silisyumca yeterli beslenemeyen bitkilerde aşırı transpirasyona bağlı solgunluk nedeniyle salkım söğüde benzer tarzda yaprakların aşağı doğru indiği görülür (Mengel & Kirkby 1982). Silisyum noksanlığı balkabağı, hıyar, buğday gibi bitkilerin toz mildiyö hastalığına ve daneli bitkilerde (hububat) ise yatmaya karşı duyarlılığı arttırdığı bildirilmiştir (Heckman & Provance-Bowley 2011).

Çeltik dekara yaklaşık 23-47 kg Si kaldırabilir (Elawad & Gren 1979). Dobermann & Fairhurst (2000) 1 ton çeltik ile dekara ortalama 80 kg Si kaldırdığı ve bunun % 80'inin sap ile kaldırdığını belirtmişler. Sapın tarlaya geri dönüşümünün olmadığı durumlarda, çeltik topraklarında yarayışlı Si kapsamında önemli azalmaların olacağını ve çeltik sapının tarlaya geri verildiği durumda ise kaldırılan Si 1 ton çeltik danesi ile 15 kg Si'ye kadar düşebileceği rapor edilmiştir. Araştırmacılar Si noksanlığının giderilmesi için çeltiğe 12 ile 20 kg da⁻¹ Ca-silikat, 4 ile 6 kg da⁻¹ K-silikat tavsiye edildiğini ve 3 - 8 mg L⁻¹ Si içeren 1000 mm sulama suyu ile dekara 3 - 8 kg Si girişi olabileceğini de belirtmişlerdir. Bu nedenle topraklarda Si noksanlığının teşhisi için kritik değer olarak su ve çeltik kavuzunun Si kapsamının da bilinmesinin yararlı olacağı belirtilmiştir (Winslow et al 1997).

Mauad et al (2003), IAC 202 çeltik çeşidinin verim, bitki yüksekliği ve diğer verim bileşenleri üzerine azot (N) ve Si gübrelenmesinin etkilerini belirlemek amacıyla üre formunda 5-75 ve 150 mg kg⁻¹ N ve Ca-silikat olarak 0-200-400 ve 600 mg kg⁻¹ SiO₂ vererek tarla denemesi yürütmüşlerdir. Deneme sonunda azotlu gübrelemenin 1 m²'lik alandaki bitki sapı, başak sayısını ve başaktaki toplam dane sayısını artırdığını, yetersiz azotlu

gübrelemenin aşırı kardeşlenmeden dolayı fertil bitki ve başaklık yüzdesi ile 1000 dane ağırlığını azalttığı bildirilmiştir. Silisyum gübrelenmesi ise çeltik salkımında boş başaklık sayısını azalttığını ve 1000 dane ağırlığını artırdığını, fakat dane verimini önemli şekilde etkilemediğini bildirmişlerdir.

Yukarıda bildirilen çalışmaların hepsi çeltik topraklarında Si elementinin verimi kısıtlayabilecek önemli bir faktör olduğunu göstermektedir. Türkiye'de önemli miktarlarda pirinç yetiştiriciliğinin yapıldığı Samsun yöresi Bafra ve Terme çeltik topraklarının Si statüsü hakkında yeterli bilgi bulunmamaktadır. Bu nedenle bu çalışmanın amacı Bafra ve Terme yöresi çeltik topraklarının Si durumunu, çeltiğin Si'lu gübrelenmeye tepkisini ve Si gübre ihtiyacını sera denemeleriyle ortaya koymaktır.

2. Materyal ve Yöntem

Samsun yöresi topraklarının bitkiye yarayışlı Si durumlarının belirlenmesi amacıyla Terme ve Bafra ilçeleri çeltik (*Oriza Sativa L.*) arazilerinden 0-20 cm derinlikten 18 toprak örneği alınmıştır. Örneklerin alındıkları yerler ve GPS ile belirlenen koordinatları Çizelge 1'de verilmiştir. Toprak örneklerinin kum, silt ve kil fraksiyonları Bouyoucos hidrometre metoduna göre (Demiralay 1993), saturasyon, pH, EC, OM, değişebilir K, Ca, Mg, Na, yarayışlı P, Fe, Mn, Zn ve Cu Kacar (2009)'a göre belirlenmiştir. Toprak örneklerinin bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri Çizelge 2'de ve yarayışlı besin elementi kapsamı ise Çizelge 3'te verilmiştir.

Toprak örneklerinin biyolojik yöntemle Si statülerinin belirlenmesi amacıyla Ondokuzmayıs Üniversitesi Ziraat Fakültesi Araştırma Çiftliğinde sera denemesi kurulmuştur. Tesadüf parselleri deneme desenine göre 3 tekerrürlü olarak yürütülen çalışmada her topraktan 2 kg fırın kuru toprak saksılara konulmuştur. Topraklara ekimden önce 0 - 50 - 100 - 200 ve 400 mg Si kg⁻¹ dozlarında silisik asit (H₄SiO₄) gübresi, 75 mg N kg⁻¹ (NH₄)₂SO₄ (% 21 N) ve 60 mg P₂O₅ kg⁻¹ triple süper fosfat

(% 42) gübreleri verilerek homojen bir şekilde karıştırılmıştır.

Ön çimlenmeye tabi tutulmuş çeltik (Osmancık 77) tohumları 15.07.2011 tarihinde her saksıya 20 adet ekilmiş, çıkışlardan sonra her saksıda 15 bitki kalacak şekilde seyreltilmiştir. Çeltiğin kardeşlenme ve sapa kalkma dönemlerinde amonyum sülfat formunda sırasıyla 75 ve 50 mg kg⁻¹ N, başaklanma döneminde ise üre formunda 50 mg kg⁻¹ N uygulanmıştır. Saksılara toprakları doyuracak miktarda su verildikten sonra, toprak üzerinde 5 cm su yüksekliği oluşturacak şekilde suya boğulu tutulmuştur. Su kayıpları günlük telafi edilmiştir. Deneme sonunda bitkiler 05.12.2011 tarihinde hasat edilmiş, 65 °C’de kurutulduktan sonra kavuzlu dane verimleri belirlenmiştir.

Kontrol (Si: 0 dozu) toprakların nispi dane verim değerleri ve silisyum gübrelemesi ile kontrole

göre sağlanan ürün değişim değerleri aşağıdaki gibi hesaplanmıştır (Singh & Karwasra 1988; Aktaş 1994):

$$\text{Nispi dane verimi (\%)} = (\text{Kontrol ürün} / \text{Optimum Si dozunda elde edilen ürün}) \times 100$$

$$\text{Değişim (\%)} = [(\text{Silisyumlu gübre İle elde edilen ürün} - \text{Kontrol ürün}) / \text{Kontrol ürün}] \times 100$$

Toprakların yarayışlı Si miktarı 0.18 M NaOAC + 0.87 M CH₃COOH pH= 4.0 tampon çözeltisi ile ekstrakte edilmiştir. 10 g toprak 100 ml ekstrakt çözelti ile 1 saat çalkalanarak süzölmüş (Sauer et al 2006) ve süzökteki Si miktarı ICP ile belirlenmiştir (Kacar & İnal 2008). Deneme sonuçlarına SPSS paket programında ANOVA analizi uygulanmış ve uygulamalardan elde edilen ortalamalar Tukey testi ile P<0.05 seviyesinde karşılaştırılmıştır (Yurtsever 1984).

Çizelge 1- Deneme topraklarının alındığı yerler ve koordinatları

Table 1- The place and coordinates of the paddy soils where the soil samples taken

| Toprak No | Örnek alınan yer | Koordinatlar |
|-----------|------------------------|-----------------------|
| T-1 | Cumhuriyet-Terme | N 4113209, E 03657802 |
| T-2 | Gündoğdu-Terme | N 4113648, E 03656377 |
| T-3 | İmanalisi Terme | N 4115792, E 03654630 |
| T-4 | Köybucağı-Terme | N 4109640, E 03652773 |
| T-5 | Dibekli-Terme | N 4109746, E 03654341 |
| T-6 | Kocaman-Teme | N 4110107, E 03657880 |
| T-7 | Ahmetbeyköyü-Terme | N 4110428, E 03659710 |
| T-8 | Hüseyin Mescitli-Terme | N 4110202, E 03700745 |
| T-9 | Sakarlı-Terme | N 4110422 E03706653 |
| B-1 | Emenli-1-Bafra | N 4140147, E 03549335 |
| B-2 | Emenli-2-Bafra | N 4138143, E 03551494 |
| B-3 | Koruluk-Bafra | N 4139625, E 03554258 |
| B-4 | Sahilkent-Bafra | N 4140934, E 03552754 |
| B-5 | Doğancı-1-Bafra | N 4137800, E 03601589 |
| B-6 | Doğancı-2-Bafra | N 4139449, E 03600800 |
| B-7 | Şeyhören-Bafra | N 4137231, E 03559662 |
| B-8 | Sarıköy-1-Bafra | N 4135391, E 03559610 |
| B-9 | Sarıköy-2-Bafra | N 4134706, E 03600129 |

Çizelge 2- Çeltik arazilerinden alınan toprakların bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri

Table 2- Some physical and chemical properties of the experimental soils

| Toprak No | Kum (%) | Silt (%) | Kil (%) | OM (%) | pH _{1:1} top:su | EC (dS m ⁻¹) | Ekst. ⁺ SAO |
|-----------|---------|----------|---------|--------|--------------------------|--------------------------|------------------------|
| T-1 | 17.5 | 23.9 | 58.6 | 3.45 | 7.70 | 0.53 | 1.19 |
| T-2 | 13.1 | 44.1 | 42.8 | 2.81 | 8.16 | 0.68 | 1.60 |
| T-3 | 12.5 | 26.4 | 61.1 | 2.96 | 7.77 | 0.63 | 0.99 |
| T-4 | 32.5 | 36.6 | 30.9 | 2.78 | 7.21 | 0.61 | 1.37 |
| T-5 | 28.8 | 34.1 | 37.2 | 1.98 | 7.58 | 0.25 | 0.26 |
| T-6 | 14.7 | 12.5 | 72.8 | 2.79 | 7.93 | 0.92 | 2.63 |
| T-7 | 33.3 | 29.7 | 37.0 | 2.61 | 7.58 | 0.71 | 1.12 |
| T-8 | 37.1 | 25.4 | 37.3 | 2.64 | 7.65 | 0.34 | 0.39 |
| T-9 | 71.1 | 11.9 | 17.1 | 2.59 | 6.30 | 0.21 | 0.43 |
| B-1 | 12.6 | 15.1 | 72.4 | 2.88 | 8.34 | 0.57 | 2.36 |
| B-2 | 18.9 | 25.4 | 56.7 | 3.48 | 8.30 | 0.43 | 0.62 |
| B-3 | 18.9 | 34.6 | 47.4 | 2.29 | 8.23 | 0.33 | 1.15 |
| B-4 | 15.6 | 27.5 | 56.9 | 3.36 | 8.07 | 0.83 | 1.47 |
| B-5 | 13.1 | 15.1 | 71.8 | 3.65 | 8.47 | 0.55 | 3.16 |
| B-6 | 26.8 | 36.10 | 37.1 | 3.56 | 7.98 | 0.54 | 0.46 |
| B-7 | 17.2 | 25.7 | 57.8 | 2.86 | 8.35 | 0.39 | 1.88 |
| B-8 | 23.0 | 35.8 | 41.2 | 2.22 | 8.06 | 0.50 | 0.39 |
| B-9 | 20.8 | 35.8 | 43.3 | 2.27 | 8.10 | 0.46 | 0.35 |

Ekst., Ekstrakte edilebilir; SAO, Sodyum adsorpsiyon oranı

Çizelge 3- Toprak örneklerinin yararılı besin elementi kapsamları

Table 3- Available nutrient contents of the experimental soils

| Toprak No: | Değişebilir katyonlar (me 100 g ⁻¹) | | | | Yararılı P (mg kg ⁻¹) | Yararılı mikro elementler (mg kg ⁻¹) | | | |
|------------|---|------|------|------|-----------------------------------|--|------|------|-------|
| | Na | K | Ca | Mg | | Fe | Mn | Zn | Cu |
| T-1 | 1.27 | 0.38 | 39.6 | 12.4 | 18.6 | 77.3 | 16.3 | 1.08 | 9.22 |
| T-2 | 2.02 | 0.44 | 39.4 | 14.0 | 42.00 | 61.9 | 8.9 | 0.44 | 6.73 |
| T-3 | 1.10 | 0.41 | 41.1 | 12.6 | 32.3 | 87.8 | 11.3 | 0.57 | 7.52 |
| T-4 | 0.40 | 0.37 | 34.8 | 10.0 | 24.5 | 55.4 | 14.4 | 0.79 | 6.10 |
| T-5 | 0.13 | 0.21 | 36.0 | 6.8 | 27.0 | 31.0 | 23.0 | 0.45 | 5.79 |
| T-6 | 2.82 | 0.17 | 36.9 | 10.0 | 22.3 | 55.6 | 13.8 | 0.42 | 9.23 |
| T-7 | 1.73 | 0.49 | 27.9 | 5.1 | 39.4 | 48.8 | 26.5 | 0.43 | 7.38 |
| T-8 | 0.32 | 0.28 | 29.4 | 9.3 | 55.4 | 75.7 | 18.3 | 1.04 | 9.95 |
| T-9 | 0.07 | 0.25 | 17.1 | 0.6 | 26.5 | 121.3 | 66.2 | 1.47 | 6.48 |
| B-1 | 3.51 | 0.68 | 37.3 | 11.3 | 38.4 | 33.7 | 5.9 | 0.33 | 6.16 |
| B-2 | 0.65 | 0.89 | 38.9 | 6.9 | 49.9 | 57.6 | 10.5 | 0.58 | 8.11 |
| B-3 | 1.43 | 0.49 | 31.6 | 7.1 | 39.5 | 55.3 | 7.0 | 0.33 | 5.90 |
| B-4 | 1.86 | 0.69 | 37.5 | 6.3 | 20.7 | 54.2 | 12.9 | 0.75 | 8.84 |
| B-5 | 3.81 | 0.80 | 35.6 | 14.9 | 47.4 | 123.2 | 70.6 | 0.44 | 8.54 |
| B-6 | 1.46 | 0.66 | 37.1 | 9.5 | 33.3 | 63.9 | 8.4 | 1.27 | 10.04 |
| B-7 | 1.73 | 0.49 | 37.6 | 10.6 | 55.4 | 46.8 | 11.7 | 0.45 | 5.45 |
| B-8 | 0.38 | 0.27 | 26.0 | 10.7 | 52.9 | 38.3 | 5.4 | 0.65 | 3.03 |
| B-9 | 0.33 | 0.36 | 28.8 | 7.0 | 38.2 | 38.3 | 7.2 | 1.69 | 3.05 |

3. Bulgular ve Tartışma

3.1. Toprakların silisyum durumu ve silisyumlu gübrelemenin çeltik dane verimine etkisi

Deneme topraklarına artan dozlarda uygulanan silisyumlu gübrelemenin çeltik dane verimine etkisine ilişkin varyans analiz sonuçlarına göre, silisyumlu gübreleme toprakların tümünde (18 toprak) çeltik dane verimini artırmıştır. Bu artışlar 15 deneme toprağında istatistiki bakımdan önemli ($P<0.01$) bulunurken, 3 toprakta (T2, B2 ve B5) ise önemli bulunmamıştır (Çizelge 4). Silisyumlu gübrelemenin önemli olmadığı topraklar diğer topraklara göre kısmen daha yüksek kil (sırasıyla, % 42.79, 56.67 ve 71.81) ve yarıyışlı silisyum içeriğine (sırasıyla, 13.86, 14.46 ve 13.72 mg kg⁻¹) sahip olduğu belirlenmiştir. Benzer şekilde Raymend & Higginson (1992) toprakların kil içeriğinin artmasıyla bitkiye yarıyışlı silisyum kapsamının artacağını ve aynı zamanda şeker kamışının silisyumlu gübrelemeye tepkisinin azalacağını bildirmişlerdir. T2 ve B5 topraklarında Na içeriğinin (sırasıyla, 2.02 ve 3.81 me 100 g⁻¹), B5 toprağında sodyuma ilaveten yarıyışlı

K, Mg, Fe ve Mn içeriğinin, B2 toprağında yarıyışlı K, P ve Fe içeriğinin yüksek olması da toprağa uygulanan silisyumlu gübrenin etkinliğini azaltarak çeltik bitkisinin silisyuma olan tepkisini azaltmış olabilir. Çünkü silisyum toprakta özellikle Na, K, Mg, Fe ve Mn ile reaksiyona girerek onların silikatlar şeklinde çökmesine neden olduğu bildirilmiştir (Matichenkov & Bocharnikova 2001). Ayrıca toprakta yeterli besin maddesi bulunması durumunda uygulanan gübreden sağlanan artışların istatistiki bakımdan önemli olmayabileceği bir çok araştırmacı tarafından da bildirilmiştir (Mauad et al 2003; Horuz & Korkmaz 2004; Geçit & Çakır (2008); Katar & Gürbüz (2008); Kacar & Katkat 2009a; Korkmaz et al 2010). Silisyumun dane verimi üzerine müsbet etkisinin hücre duvarı içerisinde hidrate olmuş amorf silika polimerleri veya silika-kütükül çift tabakası şeklinde, sürgün hücrelerinde depolanmak suretiyle etkili olabileceği bildirilmiştir. Bu etkinin bitkilerin biyotik (bitki hastalık veya böcek zararı) ve abiyotik stres şartlarını (fosfor noksanlık veya fazlalığı, Fe ve Mn toksitesi, aşırı tuz, aşırı N vs.) azaltmak suretiyle gerçekleştirilebileceği de ifade edilmiştir (Prychid et al 2004; Mitani et al 2005).

Çizelge 4- Deneme topraklarında silisyumlu gübrelemenin ortalama çeltik dane verimine etkisi

Table 4- The effect of silica fertilization on average rice grain yield in the experimental soils

| Si dozları (mg kg ⁻¹) | Terme yöresi topraklarında yetiştirilen çeltiğin dane verimi (g saksr ⁻¹) | | | | | | | | |
|---------------------------------------|--|-------|---------|---------|--------|---------|---------|---------|---------|
| | T1 ⁺ | T2 | T3 | T4 | T5 | T6 | T7 | T8 | T9 |
| 0 | 18.35c | 9.80 | 15.46b | 30.23b | 12.53b | 18.23b | 21.98bc | 17.88b | 12.11b |
| 50 | 23.36ab | 9.26 | 16.46b | 29.98b | 11.24b | 25.39a | 20.02c | 19.50ab | 20.11a |
| 100 | 24.70a | 10.05 | 23.20a | 34.68a | 12.94b | 22.64ab | 23.47ab | 18.09ab | 16.62ab |
| 200 | 19.66bc | 10.72 | 14.87b | 31.60b | 18.15a | 18.79b | 22.03bc | 21.50a | 16.30ab |
| 400 | 18.63c | 10.36 | 17.01b | 30.28b | 16.68a | - | 25.56a | 17.35b | 17.62a |
| P | <0.01 | 0.266 | <0.01 | <0.01 | <0.01 | <0.01 | <0.01 | <0.01 | <0.01 |
| Si dozları, (mg kg ⁻¹) | Baфра yöresi topraklarında yetiştirilen çeltiğin dane verimi (g saksr ⁻¹) | | | | | | | | |
| | B1 | B2 | B3 | B4 | B5 | B6 | B7 | B8 | B9 |
| 0 | 7.28c | 11.73 | 9.82b | 9.44b | 7.71 | 11.75b | 14.10b | 12.59c | 12.72b |
| 50 | 10.45a | 12.23 | 13.42a | 10.36ab | 7.05 | 10.66b | 14.92b | 14.32ab | 12.66b |
| 100 | 10.34a | 12.02 | 13.55a | 9.71sb | 7.59 | 13.67ab | 14.55b | 14.01bc | 14.13ab |
| 200 | 8.95b | 13.80 | 11.65ab | 10.05ab | 8.09 | 14.04a | 17.52a | 15.92a | 16.34a |
| 400 | 11.45a | 12.75 | 10.84b | 11.23a | 8.92 | 13.69ab | 10.29c | 14.84ab | 11.88b |
| P | <0.01 | 0.302 | <0.01 | <0.01 | 0.286 | <0.01 | <0.01 | <0.01 | <0.01 |

*, Aynı sütunda aynı harflerle gösterilen ortalamalar arasındaki fark istatistiki bakımdan % 5 seviyesinde önemsizdir.

3.2. Silisyumlu gübrelemeyle çeltik dane veriminde sağlanan değişim ve optimum Si dozu

Silisyum gübrelemesiyle çeltik bitkisinin dane veriminde kontrole göre sağlanan değişimler Çizelge 5'te verilmiştir. Silisyum gübrelemesiyle kontrole göre dane veriminde sağlanan artışlar dozlara göre değişmiştir. Dane veriminde Si gübrelemesiyle sağlanan en yüksek artışlar T1 çeltik toprağında % 34.60, T2'de % 9.39, T3'de % 50.06, T4'de % 14.72, T5'de % 44.85, T6'da % 39.28, T7'de % 16.29, T8'de % 20.25, T9'da % 66.06, B1'de % 57.28, B2'de % 17.64, B3'de % 37.98, B4'de % 18.96, B5'de % 15.69, B6'de % 19.49, B7'de % 24.26, B8'de % 26.45 ve B9'da % 28.46 olduğu bulunmuştur. Dolayısıyla varyans analiz sonuçlarına göre, silisyumlu gübrelemeyle çeltik dane veriminde önemli artış görülen T1, T6, T8, T9, B1, B3, B4 ve B8 topraklarında 50 mg kg⁻¹ Si dozu; T3, T4, T7, B6 ve B9 topraklarında 100 mg kg⁻¹ Si dozu; T5 ve B7 topraklarında ise 200 mg kg⁻¹ Si dozunun optimum olduğu bulunmuştur. Elde edilen bu sonuçlara göre Samsun yöresinde çeltik topraklarının % 83'ünün değişen miktarlarda silisyumlu gübrelemeye ihtiyaç duyduğu ve yöre topraklarına uygulanacak optimum Si dozunun ortalama 87 mg kg⁻¹ olduğu tespit edilmiştir.

Ayrıca silisyum dozlarıyla dane verimi arasındaki ilişki dikkate alındığında yöre topraklarına uygulanacak silisyumun 255 mg kg⁻¹ e kadar artırılabilir ve bu dozun üzerindeki Si uygulamalarının çeltik dane verimini düşüreceği belirlenmiştir ($r=0,869^*$; Şekil 1). Çeltik bitkisinin silisyum gübrelemesine pozitif tepki gösterdiği ve optimum Si dozunun bizim bulduğumuz sonuçlara paralellik arz ettiği birçok araştırmacı tarafından da bildirilmiştir. Nolla et al (2012) çeltik bitkisine uygulanan Ca-silikat (0-20-40 ve 60 kg Si da⁻¹) gübresinin çeltik dane verimini ve bitki boyunu artırdığı, sap sayısını azalttığını bildirmişlerdir. Gerami & Rameeh (2012) çeltik bitkisinin hidrofonik kültür denemesinde 0-50 ve 100 mg kg⁻¹ Si uygulamalarından en yüksek çeltik dane veriminin 100 mg kg⁻¹ Si uygulamasından elde edildiğini ve çeltik sürgünlerinin Si içeriğinin 5.01-6.92 mg kg⁻¹ arasında değiştiğini bildirmişlerdir. Silisyumun çeltiğin sap + dane ağırlığını arttırdığı ve silisyum

uygulamasının çeltikte başak sayısını, salkımda dane sayısını ve dolu dane oranını artırdığı bildirilmiştir (Balastra et al 1989; Ma et al 1989; Deren et al 1994; Takahashi 1995). Singh et al (2006) silisyum uygulamasının çeltik verimini % 20-30, Savant et al (1997b) ise silisyum uygulaması ile çeltik dane veriminin % 4.60-48 oranında arttığını bildirmiştir. Wattanapayapkul et al (2011) çeltik bitkisine 0-25-50 ve 100 kg da⁻¹ dozlarında uygulanan silisyumun çeltik dane verimini 100 mg kg⁻¹ Si da⁻¹ dozuna kadar % 2 ile % 43 arasında artırdığını bildirmişlerdir. Jawahar & Vaiyapuri (2010) Hindistan'da yürüttükleri çalışmada çeltik bitkisine silisyum (0-4-8 ve 12 kg Si da⁻¹) gübresi uygulanması sonucu en yüksek çeltik dane ve sap verimi ile diğer verim öğelerinin (sap verimi, bitki yüksekliği, kardeşlenme sayısı ve kuru madde verimi, m²'deki başak sayısı ve başaktaki dane sayısının) 12 kg Si da⁻¹ uygulamasından elde edildiğini bildirmişlerdir. Silisyumun çeltik bitkisi çiçeğinde erkek ve dişil organını saran iç bürgülerde ve danede birikmek suretiyle döllenmeyi ve dane verimini artırdığı arttığı ifade edilmiştir (Machado 1994). Ghanbari-Malidareh (2011) çeltik tohumlarının % 62 SiO₂ içeren kalsiyum silikat çözeltisi içerisinde 12-24 saat bekletilmesinden sonra ekilmesinin çeltik tohumlarının çimlenme oranlarını artırarak 5 gün içerisinde çimlendiğini ve çeltik fidelerinin tarlaya şaşırtılmasından sonra uygulanan 50 kg Si da⁻¹ kalsiyum silikatın çeltik dane verimini kontrole göre önemli derecede arttırdığını bildirmiştir.

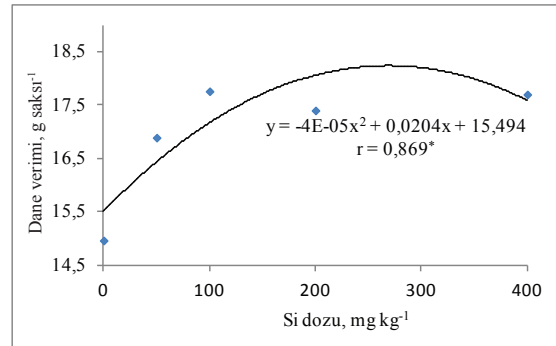
Silisyumlu gübrelemeyle çeltik dane veriminde en fazla azalma B5 toprağında 50 ve 100 mg kg⁻¹ Si dozlarında sırasıyla, % 8.56 ve % 40.47 olduğu görülmüştür. Bunun sebebi bu toprağın organik madde (% 3.65), yarıyıllı K (0.80 me 100 g⁻¹), Mg (14.91 me 100 g⁻¹), Na (3.81 me 100 g⁻¹), Fe (123.22 mg kg⁻¹), Mn (70.53 mg kg⁻¹) ve sodyum absorpsiyon oranı (SAO:3.16)'nın diğer topraklardan belirgin bir şekilde, pH değerinin (8.47) ise kısmen yüksek olmasından kaynaklanabilir. Çünkü uygulanan silisyum toprakta mevcut Na, K ve Mg ile reaksiyona girmek suretiyle onların silikatlar şeklinde çökelmelerine (Na₂SiO₃, K₂SiO₃ ve MgSiO₃) neden olmaktadır. Silikatlar şeklinde çökelme silisyumun

Çizelge 5- Kontrol topraklarının nispi ürün değerleri, yarayırlı Si kapsamı ve Si yeterlik durumları*Table 5- Relative grain yield, available Si contents and Si sufficiency of the control soils*

| Toprak No. | Toprakta yarayırlı Si (mg kg ⁻¹) | Kontrol toprak NDV ⁺ , (%) | Yeterlik durumu | Dane miktarında sağlanan artış veya azalışlar (%) | | | | | En yüksek artışlar (%) | Ortalama değişim (%) |
|------------|--|---------------------------------------|-----------------|---|--------|--------|--------|--------|------------------------|----------------------|
| | | | | Silisyum dozları (mg kg ⁻¹) | | | | | | |
| | | | | 0 | 50 | 100 | 200 | 400 | | |
| T-1 | 12.50 | 74.29 | Yetersiz | - | +27.30 | +34.60 | +7.14 | +1.53 | +34.60 | +17.64 |
| T-2 | 13.86 | 91.42 | Yeterli | - | -5.83 | +2.55 | +9.39 | +5.71 | +9.39 | +2.96 |
| T-3 | 9.11 | 66.63 | Yetersiz | - | +6.47 | +50.06 | -3.82 | +10.03 | +50.06 | +15.69 |
| T-4 | 12.33 | 87.17 | Yeterli | - | -0.83 | +14.72 | +4.53 | +0.17 | +14.72 | +4.65 |
| T-5 | 15.40 | 69.04 | Yetersiz | - | -10.30 | +3.24 | +44.85 | +33.12 | +44.85 | +17.73 |
| T-6 | 13.07 | 71.80 | Yetersiz | - | +39.28 | +24.19 | +3.07 | - | +39.28 | +22.18 |
| T-7 | 18.14 | 85.99 | Yeterli | - | -8.92 | +6.78 | +0.22 | +16.29 | +16.29 | +3.59 |
| T-8 | 13.55 | 83.16 | Yetersiz | - | +9.06 | +1.17 | +20.25 | -2.96 | +20.25 | +6.88 |
| T-9 | 1.97 | 60.22 | Yetersiz | - | +66.06 | +37.24 | +34.60 | +45.50 | +66.06 | +45.85 |
| B-1 | 12.42 | 63.58 | Yetersiz | - | +43.54 | +42.03 | +22.94 | +57.28 | +57.28 | +41.52 |
| B-2 | 14.46 | 85.00 | Yeterli | - | +4.26 | +2.47 | +17.64 | +8.70 | +17.64 | +8.27 |
| B-3 | 8.96 | 72.47 | Yetersiz | - | +36.66 | +37.98 | +18.64 | +10.39 | +36.66 | +25.92 |
| B-4 | 13.71 | 84.06 | Yetersiz | - | +9.75 | +2.86 | -2.46 | +18.96 | +18.96 | +6.28 |
| B-5 | 13.72 | 86.43 | Yeterli | - | -8.56 | -40.47 | +4.93 | +15.69 | +15.69 | -7.10 |
| B-6 | 11.49 | 81.59 | Yetersiz | - | -9.28 | +16.34 | +19.49 | +16.51 | +19.49 | +10.71 |
| B-7 | 11.70 | 80.48 | Yetersiz | - | +5.82 | +3.19 | +24.26 | -27.02 | +24.26 | +1.56 |
| B-8 | 12.43 | 79.08 | Yetersiz | - | +13.74 | +11.28 | +26.45 | +17.87 | +26.45 | +17.34 |
| B-9 | 15.89 | 77.85 | Yetersiz | - | -0.47 | +11.08 | +28.46 | -6.60 | +28.46 | +8.12 |

⁺, NDV: Nispi dane verimi

yarayırlılığının azalmasından dolayı dane veriminde düşüşler olduğu düşünülmektedir. Liang (1999) toprakta aşırı tuz bulunması durumunda toprağa uygulanan silisyumun Na-silikat oluşturmak suretiyle bitki tarafından alınan Na miktarını azaltarak bitkilerde oluşacak tuz zararlanmalarını yani tuz stresini azaltacağını bildirmiştir. Aynı şekilde toprakta mevcut yarayırlı Fe ve Mn da Si ile reaksiyona girerek (Fe₂SiO₄, Mn₂SiO₄) hem Fe ve Mn'nin hem de Si'nin yarayırlılığının azalmasına neden olduğu düşünülmektedir. Çünkü bir toprağın bitkiye yarayırlı silisyum miktarının belirtilmesinde en iyi indeksin kolay ektrakte edilebilir Si/Fe₂Al₃ oranının önemli olduğu ve toprağın Si/Al ve Si/Fe oranı artıkça bitkinin silisyum absorpsiyonunun artacağı ifade edilmiştir (Dobermann & Fairhurst 2000; Matichenkov & Bocharnikova 2001). Ayrıca toprak çözeltisinde en düşük silisyum konsantrasyonunun pH 9'a doğru oluştuğu belirtilmiştir (Loué 1986). Artan



Şekil 1- Silisyumlu gübreyle dane veriminde artış sağlandığı 15 toprakta silisyum dozları ile ortalama dane verimi arasındaki ilişki

Figure 1- The relationship between silica doses and mean grain yields in 15 soils where grain yield increased by silica fertilization

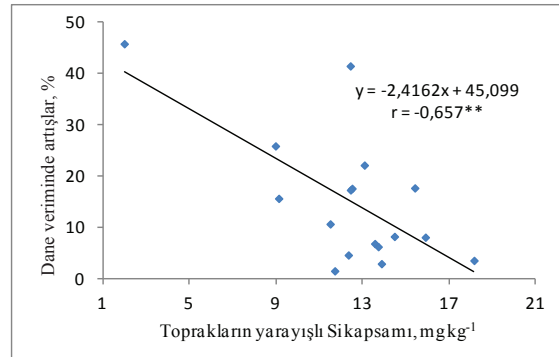
Si dozlarında ise özellikle oluşan Na-silikatlerden dolayı Na konsantrasyonunda ve pH'daki muhtemel azalmalar nedeni ile 200 ve 400 mg kg⁻¹ Si dozlarında çeltik dane veriminde sırasıyla, % 4.93 ve % 15.69 oranlarında artışlar tespit edilmiştir.

Ayrıca toprağa uygulanan silisyumlu gübrelemeyle çeltik dane veriminde T3 toprağında (Si 200 dozunda, % 3.82), T7'de (Si 50 dozunda, % 8.92), T8'de (Si 400 dozunda, % 2.96), B4'te (Si 200 dozunda, % 2.46), B6'da (Si 50 dozunda, % 9.28), B7'de (Si 400 dozunda, % 27.02) ve B9'da (Si 50 dozunda, % 0.47 ve Si 400 dozunda, % 6.60) azalmaların sebepleri toprakların Na, K, Ca, Mg, Fe, SAO ve yarayışlı Si kapsamlarındaki değişimlerden ya da deneme hatalarından kaynaklandığı düşünülmektedir. Dolayısıyla silisyumlu gübrelemeyle sağlanan artış veya azalışlar silisyumlu gübrelemeye bağlı olduğu kadar toprakların özelliklerine göre de değişebilmektedir (Datnoff et al 1997; Hull 2004).

3.3. Toprakların Si yeterli durumları

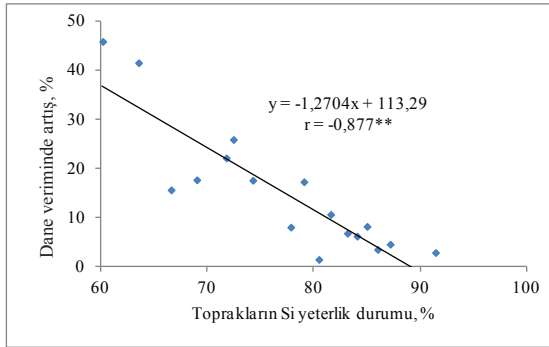
Kontrol toprakların nispi dane verim değerleri, yarayışlı Si kapsamı ve yeterli durumları Çizelge 5'te verilmiştir. Silisyumlu gübrelemeyle kontrole göre dane veriminde sağlanan artışlar uygulanan Si dozlarına ve topraklara göre değişmiştir. Toprakların (17 toprak) yarayışlı Si kapsamı arttıkça silisyumlu gübrelemesine bağlı olarak çeltik dane veriminde kontrole göre sağlanan artışlar azalma göstermiştir (Şekil 2). Topraklara uygulanan besin maddesi (gübre) arttıkça verimde sağlanan artışların azalacağı bildirilmiştir (Kacar & Katkat 2009a). Cate & Nelson (1971)'a göre silisyumlu gübreleme yapılmayan kontrol topraklardan elde edilen nispi dane verim miktarları % 85'in altında olan çeltik topraklarının (kontrol topraklar) silisyumluca yetersiz oldukları (% 60.22 - 84.06) ve bu topraklara uygulanan silisyumlu gübrelemenin dane verimi üzerine etkilerinin önemli olduğu ortaya konulmuştur. Diğer taraftan Si gübrelemesinin dane verimini etkilemediği T2, T4, T7, B2 ve B5 topraklarında ise çeltik nispi dane veriminin sırasıyla, % 91.42, 87.17, 85.99, 85.00 ve 86.43 olduğu, bu topraklarda yetiştirilen çeltiğin Si'li gübrelemeye tepki göstermediği ve Si bakımından

yeterli oldukları tespit edilmiştir. Kacar & Katkat (2009b) toprakta herhangi bir besin elementinin konsantrasyonu kritik değer altındaki olduğu zaman gübreleme ile istatistiki yönden önemli, bir başka deyişle kazançlı ürün artışı sağlanırken, besin elementinin konsantrasyonu kritik değer üzerinde olduğu zaman gübreleme ile ürün artışı ve dolayısıyla ekonomik yararın sağlanamayacağını bildirmişlerdir. Carefoot et al (1989) buğdayda azotlu gübrelemeyle, Kaya et al (2006) mısır bitkisinde ve Kim et al (2012) çeltikte silisyumlu gübrelemesiyle benzer sonuçları ifade etmişlerdir. Araştırmacılar tarafından ifade edilen bulgulara benzer şekilde dane nispi ürün değerleri arttıkça ve/veya topraklar Si bakımından yeterlilik seviyesine yaklaştıkça silisyumlu gübrelemeyle elde edilen çeltik dane verimindeki artışlar azalmıştır (Şekil 3). Shang et al (2009) 0-60-120-180-240 ve 300 kg ha⁻¹ dozlarında Si uygulamalarının Shennong-265 ve Fengyou-2000 çeltik çeşitlerinde verim öğelerini (çeltik dane verimi, 1000 dane ağırlığı ve başaktaki dane sayısı) azalan verim kanununa göre azalan artışlar şeklinde artırdığını optimum Si dozunun sırasıyla, 180 ve 240 kg Si ha⁻¹'dan elde edildiğini bu dozun üzerinde artan Si uygulamalarının ise verim üzerine etkisinin olmadığını bildirmişlerdir.



Şekil 2- Toprakların yarayışlı Si kapsamı ile silisyumlu gübrelemesine bağlı olarak çeltik dane veriminde kontrole göre sağlanan artışlar arasındaki ilişki (17 toprak)

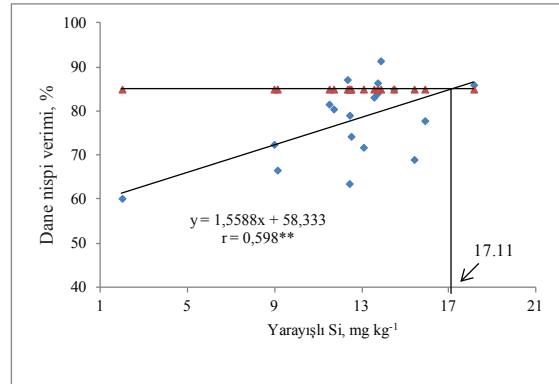
Figure 2- Relationship between silica fertilization and increasing in rice grain yield depending on available silica contents of the soils (17 soils)



Şekil 3- Toprakların Si yeterlilik durumlarına (kontrol toprakların nispi ürün değerleri) bağlı olarak silis gübrelemesi ile çeltik dane verimi arasındaki ilişki (n=17)

Figure 3- Relationship between silica fertilization and grain yield of rice depending on Si sufficient statue of the soils (relative yield value of control soils, n=17)

Ayrıca deneme topraklarından elde edilen dane nispi verimi ile toprakların yarıyışlı Si değerleri arasındaki ilişki ($r=0.598^{**}$) yüksek bulunmuştur (Şekil 4). Bu ilişkiden yöre topraklarında nispi verimin % 85'inin alınabilmesi için toprakların yarıyışlı Si içeriğinin (kritik konsantrasyon) 0.18 M NaOH + 087 M HOAc metoduna göre $17.11 \text{ mg kg}^{-1} \leq$ olması gerektiği tespit edilmiştir (Şekil 4). Dolayısıyla bu değerın üstünde Si kapsayan toprakların Si bakımından yeterli oldukları ve Si'li gübrelemeye ihtiyaç göstermediği, bu değerın altında Si içeriğine sahip toprakların ise Si bakından yetersiz oldukları ve değişik derecelerde Si'li gübreye ihtiyaç gösterdiği belirlenmiştir. Bu konuda çalışan araştırmacılar, toprakların yarıyışlı silisyum içeriklerinin kullanılan yõteme, kritik Si değerinin ise seçilen bitkiye göre değişebileceğini bildirmişlerdir. Çeltik bitkisi için kritik Si değerinin 0.5 N asetik asit ekstraksiyon metoduna göre 24 mg kg^{-1} (Korndorfer et al 2001), Sodyum asetat buffer metodu için 60 mg kg^{-1} (Imaizumi & Yoshida 1958), Park (2001) aynı metodla organik topraklarda 26 mg kg^{-1} olduğu belirtilmiştir. Haysom & Chapman (1975) ise asit topraklarda yetiştirilen şeker kamışı için 0.01 M kalsiyum klorür ekstraksiyon yöntemine göre bitkiye yarıyışlı Si kritik değerinin 20 mg kg^{-1} olduğunu, Avustralyada bu metodun saf su ekstraksiyon metoduna alternatif olduğu ve geniş ölçüde kullanıldığı bildirmişlerdir.



Şekil 4- Çeltik dane nispi verimi ile toprakların yarıyışlı Si kapsamı arasındaki ilişki

Figure 4- Relationship between relative grain yield and available Si concentration of the soils

4. Sonuçlar

Samsun yöresi Bafra ve Terme ilçeleri çeltik topraklarının Si bakımından değişik düzeylerde yetersiz oldukları ve çeltiğin bu topraklarda silisyumlu gübrelemeye ihtiyaç gösterdiği tespit edilmiştir. Yöre topraklarında silisyum gübrelemesi çeltiğin dane verimini en yüksek artışların ortalaması olarak % 30.02 oranında artırarak pozitif etki sağlamıştır.

Toprakların yarıyışlı Si içerikleri ve kontrol toprakların nispi ürün değerleri arttıkça Si gübrelemesiyle kontrole göre sağlanan artışlar azalmıştır. Yöre çeltik topraklarının % 83'ünün değişik miktarlarda Si'li gübrelemeye gereksinimleri olduğu bulunmuştur.

Çeltik dane veriminin % 85'in altında olan toprakların Si bakımından yetersiz oldukları ve silisyumlu gübrelemeye tepki gösterdiği belirlenmiştir.

Genel olarak toprakların kil kapsamı azaldıkça bitkiye yarıyışlı Si'de azalmıştır. Bazı toprakların Na, K, Mg, Fe ve Mn içerikleri artarken, çeltik bitkisinin silisyum gübrelemesinin düşük dozlarına tepkisi azalmış, artan Si dozlarında ise bu tepkinin arttığı tespit edilmiştir.

Silisyumlu gübrelemeyle elde edilen nispi dane verim değerleri ve dane veriminde sağlanan en yüksek artışlar dikkate alındığında optimum Si ihtiyacının 2 toprakta 50 mg kg⁻¹, 4 toprakta 100 mg kg⁻¹, 8 toprakta 200 mg kg⁻¹ ve 4 toprakta 400 mg kg⁻¹ olduğu bulunmuştur. Yöre topraklarına uygulanacak optimum Si dozunun ise ortalama 87 mg kg⁻¹ olduğu ve bunun en fazla 255 mg kg⁻¹'e kadar artırılabilceği tespit edilmiştir.

Ayrıca toprakların NaOAc + HOAc yöntemiyle belirlenen bitkiye yarayırlı silisyum içerikleri 1.97 - 18.14 mg kg⁻¹ arasında değiştiği, toprakların kritik Si konsantrasyonunun 17.11 mg kg⁻¹ olduğu, bu değer altındaki toprakların Si bakımından yetersiz oldukları ve Si'li gübrelemeye tepki göstereceği belirlenmiştir.

Kaynaklar

- Aktaş M (1994). Bitki Besleme ve Toprak Verimliliği. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, Ders Kitabı:1361, Ankara
- Balstra M L F, Perez C M, Juliano B O & Villreal P (1989). Effects of silica level on some properties of *Oriza sativa* straw and hult. *Canadian Journal of Botany* **67**: 2356-2363
- Carefoot J M, Bole J B & Entz T (1989). relative efficiency of fertilizer N and soil nitrate at various depths for the production of soft white wheat. *Canadian Journal of Soil Science* **69**: 867-874
- Cate R B & Nelson R A (1971). A simple statistical procedure for partitioning soil test correlation data into two classes. *Soil Science Society of America Proceedings* **35**: 658-660
- Datnoff L E & Rutherford B A (2004). Accumulation of silicon by bermudagrass to enhance disease suppression of leaf spot and melting out. *USGA Turfgrass and Environmental Research Online* **2**: 1-6
- Datnoff L E, Deren C W & Snyder G H (1997). Silicon fertilization for disease management of rice in Florida. *Crop Protection Journal* **16**: 525-531
- Demiralay İ (1993). Toprak Fiziksel Analizleri. Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları No:143, Erzurum
- Deren C W, Datnoff L E, Snyder G H & Martin F G (1994). Silicon concentration, disease response, and yield components of rice genotypes grown on flooded organic Histosols. *Crop Science* **34**: 733-737
- Dobermann A & Fairhurst T H (2000). Rice:Nutrient Disorders & Nutrient Management. International Rice Research Institute. First edition, ISBN 98, pp. 95-98
- Elawad S H & Gren V E (1979). Silicon and the rice plant environment: A review of recent research. *River Riso* **28**: 235-253
- Epstein E (1994). The anomaly of silicon in plant biology. *Proceedings of the National Academy of Sciences* **91**:11-17
- Epstein E (1999). Silicon. Annual Review Plant Physiology. *Plant Molecular Biology* **50**: 641-664
- Geçit H S & Çakır E (2008). Makarnalık Buğdayda (*Triticum durum L.*) Sulama ve Azotlu Gübrelemenin Verim ve Verim Ögeleri Üzerine Etkisi. *Tarım Bilimleri Dergisi-Journal of Agricultural Sciences* **14**: 341-349
- Gerami M & Rameeh V (2012). Study of silicon and nitrogen effects on yield components and shoot ions nutrient composition in rice. *Agriculture* **58**: 93-98
- Ghanbari-Malidareh A (2011). Silicon application and nitrogen on yield and yield components in rice (*oryza sativa L.*) in two irrigation systems. *World Academy of Science, Engineering and Technology* **50**: 88-96
- Haysom M B C & Chapman L S (1975). Some aspects of the calcium silicate trials at Mackay. *Proceedings of Australian Society of Sugar Cane Technology* **42**: 117-122
- Heckman J R & Provance-Bowley M (2011). Silicon in soil fertility and crop production; Ten years of research. Northeast Branch Crops, Soils and Agronomy Meeting Abstracts. njaes.rutgers.edu/pubs/soilprofile/sp-v20.pdf. (Erişim tarihi: 11.20.2012)
- Hodson M J & Evans D E (1995). Aluminium/silicon interactions in higher plants. *Journal of Experimental Botany* **46**: 161-171.
- Horuz A & Korkmaz A (2004). Calibration of nitrogen soil tests with field experiments by growing corn. International Soil Congress on *Natural Resource Management for Sustainable Development*, June 7-10, Erzurum-Turkey, pp:58-66
- Hull R J (2004). Scientists start to recognize silicon's beneficial effects. *Turfgrass Trends* **8**: 69-73
- Jawahar S & Vaiyapuri V (2010). Research article effect of sulphur and silicon fertilization on growth and yield of rice. *International Journal of Current Research* **9**: 36-38

- Imaizumi K & Yoshida S (1958). Edaphological studies on silicon supplying power of paddy soil. *Bull. Natl Inst. Agricultural Science (Jpn)* **8**: 261-304
- Jones L H P & Handreck K A (1967). Silica in soils, plants, and animals. *Advances in Agronomy* **19**: 107-149
- Kacar B (2009). Toprak Analizleri. Nobel Yayınları (Genişletilmiş 2. Baskı), No:1387, Ankara
- Kacar B & İnal A (2008). Bitki Analizleri. Nobel Yayın No. 1241, Ankara
- Kacar B & Katkat V (2009a). Bitki Besleme. 4. Baskı, Nobel Yayın No:849, Ankara
- Kacar B & Katkat V (2009b). Gübreler ve Gübreleme Tekniği. 3. Baskı, Nobel Yayın No:1119, Ankara
- Katar D & Gürbüz B (2008). Oğulotu (*Melissa officinalis* L.)'nda Farklı Bitki Sıklığı ve Azot Dozlarının Drog Yaprak Verimi ve Bazı Özellikler Üzerine Etkisi. *Tarım Bilimleri Dergisi-Journal of Agricultural Sciences* **14**: 78-81
- 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**: 1469-1480
- Kim Y, Khan A, Shinwari Z K, Kim D H, Waqas M, Kamran M & Lee I J (2012). Silicon treatment to rice (*oryza sativa* L. Cv 'gopumbyeo') plants during different growth periods and its effect on growth and grain yield. *Pakistan Journal Botany* **44**: 891-897
- Korkmaz A, Şendemirci H S & Horuz A (2010). Toprakların DTPA ile ekstrakte edilebilir demir miktarına bağlı olarak fasulye bitkisinin (*phaselous vulgaris* L. var. *nanus*) demirli gübrelemeye cevabı. *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi* **25**: 175-184
- Korndorfer G H, Snyder G H, Ulloa M, Powell G & Datnoff L E (2001). Calibration of soil and plant silicon analysis for rice production. *Journal of Plant Nutrition* **24**: 1071-1084
- Lewin J & Reimann B E F (1969). Silicon and plant growth. *Annual Review of Plant Physiology* **20**: 289-304
- Liang Y (1999). Effects of silicon on enzyme activity and sodium, potassium and calcium concentration in barley under salt stress. *Plant and Soil* **209**: 217-224
- Loué A (1986). Les Oligo-éléments en Agriculture. Agri - Nathan International, 43 Rue du Chemin- Vert, 75011, Paris
- Ma J F, Nishimura K & Takahashi E (1989). Effect of silicon on the growth of rice plant at different growth stages. *Soil Science and Plant Nutrition* **35**: 347-356
- Ma J F, Goto S, Tamai K & Ichii M (2001). Role of root hairs and lateral roots in silicon uptake by rice. *Plant Physiology* **127**: 1773-1780
- Machado J R (1994). Desenvolvimento da planta e produtividade de grãos de populações de arroz (*Oryza sativa* L.) irrigado por inundaçao em função de épocas de cultivo. Botucatu: UNESP/FCA, 237
- 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. Korndorfer, eds. *Silicon in Agriculture*. Amsterdam: Elsevier, pp. 209-219
- Mauad M, Crusciol C A C, Filho H G & Correa J C (2003). Nitrogen and silicon fertilization of upland rice. *Scientia Agricola (Piracicaba, Brazil)* **60**:761-765
- Mengel K & Kirkby E A (1982). Nitrogen. In: K. Mengel & E.A. Kirkby (eds.). *Principles of Plant Nutrition*. International Potash Institute, Worblaufen-Bern, Switzerland, pp. 335-368.
- Mitani N & Ma J F (2005). Uptake system of silicon in different plant species. *Journal of Experimental Botany* **56**: 1255-1261
- Mitani N, Ma J F & Iwashita T (2005). Identification of the silicon form in xylem sap of rice (*Oryza sativa* L.). *Plant Cell Physiology* **46**: 279-283
- Nolla A, Faria R J, Korndorfer G H & Silva T R B (2012). Effect of silicon on drought tolerance of upland rice. *Journal of Food, Agriculture and Environment* **10**: 269-272
- Park C S (2001). Past and Future advances in silicon research in the republic of Korea. In Datnoff L E, Snyder, G H & Korndorfer G H Eds., *Silicon in Agriculture*. Elsevier: Amsterdam, pp. 359-371
- Prychid C J, Rudall P J & Gregory M (2004). Systematics and biology of silica bodies in monocotyledons. *Botanical Review* **69**: 377-440
- Rayment G E & Higginson F R (1992). Australian Laboratory Handbook of Soil and Water Chemical Methods. Inkata Press, No:546, Melbourne
- Sauer D, Sacconel L, Couley D J, Herrman L & Sommer M (2006). Review of methodologies for extracting plant-available and amorphous Si from soils and aquatic sediments. *Biogeochemistry* **80**: 89-108
- Savant N K, Datnoff L E & Snyder G H (1997a). Depletion of plant available silicon in soils: A possible cause of declining rice yields. *Communication in Soil Science and Plant Analysis* **28**: 1245-1252

- Savant N K, Snyder G H & Datnoff L E (1997b). Silicon management and sustainable Rice. *Advances in Agronomy* **58**: 151-199
- Shang Q, Zhang W, Han Y, Rong R, Xu Z & Chen W (2009). Effect of silicon fertilizer application on yield and grain quality of japonica rice from northeast China. *Chinese Journal of Rice Science* **23**: 661-664
- Singh K & Karwasra S P S (1988). Response of pearl-millet to zinc fertilization in relation to DTPA extractable zinc. Department of soils. *Fertilizer Research* **18**: 13-17
- Singh K, Ragavendra Singh J P, Yogeshwar S & Singh K K (2006). Effect of level and time of Silicon application on growth, yield and its uptake by rice (*Oryza sativa*). *Indian Journal of Agricultural Science* **76**: 410-413
- Takahashi E (1995). Uptake mode and physiological functions of silica. *Science Rice Plant* **2**:58-71
- Wattanapayapkul W, Polthane A, Siri B, Bhadalung N & Promkhambut A (2011). Effects of silicon in suppressing blast disease and increasing grain yield of organic rice in Northeast Thailand. *Asian Journal of Plant Pathology* **5**: 134-145
- Winslow M D, Okada K & Correa-Victoria F (1997). Silicon deficiency and the adaptation of rice ecotypes. *Plant and Soil* **188**: 239-248
- Yurtsever N (1984). Deneysel İstatistik Metotları. Toprak ve Gübre Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü Yayınları, Teknik Yayın No: 56, Ankara