

KÜKÜRT

Toprakta Kükürt

Organik + **inorganik** olarak bulunur

Organik S miktarı > **İnorganik S** miktarı

↓ peat topraklarda % 100 Org S

↗ C' a bağlı (amino asitler)

Organik S fraksiyonu

↘ C' a bağlı değil (fenolikler, kolin-SO₄, lipidler)

Toprak organik maddesinde **C:N:S 125:10:1.2** oranında bulunur

Kurak bölge topraklarında CaSO₄, MgSO₄ ve Na₂SO₄ tuzları şeklinde **birikir**

Yağışlı koşullar altında ise SO₄⁻² anyonu olarak;

- toprak çözeltisinde **serbest**
- toprak kolloidlerince **adsorbe edilmiş** halde bulunur

Fosfat iyonları gibi;

- seskioksitler ve
- kil mineralleri tarafından **adsorbe edilir**

SO₄ bağlanması gücü < PO₄ bağlanma gücü

Minerallerin sülfat adsorpsiyon kapasitesi sırası;

Al₂O₃ > kaolinit > boksit > peat > limonit > hematit > hidrate alüminyum > gotit

Kil minerallerinin SO₄⁻² adsorpsiyon kapasitesi sırası;

Kaolinit > illit > bentonit

- pH ↑ toprakta SO₄ tutulma gücü ↓
- kil miktarı ↑ değişebilir SO₄⁻² ↑

Anaerobik koşullarda Sinorg ⇒ FeS, FeS₂ (pirit) ve H₂S' e indirgenir

Toprakta toplam S miktarı;

- organik madde miktarına ⇔ iklim koşullarına bağlıdır
 - Ilıman bölge topraklarında toplam S miktarı 50-400 ppm
- Yağışlı koşullarda SO₄⁻² **yıkanır** kurak koşullarda SO₄⁻² **birikir**

aerob. SO₄ (kimyasal Oksidasyon)

Mikrobiyel aktivite



Sorg



Bitkiye yararlı (H₂S)

(mineralizasyon)



anaerob elementel S (kemot. S bakt.)



kemotrof S bakt. (*Beggiatoa*, *Thiotrix*, *Thiobacillus*) H₂SO₄ (aerob)





Toprak asitleşir (pH ↓)

H₂S gibi FeS' de biyolojik ve kimyasal olarak elementel S' e oksitlenir



Anaerobik koşullarda (çeltik tarlaları) **Sorg** mineralizasyonu



(burada kesilirse **zararlı !!!**) **H₂S** (Fe ilavesi zararı önler)



H-H

Fotosentetik yeşil ve mor bakteriler fotosentetik elektron taşınımında kullanır



elementel S

Anaerobik koşullarda;

Desülfovibrio bakt. SO_4^{-2} ' in oksijenini elektron alıcısı olarak kullanarak indirger

Türkiye topraklarının kükürt durumu

Türkiye' nin değişik yerlerinde $\text{SO}_4^{-2}\text{-S}$ miktarlarına göre toprakların

- % 30' unda $< 10 \text{ mg S kg}^{-1}$
- % 70' inde $10\text{-}20 \text{ mg S kg}^{-1}$ arasında

Trakya Bölgesi Meriç Havzası topraklarının bitkiye yararlı S durumları $6.9 \text{ mg kg}^{-1} - 35.9 \text{ mg kg}^{-1}$ arasında

Ekstrakte edilebilir S içerikleri 10 mg S kg^{-1} **kritik düzey kabul edilirse** Türkiye topraklarının **% 11.5'** i S bakımından **kritik düzeyin altında**

S noksanlığı en fazla;

Bazaltik, Kireçsiz Kahverengi Orman,

Kireçsiz Kahverengi, Kestanerengi ve Gri-kahverengi Podzolik

büyük toprak gruplarında

Bitkide Kükürt

Kükürt alımı ve taşınımı

Bitkiler tarafından büyük oranda SO_4^{-2} olarak absorbe edilir (Atm. SO_2)

Fizyolojik pH aralığında alımı **pH' dan bağımsız** (↑ pH' da OH antagonist olabilir)

Diğer iyonların SO_4^{-2} alımına etkisi önemsizdir (!!! Se & benzer taşıyıcılar)

SO_4 alımı **aktif** şekilde gerçekleşir (Plazmalemmadaki taşıyıcı proteinlerle)

S bitkilerde transpirasyonla **aşağıdan yukarıya** doğru taşınır

Köklerin SO_4^{-2} alım oranı **düşüktür**

N&S birbirine benzer (asimilasyon, indirgenme vs)

- azotun tersine bitkilerde indirgenmiş S tekrar okside olabilir
 - burada sistenin indirgenmiş kükürdü SO_4^{-2} a dönüşür

Kükürt asimilasyonu ve indirgenmesi

Sülfat indirgenmesini etkileyen faktörler;

- Sistein sentezi için asetil serinin yarayışlılığı,
- APS sülfotransferaz düzeyindeki deęişim,
- ATP sülfirilaz aktivitesinin yavaşlaması

Fazla sistein APS sülfotransferaz aktivitesini **engeller**ken NH_4 beslenmesi **artırır**

Fazla sistein ya da SO_2 **bulunursa** ışıktta yeşil hücrelerin H_2S oluşturması **artar**

SO₄ indirgenmesinde rol alan enzimler

- kloroplastlarda (**fazla**)
- köklerin plastitlerinde (**az**)

Yeşil yapraklarda SO₄ indirgenmesi > köklerde SO₄ indirgenmesi



ışık stimüle eder

NO₃ indirgenmesine benzer şekilde;

- yaprak büyümesi süresince SO₄ indirgenmesi **maksimum**
- yaprak olgunlaşınca SO₄ indirgenmesi **azalır**

Kükürdün metabolik fonksiyonları

Sistein ve **metionin** aminoasitlerinin dolayısıyla **proteinlerin** yapı taşıdır

örneğin $R_1-C-S-C-R_2$ ve $R-SH$

Bitkide organik indirgenmiş kükürtün

- \approx % 2' si suda çözünebilir thiol (-SH) fraksiyonu
- bunun % 90' indan fazlası tripeptit **glutathion**dur

Yapraklarda glutathion miktarı > kökte glutathion miktarı



(> % 50' si kloroplastlarda)

Glutationun fonksiyonları;

- suda çözünürlüğü yüksektir
- kuvvetli antioksidandır (sistein-sistin redoks sisteminden daha önemli)
 - glutation ve askorbat H_2O_2 ve $O_2^{\cdot-}$ radikallerinin detoksifikasyonunu sağlar
- indirgenmiş S' ün geçici depo havuzlarıdır
- fitoşelatların öncüsüdür
- ağır metallerin detoksifikasyonunu sağlar

İndirgenmiş S;

- ferrodoksin, biotin (vitamin H) ve tiamin pirofosfat (vitamin B1) gibi
- koenzim ve prostetik grupların yapı taşıdır

-SH grupları enzim reaksiyonlarında fonksiyonel gruplar olarak rol oynar

S taşıyan **Alin ve glikozinolatlar (S-alkenilsistein sülfoksid)**

tarla ve bahçe bitkileri için özel öneme sahiptir

Allium (soğan) türlerinde toplam S' ün % 80' inden fazlası bu yapıdadır

İndirgenmemiş S formu (sülfat ester);

- biyolojik membranların yapı taşıdır
- sülfolipidlerin bileşenidir ve
 - sülfolipidlerdir kloroplast lipidlerin \approx % 5' ini oluşturur
 - sülfolipidler biyomembranlarda iyon taşınımını düzenler
 - köklerde yüksek sülfolipid düzeyleri tuza toleransı artırır

Bitkide % 0.5-1.0 arasında S optimum gelişme sağlar

S gereksinimi açısından bitki çeşitleri arasında farklılık vardır

■ *Graminea* < *Leguminosae* < *Cruciferae*

Tohumda S (%)	0.18-0.19	0.25-0.30	1.10-1.70
---------------	-----------	-----------	-----------

Proteinlerin S içerikleri;

● bitki türlerine

baklagillerde N/S oranı (40/1) < tahıllarda N/S oranı (30/1)

● bireysel hücrelerin fraksiyonlarına göre farklılık gösterir

Çizelge 17.1. Domateste yaprak bileşimine kükürt noksanlığının etkisi

Uygulama	Yapraklardaki konsantrasyon (mg, (100g) ⁻¹ kuru ağı.)			Proteinin S içeriği (µg mg ⁻¹ protein)	
	Klorofil	Protein	Nişasta	Sitoplazma	kloroplast
Kontrol (+SO ₄ ⁻²)	5.8	48.0	2.8	13.5	6.5
S-noksanlığı	0.9	3.5	27.0	3.8	5.2

S noksanlığında (N noksanlığına benzer şekilde);

gövde büyümesindeki etkilenme > kök büyümesindeki etkilenme

S uygulaması durdurulduğunda;

- kök hidrolik geçirgenliği
- stoma açıklıkları ve
- net fotosentez bir kaç gün içinde azalır
- yaprak alanları küçülür
- klorofil azalır (**kloroz** !!! N noksanlığındaki gibi)
- metionin ve sistein sentezi azalır
- S içermeyen protein miktarı artar (arginin, aspartat)
 - çözünebilir N, amid-N ve NO₃ miktarı artar
- nişasta birikir
- karbonhidrat metabolizması yavaşlar
- bitkide SO₄ miktarı oldukça azalır
- nitrogenaz enzim aktivitesi etkilenir

■ S noksanlığında **yaşlı** ve **genç** yaprakların **S içeriği yakındır**

N uygulaması bitkide S dağılımını etkiler

■ **N yeterli** ise **S noksanlığı genç** yapraklarda

■ **N az** ise **S noksanlığı yaşlı** yapraklarda (remobilizasyon, Zn, Cu)

Çizelge 17.2. Pamuk yapraklarının ağırlığı ile N ve S (%) içeriklerine besin çözeltisindeki SO_4^{-2} konsantrasyonunun etkisi

Uygulama, ($\text{mg SO}_4^{-2} \text{ l}^{-1}$)	Yaprak kr ağır (g bitki^{-1})	$\text{SO}_4\text{-S}$	Org.-S	$\text{NO}_3\text{-N}$	Çözünebilir org- N	Prot.-N
0.1	1.1	0.003	0.11	1.39	2.23	0.96
1.0	2.4	0.003	0.12	1.37	2.21	1.28
10.0	3.4	0.009	0.17	0.06	1.19	2.56
50.0	4.7	0.10	0.26	0.00	0.51	3.25
200.0	4.7	0.36	0.25	0.10	0.45	3.20

Çizelge 17.3. Buğdayda endosperm proteininin amino asit bileşimine S gübrelemesinin etkisi

Amino asit	Amino asit içeriği $\text{nMol (16 g)}^{-1} \text{ protein-N}$	
	Kontrol	-S
Metionin	11	5
Sistein	21	7
Arginin	27	34
Aspartat	33	93

- Proteinlerde az S bulunması **beslenmeyi etkiler** (metionin esansiyel A.A)
- Brassicaceae* familyasında glukozinolatlar ve bunların uçucu metabolitlerinin konsantrasyonları S miktarı ile ilgilidir

Çizelge 17.4. Hint hardalı (*Brassica juncea*) nın gövdesinin hardal yağı kapsamı ve ürün üzerine S uygulamasının etkisi

Sülfat uygulaması (mg saksı ⁻¹)	Gövde taze ağırlığı (g)	Hardal yağı içeriği (mg 100g ⁻¹ taze ağ.)
1.5	80	2.8
15.0	208	8.1
45.0	285	30.7
405.0	261	53.1
1215.0	275	52.1

Kükürt Noksanlığı

Toprakta;

- organik
- inorganik (SO₄) şeklinde bulunur

S noksanlığına **eskiden**;

- sanayileşme
- pek çok gübrenin S içermesi

• bitkilerin atmosferden SO₂ absorpsiyonu yapabilmesi

gibi nedenlerle pek sık **rastlanmazken son yıllarda** bunların ortadan kalkması

noksanlığını **YAYGINLAŞTIRMIŞTIR**

- endüstriyel bölgelerden uzak ■ hafif tekstürlü ve
- fazla yağış alan bölgelerde **noksanlık görülebilir**
- **S ve N noksanlığı birbiri ile karıştırılabilir** (özellikle tek yıllık bitkilerde)
 - S noksanlığı **genç** yapraklarda

S noksanlığının teşhisinde;

- bitkilerin S kapsamı ile birlikte
- bitkilerin N/S oranları dikkate alınmalıdır
 - S noksanlığında N/S oranı N lehine döner

Çizelge 17.5. Bazı bitkiler için kritik N/S oranları

Bitki	N/S oranı
Şeker pancarı, yaprak	11.0
Mısır	11.0
Yonca	11.0-12.0
Çayır	12.0-14.0
Üçgül	15.0
Yulaf, yaprak (başaklanma)	10.4
Yulaf, tane	9.1
Buğday, tane	14.8
Arpa	13.0

Kükürt noksanlığında;

- protein ve klorofil sentezi geriler
- kloroz ortaya çıkar
- büyüme geriler
- yapraklar küçülür

Kükürt Fazlalığı

- S fazlalığına sık rastlanmaz
- endüstriyel bölgelerde atmosferde
- SO_2 0.2-1.0 mg m⁻³ hatta 2.5 mg m⁻³' e kadar yükselebilmekte
- ve pek çok bitki için toksik etki gösterebilir