

# FOSFOR

## Dünü, Bugünü ve Yarını

Semih Özler [ *İnşaat ve Çevre Yüksek Mühendisi, Tarım ve Orman Bakanlığı Su Yönetimi Genel Müdürlüğü* ]

**“Hayat, fosforun tamamı yok olana kadar çoğalabilir, fakat sonrasında hiçbir şeyin engelleyemeyeceği acı bir durgunluk olacaktır.”  
(Isaac Asimov, 1974)**

Birleşmiş Milletler’in son hesaplamalarına göre dünyada yaklaşık 7,5 milyar insan yaşıyor, çok değil 200 yıl önce bu sayı 1 milyardan biraz daha azdı. Nüfus artışı ile birlikte besin ihtiyacı da arttı. Artan talep karşısında üretimi ve tarımsal verimliliği artırmak adına tarımsal üretimde yüksek miktarlarda fosfor ve azot içeren gübrelerin kullanılmasına başlandı. 20. yüzyılın ortalarındaki fosfor gübresi kullanım miktarıyla kıyaslandığında günümüzde fosfor gübresi kullanımı 4 kat arttı.

Kaynakların sınırlı olduğu günümüzde, iyi bir yönetim sistemi olmadan sürdürülen fosfor kullanımı yeni bir hikâye ile karşımıza çıkmak üzere: ulusal ve uluslararası gıda güvenliği ile birebir ilişki içerisinde olan fosfor kıtlığı. Ayrıca, su kaynaklarına karışan fosfor, okyanus ve deniz tabanında birikmeye devam ediyor. Özellikle göl gibi durgun su sistemlerinde ve deniz-okyanus kıyılarında alg sayısında büyük artışlara ve sonrasında ötrofikasyon diye adlandırılan su kirliliğine neden oluyor.







# Fosforun Keşfi

Simgesi P ve atom numarası 15 olan fosforun element formu 1669 yılında Alman kimyager Hennig Brandt tarafından bulundu. Doktor Brandt, basit metalleri değerli metallere çeviren efsanevi felsefe taşı bulabilmek için 50 kova üreyi yoğun bir şekilde ısıttı. Doktor Brandt bu çalışması sonucunda maalesef simyacılar için çok değerli olan büyüdü değişim taşı bulamadı ama fosforun karanlıkta ışıldayan en saf hâlini buldu. Doktor Brandt'ın fosforu keşfetmesinden yaklaşık 100 yıl sonra Antoine Lavoisier fosforu yeni bir element olarak tanımladı.



**Hennig Brandt,**  
Alman Simyager,  
1630-1710

## Anahtar Kelimeler

### Ötrofikasyon:

Büyük su ekosistemlerinde çeşitli nedenlerle (yüzeysel su akışı, besleyici elementler açısından zengin yer altı sularının karışması, atık suların arıtılmadan deşarjı gibi) azot ve fosfor gibi besin maddelerinin derişiminin yükselmesi sonucu, ekosistemdeki üretkenlik düzeyinin artması, plankton ve alg varlığının aşırı şekilde çoğalmasıdır. Su yüzeyinde birikerek katman oluşturan plankton ve algler alt tabakalara oksijen geçişini engeller.

Bu durum sudaki çözülmüş oksijen miktarını azalttığından uzun vadede su ekosistemine geçici ya da kalıcı zarar verebilir.

### Haber-Bosch Süreci:

Fritz Haber ve Karl Bosch tarafından geliştirilen, atmosferdeki azotun metal bir katalizör yardımıyla yüksek sıcaklık ve basınç altında hidrojenle gerçekleştirdiği tepkime sonucu amonyağa dönüşmesi sürecidir (**Reaksiyon:  $N_2 + 3H_2 \rightarrow 2NH_3$** ). Bu süreç 20. yüzyılın en önemli buluşlarından biridir. Daha önce oldukça sınırlı yer altı kaynakları ile üretilen azot gübresinin havadan

elde edilen azot ile daha kolay üretilmesine imkân tanıdıdır.

### Biyokütle:

Yaşayan ya da yakın zamanda yaşamış canlılardan elde edilen fosilleşmemiş tüm biyolojik malzemenin genel adıdır. Biyokütle bir enerji kaynağıdır. Endüstriyel anlamda biyokütle, bu biyolojik maddelerden yakıt elde edilmesi ya da diğer endüstriyel amaçlarla yararlanılması ile ilgilidir.

### Redoks:

Elektron alışverişinin olduğu kimyasal tepkimelerdir.

# Fosforun Özellikleri ve Doğadaki Önemi

Periyodik cetvelin V-A grubunda yer alan fosfor, diğer elementlerle kıyaslandığında çok farklı özelliklere sahiptir. Oldukça reaktif bir element olduğundan doğada hiçbir şekilde serbest hâlde bulunmaz, diğer elementlerle oluşturduğu mineral yapıli bileşikler hâlinde bulunur. Dünyadaki canlı yaşamı için oldukça önemli olan karbon, hidrojen ve azot gibi elementlerin aksine, fosfor oldukça uzun bir döngü süresine sahiptir. Doğadaki element döngülerinde çok kilit bir rol oynayan redoks tepkimelerinde yer almayan fosfor, ayrıca diğer önemli elementlerin aksine, doğal sistemlerde hazır kullanılabilir bir besin maddesi olarak bulunmaz. Daha da ilginç olanı ise fosforun bazı kimyasal ve fiziksel özelliklerinden dolayı herhangi bir gaz fazında bulunmamasıdır. Atmosferde serbest bir şekilde dolaşamayan fosfor sadece çok küçük partikül maddeler şeklinde bulunur.

Dünya'daki en yaygın 11. element olan fosfor, yer kabuğunun ağırlık olarak %0,118'lik miktarını oluşturur ve tüm yaşam formları için çok önemlidir. Yetişkin bir insanın vücudunda yaklaşık 0,7 kg fosfor bulunur ve bunun %85'i kalsiyum fosfat şeklinde kemiklerde ve dişlerde yer alır. Moleküler düzeyde ise DNA ve RNA'nın yapısında bulunan fosfor, bir nükleotidi başka bir nükleotide bağlayan köprülerin kurulmasında önemli görev üstlenir. Hücrelerdeki birincil enerji kaynağı olan ATP'nin (adenin tri-fosfat) önemli bir kısmını oluşturur ve organizmaların hücre duvarlarının yapısında bulunur.

15 P  
30.974





Fosfor okyanuslardaki verimlilik ve canlı yaşamı için oldukça önemli olan dört elementten (karbon, azot, fosfor ve demir) birisidir. Amerikalı okyanusbilimci Alfred C. Redfield dünyanın dört bir yanındaki denizlerden ve okyanuslardan toplanan biyokütle örneklerini inceleyip denizlerdeki alt besin zincirinde yer alan fitoplanktonların içerdiği element oranlarının şaşırtıcı derecede her yerde aynı olduğunu buldu. Bir fitoplanktonun kuru maddesinde 106 karbon atomuna karşılık, 16 azot, 1 fosfor ve 0.1-0.001 oranlarında demir atomu bulunduğunu gösteren bu oran, Redfield oranı olarak adlandırılır ve şu şekilde ifade edilir:

“106C: 16N: 1P: 0.1-0.001Fe”.

Biyolojik olarak kullanılabilir fosfor miktarı karbon ve azot miktarlarına nazaran doğada düşük derişimde olduğundan çoğu deniz ve okyanuslardaki biyolojik verim fosfora bağlıdır. Bu yüzden, özellikle ötrofikasyon sorunu yaşayan göl gibi durgun su ekosistemleri ile deniz ve okyanus sahillerinde sucul ortama ulaşan fosfor kaynaklarını kontrol altında tutmak büyük önem taşır.

Karasal yaşamda ise fosfor ihtiyacı hayvansal ve bitkisel beslenme ile düşük seviyelerde karşılanır. Bitkiler, topraktan aldıkları fosforu hücre büyümesinde, meyve ve tohum oluşturmada kullanır. Bitkiler tarafından kullanılabilir biyolojik fosfor miktarı toprakta doğal olarak oldukça düşük seviyelerde olduğundan, toprak veriminin artırılması ve bitkisel büyümenin hızlandırılması için fosfor içeren gübrelerin kullanımına ihtiyaç duyulur.



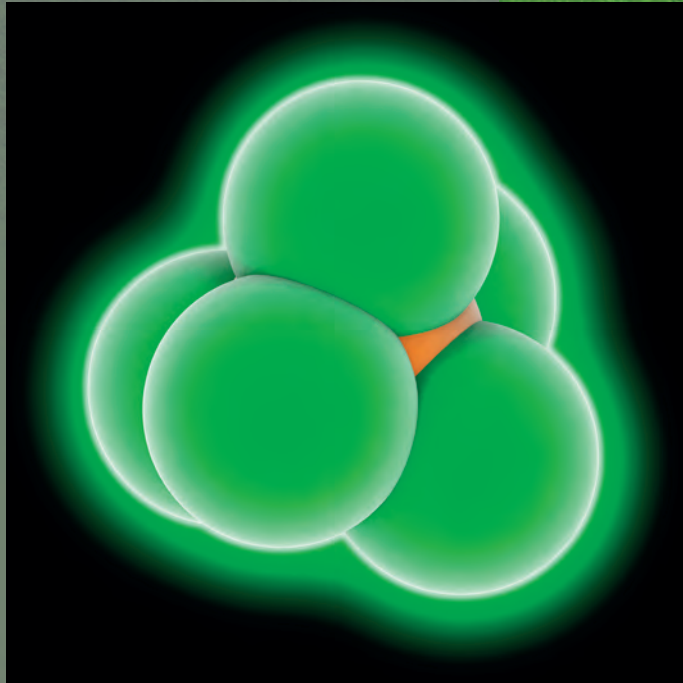


# Yer Altı Kaynağı Olarak Fosfor

Fosfor tarımsal verimliliğin artmasında çok önemli rol oynar. Fosfor yerine kullanılacak herhangi bir alternatif de şu an için yok. Azotun aksine fosfor havadan çekilip üretilmiyor (Haber-Bosch Süreci) ve fosfat madenlerinin kullanımından başka herhangi bir mevcut üretim yolu da bulunmuyor. Bazı araştırmacıların hesaplamalarına göre, et ve süt ürünleri ağırlıklı beslenme şeklinin artması, küresel nüfus artışı, biyodizel yakıt endüstrisinin hızlı bir şekilde gelişmesi gibi nedenlerden dolayı önümüzdeki 50-100 yıl içerisinde bilinen maden rezervlerinin tükeneceği tahmin ediliyor. İlerleyen yıllarda rezervlerin kalitesinin azalacağı, yer altından çıkarma, işleme ve taşıma maliyetlerinin artacağı ve az gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerin çiftçilerinin son yıllarda artan fiyatlar karşısında fosfor içeren gübreleri günümüzde dahi kullanamadıkları düşünüldüğünde stres altındaki bölgelerde yaşanılacak besin kıtlığı problemi daha da artacak gibi görünüyor.

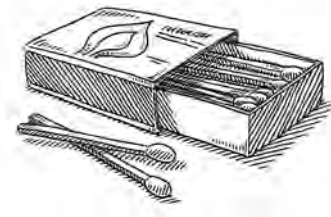
Fas, Çin, ABD, Ürdün ve Güney Afrika dünyadaki bilinen fosfat rezervlerinin %95'inden fazlasına sahip. Diğer ülkelerin gerçekleştirecekleri tüm tarımsal faaliyetlerde fosfor ihtiyacı bakımından bu ülke rezervlerine bağımlı oldukları düşünülürse, ileride yaşanılacak arz talep sıkıntıları nedeniyle, fosfat madenlerinin de petrol ve su gibi stratejik bir yer altı kaynağı olarak sınıflandırılması kaçınılmaz olacak. MTA'nın verilerine göre, ülkemizdeki muhtemel fosfat rezervi 15 milyon ton civarlarında ve Türkiye maalesef bu maden kaynağı bakımından zengin ülkeler sınıfında yer almıyor.

Yetişkin bir insanın vücudunda yaklaşık **0,7 kg fosfor** bulunur ve bunun %85'i kalsiyum fosfat şeklinde kemiklerde ve dişlerde yer alır.





# Fosfor Kıtlığını Önlemek için Neler Yapılabilir?



**B**ilim insanlarının hesaplamalarına göre gübre elde etmek için madenden çıkarılan fosforun sadece 1/5'i soralara yiyecek olarak ulaşıyor. Geri kalan kısmı maden çıkarımı, gübre üretimi, gübrenin tarlalarda uygulanması, erozyon, yüzeysel sularla akış, yer altı sularına karışma, hasat işlemleri, hayvan yetiştirme, besin işleme, evsel veya endüstriyel tüketim ve metabolizma atıkları olarak kayboluyor. Peki, kibritten havai fişeye, deterjandan diş macununa, kabartma tozundan gübreye, izli mermilerden işaret fişeklerine kadar günlük hayatımızda çok çeşitli amaçlar için kullanılan fosforun, ilerleyen yıllarda yaşanılması muhtemel erişim problemi için nasıl bir çözüm bulunabilir? Bunun için kesin bir çözüm maalesef yok! Ancak olası çözüm veya çözümlerin bölgesel şartlara uygun olması, yerel çevreyle, ülkenin ekonomik yapısıyla, kültürel birikimiyle ve kentsel altyapı sistemleriyle uyum içinde çalışması ve ulusal yönetimler tarafından uygulanacak yöntemlerin mevzuatlarla desteklenmesi oldukça önemli.

Uygulanan fosfor gübresi- nin sadece %15-30'luk oranının yetiştirilen ürünler tarafından özümlediği düşünül- düğünde tarımda gerçekleştirilecek iyi uygulamalar bu konuda atılacak ilk adımlardan biri olabilir. Örneğin, sadece belirli tarihlerde (bitkilerin en fazla besine ihtiyaç duyduğu ve kısmen kuru sezonda) gübrelemenin gerçekleştirilmesi, aşırı gübre ve su kullanımının önüne geçilmesi, toprak kaybı ve erozyonunun engellenmesi, doğal veya yapay

seleksiyon ile fosfor tutma kapasitesi yüksek olan bitkilerin ıslahı ve kullanılması, topraktan besin alım oranlarının artırılması ve çiftçilerin bilgilendirilmesi gibi yöntemlere başvurulabilir. Bu yöntemlerin biri veya birkaçı uygulanarak kayıplar önlenabilir ve çevre kirliliği azaltılabilir. Ayrıca yerel tarım ürünlerinin tüketilmesi de uzak mesafelerden besinlerin tedari- ki sırasında yaşanan bozulmalardan kaynaklanan kayıpları en aza indirebilir.



Çeşitli ülkelerde geliştirilen sürdürülebilir tarımsal uygulamalarda çeşitli atık ve artıklar biyolojik reaktörlerde çürütülüyor, anaerobik ortamda gerçekleşen tepkimeler sonucunda enerji geri kazanımı için metan gazı ve tarımda kullanılmak üzere fosfor açısından zengin gübre elde ediliyor. Ayrıca bir insanın bir günde oluşturduğu dışkı içerisinde ortalama 1,2 gram fosfor bulunduğu ve fosfor içeren atıkların denizlere deşarj edilen toplamı düşünüldüğünde, bu miktarın dünya fosfor tüketiminin yaklaşık %20'sine denk geldiği tahmin ediliyor. Özellikle sürdürülebilir bir çevre yönetimi ve kaynakların verimli kullanılması için kentsel atıkların yönetimi ve bu besleyici elementlerinin tekrar geri kazanımı oldukça önemli. Özellikle az gelişmiş ülkelerde artmış ve artılmamış kentsel atıkların tarımda kullanılması yaygın olarak başvurulan bir yöntem.

Bu şekilde fosfor ve diğer besleyici elementler açısından zengin su kaynakları tarımsal amaçlarla kullanılıyor. Kentsel atık su arıtma tesislerinin çamurları fosfor ve çeşitli besleyici elementler bakımından zengindir. Bunların toprakla karıştırılarak tarımsal uygulamalarda kullanılması karşılaşılan bir diğer uygulama yöntemi. Yalnız bu noktada dikkat edilmesi gereken en önemli husus, altyapı sistemlerinin iyi bir şekilde geliştirilmesi ve kentsel suların içine hiçbir şekilde ağır metal ve zehirli kimyasallar içeren sanayi atık sularının karışmaması. Ayrıca, atık suları sulama amaçlı kullanan çiftçilerin yeterli güvenlik önlemlerini alarak sağlık sorunu oluşturabilecek riskleri azaltması da oldukça önemli.

İnsan üresi, fosfor ve diğer besleyici elementler bakımından zengin olduğu için bunu değerlendirmek üzere dünyanın çeşitli bölgelerinde üre ve dışkıyı ayırıp toplayan sistemler geliştirilmiş.

İdrar ayıran tuvaletler olarak bilinen, oldukça düşük maliyetli bu sistemler vasıtasıyla bir toplama tankında biriktirilen üre yerel çiftçiler tarafından belirli aralıklarla toplanıyor ve likit gübre olarak tarımsal faaliyetlerde kullanılıyor.

İlerleyen yıllarda, gelişen teknoloji sayesinde okyanus ve deniz tabanında biriken fosforun alınarak fosfat madeni gibi kullanılabilirliği bilim insanlarının öngörülerinde yer alıyor. Ayrıca alg ve deniz yosunu gibi deniz canlılarının da fosfor kaynağı olarak kullanılabilirliği yapılan araştırmalarla kanıtlanmış. Bilim çevrelerinde, yaşanılması muhtemel bir fosfor kıtlığının önlenmesi için devletlerin veya devletlerarası bir oluşumun bu konu üzerinde hassas bir şekilde çalışması ve gelecek planlaması yapması gerektiği belirtiliyor. ■

#### Kaynaklar

- <http://www.rsc.org/periodic-table/element/15/phosphorus>  
<http://www.mdpi.com/2071-1050/3/10/2027/html#b44-sustainability-03-02027>  
[http://www.firt.org/sites/default/files/SteveVanKauwenbergh\\_World\\_Phosphate\\_Rock\\_Reserve.pdf](http://www.firt.org/sites/default/files/SteveVanKauwenbergh_World_Phosphate_Rock_Reserve.pdf)  
<http://www.mta.gov.tr/v3.0/bilgi-merkezi/maden-rezervleri>  
[http://pdf.usaid.gov/pdf\\_docs/Pnadw835.PDF](http://pdf.usaid.gov/pdf_docs/Pnadw835.PDF)  
 Elser, J. ve Bennett, E., "Phosphorus Cycle: A Broken Biogeochemical Cycle", *Nature*, Sayı 478 (7367), s. 29-31, 2011.  
 Ashley, K., Cordell, D. ve Mavinic, D., "A Brief History of Phosphorus: From the Philosopher's Stone to Nutrient Recovery and Reuse" *Chemosphere*, Sayı 84 (6), s. 737-746, 2011.  
 Moore, C. M., Mills, M. M., Arrigo, K. R., Berman-Frank, I., Bopp, L., Boyd, P. W., Galbraith, E. D., Geider, R. J., Guieu, C., Jaccard, S. L., Jickells, T. D., Roche, J. La., Lenton, T. M., Mahowald, N. M., Maranon, E., Marinov, I., Moore, J. K., Nakatsuka, T., Oschlies, A., Saito, M. A., Thingstad, T. F., Tsuda A. ve Ulloa O., "Processes and Patterns of Nutrient Limitation", *Nature Geoscience*, Sayı 6, s. 701-710, 2011.  
 Van Vuuren, D. P., Bouwman, A. F. ve Beusen, A. H. W. "Phosphorus Demand for the 1970-2100 Period: A Scenario Analysis of Resource Depletion", *Global Environmental Change*, Sayı 20, s. 428-439, 2010.  
 Dominguez, H., "Algae as a Source of Biologically Active Ingredients for the Formulation of Functional Foods and Nutraceuticals", *Food Science, Technology and Nutrition*, Sayı 1, s. 1-19, 2013.  
 Filippelli, G. M., "The Global Phosphorus Cycle: Past, Present, and Future", *Elements*, Sayı 4 (2), s. 89-95, 2008.  
 Cordell, D., Drangert, J. O. and White, S., "The Story of Phosphorus: Global Food Security and Food for Thought", *Global Environmental Change*, Sayı 19(2), s. 292-305, 2009.

