

FOSFOR

Toprakta Fosfor

Fosfor fraksiyonları ve fosfat mineralleri

~ % 100' ü **ortofosfat** formundadır

*Toplam miktar % 0.02 - 0.15 arasındadır

-Toplamın büyük kısmı **organik** formdadır

-mineral topraklarda toplamın % 20-80' i organik bağlı P' dur.

Toprakların P konsantrasyonları yaşlarına bağlıdır

Bitki beslenmesi açısından 3 temel fosfor fraksiyonu önem taşır;

- **Toprak çözeltilisindeki fosfor**
- **Değişebilir fosfor**
- **Değişemez fosfor**

- Topraktaki inorganik fosfor bileşiklerinin cinsi **pH' ya bağlıdır**
 - Kireçli ve yüksek pH' lı (pH>7) Ca-fosfatlar, (APATİT)
 - Asit topraklarda (pH<7) **Fe** ve **Al fosfatlar** halinde bulunur

Çizelge 13.1. Toprakta önemli fosfat mineralleri

Hidroksiapatit	$\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{OH}_3$ Cl, CO_3
Florapatit	$\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{F}$
Dikalsiyumfosfat	CaHPO_4
Trikalsiyumfosfat	$\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$
Variscit	$\text{AlH}_2\text{PO}_4(\text{OH})_2$
Strengit	$\text{FeH}_2\text{PO}_4(\text{OH})_2$

• Fosfor adsorpsiyonu, desorpsiyonu ve mineralizasyonu

Toprakta çözünebilir fosfor fraksiyonunu;

- çözünebilir Ca- fosfatlar ile
- adsorbe fosfor oluşturur

Adsorpsiyonda pH önemli bir yer tutar;

- pH < ise anyonlar daha kuvvetli adsorbe olur
- adsorbe edici materyalin

tipi, ayrışma durumu ve yüzey alanı da etkiler

- **Desorpsiyon:** toprak pH' sının OH⁻ (HCO₃⁻) iyonlarınca artırılması nedeniyle adsorbe olmuş P' un tekrar toprak çözeltisine salınmasıdır (**ANYON ANTAGONİZMİ !!!**)

Çizelge 13.2. Farklı materyallerin fosfor adsorpsiyon kapasiteleri

Adsorbe edici materyal	Adsorpsiyon indeksi (x/10 g C)
Taze hazırlanmış amorf Al(OH) ₃	1236
Taze hazırlanmış amorf hidrate Fe-oksit	848
Nötr koşullar altında hazırlanmış Fe-oksit	453
Eski hidrate Fe-oksit	111
Fe-oksit tortuları (ağır Lateritler)	21
Kristal gotit	0
Kristal gipsit	0
Kireç (CaCO ₃)	46

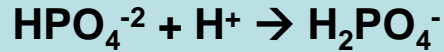
P yarayışılığını;

- fosfor adsorpsiyonu yanında
- oluřan çökeltinin (Ca, Fe ve Al fosfatlar) çözünebilirliđi de etkiler
- Fe ve Al oksitlerce ve aynı zamanda kil minerallerince zengin topraklarda daha çok **desorpsiyon** söz konusu iken
- Fakir **kumlu** topraklarda, **kalkerli** topraklarda ve özellikle **organik** topraklarda fosfor **çökmesi** başlıca söz konusu olur
- Anaerobik koşullarda (Fe^{+3} ün Fe^{+2} ye indirgenmesi) yarayışılı P artar
- Organik madde fosfor adsorpsiyonunu **doğrudan ve dolaylı** olarak etkiler
 - İçerdiđi P mineralize olur
 - İçerdiđi inositol fosfatlar P adsorbe eder

- Fosforu çözümlü duruma getiren **Fosfataz enzimleri** çok sayıda mikroorganizma tarafından yüksek bitkilerin köklerinde üretilirler (örneğin *Aspergillus*, *Penicillium*, *Mucor*, *Rhizopus*, *Bacillum*, *Pseudomonas*)

Toprak çözeltilisindeki fosfor ve kök ile interaksiyonları

- Toprakta adsorbe P miktarı > yararlı P miktarı (100-1000 kat)
- verimli işlenebilir toprakların fosfor konsantrasyonları **düşük** (10^{-5} - 10^{-4} M = **0.3 ile 3 mg kg⁻¹ P**)
- önemli P formları HPO_4^{-2} ve H_2PO_4^- iyonlarıdır
- bu iki iyonun toprak çözeltilisindeki oranları pH' ya bağlıdır



- Bitkilerin P alımında köklerin çözelti ile teması önemlidir
- Çözeltiden P alındıkça kök yakınındaki P konsantrasyonu ile ana topraktaki P konsantrasyonu arasında bir fark (konsantrasyon gradienti) oluşur
- Bu konsantrasyon farkı nedeniyle P iyonları difüzyon ile köke hareket eder
- Bu yüzden bitkilerin P alımlarında fosforun **difüzyonu önemlidir**
- Kitle hareketi fosforun bitkilerin köklerine doğru taşınmasında rol oynayabilir
- Ancak toprak çözeltisinde P az olduğundan bunun **önemi de fazla değildir**
- Mikorizalar da fosforunun taşınmasında önemli rol üstlenebilmektedir fazla yararlı toprak P' u mikorizanın gelişmesini engeller (CHO kapsamı)
- Fosforun alınabilirliği üzerine kök salgılarının da önemli etkisi vardır
- Fotosentez ürünleri, asit kleytler, organik asitler
- İyon alımı sonucu rizosfer pH' sının değişmesi de P alımını etkiler

- N beslenmesi önemli rol oynar
 - NO_3 beslenmesi pH' yı \uparrow
 - NH_4 ve simbiyotik N_2 beslenmesi pH' yı \downarrow
- Kireçsiz topraklarda OH^- \uparrow H_2PO_4^- iyonları ile değişime girer ve yarayışlı P \uparrow
- Şelatör ve asit üreten mikroorganizmalar (*Aspergillus niger*, bazı *Penicillium* türleri) toprak ve gübre fosforunun çözünürlüğünde rol oynarlar

Fosfor alımında kök morfolojisinin önemi

- Difüzyon olabilmesi için konsantrasyon gradienti önemlidir
- Bu yüzden P' u hızlı ve fazla tüketen genotiplerin P etkinliği önemlidir
 - Kılcal kök yoğunluğu ve uzunluğu fazla olan genotipler
 - Kök uzunluğu ve kök/gövde oranındaki artışlar
 - Yeşil aksama (gövdeye) oranla bitkilerin daha fazla kök oluşturması ve kök uzunluklarını artırması gibi faktörler

Bitkilerin beslenme ortamından P alımlarını daha etken yapmalarını sağlamaktadır.

Türkiye topraklarının fosfor durumları

- Türkiye topraklarında P eksikliği ve artan aşırı P gübrelemesi **SORUN**dur

Türkiye topraklarının

- kireç,
- pH ve organik madde

yönünden sahip olduğu özellikler P yararlanılığını sınırlandırır

- Türkiye topraklarının % 58' inde P yetersiz ($6 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ da}^{-1}$) durumdadır

Çeşitli bölgelerden;

- Kapalı Havzası topraklarının % 21.34' ünde
- Orta Anadolu' da çeltik tarımı yapılan toprakların % 25' inde
- Beypazarı' nda havuç tarımı yapılan toprakların % 5' inde
- bitkiye yararlı P **az**
- Akdeniz Bölgesi seralarının topraklarının % 71' inde yararlı P **fazla ve çok fazla**

Çizelge 13.3. Türkiye topraklarının tarım bölgelerine göre P (kg P₂O₅ da⁻¹) dağılımı (%)

Bölgeler	Çok az <3 kg da ⁻¹	Az 3-6 kg da ⁻¹	Orta 6-9 kg da ⁻¹	Yüksek 9-12 kg da ⁻¹	Çok yüksek >12 kg da ⁻¹
Orta-Kuzey	24.67	33.59	19.41	9.15	13.18
Ege	19.72	27.26	20.65	11.05	20.98
Marmara	16.66	19.22	16.09	12.56	35.47
Akdeniz	15.62	24.59	20.31	12.55	26.93
Kuzey-Doğu	34.26	27.84	15.47	9.79	12.64
Güney-Doğu	39.50	31.13	15.41	6.81	4.15
Karadeniz	34.80	23.90	11.29	7.33	22.68
Orta-Doğu	48.41	27.84	12.52	5.11	6.12
Orta-Güney	27.21	26.61	18.38	11.18	16.62
Toplam	28.45	26.74	17.19	9.65	17.97

Bitkide Fosfor

Fosfor alımı ve taşınımı

Kök hücreleri ve



ksilem özsuynunun P kapsamı > toprak çözeltisinin P kapsamı (**100-1000 kat**)

- P alımı **aktif** alım şeklinde gerçekleşir
- Aktif alım açısından bitki tür ve çeşitleri arasında farklılıklar vardır

Çizelge 13.4. Mısır genotiplerinin uygulanan P düzeylerine bağlı olarak P konsantrasyonları ve kapsamlarındaki değişimler

Çeşitler	Fosfor konsantrasyonu, (%)			% Artış	
	P0	P50	P100	P50	P100
Furio	0.13	0.23	0.28	76.9	115.4
Riogrande	0.15	0.24	0.29	60.0	93.3
Sele	0.13	0.15	0.28	15.4	115.4
DK 743	0.13	0.19	0.24	46.2	86.6
Helix	0.14	0.23	0.26	64.3	85.7
Missouri	0.14	0.17	0.23	21.4	64.3
Betor	0.15	0.23	0.31	53.3	106.7
Poker	0.12	0.20	0.26	66.7	116.7
	Fosfor kapsamı, (mg bitki ⁻¹)				
Furio	1.27	2.39	3.02	88.2	137.8
Riogrande	0.71	2.35	3.45	231.0	385.9
Sele	0.94	1.28	3.47	36.2	269.1
DK 743	0.96	2.28	2.62	137.5	172.9
Helix	1.10	1.98	3.72	80.0	238.2
Missouri	1.04	1.79	2.46	72.1	136.5
Betor	0.92	1.68	1.98	82.6	115.2
Poker	0.71	1.82	3.54	156.3	398.6

NO_3 ve SO_4 ' in aksine P bitkide **indirgenmez**

Okside fomlarda bulunur

P bitkiler tarafından alındıktan (fizyolojik pH aralığında H_2PO_4^-) sonra

- inorganik fosfat (Pi)
- esterleşmiş hidroksi grupların karbon zincirlerinde basit fosfat esterler
- enerjice zengin fosfat bağları tarafından diğer fosfatlara bağlanmış

olarak bulunur

Fosforun enerji transferindeki rolü

Enerjice zengin pirofosfat (\approx) bağları \rightarrow ATP \rightarrow (hidroliz) 30 kJ

Pirofosfat bağlarının sentezi için enerji;

- Fotosentez
- Solunum
- Karbonhidratların anaerobik parçalanmasından **sağlanır**

Böylece ATP içindeki enerji;

- Aktif iyon alımı
- Organik bileşiklerin sentezi

gibi **enerji gerektiren çeşitli proseslerde kullanılır**

- Bu tür proseslerde **fosforilasyon reaksiyonu** ile ATP' den bir fosforil grubu başka bir bileşiğe geçerek enerji sağlar

Fosfat esterler parçalanma ve metabolik biyosentezlerde gereklidirler ve yapıları doğrudan hücrelerin enerji metabolizmaları ve enerjice zengin fosfatlar ile ilgilidir

P' un metabolizmadaki en önemli işlevi enerji transferini sağlayan **PIROFOSFAT** bağları oluşturmalarıdır

Ayrıca;

- sakkaroz sentezlenmesinde gerekli olan UDP
- fosfolipit sentezinde gerekli olan CTP
- selüloz oluşumu için gerekli olan GTP

gibi bileşikler **ATP' ye benzer** bileşiklerdir ve **hepsi de P içerirler**

ATPaz' ların **aktivitesi** ve **enerji transferi**

- Ca, Mg ve K gibi besin maddeleri gibi bir çok faktör tarafından etkilenir

ATP, UTP, GTP ve CTP

- RNA ve DNA sentezlenmesine katılır
 - DNA kalıtsal özelliklerin taşıyıcısıdır
 - RNA ise protein sentezinde fonksiyonlara sahiptir

İnorganik fosforun bitkide dağılımı ve düzenleyici rolü

- Bir çok enzimde , inorganik P (Pi) ya substrat ya da son üründür (**örneğin**, $ATP \rightarrow ADP + Pi$)
- Ayrıca bazı önemli enzim reaksiyonlarını kontrol eder, bu enzimler; fosfofruktokinaz \rightarrow meyve olumu

Bitkide P ;

- **yeterli ise** vakuollerde birikir (% 85-95)
- **noksan ise** vakuolden sitoplazma ve kloroplasta gönderilir (% 100)

Fotosentezi etkiler; 1-1.4 mM kritik 2-2.5 mM optimum

Nişasta sentezini etkiler;

- Pi/trioz P oranı \uparrow ADP-glukoz pirofosforilaz enzim aktivitesi durur
- Trioz P salınımını P taşıyıcıları kontrol eder
- P noksanlığında kloroplastlarda nişasta birikir
- Fotosenteze oranla gövde gelişimi daha çok azalır

P' un bitkide fraksiyonları;

☞ uygulanan P arttıkça vejetatif bitki organlarındaki P fraksiyonları da artar

Çizelge 13.5. Uygulanan fosforun tütün yapraklarında P fraksiyonlarına etkisi

P uygulaması (mg l ⁻¹)	Yaprak kuru ağırlığı (g yaprak ⁻¹)	P fraksiyonları (mg 100g ⁻¹ , kuru ağırlık)			
		Lipid	Nükleik asit	Ester	İnorganik
2	0.82	32	74	36	33
6	1.08	83	134	91	83
8	1.10	89	133	104	123
20	1.06	91	142	109	338

Canlı hücrelerde **polifosfatlar** şeklinde depolanır

▶ Pirofosfat bağları, ATP, Enerji !!!

Generatif organlarda **fitatlar** şeklinde bulunur

▶ Fitat; **fitik asitin tuzudur** (*miyoinozitol 1, 2, 3, 4, 5, 6-heksakisfosfat*)

▶ K, Ca, Mg içerirler, Fe, Zn' ya affinitesi yüksektir

Baklagillerde toplam P' un % 50' si

Tahıllarda % 60-70' ini

Buğday kepeğinde % 86' sını

Yumru bitkilerinde % 15-23' ünü oluşturur

- ▶▶ **Generatif organlarda**, K, Mg ve bazen de Zn, Ca' un **depo yerleridir**
- ▶▶ **Ağır metallere** (Zn, Fe) yüksek ilgisi **detoksifikasyon**
- ▶▶ fitik asit toprakların organik P fraksiyonlarında da bulunur

Fitatlar, **tohum çimlenmesinde önemli** rol oynar

Fitatlar parçalanarak genç fideciklere (**Fitataz** enzimi)

- **fosforilasyon ve protein** sentezi için Mg
- **hücre büyümesi** için K
- **nükleik asit ve hücre zarı oluşturulması** için P sağlar

Çizelge 13.6. Çimlenme süresince çeltik tohumlarının P fraksiyonlarındaki değişimler

Çimlenme üresi (saat)	P fraksiyonları (mg g ⁻¹)				
	Fitat	Lipid	İnorganik	Ester	RNA+DNA
0	2.67	0.43	0.24	0.078	0.058
24	1.48	1.19	0.64	0.102	0.048
48	1.06	1.54	0.89	0.110	0.077
72	0.80	1.71	0.86	0.124	0.116

- Fitat parçalanma oranını inorganik P **kontrol eder**
- Fitatlar insan sağlığı ve beslenmesinde de önemlidir (**Zn/fitat oranı !!!**)

P uygulaması, bitki büyümesi ve bileşimi;

- **Vejetatif dönemde optimum P % 0.3-0.5 (K.M.)**
- **> % 1 P (K.M.) toksiklik oluşur (çeşit farklılığı var)**

P noksanlığında;

- yaprak yüzey alanı, büyümesi ve sayısı azalır
- hücre ve yaprak büyümesi klorofil ve kloroplast oluşumlarına göre geriler
- genellikle klorofil içeriği artar ve yapraklar **koyu yeşil** renk alırlar

Çizelge 13.7. Soyada karbonhidrat ve P konsantrasyonu ile değişik büyüme parametrelerine P noksanlığının etkisi

Parametreler		Yüksek P	Düşük P	
Yaprak alanı, dm ²		12.1	1.8	
Yaprak sayısı		7	4	
Gövde/kök kuru madde oranı		4.2	1.0	
Klorofil, mg dm ⁻²		3.02	2.80	
Yaprağın Pi içeriği		4.43	0.28	
P _{org.} mg g ⁻¹ , kuru madde		2.44	0.59	
Toplam P				
	Gövde ve yaprak sapı	5.84	1.14	
	Kök	10.54	1.29	
Toplam kök P/Toplam gövde P		0.54	1.57	
Yaprak karbonhidratları	Nişasta	0.4	12.8	
	(g m ⁻² , yaprak)	Sakkaroz	0.7	0.2
Kök karbonhidratları	Nisata	23	160	
	(mg g ⁻¹ taze ağ.)	Sakkaroz	16	177

gövde büyümesi daha az etkilenir

gövde/kök oranı **düşer** (CHO köke taşındığı için)

▶▶ Fasülyede bu oran P noksan bitkilerde 5.0' dan 1.9' a **düşer**

▶▶ Mg noksanlığında kök gelişimi azalır ve oran 10.0' a kadar **artar**

P noksanlığında kök morfolojisi modifiye edilerek P alımı artırılır

Fosfor Noksanlığı

- Tanısı zordur
- Bitki normal görünebilir
- Sebzelerde kritik konsantrasyon < % 0.2' dir
- Mutlak P noksanlığından bahsedilemez;

X Toprak, İklim, genetik faktörler vb P alımını engeller

Topraklarda P;

- Ca, Fe, ve Al fosfatlar
- Fe ve Al oksitler, hidroksitler ve hidrateoksitler
- organik fosfor bileşikleri (fitat) ve
- $H_2PO_4^-$ ve HPO_4^{2-} formunda toprak çözeltisinde bulunur

- Topraktaki P formları dinamik bir denge içinde olup, dengeyi;
 - ✓ pH
 - ✓ karbonat
 - ✓ seskioksitler
 - ✓ kil
 - ✓ humus
 - ✓ ağır metaller
 - ✓ nem durumu
 - ✓ su/hava oranı
 - ✓ sıcaklık
 - ✓ mikrobiyal aktivite
- gibi pek çok faktör etkiler
- Toprak çözeltilisinde 0.4-8.0 kg ha⁻¹ P optimum
- Asit topraklarda P noksanlığı Al toksisitesi yaratır (**KİREÇLEME**)
- **Bitkilerin P alımı;**
 - Kuraklık
 - Düşük sıcaklık
 - O₂ yetersizliği
 - Kompaksiyon
 - P formlarına
 - Bitki çeşidine
 - katyon absorpsiyon özelliğine (Rizosfere etki !!!)
 - kök gelişmesine
 - kök tüylerinin uzunluğu
 - mikorizanın varlığı **gibi faktörlere bağlıdır**

Fosfor Fazlalığı

- Fazlalığına pek rastlanılmaz
- Fazlalığı mikroelemet (Zn, Fe) noksanlığı oluşturur
- Fazlalık P fiksasyon kapasitesi düşük topraklarda görülebilir
 - Ca, B, Cu ve Mn noksanlığına yol açabilir

- Toksiklik;

- % 1 P kapsayan yaşlı yapraklarda görülür
- Tuz stresine benzerlik gösterir
 - Aşırı inorganik P birikimi su dengesini bozar
- Ürün kaybı ile premature meyve oluşumuna yol açar