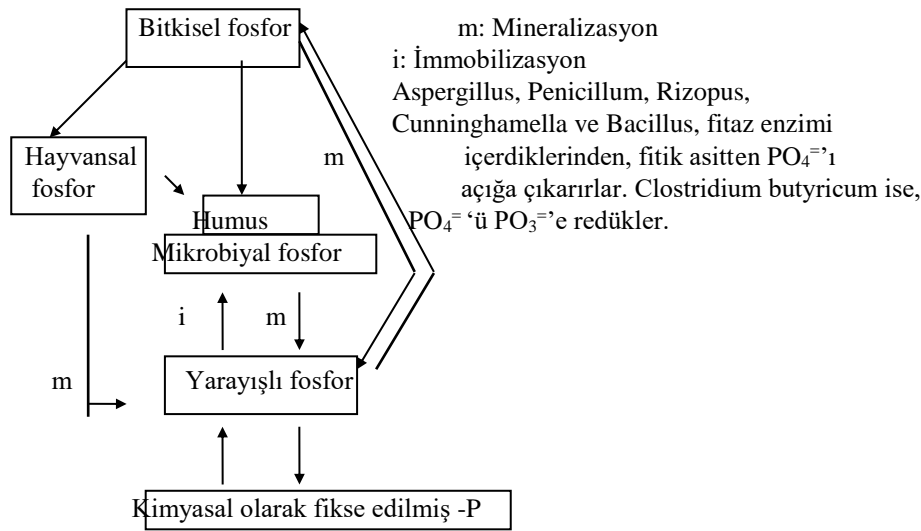


## FOSFOR DÖNGÜSÜ VE MİKROBİYOLOJİSİ

Fosfor, hücrelerin çekirdeklerinde ve stoplazmasında bulunan DNA**Hata! Yer işareti tanımlanmamış.** ve RNA**Hata! Yer işareti tanımlanmamış.**'nın temel yapı taşlarından biridir. Toprakta organik fosfor fosforik asit radikali, organik ve inorganik radikallere bağlanmıştır. Hayvan artıkları ve çiftlik gübresi, toprağın organik fosforuna katkıda bulunurlar. Hayvanlar geniş ölçüde, üre ve dışkı ile mineral fosfat bırakırlar. Bitki artıklarının ayrışması sırasında, mikroorganizmalar enzimatik reaksiyonlarla fosforu alırlar.

Fosforun mineralizasyon**Hata! Yer işareti tanımlanmamış.** ve immobilizasyonu aşağıda gösterilmiştir.



Mitokondriler, oldukça önemli sayılarda fosfor-lipid**Hata! Yer işareti tanımlanmamış.** içerirler. Bazı fosfo-lipidlerin hidrolizi ile, bir kısım aminoasitler açığa çıkar. Peat topraklar, oldukça fazla sayıda fosfor içerirler. Yeni drenaj yapılmış bu topraklarda, iyi ürün almak güçtür. Çünkü, geniş ölçüde elverişsiz fosfor bulunmaktadır. Eğer peat**Hata! Yer işareti tanımlanmamış.** toprakları yakıp, külünü birbiri ile karıştırırsak, onu iyice gübrelemiş oluruz. Bu ise, peat'in derinliğine bağlıdır.

Mikroorganizmalar bir seri transformasyonlar ile P yarayışlılığını etkilerler. Bunlar;

- Anorganik fosfor bileşiklerinin çözünürlüğünün değiştirilmesi,
- Organik bileşiklerin mineralizasyonu ve anorganik**Hata! Yer işareti tanımlanmamış.** fosfatın serbest bırakılması,
- Anorganik yarayışlı P anyonunun hücre içine alınması ve immobilize edilmesi,
- Anorganik fosfor bileşiklerinin oksidasyon**Hata! Yer işareti tanımlanmamış.** veya redüksiyonunun oluşturulması.

### 14.1. Toprak Fosforunun Kimyası

Tarımsal ürünler genellikle % 0.05 ile % 0.50 düzeylerinde fosfor içerirler. Bu element bitkilerde fitin, fosfo-lipidler, nükleik asitler, forforlanmış şekerler, koenzimler ve ilgili

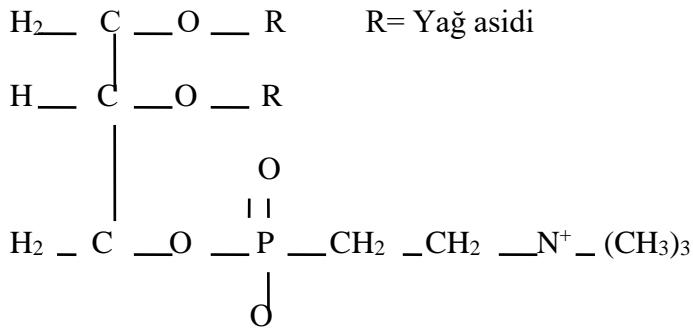
bileşikler halinde bulunur. Fosfor ayrıca özellikle vakuller içinde anorganik **Hata! Yer işareti tanımlanmamış.** ortofosfat **Hata! Yer işareti tanımlanmamış.** şeklinde bulunur.

Azot ve kükürde kıyasla fosfor anyon **Hata! Yer işareti tanımlanmamış.** halinde alındıktan sonra bitki bünyesinde redüksiyona uğramaz. Bu iyon organik kombinasyona büyük ölçüde değişime uğramaksızın girer. Bu nedenle fitin, fosfolipidler ve nükleik asitlerde fosfat halinde bulunur.

Fitin, fitik asidin kalsiyum-magnezyum tuzudur.

İnositol fosfatlar **Hata! Yer işareti tanımlanmamış.** her inositol ünitesi için 1 → 6 P atomu içerirler. Bu bileşikler topraklarda ve yaşayan organizmalarda bulunur ve enzimatik olarak oluşur.

Fofolipidler ise lipid **Hata! Yer işareti tanımlanmamış.** ve fosfatlardan oluşur. Lesitin **Hata! Yer işareti tanımlanmamış.** ve sefalin **Hata! Yer işareti tanımlanmamış.**'i kapsayan ve bir fosfolipid sınıfı olan fosfatidlerde, fosfat azotlu bir baz ile esterleşmiştir.



lesitin tipi bileşik

RNA **Hata! Yer işareti tanımlanmamış.** ve DNA **Hata! Yer işareti tanımlanmamış.**'nin nükleotid üniteleri pürin **Hata! Yer işareti tanımlanmamış.** veya pirimidin **Hata! Yer işareti tanımlanmamış.** bazları, bir pentoz şeker ve fosfattan oluşur.

Bakteri hücreesindeki RNA **Hata! Yer işareti tanımlanmamış.**, tüm fosforun üçte biri ile yarısından fazlasını içerir. Büyük kısmı asitte çözünür formda bulunur. Bakteri protoplazmasındaki asitte çözünür fraksiyon **Hata! Yer işareti tanımlanmamış.**, orto ve metafosfat, fosfat şekeri, birçok ko-enzim **Hata! Yer işareti tanımlanmamış.** ve adenozin fosfat kapsar.

Bakterilerdeki fosfolipidlerin derişimi çok değişkendir. Genellikle bakteri **Hata! Yer işareti tanımlanmamış.** türü ve yaşına bağlı olmakla birlikte hücre fosforunun % 10'undan azını oluşturur.

Topraklarda toplam fosforun % 15 ile 85'i organik formdadır. Organik -P miktarı toprak derinliğine doğru azalır. Organik maddece zengin topraklarda organik -P fazladır. Organik fosfor ile organik-C ve toplam -N arasında iyi bir ilişki saptanmaktadır. Mineral topraklarda

organik C/organik P, 100 ile 300/1 düzeyindedir. Benzer olarak N/organik P oranı 5 ile 20 arasında değişir. Doğal ekosistemlerde bu oran işlenen topraklardan genel olarak daha geniştir.

## 14.2. Anorganik Fosforun Çözünürlüğü

Çözünmez anorganik **Hata! Yer işareti tanımlanmamış.** fosfor bileşikleri bitkilere büyük ölçüde yarayışsız durumdadır. Fakat birçok mikroorganizma fosfatları çözerek yarayışlılığını arttırabilmektedir. Fosfat çözünürlüğünü arttıran bakterilerin  $10^5$  ile  $10^7$  adet  $g^{-1}$  toprak düzeyinde olduğu belirtilmektedir. Bu tür bakteriler çoğunlukla kök yüzeyleri üzerinde yaygındır. *Pseudomonas*, *Mycobacterium*, *Micrococcus*, *Bacillus*, *Flavobacterium*, *Penicillium*, *Sclerotium*, *Fusarium*, *Aspergillus* gibi bir çok tür çevrimde aktif rol oynarlar. Bu mikroorganizmalar  $Ca_3(PO_4)_2$ , apatit **Hata! Yer işareti tanımlanmamış.** veya benzer çözünmez maddeleri ana fosfat kaynağı olarak kullanırlar. Organizmalar çözünen fosforu yalnızca özümlemez, aynı zamanda büyük miktarlarda çevrim yaptıklarından yarayışlı fosforu serbest bırakırlar.

Çözünmez fosfor bileşiklerinin çözünmesinde mikroorganizmaların ürettikleri organik asitler **Hata! Yer işareti tanımlanmamış.** etkili olur. Amonyum ve kükürt oksitleyen kemoototrofların oluşturduğu nitrik ve sülfirik asit de önemli rol oynar. Her iki asit türü de  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ , bileşiklerini iki ve monobazik fosfatlara çevirir.

Fosfat çözünürlüğü üzerine su faktörü de etki yapar. Çeltik alanları gibi su bastırılan topraklarda çözünmez durumdaki ferrik fosfatlardaki demir redükte **Hata! Yer işareti tanımlanmamış.** olarak çözünür duruma geçince fosfat çözeltide serbest hale geçer.

Fosfor yarayırlılığındaki bu çeşit artış, arid koşullardaki koşullara kıyasla çeltikte neden daha az fosforlu gübre gereksinimi olduğunu açıklamaktadır.

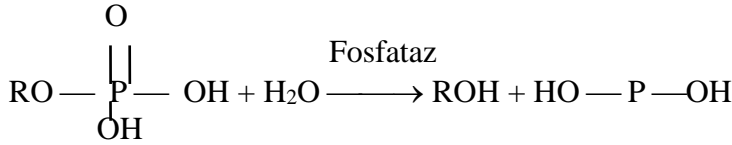
Benzer şekilde  $\text{H}_2\text{S}$  oluşturan bazı bakteriler de fosfat yarayırlılığını olumlu etkiler. Çünkü  $\text{H}_2\text{S}$ , ferrik fosfat ile reaksiyona girerek ferro **Hata! Yer işareti tanımlanmamış.** sülfite **Hata! Yer işareti tanımlanmamış.** oluşumuna ve fosfatın serbest kalmasına neden olur.

### 14.3. Organik Fosforun Mineralizasyonu

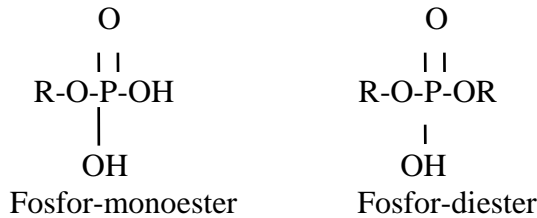
Bitki dokusunda bağlı bulunan fosforun mineralizasyonunda birçok bakteri **Hata! Yer işareti tanımlanmamış.**, mantar **Hata! Yer işareti tanımlanmamış.** ve aktinomiset **Hata! Yer işareti tanımlanmamış.** etken olur. Organik fosfor bileşiklerinin ayrışması genellikle doğal sistemlerde işlenen alanlara kıyasla hem daha hızlı olur; hem de serbest kalan P- miktarı daha fazladır. Sıcaklık mineralizasyonu hızlandırmaktadır. Termofilik koşullar mineralizasyon **Hata! Yer işareti tanımlanmamış.** için mezofilik koşullardan çok daha uygundur. Ayrıca ortam pH'sı mineralizasyon oranını etkiler. Genel mikrobiyal metabolizma için uygun koşullara gidildikçe, yarayırlı duruma geçirilen P miktarı artmaktadır.

Bu elementin mineralizasyon **Hata! Yer işareti tanımlanmamış.** ve immobilizasyonu, azotun reaksiyonlarına benzerlik gösterir. Bir kural olarak amonifikasyon için uygun koşullarda fosfat bırakılışı en hızlıdır ve iki olay arasında kuvvetli bir ilişki bulunmaktadır.

Organik substratlardaki fosforu açığa çıkaran enzimler genel olarak fosfatazlar olarak tanımlanır. Bu enzimler aşağıdaki reaksiyonu katalizler.



Tek bir fosfataz **Hata! Yer işareti tanımlanmamış.**, birçok değişik substratı etkileyebilir. Böylece bir enzim **Hata! Yer işareti tanımlanmamış.** etil fosfat, gliserin fosfat ve fenil fosfat bileşiklerini ayrıştırabilir. Diğer taraftan iki R grubu içeren moleküllerde (diesterler) ayrışma için farklı enzimler gerekebilir.



Fosfatazlar fosfolipidler üzerine etki ederek nükleik asitleri hidroliz **Hata! Yer işareti tanımlanmamış.** ederler.

Fitaz enzimi ise fitik asitten veya onun Ca-Mg tuzlarından fosfatları serbest hale geçirirler.

Bu enzim **Hata! Yer işareti tanımlanmamış.** heksafosfatlar üzerine etki ederek fosfatları organik kökten ayırır, böylece 5, 3, 2 ve 1 moleküllü fosfatlar **Hata! Yer işareti tanımlanmamış.** ve sonuçta serbest inositol oluşur.

Bazı organizmalar penta veya tetra fosfatları ayrıştırabilir, fakat hekza fosfatları etkileyemezler.

Fitaz aktivitesi oldukça yaygın olup, topraktan izole edilen organizmaların % 30 ile 50'sinin fitaz enzimini sentezlediği belirlenmiştir. *Aspergillus*, *Penicillium* **Hata! Yer işareti tanımlanmamış.**, *Rhizopus*, *Cunninghamella*, *Arthrobacter*, *Streptomyces*, *Pseudomonas* ve *Bacillus* türleri bu enzimi sentezleyebilir.

Toprağa saf nükleik asitler ilave edildiğinde hızla defosforilizasyona uğradıkları gözlenmektedir. Ayrıca nükleotidleri kapsayan ortamda çok farklı tür ve sayıda heterotrof **Hata! Yer işareti tanımlanmamış.** organizmanın geliştiği gözlenmiştir. Organizmalar bu substratları ana C, N ve P kaynakları olarak kullanmaktadırlar.

Bakteri, mantar **Hata! Yer işareti tanımlanmamış.** ve aktinomisetler fosfolipidleri bir fosfor kaynağı olarak kullanma yeteneğindedirler. Bu tür ayrışma reaksiyonlarında lesitin en yaygın substrattır. Ancak bu süreçte ayrılan fosforun büyük kısmı, işlevi gören organizma gruplarınca tüketilir. Serbest bırakılan fosfor miktarı heterotrofik gereksinimi karşıladıktan sonra bir kısım bitki alımı için kullanılabilir.

## **Fosfor İmmobilizasyonu**

Mikrobiyal gelişme yarayışlı fosfor formlarının varlığını gereksinmektedir. Hücre sentezi için ana elementlerden olması nedeniyle, mikrofloranın gelişmesi habitatdaki yararlanılabilir -P bileşiklerinin niceliği ile ilgilidir. Fosforun kısıtlı olduğu çevrelerde P ilavesi bu nedenle mikrobiyal aktiviteyi uyaracaktır.

Fosforun mikrobiyal nükleik asitlere, fosfolipid veya diğer protoplazmik maddelere özümlemesi, bu elementin kullanılabilir olmayan formlar halinde birikmesine yol açar. Toprağa katılan organik maddenin ayrışması sırasında bu nedenle fosfat katılması mikrobiyal aktiviteyi artırır. Buna karşıt olarak C'lu maddeler fosforca fakirse ortamdaki yarayışlı fosforun mikroorganizmalar tarafından immobilize edilmesi ile yetiştirilen bitkiler ve verim sıkıntıyla girebilir. Üründeki bu gibi azalmalar fosforlu gübre uygulamaları ile önlenir.

Fosfor da azot gibi hem mineralize hem de immobilize edilen bir elementtir. Bu nedenle olay, ayrışma durumundaki bitki kalıntılarının P kapsamı ve sorumlu populasyonun besin maddesi gereksinimi tarafından kontrol edilir.

Değerlendirmelere göre 100 kısım % 40 C içeren organik substratın ayrışması için, bakterilerin 0.06 ile 0.20 kısım ve aktinomisetlerin 0.58 ile 0.60 kısım fosfora gereksinimleri olduğunu ortaya koymaktadır.

Yalnızca hububat sapları ve benzeri kalıntıların biyolojik fosfor sorunu ortaya çıkardığı bilinmektedir. Bitkilerin çoğu kuru ağırlıkça % 40-45 C içermekte ve mineralizasyon **Hata!**

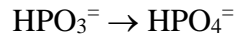
**Yer işareti tanımlanmamış.** sorunu C/P oranı 200/1'den daha büyük durumlarda ortaya çıkmaktadır. Örneğin katılan organik maddenin C/P oranı 300/1'den büyükse ayrışmanın başlangıç dönemlerinde immobilizasyon **Hata! Yer işareti tanımlanmamış.** hakim olmaktadır.

#### 14.4. Oksidasyon - Redüksiyon Tepkimeleri

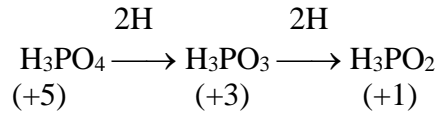
Azota benzer şekilde, fosfor da bir seri oksidasyon **Hata! Yer işareti tanımlanmamış.** basamaklarında bulunabilir. Örneğin -3 değerlikli fosfin (PH<sub>3</sub>) ile +5 değerlikli ortofosfat **Hata! Yer işareti tanımlanmamış.** formları arasında yer alabilir.

Azotun aksine anorganik **Hata! Yer işareti tanımlanmamış.** -P dönüşümlerine fazla önem verilmemesine karşın bu elementin de oksidasyon **Hata! Yer işareti tanımlanmamış.** durumlarındaki değişimlerde, biyolojik katalizlenme söz konusudur.

İndirgen fosfor bileşiklerinin biyolojik oksidasyonu, topraklara fosfit katıldığında gerçekleşmektedir.



Fosfitin kayboluşu ile fosfat derişimlerinin artışı arasında ilişki bulunmaktadır. Şayet bu toprağa toluen gibi biyolojik bir inhibitör **Hata! Yer işareti tanımlanmamış.** madde katıldığında tepkime durmaktadır. Birçok heterotrof **Hata! Yer işareti tanımlanmamış.** mikroorganizma, kültür ortamında fosfiti ana -P kaynağı olarak kullanmakta ve hücre içinde bunu fosfat bileşiklerine oksitlemektedir. Yine kültür ortamında heterotrof organizmalar hipofosfiti (HPO<sub>2</sub><sup>-</sup>) fosfata oksitlemektedir. Anaerobik koşullarda ise fosfor bileşikleri indirgenmektedir.



Şayet ortamda nitrat **Hata! Yer işareti tanımlanmamış.**, sülfat **Hata! Yer işareti tanımlanmamış.** gibi anyonlar varsa, bu bileşikler elektron alıcı olarak kullanılarak fosfat redüksiyonu ertelenmektedir. Fosfor redüksiyonu denitrifikasyon **Hata! Yer işareti tanımlanmamış.** olayına veya sülfat redüksiyonuna benzemektedir. Ancak SO<sub>4</sub><sup>-</sup> redüksiyonunda son indirgen ürün H<sub>2</sub>S olmasına karşın, fosfat redüksiyonunda son ürün olabilen fosfin oluşumu gözlenmemektedir.