

# FOSFOR

## Toprakta Fosfor

### Fosfor fraksiyonları ve fosfat mineralleri

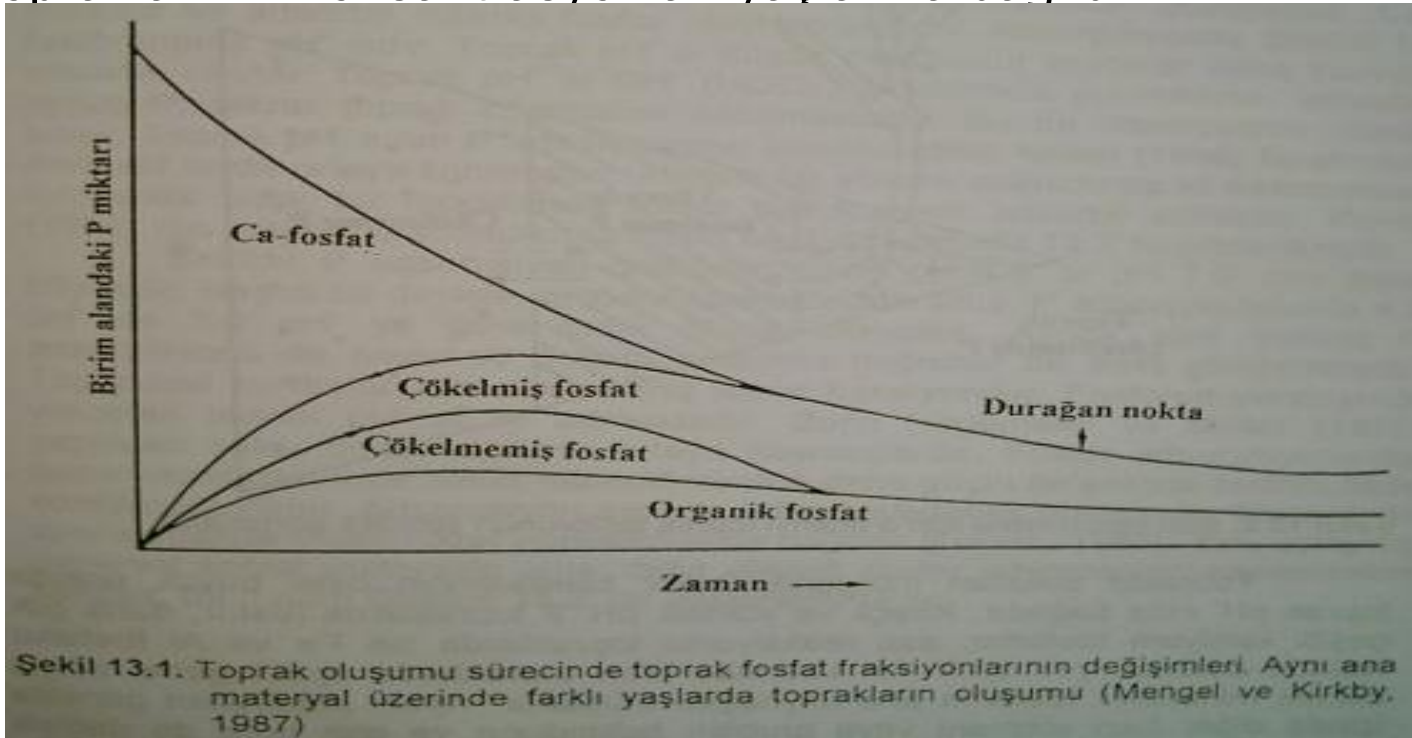
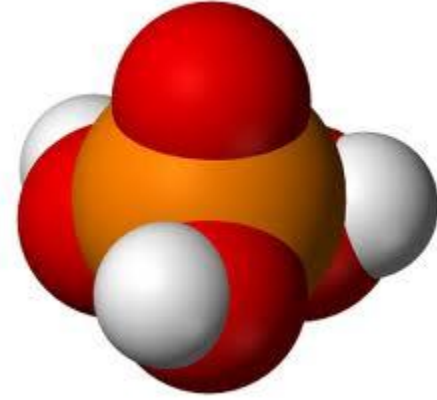
~ % 100' ü ortofosfat formundadır

\*Toplam miktar % 0.02 - 0.15 arasındadır

-Toplamın büyük kısmı **organik** formdadır

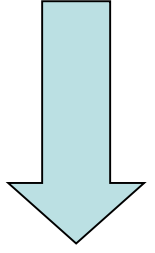
-mineral topraklarda toplamın % 20-80' i organik bağlı P' dur.

Toprakların P konsantrasyonları yaşlarına bağlıdır



Bitki beslenmesi açısından 3 temel fosfor fraksiyonu önem taşır;

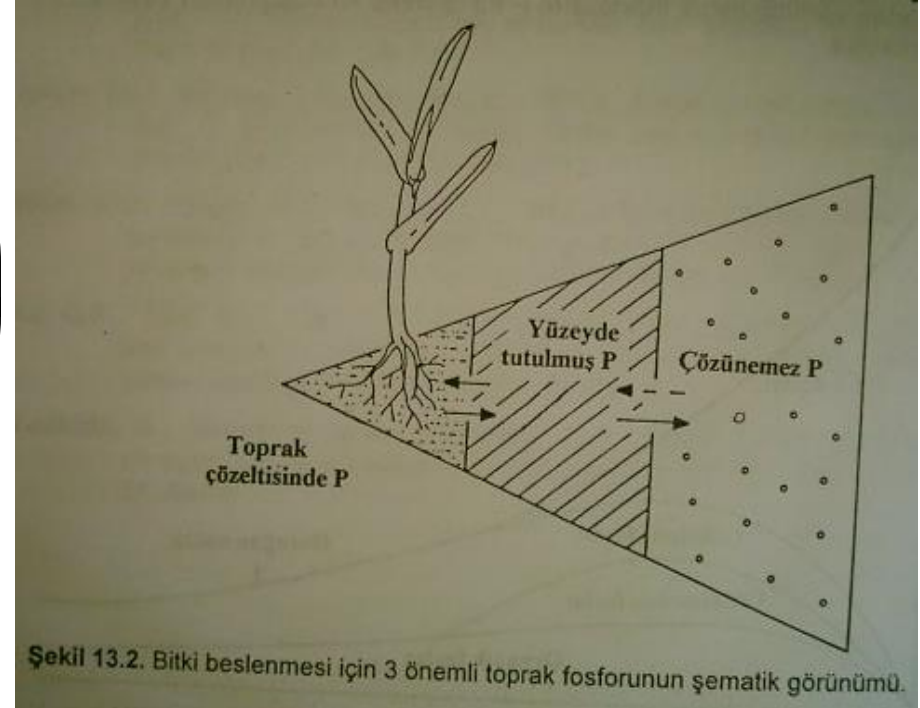
- **Toprak çözeltisindeki fosfor**
- **Değişebilir fosfor**
- **Değişemez fosfor**



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

**Çizelge 13.1.** Toprakta önemli fosfat mineralleri

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



Şekil 13.2. Bitki beslenmesi için 3 önemli toprak fosforunun şematik görünümü.



# • Fosfor adsorpsiyonu, desorpsiyonu ve mineralizasyonu

Toprakta çözünebilir fosfor fraksiyonunu;

- çözünebilir Ca- fosfatlar ile **adsorbe fosfor** oluşturur

Adsorpsiyonda pH önemli bir yer tutar;

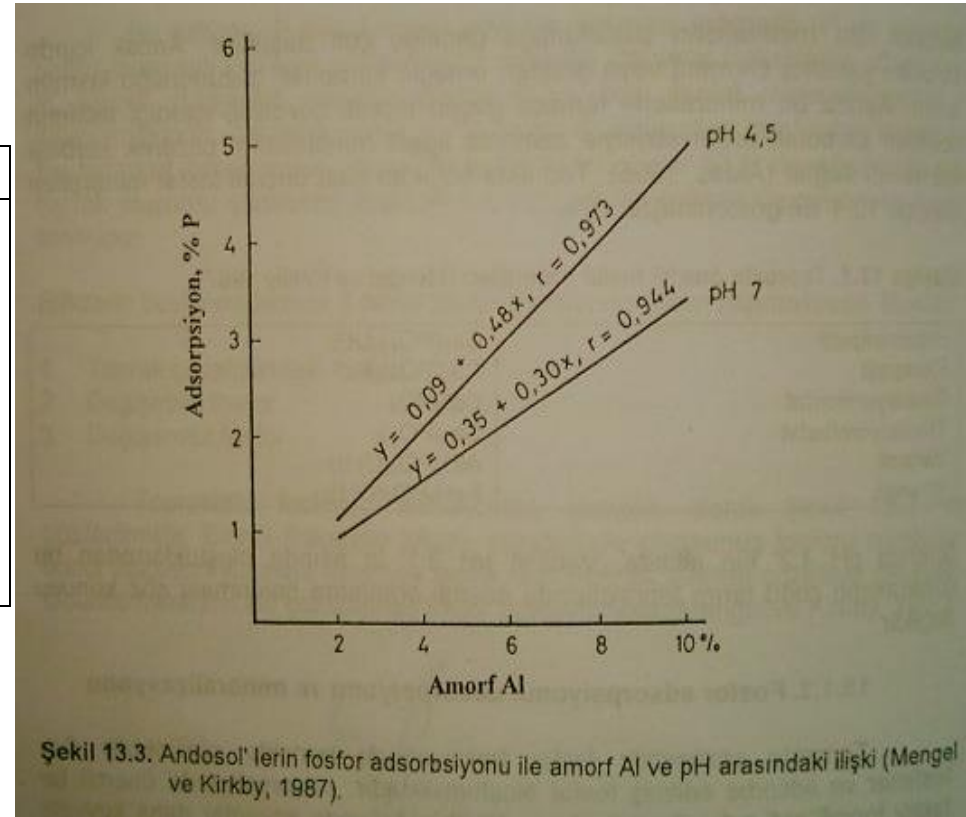
- pH < ise anyonlar daha kuvvetli adsorbe olur
- adsorbe edici materyalin

tipi, ayrışma durumu ve yüzey alanı da etkiler

- **Desorpsiyon:** toprak pH' sının OH<sup>-</sup> (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>) iyonlarınca artırılması nedeniyle adsorbe olmuş P' un tekrar toprak çözeltisine salınmasıdır (ANYON ANTAGONİZMİ !!!)

Çizelge 13.2. Farklı materyallerin fosfor adsorpsiyon kapasiteleri

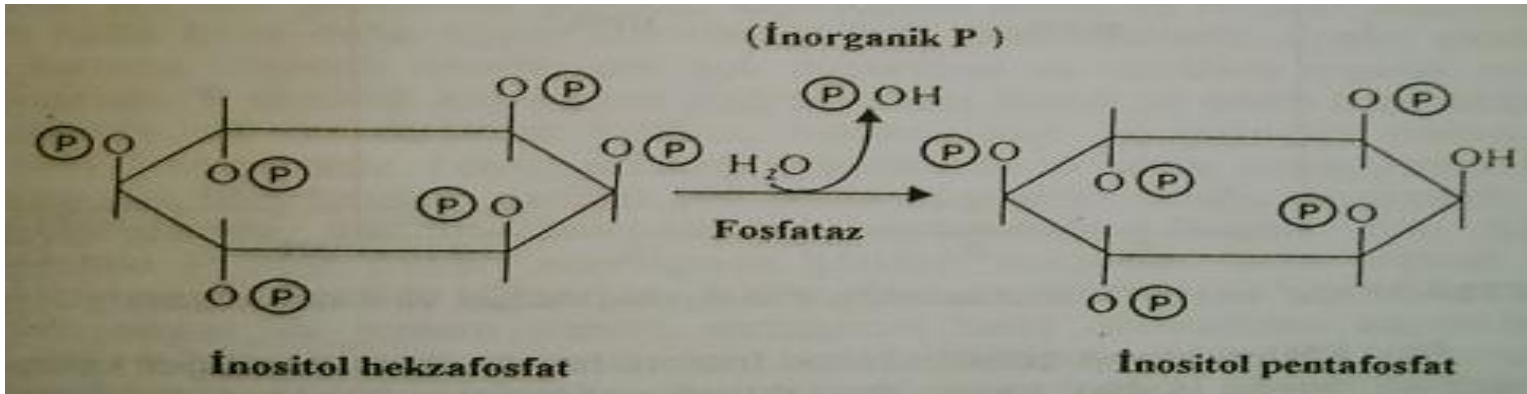
Adsorbe edici materyal	Adsorpsiyon indeksi (x/10 g C)
Taze hazırlanmış amorf Al(OH) <sub>3</sub>	1236
Taze hazırlanmış amorf hidrate Fe-oksit	848
Nötr koşullar altında hazırlanmış Fe-oksit	453
Eski hidrate Fe-oksit	111
Fe-oksit tortuları (ağır Lateritler)	21
Kristal gotit	0
Kristal gipsit	0
Kireç (CaCO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



P yarayırlılığını;

- fosfor adsorpsiyonu yanında
- oluşan çökeltinin (Ca, Fe ve Al fosfatlar) çözünebilirliği de etkiler

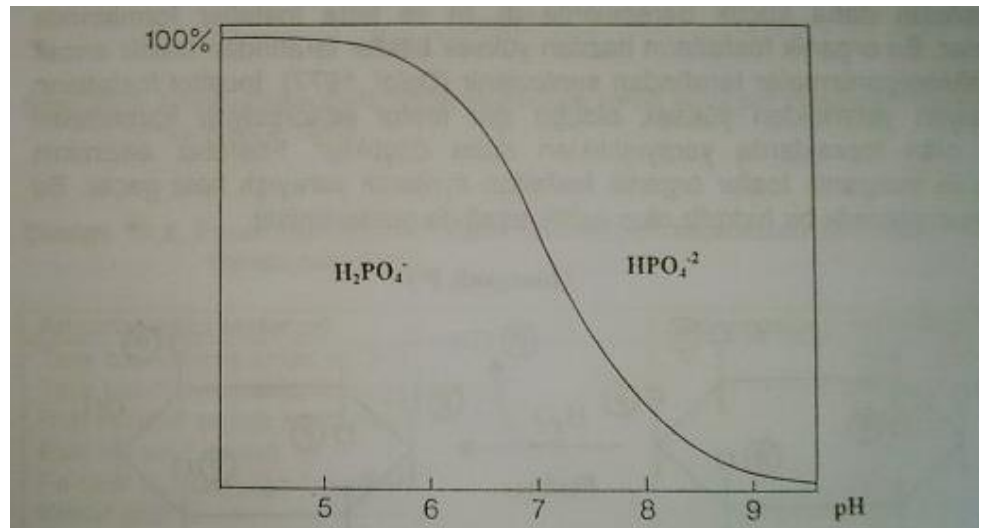
- Fe ve Al oksitlerce ve aynı zamanda kil minerallerince zengin topraklarda daha çok **desorpsiyon** söz konusu iken
- Fakir **kumlu** topraklarda, **kalkerli** topraklarda ve özellikle **organik** topraklarda fosfor **çökmesi** başlıca söz konusu olur
- Anaerobik koşullarda ( $Fe^{+3}$ ' ün  $Fe^{+2}$ ' ye indirgenmesi) yarayırlı P artar
- Organik madde fosfor adsorpsiyonunu **doğrudan ve dolaylı** olarak etkiler
  - İçerdiği P mineralize olur
  - İçerdiği 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 ( $10^{-5} - 10^{-4} \text{ M} = \mathbf{0.3 \text{ ile } 3 \text{ mg kg}^{-1} \text{ P}}$ )
  - önemli P formları  $\text{HPO}_4^{-2}$  ve  $\text{H}_2\text{PO}_4^{-}$  iyonlarıdır
  - bu iki iyonun toprak çözeltilisindeki oranları pH'ya bağlıdır
- $$\text{HPO}_4^{-2} + \text{H}^+ \rightarrow \text{H}_2\text{PO}_4^{-}$$



Şekil 13.4.  $\text{HPO}_4^{-2}$  ve  $\text{H}_2\text{PO}_4^{-}$  oranlarının pH ile ilişkisi (Mengel ve Kirkby, 1987)



- Bitkilerin P alımında köklerin çözeltili 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 çözeltilisinde P az olduğundan bunun **önemi de fazla değildir**
- Mikorizalar da fosforunun taşınmasında önemli rol üstlenebilmektedir fazla yarayışlı 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



önemli rol oynar

- $\text{NO}_3$  beslenmesi pH' yı  $\uparrow$
- $\text{NH}_4$  ve simbiyotik  $\text{N}_2$  beslenmesi pH' yı  $\downarrow$   
 $\uparrow$   $\text{H}_2\text{PO}_4$  iyonları ile değişime girer ve yararılı P  $\uparrow$

mikroorganizmalar (*Aspergillus niger*, bazı *Penicillium* türleri) toprak ve gübre fosforunun çözünlüğünde rol oynarlar

## Fosfor alımında kök morfolojisinin önemi

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 gübrelenmesi SORUNDur

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** olarak belirlenmiştir.
- DURUM ÇOK DİNAMİK



**Çizelge 13.3.** Türkiye topraklarının tarım bölgelerine göre P (kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> da<sup>-1</sup>) dağılımı (%)

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

## Bitkide Fosfor

Fosfor alımı ve taşınımı

Kök hücreleri ve  $>$

ksilem özsuyunun P kapsamı  $>$  toprak çözültisinin P kapsamı (**100-1000 kat**)

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

$\text{NO}_3$  ve  $\text{SO}_4$ ' in aksine P bitkide **indirgenmez**

Okside fomlarda bulunur

P bitkiler tarafından alındıktan (fizyolojik pH aralığında  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ) 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

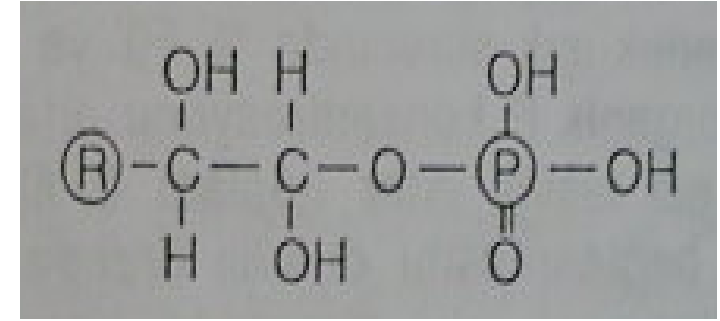
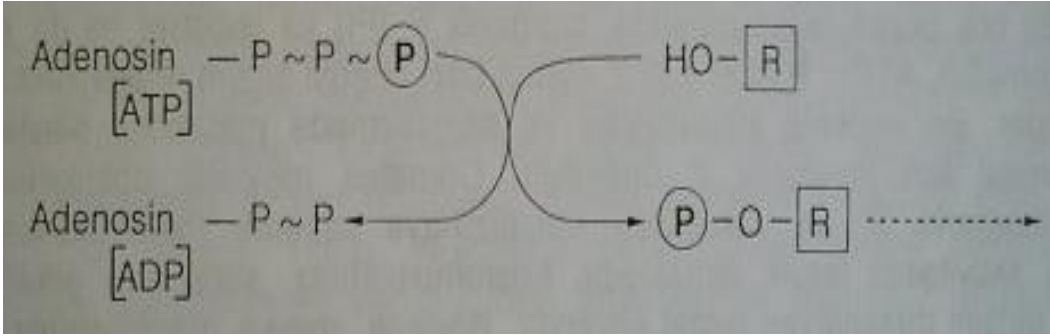
Pirofosfat bağlarının sentezi için enerji;

- 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

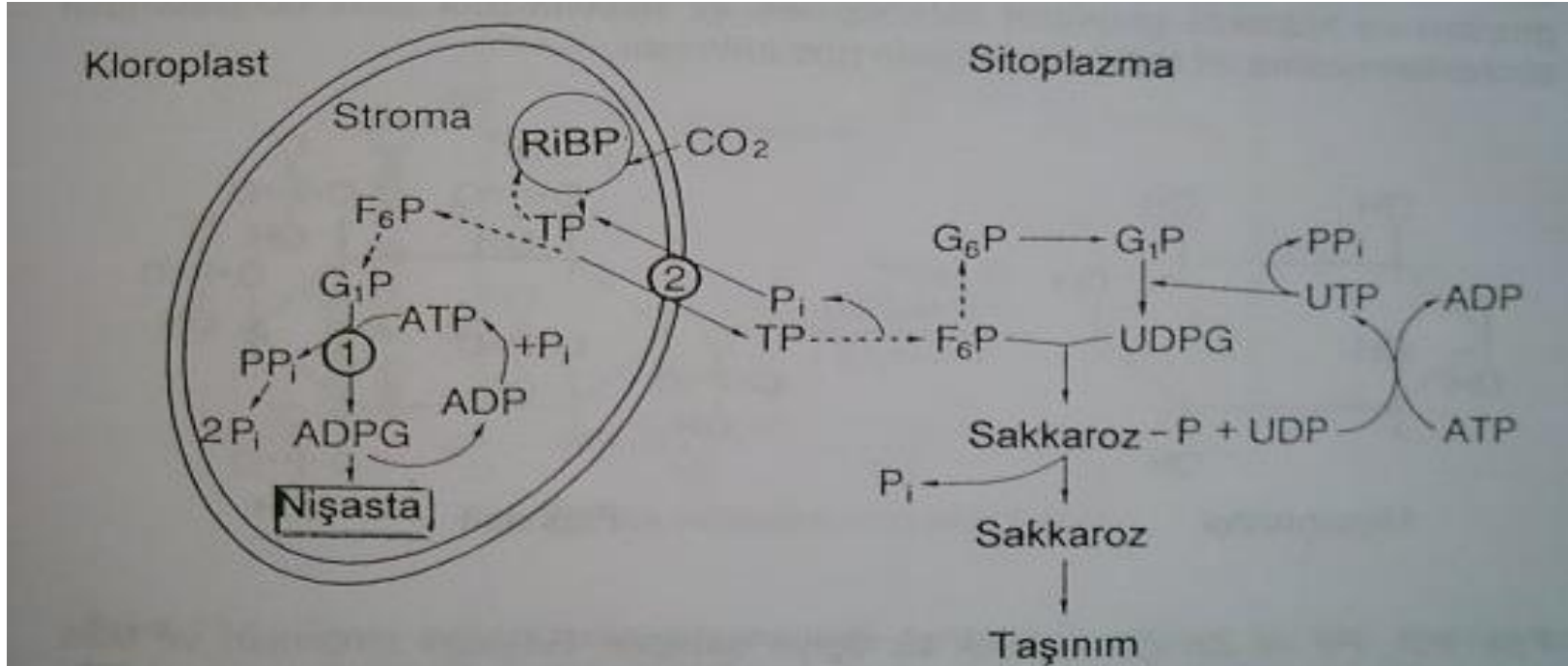
### Bitkide P ;

- 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;

- $P_i$ /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



Şekil 13.5. Yapraklarda karbonhidrat taşınımı ve nişasta sentezine  $P$ ' un katılıımı ve düzenleyici rolü. (1) ADP-glukoz pirofosforilaz: PGA tarafından stimüle edilen düzenleyici rolü. (2) fosfat ve inorganik P tarafından engellenen nişasta sentezini düzenler. TP, triozfosfat (gliseraldehit-3-fosfat, GAP, dihidroksi aseton fosfat, DHAP,  $F_6P$ , fruktoz 6-fosfat,  $G_6P$ , glikoz 6-fosfat)



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 <sup>-1</sup> )	Yaprak kuru ağırlığı (g yaprak <sup>-1</sup> )	P fraksiyonları (mg 100g <sup>-1</sup> , 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*)

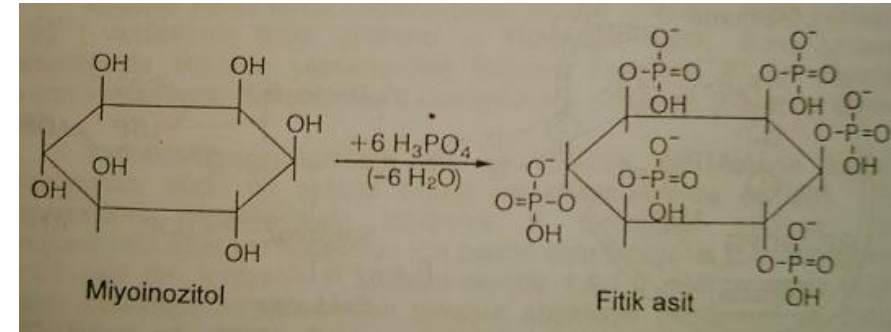
▶ K, Ca, Mg içerirler, Fe, Zn' ya affinitesi yüksektir

**Baklagillerde** toplam P' un % 50' si

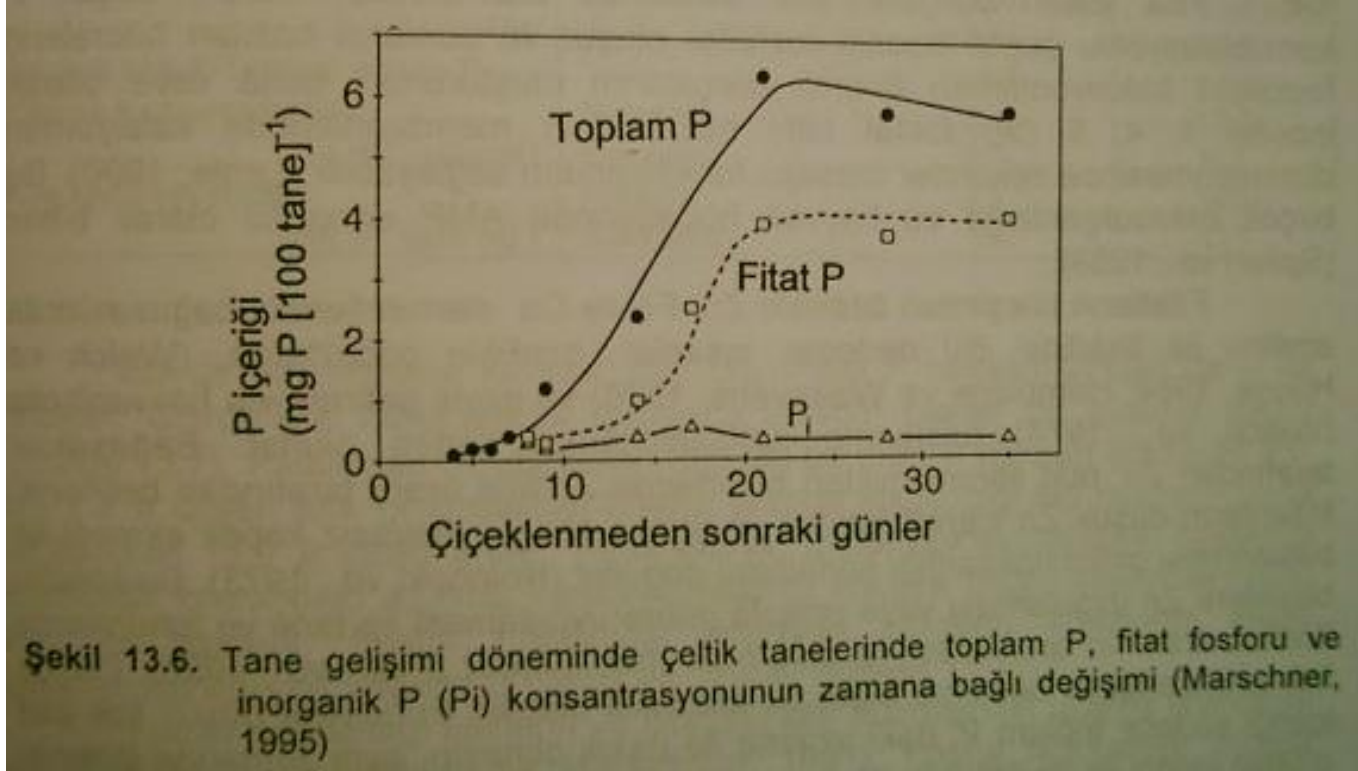
**Tahıllarda** % 60-70' ini

**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 <sup>-1</sup> )				
	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 <sup>2</sup>		12.1	1.8	
Yaprak sayısı		7	4	
Gövde/kök kuru madde oranı		4.2	1.0	
Klorofil, mg dm <sup>-2</sup>		3.02	2.80	
Yaprağın Pi içeriği		4.43	0.28	
P <sub>org.</sub> mg g <sup>-1</sup> , 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 <sup>-2</sup> , yaprak)	Sakkaroz	0.7	0.2
Kök karbonhidratları	Nisata	23	160	
	(mg g <sup>-1</sup> 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;

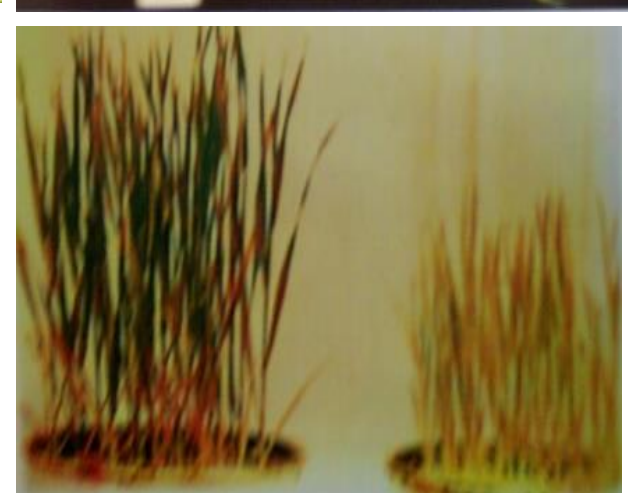
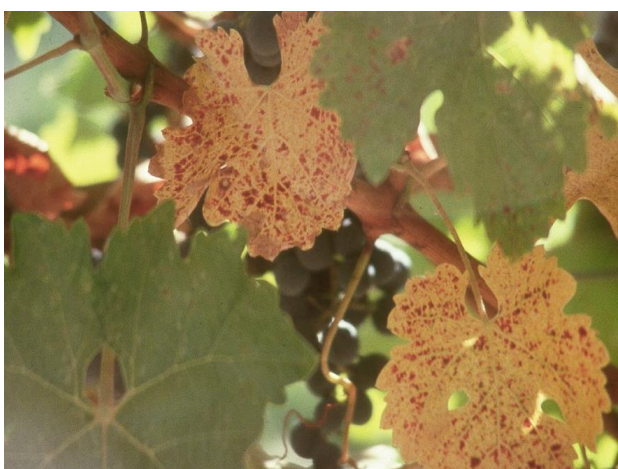
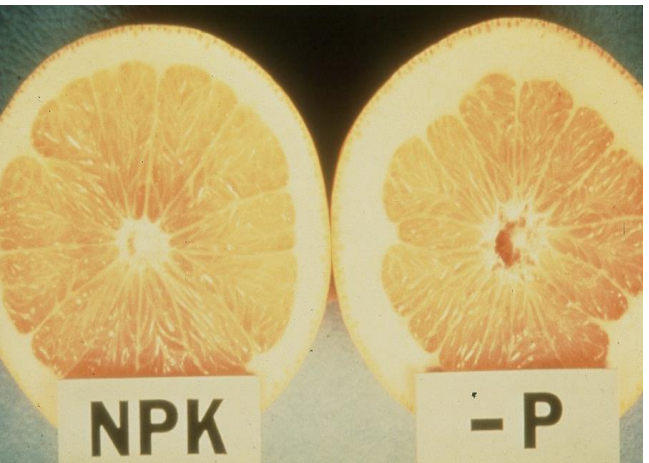
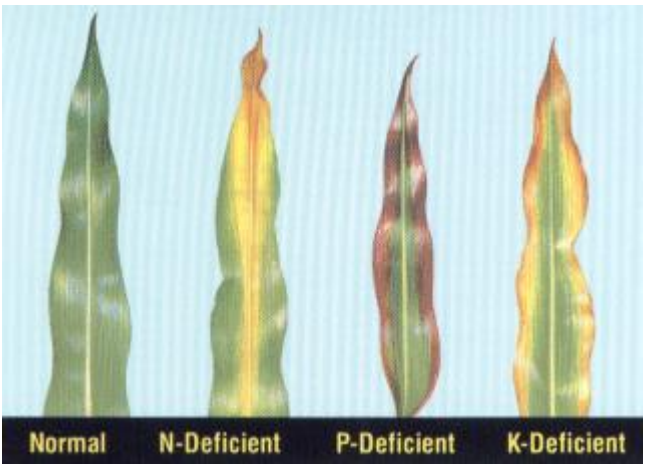
**X** Toprak, İklim, genetik faktörler vb P alımını engeller

## Topraklarda P;

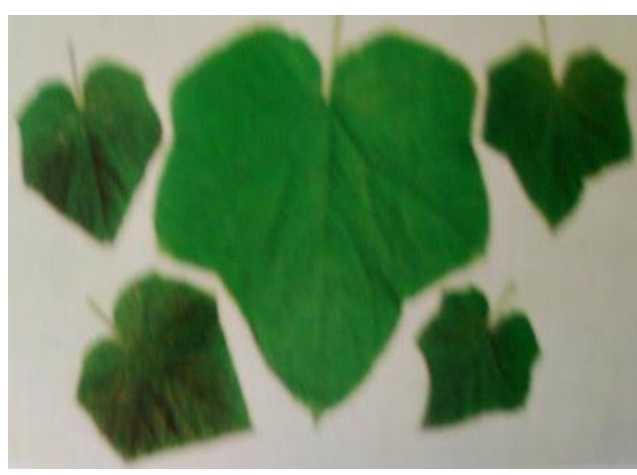
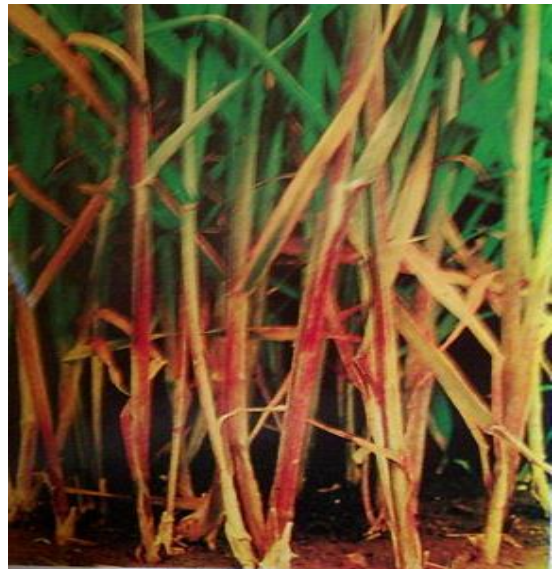
- Ca, Fe, ve Al fosfatlar
- Fe ve Al oksitler, hidroksitler ve hidrateoksitler
- organik fosfor bileşikleri (fitat) ve
- $H_2PO_4^-$  ve  $HPO_4^{2-}$  formunda toprak çözeltisinde bulunur

- 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<sup>-1</sup> P optimum
- Asit topraklarda P noksanlığı Al toksisitesi yaratır (KİREÇLEME)
- **Bitkilerin P alımı;**
  - Kuraklık
  - Düşük sıcaklık
  - O<sub>2</sub> yetersizliği
  - Kompaksiyon
  - P formlarına
  - Bitki çeşidine
    - katyon absorpsiyon özelliğine (Rizosfere etki !!!)
    - kök gelişmesine
    - kök tüylerinin uzunluğu
  - mikorizanın varlığı gibi faktörlere bağlıdır



















**P noksan= Zayıf gelişme  
ve kardeşlenme**



# 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