



**İÇME SUYUNDA TOPRAKSI, ODUNSU, KÜFLÜ KOKU
OLUŞUMU VE KONTROLÜ**



TARİH: EYLÜL 2019

İÇİNDEKİLER

1. GİRİŞ	2
2. REZERVUAR KAYNAKLI TAT VE KOKU	3
3. YÜZEYSEL SU KAYNAKLARINDA SİYANOBAKTERİLER VE KOKU/TAT.....	4
3.1. Aktinomisetler.....	4
3.2. Geosmin.....	4
3.3. MIB (2-Methylisoborneol)	5
4. GÖL ve BARAJDA KOKU KİRLİLİĞİNİ ÖNLEMELİK İÇİN YAPILACAKLAR.....	6
5. GEOSMİN VE MIB GİDERİMİ.....	9
6. KAYNAKLAR.....	11

1. GİRİŞ

İçme suyunda istenmeyen özellikle mevsimsel bir koku kirliliği, zararlı bir kirleticinin (sağlık açısından zararsız) varlığını göstermemekle birlikte içme suyunun temiz hale getirilmesi için çalışma yapılması gerektiğinin gösterir. En yaygın iki metabolit, geosmin (trans-1, 10-dimethyl-trans-9-decalol) ve MIB (2-metilisoborneal)'dir. Bu bileşikler zararsız olsalar da insanların tat ve koku alma duyuları için son derece hassastır ve suda 10 ng/L kadar düşük konsantrasyonlarda tespit edebilir.

Şehirde içme suyu kaynağından verildiği bölgedeki tüm içme suyu musluklarında koku kirliliği hissediliyorsa, sorun muhtemelen ana yüzeysel su kaynağıdır. Yalnızca belirli musluklarda koku meydana geliyorsa, sorun, bu belirli muslukları besleyen armatürlerde veya borularda olması kuvvetle muhtemeldir. Su birkaç dakika aktıktan sonra koku problemi kaybolursa, sorun bina/ev tesisat sisteminde olması kuvvetle muhtemeldir. Koku devam ediyorsa, sorunun kaynağı hem ham su kaynağı hem de arıtma tesisi ve içme suyu şebeke sisteminin birleşimi olabilir.

İçme suyunda yosun, ot, katran, balık vb. kokular olabilir. Halk arasında "balçık gibi kokuyor", "küf kokuyor" gibi ifadelerle de anlatılan birtakım değişik kirlenme etkenlerine bağlı kokular olabilir. İçme suyunun kaynağından tüketici musluğuna gelene dek tat ve kokunun oluşabileceği üç temel nokta bulunmaktadır:

1. İçme suyunun temin edildiği rezervuar (baraj gölü),
2. Suyun arıtıldığı arıtma tesisi (özellikle çamur birikmesi),
3. Suyun tüketicilere iletiği dağıtım şebekesinin incelenerek sorunun kaynağının/kaynaklarının tespit edilmesi kritik öneme sahiptir.

Su kaynaklarında tat ve koku üreten siyanobakterilerin (maviyeşil algler) yoğun olarak görülme sıklığının artışı, giderek büyüyen bir küresel sorundur. Özellikle yaz aylarında sıcaklık artışı etkileri, yeterli arıtılmayan atıksular, tarımsal besi maddesi ve hayvansal atık yükü gibi insan aktiviteleri zaten durgun ve sakin olan içme suyu kaynağında güneşli yaz aylarında alg patlamasını arttırmaktadır. Tat ve koku üreten algler, tipik olarak yaz sonunda veya sonbaharda alg patlamaları halinde gerçekleşir. Alg patlaması ile geosmin ve MIB serbest hale geçer. Bu bileşiklerin varlığı dünya çapında tüketici şikayetlerinin başında gelmektedir. Özellikle içme suyu barajlarını besleyen akarsu/dere ağzlarından başlayarak alg gelişiminin artması ile birlikte son yıllarda önemli su kaynaklarında Geosmin ve 2-MIB değerleri 10 ng/L eşik değerinin üzerine çıkmaktadır.

Farklı noktalarda oluşan tat ve koku, bazı biyolojik ve/veya antropojenik kaynaklardan ileri gelmektedir. Rezervuarlarda başlıca biyolojik kaynaklar olan alg (siyanobakteri) ve aktinomisetlerin filamentli bakteriler), 2-MIB (2-metilizoborneol) ve geosmin gibi suya topraksı ve küflü bir tat veren bazı tat ve koku bileşikleri ve toksinlerinin potansiyel üreticisi olduğu bilinmektedir. Çözünmüş 2-MIB ve Geosmin, 10 ng/L konsantrasyonunun altında (<5 ng/L) bile insanlar tarafından algılanabilmektedir. Öte yandan, antropojenik bazı organik ve inorganik bileşikler (demir ve mangan gibi bazı metaller, halojenler, aldehit ve ketonlar) suda keskin ve çürük kokulara sebep olmaktadır

2. REZERVUAR KAYNAKLI TAT VE KOKU

Su havzalarını kirleten kaynaklar, noktasal ve yayılı kirlilik kaynaklarıdır. Bu kirlilik neticesinde su kaynağında ötrofikasyon meydana gelmekte ve çeşitli algal metabolitler suya istenmeyen tat ve koku vermektedir. Dolayısıyla, havzada alınacak önlemler, içme suyundaki tat ve koku sorununun oluşmasını önlemede oldukça kritik bir öneme sahiptir.

Yayılı kirletici kaynaklardan oluşan en önemli kirlilik parametreleri makro besin maddeleri olan azot (N) ve fosfor (P)'dur. Su kaynaklarındaki kalitenin iyileştirilmesi ve korunması için noktasal kirleticilerin yanı sıra, su ve havza kirlenmesi üzerinde büyük etkisi olan yayılı kirleticilerin belirlenmesi ve kontrolü de son derece önemlidir. Başlıca yayılı kirlilik kaynakları; tarım ve hayvancılık dışı arazi kullanımı, tarımsal faaliyetler, hayvancılık faaliyetleri, atmosferik taşıyım, foseptikler ve düzensiz atık depolama alanları olarak sıralanabilir.

İçilebilir su üretiminde algleri, ham su kaynaklarındaki tat ve kokunun en önemli sebebi olarak görülmektedir. Algler su kaynaklarında oldukça yaygındır ve içme suyunun organoleptik kalitesini önemli ölçüde etkilemektedir. Mavi-yeşil algler ve kamçılılar gibi bazı diatomlar başlıca sorun kaynakları olsa da, desmidleri de içeren bazı yeşil alglerin de, bu sorun kaynaklarından biri olduğu belirtilmektedir.

Özellikle rezervuarlardaki yüzeysel su kaynaklarında, tat ve kokuya protozoa, mantar ve diğer sucul mikrobiyotanın da sebep olduğu bilinmektedir. Bu tür tat ve koku; "balıksı", "topraklı", "odunsu", "küflü", "somon", "gübre" ve "sardunya" gibi tanımlanmaktadır. En sık bildirilen topraklı-odunsu-küflü tat ve kokuların, belirli mavi-yeşil algler ile aktinomisetler ve birkaç mantardan kaynaklandığı bilinmektedir. En sık bildirilen topraklı-odunsu-küflü tat ve kokuların, belirli mavi-yeşil algler ile aktinomisetler ve birkaç mantardan kaynaklandığı bilinmektedir.

Siyanobakteriler, mavi-yeşil alg, mavi-yeşil ve siyanofita gibi birçok şekilde adlandırılmaktadır. Siyanobakterilere ötrofik sularda (nütrient bakımından zengin sular) ve sığ rezervuarlarda sıklıkla rastlanmakta ve siyanobakteriler yüzey köpüğü, bentik (taban) örtüsü ve sucul ot formunda görülebilmektedirler. Rezervuarda ötrofikasyonun meydana gelmesi halinde bakteriler ölererek koku bileşiklerini su ortamına bırakmaktadırlar.

Aktinomisetler, filamentli bakterilerdir. Göllerin su kolonu ve sedimentleri ile akarsular ve nehirler gibi çeşitli habitatlarda bulunarak alg ve sucul bitkilerle uyum içinde yaşamaktadırlar.

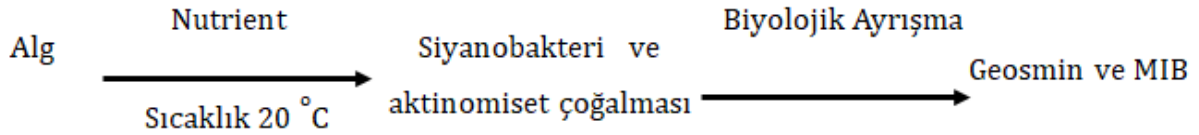
Alg patlamasının olduğu dönemlerde içmesuyu arıtma tesisi (İAT)'leri çökeltme tankı veya çamur ünitelerinden düzenli numune alımı, tat ve koku bileşiklerini salımı riskini doğru tahmin etme ve önleyici önlemlerin başarılı bir biçimde uygulaması önemli bir adım olarak görülmektedir. Çünkü çamur ünitelerinde potansiyel Geosmin ve 2-MIB üreten siyanobakteri hücrelerinin birikimi olabilir ve mutlaka incelenmelidir. Bu noktalarda birikmiş hücrelerden tat ve koku bileşiği salınımı riski, çamur yönetimi ve tekrar kullanımında önemli rol oynamaktadır.

3. YÜZEYSEL SU KAYNAKLARINDA SİYANOBAKTERİLER VE KOKU/TAT

Geosmin ve 2-MIB'in içme suyunda tat estetikliliğini bozması dışında sağlık için bir problem oluşturmamaktadır. WHO ve AB tarafından geosmin ve MIB için halen uygulanmakta olan bir sınır değeri yoktur. Ayrıca geosmin ve MIB, klorlu organik maddeler bakımından risk taşımamaktadır.

- ✓ Mavi-yeşil algler (Siyanobakteri) ve aktinomisetler, geosmin veya MIB üreten hücrelerinde biriktirebilmektedir.
- ✓ Hücrelerde biriktirilen geosmin veya MIB canlı hücrelerden sızabilir veya hücre içerisinde yoğun konsantrasyonda bulunabilir.
- ✓ Hücreler öldüğünde veya parçalandığında geosmin ile MIB su ortamına salınır. Geosmin ve MIB üretimi çevre koşullarından etkilenebilir.

Siyanobakteri ve koku/tat



3.1. Aktinomisetler

- ✓ İçme sularında geosmin ve MIB'in önemli üreticilerinden biri de aktinomiset bakterileridir.
- ✓ Aktinomisetler, toprak mantarlarında çubuk şeklinde ve filamentli (ipliksi) bakteriler olarak karasal çevre ve tatlı su ortamında bulunmaktadır.
- ✓ Aktinomisetlerin bazı türleri sporlar oluşturabilir ve bunlar rüzgarlar ile veya su bazlı sedimentler ile taşınabilir.
- ✓ Aktinomisetlerin yaygın türleri Actinoplanes, Micromonospora, Rhodococcus, Streptomyces ve Thermoactinomyces'dir.

3.2. Geosmin

- ✓ Geosmin trans-1,10-dimethyl-trans-9-decalol olarak bilinmektedir.
- ✓ Siyanobakteriler, aktinomisetler ve aktinobakteriler gibi organizmalar tarafından geosmin üretilmektedir.
- ✓ Özellikle yaz mevsiminde sıcaklığın 20 °C ve üzerinde olduğu besi maddesi bakımından zengin koşullarda alg çoğalmaları olmaktadır.
- ✓ Bu alg çoğalmaları geosmin gibi tat ve koku problemi oluşturan ürünlerin oluşumuna katkı sağlayabilmektedir.
- ✓ Geosminin koku eşiği değeri 15 ng/L'dir.

3.3. MIB (2-Methylisoborneol)

- ✓ 2-Methylisoborneol (MIB), 1,6,7,7-tetramethylbicyclo[2.2.1]heptan-6-ol olarak bilinmektedir.
- ✓ 35 ng/L gibi düşük koku eşik değerine sahiptir.
- ✓ Geosmin gibi konvansiyonel arıtma prosesleri ile arıtılabilirliği oldukça güçtür.

USEPA, geosmin ve MIB-2 için içme suyunda maksimum müsaade edilen sınır değer belirlenmemiştir. Ancak toplam koku sayısı (TON) sınır değeri, <3'dür.

Dünya Sağlık Örgütü (WHO) tarafından koku ile ilgili limit değer önerilmezken kriter, kullanıcı için kabul edilebilir kokuda olması olarak belirtilmiştir. Geosmin ve 2-MIB'in şebeke sistemlerinde olası üreticisi olabilecek canlı gruplarının (cyanobacteria, diğer algler, actinomycetes ve fungi) bulunmasının su dağıtım sisteminde veya arıtma sistemindeki yetersizlikleri işaret ettiği belirtilmiştir. WHO, güvenli su kaynakları için siyanotoksin konsantrasyonlarını 1 µg/L ile sınırlandırmıştır.

Bununla birlikte, geosmin ve 2-MIB'nin herhangi bir sağlık sorunu yarattığı gösterilmemiştir ve herhangi bir yasa düzenlenmemiştir. Sağlık üzerinde olumsuz bir etkisi olmamasına rağmen, içme suyunda düşük tat ve koku eşiklerinde olduğundan dolayı tüketiciler geosmin ve MIB'e maruz kalmaya karşı duyarlıdır.

Tablo 3.1 Geosmin ve MIB Kaynakları ve Tat/Koku

Kimyasal	Tat/koku	Kaynaklar
Geosmin	Toprağımsı veya otsu koku	Aktinomiset, mavi-yeşil alg (siyanobakteri) ve yeşil algler tarafından üretilir
2-Methylisoborneol (MIB)	Küf kokusu	Aktinomiset, mavi-yeşil alg (siyanobakteri) ve yeşil algler tarafından üretilir
2t, 4c, 7c-decatrienal	Bayat balık kokusu	Mavi-yeşil alg (siyanobakteri) tarafından üretilir

Nisan ayından itibaren Eylül ayı sonuna kadar güneşli ve sakin günlerde yüzeysel içme suyu kaynağından haftada bir defa numuneler alınıp geosmin ve methylisoborneol analizleri yapılmalıdır. Geosmin ve methylisoborneol (2-MIB) parametreleri izlenmelidir.

Japonya içmesuyu standartlarında geosmin ve 2-MIB'e yer veren dünyada ilk ülkedir. Geosmin ve 2-MIB için maksimum limit değeri: 10 ng/L'dir. Çin içmesularında geosmin için maksimum limit değeri, 10 ng/L'dir. Avustralya: İçmesuyu arıtma tesisi çıkışında olması gereken maksimum toplam veya tek başına Geosmin ve MIB değeri: 10 ng/L'dir. Bunun üstünde bir değere tesis girişinde rastlanması durumunda örnekleme sıklığı 2 gün yapılmalı, tesis çıkışında değerler 10 ng/L altına düşene kadar aktif karbon ile giderim uygulanması yapılmalıdır. Güney Kore, geosmin ve 2-MIB için içme suyunda maksimum müsaade edilen sınır değerleri 20 ng/L olarak belirlemiştir.

4. GÖL ve BARAJDA KOKU KİRLİLİĞİNİ ÖNLEMELİK İÇİN YAPILACAKLAR

Rezervuar, baraj ve göllerde başlıca su giriş ve çıkışları ile kıyılardaki faaliyetlerin etkilerini belirleyecek ve kalitenin bütün su kütleindeki değişimini karakterize edecek şekilde, en az beş nokta olmak üzere numune alma noktalarının koordinatları GPS ile belirlenir. Numune alma noktaları belirlenirken kirletici kaynakların yerleşimi ve su kütleinin hidrodinamik özellikleri göz önünde bulundurulur. Değişik mevsimlerde, su yüzeyinin karelere bölünmesiyle elde edilen ağır köşe noktalarında çeşitli derinliklerden numune alınır. Bu ön araştırmaya göre rutin numune alma noktaları belirlenir. Göl ve barajlardan su numunesi alma işlemi, yağmursuz ve sakin havalarda, özellikle sabah saatlerinde yapılır. Göl ve barajdan numune alma noktaları tüm gölü ve barajı temsil edici noktalar olmalıdır. Numune alma noktaları ile kirletici kaynakların tespiti de yapılabilir.

Yüzeyden 30-40 cm aşağıdan numune alınır. Atıksu veya yan kolların tam olarak karıştığı önceden tespit edilen yerlerden numuneler alınır.

Derinlik, göllerin trofik seviyelerini etkileyen en önemli faktörlerden biridir. Derinliği az, littoral sahaları (sığ kıyı kesimleri) geniş göller derin göllere göre daha verimlidir.

Yaz aylarında sıcaklık tabakalaşması dönemlerinde, atmosferle ilişkisi kesilen derin kısımlardaki sucul hayatın oksijen ihtiyacını karşılayan hipolimnion tabakasının kalınlığı, dolayısı ile oksijen depolama kapasitesi göl derinliği ile artmaktadır.

Su sıcaklığının su kimyası ve sucul yaşam üzerinde önemli etkileri vardır. Göl ve barajlarda artan sıcaklık değerleri, göllerde termal tabakalaşma oluşturarak su yüzeyinde çözünen atmosfer oksijeninin suyun derin kısımlarına geçişine engel olmaktadır.

Secchi derinliği, göllerin berraklığının-ışık geçirgenliğinin bir ölçüsüdür. Işık geçirgenliğini etkileyen en önemli parametre askıdaki katı maddelerdir. Secchi değeri ne kadar düşükse gölün trofik seviyesi o kadar yüksek demektir.

Göl/barajdan ekim ile nisan ayları arasında ayda bir defa ve mayıs ayından itibaren eylül sonuna kadar daha sık periyotlarda yüzeyden itibaren derine doğru sıcaklık, seci disk, CO₂, bulanıklık, pH ve iletkenlik gibi parametrelerin yerinde ölçümleri yapılmalıdır. Göl ve barajlarda ölçüm çalışmaları yağışsız ve sakin havalarda yapılmalıdır. Tabakalaşmanın olduğu bölgelerden numuneler alınarak TOK, TP, TKN, TÇM, demir, mangan, Threshold Odor Number (TON), klorofil a, MIB ve Geosimin gibi kirleticilerin analizleri yapılmalıdır.

Koku kirliliğinin başladığını tespit etmek için 1-10 ng/L aralığında, mümkünse 1-6 ng/L aralığında geosimin ve 2-MIB konsantrasyon artış trendlerini iyi bir şekilde gözlemlenmeli ve takip edilmelidir. Konsantrasyon artış trendlerine önlem alınmazsa birkaç gün içerisinde göl suyunda geosimin ve 2-MIB konsantrasyonu 10 ng/L seviyelerinden 300-400 ng/L seviyelerine hızla çıkabilir. Bu sürenin kısalığı göz önünde tutulduğunda, erken uyarı mekanizması oluşturulmasının önemi bir kez daha ortaya çıkmaktadır. Sağlıklı bir erken uyarı mekanizması için ilk şart, tat ve koku bileşiklerini hassas, doğru ve çabuk bir şekilde ölçebilecek analitik yeterliliğe sahip olmaktır. Numune alınacak noktalar tespit edildikten

sonra numune alma stratejisi belirlenmeli, personel ve ekipmanlar iyi bir şekilde organize edilmeli ve alınan numuneler mümkün olan en kısa sürede analiz için laboratuvara ulaştırılmalıdır.

Düzenli izleme çalışmaları esnasında tat koku probleminin başladığına ait bulgulara rastlanırsa, problemi tanımlamak amacıyla (1) problemin kaynaklandığı noktayı bulmak, (2) problemin büyüklüğünü tespit etmek, (3) probleme yol açan türleri belirlemek gibi çözüme yönelik kritik bilgiler elde edilmelidir.

Fosfor, ötrofik göllerde siyanobakterilerin büyümesinde önemli rol oynayan kilit besi maddelerinden biridir. Bu nedenle fosfor konsantrasyonundaki artış, tat ve koku sorununun habercisi niteliğindedir. Yapılan bir çalışmada, azotun sınırlayıcı olduğu durumda yüksek fosfor seviyesi görülen su kaynağında (~0.4 mg/L), mavi yeşil alglerin kitlesel büyümesi için ideal koşulların oluştuğu tespit edilmiştir. Yaz ve sonbahar sonlarına tekabül eden dönemlerde orta derecede toplam fosfor (TP) seviyesinin siyanobakteriyel patlamaya sebebiyet verdiğini belirtmiş, 30 – 70 µg/L aralığındaki fosfor seviyesinin siyanobakteriyel büyüme için en ideal aralık olduğunu tespit etmiştir. Havza içinde ve çevresinde kritik besi elementi olan noktasal TP yüklerinin hızlıca azaltımı çalışması başlatılmalıdır.

ABD'nin Kansas eyaletinde bulunan Big Hill rezervuarında yapılan bir çalışmada Geosmin konsantrasyonu ile klorofil-a arasında pozitif bir ilişki gözlenmiştir. Bu tür parametre ilişkileri sayesinde tat ve koku bileşiklerinin oluşumu önceden tahmin edilebilmekte, bu ilişkiler bir tür erken uyarı görevi görebilmektedir.

Geosmin ve 2-MIB bileşiklerine ait hücre içi/hücre dışı kirletici oranının incelendiği bir diğer çalışmada, alg patlamasının olduğu dönemde arıtma tesisinde çökeltme tankı veya çamur ünitelerinden düzenli numune alınmalı ve analizleri yapılmalıdır. Bu numune alım işlemi, tat ve koku bileşiklerini salımı riskini doğru tahmin etme ve önleyici tedbirleri başarılı bir biçimde uygulamada gerekli bir adım olarak görülmektedir.

İçme suyu göl veya barajından kademeli su alma yapısının yapılması ve özellikle yazın kirliliğin en düşük olduğu seviyelerden su alınmalıdır.

TOK değeri yüksek olan göletlerde ileri oksidasyon sistemlerine geçilmelidir.

Göl/baraj tabanında tabakalajma sonucu anaerobik şartların oluşup oluşmadığı tespit edilmelidir. Göl/baraj tabanında Mn (4) den Mn (2) ve Fe (3) den Fe (2) indirgenmesi tabanda anaerobik şartların oluştuğunu gösterir. Mn (2), Fe (2) ve PO⁴ serbasta kaldığını gösterir.

Toplam noktasal kirlilik yükü, kentsel atıksu ve arıtma taşkınından gelen yük ile köy arıtmasından gelen yükün toplamını ifade etmektedir. Yayılı kirletici kaynaklardan oluşan en önemli kirlilik parametreleri makro besi maddeleri olan azot (N) ve fosfor (P)'dur. Su kaynaklarındaki kalitenin iyileştirilmesi ve korunması için noktasal kirleticilerin yanı sıra, su ve havza kirlenmesi üzerinde büyük etkisi olan yayılı kirleticilerin belirlenmesi ve kontrolü de son derece önemlidir. Başlıca yayılı kirlilik kaynakları; tarım ve hayvancılık dışı arazi kullanımı,

tarımsal faaliyetler, hayvancılık faaliyetleri, atmosferik taşınım, foseptikler ve düzensiz atık depolama alanları olarak sıralanabilir.

Gölleri ve barajları kirleten kaynaklarla ilgili çözümler üretilmeli; çevrede iyi tarım uygulamaları, hayvan çiftlikleri, erozyon ve diğer önlemler alınmalıdır.

Havzalardaki noktasal ve yayılı kirletici kaynakların tespiti ve daha etkin kontrolü yapılmalıdır. Göl/barajı kirleten tüm kaynaklar tespit edilmelidir.

Köy yerleşimlerine de yapay sulak alanlarla desteklenen AAT yapılması, tekil evler için daha etkin ve denetimli vidanjör hizmeti sunulmalıdır.

Baraj Göllerini besleyen, nispeten kirlenmiş, derelerin önemli kolları ve/veya ana kolu üzerinde, önünde sediment tutucu (tersip bentleri) bulunan yapay sulak alanlar (YSA) oluşturularak, içme suyu kaynaklarına besi maddesi girişleri azaltılabilir.

Yukarıda belirtilen kirlilik kontrol önlemleri alınsa bile, olumlu sonuçların Baraj Gölleri'ndeki su kalitesine yansımaları genelde $\sim 3-4 \cdot \theta_h$ (baraj gölünün hidrolik bekletme süresi) sonra gözlenmelidir.

Koku kirliliği ile ilgili Göl/baraja algisitler, hedeflenen alg kontrolünden kısa bir süre sonra parçalanır ve aktive olmazlar, ayrıca (doğru ve bilinçli uygulandıklarında) balıklarda biyobirikime sebep olmazlar. Yaygın olarak kullanılan bazı algisitler; bakır sülfat, bakır esaslı şelatlı ürünler, benzalkonyum klorür ve simazindir. Bazı algisitlerin uygulamaları sırasında beklenmedik etkiler de görülebilir, bu yüzden uygulanacak algisit seçimi önemlidir.

Bakır sülfatın, çevreye zararlı etkisinden dolayı alg kontrolünde kullanılması önerilmemektedir. Bakır sülfat, balıklar ile diğer organizmalarda toksik etkiye neden olmaktadır. Bu kimyasalın aşırı kullanımı, etkisini kaybetmesine sebep olmakta, ayrıca bakır, dip bölgelere çökerek sediment oluşturmaktadır.

Koku kirliliği ile ilgili Göl/baraja CuSO_4 ve/veya algisit dozlanması (algisitler, hedeflenen alg kontrolünden kısa bir süre sonra parçalanır ve aktive olmazlar, ayrıca (doğru ve bilinçli uygulandıklarında) balıklarda biyobirikime sebep olmazlar),

Baraj haznelerinde CuSO_4 ve/veya Algisit uygulamaları ile alg kontrolü çalışmaları genelde 10~20 ng/L Geosmin/2-MIB düzeyinden itibaren başlatılarak alg gelişimi baskılanmaya çalışılabilir, bu konu tüm yönleri ile incelenmelidir. Su kaynağındaki bu çalışmalar öncelikle su alma ağzı uzağında, dere ağızları civarındaki sığ kesimlerde yoğunlaşarak istenmeyen mavi yeşil alg türlerinin gelişmesinin yavaşlatılması hedeflenmektedir.

Baraj Gölleri'ndeki alg gelişiminin yıl boyu takibinde, uydu verilerinden de yararlanılarak, daha etkin bir erken uyarı ve müdahale (algisit uygulamaları vb.) sistematığı oluşturulmalıdır.

5. GEOSMİN VE MIB GİDERİMİ

Ötrofikasyon riskinin azaltılabilmesi için havzalardaki noktasal ve yayılı kirletici kaynaklar daha etkin kontrol edilmelidir. Bu kapsamda su havzalarında yer alan yerleşimlerde birleşik sistem atık su kanalizasyon sistemlerinin ayrık sisteme (atık su ve yağmur suyu için ayrı toplama şebekeleri) dönüştürülmesi, köy yerleşimlerine uygun atıksu arıtma yönetiminin uygulamaya konması, tekil evler için daha etkin ve denetimli vidanjör hizmeti sunulması, havza koruma bölgeleri içindeki yapılaşmanın ve kötü tarımsal faaliyetlerin engellenmesi, sanayi tesislerinin arıtma tesislerini yapmaları/işletmeleri, havzadaki tarım ve hayvancılık faaliyetlerinde iyi tarım ve hayvancılık prensiplerinin teşvik edilmesi, uygulanması ve organik tarımın teşviki öncelikle takip edilmelidir.

İçme suyu kaynağında su kalitesi izleme programı oluşturulması, tat ve koku problemlerinin kontrol altına alınmasında temel stratejilerden biri problem fazla büyümeden ve kullanıcılara yansımadan sorunun kaynağının tespit edilerek gerekli müdahalenin yapılmasıdır. Hassas kullanıcılar Geosmin ve 2-MIB maddelerinin çok düşük konsantrasyonlarında (~5 ng/L) bile rahatsızlık duyabilmektedir. Bu konsantrasyonlar rutin analitik metotlarla ölçülebilen limit değerlere (~1 ng/L) oldukça yakındır. Bu yüzden izleme programı kapsamında bu maddelerin doğru ve hassas şekilde ölçüldüğünden emin olunmalıdır.

Sorunun muhtemel kaynağı olan noktalarda gerekli ölçümler yapılarak ve önlemler alınarak tat ve kokunun meydana gelmesi engellenebilir. Tat ve koku oluşumunun önlenemediği durumlarda ise yaygın tat ve koku giderim yöntemleri belirlenerek, arıtma tesisinde mevcut duruma en uygun proses seçilebilir ve uygulanabilir.

Detayları verilen Geosmin ve 2-MIB giderme metotları aşağıda verilmiştir.

Geosmin ve MIB arıtımı;

- ✓ Granüle aktif karbon, sıvı veya gaz fazdaki iyon veya moleküllere konsantre halde birikebilecekleri bir yüzey sağlayan adsorbent bir malzemedir. Aktif karbon içilebilir sulara organik maddeleri gidermede yaygın olarak kullanılır. Aktif karbon adsorpsiyonu; tat ve koku bileşikleri, dezenfeksiyon yan ürünleri, alg toksinleri, sentetik organik bileşikler, endokrin bozucular, ilaç ve kişisel bakım ürünleri gibi birçok bileşiği gidermede etkili bir metottur. Hızlı karıştırma ünitesinde 5-10 mg/lt toz aktif karbon uygulaması veya arıtma yapıldıktan sonra **granüle aktif karbon** yatağında 2-10 dakika temas süresinde 2-MIB ve Geosmin'i %95 oranında gidermek mümkündür. Ancak granüle aktif karbon uygulaması pahalı bir metottur.
- ✓ 2-MIB ve Geosmin giderimi için pratik yollardan birisi de odun esaslı toz aktif karbonla adsorbsiyon metodudur. Jar test metodu ile optimum toz aktif karbon dozajı ve optimum 2-MIB ve Geosmin giderim verimliliği belirlenir. Bu esaslara göre projelendirmesi yapılır. Besleme tankında bulamaç haline getirilen toz aktif karbon işlemi uygulaması, İAT (içme suyu arıtma tesisi) hızlı karıştırma ünitesi öncesi dozlama yapılır. Hızlı karıştırma, yavaş karıştırma ve çöktürme işlemi ile yeterli temas süresi sağlanır.

- ✓ Hızlı karıştırma ünitesinden önce odun esaslı toz aktif karbon kullanılmaya başladığı andan itibaren ön klorlama işlemine son verilir. Aksi klor aktif karbonun absorpsiyon kapasitesini zayıflatır.
- ✓ Aktif karbon, silo içerisinden bir helezon vasıtası ile alınarak vakum enjektörü ile su içerisine karıştırılabilir. Bu karışım kendi basıncı ile dozajlanabilmelidir. Tüm vanalar ve helezon bir plc sistemi ile kontrol edilerek SCADA sistemi ile uzaktan kontrol edilebilmelidir.
- ✓ Aktif karbon ünitesi özellikleri;
 - Ünite uzaktan açılıp kapatılabilir.
 - Dozajlama miktarı uzaktan erişim ile manuel ayarlanabilir.
 - Dozalama miktarı anlık debi verisine göre ayarlanabilir.
 - Aktif karbon silosunda kaç kg aktif karbon kaldığı uzaktan takip edilebilir.
 - Üzerindeki akış ve seviye sensörleri ile üniteye su akışı ve seviyesi kontrol edilebilir.
 - Borulu dozlama pompası kullanılabilir,olmalıdır.
- ✓ 2-MIB ve Geosmin giderimi için **yavaş kum (biyolojik) filtrasyonunun** oldukça etkili olduğunu; 25-69 ng/L başlangıç 2-MIB konsantrasyonlarının giderim veriminin %88-100 aralığında, 360 ng/L başlangıç Geosmin konsantrasyonunun giderim veriminin ise ~%75-98 olduğunu tespit etmiştir.
- ✓ Vakum **UV ışınlaması** MIB ve geosmin giderimi için UV ışınlamasından daha iyi performans göstermektedir.
- ✓ **Ozon oksidasyonu**, 2-MIB ve Geosmin gibi siyanobakteriyel metabolitlerin gideriminde kullanılan yaygın yöntemlerden biridir. 1,5 mg/L ozon dozajında 2-MIB %70-90 giderilebilir. Aynı ozon dozunda geosmin giderme verimi 2-MIB gideriminden daha fazla olduğu görülmüştür.
- ✓ **Ozon** ile giderme verimi %50 iken ozon+UV ile giderim %90'lara ulaşabilir.
- ✓ **Ozon** ile MIB giderimi %28 iken boksit katalizi ve ozon ile verim %75'e kadar artabilir.
- ✓ **UV/H₂O₂** ile geosmin giderme verimi %50-70 olabilir.
- ✓ **Ti/IrO₂-Pt anot**, 60 dakika 3 g NaCl/L'de elektroliz ve 40 mA/cm² akım yoğunluğunda geosmin konsantrasyonu 600 ng/L'den 8 ng/L'ye kadar azalabilir.
- ✓ **UV** 1200 mJ/cm² dozu ve 6 mg H₂O₂/L ile geosmin %90 ve MIB %60 giderilebilir.

2-MIB ve geosmin için koku algı limiti 9 ile 13 ng/L arasındadır, dolayısıyla belirlenecek hedef bu aralığın altında kalmalıdır.

Dünya Sağlık Örgütü (WHO): Limit değer önerilmezken kriter, kullanıcı için kabul edilebilir kokuda olması olarak belirtilmiştir. Geosmin ve 2-MIB'in şebeke sistemlerinde olası üreticisi olabilecek canlı gruplarının (Cyanobacteria, diğer algler, actinomyces ve fungi) bulunmasının su dağıtım sisteminde veya arıtma sistemindeki yetersizlikleri işaret ettiği belirtilmiştir. Avrupa Birliği Standardı (The 1998 European Economic Community Standard: Council Directive 98/83/EC): Limit değer önerilmezken tat ve koku için kriter, su kullanıcıları için kabul edilebilir ve kullanıcılarda olumsuz etkilere sebep olmaması olarak belirtilmiştir.

6. KAYNAKLAR

1. “Color, taste and odor problems in drinking water” 331-286 Revised, <https://fortress.wa.gov/doh/odwpubs/Publications/>, February 2018
2. Prof. Dr. Mehmet ÇAKMAKCI, Yıldız Teknik Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, “İÇME SUYU ARITIMINDA TAT VE KOKU GİDERİMİ”, İSKİ, 2018.
3. Malhun FAKIOĞLU, Mahmut Ekrem KARPUZCU, İzzet ÖZTÜRK, “İçme sularında alg kaynaklı tat ve koku sorununun değerlendirilmesi”, Pamukkale Univ Muh Bilim Derg, 24(6), 1141-1156, 2018
4. Prof. Dr. İzzet Öztürk, Y. Müh. Malhun Fakıoğlu, “İÇME SULARINDAN TAT VE KOKU GİDERİMİ” İSKİ, 2017.
5. Daolin SUN, Jianwei YU, Min YANG, Wei AN, Yunyun ZHAO, Ning LU, Shengguang YUAN1, Dongqing ZHANG, “Occurrence of odor problems in drinking water of major cities across China”, Front. Environ. Sci. Eng. 2014, 8(3): 411–416.
6. P. Piriou, R. Devesa, M. De Lalande and K. Glucina, “European reassessment of MIB and geosmin perception in drinking water” Journal of Water Supply: Research and Technology AQUA | 58.8 | 2009
7. Hanbai Park, “REMOVAL OF GEOSMIN AND 2-METHYLISOBORNEOL USING ALGAECIDES AND CHEMICALS IN POTABLE WATER”, Submitted to the Faculty of the Graduate College of the Oklahoma State University in partial fulfillment of the requirements for the Degree of DOCTOR OF PHILOSOPHY July, 2013.
8. Rangesh Srinivasan, George A. Sorial, “Treatment of taste and odor causing compounds 2-methyl isoborneol and geosmin in drinking water: A critical review”, Journal of Environmental Sciences 2011, 23(1) 1–13.
9. Tsair-Fuh Lin, Jiun-Yue Wong, Hsiao-Pin Kao, “Correlation of musty odor and 2-MIB in two drinking water treatment plants in South Taiwan”, The Science of the Total Environment 289 (2002) 225–235.
10. : <http://www.nilim.go.jp/lab/bcg/siryounn/tnn0264pdf/ks0264011.pdf>
11. <http://tradechina.dairyaustralia.com.au/wp-content/uploads/2018/08/GB-5749-2006-Standards-for-Drinking-Water-Quality.pdf>
12. <https://www.nhmrc.gov.au/sites/default/files/documents/reports/aust-drinking-water-guidelines.pdf>
13. <https://www.seoulsolution.kr/en/node/6379>
14. <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/254637/9789241549950-eng.pdf?sequence=1>
15. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A31998L0083>

16. Friedrich Jüttner and Susan B. Watson, “Biochemical and Ecological Control of Geosmin and 2-Methylisoborneol in Source Waters”, APPLIED AND ENVIRONMENTAL MICROBIOLOGY, July 2007, p. 4395–4406 Vol. 73, No. 14.