

## GÜBRELERİN ÇEVRE KİRLİLİĞİ ÜZERİNE ETKİLERİ

A. Turgut KÖSEOĞLU

Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bölümü, Antalya

**Özet:** Tarımda kullanılan gübrelerden kaynaklanan çevre kirliliği ve bu kirlenmenin insan sağlığı üzerindeki etkileri son yıllarda yoğun biçimde tartışılmaktadır. Bu makalede, konu ile ilgili olarak Türkiye'de ve diğer ülkelerde yapılan çalışmaların ışığında, gübrelerin yeraltı ve yerüstü sularında, topraklarda ve bitkilerde meydana getirdiği kirlenmenin mekanizması ve boyutları ile insan sağlığına etkileri incelenmiştir. Yapılan değerlendirmeler sonucunda, özellikle fazla miktarda gübre kullanılan Avrupa ülkelerinde yeraltı sularındaki nitrat ( $\text{NO}_3$ ) kirliliğinden büyük oranda tarımda kullanılan gübrelerin sorumlu bulunduğu, Ülkemizde ise gübre kaynaklı  $\text{NO}_3$  kirliliğinin henüz önemli boyutlarda olmadığı söylenebilir.

### Effects of Fertilizers on Environmental Pollution

**Abstract:** Environmental pollution caused by fertilizer used in agricultural practices and its effects on human health is being extensively discussed in recent years. In this paper, the mechanism and importance of the pollution in the waters, surface and underground, soils and plants, and its effects on the human health were investigated by using researches carried out in Turkey and other countries. It is concluded that extensive application of fertilizers in the European countries is responsible from the nitrate ( $\text{NO}_3$ ) pollution in the underground waters, whereas in Turkey  $\text{NO}_3$  pollution caused by agricultural fertilizer applications did not reach important levels yet.

### Giriş

Bilindiği gibi gübreler, bitkiler için gerekli besin maddelerini kapsayan ve doğal hammaddelerdeki kimyasal yapının değiştirilmesi ile veya tamamen sentetik yollarla üretilmiş kimyasal bileşiklerdir. Gübrelemenin amacı, her yıl bitkiler tarafından alınan veya değişik yollarla topraktan uzaklaşan bitki besin maddelerini tekrar toprağa kazandırmak ve böylece bitki gelişimi için gereksinim duyulan besin maddelerini sürekli olarak toprakta bulundurmaktır.

Tarımın vazgeçilmez girdilerinden olan gübrelerin çevre kirliliği üzerine olan etkileri, son yıllarda üzerinde yoğun tartışmaların yapıldığı güncel bir konu haline gelmiştir. Organik ve inorganik özellikteki gübrelerin çevre kirliliğine neden olabilecek bazı maddeleri içerdiği bilinmektedir. Bu maddelerin bazıları bitkiler için gerekli besin elementleri, bazıları ise gübre üretiminde kullanılan hammaddelerde doğal olarak bulunan ve bitkiler için mutlak gerekli olmayan maddelerdir. Bitkilerin besin maddesi gereksinimlerinin karşılanması amacıyla toprağa uygulanan gübreler, içermiş oldukları kirleticiler nedeniyle, bilinçsizce ve aşırı bir şekilde kullanıldıklarında çevre kirliliği riskini de taşımaktadırlar.

Bu makalede, tarımda kullanılan kimyasal gübreler nedeniyle sularda, topraklarda ve bitkilerde meydana gelen kirlenmenin mekanizması ve boyutları ile insan sağlığı üzerindeki etkileri tartışılmaktadır.

### Gübreler ve Su Kirliliği

Dünyadaki toplam suyun %97'si okyanuslarda ve denizlerde tuzlu su olarak, %3'lük kısmı ise tatlı su olarak bulunmaktadır. Tatlı suyun %77.6'sını kutuplardaki buzlar ve karlar, geri kalan %22.4'ünü ise göllerdeki ve akarsulardaki sular ile yeraltı suları oluşturmaktadır (1). Bu verilerden de anlaşılabilir gibi dünyadaki kullanılabilir haldeki tatlı su miktarı son derece kısıtlıdır. Diğer taraftan topraklara göre oldukça homojen karakterdeki sular, kirlenmeye karşı daha duyarlıdır. Son derece kısıtlı ve kirlenmeye karşı duyarlı olan suların optimum şekilde kullanılması ve bu kullanım sırasında kirlenmeye karşı dikkatli olunması gerekmektedir. Ancak ne yazık ki çeşitli faaliyetler sonucunda su kaynakları geriye dönüşümsüz olarak kirlenme riski altındadır. Tarımda kullanılan kimyasal gübrelerin su kirliliği üzerindeki rolü de son yıllarda yoğun olarak tartışılmaya başlanmıştır.

Genel olarak bitkilerin en çok gereksinim duyduğu besin elementlerinin başında azot (N) gelmekte ve kullanılan kimyasal gübrelerin büyük bir kısmını N'lu gübreler oluşturmaktadır. Bitkilerin N'lu topraktan nitrat ( $\text{NO}_3$ ) ve amonyum ( $\text{NH}_4$ ) formlarında almaları nedeniyle, N'lu gübrelerde N,  $\text{NO}_3$ ,  $\text{NH}_4$  veya organik formlarda bulunmaktadır. Azotu  $\text{NH}_4$  ve organik formda (örneğin üre veya çiftlik gübreleri) içeren gübrelerin ise toprakta geçirdikleri aminizasyon, amonifikasyon ve nitrifikasyon gibi biyokimyasal değişimler sonucunda, bünyelerindeki N'lu bileşikler, zincirin son halkası olan  $\text{NO}_3$ 'a dönüşmektedir. Nitratın ise toprakta herhangi bir tutulma mekanizmasına sahip olmaması nedeniyle, yağmurların ve sulama sularının etkisiyle kolayca yıkanarak taban suyuna, hatta içme suyu sağlayan aküferlere karışması söz konusu olmaktadır.

Tarımsal üretimde kullanılan N'lu gübreler ile toprağa uygulanan N'un tümünün bitkiler tarafından alınmadığı ve bir kısmının çeşitli yollarla kayba uğradığı bilinmektedir. Bu konuda yapılan çalışmalara göre, uygulanan N'un %50'sinin ilk yıl bitkiler tarafından alındığı, %30'unun mikroorganizmalar tarafından organik formda fikse edildiği, %15'inin denitrifikasyona uğradığı ve %5'inin ise yıkanarak toprağın alt katmanlarına ve yeraltı sularına karıştığı saptanmıştır (2). Yıkanarak yeraltı sularına karışan N'un %5 gibi düşük bir oranda olmasına karşın, N'lu gübrelerin diğer tüm gübrelerden daha fazla miktarlarda kullanıldığı dikkate alınır, yeraltı sularına karışan N'un küçümsenmeyecek boyutlarda olduğu anlaşılabilir. Amonyum formundaki N'un toprak kolloidleri tarafından adsorbe edilebilmesi nedeniyle yıkanmaya karşı dayanıklı olduğu bilinmektedir. Nitekim yıkanarak yeraltı sularına karışan N'un %99'unun  $\text{NO}_3$  formunda, %1'inin ise  $\text{NH}_4$  formunda olduğu saptanmıştır (3).

Azotlu gübrelerin, içme suyu olarak kullanılan yeraltı ve yerüstü suları üzerine olumsuz etki yapan bileşenlerinin başında  $\text{NO}_3$  iyonu gelmektedir. içme sularının  $\text{NO}_3$  konsantrasyonları Dünya Sağlık Örgütüncü (WHO) 50 ppm (11.3 ppm  $\text{NO}_3$ -N) ile sınırlandırılmıştır (4).

Oldukça fazla miktarda gübre kullanılan (Türkiye ortalamasının yaklaşık 4-5 katı) Avrupa ülkelerinde yeraltı ve yerüstü sulardaki  $\text{NO}_3$

kirliliğinden büyük oranda tarımsal faaliyetlerde kullanılan gübrelerin sorumlu olduğu vurgulanmaktadır. Örneğin İngiltere'de çiftlik artıklarından ve N'lu gübrelerden kaynaklanan kirliliğin incelenmesi amacıyla yapılan bir çalışmada nehir ve yeraltı sularındaki NO<sub>3</sub> konsantrasyonunun yaklaşık %75'inin tarımsal faaliyetlerden kaynaklandığı açıklanmıştır. Ayrıca NO<sub>3</sub> kirliliğinin oluşmasında N'lu kimyasal gübrelerin etkisinin, toprak organik maddesinin mineralizasyonu sonucu açığa çıkan N'lu bileşiklerin etkisinden daha fazla olduğu bildirilmiştir (5). Ayrıca Çekoslovakya'da yoğun tarımsal üretim yapılan bölgelerde uygulanan N'lu gübre miktarı ile yeraltı sularındaki NO<sub>3</sub> konsantrasyonu arasındaki ilişki incelenmiş ve son 30 yıllık periyotta kullanılan gübre miktarı 8 kat artarken, tarım arazilerinin altındaki yeraltı sularında NO<sub>3</sub> konsantrasyonunun iki katına çıkmış olduğu saptanmıştır. Araştırmanın yürütüldüğü alanda (32,760 ha) yılda hektara çeşitli yollarla (inorganik ve organik gübreler, simbiyotik N fiksasyonu ve yağışlar) toplam olarak 163 kg N verildiği, bu miktarın %75'inin bitki tarafından alınarak ve denitrifikasyonla kaybolarak uzaklaştığı hesaplanmıştır. Geriye kalan %25'lik kısmının ise yıkanarak yeraltı suyu sistemine karışma olasılığının bulunduğu belirtilmektedir. Bu bulgulara dayanarak sözkonusu ülkede yeraltı sularındaki NO<sub>3</sub> kirliliğinin, üzerinde önemle durulması gereken ciddi sorunlardan biri olduğu sonucuna varılmıştır (6).

Yine Avrupa ülkelerinden Belçika ve Finlandiya'da yoğun sebze tarımı yapılan bölgelerde yeraltı sularındaki NO<sub>3</sub> kirliliğinin drenaj sularındaki NO<sub>3</sub> konsantrasyonları ile ilişkili olduğu saptanmıştır. Bu bölgelerde kış periyodu boyunca 100-300 kg/ha düzeyinde NO<sub>3</sub>-N'unun yıkanarak kayba uğradığı bildirilmektedir. Çalışmanın yürütüldüğü bölgenin hemen hemen tümünde drenaj sularındaki NO<sub>3</sub>-N konsantrasyonunun içme suları için verilen 11.3 ppm NO<sub>3</sub>-N sınırının üzerinde olduğu saptanmıştır (7). Almanya'da ise çeşitli tarla bitkilerine uygulanan N'lu gübre miktarlarının artışı ile drenaj sularının NO<sub>3</sub> konsantrasyonlarının da arttığı saptanmıştır. Kışlık buğdaya uygulanan N'lu gübre miktarının 240 kg/ha'ı geçmesi halinde drenaj sularındaki NO<sub>3</sub> miktarının bildirilen kritik sınırı aştığı açıklanmıştır (8).

Türkiye'de ise bu konuda yapılan çalışmalar çok az sayıda olup, bu çalışmalar ile su kaynaklarındaki çeşitli kirleticilerin yol açtığı kirlenmenin boyutları ortaya konulmaya çalışılmıştır. Örneğin İç Ege Bölgesi sulama sularının bazı özellikleri ve kimyasal içeriklerinin belirlenmesi amacıyla yapılan çalışmada yerüstü ve yeraltı sulama sularının NO<sub>3</sub> içerikleri, içme suları için belirtilen kritik sınırın (50 ppm) altında bulunmuştur. Yeraltı su örneklerinin sadece birinde NO<sub>3</sub> konsantrasyonu yüksek (448.3 ppm) bulunmuş olup, bu durum, su örneğinin alındığı yörede (Manisa-Alaşehir) potasyum nitrat (KNO<sub>3</sub>) yataklarının bulunması ile açıklanmıştır (9). Ayrıca İzmir İli civarındaki bazı önemli endüstri kuruluşlarının tarım arazileri ve sulama sularında oluşturdukları kirlilik boyutlarının belirlenmesi amacıyla yapılan çalışmada ise incelenen su örneklerinin NO<sub>3</sub> konsantrasyonunun ortalama olarak 6.7 ppm düzeyinde olduğu saptanmıştır (10). Bu sonuçlara göre Ege Bölgesinde yerüstü ve yeraltı su kaynaklarında NO<sub>3</sub> kirliliğinin önemli boyutlarda olmadığı söylenebilir. Ancak yine İzmir İli yerleşim merkezinden geçen Melez çayında yapılan incelemeye göre NO<sub>3</sub> konsantrasyonunun 83.7-120.9 ppm sınırları arasında bulunduğu ve önemli düzeydeki bu NO<sub>3</sub> kirliliğinin evsel ve endüstriyel kökenli olduğu belirtilmektedir (11).

Ülkemizde tarımsal faaliyetlerin yoğun olduğu ve fazla miktarda gübre kullanılan bölgelerde ise gübre kullanımına bağlı olarak bazı dönemlerde yeraltı ve drenaj sularında  $\text{NO}_3$  miktarının yükseldiği saptanmıştır. Örneğin Bursa ovasında açılan sondaj kuyularında  $\text{NO}_3$  konsantrasyonu başlangıçta 16-20 ppm iken gübreleme mevsimlerinde 110-150 ppm'e kadar yükseldiği belirlenmiştir (12). Gübre tüketimi Türkiye ortalamasının yaklaşık iki katı düzeyinde olan Antalya İlinin Finike ve Kumluca ilçelerinde kapalı drenaj sistemi bulunan üç adet turunçgil bahçesi ile bir adet domates serasında yürütülen çalışmada, özellikle yıkanmanın yüksek olduğu dönemlerde (kış ve İlkbahar) drenaj sularında  $\text{NO}_3$  miktarının yükseldiği belirlenmiştir. Sera drenaj sularının  $\text{NO}_3$  konsantrasyonu 250 ppm gibi yüksek düzeylere kadar çıkarken, turunçgil bahçelerinden alınan drenaj sularında, içme suları için belirlenen 50 ppm sınırının altında kalmıştır. Yörede sulama suyu olarak kullanılan artezyen sularının  $\text{NO}_3$  konsantrasyonu 2-38 ppm değerleri arasında, kaynak sularında ise 1.5-2.6 ppm değerleri arasında bulunmuştur. İçme suyu olarak kullanılan şebeke sularında ise 2.1-13.3 ppm düzeyinde  $\text{NO}_3$  bulunduğu saptanmıştır. Aynı yörede beş yıllık bir dönemde (1989-1993) kullanılan N'lu gübrelerden toplam olarak 830 ton N'un yıkanarak yeraltı sularına karıştığı tahmin edilmektedir (13). Bu verilerden de anlaşılacağı gibi, tarımsal potansiyeli çok yüksek olan ve fazla miktarda gübre kullanılan Finike ve Kumluca yörelerinde N'lu gübrelerden önemli miktarda  $\text{NO}_3$ 'ün yıkanarak yeraltı sularına karıştığı, ancak içme ve kullanma sularında henüz  $\text{NO}_3$  kirliliğinin tehlikeli sınırlara ulaşmadığı söylenebilir.

Tarımda kullanılan fosforlu (P) gübrelerin de su kirliliği üzerinde sınırlı olmakla birlikte bazı olumsuz etkileri olduğu ifade edilmektedir. Göl ve akarsularda bitki, hayvan ve mikroorganizma gelişmesinin artması, ötrofikasyon (eutrophication) olarak adlandırılmakta ve bu olay sulardaki P konsantrasyonu ile çok yakından ilişkili bulunmaktadır.

Göllerde yosunların (alglerin) ve fotosentetik yönden aktif olan diğer yeşil bitkilerin bulunduğu ve aerobik katman olarak adlandırılan üst su katmanı, çözülmüş oksijen ( $\text{O}_2$ ) bakımından zengin bir katmandır. Yosunların ve bitki artıklarının çökerek toplandığı göl tabanı ise anaerobik şartların hüküm sürdüğü ve anaerobik mikroorganizmaların bulunduğu bir katmandır. Bu iki katmanın sınır yüzeyi ise fotosentetik bakteriler için uygun bir gelişme ortamı oluşturmaktadır. Fotosentetik bakteriler, göl tabanındaki çamursu göl çökeltisinde yaşayan anaerobik mikroorganizmaların metabolizma son ürünleri olan metan, etilen, hidrojen sülfür, bütirik asit ve diğer yağ asitlerini fotosentezde elektron vericisi olarak kullanırlar ve böylece aerobik katmanda yaşayan yosunlara ve diğer yüksek bitkilere zehirli olan bu maddeleri parçalamış olurlar. Diğer bir deyişle, fotosentetik bakterilerin bulunduğu katman, bu zararlı maddeleri tutan doğal bir filtre görevi yapar. Göllerde biyolojik dengenin bozulması aerobik yüzey katmanında yosunların daha fazla çoğalmasına yolaçabilir. Bu durumda daha fazla miktarda ölü yosun materyali göl tabanına çökeceği zaman anaerobik mikroorganizmalara bol miktarda besin sağlanmış olur. Böylece çok fazla miktarda zehirli madde üretilir. Söz konusu zehirli maddelerin miktarı, fotosentetik bakterilerin tutma kapasitesini aşarsa, bu organizmaların süzme etkisi azalır veya tümüyle ortadan kalkar ve böylece zehirli maddeler gölün yüzey katmanlarına ulaşma olanağı kazanırlar. Gölün yüzey katmanına ulaşan bu zehirli

maddeler yeşil bitkilerin büyüme ve aktivitelerini olumsuz yönde etkilerler. Böylece fotosentetik O<sub>2</sub> üretimi azalarak, gölün yüzey katmanı giderek havasızlaşır ve sonuç olarak balıklar da dahil olmak üzere, tüm aerobik organizmaların yaşamları tehlikeye girer.

Göl ve akarsularda yosunların gelişmesini çoğunlukla P sınırlandırır ve suların P kapsamındaki artış, çoğu zaman ötrofikasyon derecesi ile paralellik gösterir. Sularda ötrofikasyonun artışına neden olan P konsantrasyonu için kritik düzey 0.01 ppm'dir. Bu kritik düzeyin altındaki P miktarı ötrofikasyonu sınırlandırmaktadır. Bazen ötrofikasyonun artışı, P'lu gübrelerin kullanımındaki artışa bağlanmaktadır. Ancak, P toprakta çok kuvvetli bir biçimde bağlandığı için, tarımsal alanlardan yıkanarak göl ve akarsuları kirletme olasılığı çok düşüktür. Bu nedenle göl ve akarsuların P kirlenmesinde en büyük kaynak tarım değildir. Göl ve akarsuların en önemli P kirleticileri başta deterjanlar olmak üzere kentsel atıklardır. Toprak P'u, yüzey sularına yıkanma yolu ile karışan toplam P'a sadece %4-5 oranında katkıda bulunmaktadır (2).

### **Gübreler ve Toprak Kirliliği**

Tarım toprakları, bünyelerinde bulunan organik ve inorganik kolloidler sayesinde sahip oldukları tamponluk özellikleri nedeniyle, sular ile karşılaştırıldıklarında, kirlenmeye karşı daha dayanıklı ortamlardır. Bu nedenle gübrelerin bileşiminde bulunan bitki besin elementleri yönünden her hangi bir kirlenmenin söz konusu olmadığı söylenebilir. Ancak gübre üretiminde kullanılan hammaddelerde doğal olarak bulunan ve bitkiler için mutlak gerekli olmayan bazı maddelerin tarım topraklarında zamanla kirlenmeye yol açması mümkündür.

Ağır metaller grubuna giren kadmiyum (Cd) elementi önemli bir çevre kirleticisi olarak bilinmektedir. Kadmiyum, kimyasal özellikleri, bitkiler tarafından alınması ve metabolik fonksiyonları bakımından çinkoya (Zn) benzemektedir. Ancak Zn'dan farklı olarak, Cd bitkiler, insanlar ve hayvanlar için toksik etkiye sahip bir elementtir. Doğada Cd kirliliğinin kaynakları çeşitlidir. Örneğin Zn cevherinde Cd/Zn oranı genellikle 1/350 dolayında olduğundan, Zn cevherinden Zn üreten fabrikalar, gerekli önlemler alınmadığı takdirde önemli bir Cd kirleticisidirler. Ayrıca bazı Avrupa ülkelerinde tarımsal amaçla giderek artan bir kullanım alanı bulan kanalizasyon çamurunda diğer ağır metaller ile birlikte bulunan Cd'un miktarı 10-1500 ppm değerleri arasında değişmektedir (14). Endüstri bölgelerinden elde edilen kanalizasyon çamurları, yerleşim bölgelerinden elde edilenlere göre daha yüksek miktarlarda Cd içermektedirler (2). Yollara yakın olan tarım toprakları otomobil lastiklerinden ve motor yağlarından kaynaklanan Cd ile de kirlenmektedir (15).

Tarımda kullanılan P'lu gübreler de Cd kirleticileri arasında sayılabilirler. Fosforlu gübrelerin üretiminde kullanılan kaya fosfatları, kaynaklarına bağlı olarak, oldukça geniş sınırlar arasında değişen miktarlarda Cd içermektedirler. Örneğin önemli fosfat yataklarının bulunduğu ülkelerde P'lu gübre üretimi için kullanılan kaya fosfatlarının Cd içerikleri 0.3-84.0 ppm değerleri arasında değişmektedir (16). Kaya fosfatlarının işlenmesiyle elde edilen süperfosfat gübreleri ise 50-170 ppm değerleri arasında Cd içermektedirler (10). Bu nedenle her yıl yüksek miktarlarda P'lu gübre uygulanan tarım topraklarında Cd miktarının artabileceği düşünülebilir. Nitekim Ege Bölgesinde yapılan bir çalışmaya

göre tarım topraklarında Cd miktarının 0.50-2.88 ppm değerleri arasında değiştiği, bir örnekte ise 4.25 ppm'e kadar çıktığı saptanmıştır (10). Toprakların Cd içerikleri bakımından kritik sınır olarak bildirilen değer 3 ppm'dir (2). Bu değerden daha fazla Cd içeren topraklarda Cd kirliliğinin önemli olduğu söylenebilir.

Fosforlu gübreler içermiş oldukları radyoaktif maddeler nedeniyle de çevre kirliliğine katkıda bulunabilirler. Örneğin bu maddelerden biri radyoaktif uranyumdur (U). Ülkemizde Mazi dağı fosfatlarının 22-61 ppm, yurtdışından ithal edilen fosfat hammaddelerinde ise 50-150 ppm uranyum oksit ( $U_3O_8$ ) bulunmaktadır (17). Ayrıca üretilen süperfosfat gübrelerinde 10 pci/gr  $^{226}Ra$ , 0.5 pci/gr Th ve 2.6 pci/gr  $^{40}K$  bulunduğu belirtilmektedir (18). İzmir İli tarım alanlarında yapılan bir çalışmaya göre ise topraklardaki radyoaktivitenin güvenli sınırlar içinde bulunduğu saptanmış, ancak topraklardaki radyoaktivite düzeyinin düzenli bir şekilde kontrol edilmesi gerektiği ileri sürülmüştür (19).

### Gübreler, Bitki Kirliliği ve İnsan Sağlığı İlişkileri

Bitkilerde kirlilik denilince, genellikle bitkilerin insan ve hayvan sağlığına zararlı maddeler içermesi akla gelmektedir. Bitkisel ürünlerdeki sağlığa zararlı bazı maddelerin miktarları tüm çevre şartlarından çeşitli şekillerde etkilenmektedir. Bu çevre şartları içerisinde bitkilerin beslenmesi veya diğer bir deyişle gübreleme de önemli bir yer tutmaktadır.

Bitkilerin bünyesinde farklı miktarlarda bulunan P, potasyum (K), magnezyum (Mg), klor (Cl), kükürt (S) ve bazı ağır metaller gibi bitki besin elementleri, insan ve hayvan beslenmesi için de gerekli elementlerdir. Bitkilerin beslenmesinde önemli bir besin olan  $NO_3$  ise insan ve hayvan beslenmesinde gerekli değildir. Ayrıca insan ve hayvan vücudundan kolaylıkla dışarıya atılabildiği için zararlı bir etkiye de sahip değildir. Ancak diğer bir N bileşiği olan nitrit ( $NO_2$ ) ise sağlık açısından zararlı bir bileşiktir. Yeni hasat edilen bitkilerde genellikle zararlı düzeyde  $NO_2$  bulunmamakta, ancak hasattan sonra özellikle sebzelerde ve yem bitkilerinde bulunan  $NO_3$ , taşıma ve depolama koşullarının uygun olmaması durumunda veya bu bitkisel ürünlerin işlenmesi sırasında kısa sürede indirgenerek  $NO_2$ 'e dönüşebilmektedir. Yapılan çalışmalara göre sebzelerin  $NO_2$  içeriğinin, hasattan sonra geçen süreye, ortam sıcaklığına ve ortamın  $O_2$  içeriğine bağlı olarak arttığı saptanmıştır. Örneğin ıspanak bitkisindeki  $NO_2$  miktarı, hasattan sonra bitkinin  $+5^{\circ}C$ 'da bekletilmesi durumunda 8 ppm'den 10 ppm'e yükseldiği halde,  $+22^{\circ}C$ 'da bekletilmesi durumunda 8 ppm'den 130 ppm'e yükseldiği belirtilmektedir. Ayrıca diğer bir çalışmaya göre ise ıspanak bitkisinin  $NO_2$  içeriğinin, anaerob koşullarda ve  $+12^{\circ}C$ 'da 5 gün bekleme süresinde 2.5 ppm'den 45 ppm'e çıktığı saptanmıştır. Nitratin  $NO_2$ 'e indirgenmesi ya mikrobiyolojik etkilerle ya da bitkinin intramoleküler solunumu ile meydana gelmektedir. Ayrıca bitkisel ürünler ile veya içme suları ile alınan  $NO_3$  mide ve bağırsaklarda mikroorganizmalar tarafından indirgenerek de  $NO_2$ 'e dönüşebilmektedir. Nitritin organik aminler ile reaksiyonu sonucunda ise, kanserojen bir madde olduğu ve mutasyonlara neden olduğu kabul edilen nitrosamin sentezini arttırabildiği bilinmektedir. Ayrıca  $NO_2$ 'in kandaki hemoglobin ile birleşmesi sonucunda methemoglobin meydana gelmektedir. Methemoglobin yapısal olarak hemoglobine benzemesine karşın, bünyesindeki demir (Fe) okside edilmiş olduğundan,  $O_2$  taşıma görevini yapamamakta ve özellikle bebeklerde methemoglobinemi adı

verilen hastalık ortaya çıkabilmektedir. Bu hastalığın özellikle bebeklerde ortaya çıkması, bebeklerde mide asidi üretiminin yetişkinlere göre daha az olması ve bu nedenle  $\text{NO}_3$  redüksiyon-bakterilerinin daha fazla bulunması ile ve ayrıca bebeklerde methemoglobinin hemoglobine geri dönüşüm hızının yetişkinlere göre yavaş olması ile açıklanmaktadır. Yapılan çalışmalara göre, insan vücut ağırlığının her kg'ı için 20 mg  $\text{NO}_2\text{-N}$  bünyede toksik etki yapmaktadır. Nitritin ve dolaylı olarak  $\text{NO}_3$ 'ın sağlık açısından bu zararlı etkileri dikkate alındığında, insanlar ve hayvanlar tarafından her hangi bir işlem görmeden tüketilen bitkisel ürünlerin  $\text{NO}_3$  kapsamalarının yüksek olmaması gerektiği ortaya çıkmaktadır. Sebzelerde ve özellikle ıspanakta 1 g kuru madde için 2 mg  $\text{NO}_2\text{-N}$  kritik düzey olarak kabul edilmektedir. Yem bitkilerinde ise 1 g kuru maddede 4 mg'a kadar  $\text{NO}_3\text{-N}$  zararsız sayılmaktadır (2, 14, 20, 21).

Bitkisel ürünlerin  $\text{NO}_3$  içerikleri, öncelikle bu bitkilerin N kaynağı olarak  $\text{NO}_3$  ile besleme düzeylerine bağlı bulunmaktadır. Artan dozlarda  $\text{NO}_3$  ile beslenen bitkilerin  $\text{NO}_3$  içeriğinin de arttığı değişik araştırmacılar tarafından belirtilmektedir. Ayrıca bitkinin yetiştirme koşulları da bu konuda etkili faktörlerdir. Örneğin tekstür, kil tipi, organik madde içeriği gibi toprak faktörleri yanında yetiştirme ortamının ışık intensitesi de bitkilerin  $\text{NO}_3$  içeriklerini etkilemektedir. Uygun ışık koşullarında yetiştirilen bitkilerin  $\text{NO}_3$  içeriklerinin genellikle düşük olduğu, ancak ışıklandırma şiddeti azaldığı zaman  $\text{NO}_3$  içeriğinin arttığı saptanmıştır (2, 20).

Tarımda kullanılan P'lu gübrelerin içermiş olduğu Cd elementinin, P'lu gübre kullanımına bağlı olarak tarım topraklarında kirliliğe yol açabileceği bundan önceki bölümde tartışılmış bulunmaktadır. Fosforlu gübreler de içinde olmak üzere, çeşitli kaynaklardan topraklara ulaşan Cd elementi topraklarda birikebilmekte ve konsantrasyonu 3 ppm'in üzerine çıktığında Cd kirliliği söz konusu olmaktadır. Bitkiler, insanlar ve hayvanlar için toksik etkiye sahip olan Cd elementi, birçok kültür bitkisi tarafından, Zn alımına benzer bir mekanizma ile kolayca alınabilmekte ve bitki bünyesinde birikebilmesi nedeniyle besin maddeleri zincirine geçebilmektedir. Bitki materyalinde normal Cd düzeyleri 0.1-1.0 ppm değerleri arasındadır. Kadmiyum konsantrasyonu 3 ppm'in üzerinde olan bitkileri düzenli bir şekilde tüketen insanlarda zamanla Cd'un toksik etkisinin görüldüğü belirtilmektedir (14).

Kadmiyum elementinin toksik etkisinin, enzimler ve diğer proteinlerdeki thiol grupları (SH) ile Cd arasındaki yüksek afiniteye (çekiciliğe) bağlı bulunduğu sanılmaktadır. Bu nedenle Cd'un varlığı enzim aktivitesinin bozulmasına neden olabilmektedir. Ayrıca bitkilerdeki aşırı Cd, Fe metabolizmasının bozulmasına ve böylece Fe klorozunun ortaya çıkmasına da yol açabilmektedir.

Besin maddeleri yoluyla alınan Cd, insan ve hayvan vücudunda da birikebilmektedir. Özellikle böbreklerde ve bir dereceye kadar karaciğer ve dalakta biriken Cd, böbrek kanalcıklarında zararlanmalara, sümük bezlerinin yanması ile karakterize edilen rhinitis hastalığına ve kronik bir akciğer hastalığı olan ve hava keselerinin (alveol) aşırı derecede uzaması veya şişmesi ile karakterize edilen emphysema hastalığına yol açabilmektedir. Ayrıca yiyeceklerdeki aşırı Cd, böbreklerin işlevini olumsuz yönde etkileyerek Ca ve P metabolizmasını bozmakta ve bu nedenle bazı kemik hastalıklarına yol açabilmektedir. Japonya'da "Itai Itai" hastalığı olarak bilinen kemik hastalığı kronik bir Cd zehirlenmesidir. Bu

hastalık iskeletin aşırı derecede mineral madde kaybına neden olarak, sert ve gevrek bir yapı kazanmasına ve böylece kolayca kırılabilir hale gelmesine yol açabilmektedir.

### Sonuç ve Öneriler

Tarımda kullanılan organik ve inorganik gübrelerin çevre kirliliği üzerine önemli sayılabilecek bazı etkilerinin bulunduğu yapılan çeşitli çalışmalar ile saptanmıştır. Çevre kirliliği üzerinde en önemli etkiye sahip gübrelerin N'lu gübreler ve bu gübrelerin içerdiği  $\text{NO}_3$  iyonu olduğu konusunda görüş birliğine varılmıştır.

Azotlu gübreler içermiş oldukları  $\text{NO}_3$  iyonu nedeniyle çevre sorunlarına yol açarken,  $\text{NO}_3$  iyonu içermeyen N'lu gübrelerin de toprakta geçirdikleri mikrobiyolojik değişiklikler sonucunda, N'lu bileşiklerin ( $\text{NH}_4$  veya organik N'lu bileşikler)  $\text{NO}_3$ 'a dönüşmesi ve  $\text{NO}_3$  iyonunun ise toprakta tutulma mekanizmasına sahip olmaması nedeniyle kolayca yıkanarak yeraltı sularına karışması, bu gübrelerin çevre kirliliği oluşturan maddeler arasında yer almasına neden olmaktadır. Azotlu gübrelerin çevre kirliliği üzerindeki bu olumsuz etkilerinin derecesi ise bazı faktörlere bağlı bulunmaktadır. Bu faktörler; kullanılan N'lu gübre miktarı, formu, uygulanış biçimi ve toprak özellikleri ile yağış ve sulama rejimi olarak sıralanabilir. Nitekim oldukça fazla miktarda gübre kullanılan ve fazla yağış alan bazı Avrupa ülkelerinde yeraltı ve yerüstü sularındaki  $\text{NO}_3$  kirliliğinden büyük oranda tarımsal faaliyetlerde kullanılan gübrelerin sorumlu olduğu saptanmıştır. Ülkemizde ise, yapılan sınırlı sayıdaki çalışmalara göre, yeraltı ve yerüstü sulardaki  $\text{NO}_3$  kirliliğinin daha çok kentsel ve endüstriyel kökenli olduğu, bunun yanında gübre kullanımının fazla olduğu bölgelerde sözkonusu sulardaki  $\text{NO}_3$  kirliliğinde gübrelerin az da olsa payı bulunduğu, ancak içme ve kullanma sularındaki  $\text{NO}_3$  konsantrasyonunun henüz güvenli sınırlar içinde bulunduğu söylenebilir.

Tarımda kullanılan P'lu gübrelerin de, N'lu gübrelerden çok daha az olmakla birlikte, bazı çevre kirliliği sorunlarına yol açtığı saptanmıştır. Fosforlu gübrelerin içerdiği fosfat anyonunun toprakta iyi bir tutulma mekanizmasına sahip olması ve bu nedenle yıkanmaya karşı dayanıklı olması, bu gübrelerin çevre kirliliği üzerindeki etkilerini sınırlandırmaktadır. Nitekim göllerde ve akarsularda görülen ve gelişim hızı büyük oranda P konsantrasyonuna bağlı olan ötrofikasyon olayında P'lu gübrelerin rolü çok azdır. Ülkemizde henüz önemli boyutlarda olmamakla birlikte, P'lu gübrelerin toksik bir ağır metal olan Cd elementini ve bazı radyoaktif elementleri doğal olarak içermesi, bu gübrelerin çevre kirletici maddeler arasında yer almasına neden olmaktadır.

İçme suları ve bitkisel ürünler yoluyla insan vücuduna ulaşan gübre kaynaklı kirletici maddeler önemli bazı hastalıklara yol açarak insan sağlığını da tehdit edebilmektedirler.

Gübrelerden kaynaklanan çevre kirliliğinin kontrol altında tutulabilmesi amacıyla alınması gereken önlemler aşağıdaki gibi sıralanabilir;

- Gübrelerin neden olduğu çevre kirliliğinin boyutları öncelikle kullanılan gübre miktarına bağlı bulunduğu için gübrelerin gereğinden fazla veya aşırı biçimde kullanılmasından kaçınılmalıdır. Bunu

sağlamak için kültür bitkilerinin besin maddesi gereksinimlerinin ve buna bağlı olarak kullanılacak gübre miktarlarının bilimsel yöntemlerle belirlenmesi gerekmektedir. Bu amaçla toprak ve bitki analizlerinden etkin bir şekilde yararlanılmalıdır.

- Özellikle bir defada uygulanan N'lu gübre miktarının artışı, bitkilerin bu N'dan yararlanma oranının azalmasına, diğer taraftan yıkanarak yeraltı sularına karışan N miktarının artmasına neden olduğundan, N'lu gübrelerin yıl içerisinde su kullanımı da dikkate alınarak kısım kısım uygulanması, bitkilerin N'lu gübrelerden daha fazla yararlanmasını sağlarken, N'lu gübrelerin çevre kirliliğine olan katkısını da azaltacaktır.
- Ekonomik faktörler de dikkate alınarak, mümkün olduğu oranda yavaş çözünen N'lu gübrelerin (kükürt ile kaplanmış üre veya thioüre gibi) kullanımına ağırlık verilmeli ve sıvı formdaki N'lu gübrelerin kullanımından kaçınılmalıdır.
- Tarım-çevre ilişkileri dikkatli bir şekilde değerlendirilerek, tarımsal üretimin tüm aşamalarında iyi bir su idaresinin sağlanması ve aşırı sulamalardan kaçınılması, gübrelerin suda çözünen bileşenlerinin yıkanarak yeraltı sularına karışması riskini azaltacaktır.
- Bu konu üzerinde daha yoğun ve ayrıntılı çalışmalar yapılarak, kirlilik bakımından duyarlı bölgeler belirlenmeli, erken uyarı sistemleri geliştirilmeli ve üreticilerin bu konuda aydınlatılması sağlanmalıdır.

#### Kaynaklar

1. Nuhoğlu, A., Kurtar, B., Sulak alanların kirlenmesi ve korunması. Göller Bölgesi Tatlı Su Kaynaklarının Korunması ve Çevre Sorunları Sempozyumu (3-5 Haziran 1991, Isparta) Bildirileri, 139-151, 1991.
2. Mengel, K., Kirkby, E.A., Principles of Plant Nutrition, 4th Edition. International Potash Institute, Bern, Switzerland, 1987
3. Kacar, B., Bitki Besleme. Ankara Üniv. Zir. Fak. Yayınları 637, Ankara, 1977.
4. Nagarajah, S., Emerson, B.N., Abeykoon, V., Yogalingam, S., Water quality of some wells in Jaffna and Kilinochchi with special references to nitrate pollution. Tropical Agriculturist, 144, 61-78, 1988.
5. Payne, M.R., Farm waste and nitrate pollution. Agriculture and the Environment; Proceedings of the Institution of Water and Environmental Management Annual Symposium, 27-33, 1989.
6. Benes, V., Pekny, V., Skorepa, J., Vrba, J., 1989. Impact of diffuse nitrate pollution sources on groundwater quality - some examples from Czechoslovakia. Environmental Health Perspectives, 83, 5-24, 1989.
7. Demyttenaere, P., Hofman, G., Ronse, D., Van Ruymbeke, M., Excessive soil mineral-N at harvest of field-grown vegetables: impact on the nitrate pollution of ground and surface water. Nitrates, Agriculture, eau. 239-244, 1990.
8. Hanus, H., Schoop, P., Fahnert, D., Nitrogen fertilizing of cereals and nitrate contamination of drainage water. Second Pan-American Regional Conf. on Irrigation and Drainage, 305-317, 1989

9. Kovancı, İ., İç Ege Bölgesi Sulama Sularının Bitki Beslenmesi Açısından Kimi Nitelikleri ve Kimyasal İçerikleri Üzerinde Bir Araştırma. Ege Üniv. Zir. Fak. Yayınları 364, Bornova, İzmir, 1979.
10. Saatçı, F., Hakerlerler, H., Tuncay, H., Okur, İ.B., İzmir İli Civarındaki Bazı Önemli Endüstri Kuruluşlarının Tarım Arazileri ve Sulama Sularında Oluşturdukları Çevre Kirliliği Sorunu Üzerinde Bir Araştırma. Ege Üniv. Araş. Fonu, Proje No. 127, Bornova, İzmir, 1988.
11. Saatçı, F., Altınbaş, Ü., Anaç, D., Vural, S., Melez çayı (İzmir) içeriğindeki bazı organik ve inorganik kökenli maddeler ile ağır metallerin nitelik ve nicelik dağılımları üzerine araştırmalar. Ege Üniv. Zir. Fak. Dergisi, 25, 1, 137-151, 1988
12. Yahşi, R., Su ve toprak kaynaklarının kirlenmesi ve Su Ürünleri Genel Müdürlüğünün su kirliliği ile ilgili çalışmaları. Su ve Toprak Kaynaklarının Geliştirilmesi Konferansı, Bildiriler, Cilt II, 661-679, 1981.
13. Tokmak, S., Köseoğlu, A.T., Kumluca ve Finike yörelerinde azotlu gübrelerin çevre kirliliğine etkilerinin belirlenmesi. Akd. Üniv. Zir. Fak. Dergisi (Baskıda).
14. Aydemir, O., İnce, F., Bitki Besleme. Dicle Üniv. Eğitim Fak. Yayınları No:2, Diyarbakır, 1988.
15. Lagerwerff, J. V., Lead, mercury and cadmium as environmental contaminants. In: Micronutrients in Agriculture. pp. 593-636. Eds. J.J. Mortvedt, P.M. Giordano, W.L. Lindsay. Soil Sci. Soc. Am., Madison, USA, 1972.
16. Baechle, H.T., Wolstein, F., Cadmium compounds in mineral fertilizers. The Fertilizer Society, Proc. No.226, London, 1984.
17. Akçay, H., Evcimen, T.H., Fosforik asitten yan ürün olarak uranyum kazanılma teknolojisi ve Türkiye'nin bu yoldaki çalışmaları. Ege Üniv. Nükleer Araş. Enst. Nükleer Teknoloji Birimi Seminer Notu, 1980.
18. Dobbs, J.E., Mathews, K.M., A survey of naturally occurring radionuclide concentrations in New Zealand soils. New Zealand J. Sci., 19, 243-247, 1976.
19. Kovancı, İ., Kılınc, R., Yokaş, İ., İzmir İli tarım topraklarında bulunan radyoaktivite miktarları ve bunun toprak özellikleri ile ilişkileri üzerinde bir araştırma. Çevre-82 Sempozyumu, Dokuz Eylül Üniv. Müh. Mim. Fak. Çevre Müh. Böl. Yayını, İzmir, 1982.
20. Gök, M., Özbek, H., Çolak, A.K., İçel Bölgesi sera koşullarında yapılan aşırı nitrat gübrelemesinin hıyarda nitrat birikimi üzerine etkisi. Çukurova Üniv. Zir. Fak. Dergisi, 6, 3, 47-58, 1991.
21. Köseoğlu, A.T., Tarımda kullanılan gübrelerden kaynaklanan çevre sorunları. Antalya'nın Çevre Sorunları Paneli (17-19 Aralık 1992), Antalya Belediyesi Çevre ve Turizm Şefliği Yayını, 43-44, 1992.