



# TOPRAK BİLİMİ VE BİTKİ BESLEME DERGİSİ

<http://dergi.toprak.org.tr>



## Silisyumun bitki gelişimine olan etkileri

Ayhan Horuz \*

Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, Samsun

### Özet

Bu çalışmada silisyumun (Si) bitki gelişimi üzerine olan etkileri, noksanlık belirtileri, toksisitesi ve gübrelemesi konuları incelenmiştir. Bitkiler silisyumu toprak çözeltisinden orto silisilik ( $H_4SiO_4$ ) veya monosilisilik asit ( $Si(OH)_4$ ) anyon formunda absorbe ederler. Silisyum bitkilerin sap veya yapraklarında pektin ve kalsiyum iyonlarıyla birleşerek silika-selülöz membran tabakası ( $SiO_2 \cdot nH_2O$ ) oluşturmak suretiyle epidermal bitki dokularında polimerize olmaktadır. Bu sayede yapraklarda transpirasyonu azaltarak kuraklığa direnç sağlamakta, toprak çözeltisinde Al-Si, Fe-Si, Mn-Si kompleksleri oluşturarak bitkilerde olası ağır metal toksisitesini azaltmakta, hücre duvarının kalınlığını artırmak suretiyle gövdenin biyotik zararlılara karşı dayanıklılığını artırmaktadır. Toprakta aşırı tuz bulunması durumunda Na-silikat oluşturarak Na miktarını ve bitkide oluşturacağı tuz zararını azaltmaktadır. Gelişme ortamında silisyumun noksan ve yeterli bulunması durumları ile muhtemel stres şartlarında kullanılabilir silisyumlu gübreler incelenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Silisyum, toprak, bitki, noksanlık, gübreleme.

### The effects of silicon on plant development

### Abstract

In this study, silicon (Si) effects on plant development, deficiency symptoms, toxicity and fertilization were investigated. Silicon is taken up from soil solution by the plant roots in the anion forms of ortho silicic acid ( $H_4SiO_4$ ) or mono silicic acid [ $Si(OH)_4$ ]. Silicon polymerizes to form silica-cellulose membrane layer ( $SiO_2 \cdot nH_2O$ ) by combining with pectin and calcium ions in the epidermal tissues of leaf or stem of plants. Thereby, it gains resistance against drought by reducing the transpiration, and reduces the transpiration of the leaves, reducing the toxicity of heavy metals in plants by forming Al-Si, Fe-Si and Mn-Si complexes in soil solution and increasing the stability of stem to biotic pests by increasing the thickness of the cell wall. Also, silicate reduces the amount of Na ions and the salt damage that will occur in the plant by forming Na-silicate. Si fertilizers were examined to be used in possible deficient and sufficient Si stress conditions in the growth media.

**Keywords:** Silicon, Soil, Plant, deficiency, fertilization

© 2018 Türkiye Toprak Bilimi Derneği. Her Hakkı Saklıdır

### Giriş

Silisyum bazı bitkileri için (çeltik, şeker kamışı gibi bazı sucul bitkiler) mutlak gerekli; bazı bitkiler için potansiyel gerekli besin elementi olmasına rağmen bitki beslemedeki yeri yeteri kadar anlaşılammış fonksiyonel ve faydalı bir besin elementidir (Takahashi ve ark., 1990; Singh ve ark., 2005). Bütün karasal bitkilerin dokularında kuru ağırlık ilkesine göre %0,1-10 arasında silisyum bulunur (Ma ve Takahashi, 2002).

Silisyum üzerine çalışmalar 1840'ta Justus Von Liebig'in sera şartlarında şeker kamışına uyguladığı sodyum silikat gübresi ile başlamış ve günümüze kadar yapıla gelen laboratuvar, sera ve tarla çalışmalarıyla devam etmiştir. Bu çalışmalarda silisyumun çeltik (*Oryza sativa* L.), mısır (*Zea mays* L.), buğday (*Triticum aestivum* L.), arpa (*Hordeum vulgare* L.), şeker kamışı (*Saccharum officinarum* L.), hıyar (*Cucumis sativa* L.), domates (*Lycopersicon esculentum* Mill), turunçgil (*Citrus taitentis* Risso) ve diğer bitkilerde faydalı etkilere sahip olduğu görülmüştür (Liebig, 1840; Savant ve ark., 1997a; Epstein, 1999; Matichenkov ve ark., 1999).

Tam teknoloji ürünü silisyumlu gübre 1955'de Japonya'da geliştirilmiş ve silisyumca eksik çeltik arazilerine 1.5-2.0 t ha<sup>-1</sup> olarak uygulanmıştır. Bu uygulamalar sonucu çeltikte %5-10'luk verim artışları elde edilmiştir (Takahashi ve ark., 1990).

\* Sorumlu yazar:

Tel. : 0 362 3121919

E-posta : [ayhanh@omu.edu.tr](mailto:ayhanh@omu.edu.tr)

Geliş Tarihi : 26 Nisan 2017

Kabul Tarihi : 17 Aralık 2018

e-ISSN : 2146-8141

Son yıllarda bitkilerin gelişim ve fonksiyonları üzerine silisyum elementinin direkt veya indirekt olumlu etkilerinden dolayı dünyada silisyuma artan bir ilgi oluşmuştur. Silisyum özellikle uygun olmayan iklim şartlarında aşırı sıcaklık ve kuraklık stresi, mineral toksisite, yıpranmaya karşı dayanıklılık gibi abiyotik; bitki hastalıkları ve böcek zararlılarına karşı koruyucu etkileri gibi biyotik streslere karşı bitkiyi koruyan ve gelişimini artıran potansiyel etkilere sahip olduğu bildirilmiştir (Sistani ve ark., 1997; Ma, 2004). Çeltik, sucul çayırlar gibi bazı bitkiler silisyumu dokularında %1-5'den daha fazla miktarlarda biriktirmekte ve "akümülator bitki" olarak değerlendirilmektedirler. Domates, salatalık, mısır, arpa, soya fasulyesi gibi bazı bitkiler ise silisyumu dokularında %1'den daha az oranlarda biriktirmektedirler. Bu bitkiler silisyumun indirekt etkileri altında bulunmaktadırlar. Yani stres şartlarının olmadığı normal toprak şartlarında sağlıklı gelişirken, stres şartlarının oluşması ile birlikte; toprakta yeteri kadar silisyumun bulunmaması durumunda yaşamsal fonksiyonları bozulmaktadır. Silisyumun toprakta yeterli olması durumunda stres şartları altında bile olsa bitkiler herhangi bir fonksiyonel bozukluk göstermemektedir (Takahashi ve ark., 1990; Savant ve ark., 1999).

Silisyum bitkide immobil olduğu için transpirasyonla bitkinin üst yapraklarına taşınır. Alınan silisyum özellikle yaprak kutikülü altında birikerek yaprakların daha dik durmasını sağlamakta, fotosentetik aktiviteyi artırmakta ve transpirasyonu iyileştirmektedir. Ayrıca bitki sapının stabilitesini güçlendirerek yatmaya karşı bitkinin direncini artırmakta ve fide dikimi sonrası kardeşlenme sayısını artırmaktadır (Liang ve ark., 2007). Özellikle çeltiğin silisyum akümülator bitki olması sebebiyle, intensif tarım alanlarında silisyumun topraktan uzaklaşması ve yeteri kadar silisyumlu gübrelemenin yapılmadığı durumlarda çeltik verimi azalmaktadır (Savant ve ark., 1997a; Mauad ve ark., 2003). Silisyumun topraktan 100 ppm silisik asit uygulaması, 100-400 ppm yaprak uygulaması ve metre kareye 0,5-2,0 kg çeltik kavuz külü uygulamalarının fotosentezi, bitkide taşınan karbonu, başaktaki dane sayı, su kullanım randımanı, bitki büyümesi, kardeşlenme oranı, yaprak alanı, kısacası vejetatif ve generatif gelişmeyi artırmak suretiyle bitkide olumlu etkiler göstermektedir (Singh ve ark., 2005).

Bu çalışmada silisyumun toprak özellikleri, bitki gelişimi üzerine olan etkileri, noksanlık belirtileri, toksisitesi ve gübrelenmesi incelenmiştir.

## Toprakta silisyum


Silisyum yer kabuğunda yaklaşık % 28 oranında bulunan ve miktar bakımından oksijenden sonra ikinci sırada yer alan elementtir (Elawad ve Gren, 1979; Epstein, 1994). Toprağın silisyum kaynağı kuvarz, placioklas, ortoklas ve feldispat gibi primer mineraller; kaolin, vermikülit ve smektit gibi sekonder kil mineralleri ve amorf silika olarak 3 gruba ayrılır. Kuvars anhidrit  $\text{SiO}_2$  den ibaret kum olup, silisyumca zengindir. Killer ise az veya çok hidrate olmuş alüminyum silikatlerden oluşmaktadırlar. Kuvarz ve kil minerallerinin içerdiği silisyum bitkiler için elverişli formlarda değildir. Silikat minerallerinin parçalanması silisyum monosilisik asit veya polisilisik asit şeklinde bitkiye yararlı hale geçmesini sağlar (Loué, 1986). Toprak çözeltisi genellikle ortalama 3-17 mg Si veya 30-40 ppm  $\text{SiO}_2$ 'yi monosilisik asit ( $\text{Si(OH)}_4$ ) formunda ihtiva etmektedir. Bununla birlikte aynı pH da toprak çözeltisinin silisyum kapsamı 7-80 ppm  $\text{SiO}_2$  aralığında değiştiği belirtilmiştir (Jones ve Handreck, 1967; Hull, 2004).

Silisyum toprak çözeltisinde çözünmüş halde, Fe ve Al oksit ve hidroksitlere adsorbe halde ve solid halde olmak üzere 3 farklı fraksiyonda bulunur. Adsorbe ve toprak çözeltisinde bulunduğu formlar monosilisik asit, polisilisik asit, inorganik bileşikler, organik bileşikler ve organo-silikon bileşikler şeklinde, katı fazda bulunanlar amorf, zayıf ve mikro kristal ve tam kristal formlarda bulunanları teşkil eder. Silisyumun amorf formları biyojenik ve minerojenik formlarda bulunur (Matichencov ve Bocharnikova, 2001).

Mono silisik asit topraklarda Fe ve Al iyonları tarafından adsorbe edilmektedir. Bu adsorpsiyonda Al oksitlerin Fe oksitlere göre daha etkin olduğu belirtilmiş ve toprak çözeltisinin mono silisik asit konsantrasyonunun öncelikle toprakta seskioksitlerin (Fe ve Al oksitler) miktarına bağlı olduğu belirtilmiştir. Bu yüzden bir toprağın bitkiye yararlı silisyum miktarının belirtilmesinde en iyi indeksin kolay ekstrakte edilebilir Si/Fe<sub>2</sub>Al<sub>3</sub> oranı önemlidir. Bu konuya ilişkin yapılan çalışmalarda toprağın Si/Al ve Si/Fe oranı arttıkça bitkisinin silisyum absorpsiyonunun arttığı tespit edilmiştir. Toprak çözeltisinde en düşük silisyum konsantrasyonunun pH 9'a doğru oluştuğu belirtilmiş asit toprakların çözeltisinde silisyum kapsamının daha fazla olduğu kireçleme sonucu silisyum adsorpsiyonunun azaldığı bildirilmiştir. Loué, (1986) toprak çözeltisinin mono silisik asit miktarı ile bitkiler tarafından absorbe edilen silisyum miktarı arasında pozitif ilişki olup yulafta yapılan bir çalışmada toprak çözeltisinin mono silisik asit kapsamı arttıkça bitkinin silisyum kapsamının arttığı tespit edilmiştir (Jones ve Handreck, 1967). Bu lineer ilişki Okuda ve Takahashi (1965) tarafından çeltik bitkisinde de ortaya konulmuştur.

Polisilik asit toprak solüsyonunun bütünleyici bir ögesidir. Genellikle toprakların fiziksel özelliklerini etkiler. Polisilik asit kimyasal olarak durağan olup temelde kolloidal parçacıkları oluşturan bir adsorbant olarak rol oynar (Hodson ve Evans, 1995). Polisilik asit silikat köprülerini oluşturmak için toprak mineralleri tarafından ortama salınır. Polisilik asit yüksek derecede su ile sature olduğu için toprakların su tutma kapasitesini ve KDK'sını iyileştirir. Ayrıca toprak struktürünün oluşumunda olumlu etki yapar (Matichenkov ve ark., 1995).

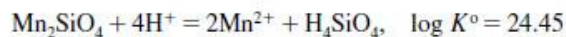
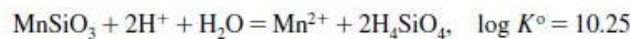
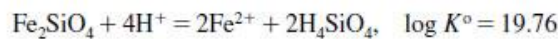
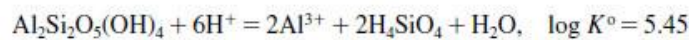
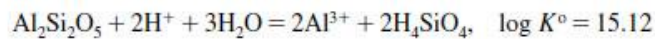
Toprak çözeltisinde silisyum miktarı ( $\text{SiO}_2$ ), pH, sıcaklık, tanecik boyu, minerallerinin kimyasal bileşim ve çözünürlüğü, organik madde, su içeriği, redoks potansiyeli ve seksioksitler tarafından etkilenmektedir (Savant ve ark., 1997b). Toprakta silisyum minerallerinin aşınma derecesinin topraklara göre farklılık gösterdiği, bazı topraklarda silisyum içeren mineraller hızlı aşınarak toprak çözeltisine daha fazla silisyumu serbest bırakabilirler (Brady, 1990). Topraktaki silikat minerallerinin aşınma hızı aşağıdaki Şekil 1'de olduğu bildirilmiştir (Savant ve ark., 1997b).

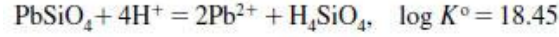
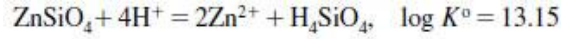
Toprak sınıfı	Başat mineral	Aşınma derecesi
Mollisoller	feldispat, vermikülit	az  çok
Vertisoller	smektitler	
Inceptisoller	smektit, kaolinit	
Alfisoller	kaolinit, smektitler	
Ultisoller	kaolinit, smektitler	
Oksisoller	seksioksitler, kaolinit	

Şekil 1. Topraktaki silikat minerallerinin aşınma hızı (Savant ve ark., 1997b)

Oksisol ve ultisol gibi toprakların olduğu bölgelerde aşırı yağış, düşük pH ve baz doygunluğu, aşırı derecede ayrışma, yıkanma silisyumun topraktan uzaklaşmasına neden olmaktadır (Savant ve ark., 1997b). % 80'in üzerinde organik madde içeren topraklar (Histosollar) mineral madde kapsamı düşük olduklarından dolayı bitkiye yararlı silisyum kapsamı düşük olup, silisyum noksanlığı görülebilmektedir. Kuvars kumunca ( $\text{SiO}_2$ ) zengin bütün entisoller bitkiye yararlı silisyum bakımından fakirdir (Datnoff ve ark. 1997).

Mono silisik asit toprakta ağır metallerle (Cd, Pb, Zn, Hg, vd) kompleksler oluşturmak suretiyle onların toksik etkilerini azaltır. Bu etki ortamda silisyum konsantrasyonu ile değişkendir. Toprak düşük silisyum içeriğine sahipse oluşan komplekslerin çözünürlüğü düşük olurken, yüksek düzeylerde silisyumun varlığında ise oluşan komplekslerin stabilitesi de çok daha güçlü olmaktadır (Schindler ve ark., 1976; Lindsay, 1979; Birchall ve ark., 1989; Cherepanov ve ark., 1994). Silisyum yukarıdaki eşitliklerde görüldüğü gibi Fe ve Al'a bağlanarak toprağın Fe ve Al aktivitesinin azalmasına yol açarak, fosfatların demir ve alüminyum fosfatlar şeklinde çözünemez forma dönüşmesini önlemekte suretiyle toprakların yararlı fosfor kapsamını artırır (Dobermann ve Fairhurst, 2000).





### Toprakta silisyum noksanlık şartları

Topraklarda silisyum noksanlığı genellikle aşağıdaki durumlarda gözükür (Dobermann ve Fairhurst, 2000):

- Silisyum noksanlığı çok yaşlı ve aşırı yıkanmış topraklarda,
- Düşük miktarda Si ihtiva eden ana materyal üzerinde oluşmuş topraklarda,
- İntensif yetiştiricilik sonucu silisyumu aşırı sömürülmüş topraklarda görülmektedir.

### Toprakta yarayışlı silisyumun kritik değeri

Toprakların yarayışlı silisyum içerikleri kullanılan yöntemle, kritik silisyum değeri seçilen bitkiye göre değişmektedir. Çeltik bitkisi için kritik silisyum değerinin 0,5 N asetik asit ekstraksiyon metoduna göre 24 ppm (Korndorfer ve ark., 2001), Sodyum asetat buffer metodu için 60 ppm (Imaizumi ve Yoshida, 1958), Park (2001) aynı metodla organik topraklarda 26 ppm olarak belirlenmiştir. Liang ve ark. (1994), Imaizumi ve Yoshida (1958) tarafından önerilen sodyum asetat buffer metodunun kalkerli topraklarda silisyum durumunun belirlenmesi için uygun bir metot olmadığını bildirmişlerdir. Araştırmacılar ayrıca çeltik ekimi yapılan kalkerli topraklarda hem çeltik hem de buğday veriminin silisyum gübrelemesi ile arttığını bildirmişlerdir.

Horuz ve Korkmaz (2013) Samsun yöresinde çeltik toprakların bitkiye yarayışlı silisyum kapsamının belirlenmesinde en uygun kimyasal ekstraksiyon yönteminin 0.18 M NaOAc + 0.87M HOAc metodu olduğunu ve bu yöntemle göre oransal ürünün %85'ini alabilmek için toprakların bitkiye yarayışlı kritik silisyum kapsamının 17,11 ppm olduğunu bildirmişlerdir.

Bununla birlikte; Hayson ve Chapman (1975), Avustralya'da Mackay asit karakterli topraklarında yetiştirilen şeker kamışı için 0,01M kalsiyum klorür ekstraksiyon yöntemine göre, bitkiye yarayışlı silisyumun kritik değerinin 20 ppm olduğunu, Avustralya'da bu metodun saf su ekstraksiyon metoduna alternatif olduğu ve geniş ölçüde kullanıldığı belirtilmiştir. Xu ve ark. (2001), Çin'in kuzey eyaletlerindeki kalkerli topraklarda yaptıkları 17 tarla denemesi sonuçlarına göre buğday için pH'ları 7,40-8,25 arasında ve kalsiyum karbonat kapsamı % 2,65-5,26 olan kalkerli topraklarda sodyum asetat buffer metodunun bitkiye yarayışlı silisyum belirlenmesinde uygun yöntem olduğunu belirtmişlerdir.

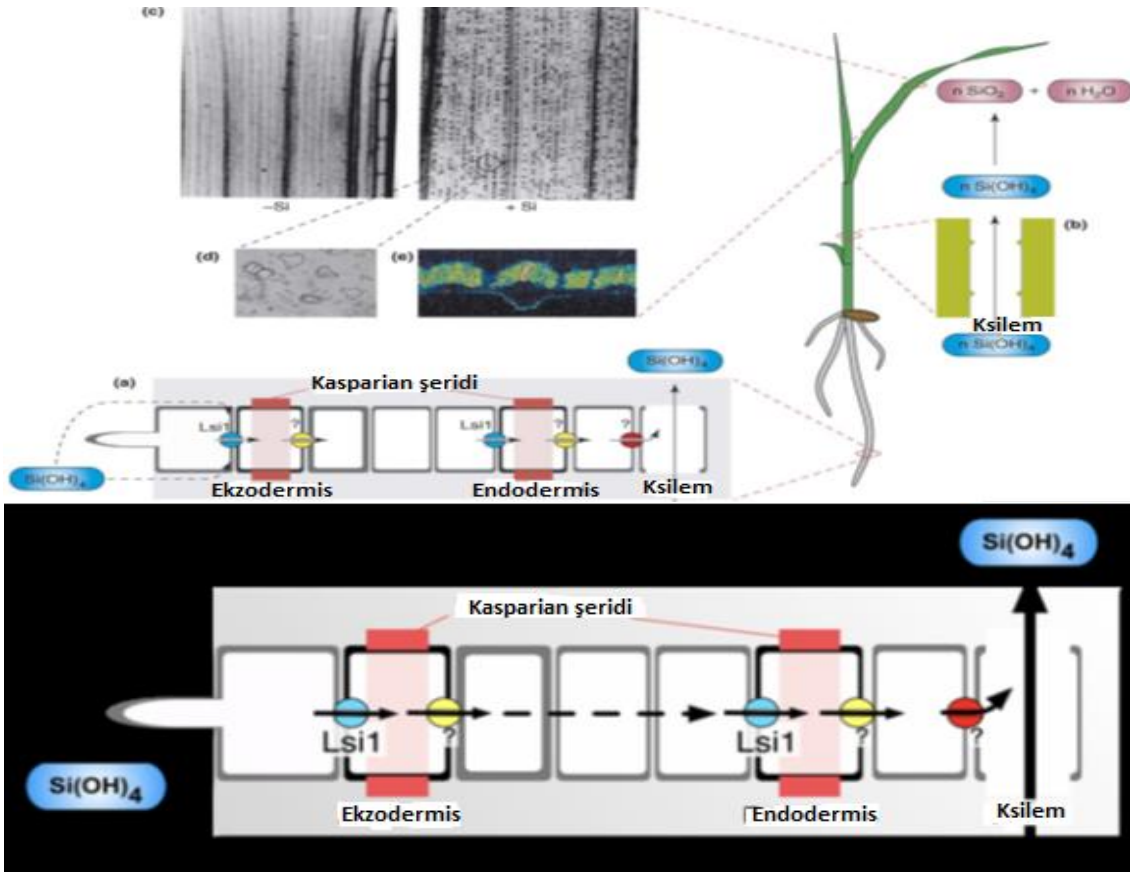
Winslow ve ark. (1997) çeltik toprağında 10:1 su:toprak ekstraksiyon yöntemine göre, ekstrakte edilebilir silisyum 2 ppm'in altında ise noksanlık görüldüğünü; 6 ppm'den fazla ise yeterli kabul edilebileceğini belirtmişlerdir. Araştırmacılar çeltik yetiştiriciliğinde kullanılan su kaynağının 4 ppm'in üzerinde silisyum kapsadığında yeterli sayılabileceğini; 1 ppm'in altında silisyum kapsadığında noksan sayılabileceğini belirtmişlerdir. Ayrıca çeltik kavuzunda silisyum kapsamının 60 g/kg'dan fazla olması durumunda yeterli; 30 g/kg'ın altında bulunması durumunda silisyumca noksan sayılabileceğini de bildirmişlerdir.

Rayment ve Higginson (1992) tarafından da önerilen 0,025 M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> yöntemini seçmiştir. Yapılan çalışmada % 15'ten daha az kil içeren asit karakterli topraklarda 0,025 M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> yöntemiyle belirlenen yarayışlı silisyum 45 ppm'in altında ise silisyum gübrelemesine şeker kamışı respons vermiştir. Araştırmacı % 15-30 arası kil içeren topraklarda yarayışlı silisyum 65 ppm'in altında, % 30'dan daha fazla kil içeren topraklarda ise 100 ppm'in altında ise silisyum gübrelemesine şeker kamışının respons verdiğini bildirmiştir. % 15'ten daha az kil içeren asit topraklarda 0,025 M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> yöntemiyle belirlenen yarayışlı silisyum 45 ppm'in altında ise silisyum gübrelemesine şeker kamışı respons vermiştir.

### Silisyum ve bitki gelişimi

Bitkiler silisyumu toprak solüsyonundan "orto silisik asit" olarak da adlandırılan (H<sub>4</sub>SiO<sub>4</sub>) mono silisik asit (Si(OH)<sub>4</sub>) anyon formunda absorbe ederler (Lewin, 1969; Yoshida, 1975). Silisyum bazı bitkilerde yüksek konsantrasyon gradientine karşı aktif absorpsiyonla alındığı gibi pasif absorpsiyonla da alınabilmektedir (Hodson ve Evans, 1995; Savant ve ark., 1997a). Çeltik gibi silisyum akümüle eden bitkiler köklerinde toprak çözeltisinde bulunan silisyumdan (0,1-1,6 kg Si ha<sup>-1</sup>) daha fazla silisyum bulunması bu bitkilerin silisyuma özel taşıyıcı proteinlere sahip oldukları ve silisyumun aktif olarak alındığı bildirilmektedir (Takahashi, 1995). Diğer bitkilerin ise silisyumu pasif absorpsiyonla aldıkları kabul edilmektedir (Epstein, 1994). Pasif absorpsiyonla alınan mono silisik asit formundaki silisyum kök hücre membranlarını geçerek yaprak ve sürgünlere transpirasyon akımı ile taşınmaktadır (Şekil 2). Transpirasyonla taşınan Si(OH)<sub>4</sub> yapraklarda pektin ve kalsiyum iyonlarıyla birleşmek suretiyle silisyum-selüloz membran tabakası (opal olarak bilinen amorf silika jel (SiO<sub>2</sub>.2nH<sub>2</sub>O) oluşturarak polimerize olmakta ve epidermal bitki dokularında

depolanmaktadır (Savant ve ark., 1997b; Takahashi ve ark., 1990; Ma, 2003). Mono silisik asit zamanla dehidratasyona uğrayarak polimerleşmesi yoğunlaşarak, polisilisik asite ve daha sonra amorf silikaya dönüşür. Bu şekilde epidermal dokularda konsantre olan silisyum hücre duvarının kütikül tabakasını kalınlaştırmak suretiyle (yaklaşık 2,5  $\mu$ ) hücreyi mekanik olarak daha güçlü bir strükture dönüştürür (Şekil 3).



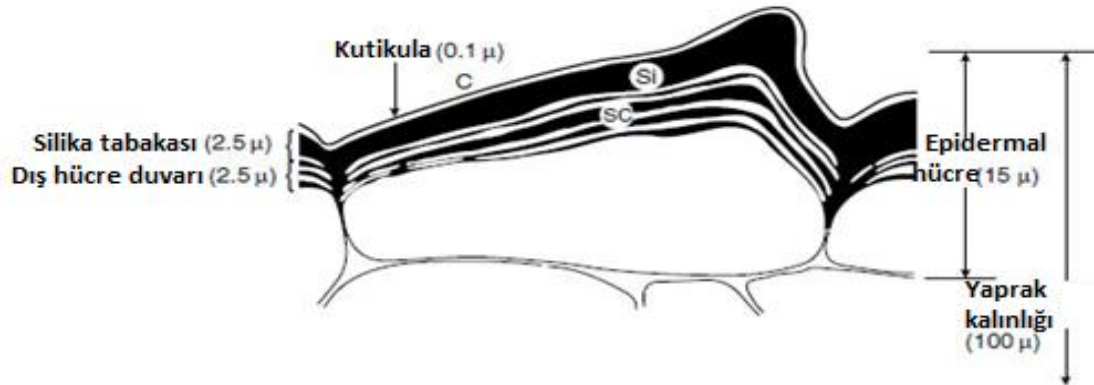
Şekil 2. Bitkide silisyumun absorpsiyonu ve taşınımı (a.silisik asidin taşıyıcılar vasıtasıyla (taşıyıcı proteinler) alımı b. Aynı formda sürgünlere taşınımı c ve d. Sürgünlere silika formunda polimerize olması e. Kütikülde birikme (Ma, 2006)

Bitkilerin içerdikleri silisyum diğer makro elementlerle (N, P, Ca vd.) ile karşılaştırıldığında bunlara yakın veya daha fazla olduğu belirlenmiştir. Gramineae familyası içerisinde çeltik en fazla silisyum akümüle eden bir bitki olup sapında %10-15 arasında silisyum içermektedir. Bitki türleri tarafından alınan silisyum miktarının çok farklı olduğu silisyum akümüle eden graminelerin silisyum kapsamalarının baklagillere ve diğer dikotiledon bitkilere göre 10 kat daha fazla olduğuda belirtilmiştir (graminelerde %2 SiO<sub>2</sub> içeriğine karşılık, baklagillerde %0.2).

İdris ve ark. (1975) ve Balasta ve Perez (1989), çeltiğin tipik olarak silisifillus (silisyumu kolayca absorbe etme ve depolama kabiliyetine sahip) bitki olduğunu belirtmişlerdir. Bitki çeşidine bağlı olarak, biyoküttelede akümüle olan Si %1'den %10 ve daha fazlasına kadar değişebilir (Elawad ve Gren, 1979; Epstein, 1994). Silisyum konsantrasyonunun (kuru ağırlık esaslı, KM) %1'den daha fazla olduğu bitki türlerinin Si bakımından akümülatör bitki (şeker kamışı, çeltik, buğday, *equisetium arvense*, *cladophora glomerata*, *synura petersenii* ve *saccharum officinarum* türleri ile Poaceae, Equisetaceae, Diatomaceae ve Cyperaceae familyaları) olduğu düşünülmektedir. Şimdiye kadar silisyum akümüle eden 21 bitki familyası tanımlanmıştır (Ma ve Takahashi, 2002). Bu bitkiler beslenme ortamında yeteri kadar silisyum bulunmadığı ortamlarda normal gelişmelerini tamamlayamazlar (Elawad ve ark., 1982; Epstein, 1994). Silisyumu akümüle eden bitkiler ortalama 50-200 kg Si ha<sup>-1</sup> absorbe ederler (Matichenkov ve ark, 1997). Silisyum en fazla şeker kamışı (300-700 kg Si ha<sup>-1</sup>) sonra çeltik (150-300 kg Si ha<sup>-1</sup>) ve buğday bitkileri (50-150 kg Si ha<sup>-1</sup>) tarafından absorbe edilir (Matichenkov ve ark., 2000).

Bitkilerin çiçekli kısımları vejetatif organlarına göre daha fazla silisyum içerdikleri ve köklerin toprak üstü kısımlara göre 10 kat daha fazla silisyum içerdiği de belirtilmiştir. Ancak DNP (Dinitro fenol) gibi metabolik inhibitörler kökün silisyum absorpsiyonunu bloke ettikleri belirtilmiştir (Loue, 1986). Silisyum çeltikte dane kabuğu teşekkülünde önemli bir rol oynar ve dane kalitesini artırır (Savant ve ark., 1997a).

Dobermann ve Fairhust (2000), Kardeşlenme döneminde çeltikte abiyotik ve biyotik streslere karşı kritik silisyum değerinin 50 g Si/kg kuru maddede olduğunu, olgunlaşmada çeltik sapında 80-100 gr/kg kuru maddede olduğunu belirtmişlerdir. De Data (1981) ise Tanaka ve Yoshido (1970)' in çalışmalarına istinaden olgunlaşma döneminde çeltik sapında kritik değerin 50 gr Si/kg kuru madde olduğunu belirtmiştir.



Şekil 3. Monosilisilik asidin yaprak epidermal hücrelerinde polimerizasyonu (Yoshida, 1975)

Monokotiledon bitkilere oranla domates ve soya fasulyesi gibi dikotiledon bitkilerde biomasda %0.1'den daha az Si değerine sahip oldukları için zayıf akümülatör bitkiler olarak değerlendirilirler. Sucul çayırlar %5'e kadar Si ihtiva ederlerken; buğday, yulaf, çavdar, arpa, sorgum, mısır, şeker kamışı ve çayır çimeni biomasda takriben %1 silisyum ihtiva ederler (Epstein, 1994; Jones ve Handreck, 1967; Nishimura ve Takahashi, 1989).

Silisyum bitkileri abiyotik ve biyotik stres şartlarına karşı korumak suretiyle etkili olmaktadır.

### Silisyum noksanlık belirtileri

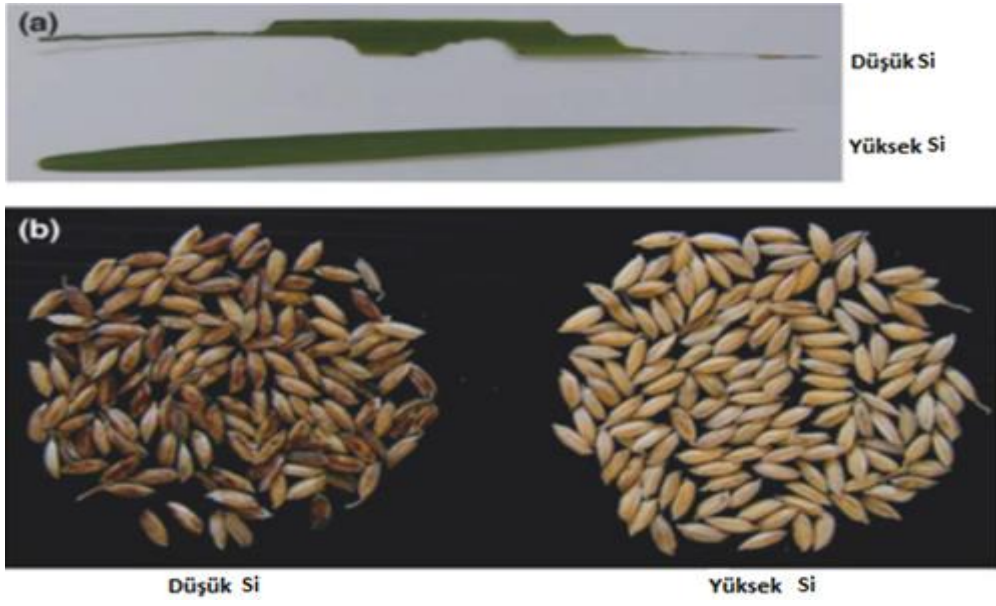
Silisyumun yetersiz olması durumunda bitkilerde ortaya çıkan bazı belirtiler şu şekilde sıralanabilir (Marschner ve ark., 1990; Singh ve ark., 2005):

- Genç yapraklarda şekil bozuklukları, dışa doğru kıvrılarak sarılma ve yaprakta incelme (özellikle domateste)
- Klorozla birlikte gelişen alt yaprakların kahverengileşmesi ve nekrotik benekler oluşur
- Yapraklarda yaşlanma (senescence) hali (hıyar gibi bitkilerde) ortaya çıkar
- Olgun yapraklarda çillenme ve şerit şeklinde oluşumlar (şeker kamışı gibi bitkilerde)
- Tahıllarda zayıf kardeşlenmede ve yaprak uçlarında solma ve kuruma
- Yüksek steriliteli (verimsiz) küçük başakçık oluşumu, dolu başak sayısında azalma
- Tahıllarda yatma görülür
- Bitkilerin yaprak, gövde ve köklerinde fungal ve bakteri hastalıkları, böcek zararlanmalarına karşı hassasiyet artar
- Yaprakların fotosentetik aktivitesi düşer ve olgun yapraklarda kloroz gözükür

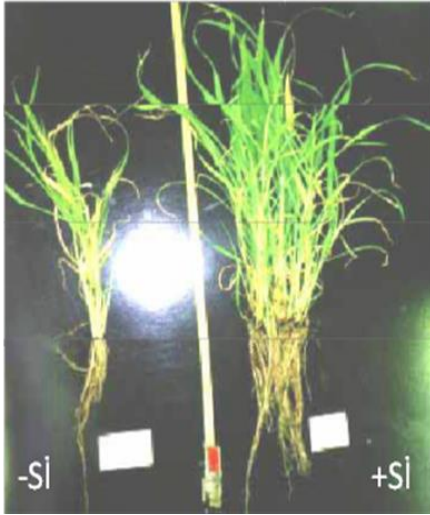
Silisyum noksanlık belirtileri göz ile açık bir şekilde görülmemekle birlikte indirekt etkileri daha çok yaygındır. Tahıllarda yatma ve hastalıklara karşı direnç azalması şeklinde ortaya çıkan belirtiler gözükür. Özellikle fitopatolojik hastalıklarda veya entomolojik zararlanma durumlarında bitkilerde bazı belirtilerin oluşması şeklinde ortaya çıkar (Resim 1-11).

Örneğin silisyumca fakir bitkilerde aşırı transpirasyona bağlı solgunluk nedeniyle salkım söğüte benzer tarzda yaprakların aşağı doğru indiği görülür. Silisyum noksanlığında bal kabağı, hıyar, buğday gibi bitkilerin toz mildiyö hastalığına ve daneli bitkiler (hububat) ise yatmaya karşı daha hassas olmaktadır (Heckman ve Provance-Bowley, 2011). Hububatlarda Mn ve Fe toksisitesine bağlı olarak oluşan belirtilerde (nekroz) yaprakların silisyum kapsamının düşük olduğu görülmüştür (Vlamis ve Williams, 1967). Çeltik bitkisinde SiO<sub>2</sub> kapsamının % 0.2 den % 7 artması Fe konsantrasyonunun kuvvetli bir şekilde azalmasına, toksisitenin önlenmesine neden olduğu ifade edilmiştir. Çeltikte Fe absorpsiyonunun köklerin oksidan gücü ile ters ilişkili olduğu ifade edilmiş, diğer bir ifade ile Fe oksidan gücü yüksek çeltik bitkilerinin Fe alımının azaldığı, toprak üstü organlarında SiO<sub>2</sub> kapsamının arttığı belirtilmiştir (Loué, 1986).

Çeltikte silisyum noksanlığı gösteren bitkilerin yattığı, silisyumca iyi beslenen bitkilerde yaprakların daha dik, fotosentezin daha iyi olduğu tespit edilmiştir. Bitkilerde silisyum beslenmesinin iyi olması transpirasyonu azaltmış aşırı su kayıplarını önlemiştir.



Resim 1. Düşük ve yüksek Si'un çeltik yaprak ve danesine etkisi a) Böcek saldırılarına karşı silisyumun etkisi (Sap Si %0.48 ve kavuz Si %1.44) b) Çoklu fungal patojen infeksiyonu (Sap Si %4.21 ve kavuz Si %8.05) üzerine etkisi (Ma ve Yamaji, 2006).



Resim 2. Silisyumun çeltik bitkisinin kök gelişimine etkisi (Linjuan ve ark., 2004)



Resim 3. Yılbaşı çiçeğinin gelişimi üzerine silisyumun etkisi (Provance-Bowley ve ark., 2010)



Resim 4. Bal kabağında silisyumun küllleme hastalığı üzerine etkisi (Heckman ve ark., 2003)



**CaCO<sub>3</sub>**



**Doğal CaSiO<sub>3</sub>**

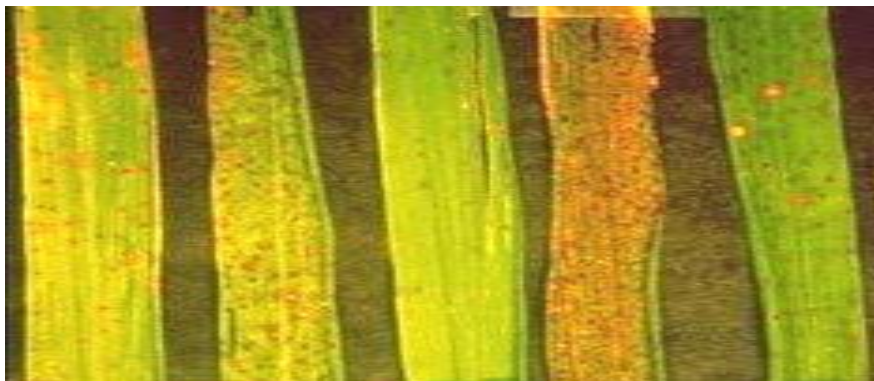
Resim 5. Bal kabağında kireç ve kalsiyum silikatın etkisi (Heckman ve ark., 2003)



Resim 6. pH'sı 6.5 olan toprakta çime (%0,42 Si) uygulanan CaCO<sub>3</sub> ve doğal CaSiO<sub>3</sub>'ün çim (%0,72 Si) gelişimi üzerine etkileri (Heckman ve Provançe-Bowley, 2011)



Resim 7. Buğday yaprağında silisyumun külleme hastalığı üzerine etkisi (Brecht ve ark., 2004)

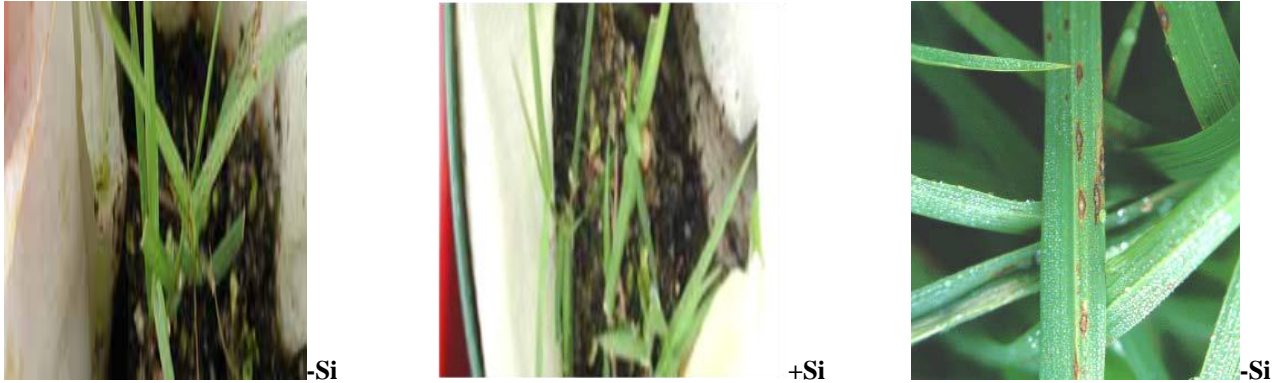


Resim 8. Çeltik yaprağında Si noksanlığında oluşan kahverengi benekler (Doberman ve Fairhurst, 2000)

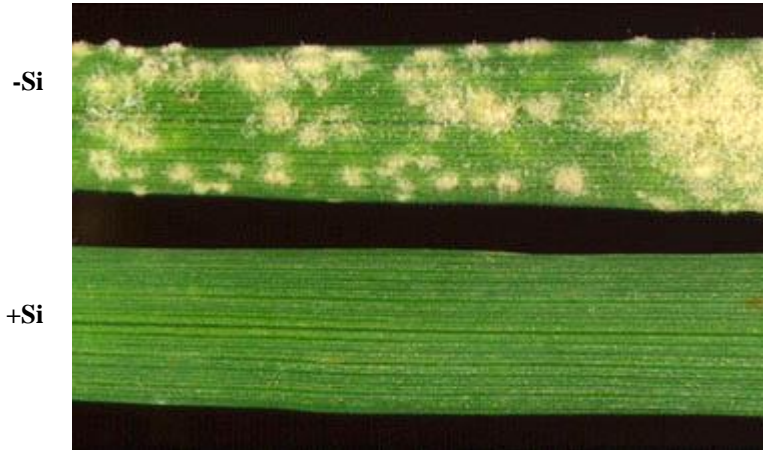




Resim 9. Farklı oranlarda silisyum uygulanmış çim bitkisinin (creeping bentgrass) 20°C'de 55 gün, daha sonra 35-40 C°'de 20 gün sürekli ışık ve neme maruz kalması sonu bitki gelişimindeki değişim (Linjuan ve ark., 1999).



Resim 10. Bermudagrass çiminde silisyumun bipolaris yaprak lekesi üzerine etkisi (Seebold ve ark., 2001)



Resim 11. Buğday yaprağında külleme hastalığı üzerine silisyumun etkisi (Brecht ve ark., 2004)

### Silisyum toksisitesi

Silisyumun yüksek dozlarda uygulanması ile bitkilerde oluşabilecek zararlar nadirdir. Ayçiçeği bitkisine yüksek oranda uygulanan silisyum çiçeklerin deforme olmasına ve bitki büyümesini yavaşlatarak geriletmektedir (Mattson, 2012). IRRİ (1981) raporlarında aşırı silisyum uygulamalarının toprakta çinkonun yararışlılığını azaltabileceğini ve bitkilerde Zn noksanlık simptomlarının gelişebileceğini belirtmiştir.

### Silisyum gübrelemesi

Silisyum gübrelemesi, bitkilerin dik kalmasına yardım etmekte, yatmaya karşı daha fazla direnç sağlamaktadır. Hububat ve çeltikte azot gübrelemenin artması bitkilerin silisyum kapsamlarının azalmasına neden olmuş. Bunun nedeni birim absorbe edilen su miktarı başına kuru maddenin daha fazla üretilmesi gösterilmiştir. Diğer bir ifade ile aşırı azotlu gübreleme sonucu oluşabilecek yatma problemlerinin önlenmesi yönünden çeltik bitkisine azotlu gübre dozuna bağlı olarak silisyumlu gübrelemenin de yapılması gerektiği belirtilmiştir (Gascho ve Korndörfer, 1998).

IAC 202 çeltik çeşidinin verim komponentleri üzerine azot ve silisyumlu gübrelemenin etkilerini belirlemek amacıyla yürütülen çalışmada azot üre formunda (5-75-150 ppm N) ve silisyum kalsiyum silikat olarak (0-200-400 ve 600 ppm SiO<sub>2</sub>) verilerek yürütülen tarla denemesinde azotlu gübrelemenin bir metre karelik alandaki bitki sap, başak sayısını ve başaktaki total dane sayısını artırdığı tespit edilmiştir. Yetersiz azotlu gübreleme durumunda aşırı kardeşlenmeden dolayı fertil bitki ve başakçık yüzdesi ile 1000 dane ağırlığı azalmıştır. Silisyumlu gübreleme ise salkımdaki boş başakçık sayısını azaltmış ve 1000 dane ağırlığını artırmıştır; fakat ürünü istatistiksel olarak önemli şekilde etkilememiştir (Mauad ve ark., 2003).

Horuz ve Korkmaz (2012) Samsun yöresi çeltik topraklarında yürütülen 25 adet saksı denemesi çalışmasında topraklara silisik asik (0-50-100-200-400 ppm Si) uygulamışlardır. Neticede yöre topraklarının % 72'sinin değişik dozlarda (50-400 ppm) silisyumlu gübreye gereksinimleri olduğu, silisyum gübrelemesinin çeltik dane verimini ortalama % 45 oranında artırdığı ve optimum silisyum dozunun 200 ppm olduğu sonucuna varmışlardır. Ayrıca yapılan çalışmada silisyum gübrelemesinin tuzların zararlı etkilerini azalttığı; ancak toprakların EC ve SAO oranı arttıkça silisyum gübrelemesinin çeltik dane veriminde sağladığı artışlarda azalma olduğunu bildirmişlerdir.

Liang ve ark. (2005) sera denemesinde mısır bitkisine 20-40 ppm Cd ile 400 ppm Si uygulaması sonucu toprak pH'sının arttığı Cd'u immobilize olduğu ve bitkide Cd-detoksifikasyonu oluşturarak biomas gelişiminin artarak devam ettiğini bildirmişlerdir.

Çimlerde silisyum gübrelemesi çalışmalarında Datnoff (2005), silisyum gübrelemesinin çeşitli çim türlerinde bitki büyüme ve gelişmesini artırdığı kadar abiyotik stresi (kuraklık stresi, sıcaklık stresi, mineral toksisitesi, yıpranmaya karşı tolerans) azalttığı ve pozitif etki sağladığını bildirmiştir. Silisyum bitki hücre duvarlarında polisakkarit ve lignin polimerlerine bağlanarak ve kütikülde depo edilerek yaprak ve sapın dayanıklılığını artırmaktadır (Hull, 2004). Yapraktan 1,1-2,2 kg Si/ha, topraktan 22,4 kg Si/ha potasyum silikat uygulamaları bitkide yıpranma zararını %20 oranında azalttığı tespit edilmiştir (Takahashi ve ark., 1990). Si ile gübrenmiş çimlerin gübrenmemişlere göre yaprak kalite ve renginde artış olduğu, kuraklık stresine daha iyi dayandıkları ve yaprak yoğunluğunun da %23,5 oranında arttığı görülmüştür (Trenholm ve ark., 2004).

Dobermann and Fairhurst (2000), 1 ton çeltik dane verimi ile kaldırılan silisyum miktarının 50-110 kg arasında olduğunu, çeltiğin ortalama 80 kg silisyum kaldırdığını bildirmişlerdir. Dönüme 600 kg ürünle yaklaşık olarak 48 kg silisyum kaldırıldığı ve kaldırılan silisyumun % 80'inin sap ile kaldırıldığını belirtmişlerdir. Araştırmacılar sap ürünün tarlaya geri dönüşümünün olmaması durumunda çeltik topraklarında yayayışlı silisyum kapsamında önemli azalışların olacağını ve çeltik sapının tarlaya geri dönüşümünün olması durumunda ise kaldırılan silisyumun daha az olacağını, 1 ton dane ile 15 kg Si kaldırılacağını bildirmişlerdir. Aynı araştırmacılar toprakta kritik silisyum seviyesinin 40 ppm altına düşmesi halinde çeltiğe dönüme 12 ile 20 kg arası Ca-silikat, 4 ile 6 kg arası K-silikat tavsiye edildiğini bildirilmiştir. Aynı araştırmacılar litrede 3-8 mg Si içeren sulama suyundan 1000 mm kullanılması durumunda dönüme 3-8 kg Si girişi olabileceğini de belirtmişlerdir.

Yılbaşı çiçeğine (pointsettia) 100 ppm Si yaprak gübrelemesinin yaprak kenar yanıklığını önlediği bildirilmiştir. Fertigasyonla yapılacak uygulamalarda besin solüsyonu tanklarına silisyumun 50 ppm konsantrasyonunda uygulanması gerektiği, aksi takdirde tanklarda çökelmeye sebep olacağı bunu önlemek için ikinci bir tankta 100 ppm Si'un haftada bir kez uygulanması önerilmiştir (Heckman ve Provance-Bowley, 2011).

Silisyumun organik bir kaynaktan verilmesi gerektiğinde çeltik kavuz külünün uygulanabileceği belirtilmiştir. Zira Çeltik dane ağırlığının % 22'sini kavuz oluşturmakta ve kavuzun %85-90'i amorf silika ve lignin içermekte olup, 1000 kg daneden 220 kg kavuz elde edildiği, 220 kg kavuzun da 55 kg küle eşdeğer olduğu tespit edilmiştir (Anonymous, 2009). Ayrıca sulama suyuyla da topraklara silisyum ilave edildiği dikkate alınırca silisyum ilavesinde su ve çeltik kavuzunun silisyum kapsamının bilinmesi de yararlı olacaktır (Winslow ve ark, 1997).

IRRI (1980) kongre raporunda Amarasiri (1978)'nin Sri Lanka'da çeltik bitkisi ile sürdürdüğü denemelerinde 69:20:18 NPK'ya ilaveten 0,74 ton/ha çeltik kavuz külü uygulaması ile hektara 1-1,4 ton ilave verim artışı elde etmiştir. Ancak çeltik kavuz külünün daha fazla artırılması ürünü azaltmıştır. Ayrıca hektara 1 ton kavuz külü ile elde edilen ürünün hektara 36 kg K ile elde edilen ürüne eşdeğer olduğu belirtilmiştir (Amarasiri and Wickramasinghe, 1977).

Kaya ve ark. (2008), tuz stresi altında (0-100 mM NaCl) gelişen buğday bitkilerinde besin çözeltisine Na-silikatı(Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>) 0,25-0,5 mM Si oranlarında ilave etmişler ve tuzun bitki kuru maddesi ve klorofil kapsamı

üzerine negatif etkileri silisyum ilavesiyle düzeltildiğini ve yapraklarda prolin kapsamı ve membran permeabilitesinin azaldığını bildirmişlerdir.

**Kaya ve ark. (2006)**, saksı denemesinde 1:1:1-torf:perlit:kum ortamında su stresi altında yetiştirilen mısırın gelişmesi ve mineral beslenmesinde besin çözeltisine silisyum ilavesinin su stresinin olumsuz etkilerinin ortadan kaldırdığını, kuru madde miktarı, klorofil ve nispi su kapsamını artırdığını belirterek, kurak ve yarı kurak bölgelerde silisyumun kuraklığın etkisini azaltarak buğday bitkisinin gelişmesini artırabileceğini ileri sürmüşlerdir.

Silisyumlu gübre olarak, kalsiyum silikat ( $\text{CaSiO}_3$ ), magnezyum silikat ( $\text{MgSiO}_3$ ), potasyum silikat ( $\text{K}_2\text{SiO}_3$ ), silisik asit veya mono silisik asit sırasıyla  $\text{Si(OH)}_4$  ve  $\text{H}_4\text{SiO}_4$  kullanılabilir.

## Kaynaklar

- Anonymous 2009. [cgpl.iisc.ernet.in/site/Portals/0/Technologies/PrecipitatedSilica](http://cgpl.iisc.ernet.in/site/Portals/0/Technologies/PrecipitatedSilica)
- Balasta MLFC, Perez CM. 1989. Effects of silica level on some properties of *Oryza sativa* L. straw and hull. *Canadian Journal Botany* 67:2356-2363.
- Birchall JD, Exley C, Chappell JS. 1989. Acute toxicity of aluminum to fish eliminated in silicon-rich acid waters. *Nature* 338:146-148
- Brady NC. 1990. The nature and properties of soils, 10th edn. New York: Macmillan
- Brecht MO, Datnoff LE, Kucharek TA, Nagata RT. 2004. Influence of Silicon and Chlorothalonil on the Suppression of Gray Leaf Spot and Increase Plant Growth in St. Augustinegrass. *Plant Disease* 88: 338-344.
- Brecht M, Datnoff L, Stiles C. 2004. Bipolaris and Curvularia and fungal species associated with 'Tifeagle' and 'Floradwarf' bermudagrasses in Florida. Turfgrass Field Day, UF/IFAS, Gainesville, 22 July. by chemical and biological methods. Abstract. Annual Meeting Soil Sci. Soc. Am. Baltimore, MD. 18-22 Oct, p.308.
- Cherepanov KA, Chernish GI, Dinelt VM, Suharev JI. 1994. The Utilization of Secondary Material Resources in Metallurgy. Moscow: Metallurgy
- Datnoff LE. 2005. Plant Management Network. Silicon in the life and performance of Turfgrass. Online. *Applied Turfgrass Science* doi:10.1094/ATS2005-0914-01-RV.
- Datnoff, LE, Deren CW, Snyder GH. 1997. Silicon fertilization for disease management of rice in Florida. *Crop Protection* 16: 525-531.
- De Datta SK. 1981. Principles and Practices of Rice Production. John Wiley & Sons. Inc. Newyork.
- Dobermann A., Fairhurst TH. 2000. Rice:Nutrient Disorders & Nutrient Management. International Rice Research Institute. First edition, ISBN 981-04-2742-5, 95-98pp.
- Elawad SH, Gren VE. 1979. Silicon and the rice plant environment: A review of recent research. *Riv. Riso* 28:235-253.
- Elawad SH, Street JJ, Gascho GJ. 1982. Response of sugarcane to silicate source and rate. I. growth and yield. *Agronomy Journal* 74:481-484
- Epstein E. 1994. The anomaly of silicon in plant biology. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 91:11- 17
- Epstein E. 1999. Silicon, *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology* 50: 641-664.
- Gascho GJ, Korndörfer GH. 1998. Availability of silicon from several sources determined by chemical and biological methods. In: Soil science Society of America annual meeting, 18-22 Oct. Baltimore. p. 308
- Hamel SC, Heckman JR. 1999. Impact of mineral silicon products on powdery mildew in greenhouse grown turf. *Rutgers Turfgrass*, vol. 31, Rutgers, New Jersey.
- Haysom MBC, Chapman LS. 1975. Some aspects of the calcium silicate trials at Mackay. *Proc. Qld Soc. Sugar Cane Technol.* 42:117-122.
- Heckman JR, Johnston S, Cowgill W. 2003. Pumpkin yield and disease response to amending soil with silicon. *Horticultural Science* 38(4): 552-554.
- Heckman JR, Provance-Bowley M. 2011. Silicon in Soil Fertility and Crop Production; Ten years of Research. Northeast Branch Crops, Soils and Agronomy Meeting Abstracts. (Available at 2012) [njaes.rutgers.edu/pubs/soilprofile/sp-v20.pdf](http://njaes.rutgers.edu/pubs/soilprofile/sp-v20.pdf).
- Hodson MJ, Evans DE. 1995. Aluminium/silicon interactions in higher plants. *Journal of Experimental Botany* 46: 161-171.
- Horuz A, Korkmaz A, Karaman MR. 2013. Çeltik Topraklarının Silisyumlu Gübrelemeye Tepkisi. *Tarım Bilimleri Dergisi* 19(4): 268-280
- Hull RJ. 2004. Scientists start to recognize silicon's beneficial effects. *Turfgrass Trends* 8:69-73.
- Idris M, Hossain MM, Choudhury FA. 1975. The effect of silicon on lodging of rice in presence of added nitrogen. *Plant and Soil* 43: 691-695.
- Imaizumi K, Yoshida S. 1958. Edaphological studies on silicon supplying power of paddy soil. *Bull. Natl Inst. Agric. Sci. (Jpn)* B, 8:261-304.
- IRRI (International Rice research Institute) 1981. Annual Report. Los Banos, Philippines, 418 p.
- IRRI 1980. Organic matter and rice. International rice research institute. ISBN 971-104-104-9.
- Jones LHP, Handreck KA. 1967. Silica in soils, plants and animal. *Advances Argonomy* 19:107-1149

- Kaya C, Tuna L, Higgs D. 2006. Effect of Silicon on Plant Growth and Mineral Nutrition of Maize Grown Under Water-Stress Condition. *Journal of Plant Nutrition* 29: 1469-1480.
- Leibig L. 1840. Organic Chemistry in Its Application to Agriculture and Physiology. From the manuscript of the author by Lyon Playfair. London: Taylor & Walton,
- Lewin CJ, Reimann BE. 1969. Silicon and plant growth. *Annual Review of Plant Biology* 20:289-304.
- Liang Y, Sun W, Zhu YG, Christie P. 2007. Mechanisms of silicon-mediated alleviation of abiotic stresses in higher plants: a review. *Environmental Pollution* 147(2):422-428
- Liang Y, Wong JW, Wei L. 2005. Silicon-mediated enhancement of cadmium tolerance in maize (*Zea mays* L.) grown in cadmium contaminated soil. *Chemosphere* 58(4):475-83.
- Liang YC, Ma TS, Li FJ, Feng YJ. 1994. Silicon availability and response of rice and wheat to silicon in cacerous soils. *Soil Science and Plant Analyses* 25:2285-2297.
- Lindsay WL. 1979. Chemical Equilibria in Soil. New York: Wiley,
- Linjuan Z, Junping J, Lijun W, Min L, Fusuo Z. 1999. Effects of silicon on the seedling growth of creeping bentgrass and zoysiagrass. Pages 381 in: Silicon in Agriculture. L. E. Datnoff, G. H. Snyder, and G. H. Korndorfer, eds. Elsevier Science. Amsterdam, The Netherlands.
- Loué A, 1986. Les Oligo-Éléments en Agriculture. Agri - Nathan International, 43 Rue du Chemin- Vert, 75011 Paris.
- Ma JF. 2003. Function of silicon in higher plants. *Progress in Molecular and Subcellular Biology* 33:127-147.
- Ma JF. 2004. Role of silicon in enhancing the resistance of plants to biotic and abiotic stresses, *Soil Science and Plant Nutrition* 50(1):11-18
- Ma JF, Takahashi E. 2002. Soil, Fertilizer, and Plant Silicon Research in Japan. Elsevier Science, Amsterdam
- Ma JF, Yamaji N. 2006. Silicon uptake and accumulation in higher plants. *Trends in Plant Science* 11:392-397.
- Marschner H, Oberle H, Cakmar I, Romheld V. 1990. In : "Plant Nutrition-Physiology and Application" (M.L. Van Benschichem, ed.) pp: 241-249. [Ktuwer Academic Dordrecht.]
- Matichenkov VV, Ammosova YM, Bocharnikova EA. 1997. The method for determination of plant-available silica in soil. *Agrochemistry* 1:76-84
- Matichenkov VV, Bocharnikova EA, Calvert DV, Snyder GH. 2000. Comparison study of soil silicon status in sandy soils of south Florida. *The Soil and Crop Science Society of Florida Proceedings* 59:132-137.
- Matichenkov VV, Bocharnikova EA. 2001. The relationship between silicon and soil physical and chemical properties. In: L.E. Datnoff, G.H. Snyder, H. Korndorfer, eds. Silicon in Agriculture. Amsterdam: Elsevier, pp. 209-219.
- Matichenkov VV, Calvert DV, Snyder GH. 1999. Silicon fertilizers for citrus in Florida. *Proceedings of the Florida State Horticultural Society* 112: 5-8.
- Matichenkov VV, Pinsky DL, Bocharnikova EA. 1995. Influence of mechanical compaction of soils on the state and form of available silicon. *Eurasian Soil Science* 27:58-67
- Mattson N. 2012. Adding Silicon to the Fertilizer Program in Poinsettia Production: Benefits and Facts. [www.greenhouse.cornell.edu/.../silicon](http://www.greenhouse.cornell.edu/.../silicon) (Available at 2012).
- Mauad M, Crusciol CAC, Filho HG, Correa JC. 2003. Nitrogen and silicon fertilization of upland rice. *Sci. Agric. (Piracicaba, Braz.)* 60:4
- Nishimura K, Miyaki Y, Takahashi E. 1989. On silicon, aluminium, and zinc accumulators discriminated from 147 species of Angiospermae. *Memoirs of the College of Agriculture, Kyoto University* 133, 23-43.
- Okuda A, Takashi E. 1965. The role of silicon. In: The mineral nutrition of the rice plant. John Hopkins Press, Baltimore, MD. p.123-146.
- Park CS. 2001. Past and Future advances in silicon research in the republic of Korea. In silicon in Agriculture. Datnoff, L.E., Snyder, G.H., Korndorfer, G.H., Eds., Elsevier: Amsterdam, 359-371
- Provance-Bowley MC, Heckman JR, Durner EF. 2010. Calcium silicate suppresses powdery mildew and increases yield of field grown wheat. *Soil Science Society of America Journal* 74(5): 1652-1661.
- Rayment GE, Higginson FR. 1992. Australian laboratory handbook of soil and water chemical methods. Inkhata Pres. Melbourne. 330p.
- Savant N K, Korndorfer G H, Datnoff LE, Snyder GH. 1999. Silicon nutrition and sugarcane production: a review. *Journal of Plant Nutrition* 22 (12):1853-1903
- Savant NK, Synder GH, Datnoff LE. 1997a. Silicon management and sustainable rice production. *Advances in Agronomy* 58: 151-199 San Diego, CA.
- Schindler PW, Furst B, Dick R, Wolf PO. 1976. Ligand properties of surface silanol groups. I. Surface complex formation with Fe<sup>3+</sup>, Cu<sup>2+</sup>, Cd<sup>2+</sup>, and Pb<sup>2+</sup>. *Journal of Colloid and Interface Science* 55:469-475.
- Seebold KW, Kucharek TA, Datnoff LE, Correa-Victoria FJ, Marchetti MA. 2001. The influence of silicon on components of resistance to blast in susceptible, partially resistant and resistant cultivars of rice. *Phytopathology* 91:63-69.
- Singh KK, Singh K, Singhl RS, Singh R, Chandel RS. 2005. Silicon Nutrition In Rice - A Review. *Agric. Rev..* 26 (3): 223 - 228.
- Sistani KR, Savant NK, Reddy KC. 1997. Effect of rice hull ash silicon on rice seedling growth. *Journal of Plant Nutrition* 20(1): 195 -201.
- Takahashi E. 1995. Uptake mode and physiological functions of silica. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition* 49:357-360.

- 
- Takahashi, E, Ma JF, Miyake Y. 1990. The possibility of silicon as an essential element for higher plants. *Comments on Agricultural and Food Chemistry* 2:99-122.
- Tanaka A, Yoshida S. 1970. Nutritional disorders of the rice plant in Asia. IRRI Technical Bull. 10. IRRI Manila. Phillipines
- Turan M, Horuz A. 2012. Bitki Besleme. Bitki Beslemenin Temel İlkeleri. Ed: M. Rüstü Karaman, 123-347. Ankara
- Vlamis J, Williams DI. 1967. Manganese and Silicon interaction in the Gramineae. *Plant and Soil* 27:131-140.
- Winslow MD, Okada K, Correa-Victoria F. 1997. Silicon deficiency and the adaptation of rice ecotypes. *Plant and Soil* 188:239-248.
- Xu G, Zhan X, Li C, Bao S, Liu X, Chu T. 2001. Assessing methods of available silicon in calcareous soils. *Communication in Soil Science and Plant Analysis* 32:787-801
- Yoshida S. 1975. The physiology of silicon in rice. Technical bulletin, no. 25, Food and Fertilizer Technology Center, Taipei, Taiwan.