

ZTO 235 BİTKİ FİZYOLOJİSİ

Doç. Dr. Özge ŞAHİN

Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bilimi ve Bitki
Besleme Bölümü

06110 Ankara

osahin@ankara.edu.tr

•Toprakta Çinko

Çinko mineralleri zor ayrışır (> % 90 ayrışmaz)

Yer kabuğunda ortalama **80** mg kg⁻¹

Toprakta bir çok mineralin yapısında **10-300** mg kg⁻¹ civarında bulunur

Toprakta yalnızca **Zn⁺²** halinde bulunur

İyonik çapı nedeniyle; ☒ ojit ☒ hornblend ve ☒ biotit gibi ferromagnezyumlu minerallerdeki ve ☒ montmorillonit killeriindeki Fe⁺² ve Mg⁺² gibi iyonlarla **izomorfik yer değişimi** yapar

☒ ZnS (  )

☒ sfalerit (ZnFe)S

☒ zinkit (ZnO)

☒ smitsonit (ZnCO₃)

☒ hemimorfit Zn₄(OH)₂Si₂O₇.H₂O

☒ ZnSiO₃

☒ Zn₂SiO₄ (vilemit)

gibi tuzlar da Zn içerir

Toprakta

OM ve Kil



Zn miktarı



Çinko(Zn);

katı yüzeylerde adsorbe halde
kil minerallerinin değişim bölgelerinde ve
organik maddede bulunur

Çinko adsorbsiyonu;

Zn⁺²

ZnOH⁺

ZnCl⁺

Oktahedral tabakalarda Al' un yerine geçerek FİKSE olur

• Toprak çözeltisinde Zn miktarı oldukça düşüktür (3×10^{-8} - 3×10^{-6} M)

Kireçli ve pH' sı yüksek olan topraklarda Zn çözünürlüğü oldukça düşüktür

Yüksek pH' larda
 $Zn(OH)_2$ ve $CaZn(OH)_4$

kireçli topraklarda
 $ZnCO_3$ şeklinde çökeler !!!!

Topraklarda;

Kil	KDK	}	↑	Zn adsorbsiyonu	↑	
OM	pH					}
Kireç						}

Çizelge 19.1. Toprak pH' sı ile topraktaki değişebilir Zn miktarı ve çeltik bitkisinin Zn kapsamı arasındaki ilişki

Dolar ve Keeney, (1971)		Wells vd., (1975)		
Toprak pH' sı	Değişebilir Zn (mg kg ⁻¹)	Toprak pH' sı	Zn uygulaması (kg ha ⁻¹)	Bitkide Zn (mg kg ⁻¹)
5.0-6.0	1.2	6.6	0	16
6.1-6.5	0.5 ↓	6.6	27	114
6.6-7.0	0.4	7.9	0	12
		7.9	27	37

Bitkiye yararılı Zn pH 5-7 arasında her bir birim pH artışına bağlı olarak 30-100 kat azalır

- OM var ise pH > 7' de çözünebilir Zn miktarı artar (Zn-org kompleks)
 - Kireçli topraklarda 7-8 pH aralığında OM az çözünür
 - - çözünebilir Zn azalır

Herhangi bir pH' da çözünebilir Zn miktarı;

⊙ topraktaki Zn miktarı ile

⊙ değişim yüzeylerinin özelliklerine bağlıdır

⊙ sulu oksitler ve kireç var ise azalır

Çinkonun;

amino, organik ve fulvik asitlerle oluşturduğu Zn-organik kompleksler

ÇÖZÜNÜR

humik asitlerle oluşturduğu Zn-organik kompleksler ÇÖZÜNEMEZ

Ana Materyal;

Bazik volkanik kayalar ise topraklar Zn yönünden **zengin**
Silisli ana materyal ise (kumlu) topraklar Zn yönünden **fakir**

Bitkiler tarafından alınabilir Zn;

⇒ Toprak çözeltisindeki Zn^{+2}

⇒ Katyon değişim bölgelerinde değişebilir şekilde tutulmuş Zn

⇒ Toprak çözeltisindeki ve toprak katı fazındaki organik komplekslerde bulunan Zn

- Bitkide Çinko
 - Çinko alımı ve taşınımı

Zn^{+2} şeklinde alınır ($ZnOH^+$) **AKTİF !!!**
Kleytlerden de Zn^{+2} olarak alınır
Bitkilerin içerdiği miktar olarak $Zn \cong B$ $Zn \gg \gg Mo, Cu$

Bitkilerin Zn kapsamı ($\cong 100 \text{ mg kg}^{-1}$) ve Zn ihtiyacı **AZ**dır
Besin çözeltisinde 0.01×10^{-6} ile $2.5 \times 10^{-6} \text{ M Zn}$ **YETERLİ**

Cu, Fe, Mn ANTAGONİST ? Zn alımını engeller
Mg > Ca = Sr = Ba

Ksilem özsuundaki Zn miktarı $\gg$ ortamdaki Zn miktarı

- Ksilemde uzak mesafe taşınımında
 - Zn organik asitlere bağlanır veya Zn^{+2} olarak bulunur

Taşınım açısından Fe, B ve Mo' e göre daha hareketlidir

- Yaşlı yapraklardan genç yapraklara hareketi **sınırlı**dır

Bitkilerin Zn alımını;

- yetiştirme ortamının pH' sı ile
- P konsantrasyonu etkiler

PXZn nedeniyle Zn noksanlığı; $\text{Zn}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$

- toprak-bitki ilişkileri
- alım azlığı ya da köklerde birikme nedeniyle Zn taşınımının azalması
- *seyrelme etkisi* nedeniyle bitkideki Zn' nun azalması
- P fazlalığı sonucu Zn' nun metabolik fonksiyonlarını yapamaması sonucu oluşur

Bitkilerde **P/Zn** oranı;

- | | | |
|----------|---|------------|
| • <50 | → | P noksan |
| • 50-200 | → | Zn yeterli |
| • >200 | → | Zn noksan |

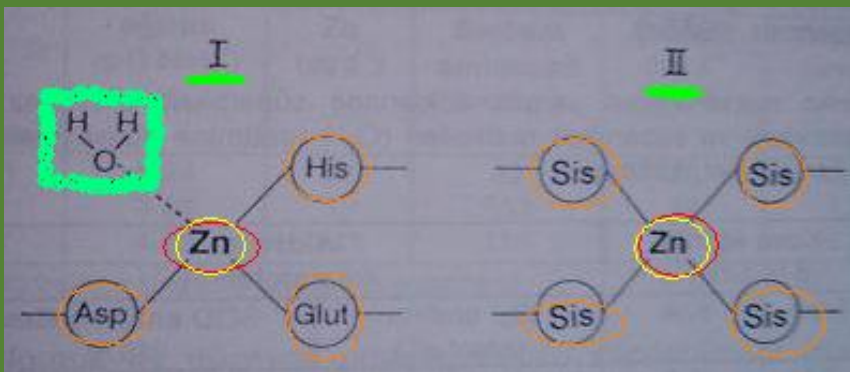
Bitkide P ↑ fizyolojik Zn ihtiyacı ↑ kritik noksanlık düzeyi ↑

Bitkinin **B** beslenme durumu Zn' nun **fizyolojik aktifliğini** etkiler
Fitine bağlanarak "*biyolojik yarayışlılığı*" fitin/Zn oranına göre değişir

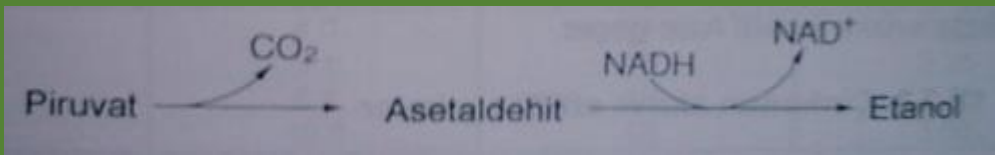
N, O ve S ile tetrahedral kompleksler oluşturması nedeniyle
enzim reaksiyonlarında **fonksiyonel (katalitik)** ve **strüktürel** rol oynar

•Çinko içeren enzimler

- Katalitik ⇒ karbonik anhidraz, karboksi peptidaz
- Strüktürel ⇒ alkol dehidrogenaz



Alkol dehidrogenaz: hem katalitik, hem strüktürel 2 Zn



Karbonik anhidraz: $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{HCO}_3^- + \text{H}^+$
Çift veya tekçenekli ve C3 veya C4 ' lerde farklı özelliktedir
Çinko noksanlığı, C3 bitkilerine göre C4 bitkilerinin fotosentez oranını daha çok etkiler

CuZn-süperoksit dismutaz: CuZnSOD

Toksik $\text{O}_2^{\cdot -}$ radikalleri ↑ membran lipidlerin peroksidasyonu ve membran geçirgenliği ↑

Çizelge 19.2. Çinko noksanlığının pamuk köklerinde süperoksit dismutaz (SOD) aktivitesi ve süperoksit radikalleri ($\text{O}_2^{\cdot -}$) üretimine etkisi

Zn	Kuru ağırlık (g (4 bitki) ⁻¹)		Aktivite (mg protein ⁻¹)	
	Tepe	Kök	$\text{O}_2^{\cdot -}$ Üretimi (nmol d ⁻¹)	SOD enzim ünitesi (EU)
+Zn →→→	3.1	0.8	1.3	75
-Zn →→→	1.8	0.5	3.7 !!!!!	35 !!!!!

•Çinko içeren diğer enzimler:

- ◆ Alkali fosfataz
- ◆ Fosfolipaz
- ◆ Karboksipeptidaz
- ◆ RNA polimeraz

Çinkonun aktive ettiği enzimler

- ◆ Dehidrogenazlar
- ◆ Aldolazlar
- ◆ İzomerazlar
- ◆ Transfosforilazlar
- ◆ PPiazlar (Mg.PPiaz ve Zn.PPiaz)
- ◆ Zn-metal proteini (DNA, RNA)

Protein sentezinde çinkonun rolü

	Kuru	Genç yaprak ve sürgün uçlarında				
Zn uygulaması	ağırlık (g (3 bitki) ⁻¹)	Zn (μg g ⁻¹)	Serbest aminoasit (μmol g ⁻¹)	Protein (mg g ⁻¹ taze ağ.)	Triptofan (μmol g ⁻¹)	İAA (ng g ⁻¹ taze ağırlık)
+Zn (1μM)	8.24	52	82	28	0.37	239
-Zn	3.26	13	533	14	1.32	118
-Zn, +Zn ^a	4.53	141	118	30	0.27	198

a: 3 gün süresince tekrar 3 μM Zn uygulaması

Çizelge 19.3. Fasulye bitkisinin kuru ağırlığı ve tepe uç kısımlarının (genç yapraklar ve sürgün uçları) bileşimine Zn uygulamasının etkisi

Zn uygulaması (mg l ⁻¹)	Taze ağırlık (g)	RNaz aktivitesi (%) ^a	Protein azotu (%, taze ağ.)
0.005	4.0	74	1.82
0.01	5.1	58	2.25
0.05	6.6	48	2.78
0.10	10.0	40	3.65

a: RNA' nın % hidrolizi

Çizelge 19.4. Soya fasulyesinin taze ağırlığı, RNaz aktivitesi ve protein azotuna Zn uygulamasının etkisi

• Karbonhidrat metabolizmasında çinkonun rolü

- Fruktoz 1,6-bifosfataz 6C' lu şekerlerin kloroplastlarda ve sitoplazmada dağılımını düzenler
- Aldolaz 3C' lu fotosentez ürünlerinin kloroplastlardan sitoplazmaya taşınımını düzenler

Zn noksanlığında ışık ta CHO birikimini artırır

	Zn uygulaması (μM)		
Parametre	1.0	0.001	0.001+2.0 ^a
Zn kapsamı (mg kg ⁻¹)	21	14	30
Şekerler (mg g ⁻¹ taze ağırlık)	4.2	9.1	5.0
Nişasta (mg g ⁻¹ taze ağırlık)	7.5	24.6	19.2
Hill reaksiyonu aktivitesi (%)	100	48	66

Çizelge 19.5. Lahana yapraklarının karbonhidrat ve Zn kapsamına Zn noksanlığı ve yeniden Zn uygulamasının etkisi

^a: yeniden 2.0 μM Zn uygulamasından 24 saat sonra

Triptofan ve İAA sentezinde çinkonun rolü

Zn noksanlığı ⇒ ⇒ ⇒ ROZETLEŞME Zn
(OKSİN YETMEZLİĞİ, Triptofan → İAA)

Membran dayanıklılığında çinkonun rolü

- Membranın fosfolipid ve sülfidril gruplarına bağlanarak veya
- Polipeptid zincirlerinde kalan sisteinle tetrahedral kompleksler oluşturarak membran lipidlerini ve proteinlerini **oksidatif zararlanmaya** karşı korur
- SOD enzimleri aracılığıyla toksik oksijen radikallerinin birikimini azaltır

Çizelge 19.6. Pamuk bitkisinin Zn beslenme durumunun küçük moleküllu bileşiklerin yıkanmasına (kök salgıları) ve köklerin lipid bileşimine etkisi

Uygulama	Kök Zn kapsamı (mg kg ⁻¹)	Kök salgıları (g ⁻¹ kuru ağ. (6 saat) ⁻¹)				Lipid kapsamı	
		Amino asitler (μg)	Şeker (μg)	Fenolikler (μg)	K (mg)	Fosfolipidler (μg g ⁻¹ taze ağırlık)	Yağ asitleri doymuş/ doymamış
+Zn	258	48	375	117	1.68	2230	0.79
-Zn	16	165	751	161	3.66	1530	0.90
-Zn+Zn ^a	121	94	652	130	2.32	-	-

^a: Zn noksanlığı olan bitkilere 12 saat süresince yeniden Zn uygulanması

Çizelge 19.7. Fasulye bitkisinin kök ve gövdesinin Zn kapsamı ile klorofil kapsamı, süperoksit üretimi (O₂⁻) ve kök ekstraktında NADPH oksidasyonu arasındaki ilişkiler

Uygulama	Zn kapsamı (mg kg ⁻¹)		Klorofil (mg g ⁻¹ kuru ağ.)	O ₂ ⁻ üretimi (nmol mg ⁻¹ protein d ⁻¹)	NADPH oksidasyonu (nmol mg ⁻¹ protein d ⁻¹)
	Kök	Gövde			
+Zn	44	37	7.4	2.2	18.3
-Zn	11	10	3.6	6.6	61.0
-Zn+Zn ^a	69	71	4.1	4.3	40.0

^a: Zn noksanlığı olan bitkilere 2 gün süresince yeniden Zn uygulanması

Fosfor-çinko interaksiyonu

Toprakta Zn az → fazla P uygulaması;

- toprak ve bitkisel faktörleri etkileyerek Zn noksanlığı yaratır (*P' a bağlı Zn noksanlığı*)
- topraklarda Zn çözünürlüğü azalır
- kök büyümesi ve köklerin mikoriza ile enfeksiyonu azalır (rizosfer olumsuz etkilenir)
- tepe/kök oranı artar (*seyrelme etkisiyle* Zn noksanlığı oluşur, P artar, P toksikliği >%2)
- PxZn interaksiyonunda bitki de etkili olur

Zn uygulaması	Kuru ağırlık (g)		Zn kapsamı (mg kg ⁻¹)		P kapsamı (mg kg ⁻¹)	
(μM)	P ₁	P ₂	P ₁	P ₂	P ₁	P ₂
0	8.3	9.5	15	15	11.0	24.1
0.25	9.6	9.9	27	27	9.6	20.2
1.0	9.8	11.6	54	57	8.7	11.8

Çizelge 19.8. Besin çözeltisindeki P ve Zn konsantrasyonunun bamyada bitkisinin gelişimi ile Zn ve P kapsamına etkisi

P₁: 0.25 mM, P₂: 2.0 mM fosfor

Çizelge 19.9. Mikroelement noksanlığının pamuk bitkisinin kök ve gövdesinin kuru ağırlığı ve P kapsamına etkisi

Uygulama	Kuru ağırlık (g)		P kapsamı (%)	
	Kök	Gövde	Kök	Gövde
Kontrol	0.18	1.21	1.03	1.10
-Zn	0.13	0.70	1.15	2.65
-Fe	0.16	0.98	1.00	0.90
-Mn	0.15	0.93	0.96	1.20
-Cu	0.16	1.00	1.38	1.40

Zn az ise P toksik olabilir
(~ % 2' den fazla P)

Zn noksanlığı köklerin P alımını ve sürgünlere P taşınımını artırır

Cl, B ve P girişi artar
toksiklik görülür

Çinkonun bitkideki formları ve biyolojik yararı

- Vejetatif dokularda;
 - Enzimlerin yapısında (toksikliği durumunda klorofilin yapısında bulunur)
 - Küçük moleküllü bileşiklere bağlanabilir
- Generatif dokularda (tohum, tane);
 - Fitik asitin tuzları olan FİTATLAR şeklinde bulunur
 - Biyolojik yararı azalır
 - Çimlenme sırasında mineralize olur (fitaz)

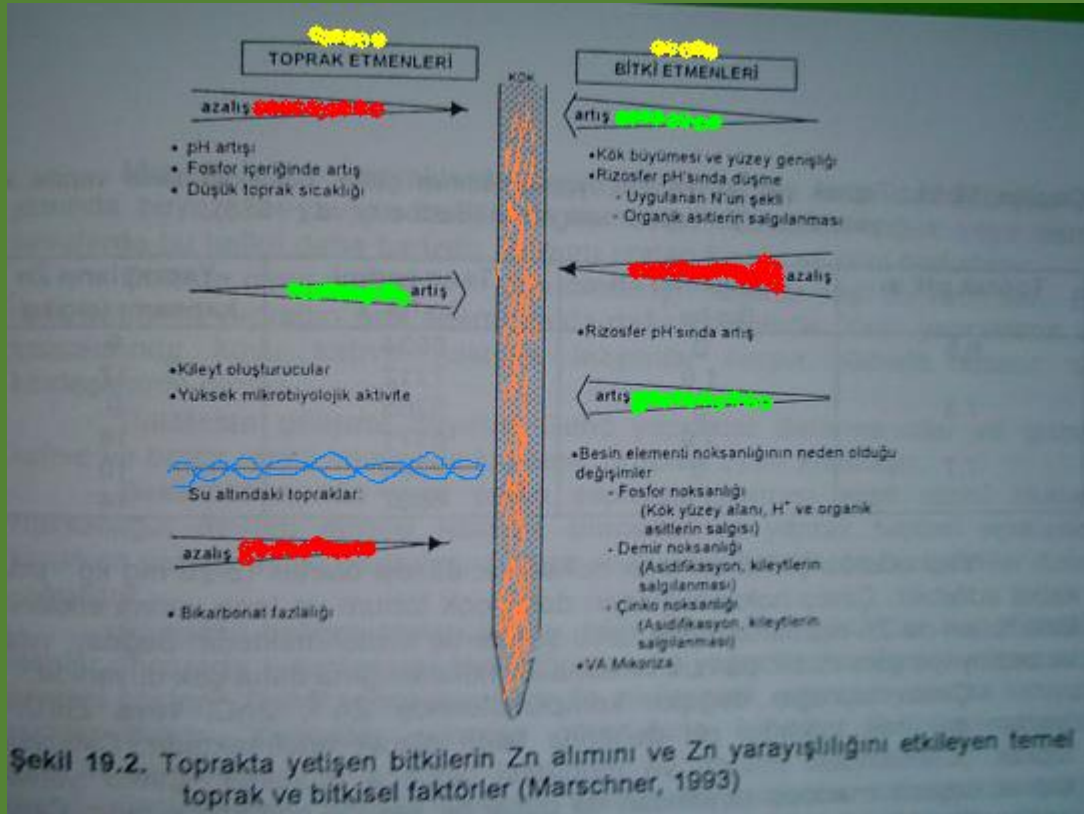
Çinko Noksanlığı

İyi ayrıışmış **asit** topraklar ile **kireçli** topraklarda yetişen bitkilerde görülür (Fe + Zn noksanlığı)
⇓ yüksek pH
Kil ve kirecin Zn adsorbsiyonu (XXX çözünmez $Zn(OH)_2$ ve $ZnCO_3$)
 HCO_3^- Fe ve alımı ve taşınımını azaltır
 $ZnSO_4$ ile giderilebilir (KLEYT kullanma zorunluğu YOK, Fe-KLEYT)

	Kuru maddenin mineral kapsamı				
Toprak	(mg kg ⁻¹)		(g kg ⁻¹)		
pH' sı	Zn	Mn	P	K	Mg
5.2	200	310	1.8	18.5	4.5
6.0	54	66	1.9	17.5	3.8
6.8	20	19	1.9	19.0	3.9

Çizelge 19.10. Kireçleme yoluyla pH artışının kumlu bir toprakta yetiştirilen yerkıstığı bitkisi yapraklarının mineral madde kapsamına etkisi

Toprak sıcaklığı Zn beslenmesini etkiler
Kök aktivitesi ile VA mikoriza enfeksiyonu azalır
Kök salgıları Zn ve Mn beslenmesinde etkilidir



Anaerobik koşullarda da;

Yüksek pH ve **fazla OM** Zn noksanlığı yaratır

(Tuz, Fe toksisitesi, Zn noksanlığı çeltikte ürünü tayin eder)

Nötr ve alkali topraklarda Zn verilmeden ürün almak **ZOR**

HCO₃ iyonu 6.5-8.0 pH' da Zn' yu fikse eder

Zn noksanlığında küçük molekül ağırlıklı kök salgıları artar

- Çiftçeneklilerde kök salgıları çoğunlukla aminoasitler, şekerler, fenoller ve K
 - Buğdaygillerde Fe noksanlığında olduğu gibi gündüz salgılanan fitosideroforlar

Çizelge 19.11. Toprak pH' sı ve Zn uygulamasının çeltik bitkisinin tane verimi ve yaprakların Zn kapsamına etkisi

Toprak pH' sı	Uygulanan Zn (kg ha ⁻¹)	Tane verimi (kg ha ⁻¹)	Yaprakların Zn kapsamı (mg kg ⁻¹)
6.8	0	5934	9
	1.9	7212	17
7.3	0	5265	9
	1.9	6171	18
7.7	0	2788	10
	1.9	6637	14

Kritik noksanlık düzeyi 15-20 mg Zn kg⁻¹

Zn noksanlığından **tohum** ve **tane** verimi daha çok etkilenir

Buğday, yulaf ve bezelyeye göre mısır, pamuk ve elma daha çok duyarlı

pH' ya bağlı olarak değişim komplekslerinde

Zn⁺², ZnCl veya Zn(OH) iyonları şeklinde tutulur

Toprak çözeltisindeki miktarı ve mobilitesi azdır

OM' ye güçlü bir şekilde bağlanır

Zn noksanlığı pH' sı 6.5-8.0 arasında olan topraklarda yaygındır

Pratikte Zn noksanlığı aşağıdaki özelliklere sahip topraklarda sık görülür

1. Asit, yıkanmış kum ve kumlu tınlı topraklar, özellikle Zn içeriği düşük podzoller (aşırı fosforlu gübreleme ve kireçlemeden sonra)
2. Nötr ve karbonat içeriği yüksek çinko içeriği düşük topraklar
3. Organik madde kapsamı yüksek topraklar
4. Çinko içeriği düşük olan alt toprak ile üst toprağın karıştırılması ile ıslah edilen topraklar
5. Üst toprağı taşınmış topraklar

Zn noksanlığının genel belirtileri;

Noksanlık ilk önce genç yapraklarda ortaya çıkar

Yapraklar küçülür

Bitki çalimsı bir hal almır (bodurlaşır)

Rozet yapraklar oluşur

Genç yapraklarda kloroz ortaya çıkar

Bitkilerde çinko etkinliği

Buğday, yulaf ve bezelyeye **göre** mısır, pamuk ve elma daha çok duyarlı Türler arası bu fark; genetik özellikler olan,

►rizosfer pH' sı ►kök salgıları ►VA mikoriza ile enfeksiyondan

kaynaklanır

Genotipleri arasında da fark var

Genotip	Yaprakların Zn kapsamı (mg kg ⁻¹)			Tane verimi (g saksı ⁻¹)		
	0	5 mg Zn	50 mg Zn	0	5 mg Zn	50 mg Zn
T21	15.0	19.7	37.1	3.8	8.5	10.4
Plant A-3	21.2	30.8	90.8	6.7	10.1	10.0

Çizelge 19.12. Zn noksanlığı olan bir toprakta (pH 7.8) yetiştirilen güvercin bezelyesi genotiplerinin tane verimi ve olgun dönemdeki yapraklarının Zn kapsamı

Genotiplere 5 ve 50 mg Zn (ZnSO₄) verilmiştir.

Etkinlikte;

•Genler

•Fe noksanlığında olduğu gibi kök tepkisi

•Fitosiderofor salgısı gibi hususlar etkili olabilir

•**Çizelge 19.13.** Zn noksanlığına tepki olarak iki buğday genotipinin fitosiderofor (PS) salgılama oranı ve tane verimlerindeki farklılıklar

Genotip	Tane verimi (t ha ⁻¹)		PS salgılanması (μmol (60 bitki) ⁻¹ (4 saat) ⁻¹)	
	-Zn	+Zn	-Zn	+Zn
Aroona	1.21	1.42	6.9	0.5
Durati	0.45	1.12	1.8	0.5

Çinko Fazlalığı

- Kritik toksiklik düzeyi 100 mg kg^{-1} - 300 mg kg^{-1}
- Kök uzaması engellenir
- Fe, Mg ve Mn noksanlığına yol açar
- Klorofile 6Mn, 6Zn yerine 2Mn, 30 Zn bağlanır

Toksikliği önlemek üzere;

- Kireçleme ile pH artırılabilir
- P ve tercihen peat olmak üzere organik gübreler kullanılabilir

Bitkilerin çinko toleransı

Ağır metal tolerans mekanizmaları da ekofizyolojik açıdan önemlidir

Modern ve endüstriyel toplumların atıklarında fazla miktarda Zn bulunur

- Alımın azaltılması (dışarda tutma) veya
 - Hücre duvarlarında bağlanma gibi mekanizmalar Zn toleransında önemli değil
 - Mikorizalar etkili olabilir

Dış ortamda	Sitoplazmada bağlı Zn (mM)		Vakuolde serbest Zn (mM)	
	Toleranssız	Toleranslı	Toleranssız	Toleranslı
Zn (mM Zn^{2+})				
0.10	7.1	10.6	3.7	5.3
0.75	33.4	6.2	2.1	33.4

Çizelge 19.14.

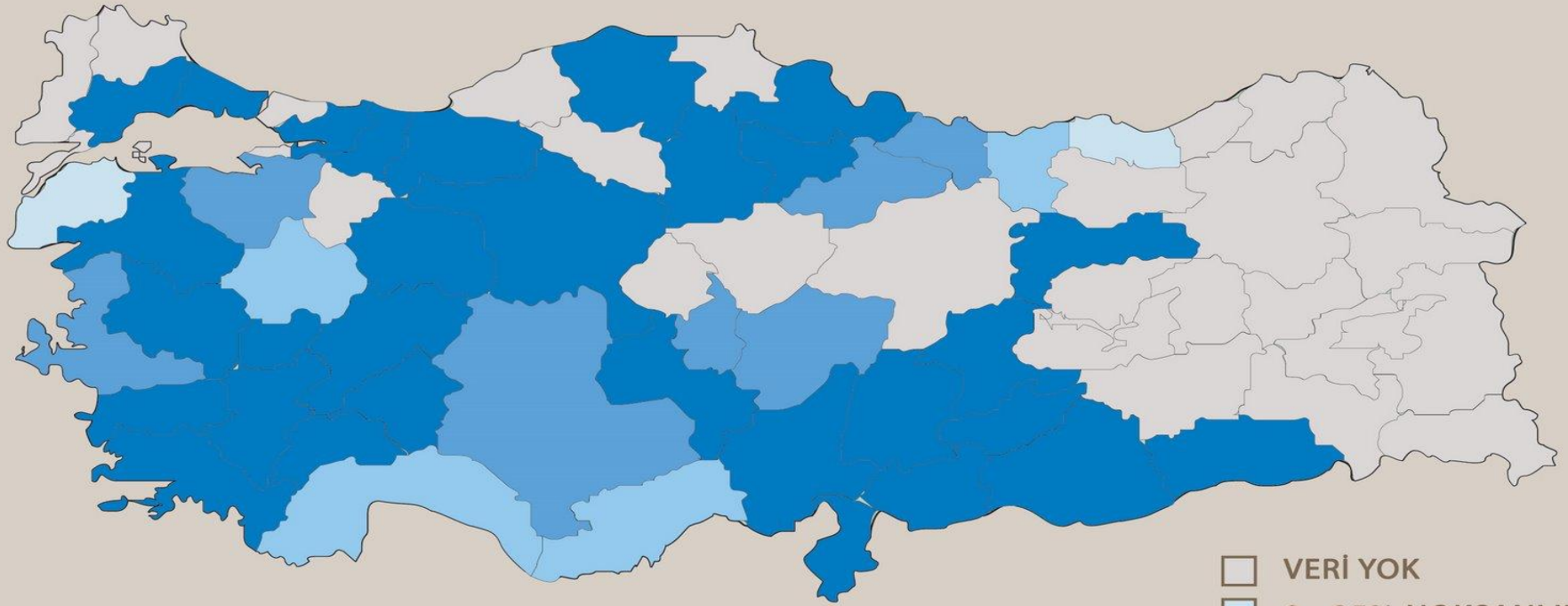
Çinkoya toleranslı ve toleranslı olmayan iki çayır timsahotu bitkisinin kök vakuol ve sitoplazmasının Zn kapsamına Zn uygulamasının etkisi

Toleransı artıran hususlar;

Organik asit ⊗ Zn kompleksi (Sitrik, Malik)

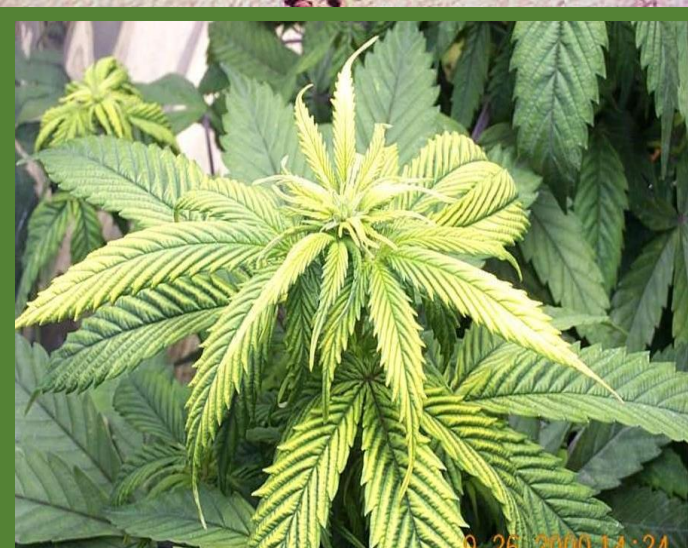
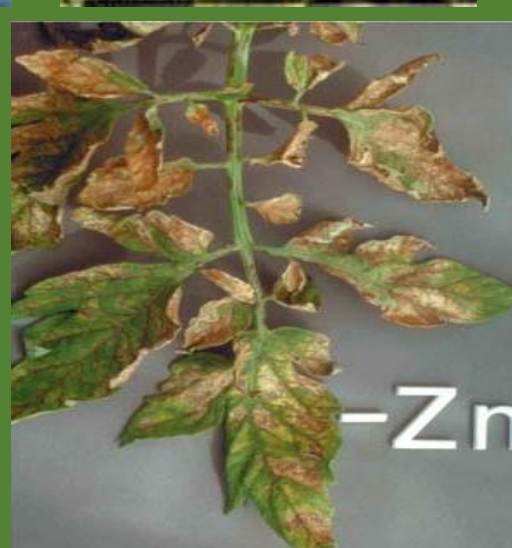
Fitatlar ve Amino asitlere bağlanması

NH_4 ile beslenme sonucu Asparagin sentezi



- VERİ YOK
- 0 - 25% NOKSANLIK
- 25 - 50% NOKSANLIK
- 50 - 75% NOKSANLIK
- 75 - 100% NOKSANLIK









THE PROBLEM: Zinc deficiency in soybeans and corn.



Figure 16. Zinc-deficiency dry edible beans. Pale green leaves, yellow near the tips and outer edges at or soon after emergence. Leaves later become dwarfed or deformed and die. Plants are slow to mature.



Figure 17. Phosphorus-zinc interaction in dry edible beans. Brownish leaf discoloration, stunted plants and pods fail to develop. Beans above received increasing rates of phosphorus fertilizer without zinc.



Figure 15. Zinc-deficient dry edible beans, front. Beans in the back received zinc in the starter fertilizer.



Figure 18. Zinc-deficient dark red kidney beans. Yellow to whitish areas between the darker green veins. Similar to manganese deficiency but dark veins are not as prominent. Leaf size may be distorted and irregular.





Appearance of dusty brown spots on upper leaves of Zn-deficient plant.



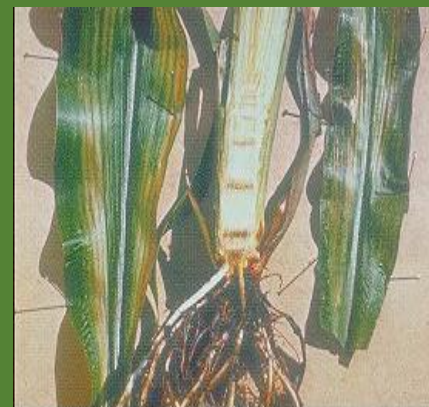


Figure 14. Zinc-deficient corn. White to yellow striping of the leaves near the stalk. Shortened internodes with reddish discoloration of the nodal tissues.



Figure 13. Zinc-deficient corn. Yellow or white striping of the leaves usually developing near the stalk. Plants are often stunted with shortened internodes. Found most often on high pH soils and organic soils.

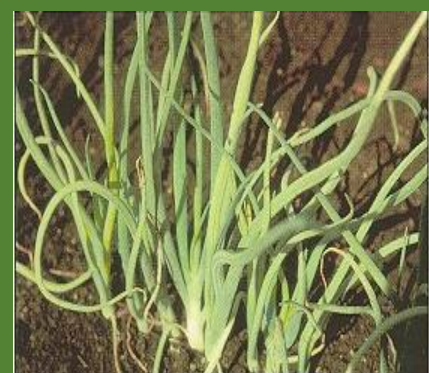


Figure 19. Zinc-deficient onions. Yellow striping, twisting and bending of the tops.





Çinko içeren kompoze gübrelerin tüketimi son yıllarda 150 bin ton
dan 500 bin ton'a yükselmiştir.



Kaynak: Tarım ve Köyişleri Bakanlığı, 2004; TOROS Tarım, 2007

Topraklarımızda halen Zn noksanlığı var. Üst gübrelere çinko katkısı tartışılmalı !!!

