

Azot Darboğazı

Her yerde var, ama siz onu göremiyorsunuz. Her soluduğunuzda onu alıyorsunuz, ama vücudunuz bu haliyle kullanmıyor, solukla dışarı veriyor onu. Pek az sayıda insan ona ilgi duysa da canlılarda en yaygın olarak bulunan en önemli elementlerden biri. Öneminin pek de farkına varılmayan azot, biyosferin korunmasında büyük bir yük taşıyor ve belki de bu yükü şimdilerde gereğinden fazla arttı. Azot, daha gösterişli olan akrabası karbonun gölgesinde kalmış gibi görünüyor, ancak ona daha çok dikkat etmemizin zamanı geldi.

Azot, yaşam için gerekli bir öğe ve canlıların her hücresinde var. Öyle ki bu kokusuz ve renksiz gaz, soluduğunuz havanın yüzde 80'ini oluşturuyor. Ancak, N₂ ile gösterilen ve iki azot atomundan oluşan, havadaki azot moleküllerinin canlılara yararı yok. Bu moleküllerdeki azot atomları öyle sıkı sıkıya birbirine tutunmuş ki başka herhangi bir şeyle kolaylıkla tepkimeye girmiyorlar.

Azotun canlı organizmalarca kullanılabilmesi için "bağlı" olması yani, azot atomlarının birbirinden ayrılarak, bir daha birleşemeyecek biçimde oksijen gibi bazı atomlara tutunması gerekiyor. Doğada bu, çoğunlukla bakteriler, biraz da şimşekler tarafından sürekli yapıyor. Sistem çok uzun süre boyunca iyi çalışmış. Ta ki I. Dünya Savaşı'nda Almanya, bağlı bir azot biçimi olan amonyakın sentezini gerçekleştirene kadar. Haber süreci adı verilen bu süreç, yüksek basınç ve sıcaklık altında

tepkimeyi hızlandıracak bir katalizörle havada bulunan moleküler azotla hidrojenin birleştirilmesi işlemini içeriyor. Bu süreç sonunda, bir azot ve üç hidrojen atomu içeren amonyak oluşuyor.

Fabrikasyon yöntemleriyle bağlanan azot, gübre olarak da önemli hatta zorunlu bir konuma geldi. II. Dünya Savaşı'ndan sonra tarımda kullanımı çok arttı. Bugün, bazı çiftlik arazilerini ve akarsuları besleyen yeraltı suları da kirlendi ve bu yüzden nehir ağzları, azot içeren besinlerin fazla olması nedeniyle oksijen yetmezliğine girdi. Doğal azot döngüsünde, element sürekli olarak yeniden parçalanacak olan bileşiklere dönüşüyor. Dünya, günümüzde darboğaza girmiş büyük bir moleküler azot deposu içeriyor. Bakterilerin azotu canlılara yararlı hale getirme kapasiteleri bu darboğazı oluşturuyor. Bir bitki ya da hayvan öldüğünde, azotlu bileşiklerinin bazıları toprakta kalır ve gübre oluşturur. Sonuç olarak, azot çözücü bakteriler, azotu iki atomlu moleküler forma dönüştürürler ve atmosfere geri verirler. Bu sırada, ozon tabakasına zarar veren sera gazlarından biri olan N₂O'yu da üretirler. Bu, çevre bilimcilerin çok iyi bildikleri azot döngüsüdür. Burada çok basit olarak ele alınan döngünün gerçek işleyişi daha karmaşıktır.

Atmosferde yaklaşık 4 katrilyon ton azot var. Ayrıca, okyanuslarda yaklaşık 20 trilyon ton çözünmüş ve karalarda yaklaşık 100 milyar ton bağlı azot bulunuyor. Karadaki bağlı azotun (kayalar, tortullar ve kömür hariç) yaklaşık 4 mil-

yar tonu bitki ve hayvanlarda, kalanı ise ölmüş ve parçalanmakta olan bitki ve hayvanlarda bulunur. Bunlarda bulunan azot sonuçta moleküler azot olarak ya da başka biçimde atmosfere döner.

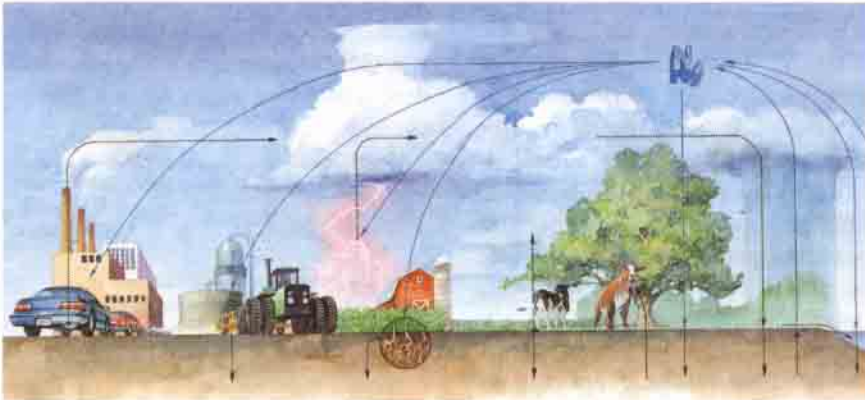
Karalardaki bağlı azotun en önemli doğal kaynağı bakterilerdir. Bu konudaki görüşler değişebiliyor, ama uzmanlar yıllık toplam üretimin 90-140 milyon ton tadar olduğunu düşünüyorlar. Azotu bağlayan bakterilerin çoğu doğada bağımsız olarak bulunurlar, ancak büyük bir kısmı, baklagiller olarak bilinen bitki ailesinin köklerindeki yumrularla yaşarlar. Dünyada her saniyede ortalama 100 şimşek çakar. Her şimşek, çevresindeki atmosferi, azotun yanarak, azot oksit (bir azot ve bir ya da iki oksijen atomundan oluşan bileşik) haline dönüşebileceği bir sıcaklığa kadar ısıtır. Bu azotun bir kısmı asit yağmuru olarak toprağa ulaştıktan sonra, canlıların kullanabileceği biçimi olan nitrata dönüşür. Şimşekler, yılda 10 milyon tondan daha az miktarda azotun bağlanmasını sağlarlar.

On bin yıl önceki tarım devriminden ve iki yüzyıl önceki sanayi devriminden beri insanoğlu bağlı azot miktarını üç temel yolla artırmaktadır. Önem sırasına göre, fosil yakıt yakmak, baklagiller ailesinden olan bitkiler yetiştirmek ve gübre olarak kullanmak üzere sanayi ürünü bağlı azot üretmek.

19. yüzyılın ortalarından beri insanlar, kömür ve petrol gibi fosil yakıtları yakıyorlar. Bu yakıtların yanması havadaki azotu, azot ve oksijen içeren bileşiklere dönüştürüyor. Bunun bir kısmı, dumanlı sisin (smog) ve asit yağmurlarının başlatıcısı olan azot oksittir (NO). Fosil yakıtların yakılması, azot döngüsüne yıllık olarak 20 milyon tondan daha fazla bağlı azot katılmasını sağlıyor.

Çiftçiler, yüzyıllardır kullanılamaz hale gelmiş tarlaları yeniden canlandırmanın yolunun buralara baklagil ekmek olduğunu biliyorlardı. Böylece azot toprağa geri dönüyordu. Bugün, baklagiller küresel ekosisteme her yıl 40 milyon ton civarında bağlı azot ekler.

Ürün yetiştirmede, bağlı azot kaynağı çoğunlukla sınırlayıcı bir etkidir. Çiftçiler, binlerce yıldır toprağa azotça



Düz çizgilerle atmosferdeki azot, noktalı çizgilerle bağlı olan ve toprakta mikroorganizmalarca bitkiler ve baklagil kökleri (ambarın altındaki) için yararlı hale getirilmiş azot, ayrıca şimşek ve gübre fabrikalarının (traktörün arkasında) ürettiği azot gösteriliyor.

zengin gübre eklerler. Ancak azotun ticari amaçlarla bağlı hale getirilmesi yeni bir dünyaya kapı açmış oldu. Bu tip gübrelerin üretimi birkaç milyon tondan, bugün 80 milyon tona kadar ulaşmış bulunuyor. Bunların hepsi çiftliklere gitmiyor. Bağlı azot, toprağa bırakıldıktan sonra, bir kısmı bitkilerce ve bitkileri yiyen canlılarca alınır. Bir kısmı da atmosfere geri döner. Bir kısmı yüzeydeki ya da yeraltındaki sularla taşınır. Böylece, nereye, niçin uygularsak uygulayalım, küresel ekosisteme sürekli bağlı azot ekliyoruz.

Fosil yakıtların yakılması, baklagil yetiştirilmesi ve azotun ticari amaçlarla bağlanması yollarıyla yaptığımız eklemleri toplarsak, yılda 140 milyon ton gibi bir sonuca ulaşırız. İnsan etkinlikleri, doğadaki temel döngülerden birine baskın hale gelmiştir. Son elli yıldır, azot döngüsüne hükmediyoruz. Dünyanın bazı bölgelerinde, özellikle Avrupa'da "azot doygunluğu" oluşuyor. Azot doygunluğu durumunda, ekosistem depolayabileceği tüm azotu alıyor ve daha fazla eklendiğinde, fazlası havaya ya da suya karışıyor.

Bağlı azot içeren gübreler, dünyanın artan nüfusunu doyurmak için gerekiyor. Gelişmekte olan ülkelerde kişi başına düşen günlük kalori gereksinimi, 1969-1971 yılları arasında dünyanın nüfusu 3,7 milyar iken 2140'a, 1990 ve 1992 yılları arasında 5,3 milyar olduğunda, 2520'ye çıktı. Bu başarı azotsuz olamazdı.

Günümüzde yanıtlanması gereken iki temel soru var: 1. Gereğinden fazla bağlı azot içeren bir dünya nasıl bir dünyadır? 2. İnsanoglu bunu önlemek için ne yapabilir? İlk soruya verilebilecek bir yanıt, Minnesota Üniversitesi'nden David Tilman'ın yürüttüğü uzun süreli bir çalışmadan geliyor. Çalışma, Minneapolis'in 50 km kuzeyindeki Cedar Creek Doğa Tarihi Alanı'ndaki yeşillik alanlarda yapıldı. Tarlalar 207 parçeye ayrıldı. Bunların bazılarına hiçbir uygulama yapılmadı. Bazılarında toprağa fosfor ve potasyum gibi temel besinler katıldı, ama azot eklenmedi. Geri kalan alanlara ise temel besinlerin yanında yedi farklı dozda azot verildi. Azot verilmiş olan alanlarda biyokütle üretimi daha çok oldu ve en yüksek dozda azot verilmiş alandaki üretim en verimli oldu. Bu alanlarda biyokütle üretiminin yükselmesine kar-



Az miktarda azot verilen tarlada (solda) bir düzine bitki türü varken, çok miktarda azot verilen tarlada (sağda) yalnızca ayrıkotu yetiştiriyor.

şın, tür sayısı düştü. Bazı bitkiler (yerel olmayan otlar) daha hızlı büyüyerek, ışığı kullanmada onun kadar başarılı olmayan türlere gölge yaptı. Gübre miktarı yüksek olan alandaki ortalama tür sayısı, gübrelenmiş alanlardakinin yarısı kadardı. En çok azot verilen alanlarda yalnızca bir tür gelişti. Tilman'a göre azotça zengin bir dünya "yeşil ve bol yabancı otlı" olabilir.

Stanford Üniversitesi'nden biyolog Peter Vitousek, azotça zengin dünyanın kahverengi görünüşlü ve verimsiz olmayacağını, ancak biyolojik çeşitliliğin azalacağını, daha puslu günler yaşanabileceğini, göl ve nehirlerde su yüzeyinde daha çok yeşil birikinti olacağını düşünüyor. "Böyle bir dünyada yaşamayı istemem, ama felaketle kalite düşüklüğünü birbirinden ayırma da çok önemli." diyor. Avrupa'nın azot doygunluğuna ulaşmada daha çok yol almış olduğunu ama çoğu kişinin buraları yaşamayacak bir yer olarak görmediğini de belirtiyor. Havadaki azot bileşiklerinden kaynaklanan pus ve birkaç eko-



Bezelye bitkisinin kökünde moleküler azotu amonyağa çeviren bakterilerin bulunduğu yumrular.

sistemin yok olması çoğu kişi için bir şey ifade etmiyor.

Uzmanların çoğu, azot kullanımını azaltma konusunda ilk olarak çiftliklerden başlamada hemfikirler. Bazı çiftliklerde gübre, bitkilerin onu kullanabileceğinden çok uzun süre önce toprağa veriliyor. Böylece bitkilerce kullanılmaya kadar azot topraktan gidiyor. Vitousek, üretimi düşürmeden azot kullanımını azaltmak için geliştirilen teknikleri "duyarlı tarım" olarak adlandırıyor. Belki de azotu daha sık, ama daha az uygulamak, onu bir kerede tarlaya boca etmekten daha iyi olacak.

Duyarlı tarım için bir örnek de Pamela Matson ve Berkeley'deki California Üniversitesi'nden arkadaşlarının Maui'deki büyük bir şeker kamışı tarlasında yaptıkları bir araştırma. Bitkilere, yeraltı sulama sisteminden, dikkatli bir zamanlamayla belirlenen dozda gübre verildikten sonra, bölgedeki azot gazı kaybı ölçüldü. Sonuç: Daha az azot kullanılan şeker kamışı tarlalarında, havaya verilen azotlu bileşik miktarında büyük bir düşüş.

Vitousek, doğal ve yapay sulak alanların, azotun tutulup, atmosfere moleküler (serbest) azot olarak geri verilebileceği yerler olarak kullanılabilirliğini düşünüyor. "Tüm yapacağımız, azot çözücü bakterilerin çalışabilecekleri bir ortam yaratmaktır." diyor.

Bilim adamları, tarihte ilk kez gezegenimizin büyük doğal döngülerinden birine insanogluğunun hükmetmesi gibi bir durumla karşı karşıyalar. Vitousek'e göre, "İyi günde de kötü günde de dünya bizim ellerimizde."