

The Effect of Nitrogen and Silicon Treatments on Some Nutrient Concentrations in Wheat

Bedriye Bilir^{1*}

¹Kahramanmaraş Sütçü İmam University, Faculty of Agriculture, Department of Soil Science and Plant Nutrition, 46040, Kahramanmaraş, Türkiye.

Abstract

Nitrogen (N) is accepted as an essential nutrient for plant growth and development, while silicon (Si) is classified as a beneficial element that can influence stress tolerance and nutrient uptake. The aim of this study was to determine the effects of N and Si treatments on the concentrations of some nutrients (phosphorus (P), potassium (K), calcium (Ca), magnesium (Mg), iron (Fe), zinc (Zn), copper (Cu), and manganese (Mn)) in wheat. To this end, a randomized block factorial experimental design was conducted with three replications. In the experiment, four different N doses (0, 50, 100, 150 mg kg⁻¹) and three different Si doses (0, 150, 300 mg kg⁻¹) were applied to the wheat. The results of the study showed that as N treatment doses increased, the concentrations of P, Ca, Mg, and Fe in wheat increased. With increasing silicon treatment doses, Mn and Cu increased to a statistically significant level, while Ca, Mg, Fe, and Zn concentrations were highest in the control group. The results of this study determined that N treatments generally had a positive effect on wheat's mineral nutrition. Conversely, it was found that while Si treatments increased the uptake of some micronutrients, they limited the uptake of others. Based on these results, it was concluded that the role of silicon, particularly in the regulation of micronutrients, requires further detailed investigation.

Keywords: Silicon, Nitrogen, Wheat, Nutrient Uptake

Azot ve Silisyum Uygulamalarının Buğdayda Bazı Besin Elementi Konsantrasyonları Üzerine Etkisi

Özet

Azot (N), bitkilerin büyüme ve gelişme için mutlak gerekli besin elementi olarak kabul edilirken silisyum (Si) stres toleransını ve besin elementi alımını etkileyebilen faydalı elementler sınıfında yer almaktadır. Bu çalışmada, N ve Si uygulamalarının buğdayda bazı besin elementi (fosfor (P), potasyum (P), kalsiyum (Ca), magnezyum (Mg), demir (Fe), çinko (Zn), bakır (Cu) ve mangan (Mn)) konsantrasyonları üzerine etkilerinin belirlenmesi hedeflenmiştir. Bu amaç doğrultusunda tesadüf parselleri faktöriyel deneme planına göre 3 tekerrürlü olarak yürütülmüştür. Denemede, buğdaya 4 farklı N dozu (0, 50, 100, 150 mg kg⁻¹) ve 3 farklı Si dozu (0, 150, 300 mg kg⁻¹) uygulanmıştır. Araştırma sonuçları, N uygulama dozlarının artması ile buğdayda P, Ca, Mg ve Fe konsantrasyonları artmıştır. Silisyum uygulama dozlarının artmasıyla ise Mn ve Cu istatistiksel olarak önemli düzeyde artarken Ca, Mg, Fe ve Zn konsantrasyonu kontrol grubunda en yüksek belirlenmiştir. Bu çalışmanın sonucunda, N uygulamalarının buğdayın mineral beslenmesini genel olarak olumlu yönde etkilediği belirlenmiştir. Buna karşın, Si uygulamalarının bazı mikro elementlerinin alımını artırırken bazı elementlerin alımını sınırlandırdığı saptanmıştır. Elde edilen bulgular doğrultusunda, silisyumun özellikle mikro besin elementlerinin düzenlenmesindeki rolünün daha ayrıntılı araştırılması gerektiği sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Silisyum, azot, buğday, besin elementi alımı

Giriş

Poaceae (Gramineae) familyasına ait buğday (*Triticum spp.*), 10.000 yıldan fazla süredir insan uygarlığının temel taşlarından biri olmuştur (Penn, 2021). Buğday, hem ekim alanı hem de ticari değeri açısından küresel ölçekte önemli bir üründür ve insan beslenmesinde temel gıda maddesinden biridir (Walsh ve ark., 2018). Çok yönlülüğü, farklı iklimlere uyum sağlama yeteneği, depolama kolaylığı ve yüksek kalori ve besin değeri, onu küresel gıda taleplerini karşılamada önemli bir oyuncu haline getirmektedir (Sharma and Sharma, 2025). Iqbal ve ark. (2022) ise günlük kalori ve protein alımının %20'sini oluşturan buğday, insan beslenmesinin hayati bir bileşenidir ve gelişmekte olan ülkelerde pirinçten sonra ikinci en önemli gıda ürünü olarak sıralandığını rapor etmişlerdir. Küresel nüfusun artmasına paralel olarak dünya genelinde buğdaya olan ihtiyaç hızla yükselmektedir. Dünya Bankası geliştirmekte olan ülkelerde buğday talebi 2050 yılına kadar %60 oranında artacağını tahminlemektedir (Scott, 2018).



Temel gıda ürünlerinin hammaddesini oluşturan buğdayın üretim miktarı gıda güvenliğini doğrudan ilgilendiren konuların en başında gelmektedir. Artan nüfus, ekonomik krizler, iklim değişikliği, savaşlar ve salgın hastalıklar gıda güvenliğinin önemini ortaya koymaktadır (Çiftçi, 2024). Bitkisel üretimi olumsuz etkileyen tüm bu faktörlerin yanı sıra, verim ve kaliteyi sınırlandıran en önemli etmenlerden biri topraklardaki bitki besin elementi yetersizlikleridir. Düşük toprak verimliliği, gübre uygulamalarını gerektirir ve bu da ürün üretim maliyetini artırır (Agegehu ve ark., 2016). Bitkiler tarafından alınabilir formdaki besin elementlerini içeren gübrelerin maliyetindeki artış, sürdürülebilir buğday üretimi açısından önemli bir sorun oluşturmaktadır.

Buğday, verimini ve kalitesini artıran en önemli faktörlerden birisi azotlu gübrelemedir. Azot; protein, klorofil ve amino asitlerin temel bileşenlerinden olup (Yuan ve ark., 2014) buğday verimini artıran tane verimi, daha yüksek biyokütle ve gelişmiş hasat indeksi ile artırmaktadır (Gholizadeh ve ark., 2017).

Son yıllarda oldukça ivme kazanan silisyum (Si) uygulamaları bitkisel üretimde bitkinin sağlığı, besin elementi alımı, verim ve kalitesi açısından olumlu sonuçlar elde edildiği rapor edilmiştir. Silisyum, yer kabuğunda en bol bulunan ikinci element olmasına rağmen polimerize bir formda bulunduğu için bitkiler tarafından doğrudan alınabilir durumda değildir. Bununla birlikte uzun yıllardır yoğun tarımsal faaliyetlerin yapıldığı topraklarda bitkiler tarafından topraklardaki mevcut alınabilir Si miktarının azaldığı bildirilmiştir (Meena ve ark., 2014). Bitkiler yalnızca depolimerize olmuş çözünür Si formu olan monosilik asidi (H_2SiO_4) alabilir. Bu çözünür form, bitki kökleri tarafından kolayca alınır ve bitki dokularında birikir; konsantrasyonları %0,1 ile %10 arasında değişmektedir (Pati ve ark., 2016). Bu çalışmanın amacı, Kahramanmaraş koşullarında yetiştirilen buğdaya azot uygulaması ile birlikte silisyum (Si) ilavesinin makro ve mikro besin elementi alımına etkisinin belirlenmesidir.

Materyal ve Metot

Araştırma, 2024 yılında Doğu Akdeniz Geçit Kuşağı Tarımsal Araştırma Enstitüsü bahçesinde saksı denemesi olarak gerçekleştirilmiştir. Denemede kullanılan toprak Tarımsal Araştırma Enstitüsü bahçesinden ($37^{\circ}32'11.56''N$ $36^{\circ}55'00.44''E$) temin edilmiş olup 0-30 cm derinlikten alınmış, gölgede kurutulmuş ve 4 mm'lik bir elekten geçirilmiştir. Kullanılan toprağın bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri Çizelge 1'de, bazı makro ve mikro besin elementi içerikleri ise Çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 1. Araştırmada kullanılan toprağa ait bazı fiziksel ve kimyasal özellikler

Tekstür			pH	EC	Organik Madde	Kireç
%Kum	%Kil	%Silt		$\mu s/cm$	%	%
65	5	30	7.69	541	0.07	10

Çizelge 2. Araştırmada kullanılan toprağa ait bazı makro ve mikro besin elementi içerikleri

P	K	Ca	Mg	Fe	Zn	Cu	Mn
$mg\ kg^{-1}$							
6.8	182	4660	665	12.13	0.79	11.80	2.19

Araştırmada kullanılan toprak %65 kum, %5 kil ve %30 silt içeriği ile kumlu tın bünyeye sahiptir. Toprak pH'sı 7.69 ile hafif alkalın ve hafif tuzlu sınıfında yer almaktadır. Organik madde düzeyi çok düşük, kireci orta, yarayışlı fosforu ise yetersizdir. Değişebilir K, Ca, Mg ve ekstrakte edilebilir Fe, Zn, Cu ile Mn konsantrasyonları yeterli sınıfında yer almaktadır.

Araştırma, tesadüf parselleri deneme planına göre tasarlanmış olup her bir plastik saksıya 1 kg toprak örneği tartılmıştır. Ekimden önce saksılara 0, 150, 300 $mg\ kg^{-1}$ olacak şekilde Si ilave edilmiş ve homojen olacak şekilde karıştırılmıştır. Silisyum kaynağı olarak ticari olarak temin edilmiş olan Na_2SiO_3 kullanılmıştır. Azot uygulamasının (0, 50, 100, 150 $mg\ kg^{-1}$) ise yarısı amonyum sülfat formunda ekimle ve diğer yarısı ise üst gübre olarak üre şeklinde 2'ye bölünerek yapılmıştır. Araştırmada Esperia kışlık buğday çeşidi kullanılmıştır. Her bir saksıya 5 tohum ekilmiş ve çimlenmeden sonra seyreltilme yapıp 3'e düşürülmüştür. Buğdaylar 60 günün sonunda toprak üstü aksamı olarak hasat edilmiştir. Hasat edildikten sonra laboratuvara getirilen bitki numuneleri önce çesme suyundan daha sonrada birkaç kez saf su ile yıkanmıştır. Etüvde $65^{\circ}C$ 'de kurutulan numuneler bitki öğütücüsünde kurutularak analize hazır hale getirilmiştir.

Toprak tekstürü Gee ve Bauder (1986) tarafından bildirilen hidrometre yöntemi ile belirlenen % kum, % kil ve % silt içerikleri toprak tekstür üçgenine göre sınıflandırılmıştır. Toprağa ait pH ve EC değerleri ise 1:2.5 oranına göre toprak-su süspansiyonunda pH ve EC metre ile ölçülmüştür (Richards, 1954). Toprak organik madde içeriği Walkley-Black yöntemine göre (Nelson ve Sommers, 1996), kireç ise Scheibler kalsimetresi ile belirlenmiştir (Allison ve Moodie, 1965). Yarayışlı P, 0,5 M $NaHCO_3$ (pH: 8,5) ekstrakte edilerek kolorimetrik olarak (Olsen ve Sommers, 1982, Mg, Ca ve K ise 1 N amonyum asetat (pH: 7.0) ile (Richards, 1954), Fe, Zn, Cu ve Mn Lindsay ve Norvell (1978) tarafından geliştirilen DTPA yöntemine göre atomik absorpsiyon spektrofotometresi (AAS) kullanılarak belirlenmiştir. Bitki örnekleri, Jones (2001) tarafından bildirilen yaş yakma yöntemi ile yakılmış ve P konsantrasyonları, vanadomolibdenofosforik asit (Kuo, 1996) kullanılarak belirlenmiştir. Bitki numunelerindeki Ca, K, Mg, Zn, Fe, Cu ve Mn atomik absorpsiyon spektrofotometresi (AAS) kullanılarak ölçülmüştür.



Bulgular

Buğday Fosfor (P) Konsantrasyonu

Azot ve Si uygulamalarının buğdayın toprak üstü aksamındaki P içeriklerine etkisine ilişkin veriler Çizelge 3’de verilmiş olup N uygulama dozlarının $p < 0.01$ düzeyinde önemli etkisi olduğu belirlenmiştir. Buğdayda N uygulama dozlarının artması ile P konsantrasyonlarının kademeli bir şekilde arttığı belirlenmiş olup en düşük N_0 dozunda $0,29 \text{ mg kg}^{-1}$ olarak saptanmıştır. Azot uygulama dozlarının artması ile artan P konsantrasyonu en yüksek N_{100} ve N_{150} dozlarında sırasıyla $0,35; 0,34 \text{ mg kg}^{-1}$ belirlenmiş olup istatistiksel olarak aynı sınıfta yer almışlardır.

Çizelge 3. Farklı N ve Si uygulama dozlarının buğdaydaki P içeriği üzerindeki etkisi

Uygulamalar		N Dozları (mg kg^{-1})				Ortalama
		0	50	100	150	
Si Dozları (mg kg^{-1})	0	$0,29 \pm 0,012$	$0,30 \pm 0,003$	$0,34 \pm 0,000$	$0,36 \pm 0,019^{\text{öd}}$	0,32
	150	$0,28 \pm 0,004$	$0,32 \pm 0,005$	$0,38 \pm 0,034$	$0,33 \pm 0,017$	0,33
	300	$0,30 \pm 0,009$	$0,33 \pm 0,010$	$0,34 \pm 0,002$	$0,33 \pm 0,018$	0,32
Ortalama		0,29C	0,32BC	0,35A**	0,34AB	

**: $p < 0.01$; *: $p < 0.05$; öd: önemli değil, $\text{LSD}_{0,05}$: $0,033 \text{ N}$ için; Silisyum ve NxSi interaksyonunun buğday P konsantrasyonu üzerine önemli bir etkisi görülmemiştir.

Buğday Potasyum (K) Konsantrasyonu

Farklı dozlarda uygulanan N ve silisyumun buğdayın toprak üstü aksamındaki K içeriklerine etkisine ait veriler Çizelge 4’de verilmiştir. Azot, Si ve NxSi interaksyonunun K konsantrasyonu üzerinde istatistiksel olarak önemli bir etkisi belirlenmemiştir.

Çizelge 4. Farklı N ve Si uygulama dozlarının buğdaydaki K içeriği üzerindeki etkisi

Uygulamalar		N Dozları (mg kg^{-1})				Ortalama
		0	50	100	150	
Si Dozları (mg kg^{-1})	0	$2,85 \pm 0,161$	$3,50 \pm 0,075$	$2,80 \pm 0,000$	$3,03 \pm 0,222^{\text{öd}}$	3,04
	150	$3,23 \pm 0,135$	$3,28 \pm 0,155$	$3,22 \pm 0,003$	$3,07 \pm 0,051$	3,20
	300	$3,38 \pm 0,060$	$3,23 \pm 0,525$	$2,80 \pm 0,017$	$2,77 \pm 0,037$	3,04
Ortalama		3,15	3,33	2,94	2,96	

**: $p < 0.01$; *: $p < 0.05$; öd: önemli değil

Buğday Kalsiyum (Ca) Konsantrasyonu

Azot ve Si uygulamalarının buğdayın toprak üstü aksamındaki Ca içeriklerine etkisine ilişkin veriler Çizelge 5’de verilmiş olup N, Si uygulamaları ve NxSi interaksyonlarının $p < 0.01$ düzeyinde önemli etkisi olduğu belirlenmiştir.

Buğdayda N uygulama dozlarının artması ile toprak üstü aksamının Ca konsantrasyonu kontrole kıyasla artmıştır. En düşük Ca konsantrasyonu N_0 dozunda $0,54 \text{ mg kg}^{-1}$ olarak belirlenirken N_{50} ve N_{100} uygulamaları da istatistiksel olarak aynı grupta yer almıştır. Silisyum uygulama dozları azotun aksine arttıkça buğday Ca konsantrasyonu azalmıştır. En yüksek Ca konsantrasyonu kontrol grubu olan Si_0 uygulamasında $0,70 \text{ mg kg}^{-1}$ olarak belirlenmiştir. En düşük ise Si_{150} ile Si_{300} uygulamalarında belirlenmiş olup istatistiksel olarak aynı grupta yer almıştır.

Çizelge 5. Farklı N ve Si uygulama dozlarının buğdaydaki Ca içeriği üzerindeki etkisi

Uygulamalar		N Dozları (mg kg^{-1})				Ortalama
		0	50	100	150	
Si Dozları (mg kg^{-1})	0	$0,59b-e \pm 0,008$	$0,64bc \pm 0,026$	$0,57b-e \pm 0,007$	$1,01a^{**} \pm 0,059$	$0,70A^{**}$
	150	$0,53b-e \pm 0,006$	$0,56b-e \pm 0,002$	$0,61b-d \pm 0,005$	$0,59b-e \pm 0,007$	0,57B
	300	$0,51de \pm 0,016$	$0,52c-e \pm 0,036$	$0,48e \pm 0,019$	$0,64b \pm 0,010$	0,54B
Ortalama		0,54B	0,57B	0,55B	0,75A**	

**: $p < 0.01$; *: $p < 0.05$; öd: önemli değil, $\text{LSD}_{0,05}$: $0,053, 0,041, 0,120$ sırasıyla N, Si ve $\text{N} \times \text{Si}$ için Azot x Si etkileşiminde ise en yüksek Ca konsantrasyonu $\text{N}_{150} \times \text{Si}_0$ uygulamasında $1,01 \text{ mg kg}^{-1}$ olarak belirlenirken en düşük $0,48 \text{ mg kg}^{-1}$ ile $\text{N}_{100} \times \text{Si}_{300}$ uygulamasında saptanmıştır.

Buğday Magnezyum (Mg) Konsantrasyonu

Farklı dozlarda uygulanan N ve silisyumun buğdayın toprak üstü aksamındaki Mg içeriklerine etkisine ilişkin veriler Çizelge 6’da verilmiş olup N, Si uygulamaları ve NxSi interaksyonlarının $p < 0.01$ düzeyinde önemli etkisi olduğu belirlenmiştir.



Buğdayda N uygulama dozlarının artması ile toprak üstü aksamının Mg konsantrasyonu kontrole kıyasla artmış olup en düşük Mg konsantrasyonu N_0 ve N_{100} dozlarında $0,29 \text{ mg kg}^{-1}$ olarak belirlenmiş olup istatistiksel olarak aynı grupta yer almışlardır. Buğday toprak üstü aksamında en yüksek Ca konsantrasyonu ise $0,54 \text{ mg kg}^{-1}$ olarak belirlenirken N_{50} ve N_{100} uygulamaları da istatistiksel olarak aynı grupta yer almıştır. Silisyum uygulama dozları azotun aksine arttıkça buğday Ca konsantrasyonu azalmıştır. En yüksek Ca konsantrasyonu kontrol grubu olan Si_0 uygulamasında $0,70 \text{ mg kg}^{-1}$ olarak belirlenmiştir. En düşük ise Si_{150} ile Si_{300} uygulamalarında belirlenmiş olup istatistiksel olarak aynı grupta yer almıştır.

Çizelge 6. Farklı N ve Si uygulama dozlarının buğdaydaki Mg içeriği üzerindeki etkisi

Uygulamalar		N Dozları (mg kg^{-1})				Ortalama
		0	50	100	150	
Si Dozları (mg kg^{-1})	0	0,29a±0,008	0,34a±0	0,31a±0,002	0,35a**±0,017	0,32A**
	150	0,28ab±0,005	0,32a±0,000	0,35a±0,021	0,31a±0,006	0,31A
	300	0,29a±0,014	0,30a±0,007	0,22b±0,010	0,32a±0,029	0,29B
Ortalama		0,29B	0,32AB	0,29B	0,33A**	

**p<0.01; *p<0.05; öd: önemli değil, $LSD_{0,05}$: 0,030, 0,023, 0,069 sırasıyla N, Si ve $N \times Si$ için Silisyum x N etkileşiminde ise en yüksek Mg konsantrasyonu $N_{150} \times Si_0$ uygulamasında $0,35 \text{ mg kg}^{-1}$ olarak belirlenirken en düşük $0,22 \text{ mg kg}^{-1}$ ile $N_{100} \times Si_{300}$ uygulamasında saptanmıştır.

Buğdayda Demir (Fe) Konsantrasyonu

Azot ve Si uygulamalarının buğdayın toprak üstü aksamındaki Fe konsantrasyonuna etkisine ilişkin veriler Çizelge 7'de verilmiş olup N, Si uygulamaları ve $N \times Si$ interaksiyonlarının p<0.01 düzeyinde önemli etkisi olduğu belirlenmiştir.

Buğdayda N uygulama dozlarının artması ile toprak üstü aksamının Fe konsantrasyonu artmış olup en yüksek Fe konsantrasyonu N_{150} dozlarında $87,9 \text{ mg kg}^{-1}$ olarak belirlenmiştir. Buğday toprak üstü aksamında en düşük Fe konsantrasyonu ise N_0 ve N_{50} uygulamalarında belirlenmiş olup istatistiksel olarak aynı grupta yer almıştır. Silisyum uygulama dozlarında ise düzenli artış veya azalış görülmemiştir. En yüksek Fe konsantrasyonu $83,8 \text{ mg kg}^{-1}$ ile Si_0 uygulamasında belirlenirken Si_{300} $79,7 \text{ mg kg}^{-1}$ ile istatistiksel olarak aynı grupta yer almıştır. En düşük ise $71,3 \text{ mg kg}^{-1}$ ile Si_{150} uygulamasında elde edilmiştir.

Çizelge 7. Farklı N ve Si uygulama dozlarının buğdaydaki Fe içeriği üzerindeki etkisi

Uygulamalar		N Dozları (mg kg^{-1})				Ortalama
		0	50	100	150	
Si Dozları (mg kg^{-1})	0	78,8bc±0,440	68,5bc±1,443	87,6ab±4,763	100,0a**±4,618	83,8A**
	150	74,1bc±8,804	64,0c±2,598	67,5bc±2,020	79,6a-c±5,052	71,3B
	300	70,8bc±2,92	77,6bc±1,364	86,8ab±5,840	83,6a-c±2,905	79,7A
Ortalama		74,6BC	70,0C	80,6AB	87,9A**	

**p<0.01; *p<0.05; öd: önemli değil, $LSD_{0,05}$: 9,49, 7,44, 21,49 sırasıyla N, Si ve $N \times Si$, Silisyum x N etkileşiminde ise en yüksek Fe konsantrasyonu $N_{150} \times Si_0$ uygulamasında $100,0 \text{ mg kg}^{-1}$ olarak belirlenirken en düşük $64,0 \text{ mg kg}^{-1}$ ile $N_{50} \times Si_{150}$ uygulamasında saptanmıştır.

Buğdayda Çinko (Zn) Konsantrasyonu

Farklı dozlarda uygulanan N ve silisyumun buğdayın toprak üstü aksamındaki Zn konsantrasyonuna etkisine ilişkin veriler Çizelge 8'de verilmiş olup Si uygulamaları ve $N \times Si$ interaksiyonlarının p<0.01 düzeyinde önemli etkisi olduğu belirlenmiştir.

Buğdayda N uygulama dozlarının Zn konsantrasyonu üzerine istatistiksel olarak önemli farklar belirlenmemiştir. Silisyum uygulama dozlarının artması ile toprak üstü aksamının Zn konsantrasyonu azalmış olup en yüksek Fe konsantrasyonu Si_0 dozunda $29,9 \text{ mg kg}^{-1}$ olarak belirlenirken en düşük Si_{150} ve Si_{300} uygulamalarında belirlenmiş olup istatistiksel olarak aynı grupta yer almıştır.

Çizelge 8. Farklı N ve Si uygulama dozlarının buğdaydaki Zn içeriği üzerindeki etkisi

Uygulamalar		N Dozları (mg kg^{-1})				Ortalama
		0	50	100	150	
Si Dozları (mg kg^{-1})	0	30,0ab±2,020	33,0a±2,309	23,1ab±0,927	33,6a±1,301	29,9A*
	150	26,0ab±2,020	28,5ab±2,886	22,0b±0	23,6ab±2,455	25,0B
	300	24,0ab±1,154	25,5ab±1,732	31,2ab±1,299	28,8ab±3,940	27,3AB
Ortalama		26,6	29,0	25,4	28,7	

**p<0.01; p<0.05; öd: önemli değil, $LSD_{0,05}$: 3,67, 10,61 sırasıyla Si ve $N \times Si$, Silisyum x N etkileşiminde ise en yüksek Zn konsantrasyonu $N_{150} \times Si_0$ uygulamasında $33,6 \text{ mg kg}^{-1}$ olarak belirlenirken en düşük $22,0 \text{ mg kg}^{-1}$ ile $N_{100} \times Si_{150}$ uygulamasında saptanmıştır.

Buğdayda Bakır (Cu) Konsantrasyonu

Azot ve silisyum uygulamalarının buğdayın toprak üstü aksamındaki Cu konsantrasyonuna etkisine ilişkin veriler Çizelge 9'da verilmiş olup N, Si uygulamaları ve $N \times Si$ interaksiyonlarının p<0.01 düzeyinde önemli etkisi olduğu belirlenmiştir.



Buğdayda N uygulama dozlarının toprak üstü aksamının Cu konsantrasyonu en yüksek N₅₀ ve N₁₅₀ dozlarında sırasıyla 9,94 mg kg⁻¹; 9,72 mg kg⁻¹ olarak belirlenmiş olup istatistiksel olarak aynı grupta yer almışlardır. Buğday toprak üstü aksamında en düşük Cu konsantrasyonu ise N₀ ve N₁₀₀ uygulamalarında belirlenmiş olup istatistiksel olarak aynı grupta yer almıştır. Silisyum uygulama dozlarında ise en yüksek Cu konsantrasyonu 10,0 mg kg⁻¹ ile Si₃₀₀ uygulamasında belirlenirken en düşük Si₀ ve Si₁₅₀ uygulamalarında belirlenmiş olup istatistiksel olarak aynı grupta yer almıştır.

Çizelge 9. Farklı N ve Si uygulama dozlarının buğdaydaki Cu içeriği üzerindeki etkisi

Uygulamalar		N Dozları (mg kg ⁻¹)				Ortalama
		0	50	100	150	
Si Dozları (mg kg ⁻¹)	0	9,00b±0,288	9,33b±0,440	8,83b±0,333	10,0ab±0,577	9,29AB
	150	9,00b±0,000	8,83b±0,333	9,00b±0	9,50ab±0	9,08B
	300	9,00b±0,288	11,6a*±1,092	9,66ab±0,166	9,66ab±0,333	10,0A*
Ortalama		9,00B	9,94A*	9,16B	9,72AB	

**p<0.01; p<0.05; öd: önemli değil, LSD_{0,05}: 0,72, 0,76, 2,20 sırasıyla N, Si ve N x Si için Silisyum x N etkileşiminde ise en yüksek Cu konsantrasyonu N₅₀ x Si₃₀₀ uygulamasında 11,6 mg kg⁻¹ olarak belirlenirken en düşük 8,83 mg kg⁻¹ ile N₅₀ x Si₁₅₀ uygulamasında saptanmıştır.

Buğdayda Mangan (Mn) Konsantrasyonu

Azot ve Si uygulamalarının buğdayın toprak üstü aksamındaki Mn konsantrasyonuna etkisine ilişkin veriler Çizelge 10'da verilmiş olup N ve Si uygulamaları p<0.01 düzeyinde önemli etkisi olduğu belirlenmiştir.

Buğdayda N uygulama dozlarının artmasına paralel olarak toprak üstü aksamının Mn konsantrasyonu azalmıştır. En yüksek Mn konsantrasyonu kontrol grubunda 14,2 mg kg⁻¹ olarak belirlenirken en düşük N₁₅₀ uygulamasında 12,2 mg kg⁻¹ olarak belirlenmiştir. Silisyum uygulama dozlarında ise en yüksek Mn konsantrasyonu 14,0 mg kg⁻¹ ile Si₃₀₀ uygulamasında belirlenirken en düşük Si₀ ve Si₁₅₀ uygulamalarında belirlenmiş olup istatistiksel olarak aynı grupta yer aldığı saptanmıştır.

Çizelge 10. Farklı N ve Si uygulama dozlarının buğdaydaki Mn içeriği üzerindeki etkisi

Uygulamalar		N Dozları (mg kg ⁻¹)				Ortalama
		0	50	100	150	
Si Dozları (mg kg ⁻¹)	0	14,1±0,166	14,0±1,443	12,00±0,288	11,5±0,577	12,9AB
	150	13,16±1,301	11,6±1,166	12,66±0,166	11,6±0,166	12,2B
	300	15,3±0,881	14,16±0,440	13,16±0,166	13,66±0,927	14,0A**
Ortalama		14,2A*	13,27AB	12,6AB	12,2B	

**p<0.01; p<0.05; öd: önemli değil, LSD_{0,05}: sırasıyla 1,61, 1,26 N ve Si için Silisyum ve NxSi interaksiyonunun buğday Mn konsantrasyonu üzerine önemli bir etkisi görülmemiştir.

Tartışma

Buğdayda değişik dozlarda uygulanan N ve silisyumun bazı makro (P, K, Ca, Mg) ve mikro (Fe, Zn, Cu, Mn) besin elementleri konsantrasyonuna etkisi incelenmiştir. Azot, bitki metabolizmasında ve dolayısıyla büyümenin belirlenmesinde çok önemli bir rol oynar. Bu nedenle, bitkilerin inorganik beslenmesi, hem ürünün miktarını hem de kalitesini iyileştirdiği için N tarafından domine edilmiştir. Bu nedenle, azotun diğer temel bitki besin maddeleriyle etkileşimini anlamak, bitki büyümesini ve gelişimini iyileştirmek için temel öneme sahiptir (Fageria, 2006). Buğdayın toprak üstü aksamındaki P konsantrasyonu N uygulamasının artması ile kontrole kıyasla artmıştır ancak Si uygulamalarının önemli bir etkisi gözlemlenmemiştir. En yüksek P konsantrasyonu N uygulamasının en yüksek dozları olan N₁₀₀ ve N₁₅₀'de belirlenmiştir. Fageria (2006) bitkinin N tedariğinin artması ile büyümenin arttığını bunun sonucu olarakta diğer besin maddelerine olan talebin arttığını bildirmiştir. Hou ve ark. (2025) sonuçlarımıza benzer şekilde N uygulamasının buğdayda P alımını ve kullanımını artırdığını bildirmişlerdir. Wilkson ve ark. (1999) azotun bitki kök gelişimini artırdığını köklerin fosforu alma ve taşıma yeteneğinin arttığını ve ayrıca NH₄⁺ toprakların pH'sını düşürerek fosforun çözünürlüğünü artırdığını bildirmişlerdir. Buğdayın toprak üstü aksamının K konsantrasyonu N ve Si uygulamalarından etkilenmezken Ca konsantrasyonu p<0.01 önem düzeyinde etkilenmiştir. Azot uygulama dozlarının artmasına paralel olarak Ca konsantrasyonu artmış olup en yüksek N₁₅₀ uygulamasından elde edilmiştir. Güneş ve ark. (2006) tarafından yürütülen çalışmada artan N dozlarının bitki Ca konsantrasyonunu artırdığı bildirilmiştir. Silisyum uygulama dozlarının artmasıyla ise Ca konsantrasyonu buğdayın toprak üstü aksamında azalmıştır. Çalışmamıza benzer şekilde Ma ve Takahashi (1993) Si uygulama dozlarının artması ile Ca bitki tarafından alımının %20 oranında azaldığını bildirmiştir. Bunu ise Si ilave edilmeyen bitkide ki terleme oranının Si uygulanan bitkiye %30 oranında daha fazla olmasıyla ilişkilendirmiştir. Buğday bitkisinin toprak üstü aksamının Mg konsantrasyonu incelendiğinde N ve Si uygulamalarının p<0.01 önem düzeyinde etkili olduğu belirlenmiştir. Artan dozlarda uygulanan azotun Mg konsantrasyonunu artırdığını maksimum en yüksek N dozu olan N₁₅₀ uygulamasından elde edilmiştir. Silisyumun



en yüksek uygulama dozunda ise Mg konsantrasyonu azalmış ancak Si₀ ve Si₁₅₀ aynı grupta yer almıştır. Greger ve ark. (2018) yapılan çalışmada toprağa Si ilavesinin mevcut durumdaki magnezyumun kullanılabilirliğini çok fazla etkilemediğini bildirmiştir. Bununla birlikte Si uygulaması ile bazı besin elementlerinin bitki doku konsantrasyonunun da azalma gözlemlemişler ve bunu da büyümedeki artıştan kaynaklanan bir seyreltme etkisinden kaynaklanıyor olabileceği ile ilişkilendirmişlerdir. Buğday kuru maddesinin Fe konsantrasyonu N ve Si uygulamalarından p<0.01 önem düzeyinde etkilenmiştir. Azot uygulama dozlarının artması ile Fe konsantrasyonu artarken Si uygulamasında tam tersi bir sonuç elde edilmiştir. Si₀ ve Si₃₀₀ uygulamalarının Fe konsantrasyonu istatistiksel olarak aynı sınıfta yer almalarına rağmen en yüksek kontrol grubunda belirlenmiştir. Pozza ve ark. (2009) çalışmasına göre, Si ile gübrelenen pirinç bitkilerinde kök yüzeyinde Fe²⁺ ve Mn²⁺'nin oksidasyonu artmakta, bu elementler çökmekte ve bitki tarafından alınamamaktadır. Azot ve Si uygulamasının buğday kuru maddesindeki Zn konsantrasyonu üzerine etkisi incelendiğinde N uygulama dozları arasında farklılık belirlenmezken Si uygulaması Zn konsantrasyonunu p<0.01 önem düzeyinde azaltmıştır. En yüksek Zn konsantrasyonu Si₀ grubunda elde edilirken en düşük Si₁₅₀ ve Si₃₀₀ uygulamalarında belirlenmiştir. Sarto ve ark. (2019) ile Moraes ve ark. (2019) benzer bulgular elde etmiş olup artan Si dozlarıyla buğdayda Zn konsantrasyonunun azaldığını bildirmişlerdir. Buğdayın Cu konsantrasyonu incelendiğinde ise N uygulaması istatistiksel olarak önemli bulunmasına rağmen uygulama dozlarına bağlı olarak düzenli bir artış veya azalış göstermemiştir ancak kontrole kıyasla Cu konsantrasyonu artmıştır. Bakır konsantrasyonu üzerine Si uygulaması p<0.01 düzeyinde önemli bulunmuş olup en yüksek Si₃₀₀ uygulamasında belirlenmiştir. Greger ve ark. (2018) topraklara Si ilavesinin Cu kullanılabilirliğini artırdığı daha yüksek kullanılabilirliğin ise bitki tarafından daha çok alım sağladığını bildirmiştir. Buğdaydaki Mn konsantrasyonu ise Cu benzer şekilde Si konsantrasyonu arttıkça artmıştır. Greger ve ark. (2018) ise benzer sonuçlar elde etmiş olup Si bitkilerde manganın net birikimini ve konsantrasyonunu, köklerden ziyade sürgünlerde daha fazla artırdı bu durumu ise silisyumun manganı bitki kökleri tarafından alınmasından ziyade sürgünlere taşınmasını daha fazla teşvik ettiği ile ilişkilendirmişlerdir.

Sonuç

Araştırma sonuçlarına göre N uygulama dozlarının artması ile buğdayda P, Ca, Mg ve Fe konsantrasyonları artmıştır. Silisyum uygulama dozlarının artmasıyla ise Mn ve Cu istatistiksel olarak önemli düzeyde artarken Ca, Mg, Fe ve Zn konsantrasyonu kontrol grubunda en yüksek belirlenmiştir. Bu çalışmanın sonucunda, N uygulamalarının buğdayın mineral beslenmesini genel olarak olumlu yönde etkilediği belirlenmiştir. Buna karşın, Si uygulamalarının bazı mikro elementlerinin alımını artırırken bazı elementlerin alımını sınırlandırdığı saptanmıştır. Mikro besin elementlerinden Fe ve Zn, bitki gelişimi için gerekli olmakla birlikte, topraklarda aşırı düzeylerde bulunmaları durumunda ağır metal özelliği gösterebilmekte ve bitkiler üzerinde toksik etkilere neden olabilmektedir. Bu nedenle, ağır metal konsantrasyonlarının yüksek olduğu topraklarda Si uygulamalarının, söz konusu elementlerin bitki bünyesine alımını azaltarak toksite riskini hafifletmede potansiyel bir yönetim stratejisi olarak değerlendirilebileceği ifade edilmektedir. Silisyum uygulamalarıyla birlikte Cu ve Mn konsantrasyonlarında meydana gelen artış, silisyumun bu elementlerin alım ve taşınımını tutarlı edebileceğini düşündürmektedir. Literatürde silisyumun mikro besin elementleri üzerindeki etkilerinin tutarlı olmadığı, bazı elementlerin alımını artırırken bazılarının alımını azaltabildiği bildirilmektedir. Bu nedenle elde edilen sonuçlar, silisyumun Cu ve Mn beslenmesi üzerindeki etkisinin buğdayın yetiştirme koşulları ve toprak özellikleriyle yakından ilişkili olabileceğini göstermektedir. Elde edilen bulgular doğrultusunda, silisyumun mikro besin elementlerinin düzenlenmesindeki hala tam olarak anlaşılamayan karmaşık mekanizmasının daha ayrıntılı araştırılması gerektiği sonucuna varılmıştır.

Kaynakça

- Agegehu, G., Nelson, P. N., Bird, M. I. (2016). Crop yield, plant nutrient uptake and soil physicochemical properties under organic soil amendments and nitrogen fertilization on Nitisols. *Soil and Tillage Research* 160:1–13. doi: 10.1016/j.still.2016.02.003.
- Allison, L. E., Moodie, C. D. (1965). Carbonate. In C. A. Black (Ed.), *Methods of soil analysis: Chemical and microbiological properties agronomy* (pp. 1379–1398). American Society of Agronomy.
- Çiftçi, F. (2024). Türkiye'de Buğday Üretim Miktarının Geleceğini Tahmin Etmede Veri Madenciliği Yöntemlerinin Etkinliğinin Karşılaştırılması. *Wheat Studies*, 13(1), 1-11.
- Fageria, V. D. (2001). Nutrient Interactions In Crop Plants. *Journal of Plant Nutrition*, 24(8), 1269–1290. <https://doi.org/10.1081/PLN-100106981>
- Gee, G. W., & Bauder, J. W. (1986). Particle size analysis. In A. Klute (Ed.), *Methods of soil analysis. Part 1: Physical and mineralogical methods* (pp. 383–411). American Society of Agronomy.
- Gholizadeh, A., (2017). Leaf chlorophyll and nitrogen dynamics and their relationship to lowland rice yield for site specific paddy management. *Inf. Process. Agric.* 4, 259–268.
- Gunes, A., Alpaslan, M., & Inal, A. (1998). Critical nutrient concentrations and antagonistic and synergistic relationships among the nutrients of NFT-grown young tomato plants. *Journal of plant nutrition*, 21(10), 2035–2047.





- Greger, M., Landberg, T., & Vaculík, M. (2018). Silicon influences soil availability and accumulation of mineral nutrients in various plant species. *Plants*, 7(2), 41.
- Hou, P., Li, B., Cao, E., Liu, Z., Li, Y., Sun, Z., ... & Ma, C. (2025). Optimizing nitrogen and phosphorus fertilizer application for wheat yield on alkali soils: Mechanisms and effects. *Agronomy*, 15(3), 734.
- Iqbal, M. J., Shams, N., & Fatima, K. (2022). Nutritional quality of wheat. In *Wheat*. Rijeka, Croatia: Intech Open.
- Jones, J. B. (2001). Laboratory guide for conducting soil tests and plant analysis. CRC Press.
- Kuo, S. (1996). Phosphorus. In D. L. Sparks (Ed.), *Methods of soil analysis: Part 3 chemical methods* (pp. 869–921). Soil Science Society of America. <https://doi.org/10.2136/sssabookser5.3>
- Lindsay, W. L., & Norvell, W. A. (1978). Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese and copper. *Soil Science Society of America Journal*, 42(3), 421–428. <https://doi.org/10.2136/sssaj1978.03615995004200030009x>
- Ma, J. F. & Takahashi, E. (1993). Interaction between calcium and silicon in water-cultured rice plants. *Plant Soil*, 148, 107–113.
- Meena, V.D.; Dotaniya, M.L.; Coumar, V.; Rajendiran, S.; Kundu, S.; Rao, A.S. (2014). A case for silicon fertilization to improve crop yields in tropical soils. *Proc. Natl. Acad. Sci. India Sect. B Biol. Sci.*, 84, 505–518
- Moraes, S. R. G.; Pozza, E. A.; Pozza, A. A. A.; Carvalho, J. G.; Souza, P. E. (2009). Nutrição do feijoeiro e intensidade da antracnose em função da aplicação de silício e cobre. *Acta Scientiarum Agronomy*, Maringá, 31 (2), 283-291.
- Nelson, D. W., & Sommers, L. E. (1996). Total carbon, organic carbon and organic matter. In D. L. Sparks, A. L. Page, P. A. Helmke, R. H. Loeppert, P. N. Soltanpour, M. A. Tabatabai, C. T. Johnston, & M. E. Sumner (Eds.), *Methods of soil analysis part 3: Chemical methods* (pp. 961– 1010). Soil Science Society of America. <https://doi.org/10.2134/agronmonogr9.2.2ed.c29>
- Olsen, S. R., & Sommers, E. L. (1982). Phosphorus soluble in sodium bicarbonate. In A. L. Page, R. H. Miller, & D. R. Keeney (Eds.), *Methods of soil analysis, part 2: Chemical and microbiological properties* (pp. 404–430). American Society of Agronomy.
- Pati, S.; Pal, B.; Badole, S.; Hazra, G.C.; Mandal, B. (2016). Effect of silicon fertilization on growth, yield, and nutrient uptake of rice. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, 47, 284–290.
- Penn R. (2021). *Slow Rise: A Bread-Making Adventure*. London, United Kingdom: Penguin UK.
- Pozza, A. A. A.; Carvalho, J. G.; Guimares, P. T. G.; Figueiredo, F. C.; Araújo, A. R. (2009). Suprimento do silicato de cálcio e a eficiência nutricional de variedades de cafeeiro. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, 33, 1705-1714.
- Richards, L. A. (1954). *Diagnosis and improvement of saline and alkali soils* (Agriculture Handbook No. 60). U.S. Department of Agriculture.
- Sarto, M. V. M., do Carmo Lana, M., Rampim, L., Rosset, J. S., Sarto, J. R. W., & Bassegio, D. (2019). Effects of calcium and magnesium silicate on the absorption of silicon and nutrients in wheat. *Semina: Ciências Agrárias*, 40(1), 67-80.
- Sharma, K., & Sharma, P. (2025). Wheat as a nutritional powerhouse: Shaping global food security.
- Scott, A. Global Food Security: Could Wheat Feed the World? Available online: <https://www.theguardian.com/global-development/professionalnetwork/2014/apr/01/international-wheat-yield-partnership-food-security> (accessed on 27 March 2018).
- Yuan, W.; Dejian, W.; Peihua, S. (2014). Estimating rice chlorophyll content and leaf nitrogen concentration with a digital still color camera under natural light. *Plant Methods* 2014, 10, 36.
- Walsh, O. S., Shafian, S., McClintick-Chess, J. R., Belmont, K. M., & Blanscet, S. M. (2018). Potential of silicon amendment for improved wheat production. *Plants*, 7(2), 26.
- Wilkinson, S. R., Grunes, D. L. and Sumner, M. E. (1999). “ 1999. Nutrient Interactions in Soil and Plant Nutrition ” . In *Handbook of Soil Science* Edited by: Sumner, M. E. 89 – 112 . Boca Raton, FL : CRC Press .

