

YERALTI SULARINDA NİTRAT KİRLİLİĞİ

Selim TOKMAK
Akdeniz Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bölümü, ANTALYA-TÜRKİYE

Turgut KÖSEOĞLU

Özet

Azot, atmosferde elementel azot, nitrit ve amonyak gibi değişik gaz biçimlerinde bulunabilen önemli atmosfer bileşenlerinden biridir. Atmosferde oluşan doğal reaksiyonlar esnasında azotun değişik formları yağmur suyu ile reaksiyona girerek nitrat ve amonyum iyonlarını oluştururlar. Nitrat, doğal olarak azot döngüsü esnasında oluşan azotlu bileşiklerden biridir, ancak özellikle yeraltı suyunun kirlenmesinde etkili olan nitrat daha ziyade antropojenik etkiler sonucu oluşan nitrattır. En önemli antropojenik kaynaklar, fosseptikler, yeşil alanlara uygulanan aşırı azotlu gübreler ve diğer tarımsal faaliyetlerdir. Yeraltı sularındaki nitrat konsantrasyonu bazı durumlarda, içme suları için EPA (Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Örgütü) tarafından önerilen limitin üzerine çıkabilmekte ve insan sağlığını ciddi şekilde tehdit edebilmektedir. Özellikle kırsal alanda içme sularının ilkel olarak açılmış yüzeysel kuyulardan sağlandığı bölgelerde, yüksek nitrat konsantrasyonundan dolayı methemoglobinemia vakaları görülebilmektedir. Methemoglobinemia veya mavi-bebek sendromu, kan hücrelerinin oksijen taşıma kabiliyetlerinin kaybetmesi olayıdır. Nitratin istenmeyen biyolojik etkilerinden dolayı, yeraltı sularının sağlandığı akiferlerin nitrat yıkanmasından ve yüksek nitrat konsantrasyonundan korunabilmesi için temizleme ve kirlenmeyi engelleyici metotlar üzerinde özenle durulmalıdır. Halihazırda, iyon değişimi ve diğer bazı arıtma işlemlerinin, kirlenmiş suları temizleyebilmelerine karşın, nitrat kirliliği esas olarak aşırı azotlu gübre kullanımının azaltılması ile engellenebilecektir.

Anahtar Kelimeler: Nitrat kirliliği, Yeraltı suyu, Nitrat Azotu

Nitrate Pollution of Groundwater

Abstract

Nitrogen is a major constituent of the earth's atmosphere and occurs in many different nitrogenous forms such as elemental nitrogen, nitrite and ammonia. Natural reactions of atmospheric forms of nitrogen with rainwater result in the formation of nitrate and ammonium ions. While nitrate is a common nitrogenous compound due to natural processes of the nitrogen cycle, anthropogenic sources have greatly increased the nitrate concentration, particularly in groundwater. The largest anthropogenic sources are septic tanks, application of nitrogen-rich fertilizers to turfgrass, and agricultural processes. Levels of nitrates in groundwater in some instances are above the safety levels proposed by the EPA (The United States Environmental Protection Agency) and thus pose a threat to human health. Particularly in rural, private wells, incidence of methemoglobinemia appears to be the result of high nitrate levels. Methemoglobinemia, or blue baby syndrome, robs the blood cells of their ability to carry oxygen. Due to the detrimental biological effects, treatment and prevention methods must be considered to protect groundwater aquifers, from nitrate leaching and high concentrations. Treatment through ion-exchange and other processes can rehabilitate already contaminated water, while prevention, such as reduced dependence on nitrogen-rich fertilizers.

Keywords: nitrate pollution, groundwater, nitrate nitrogen

1. Giriş

Nitrat, özellikle yeraltı sularından ve kuyulardan sağlanan içme sularında zararlı biyolojik etkilerinden dolayı, kirletici olarak önemli bir problemdir.

Yüksek konsantrasyonları mavi-bebek sendromu hastalığına neden olabilmekte, aynı zamanda mide ve barsak kanserlerinin oluşmasında bir risk faktörü olarak değerlendirilmektedir. Bütün bu sağlık risklerinden dolayı, nitrat seviyesinin güvenli sınırlar içerisine çekmede kullanılabilir etkili yöntemlerin bulunması konusunda çok sayıda araştırma yapılmaktadır. Bunun yanında daha da önemlisi, nitratın topraktan yıkanmasını engelleyecek yöntemler üzerinde çalışılmaktadır. İleri sürülen bazı görüşlere göre, tarımsal üretimde kullanılan azotlu gübre miktarının azaltılmasıyla bu problemin azaltılabileceği ve bundan da tarımsal üretimin etkilenmeyeceği, ayrıca yıkanmanın gerçekleştiği, çukur veya hendeklerdeki ve çiftlik gübresi depolarındaki yeni iyileştirmelerle buralarda meydana gelen nitrat yıkanmasının kontrol altına alınabileceği ifade edilmektedir. Bütün bu önleyici metotların uygulanması ve kullanılan azotlu gübre miktarının azaltılmasıyla yeraltı sularındaki nitrat konsantrasyonu zaman içerisinde azaltılabilecektir. İyon değişimi gibi arıtma işlemleri, içme sularındaki seviyenin düşürülmesinde hızlı bir etki yapabilmektedir. Bütün bu işlemler yeraltı sularındaki nitrat azotunun tamamını uzaklaştıramamakta, ancak konsantrasyonun 10 mg/l¹'ye çekilmesinde yardımcı olmaktadır.

2. Azot Döngüsü (Atmosfer-Toprak)

Soluduğumuz havanın yaklaşık %80'ini oluşturan azot, atmosferde en fazla oranda bulunan elementtir. Azot gazları bir çok formda bulunabilmekte, bunların en önemlileri; N₂, N₂O, NO, NO₂ ve NH₃ biçimleridir (Berner ve Berner, 1987). Bu gazlardan bazıları, nitrat (NO₃⁻, bir anyon) ve amonyum

(NH₄⁺, bir katyon) iyonlarını oluşturmak üzere yağmur suyu ile hemen reaksiyona girerler. Oluşan bu iyonlar toprak profili boyunca horizonların bir kısmında birikebileceği gibi su tablasına da ulaşabilmektedir.

Bu gazların ve yağmur suyunun reaksiyonları sonucu oluşan bileşiklerin en önemli ikisi NO₃⁻ ve NH₄⁺ iyonlarıdır. Atmosferdeki en büyük NO₃⁻ kaynakları sırasıyla; yıldırım esnasında oluşan fotokimyasal nitrifikasyon, mikrobiyal aktivite sonucu toprakta oluşan biyokimyasal nitrifikasyon ve fosil yakıtların yakılması anında oluşan reaksiyonlardır. Havadaki amonyak (NH₃) ise gübre üretimi, organik maddenin anaerobik bozunumu, bakteriyel atıkların bozunumu ve kömürün yakılması esnasında atmosfere bırakılmaktadır (Gaillard, 1995). Yağmur suyu ile birlikte atmosferde de bulunan bu bileşiklerin miktarları üzerinde etkili olan faktörlerin başında, insan kaynaklı aktiviteler gelmektedir. Nitrat ve NH₄ kaynaklarının oldukça önemli bir bölümünü, mineral gübrelerin üretimi ve kullanımı, fosil yakıtların kullanımı ve yukarıda sayılan faktörler oluşturmaktadır.

Atmosferdeki NO₃⁻'in yapraklarda elementel azot (NO₂) haline dönüştürülmesi işlemi "denitrifikasyon" olarak adlandırılmaktadır. Bu olay, toprakta NO₃⁻ miktarını azaltan bakteri aktivitesi sonucu sıklıkla gerçekleşmektedir. Amonyum, biyokimyasal bir oksidasyon reaksiyonu olan "nitrifikasyon" olayına maruz kalır ve NO₃⁻'a dönüşür. Bu işlemde NH₄⁺ içindeki azot tekrar atmosfere bırakılır. Elementel haldeki azotun yağmur suyu ile reaksiyona girerek azot gazlarına dönüştürülmesinden sonra bu bileşiklerdeki azot, yukarıda belirtilen yollarla tekrar atmosfere bırakılır ve böylece döngü tamamlanır (Berner ve

Berner, 1987).

3. Başlıca Nitrat Kirliliği Kaynakları

Yeraltı sularının NO_3^- ile kirlenmesinde potansiyel olarak etkili olan (doğal ve insan kaynaklı) bir çok azot kaynağı olmasına karşın, insan kökenli kaynaklar NO_3^- miktarının tehlikeli seviyelere yükselmesinde en önemli faktörlerden biridir. Yeraltı sularının NO_3^- la kirlenmesinde etkili olan faktörler içinde insan ve hayvan atıklarının biriktirildiği depolar, gıda sanayi ile ilgili endüstriyel atıklar, askeri silah sanayi ve reçine sanayi gibi birçok yerel kirlenici kaynaklar bulunmaktadır. Ayrıca azotlu materyallerin bilerek veya bilmeyerek döküldüğü yerlerde birikmeler olabilmektedir. Fosseptikler, yeraltı sularının NO_3^- la kirlenmesinde insan kökenli kaynakların diğer bir örneğidir. A.B.D.'de ve diğer birçok ülkede, yeraltı sularının önemli bir kısmının fosseptikler aracılığı ile kirlendiği belirlenmiştir. Yeraltı sularının kirlilik düzeyi genellikle fosseptik sistemlerinin yoğunluğu ile yakından ilgilidir. Aşırı biçimde kirlenmiş yörelerde, fosseptikler yeraltı sularının kirlenmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Buna karşın, daha az kirlenmiş yörelerde fosseptiklerin kirlilik üzerine çok fazla bir etkisi bulunmamaktadır.

Doğal kaynaklardan yeraltı sularına yüksek düzeyde NO_3^- karışması, genellikle insanoğlunun doğal kaynaklarda yaptığı tahribatın sonucu olarak gerçekleşmektedir. Orman alanlarında yapılan tahribat sonucu, NO_3^- 'ın yeraltı sularına karışması daha kolay gerçekleşmektedir. Bununla birlikte, yapılan tahribat kirlilik yönüyle potansiyel bir problem olmasına karşın, tarım alanları ile karşılaştırıldığında daha az

önem arz etmektedir.

3.1. Tarım Dışı Kaynaklar

Yeraltı sularının kirlenmesinde potansiyel azot kaynaklarından biri, yeşil alanlara aşırı düzeyde uygulanan azotlu gübrelerdir. Bu olgu daha çok golf sahaları, sportif aktivitelerin yapıldığı alanlar ve piknik alanlarında gerçekleşmektedir. Yeşil alanlara uygulanan azot sonuçta beş değişik şekilde kullanılmaktadır. Şöyle ki;

1. Bitkiler tarafından alınım,
2. Toprakta depolanma,
3. Atmosfere salınım,
4. Yeraltı sularına karışma,
5. Yüze erozyonu ile akarsu ve denizlere karışabilmektedir.

Günümüze kadar yapılan birçok çalışma ile toprağa uygulanan azotun %30-50 oranında bitkiler tarafından kullanıldığı bilinmektedir. Bunun yanında, Amerika Birleşik Devletleri Golf Birlikleri'nin yaptığı bir çalışmada ise, toprağa uygulanan azotun sadece %1-2 gibi çok küçük bir bölümünün kök bölgesinden yıkanarak yeraltı sularına karıştığı belirtilmiştir. Ancak, bu bulgu az da olsa ön yargılıdır, çünkü bu sonuç A.B.D. Golf Birliği'nin arzu ettiği bir sonuçtur. Bununla birlikte elde edilen bu sonuç sadece azotlu gübrelerin dikkatli ve düzenli bir şekilde uygulanması halinde elde edilebilmektedir. Belli başlı bazı uygulamalar, azotun yıkanarak yeraltı sularına karışma şansını artırabilmektedir. Bu uygulamaların en önemli altı tanesi şu şekilde sıralanabilmektedir (Bocher, 1995):

1. Uygulanan azot oranı,
2. Azot kaynağı, yavaş çözünen gübrelerin uygulanması, azotun yıkanma şansını azaltabilmektedir,
3. Uygulama zamanı, sonbaharın geç dönemlerinde uygulanan

gübrelerden, bitkiler çok küçük bir bölümünden yararlanmakta, bu nedenle yıkanma şansı daha fazla olmaktadır,

4. Sulama uygulamaları, aşırı yapılan sulamalar da azotun yıkanmasını teşvik etmektedir,
5. Toprak tekstürü, kum bünyeli topraklarda yıkanma doğal olarak daha fazla olmaktadır,
6. Uygulama alanı, tarımsal üretime yeni açılmış bir alanda, organik madde içeriğinin düşük olması nedeniyle daha fazla gübreleme ihtiyacı duyulmakta, bu da yıkanma riskini artırmaktadır

3.2. Tarımsal Kaynaklar

3.2.1. Gübreler ve Hayvansal Atıklar

Yeraltı sularının NO_3^- ile kirlenmesine neden olan başlıca tarımsal faaliyetler şu şekilde sıralanabilmektedir (Behm, 1989):

1. Tarımsal faaliyetler, tek başına diğer bütün kirleticilerden daha fazla kirlilik üzerine etkilidir. Çünkü, birçok üretici tarımsal üretimin değişik aşamalarında, farklı düzeylerde kirliliğe katkıda bulunmaktadır.
2. Üreticiler öncelikle aşırı ürün kaldırmakla toprağı besin elementleri yönüyle fakirleştirmekte ve takip eden her sezonda ürün verimini belirli bir seviyede tutabilmek için aşırı düzeyde azot ağırlıklı gübre uygulamaktadırlar.

İlkbaharda yeraltı sularının NO_3^- ile kirlenmesini büyük çapta artıran önemli tarımsal uygulamaların başında, üreticilerin tarlalarına aşırı düzeyde azotlu gübre uygulaması gelmektedir. Burkart ve Kolpin (1993) yaptıkları bir

araştırmada, toplam alanının %25'inden daha büyük bir bölümünde soya ve mısır üretimi yapılan tarımsal alanlarda bulunan kuyulardan alınan su örneklerindeki NO_3^- kirliliğinin (%30), %25'inden daha az bir bölümünde soya ve mısır üretimi yapılan tarımsal alanlarda bulunan kuyulardan alınan su örneklerine (%11) göre daha fazla olduğunu belirlemişlerdir. Bunun yanında, sulamanın fazlalığı NO_3^- kirliliğini artıran diğer önemli bir faktördür. 32 km'lik bir araştırma sahasında yapılan çalışmada, sulamanın yapıldığı bölgedeki kuyu sularındaki kirliliğin (%41), sulama yapılmayan bölgedeki kuyu sularına (%24) göre çok daha büyük boyutlarda olduğu bulunmuştur (Burkart ve Kolpin 1993).

Çiftliklerdeki problemlerden bir diğeri, otlatma-beslenme alanlarıdır. Otlatma alanlarındaki hayvan atıkları belirli bölgelerde yoğunlaşmakta, bu ise azot kullanımını etkilemediği gibi yeraltı sularının NO_3^- ile kirlenmesinde potansiyel bir kirlenici olmaktadır. Bu problem, Avrupa'daki çayır-mera alanlarında, Amerika'ya göre daha büyük boyutlardadır. Bu alanlarda azotlu gübre kullanımına bağlı olarak, yıkanabilir durumdaki NO_3^- miktarı daha fazladır. Hatta daha küçük çiftliklerde, çiftlik içindeki gübre yığınları NO_3^- kirliliğine önemli ölçüde katkıda bulunmaktadır (Hallberg ve Keeney, 1993).

Ahır gübresinin bu zararından kurtulmada veya enaza indirmede birinci yol, tarım topraklarına gübre olarak uygulanmasıdır. Gübre içerisindeki bazı organik materyallerin mineralizasyon-immobilizasyon döngüsünün uzun sürmesi nedeniyle azot daha yavaş olarak yayışlı hale gelmekte, bu nedenle de azot kaynağı olarak tercih edilmektedir. Aynı zamanda, ahır gübresi bu özelliklerinden dolayı kimyasal gübrelere göre daha az kirlenici. Bunun yanında, ahır gübresinin kompozisyonu ve kalitesi

değişebilmekte, içerdiği azotun mineralizasyon zamanı ile bitkinin azota ihtiyaç duyduğu dönem uyuşmayabilmektedir. Burada esas problem ise, bitkilere yarayışlı azot miktarının tam olarak tahmin edilememesi veya belirlememesidir. Bu nedenle, üreticiler bitkinin gelişmesi için gerekli azotun tam olarak verildiğinden emin olmak için genellikle gereğinden fazla ahır gübresi uygulamaktadırlar.

Üreticinin gereğinden fazla gübre kullanması halinde NO_3^- yıkanmasının arttığı çok açıktır. Üreticiler günümüzde azotlu gübrelere, verim azalmasına karşı hala "en ucuz sigorta" olarak görmektedirler. Bu nedenle, üretici azotlu gübreyi her zaman daha fazla uygulamaktadır. Tarımsal üretimdeki bir diğer problem ise, ürünün hasattan önce bitkinin ürün verimi ve iklim şartlarındaki değişiklik nedeniyle bir yılda net olarak ne kadar azota ihtiyaç duyduğu bilinmemektedir. Hatta, üretici azot uygulamasına son verse bile az miktarda yıkanma yine de gerçekleşebilmektedir.

3.2.2. Ahır Gübresi Depolama Alanları

Yeraltı sularının NO_3^- ile kirlenmesinde, önemli kirlilik kaynaklarından bir diğeri çiftliklerdeki ahır gübresi depolama alanlarıdır. Üreticiler genellikle ahır gübresini zeminde geniş bir alanda depolanmaktadırlar. Bu yöntem, üreticiler için kısa vadede uygun ve ucuz olduğu için tercih edilmekte, ancak yıkanmayı aşırı bir şekilde artırmaktadır. Bu depolama biçiminde, yıkanmayı azaltmak için depolama alanının etrafı duvarlarla çevrilmekle beraber, bir kaç yıl içinde bu duvarlar yıkanmayı engelleyemez duruma gelmektedirler. Bu depolar tabanda herhangi bir değişiklik yapılmadan uzun süre kullanılacak olursa tehlikenin boyutlarda o oranda

artmaktadır. Bunun yanında boş gübre depolarının, dolu depolara göre yeraltı sularının NO_3^- ile kirlenmesinde çok daha tehlikeli olabildiği belirlenmiştir. Boş depoların yüzeyleri, direk hava ve güneşle temas halinde olmasından dolayı toprak yüzeyi kurumakta ve çatlamaktadır. Toprak yüzeyindeki ve NO_3^- depolanmış toprak katmanındaki çok miktardaki çözünmemiş oksijen daha sonra, NH_4^+ 'un NO_3^- 'a dönüşmesine neden olmakta, oluşan NO_3^- sonuçta toprak profilinden kolaylıkla yıkanabilmektedir.

4. Çevre Koruma Önergeleri

Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Birliği tarafından, ulusal içme suyu yönergesinde 80'in üzerindeki kirlenme için sınır değeri yayınlanmıştır. Nitrat içeriği için bu değeri $10 \text{ mg l}^{-1} \text{ NO}_3^-$ -N olarak açıklamışlardır (Vgot ve Cotruvo, 1987). Bir çok kirlenme için, maksimum seviye, kanserojenik etki sınırı olarak dikkate alınmakta, bununla beraber insanlarda nitrat-kanser ilişkisini araştıran çok sayıda çalışma yapılmadığı için, NO_3^- 'in müsaade edilen maksimum seviyesi kanserojenik olarak dikkate alınmamaktadır. Çevre Koruma Birliğinin NO_3^- için belirttiği $10 \text{ mg l}^{-1} \text{ NO}_3^-$ -N değerinin belirlenmesinde, bu seviyenin üstündeki değerlerin, altı aydan daha küçük bebeklerde "methemoglobinemia" hastalığına neden olması dikkate alınmıştır (Kamrin, 1987). Nitrat-azotu için her ne kadar, müsaade edilebilir miktar 10 ppm olarak belirtilmişse de, 1976 yılında Çevre Koruma Birliği, altı aydan daha küçük çocukların beslenmesinde 1 ppm 'in üzerinde NO_3^- içeren suların kullanılmamasını önermiştir (Rail, 1989).

Ülkemizde ise, içme sularının içerebileceği NO_3^- miktarı TS-266

standardında belirtilmiştir (Çizelge 1) (Baltacı, 1997).

Çizelge 1. İçme Suyu Standartları (Baltacı, 1997).

	Nitrate (NO ₃ ⁻) mg/l ¹	
	Tavsiye Edilen Değer	Maksimum Değer
Avrupa Topluluğu (1980)	25	50
WHO (1986)	-	44
TS-266	-	45

5. Yüksek Nitrat İçeriği ile Ortaya Çıkan Sağlık Problemleri

Yeraltı sularında NO₃⁻-N seviyesi yüksek değerlere ulaştığında, canlı organizmalar üzerinde zararlı biyolojik etkilerde bulunabilmektedir. Bu etkileşimden dolayı insanoğlunun dikkati, yeraltı sularındaki NO₃⁻ seviyesinin kabul edilebilir düzeye çekilmesi ve bu amaçla tarımsal uygulamaların daha düzenli bir şekilde yapılması üzerinde yoğunlaşmıştır. Her ne kadar, NO₃⁻ tüketimi ile değişik hastalıklar arasındaki ilişkiler konusunda çalışmalar yapılmış ise de, sadece mavi-bebek sendromu ile yüksek NO₃⁻-N içeriğine sahip (10 ppm'in üzerinde) sular arasında pozitif ilişkiler tespit edilmiştir (Kross ve ark., 1993).

5.1. Mavi-Bebek Sendromu

“Mavi-bebek sendromu” genellikle, içme suyunun özellikle kuyulardan sağlandığı kırsal kesimde görülmektedir. Bu kuyular genellikle tarım alanlarına, otlaklara, ahır gübresinin depolandığı depolama alanlarına ve fosseptik

tanklarına çok yakın olarak açılmaktadır. Kirlilik düzeyi en fazla olan kuyular, artezyenle açılanlardan çok, elle kazılan sığ kuyulardır (Comly, 1987; Johnson ve ark, 1987). Nitratla yoğun olarak kirlemiş yeraltı suları, diğer kirlenmelerle birlikte, bu suların tüketimi ile sağlık problemlerinin ortaya çıkmasına kadar zaman içerisinde çok fazla dikkat çekmemiştir. A.B.D’de özellikle kırsal bölgelerde belirlenen *methemoglobinemia* vakalarının NO₃⁻ kirliliği ile ilgili olduğu belirlenmiştir.

Methemoglobinemia, özellikle küçük çocuklarda “siyanosis” veya “mavi-bebek” sendromu olarak bilinen bir kan hastalığıdır. *Methemoglobinemia*, bakterilerin NO₃⁻’ı NO₂⁻’e çevirmesiyle, çocuklarda sindirim sistemi bozukluklarına neden olmaktadır. Bir NO₂⁻ molekülü iki adet hemoglobin molekülü ile reaksiyona girerek *methemoglobin* molekülünü oluşturmaktadır. Midede olduğu gibi asit ortamlarda bu reaksiyon çok hızlı gerçekleşmektedir (Comly, 1987). Bu reaksiyon kan proteini şeklini değiştirmekte ve kan hücrelerinin oksijen tutmasını engelleyerek çocukların ölümleri ile sonuçlanan boğulma vakalarına neden olmaktadır (Gustafson, 1993; Finley, 1990). Oksijen eksikliğinden dolayı, çocukların özellikle dudakları morumsu veya mavimsi renk almaktadır. Bu nedenle de “mavi-bebek sendromu” ismini almıştır. *Methemoglobinemia*’nın diğer belirtileri, mide rahatsızlıkları, kusma, ishal ve bunların bir kısmı ile deride yoğun bir mavileşme olabilmekte, ancak mavileşmenin arttığı durumlarda sancı artmakta ve kan çikolata rengine dönüşmektedir (Comly, 1987; Johnson ve ark, 1987).

Bebeklerde bu rahatsızlığın tedavisi, eğer teşhis erken konulursa oldukça kolaydır. Eğer hasta çok az etkilenmişse, kirlenmiş sudan içmeyi

kesmesi yeterli olmakta ve vücut zarar görmüş hemoglobini bir kaç gün içinde yenileyebilmektedir. Bunun yanında, rahatsızlığın fark edilmesi çok gecikmiş ise, hastaya metilen mavisi 1-2 mg/kg-vücut ağırlığı olacak şekilde on dakika ara ile uygulanmalıdır. Bu uygulamayı takiben düzelme çabuklaşacaktır.

Methemoglobinemia daha çok altı aydan küçük çocukları etkilemektedir. Bebeklerin NO_3^- a karşı, yetişkinlere oranla daha fazla duyarlı olmalarının değişik nedenleri vardır: birincisi, çocuklar yetişkinlere oranla daha az okside olabilir hemoglobine sahiptirler, bu nedenle hemoglobinin büyük bir bölümü *methemoglobine* dönüştürülebilmekte, buda oksijen taşıma yeteneğini büyük ölçüde azaltmaktadır. İkinci bir sebep ise, NO_2^- iyonlarının, çocuklardaki belirli enzimlerin tam olarak gelişmemiş olması nedeniyle hemoglobini daha kuvvetli tutmaları sonucu, bebeklerin böbrekleri NO_2^- i istenilen düzeye indirmek için ikinci bir çaba harcamaktadırlar, bu işlemden çok uzun zaman almaktadır.

Çocukların *methemoglobinemi* hastası olmaması için bazı hususlara dikkat edilmelidir; kırsal bölgelerde oturanlar içme suyunu sağladıkları kuyu sularını sık aralıklarla çok iyi test ettirmeli, özellikle hamileler ve çocuklar kuyu suyu tüketiyorsa çok daha dikkatli olunmalıdır. Eğer içme suyu kaynağı olarak kullanılan kuyular NO_3^- la kirlenmiş ise, daha temiz ve güvenli kuyular veya şişe suları tercih edilmelidir (Johnson ve ark. 1987).

1945'ten bu yana Avrupa ve Kuzey Amerika'da %7-8'i ölümle sonuçlanan 2000'inin üzerinde methemoglobinemia vakası belirlenmiştir. Bunlarda en vahim olanı 1950 yılında Minnesota'da 30 günde, 14'ü ölümle sonuçlanan 144 vaka meydana gelmiştir (Johnson ve ark., 1987). Tabi ki bu ekstrem bir durumdur,

ancak kuyu sularındaki NO_3^- in belli bir seviyenin üzerine çıkması halinde ne derece tehlikeli sonuçlar doğurabileceğini göstermesi açısından oldukça önemlidir.

6. Nitratın Sudan Uzaklaştırılması veya Güvenli Sınırlar İçerisine Çekilmesi

Nitrat özellikle akiferlerden sağlanan içme sularında kirletici olarak büyük bir problem oluşturmaktadır. Yeraltı sularında NO_3^- kirliliğinin giderilmesinde başlıca iki yöntem kullanılmaktadır. Bunlardan birincisi, herhangi bir kimyasal uygulama gerektirmeyen, içme suyunun temiz su ile karıştırılması ya da içme suyu kaynağının değiştirilmesi şeklindeki yöntemdir. İkinci alternatif ise, iyon değişimi, "reverse osmosis", biyolojik denitrifikasyon ve kimyasal yolla kirleticilerin fazla olan bölümlerinin uzaklaştırılması şeklindeki yöntemlerdir. Ancak, temizleme işlemlerinde ne birinci ne de ikinci alternatifler, sudaki NO_3^- in tamamını uzaklaştıramamaktadırlar. Temizleme yöntemleri, suyun içindeki diğer kirleticilere bağlı olarak azotun ancak bir kısmını uzaklaştırabilmektedir. Kirlenmiş sulara temiz suların ilavesiyle NO_3^- in toksite sınırının altına çekilmesi amaçlanmaktadır.

6.1. Kimyasal İşlem Gerektirmeyen Uygulamalar

Bu uygulamanın mantığı oldukça kolay ve basittir; NO_3^- düzeyini toksik düzeyinin altına düşürene kadar kirlenmiş suyla temiz suyun karıştırılması veya başka bir su kaynağının kullanılması mümkün ise kullanılmasıyla problemin çözülmesi şeklindedir. Bu metotlarla, içme suları için önerilen $10 \text{ mg l}^{-1} \text{ NO}_3^- \text{-N}$ seviyesine veya daha alt seviyelere

çekilmesi amaçlamaktadır (Moore, 1991). Bu yöntemlerin herhangi birini kullanabilmek için NO_3^- probleminin çok küçük bir yörede lokalize olması gereklidir. Guter'e (1981) göre, dört alternatif yöntem vardır. Bunlar sırasıyla;

1. Yeni su kaynaklarının kullanılması: içme suyu ihtiyacının tamamen yeni kaynaklardan sağlanması,
2. Düşük NO_3^- içeriğine sahip sularla karıştırma: örneğin, hali hazırda kullanılan su kaynağı $15 \text{ mg l}^{-1} \text{ NO}_3^-$ içeriyorsa, bu suyun daha sonra eşit miktarda ve $5 \text{ mg l}^{-1} \text{ NO}_3^-$ içeriğine sahip diğer bir su ile karıştırılarak NO_3^- seviyesinin $10 \text{ mg l}^{-1} \text{ NO}_3^-$ seviyesine çekilmesi,
3. Yöresel mevcut sistemlere yeni bağlantıların yapılması; bu uygulama mevcut sisteme, henüz kirlenmemiş kuyulardan sağlanan su bağlantılarının yapılması şeklinde uygulanmaktadır,
4. Bölgesel yeni sistem dizaynı yapmak; bu bir önceki bölgesel mevcut sisteme yeni temiz kaynakların bağlanması yöntemine benzer, daha az problemlili olan diğer bir kaynağın birleştirilmesi şeklinde uygulanır.

Bu metotların avantajları, özellikle mevcut kaynakların, farklı bölgelerdeki su kaynakları ile birleştirilerek kullanılmasıdır. Böylece, masraflar büyük ölçüde azaltılmakta ve çok sayıda insan için daha güvenli içme suyu sağlanabilmektedir. Ancak, bu uygulamalar sadece NO_3^- kirliliğinin küçük bir bölgede lokalize olduğu bölgelerde uygulanabilmektedir.

Uygulanan bu metotlarla NO_3^- içeriği daha güvenli sınırlar içerisine çekilebilmekte, ancak bu yöntemlerin

yanında NO_3^- in sudan uzaklaştırılmasında kullanılan kimyasal yöntemler de vardır. Bu kimyasal metotların da hiçbiri NO_3^- i sudan tamamen uzaklaştıramamaktadır. Metotların her birinin başarılı olması, yetiştirilen bitki çeşidine ve suda bulunan diğer kirlleticilerin çeşit ve miktarlarına bağlıdır. Nitratın kuyu ve yüzey sularından uzaklaştırılmasında, 'iyon değişimi', 'biyokimyasal denitrifikasyon' ve 'reverse osmosis' gibi yöntemler kullanılmaktadır. Günümüzde öncelikle kullanılan sistem "iyon değişim" yöntemidir.

6.2. İyon Değişimi

İyon değişimi yönteminde, özel zamlar ve reçineler kullanarak NO_3^- iyonları ile klor (Cl) iyonlarının yer değiştirmesi sağlanmaktadır. Bu arıtma metodunda, başarılı bir uzaklaştırma işlemi için farklı işlemler gerekmektedir. Bu yöntemin esası, nötr pH derecesine sahip suyun içerisine negatif bir iyon salındığında diğer negatif iyonun sudan uzaklaştırılması şeklindedir. Su içerisinde negatif NO_3^- iyonu yanında, genellikle sülfat, klor, bisülfat, karbonat ve bikarbonat iyonları da mevcuttur. Bilinen bazı katyonlar veya pozitif iyonlar ise kalsiyum, magnezyum, ve sodyum gibi katyonlardır (Guter, 1981).

Yöntemin birinci aşamasında, problem olan NO_3^- iyonunun uzaklaştırılmasında kullanılacak uygun reçinenin seçimi yapılmaktadır. Ancak, uygun reçineler sadece NO_3^- seçici değildirler, diğer iyonları da uzaklaştırabilmektedir. Reçine yatakları, milyonlarca orta büyüklükteki kum tanesi boyutunda çok küçük yataklardan oluşmaktadır. Su bu yataklardan geçirilmekte, bu sırada klor iyonları suya bırakılmakta, önce SO_4^{2-} iyonları uzaklaşmakta, daha sonra da NO_3^-

iyonları uzaklaşmaktadır. İşlemin tamamı dört basamakta gerçekleşmektedir:

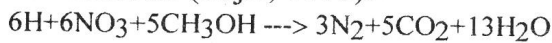
1. Reçinenin tekrar şarj edilmesi,
2. Anyon değişimi,
3. Reçinenin işlevini yapamaz hale gelmesi,
4. Reçinenin yenilenmesi.

İşlemin birinci basamağında yatak tekrar şarj edilir. Şarj işlemi, yatağın "maksimum değişim kapasitesine" getirilmesidir. Bu aşamada yatak bünyesinde, içerisinden geçen solüsyondaki değişebilir anyonları tutabilecek miktarda klor iyonu kapsamaktadır. İyon değişim işlemi, ilk önce sülfat iyonları uzaklaşmaktadır, daha sonra NO_3^- ve Cl^- değişimi başlamaktadır. Üçüncü aşamada reçine yatağında değişim için kullanılan iyonun görevini yapamaz duruma gelmesi söz konusudur. Sonuncu aşamada ise reçine yatağı kuvvetli bir tuz çözeltisinden geçirilerek yenilenmesi sağlanır (Guter, 1981).

Nitratın uzaklaştırılmasında kullanılan bu metot ile çözeltideki kirletici tamamen uzaklaştırılmaz. Fakat, San Joaquin Vadisi'nde yapılan bir çalışmada, iyon değişim metodu kullanılarak NO_3^- düzeyi 16 mg l^{-1} NO_3^- 'dan 2.6 mg l^{-1} NO_3^- 'a düşürülmüştür. Maliyet olarak, şimdiye kadar en ucuz ve en etkili yöntem olmuştur (Moore, 1991).

6.3. Biyokimyasal Denitrifikasyon

Denitrifikasyon, bakteri ve değişik mikroorganizmaları kullanarak, nitratın elementel azot (N_2) haline dönüştürülmesidir. Mikroorganizmaların bu reaksiyonu şu şekilde ifade edilmektedir (Zajic, 1971).



Etanol gibi kimyasalların kullanımı ile NO_3^- 'in sulardan uzaklaştırılması mümkün olabilmektedir. Bazı durumlarda çözeltiden azotun tamamını

uzaklaştırabilmek için bazı özel bakteriler *Nitrosomonas sp.* kullanarak azotun NH_4^+ formundan, NO_2^- formuna dönüştürülmesi gerekebilmektedir (Shuval, 1977). Nitrit daha sonra NO_3^- 'a okside olmakta ve yukarıda ifade edilen denklemde olduğu şekliyle uzaklaşabilmektedir.

6.4. Reverse Osmosis

Günümüze kadar yapılan çalışmalarla NO_3^- 'in uzaklaştırılmasında "reverse osmosis" yönteminin, daha önce belirtilen her iki yöntemle göre de daha etkili olduğu belirlenmiştir. "Reverse osmosis" yönteminin esası, kirlenmiş sulara basınç uygulayarak suların temizlenmesi esasına dayanmaktadır (Shuval, 1977). Burada da ifade edildiği gibi, membranlar yarı geçirgendir, bu nedenle sıvı içerisinde tutulan NO_3^- bitkilerin gelişmesinde etkili olamamaktadır. Bununla birlikte, bu yöntem ileride araştırma konusu olabilecek bir temizleme tekniğidir.

7. Kirliliğin Önlenmesi

7.1. Tarımsal Olmayan Uygulamalar

Çayır-mera ve yeşil alanlarda NO_3^- 'in yıkanmasını şiddetle teşvik eden altı faktör mevcuttur. Buna karşın, çayır-mera ve yeşil alan idarecileri de NO_3^- 'in yıkanmasını önleyici yedi adet uygulamayı adapte edebilmektedirler. Bunların en önemlilerden bazıları; uygulanan azotlu gübre miktarının azaltılmasıdır; "yavaş çözünen azotlu gübre" kaynaklarının kullanımı, çözünürlüğü düşük azot kaynaklarının daha sık kullanımıdır. İdareci, bitkilerin henüz gelişimini tamamlamadığı, zeminin tam olarak sertleşmediği bir dönemde azotlu gübrelerin uygulanmaması konusunda dikkatli olmalıdır. Yönetici, bitkiler için

herhangi bir uygulamanın yapılmadığı dönemlerde NO_3^- 'ın yıkanmasını teşvik eden ilave sulamalardan kaçınılmalıdır. Kültür topraklarına uygulanan azotun azaltılmasında gerekli gayret gösterilmeli, bunun yanında drenaj sularının dere veya nehir sularına karışmasına izin verilmemeli ve sızdırmaz bir depoda depolanmasında gerekli özen gösterilmeli, bunlar bir arıtma işlemine tabi tutulduktan sonra dere ve nehirlere karışmasına izin verilmelidir. Son olarak, çayır-mera ve yeşil alan idarecisi ıslah maddesi olarak zeolit mineralini uygulamalıdır. Zeolit, potasyum, kalsiyum, fosfor, magnezyum ve amonyum gibi katyonları tutabilen, katyon değişim kapasitesi çok yüksek olan bir mineraldir (Bocher, 1995). Uygulanan bu önleyici tedbirlerin her bir basamağı kum bünyeli topraklarda daha da önemli olmaktadır. Şu ana kadar sayılan bütün tedbirleri dikkatli bir şekilde uygulayan çayır-mera idarecisi, NO_3^- 'ın yıkanma şansını oldukça azaltacaktır. Eğer golf sahalarının ve spor sahalarının gübrenmesinde uygun önlemler alınır, yeraltı sularında NO_3^- kirliliğine büyük ölçüde son verilecektir (Neal, 1995).

7.2. Tarımsal Uygulamalar

Tarımsal uygulamaların bir çoğunu üreticiler, NO_3^- yıkanmasına karşı başarıyla uygulayabilmektedirler. Bunların en önemlisi, kullanılan azotlu gübre miktarının azaltılmasıdır. Bunu söylemek, uygulama yapmadan her zaman daha kolaydır, çünkü üreticiler azotlu gübreleri ürün azalmasına karşı "en ucuz sigorta" olarak dikkate almaktadırlar. Daha öncede ifade edildiği gibi azot, verimi kesin olarak sınırlayan faktörlerden biridir." Bu nedenle, her üretici azotlu gübreyi az miktarda uygulama yerine çok daha fazla

uygulamayı tercih etmektedir.

Amerika Birleşik Devletleri Tarım Bakanlığı 1990 yılı verilerine göre, Iowa'da azotlu gübre kullanım ortalaması 14.2 kg/da şeklindedir. Bunun yanında, Iowa State Üniversitesi Sürdürülebilir Tarım Merkezi müdürü Dennis Keeney, üreticilerin 8.4 kg/da uygulamaları halinde bile verimde herhangi bir azalmanın olmadığını belirtmiştir. Mr. Dan Stadtmueller, azotlu gübre kullanımı yönünden oldukça cimri olarak bilinen bir üreticidir. Şöyleki, bazı tarlalarına 6.7 kg/da'dan daha az gübre uygulamasına rağmen, verimde her hangi bir azalma olmamıştır (Looker, 1991).

Tarımsal üretimde kullanılan azotlu gübrelerin azaltılmasında üreticiler tarafından uygulanan önlemlerden biri de, Paul Johnson adlı araştırmacı tarafından yazılmış yasal düzenlemelerdir. Bu düzenlemelerde, azotlu gübre ve pestisit kullanımına vergi uygulaması getirilmekte, buradan elde edilen vergi gelirleri ise tarımsal üretimde kimyasalların daha az kullanımı ve üreticiye bu sonuçların ulaştırılması konusunda yapılacak araştırmalarda kullanılmaktadır. Bunun yanında, Iowa State Üniversitesinden araştırmacı Alfred Blackmer, üreticilerin topraktaki mevcut azot miktarını daha doğru test edebilecekleri bir yöntem geliştirmiştir (Looker, 1991).

7.3. Ahır Gübresi Depolama Alanları

Ahır gübresinin depolanma alanları, NO_3^- yıkanmasının büyük ölçüde önlenebileceği diğer bir uygulama alanıdır. Bu diğer problemlerle kıyaslandığında daha kolay çözülebilen bir problemdir. Çünkü, üreticilerin uzun vadede uygulayabilecekleri bu yöntemde, betondan inşa edilen depolar diğer gelişmiş güzel yapılan depolara göre daha avantajlı ve sağlıklıdır. Ahır gübrelerinin

diğer bir depolanma şekli ise, su ile karıştırılarak beton depolarda depolanmasıdır. Bu her iki yöntemde üreticilerin kullandıkları diğer yöntemlere göre sızdırması hemen hemen hiç olmayan yöntemlerdir. Bu depolarda biriktirilen gübreler daha sonra amaca uygun şekilde kullanılır.

7.4. Yüzey Akışlarının Kontrolü

Yüzey akışlarının kontrolü, yeraltı sularının NO_3^- kirlenmesinde önleyici metotlardan biri olup, direk olarak tarımsal üretimle ilgili olmayan eski bir uygulamadır. Yüzey akışları normalde eğimi az olan tarım alanlarında çok fazla önemli değildir, ancak günümüzde yeşil alanlarda önemli olabilmektedir. Yüzey akış biçiminde sel baskınlarının olduğu bölgelerde, yüzey suyunun drene olmasıyla NO_3^- hızlı bir şekilde yeraltı sularına karışabilmektedir. İngiltere’de Thames havzasının üst bölgelerinde yapılan çalışmalardan sonra, Haycock (1990) adlı bir araştırmacı, büyük düzlüklerin kış sezonu boyunca yeşil örtü ile kaplanması ile NO_3^- ’ın yeraltı sularına kontaminasyonun büyük ölçüde önlenebileceğini bildirmiştir. Araştırmacı, bu görüşlerini desteklemek için, 1990 yılında meydana gelen sel baskını sonucunda yeraltı sularının NO_3^- içeriğinin %400 oranında artış gösterdiği örnek göstermiştir. Bunun yanında, sel baskınlarının drenaj sistemlerinin bulunmadığı alanlarda meydana gelmesi halinde, bu bölgelerdeki yeraltı sularında NO_3^- düzeyinin yıl boyunca yüksek seviyelerde seyrettiğini ifade etmiştir.

Tarımsal üretim yapılan alanlardaki ve kırsal yerleşim alanlarındaki kuyu sularının güvenilirliğini test etmek amacıyla, Çevre Koruma Örgütü, Iowa’da bir araştırma gerçekleştirmiştir. Survey şeklinde yapılan bu çalışmada Nisan 1988 ve Haziran 1989 tarihlerinde

bölgenin tamamından 686 su örneği alınmıştır. Çalışma alanı Iowa ile sınırlandırılrsa da, araştırma sonucunda elde edilen sonuçların, yoğun tarım yapılan diğer bölgelere de uygulanabileceği vurgulanmıştır. Iowa’daki yeraltı sularının NO_3^- -N içeriklerinin genelde 2 mg l^{-1} ’den daha az olduğu, bu değer üzerinde sonuçların elde edildiği bölgelerde ise antropojenik etkilerin söz konusu olduğu belirlenmiştir. Yapılan bu araştırma sonucunda, kırsal bölgelerdeki çok sayıdaki ilkel olarak açılmış kuyuların, NO_3^- kirliliğine maruz kaldığı görülmüştür. Ayrıca, Iowa’daki kuyuların %18.3’ünün ve kırsal bölgedeki kuyuların hemen hemen tamamının, Çevre Koruma Birliği’nin önerdiği seviyeden daha fazla NO_3^- içerdikleri saptanmıştır. Ayrıca, araştırma sonucunda, 15 m’den daha az derinliğe sahip kuyuların, derinliği fazla olan kuyulara göre daha fazla kirliliğe maruz kaldıkları anlaşılmıştır. Derinliği 15 m’den daha az olan kuyuların %35’inde 10 mg/L seviyesinin üzerinde NO_3^- -N belirlenmiştir. Bu kuyuların ortalama NO_3^- içerikleri, sağlık riskleri açısından önerilen limitin üzerinde bulunmuştur (Kross ve ark. 1993).

Iowa Üniversitesi Tıp Fakültesi doktorları son yıllarda, bir çok çocuğun kusma ve diğer bazı semptomlarla kendini gösteren *methemoglobinemia* hastalığına yakalandıklarını bildirmişlerdir. Bu hastalığa yakalanan çocuklara teşhis konduktan sonra yapılan araştırmalarda, çocukların hemen hemen hepsinin NO_3^- la aşırı derecede kirlenmiş suları tükettikleri belirlenmiştir. Yapılan incelemede, bu kuyu sularının NO_3^- içerikleri 64-140 ppm arasında değişim gösterdiği ve NO_3^- içeriğine bağlı olarak hastalık belirtilerinin de artış gösterdiği saptanmıştır.

Ülkemizde ise, bu konuda yapılmış çalışmalar çok az sayıda olup, bu

çalışmalar ile yüzey ve yeraltı 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 sularının NO_3^- içerikleri, içme suları için belirtilen kritik sınırın (45 ppm) altında bulunmuştur. Yeraltı su örneklerinin sadece birinde NO_3^- içeriği çok yüksek (448.3 ppm) bulunmuş olup, bu durumun su örneğinin alındığı yörede (Manisa-Alaşehir) potasyum nitrat (KNO_3) bulunmasından kaynaklandığını belirtmişlerdir (Kovancı, 1979). 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_3^- konsantrasyonunun ortalama olarak 6.7 ppm düzeyinde olduğu saptanmıştır (Saatçı ve ark., 1988a). Bunun yanında, yine İzmir İli yerleşim merkezinde geçen Melez çayında yapılan incelemeye göre NO_3^- konsantrasyonunun 83.7-120.9 ppm sınırları arasında bulunduğu ve önemli düzeydeki bu NO_3^- kirliliğinin evsel ve endüstriyel kökenli olduğu belirtilmektedir (Saatçı ve ark., 1988b).

Ülkemizde tarımsal faaliyetlerin yoğun olduğu ve fazla miktarda gübre kullanılan bölgelerde ise gübre kullanımına bağlı olarak bazı dönemlerde yeraltı ve drenaj sularında NO_3^- miktarının yükseldiği saptanmıştır. Örneğin Bursa Ovasında açılan sondaj kuyularında NO_3^- içeriği başlangıçta 16-20 ppm iken gübreleme mevsimlerinde 110-150 ppm gibi yüksek değerlere ulaştığı belirlenmiştir (Yahşi, 1981). Gübre tüketimi Türkiye ortalamasının yaklaşık iki katı düzeyinde olan Antalya ilinin 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 ilkbahar) drenaj sularında NO_3^- miktarının yükseldiği belirlenmiştir. Sera drenaj sularının NO_3^- konsantrasyonu 250 ppm gibi yüksek düzeylere kadar çıkarken, turunçgil bahçelerinden alınan drenaj sularında, ülkemizde içme suları için belirlenen 45 ppm sınırının altında kalmıştır. Yörede sulama suyu olarak kullanılan artezyen sularının 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 NO_3^- bulunmuştur. Araştırmanın yürütüldüğü aynı yörede beş yıllık bir dönemde (1989-1993) kullanılan azotlu gübrelerden toplam olarak 830 ton N'un yıkanarak yeraltı sularına karıştığı tahmin edilmektedir (Tokmak ve Köseoğlu, 1995). Yine Kumluca yöresinde kuyu sularının NO_3^- içeriklerinin belirlenmesine yönelik yürütülen başka bir çalışmada, 20 adet kuyudan su örneği alınarak EC, NO_3^- ve NH_4^+ analizleri yapılmıştır. Kuyu sularında NO_3^- içeriğinin 2.46-164.91 ppm, NH_4^+ içeriğinin 2.35-7.22 ppm ve EC (Elektriksel konduktivite) değerlerinin ise 548-1643 $\mu\text{mhos/cm}$ değerleri arasında değiştiği belirlenmiştir (Kaplan ve ark., 1997). Bu her iki çalışma dikkate alındığında, tarımsal potansiyeli çok yüksek olan ve fazla miktarda gübre kullanılan Finike ve Kumluca yörelerinde N'lu gübrelerden önemli miktarda NO_3^- in yıkanarak yeraltı sularına karıştığı, günümüzde olamasa bile gelecekte içme ve kullanıma sularında NO_3^- kirliliğinin tehlikeli boyutlara ulaşabileceği söylenebilir.

8. Sonuç ve Öneriler

Yeraltı sularındaki yüksek NO_3^-

içeriğinin en önemli göstergesi, methemoglobinemia vakalarında görülen artıştır. Mavi-bebek sendromu olarak ta bilinen bu rahatsızlık, çocuklarda ten renginin mavimsi gri renk almasına neden olmaktadır. Bu hastalığa yakalanan çocuklar, tedavi edilmedikleri takdirde, kanın yeterli oksijen alamamasına bağlı olarak sonuçta ölebilmektedirler. Bu problem daha çok kırsal bölgelerde NO_3^- içeriği iyi kontrol edilmeyen, kirlilik seviyesi yüksek suların içme suyu olarak tüketildiği bölgelerde daha sık görülmektedir.

Yeraltı sularının NO_3^- kirliliği ile ortaya çıkan çok ciddi sağlık problemlerinden kaçınmanın birinci ve en önemli yolu, içme suyu olarak tüketilen kuyu sularının çok sık olarak kontrolü edilmesi ve tarımsal üretimde kullanılan azotlu gübre kullanımının azaltılmasıdır. Kültür topraklarına aşırı şekilde yüklenen azotlu gübreler mevcut dengeyi bozarak, bitkilerin kullanabileceği azot miktarının artmasına neden olmaktadır. Aşırı gübre uygulaması ile yetiştirilen bitkilerden, daha az gübre uygulanması halinde de aynı miktarda verim alınabilmektedir. Üreticiler, üretiminin başlangıcında fazla gübre uygulaması ile üretime başladıysa, daha sonraki yıllarda bu miktarı daha da artırma eğilimi içine girmektedirler. Aslında üreticiler, normal veya daha az miktarda gübre uygulamasıyla bu kısır döngüden kurtulabileceklerdir. Bundan başka, şu ana kadar belirtilen kirliliği önleme metotlarının uygulanmasıyla, NO_3^- 'in yeraltı sularını kirlilemesi büyük ölçüde engellenecektir. Ahrar gübrelerinin özellikle beton depolarda saklanması ile yeraltı sularındaki NO_3^- seviyesi önemli ölçüde düşürülecektir. Yine çayır-mera ve yeşil alan idarecilerinin aşırı sulamadan kaçınmaları da NO_3^- 'in yeraltı sularına yıkanmasını büyük ölçüde engellemektedir.

Nitratla yoğun bir şekilde kirlenmiş sulardan, kirliliğinin uzaklaştırılması kolay bir işlem değildir. Şimdiye kadar uygulanan temizleme yöntemlerinin içinde en etkili ve yaygın olanı "iyon değişimi" yöntemidir. Kullanılan diğer yöntemler, ya araştırma aşamasında yada yaygın olarak kullanılmak mümkün değildir. Nitrat, iyon değişimi ve diğer temizleme metotları ile yeraltı sularından tamamen uzaklaştırılamasa da, sağlık riski yönüyle biyolojik olarak güvenli sınırlar içerisinde çekilebilmektedir.

Kaynaklar

- Baltacı, F. 1997. Su Kalite Standartları. T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü İçmesuyu ve Kanalizasyon Dairesi Başkanlığı, Su Kalite Yönetimi Semineri, Bildiriler, 19 s.
- Berner, E. and Berner, R., 1987. The Global Water Cycle, Prentice Hall, New Jersey, 102-119.
- Behm, Don, 1989. Ill Waters: The Fouling of Wisconsin's Lakes and Streams (Special Report), The Milwaukee Journal, 2.
- Bocher, L. W., 1995. Tracing the Flow of Chemicals: How to Reduce Nitrate and Pesticide Leaching, Turf Science, 64-67.
- Burkart, R. and Kolpin, D. W., 1993. Hydrologic and Land-Use Factors Associated with Herbicides and Nitrate in Near-Surface Aquifers, Journal of Environmental Quality, 22, 646-656.
- Comly, H. H., 1987. Cyanosis in Infants Caused by Nitrates in Well Water, Journal of the American Medical Association, 257, 2788-2792.
- Finley, B., 1990. Well-water Nitrates Endanger N. Colorado, Denver (Colorado) Post, 16 November.
- Gaillard, J. F., 1995. Lecture on Nitrogen Cycle.
- Gustafson, D. I., 1993. Pesticides in Drinking Water, Van Nostrand Reinhold, New York, 241.
- Guter, A., 1981. Removal of Nitrate from Contaminated Water Supplies for Public Use, Environmental Protection Agency, Cincinnati.
- Hallberg, G.R. and Keency, D.R., 1993. Nitrate, Alley, A., ed., Regional Ground-water

- Quality, Van Nostrand Reinhold, New York, 297-322.
- Haycock, Nicholas, 1990. Handling Excess Nitrates, *Nature*, 348, 291.
- Johnson, C. J., Bonrud, P. A., Dosch, T. L., Kilness, A. W., Senger, K. A., Busch, D. C. and Meyer, M. R., 1987. Fatal Outcome of Methemoglobinemia in an Infant, *Journal of the American Medical Association*, 257, 2796-2797.
- Kamrin, M. A., 1987. Health Implications of Groundwater Contaminants, in D'Itri, F.M., Wolfson, L. G., eds., *Rural Groundwater Contamination*, Lewis, Chelsea, MI., 226 - 233.
- Kaplan, M., Sönmez, S. ve Tokmak, S. 1997. Antalya-Kumluca Yöresi Kuyu Sularının Nitrat İçerikleri. *Tr. J. of Agriculture and Forestry (Baskıda)*.
- Kovancı, İ., 1979. Ege Bölgesi Sulama Sularının Bitki Beslenmesi Açısından Kimi Nitelikleri ve Kimyasal İçerikleri Üzerinde Bir Araştırma. *Ege Üniv. Zir. Fak. Yayınları No.364*, Bornova, İzmir.
- Kross, B. C., Hallberg, G. R., Bruner, R., Cherryholmes, K. and Johnson, K. J., 1993. The Nitrate Contamination of Private Well Water in Iowa, *American Journal of Public Health*, 83, 270-272.
- Looker, D., 1991. Nitrogen Use Still Too High, Experts Say, *Des Moines (Iowa) Register*.
- Moore, W., 1991. *Inorganic Contaminants of Surface Water: Research and Monitoring Priorities*, Springer-Varlag, New York City, 333.
- Neal, L., 1995. Turfgrass Nitrogen Evaluated, *Water Environment and Technology*, 57.
- Rail, C. D., 1989. *Groundwater Contamination: Sources, Control, and Preventive Measures*, Technomic, Lancaster, PA, 139.
- Saatçı, F., Altınbaş, Ü., Anaç, D. ve Vural, S. 1988a. Melez Çayı (İzmir) İçeriğindeki Bazı Organik ve İnorganik Kökenli Maddeler ile Ağır Metallerin Nitelik ve Nicelik Dağılımları Üzerine Araştırmalar. *Ege Üniv. Dergisi*, 25, 1, 137-151.
- Saatçı, F., Hakerlerler, H., Tuncay, H. ve Okur, İ.B., 1988b. 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*.
- Shuval, Hillel I., 1977. *Water Renovation and Reuse*, Academic Press, New York City, 463.
- Tokmak, S., Köseoğlu, A.T. 1995. Kumluca ve Finike Yörelerinde Azotlu Gübrelerin Çevre Kirliliğine Etkilerinin Belirlenmesi. *Ak. Ü. Zir. Fak. Derg.*, 8, 91-103, 1995.
- Vogt, C., and Cotruvo, J., 1987. Drinking Water Standards: Their Derivation and Meaning, in D'Itri, F.M., Wolfson, L. G., eds., *Rural Groundwater Contamination*.
- Yahşi, R. 1981. Su ve Toprak Kaynaklarının Kirlenmesi ve Su Ürünleri Genel Müdürlüğünün Su Kirliliği ile İlgili Çalışmaları. Su ve Toprak Kaynaklarının Geliştirilmesi Konferansı, Bildiriler, Cilt II, 661-679.
- Zajic, J. E., 1971. *Water Pollution Disposal and Reuse*, Volume I, Marcel Dekker, New York City, 389.