

established in
2016



MAS JOURNAL of Applied Sciences

ISSN 2757-5675

DOI: <http://dx.doi.org/10.52520/masjaps.184>

Araştırma Makalesi

Kurşun Kirliliğinde Silisyum Uygulamalarının Arpanın (*Hordeum vulgare* L.) Makro Element İçeriğine Etkisi

Ferit SÖNMEZ^{1*}, Füsun GÜLSER²

¹Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tohum Bilimi ve Teknolojisi Bölümü, Bolu

²Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, Van

*Sorumlu yazar: gulserf@yahoo.com

Geliş Tarihi: 15.09.2021

Kabul Tarihi: 20.10.2021

Özet

Çevre kirliliğinde önemli bir aktör olan kurşun, bitkilerin gelişimi üzerine de olumsuz etkileri vardır. Bu çalışmada kurşun kirliliğinde silisyum uygulamalarının arpanın (*Hordeum vulgare* L.) makro element içeriğine etkisi araştırılmıştır. İklim odasında kontrollü koşullar altında tesadüf parsellerinde faktöriyel deneme desenine göre üç tekrarlamalı olarak yürütülmüştür. Kurşunun dört dozu (0-75-150-300 mg Pb kg⁻¹) PbNO₃ formunda ve silisyumun üç dozu (0-3-6 mM Si kg⁻¹) SiO₂.H₂O formunda uygulanmıştır. Demene 8 hafta yürütülmüştür. Bu sürenin sonunda kök üstü kısımda makro element analizleri yapılmıştır. Araştırma sonunda kurşun ve silisyum uygulamaları yalnızca azot içeriği üzerine P>0.01 düzeyinde önemli etki etmişken, fosfor, potasyum, kalsiyum ve magnezyum içerikleri üzerine etkileri olmamıştır. Kurşun x silisyum İnteraksiyonu azot ve potasyum içerikleri üzerine önemli düzeyde etkide bulunduğu belirlenmiştir. Araştırmada silisyum uygulamalarının artışı ile azot, fosfor, potasyum ve kalsiyum içeriklerinde genel olarak bir artış elde edilirken, kurşun dozlarının artışı ile azot, potasyum ve magnezyum, içeriklerinde genel olarak bir azalma, fosfor ve kalsiyum içeriklerinde ise genel olarak bir artış gerçekleştiği belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Silisyum, kurşun, arpa, makro element, kirlilik

The Effect of Silicon Applications on the Macro Element Content of Barley (*Hordeum vulgare* L.) in Lead Pollution

Abstract

Lead, which is an important actor in environmental pollution, also has negative effects on the development of plants. In this study, the effect of silicon applications on the macro element contents of barley (*Hordeum vulgare* L.) in lead pollution was investigated. It was carried out in three replications according to factorial experimental design in randomized plots under controlled conditions in the climate chamber. Four doses of lead (0-75-150-300 mg Pb kg⁻¹) were administered in the form of PbNO₃ and three doses of silicon (0-3-6 mM Si kg⁻¹) were administered in the form of SiO₂.H₂O. Study was conducted for 8 weeks. At the end of this period, macro element analyzes were determined on the plants. At the end of the research, lead and silicon applications had a significant effect only on the nitrogen content at the P>0.01 level, while they had no effect on the phosphorus, potassium, calcium and magnesium contents. It was determined that the lead x silicon interaction had a significant effect on nitrogen and potassium contents. In the study, it was determined that a general increase in nitrogen, phosphorus, potassium and calcium contents was obtained with the increase of silicon applications, while a general decrease in nitrogen, potassium and magnesium contents, and an increase in phosphorus and calcium contents were observed with the increase of lead doses.

Keywords: Silicon, lead, barley, macro element, pollution

GİRİŞ

İnsan nüfusunun hızlı artışı ile birlikte çevre kirliliği de artmaktadır. Başlıca toprak kirleticisi ağır metaller Cd, Cr, Hg, Pb, Cu ve Zn'dur. Bu kirleticiler içerisinde özellikle kurşun ön plana çıkmaktadır. Çünkü kurşun motorlu araçlarda kullanılan benzinin yanması sonucu ortaya çıkan tetra etil kurşun bileşiği olarak etrafa yayılmaktadır (Çağlarımak ve Hepçimen, 2010). Bunun yanı sıra kurşun boyalarda, su tesisatlarında, kozmetikte, altın rafinasyon işlemleri sonucunda, teneke kutu kapakları, kurşun-kalay alaşım kaplar, seramik sırları, böcek ilaçları, aküler vb. alanlarda (Kahvecioğlu ve ark., 2016) yoğun olarak kullanılmakta ve önemli bir çevre kirlilik kaynağını oluşturmaktadır. Kurşun bitki bünyesinde hücre turgoru ve hücre duvarı stabilitesini olumsuz etkilemekte (Sharma ve Dubey, 2005), klorofil biyosentezinde gerileme (Fargasova, 1994; Doğan ve ark., 2009) ve protein olmayan SH grupları ve prolin miktarında artışa (Öztürk ve ark., 2003; Doğan ve Çolak, 2009) neden olmaktadır. Silisyum mutlak gerekli besin elementi olmamakla beraber (Epstein, 1994), kimi bitkilerde fosfor, kükürt, kalsiyum, ve magnezyum ile eşit miktarlarda ve bazı hallerde azot ve potasyum miktarları kadar yüksek olabilmektedir (Casey ve ark., 2003). Silisyum topraklarda genelde 50 ile 400 g kg⁻¹ arasında değişen oranlarda ve en fazla bulunan ikinci element olarak yer almaktadır (Kovda, 1973). Yüksek konsantrasyonlarda silisyum uygulamasının bitki gelişimini artırdığı, su kaybını azatlığı, mantari hastalık ve böcek zararlarına karşı dayanıklılığı artırdığı (Ma ve ark., 2001), bitkilerin dik kalmasına yardım ederek yatmaya karşı daha fazla direnç sağladığı (Ma ve ark., 1992; Takahashi ve ark., 1990), kimi ağır metal toksiditesine karşı

bitkilerin direncini artırdığı (Horst ve Marschner, 1978; Horiguchi, 1988; Barcelo ve ark., 1993), tuz stresine karşı Na kullanımını azaltarak direnci artırdığı (Miyake, 1993; Liang ve ark., 1996; Tsuda ve ark., 2000; Ali ve ark., 2013), yani bir çok abiotik strese karşı bitkinin direncini artırdığı (Ahmed ve ark., 2013) yapılan çalışmalar ile bildirilmektedir. Günümüzde, endüstriyel faaliyetler, motorlu taşıtların egzozları, maden yatakları ve işletmeleri, kentsel atıkların gübre olarak kullanımı, kimyasal gübre ve pestisit uygulamaları, atık su ile yapılan sulamalar ve arıtma çamuru uygulamaları ile önemli miktarda ağır metal toprağa ulaşmaktadır (Asri ve Sönmez, 2006). Bu maddeler, sadece organizmalarda birikmekle kalmayıp, aynı zamanda gıda zincirlerini dolaşarak ekosistemlerde tehlikeli yoğunluklarda uzun süre kalabilmektedirler (Okcu ve ark., 2009). Ülkemizin gerek hızla sanayileşmesi ve gerekse her geçen gün artan trafik yoğunluğuna maruz kalması diğer birçok kirleticisiyle beraber ağır metallerin de çevredeki miktarlarını arttırmaktadır. Bu durum özellikle bitkilerde başta ürün kaybı olmak üzere birçok olumsuzluğa neden olmaktadır (Munzuroğlu ve Gür, 2000). Bu çalışmada artan kurşun uygulamalarına karşılık uygulanan silisyumun arpanın bazı morfolojik özelliklerine etkisi araştırılmıştır.

MATERYAL ve YÖNTEM

Bu çalışma Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü iklim odasında yürütülmüştür. Denemede arpanın Tokak 157/37 çeşidi (*Hordeum vulgare* L.) ve 2 kg toprak alan saksılar kullanılmıştır. Tesadüf parsellerinde faktöriyel deneme desenine göre üç tekrarlamalı olarak yürütülen denemede 0, 75, 150 ve 300 mg kg⁻¹ Pb olacak şekilde, PbNO₃'dan ve 0, 3 ve 6 mM

Si/kg olacak şekilde $\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ uygulanmıştır. Temel gübreleme olarak her bir saksıya $300 \text{ mg kg}^{-1} \text{ N}$, $80 \text{ mg kg}^{-1} \text{ P}_2\text{O}_5$ ve $180 \text{ mg kg}^{-1} \text{ K}_2\text{O}$ olacak şekilde amonyum sülfat, triple süper fosfat ve potasyum sülfat uygulanmıştır. Saksılara 10 tohum ekimi yapılmıştır. Çıktılar bittikten sonra her saksıda 5 bitki kalacak şekilde seyreltme işlemi yapılmıştır. İklim odasında deneme $21 \pm 1^\circ\text{C}$ 'de 14 saat gündüz, 10 saat gece ve 800 lux ışık yoğunluğunda yürütülmüştür. Deneme süresince bitkiler saf su ile sulanarak yetiştirilmiştir. Deneme yaklaşık 8 hafta devam ettirilmiştir. Deneme sonunda

hasat edilen bitki örnekleri saf su ile yıkandıktan sonra kurutma dolabın 65°C 'de sabit ağırlığa gelinceye kadar kurutulmuştur. Kurutulan örnekler bitki öğütme değirmeni ile öğütülerek analize hazır hale getirilmiştir. Bitki örneklerinde azot analizi mikro kjeldahl yöntemine göre (Kacar ve İnal, 2008) belirlenmiştir. Bitki örnekleri Kacar ve İnal (2008)'ın bildirdiği şekilde element analizi için ekstrakt haline getirilerek P, K, Ca ve Mg okumaları ICP-OES aletinde yapılmıştır. Deneme toprağının bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri Çizelge 1' de verilmiştir.

Çizelge 1. Deneme toprağına ait bazı fiziksel ve kimyasal özellikler

Tekstür sınıfı	pH	Tuz	Kireç	O.M.	Toplam azot	Yarayışlı fosfor	Ekstrakte edilebilir				Yarayışlı		
							Ca	K	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu
	1:2.5			%		ppm	%			ppm			
Tın	8.16	0.02	15.4	1.19	0.08	6.28	0.48	382	121	5.3	4.2	1.1	2.6

Deneme toprağının tınlı bünyeli, alkalın reaksiyonlu, tuzsuz, organik maddece yetersiz, kireçli, azot ve fosfor içeriklerinin orta düzeyde, potasyum, kalsiyum, magnezyum, demir, mangan çinko ve bakır içeriklerinin ise yeterli düzeyde olduğu belirlenmiştir (Aydeniz, 1985).

BULGULAR VE TARTIŞMA

Artan dozlarda kurşun ve silisyum uygulamalarının arpa bitkisinin makro element içerikleri üzerine etkisine ilişkin varyans analiz sonuçları Çizelge 2'de, elementlere ait ortalamalar ve Duncan harflendirmeler Çizelge 3'de, interaksyonu önemli çıkan elementlere ait grafikler, Şekil 1 ve 2'de verilmiştir.

Çizelge 2. Silisyum ve kurşun uygulamalarının arpanın makro element içerikleri üzerine etkilerine ait varyans analiz sonuçları

V.K.	S.D.	Azot		Fosfor		Potasyum		Kalsiyum		Magnezyum	
		K.O	F	K.O	F	K.O	F	K.O	F	K.O	F
Pb	3	0.0091	25.01**	59104	0.28 öd	0.890	1.55 öd	0.0278	0.37öd	0.0042	0.28öd
Si	2	0.0111	30.41**	72747	0.34 öd	0.643	1.13 öd	0.0570	0.77öd	0.0031	0.20öd
Pb x Si	6	0.0051	14.03**	311704	1.46 öd	1.883	3.30 *	0.0717	0.96öd	0.0133	0.88öd
Hata	24	3.64×10^{-4}		212638		0.571		0.0745		0.0152	

**< 0.01 düzeyinde önemli *< 0.05 düzeyinde önemli, öd: önemli değil

Kurşun, silisyum ve kurşun x silisyum interaksyonu azot içeriği üzerine $p > 0.01$ düzeyinde önemli etkide bulunmuşken, diğer elementlerde

yalnızca kurşun x silisyum interaksyonu potasyumda $p > 0.05$ düzeyinde etki ettiği belirlenmiştir (Çizelge 2).

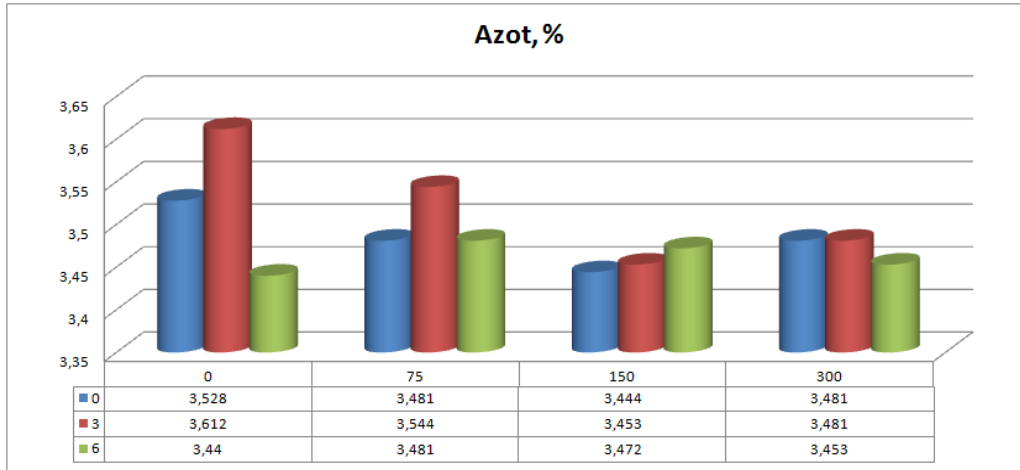
Çizelge 6. Silisyum ve kurşun uygulamalarının arpanın makro element içeriği üzerine etkisine ait ortalamalar ve Duncan harflendirmeleri

Uygulamalar	Azot	Fosfor	Potasyum	Kalsiyum	Magnezyum
Pb (mg kg⁻¹)					
0	3.528 a	4066	5.762	1.358	1.219
75	3.502 b	4250	6.410	1.467	1.195
150	3.472 c	4222	5.799	1.343	1.168
300	3.456 c	4188	5.786	1.389	1.182
LSD	0.019	449	0.735	0.266	0.119
Si (mM)					
0	3.484 b	4095	5.833	1.359	1.207
3	3.523 a	4245	5.779	1.339	1.175
6	3.463 c	4205	6.205	1.468	1.190
LSD	0.016	389	0.636	0.230	0.104

*Aynı harfle gösterilen ortalamalar arasında istatistiksel olarak fark yoktur.

Çizelge 2’de görüleceği üzere artan kurşun uygulamaları ile azot içeriği kontrole göre azalma göstermiş ve bu azalış istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. Kontrolde %3.528 olan azot içeriği 75, 150 ve 300 mg kg⁻¹ Pb uygulamaları ile sırasıyla %3.502, %3.472 ve %3.456’a düşmüştür. Kontrole göre 300 mg kg⁻¹ kurşun uygulanmış parselde en düşük değer elde edilmiştir. Silisyum uygulamaları ile kontrole göre önce bir artış ve sonrasında azalış olduğu belirlenmiştir. Kontrolde 3.484% olan azot içeriği 3 mM Si uygulaması ile 3.523%’ yükselmiş, 6 mM si uygulamasında ise 3.463%’e düşmüştür. Bu artış ve azalış istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. Hem kurşun hemde silisyum uygulamaları ile kontrol grubu bitkilerine göre fosfor içeriğinde artış olmasına karşılık bu artışlar

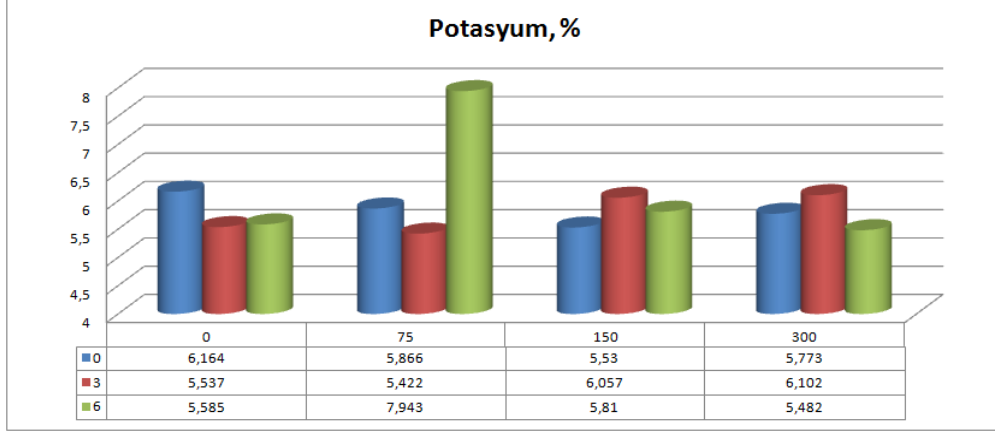
istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır. Kontrolde 4066 mg kg⁻¹ ve 4095 mg kg⁻¹ olan fosfor içeriği kurşunun 75 mg kg⁻¹ doz uygulamasında (4250 mg kg⁻¹) ve silisyumun ise 3 mM (4245 mg kg⁻¹) doz uygulamasında en yüksek değere ulaşılmıştır (Çizelge 2). Potasyum ve kalsiyum içerikleri kontrol grubu (%5.762 K/%1.358 Ca) bitkilerine göre 75 ppm kurşun uygulaması (%6.410 K/%1.467 Ca) ile en yüksek değerleri vermesine karşılık bu artışlar istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır. Silisyum uygulamaları ile hem potasyum hemde kalsiyum içeriği 6 mM Si dozunda en yüksek değerleri (%6.205 K/%1.468 Ca) vermesine karşılık bu artış önemli bulunmamıştır. Magnezyum içeriği artan kurşun ve silisyum doz uygulamaları ile kontrole göre azalma göstermiş, bu azalış önemli bulunmamıştır (Çizelge 2).



Şekil 1. Si x Pb interaksiyonunun azot içeriğine etkisi (P<0.001)

Arpanın azot içeriği üzerine interaksiyonun etkisi incelendiğinde silisyum uygulanmayan ortamlarda kurşun kirliliğinin artışı ile azot içeriğinde düşüşler olduğu, silisyumun

artan uygulamaları ile meydana gelen azalışların düştüğü belirlenmiştir. En belirgin etkinin 3 mM Si uygulamalarında olduğu görülmüştür (Şekil 1).



Şekil 2. Si x Pb interaksiyonunun potasyum içeriğine etkisi (P<0.001)

Artan kurşun uygulamaları ile arpanın potasyum içeriğinde düşüşler meydana gelmişken ortamda silisyumun varlığı, özellikle 3 mM Si uygulamaları, potasyum içeriğinde 150 mg Pb kg⁻¹ ve 300 mg Pb kg⁻¹ uygulamalarında en yüksek değerlere ulaşılmasına destek olmuştur (Şekil 2).

SONUÇ

Bu çalışmada kurşun ile kirlenmiş topraklara artan dozlarda silisyum uygulamasının arpanın makro element içeriğindeki değişimler incelenmiştir. Artan kurşun uygulamalarında silisyumun makro element alımında iyileştirici etkisi olduğu görülmektedir. Bu durum özellikle azot ve potasyum içeriklerinde daha iyi gözlenmiştir. Benzer olarak yapılan bazı araştırmalarda ağır metallerin toksik etkilerine karşı bitkilerin gelişiminde silisyum uygulamalarının iyileştirici özelliği olduğu vurgulanmıştır (Ali ve ark., 2013a; Ali ve ark., 2013b; Güneş ve ark., 2007; Wang ve ark., 2000). Silisyum uygulamalarında gözlenen bu iyileştirici

etki, silisyumun bitki köklerinde silisik asit formunda (Si(OH)₄) birikmesi (Ma ve Takahashi, 2002) ile kök hücrelerinde apoplastik akışın azalması ve böylece ağır metallerin kökten gövdeye doğru alınımının ve taşınımının engellemesi ile açıklanmıştır (Ma ve Yamaji, 2006). Silisyumun sap, yaprak ve gövde de birikimi hücre duvarının mukavemet ve dayanıklılığını artırmakta ve böylece abiyotik stres unsurlarına karşılık bitkinin direncini iyileştirmektedir (Gong ve ark., 2005; Zhu ve ark., 2004; Liang ve ark., 2003; Gong ve ark., 2003; Neumann ve zur Nieden, 2001). Sonuç olarak kurşun kirliliğinde silisyumun bazı makro elementlerinin alımını artırdığı, bazılarını ise azalttığı belirlenmiştir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyonu Birimi tarafından FBA-2018-7096 no'lu proje olarak desteklenmiştir. Destekleri için Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Bilimsel

Araştırma Projeleri Koordinasyonu Birimine teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

- Ahmed, M., Kamran, A., Asif, M., Qadeer, U., Ahmed, Z.I. Goyal, A. 2013. Silicon priming: a potential source to impart abiotic stress tolerance in wheat: A review. *AJCS* 7(4):484-491.
- Ali, S., Farooq, M.A., Yasmeen, T., Hussain, S., Arif, M.S., Abbas, F., Bharwana, S.A., Zhang, G. 2013a. The influence of silicon on barley growth, photosynthesis and ultra-structure under chromium stress. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 89 (2013): 66–72.
- Ali, M.A.M., Ramezani, A., Far, S.M., Asilan, K.S., Ghahderijani, M.M. Jamian, S.S. 2013c. Application of silicon ameliorates salinity stress in sunflower (*Helianthus annuus* L.) plants. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences*. 6(20):1367-1372.
- Ali, S., Farooq, M.A., Yasmeen, T., Hussain, S., Arif, M.S., Abbas, F., Bharwana, S.A. Zhang, G.P. 2013b. The influence of silicon on barley growth, photosynthesis and ultra-structure under chromium stress. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 89: 66–72.
- Aydeniz, A. 1985. Toprak Amenajmanı. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları: 928, Ders Kitabı No: 263, Ankara.
- Barcello, J., Guevara, P. Poschenrieder, Ch. 1993. Silicon amelioration of aluminium toxicity in teosinte (*Zea mays* L, ssp. *mexicana*). *Plant Soil*. 154: 249-255.
- Bharwana, S.A., Ali, S., Farooq, M.A., Iqbal, N., Abbas, F. Ahmad, M.S.A. 2013. Alleviation of Lead Toxicity by Silicon is Related to Elevated Photosynthesis, Antioxidant Enzymes Suppressed Lead Uptake and Oxidative Stress in Cotton. *J Bioremed Biodeg* 4(4): 187.
- Bocharnikova, E.A. 2016. Purification of wastewaters from mining and possibility of regulating heavy metal concentrations in environmental flows. *Institute Phys.-Chem. and Biol. Problems of Soil Sci. Russian Acad. of Sci., Pushchino, Russia*, 142290
- Casey, W.H., Kınrade, S.D., Knight, C.T.G., Rains, D.W. Epstein, E. 2003. Aqueous silicate complexes in wheat *Triticum aestivum* L. *Plant Cell Environ.*, 27:51–54
- Çağlarırnak, N., Hepçimen, A.Z. 2010. Ağır Metal Toprak Kirliliğinin Gıda Zinciri ve İnsan Sağlığına Etkisi. *Akademik Gıda* 8 (2): 31-35
- Doğan, M., Demirörs Saygıdeğer, S. Çolak, U. 2009. Effect of lead toxicity on aquatic macropyte *Elodea canadensis* Michx. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 83: 249-254
- Doğan, M., Çolak, U. 2009. *Triticum aestivum* L. cv. Tosunbey'e Uygulanan Kurşunun Bazı Fizyolojik Özelliklere Etkisi. *Ekoloji* 19, 73: 98-104
- Epstein, E. 1994. The anomaly of silicon in plant biology. *Proc. natl. Acad. Sci. USA* 91:11-17.
- Fargasova A. 1994. Effect of Pb, Cd, Hg, As and Cr on germination and root growth of *Sinapis alba* seeds. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 52: 452-456.
- Gong, H., Chen, K., Chen, G., Wang, S. Zhang, C. 2003. Effects of silicon on growth of wheat under drought.-*J. Plant Nutr.* 26: 1055–1063.
- Gong, H., Zhu, X., Chen, K., Wang, S. Zhang, C. 2006. Silicon alleviates oxidative damage of wheat plants in pots under drought.-*Plant Sci.* 169: 313–321.
- Gunes, A., Inal, A., Bağci, E.G. Coban, S. 2007. Silicon-mediated changes on some physiological and enzymatic parameters symptomatic of oxidative stress in barley grown in sodic-B toxic soil. *J. Plant Physiol.* 164: 807–811.
- Horiguchi, T. 1988. Mechanism of manganese toxicity and tolerance in plants. IV Effect of silicon on alleviation of manganese toxicity of

- rice plants. *Soil Science and Plant Nutrition*. 34: 65-73.
- Horst, W.J. Marschner, H. 1978. Effect of Si on Mn tolerance in bean plants *Phaseolus vulgaris* L. *Plant Soil*. 50: 287-303.
- Kahvecioğlu, Ö., Kartal, G., Güven, A. Timur, S. 2016. Metallerin Çevresel Etkileri-I. http://www.metalurji.org.tr/dergi/dergi136/d136_4753.pdf (Erişim tarihi; 20.09.2016)
- Kaya, C., Tuna, A.L., Sönmez, O., Ince, F. Higgs, D. 2009. Mitigation effects of silicon on maize plants grown at high zinc. *J.Plant Nutr*. 32:1788–1798.
- Kovda V.A. 1973. The bases of learning about soils. *Nauka*, 2(8): 377-428
- Liang, Y., Chen, Q., Liu, Q., Zhang, W., Ding, R. 2003. Exogenous silicon (Si) increases antioxidant enzyme activity and reduces lipid peroxidation in roots of salt-stressed barley (*Hordeum vulgare* L.).-*J. Plant Physiol*. 160: 1157–1164
- Liang, Y.C., Shen, Q., Shen, Z. Ma, T. 1996. Effects of silicon on salinity tolerance of two barley cultivars. *J. Plant Nutr*. 19:173-183.
- Ma, J.F., Miyake, Y. Takahashi, E. 2001. Silicon as a beneficial element for crop plants. *Studies in Plant Science* 8: 17-39
- Ma, J.F. Takahashi, E. 2002. *Soil, Fertilizer, and Plant Silicon Research in Japan*, Elsevier Science
- Ma, T.S., Wang, D.P., Lung, Y.T., Chen, S.H., Zhang, F.S., Wang, S.F., Chien, Z.Z. Liu, L.Z. 1992. Effect of high efficiency silicate fertilizer on rice. *Turang* 24(2):168-169. (IN Chinese, cited in Savant et al., 1997).
- Ma, J.F., Yamaji, N. 2006. Silicon uptake and accumulation in higher plants. *Abiotic stress series. Trends in Plant Science*, 11(8): 392-397
- Ma, J.F., Sasaki, M., Matsumoto, H. 1997. Al-induced inhibition of root elongation in corn. *Zea mays* L. are overcome by Si addition. *Plant Soil* 188: 171-176.
- Miyake, Y. 1993. Silica in soils and plants. *Sci. Rep. Faculty of Okayama Univ*. 81: 61-79.
- Munzuroğlu, Ö., Nazmi, G. 2000. Ağır Metallerin Elma (*Malus sylvestris* Miller cv. Golden)'da Polen Çimlenmesi ve Polen Tüpü Gelişimi Üzerine Etkileri. *Turk J.Biol*. (24) 677-684. TÜBİTAK
- Neumann, D., Zur Nieden, U. 2001. Silicon and heavy metal tolerance of higher plants. *Phytochemistry*. 56(7):685-692
- Okcu, M., Tozlu, E., Kumlay, A.M. Pehlivan, M. 2009. Ağır Metallerin Bitkiler Üzerine Etkileri. *Alnteri*. 17(B). 14-26
- Ozturk, L., Eker, S., Ozkutlu, F., Cakmak, I. 2003. Effect of cadmium on growth and concentrations of cadmium, ascorbic acid and sulphhydryl groups in durum wheat cultivars. *Turk. J. Agric. For*. 27: 161-168
- Öktüren Asri, F., Sönmez, S. 2006. Ağır Metal Toksikitesinin Bitki Metabolizması Üzerine Etkileri. *Derim*. 23(6): 36-45
- Sharma, P. & Dubey, R.S. (2005). Lead toxicity in plants. *Braz. J. Plant Physiol.*, 17(1):35-52.
- Takahashi, E., Ma, J.F., Miyake, Y. 1990. The possibility of silicon as an essential for higher plants. *Comments Agric. Food Chem*. 2: 99-122.
- Tsuda, M., Morita, M., Makihara, D. Hirai, Y. 2000. The involvement of silicon deposition in salinity induced white head in rice. *Plant Production Sci*:328-334.
- Wang,L., Wang, W., Chen, Q., Cao, W., Li, M. Zhang, F. 2000. Silicon-induced cadmium tolerance of rice seedlings. *J. Plant Nutr*.23: 1397–1406.
- Zhu, Z., Wei, G., Li, J., Qian, Q., Yu, J., (2004). Silicon alleviates salt stress and increases antioxidant enzymes activity in leaves of salt-stressed cucumber (*Cucumis sativus* L.).-*Plant Sci*. 167: 527–533.