

HİDROJEN SÜLFÜRÜN KANALİZASYONA VE SAĞLIK ÜZERİNE ETKİLERİ



Prof. Dr. Mustafa ÖZTÜRK
Müsteşar
Çevre ve Şehircilik Bakanlığı

ANKARA-2017

İÇİNDEKİLER

1.GİRİŞ.....	1
2.KANALİZASYON SİSTEMİNDE HİDROJEN SÜLFÜR OLUŞUMU.....	6
3.KANALİZASYON SİSTEMİNDE SÜLFÜR OLUŞUMUNUN HESAPLANMASI	9
3.1.Kanalizasyon Sisteminde Hidrojen Sülfür Oluşum Hızını Etkileyen Faktörler.....	11
4.KANALİZASYON SİSTEMİNE HİDROJEN SÜLFÜRÜN OLUMSUZ ETKİLERİ	14
4.1.Bozulan Veya Tahrip Olan Kanalizasyon Sisteminin Bakım Onarımı.....	23
5.HİDROJEN SÜLFÜRÜN İNSAN SAĞLIĞI ÜZERİNE ETKİSİ.....	25
5.1.Hidrojen Sülfürün Sağlık Etkisi.....	26
6.KAYNAKLAR.....	28

1.GİRİŞ

Yeryüzünün %70'i su ile kaplıdır. Bu suyun %97.5'i tuzlu ve %2.5'i taze (içilebilir) sudan ibarettir. Taze suyun %2.14'ni buzullar , %0.06 yer altı suyu, %0.9 ise yüzeysel sular oluşturmaktadır. Üç tarafı su ile çevrili Türkiye'de tatlı su kaynakları sınırlıdır. Dünya ortalaması kişi başına yıllık yağış miktarı 33.975 m³'tür. Bu suyun çok cüzi miktarı kullanılabilir. Kişi başına yıllık içme ve kullanma suyu miktarının 100 m³ civarında olduğu düşünülürse, içme ve kullanma suyu ihtiyacının toplam yağışın binde üçü mertebesinde olduğu hesaplanır. Dünya'da kirli sulardan dolayı her yıl yaklaşık 2.2 milyon insan hayatını kaybetmektedir.

Türkiye'de belediye türü ve sayısı Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Belediye Sayısı

Türü	Sayısı
Büyükşehir Belediyesi	30
İl Belediyesi	51
Büyükşehir İlçe Belediyesi	519
İlçe Belediyesi	400
Belde (Kasaba) Belediyesi	397
Toplam	1397

1980'li yılların ortalarında kanalizasyon şebekesi yapımında büyük bir patlama yaşanmıştır ve mevcut kanalizasyon şebekesinin yaklaşık %50'si bu dönemde yapılmıştır. 2002 yılında, Türkiye'nin kanalizasyon şebekesinin uzunluğu ise 65,535 km olarak belirlenmiştir. Kanalizasyon şebekesi ile hizmet verilen nüfusun toplam belediye nüfusuna oranı, 2001 yılında %81 iken, 2006 yılında bu oran ancak %86'ya, 2008-2010 yılında ise bu oran %88'e ulaşmıştır. 2012 yılında %92'e ve 2014 yılında %90 olmuştur. 30 büyükşehir kurulması, burada köylerin mücavir alanları içine girmesi nedeniyle 2014 yılında oran düşmüştür.

Türkiye'de 2023 yılına kadar yeni yapılması gereken kanalizasyon uzunluğu toplam 30.000 km olarak tespit edilmiş olup, yapılması planlanan bu kanalizasyonun ilk yatırım maliyeti 14.461.469.151 TL olarak hesaplanmıştır. Diğer yandan mevcut kanalizasyon hatlarından ekonomik ömrü dolup da yenilenmesi gereken hatların toplam uzunluğu ise 30.000 km olarak bulunmuş olup, bu hatların yenilenmesi için gerekli yatırım ihtiyacı yaklaşık 10.800.000.000 TL olarak hesaplanmıştır. Kanalizasyon şebekelerinde hem yenileme maliyetleri hem de

önleyici tedbirlerin maliyeti nedeniyle hidrojen sülfürden kaynaklanan beton korozyon önemli bir ekonomik sorundur. **Kısaca; kanalizasyon sistemi ilk yatırımı ve yenileme maliyetleri hem yat hem de işletme döneminde ortaya çıkacak maliyetlerini karşılamak için gerekli olan toplam finansman ihtiyacı 2023 yılına kadar 37.052.677.055 TL olarak öngörülmektedir.**

2001 yılında; kanalizasyon şebekesinden deşarj edilen 2,300 milyon m³ atık suyun, % 51,9'u olan 1,193 milyon m³ atık su arıtma tesislerinde arıtılmıştır. Bu miktar giderek artış göstermiş ve 2004 yılında ise; kanalizasyon şebekesinden deşarj edilen 2,922 milyon m³ atık suyun, % 65'i olan, 1,901 milyon m³ atık su arıtma tesislerinde arıtılmıştır. 2014 yılında; kanalizasyon şebekesinden deşarj edilen 4,3 milyar m³ atıksuyun 3,5 milyar m³ü atıksu arıtma tesislerinde arıtılmıştır. Arıtılan atıksuyun %41,6'sına gelişmiş, %33,2'sine biyolojik, %25'ine fiziksel ve %0,2'sine doğal arıtma uygulanmıştır. Arıtılan atıksuyun %50,5'i denize, %40,5'i akarsuya, %1,8'i baraja, %1,4'ü göl-gölete, %0,2'si araziye ve %5,6'sı diğer alıcı ortamlara deşarj edilmiştir.

2015 yılında; Türkiye genelinde 653 atıksu arıtma tesisi ile 551 belediyeye, 2016 yılında; Türkiye genelinde 954 atıksu arıtma tesisi ile 584 belediyeye ve 2017 yılı ağustos ayı itibariyle; Türkiye genelinde 989 atıksu arıtma tesisi ile 584 belediyeye hizmet verilmektedir.

Ülkemizde **tatlı su kaynaklarına** yönelik talepler her **yirmi yılda iki misli** katlanmaktadır. Diğer taraftan su kaynakları üzerindeki kirlenme giderek artmakta ve mevcut kaynaklar kullanılamaz hale gelmektedir.

Konutlarda, işyerlerinde ve bazı sanayilerde oluşan atık sular, kanalizasyon sistemi ile toplanıp merkezi bir arıtma sisteminde arıtılmaktadır. Atık suyun oluştuğu kaynaklar ile arıtma tesisi arasında atık sular, kanalizasyon sistemi ile taşınmaktadır. Kanalizasyon sistemi genel olarak beton malzemelerden yapılmaktadır. Ülkemizdeki kanalizasyon şebekesi borularının fiziki ömrünün, doğru inşa edilmesi ve işletilmesi kaydıyla, 30 yıl olduğu hesaplanmıştır. Gelişmiş ülkelerde ise fiziki ömür 60-80 yıldır.

Yerleşim bölgelerinde, iç içe yaşadığımız kanalizasyon sistemleri doğru inşa edilmeli ve doğru olarak işletilmelidir. Doğru olarak kurulmayan kanalizasyon sistemi kısa sürede tahrip olur ve kullanım ömrü kısalmır. Bir km uzunluğunda kanalizasyon yapım maliyeti ortalama 482.000 TL'dir. Dolayısıyla yeni bir kanalizasyon sistemi inşa etmek oldukça pahalıdır.

Kanalizasyon sisteminde yeterli havalandırma bacalarının yapılması, boruların doğru eğimde olması ve atıksu göllenmesinin minimize edilmesi sistemin korunmasına ve oluşan korrozif gazların kolayca dağılmasına yardımcı olur. Bu sebeple kanalizasyon sisteminde 10 m de 2-5 olacak eğim verilmesi tavsiye edilir. Kanalizasyon sistemi üzerindeki baca kapaklarının kapalı ve göllenmenin olup olmadığı sık aralıklarla kontrol edilmelidir. Bu yüzden yerel yönetimler, özellikle koku ve taşkın probleminin yaşandığı yerler, kanalizasyon sistemini sürekli kontrol altında tutmalıdır. Koku ve taşkın probleminin yaşandığı yerlerde göllenmenin ve tıkanmanın olması kuvvetle muhtemeldir. Belli aralıklarla bakım onarımını yapılmalıdır. Menholdeki kapak açılmadan önce hidrojen sülfür konsantrasyonu ölçülmelidir.

Ayrıca kanalizasyon sisteminin yanlış inşa edilmesi, zemininin çökmesi ve kızartma yağların oluşturduğu tıkanma gibi nedenlerden dolayı borularda göllenme olup olmadığı belli periyotlarda kamera sistemi ile kontrol edilmelidir.

Bozulan veya tahrip olan kanalizasyon sistemini tamir etmek için uzman kişiler gerekli önlemleri almalı daha sonra bakım ve onarım yapmalıdır. Kanalizasyon sistemlerinde metan, hidrojen sülfür ve merkaptanlar gibi çok zararlı, zehirli ve ölümcül gazların oluştuğu unutulmamalıdır. Kanalizasyon sisteminin bakım ve onarımında çalışacak kişiler yeterli eğitimi almış ve donanıma (ekipmana) sahip olmalıdır.

Metan gazı patlayıcıdır. Ortamda metan gazı konsantrasyonu %5 ila %15 arasına ulaştığında patlayarak kanal sistemine ciddi zararlar verir. Ayrıca insanların ölümüne neden olur. Bir zamanlar Milas Güllük'te olduğu gibi.

Bozulan/tahrip olan ve bakım/onarımı yapılacak kanalizasyon sistemi çevresinde gerekli koruyucu önlemler alınmalıdır. Halkın bu tür yerlere girmesi önlenmelidir. Önlem alınmayan ve açıkta bırakılan kanalizasyon sistemlerinden dolayı her yıl onlarca kişi zehirlenerek ölmektedir. Yerel yönetimler kanalizasyon sistemlerinin bakım ve onarımında çalışacak kişilere eğitim vermelidir. Kanalizasyon sistemlerinde bakım onarımın nasıl yapılacağı ve çalışacak kişilerin sağlıklarını nasıl koruyacakları öğretilmelidir. Yanlış yönetilen kanalizasyon sisteminden dolayı 2015 yılında Kuşadası'nda 10 kişi hayatını kaybetmiştir. Yerel yönetimler kanalizasyon sistemini sürekli kontrol altında tutmalıdır. Belli aralıklarla bakım onarımını yapılmalıdır.

Menholdeki kapak açılmadan önce hidrojen sülfür konsantrasyonu ölçülmelidir. Kanalizasyondan sorumlu yerel yönetimler H₂S ölçüm ekipmana, H₂S detektörü, ve teknik

ekibi yeterli uzmanlığa sahip olmalıdır. Kanalizasyona girmeden önce operatörlerin, her türlü güvenlik önlemi alınmış iş elbiseleri ve maskeleri giymeleri sağlanmalıdır. Bu tür işler yerel yönetimlerin asli görevidir.



Şekil 1. Kanalizasyona Girecek Operatörler İçin Maske ve H₂S Ölçüm Cihazı

Şehirde açık kanal sistemlerine ve derelerin açık kanal olarak kullanılmasına izin verilmemelidir. Açık kanallardan atık suların taşınması ciddi çevresel sorunlar oluşturur. Yüzeysel ve yeraltı su kaynaklarının kirlenmesine neden olur. Atık su taşıyan açık kanal veya derelerin çevresinde yaşayanlar sağlık açısından tehlike altındadır. Atık su kanalizasyonu olarak kullanılan derelerin çevresinde oturanlar yaz aylarında ciddi bir hava kirliliği ile karşı karşıyadır. Atıksu kanalizasyonu olarak kullanılan dereler ve açık su kanalları temizlenirken de gerekli önlemler alınmalıdır.

Atıksu içinde bulunan sülfat önemli bir sorundur. Dolaylı olarak iki ciddi soruna neden olur. Sülfatın anaerobik şartlarda hidrojen sülfüre dönüşmesi sonucu sağlık açısından çok zararlı kokuya ve kanalizasyon sisteminin tahribatına neden olur.

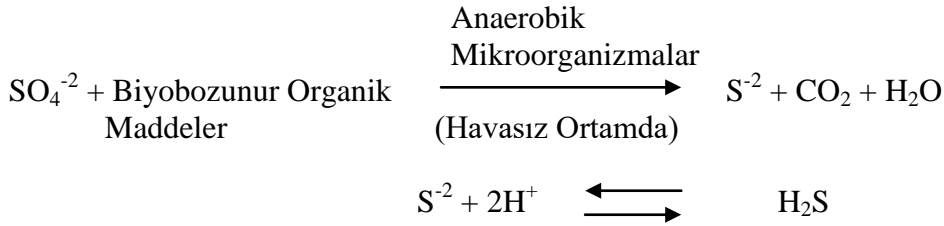
Her yerel yönetimin bölgesindeki yüzeysel ve yeraltı su kaynaklarını koruma ve kullanma ile ilgili strateji planları olmalıdır. Bazen bir bölgedeki yüzeysel ve yeraltı su kaynağının başka bir bölgede kullanılacağı unutulmamalıdır. Türkiye yüzeysel ve yeraltı su kaynakları bakımından zengin bir ülke değildir. Yüzeysel ve yeraltı su kaynaklarının azalması gelecekte ülkeleri ciddi sıkıntıya sokacaktır. Belediyeler ve sanayiciler atık sularını arıtmadan derelere, nehirlere, göllere ve denizlere bıraktıkları zaman kullanılacak yüzeysel ve yeraltı su

kaynaklarını ya kısıtlanmakta veya yok etmektedir. Kirlenen suları temizlemek çok pahalıdır. Yerel yönetimler; içme suyu temini, atık suların uzaklaştırılması ve arıtılması, içme suyu ve atık su sistemlerinin yenilenmesi için 16.5 milyar avroluk yatırıma ihtiyaçları vardır. Belediyeler atık suların uzaklaştırılması ve arıtılması için tüketicilerden yeterli bedeli almalıdır. Yeterli su bedeli alınmadığı zaman içme suyu olarak temin edilen sular verimli olarak kullanılamamaktadır. Bu ise aşırı su tüketimine neden olmaktadır. Belediyeler bu bedelleri sadece su kaynaklarının korunması, arıtılması, su kaçaklarının önlenmesi, atık suların uzaklaştırılması, arıtılması , içme ve atık su sistemlerinin bakım, onarım ve yenilenmesinde kullanmalıdır. Atık su arıtma tesislerinin verimli şekilde çalışması için arıtma tesislerinde kullanılan enerji bedelleri farklı ve düşük olmalıdır. Ülkede onlarca yerde olan atık su arıtma tesislerinden bir kısmı yüksek elektrik enerjisi bedelinden dolayı yeterli olarak işletilememektedir.

2. KANALİZASYON SİSTEMİNDE HİDROJEN SÜLFÜR OLUŞUMU

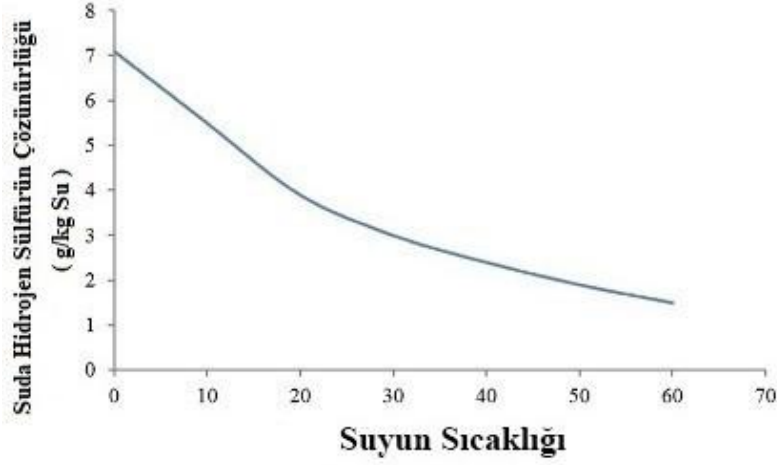
Evsel atık su içinde sülfat konsantrasyonu 20 - 100 mg/l arasında değişir. Atık su içinde bulunan sülfat (SO_4^{-2}), anaerobik (havasız ortamda) şartlarda (oksijen ve nitrat yokluğunda) sülfat indirgeyen bakteriler yardımıyla biyokimyasal reaksiyon için oksijen kaynağı olarak sülfattaki oksijeni kullanarak sülfüre dönüşür. Sülfür iyonu ortamdaki hidrojen iyonu ile reaksiyona girerek hidrojen sülfür gazı oluşur. Bu reaksiyonlar yaz aylarında daha hızlı gerçekleşir. Atık sularda biyokimyasal reaksiyonlar sıcaklıkla artmaktadır. Özellikle atık suların derelere ve açık kanallara verildiği yerler ile kanalizasyonlarda türbülans artışından ve yaz aylarında hidrojen sülfürün sudaki çözünürlüğü azaldığından dolayı ciddi koku kirliliği problemi oluşur.

Atık su içinde bulunan sülfatın anaerobik şartlarda sülfat indirgeyici bakteriler tarafından hidrojen sülfüre dönüşümü aşağıda verilmiştir.



Hidrojen sülfür normal şartlar altında renksiz ve yanıcı bir gazdır. Hidrojen sülfür gazı çok zehirli, uçucu, renksiz ve yanıcı bir maddedir. Hidrojen sülfür gazı havadan %20 daha ağırdır ve kanalizasyon sisteminde birikir. Dolayısıyla yeterli havalandırmanın olmadığı kuşatılmış yerlerde ve zemindeki çukurlarda birikir ve dibe çöker. Menhol kontrolsüz şekilde açıldığı zaman kanalizasyon sisteminde biriken zehirli ve zararlı gazlar, aynen soda şişesi açıldığı gazların aniden serbest kalması gibi aniden serbest hale geçer ve çevreye dağılır.

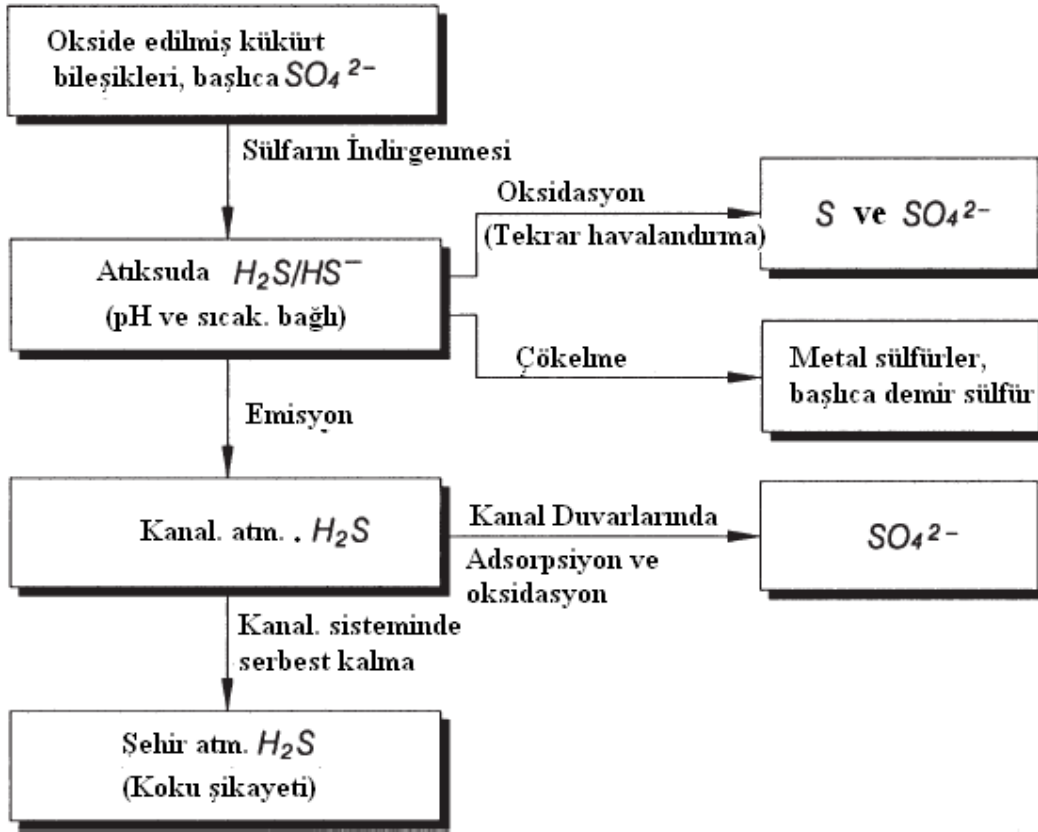
Ortamdaki hidrojen sülfür konsantrasyonu %4.3- %46 ulaştığında patlama olur. 20 °C sıcaklıkta hidrojen sülfürün saf sudaki çözünürlüğü 2.7 litre $\text{H}_2\text{S}/\text{l}$ 'dir. Su sıcaklığının bir derece artışı ile hidrojen sülfürün sudaki çözünürlüğü %2.5 azalır. Kanal, çukur, hazne ve benzeri bölgelerde birikerek tehlike yaratır. Özellikle sakin havalarda kirliliğin olduğu yerlerde yoğun hidrojen sülfür gazı birikmesi olur. H_2S 'ün su içinde çözünürlüğü sıcaklıkla değişir. (Şekil 2)



Şekil 2. Su İçindeki H₂S'ün Sıcaklıkla Çözünürlüğü

Atık su içindeki biyolojik biyobozunur organik esaslı katı maddeler kanalizasyon sisteminde, özellikle göllenmenin olduğu bölgelerde, uzun süre kalırsa hidrojen sülfür gazı konsantrasyonu kanal içinde 6000 ppm çıkabilir. Atık su içindeki biyolojik biyobozunur organik katı maddeler dağıtıldığı, kanal içinde göllenme önlendiği zaman, gaz derhal dağılır ve hidrojen sülfür konsantrasyon düşer.

Hidrojen sülfürün kanalizasyon sistemi tavanı duvarlarında sülfürik asit dönüşümü ile ilgili sülfat sirkülasyonu Şekil 3'de verilmiştir.



Şekil 3. Kanal Sisteminde Sülfat Sirkülasyonu

3. KANALİZASYON SİSTEMİNDE SÜLFÜR OLUŞUMUNUN HESAPLANMASI

Kanalizasyon sistemi içinde sülfür oluşumu Tablo 2’de verilen denklemlerle tahmin edilebilir.

Tablo 2. Basınçlı Kanallarda Sülfür Oluşumunun Tahmin Etmek İçin Ampirik Denklemler (r_a , g/m²/h^{*}).

Denklem No		Kaynaklar
1.	$r_a = 0.5 \times 10^{-3} \cdot u \cdot (C_{BOD_{total}})^{0.8} \cdot (C_{SO_4^{2-}})^{0.4} \cdot 1.139^{(T-20)}$	Thistlethwayte, 1972
2.	$r_a = 0.228 \times 10^{-3} \cdot C_{COD_{total}} \cdot 1.07^{(T-20)}$	Boon & Lister, 1975
3.	$r_a = 1 \times 10^{-3} \cdot C_{BOD_{total}} \cdot 1.07^{(T-20)}$	Pomeroy & Parkhurst, 1977
4.	$r_a = k^{**} \times 10^{-3} \cdot (C_{COD_{soluble}} - 50)^{0.5} \cdot 1.07^{(T-20)}$	Nielsen & Hvitved-Jacobsen, 1988

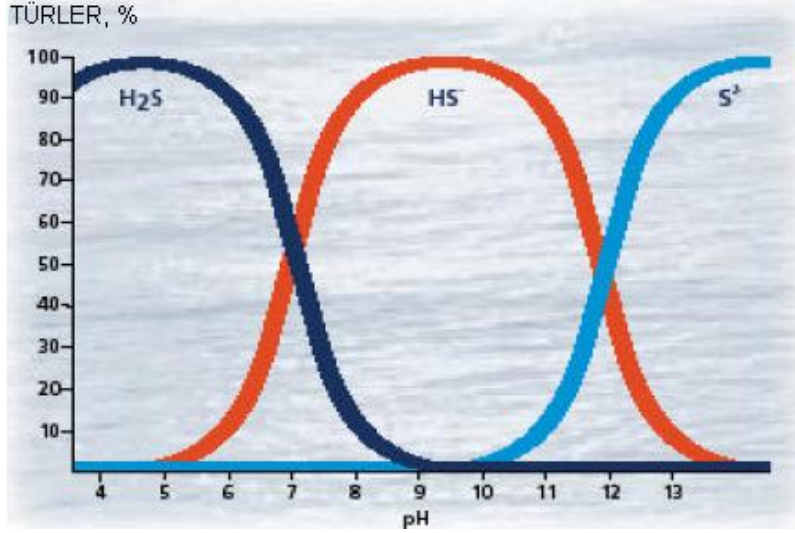
* Hidrolik yarıçapa (V/A) bölünerek g/m³/h elde edilir.

** k = Evsel atık su için 1.5, gıda sanayi atık suları karışmış atık sular için ve kolayca biyobozunan gıda sanayi atık suları için 6 alınır.

Denklem 2 ve 3 göre sülfür oluşumu sadece atık su içinde bulunan toplam biyobozunur organik madde konsantrasyonuna ve sıcaklığa bağlıdır. Halbuki denklem 1, hem toplam BOI, sülfat konsantrasyonu ve atık su hızını kapsamaktadır.

Denklem 1 ve 2 ile maksimum sülfür oluşumu tahmin edilmektedir. Denklem 3, bir çok kanal sisteminde ölçülmüş değerleri baz alınarak geliştirilmiş bir denklemdir. ABD’ de geniş olarak kullanılıyor. Denklem 4’ün en büyük avantajı çözülmüş kimyasal oksijen ihtiyacını kullanmasıdır. Bakteriler özellikle atık su içinde bulunan çözülmüş organik maddeleri kullanır.

Kanalizasyon sistemi içinde oluşan sülfür, ortamın pH’na ve sıcaklığa bağlı olarak H₂S, HS⁻ ve S⁻² halinde bulunur. Şekil 3’de görüldüğü gibi düşük pH değerlerinde sülfür hidrojen sülfür halinde bulunmaktadır. Sülfürlü bileşikler içinde hidrojen sülfür kanalizasyon sisteminde en fazla aşınmaya neden olmaktadır. Ortamın pH, 7 civarında ise %50 serbest sülfür (hidrojen sülfür), %50 bağlı sülfür var demektir. Eğer ortamın pH, 6 civarında ise %90 serbest sülfür (serbest hidrojen sülfür) ve %10 bağlı sülfür olduğunu gösterir.



Şekil 4. Atık su içinde H_2S , HS^- ve S^{2-} pH'a bağlı Olarak Değişimi

$H_2S \rightarrow HS^- + H^+$ kimyasal reaksiyonundaki sülfür (HS^-) ile hidrojen sülfür (H_2S) arasındaki kimyasal denge aşağıdaki şekil de hesaplanır.

$$K = \frac{[HS^-] \cdot [H^+]}{[H_2S]}$$

Burada $[HS^-]$, sülfür konsantrasyonu,

$[H^+]$, hidrojen konsantrasyonu,

$[H_2S]$, hidrojen sülfür konsantrasyonu,

K, denge sabiti ($K = 9.12 \times 10^{-8}$ at $25^\circ C$)

K, denge sıcaklığa ve pH bağlıdır ($pH = -\log [H^+]$). Sıcaklığa bağlı olarak K denge sabitindeki değişim aşağıdaki denklemlerle belirlenebilir.

$$\ln\left(\frac{K(T)}{K(T_0)}\right) = \frac{\Delta H}{R} \left(\frac{1}{T_0} - \frac{1}{T}\right)$$

Burada;

R, gaz sabiti, $R = 8.3144 \text{ J/mol/K}$

T, gerçek sıcaklık [K],

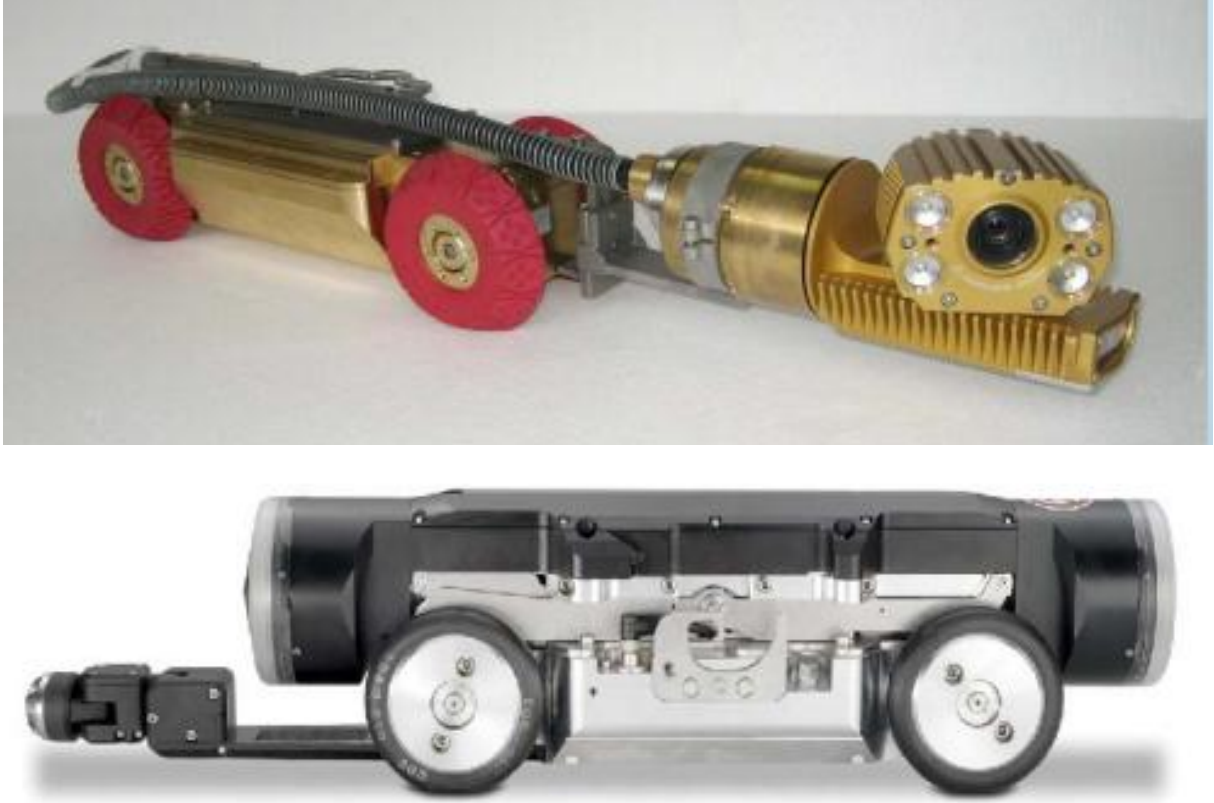
T_0 , K'nın bilindiği ((25 °C) yerdeki sıcaklık,

$$\Delta H = \Delta H_{S^-} - \Delta H_{2S} = -16.3 + 38.6 = 22,3 \text{ [KJ/mol]}$$

3.1. Kanalizasyon Sisteminde Hidrojen Sülfür Oluşum Hızını Etkileyen Faktörler

1. Kanalizasyon içerisindeki besin maddeleri ve çökebilen biyobozunur organik madde oluşumu önlenmelidir. Sülfür oluşum hızı, atıksuda fazla sülfat varsa, biyokimyasal oksijen ihtiyacı (BOD₅) ile orantılıdır. Fazla sülfat mevcutsa ancak BOD₅ düşükse, sülfür üretimi oranı organik maddenin azlığı nedeniyle sınırlı olur.
2. Atıksuda sülfat, 20 mg/l'tnin altında ise sınırlayıcı bir faktör olabilir.
3. Çözünmüş oksijen konsantrasyonu 1 mg/l'tnin üstünde ise sülfat indirgenmesi ortadan kalkar. Bunun için kanalizasyon sisteminin havalandırılmasını artıracak şekilde, atıksuyun hızını artıracak ve sisteme yeterli eğim verecek projelendirmesi yapılmalıdır.
4. Atık suyun pH'ı yaklaşık 7.5 ve üzerinde tutulmalıdır. Bunun için özellikle yaz aylarında kanalizasyon bacasında yazın en sıcak günlerinde pH ölçümü yapılmalıdır. Eğer pH 5-6.5 arasında ise kanalizasyon sisteminde pH'ın düşmesine neden olan kaynaklar mutlaka tespit edilmelidir. Çünkü yazın en sıcak günlerinde kanalizasyon sisteminde H₂S konsantrasyonu maksimuma ulaşır.
5. Sülfat indirgeyici bakterilerin biyolojik aktivite oranı her 10 °C sıcaklık artışı ile iki katına çıkar ve serbest oksijen tüketimi artar. Kanalizasyon sisteminde 30 °C'e kadar her bir derece sıcaklık artışı serbest sülfür oluşumunu %7 artırır. Yani yaz aylarında reaksiyon hızlanır. Düşük sıcaklıklarda ise sülfür oluşumu düşük olur. Ayrıca kanalizasyona deşarj edilen atıksular, şebekedeki suyun sıcaklığını 2°C'den fazla değiştirmemelidir.
6. Kanalizasyon sistemi içinde taşlaşma, tıkanma gibi sebeplerden dolayı atıksuyun alıkonma süresi arttıkça oksijen tüketimi artar; böylece sülfat indirgeyen bakterilerin aktivitesini arttırır. Bunun için kanalizasyon sistemi ortalama 2 yılda bir kamera sistemi kontrolü ve periyodik temizliği yapılmalıdır. 10- 120 cm çapındaki borularda

kamera izleme yapılabilir. Görüntülenmenin gece 4-5 arasında yapılması tavsiye edilir. Çünkü bu saatler arasında su debinin en düşük olduğu aralıktır.



Şekil 5. Kamera ile Kanalizasyon Sistemini İzleme

7. Sel felaketlerinden sonra kanalizasyon sistemi gözden geçirilmelidir.
8. Yeni yapılacak ve yenilenecek kanalizasyon sistemlerinde 2/3 kısmı PVC ve polietilen, poliüretan, cam elyafı fiber ve HDPE gibi özel malzemelerle kaplanmış veya astarlanmış beton borular veya HDPE borular, kanalizasyon sistemlerinde kullanılmalıdır. Boru içinde astarlama kalınlığının 1.5 mm olması yeterlidir. Bu tür malzemeler borunun iç kısmına yapıştırılır.
9. Yine yeni yapılacak ve yenilenecek kanalizasyon sistemlerinde yüksek mukavemetli ve düşük geçirimli betonlar kullanılmalıdır.
10. Kanalizasyon sisteminde atıksuyun hidrolik bekleme süresi arttıkça daha fazla oksijen tüketilir ve serbest sülfür oluşum hızı artar.

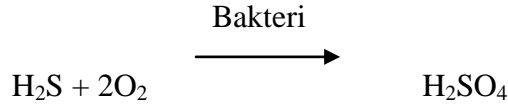
11. Yeni yapılacak ve yenilenecek kanalizasyon sistemlerinde atıksu **hızı 0.61-1.07 m/sn olmalıdır**. Düşük atıksu hızı oksijen tüketimini ve serbest sülfür oluşumunu artırır.

12. Kanalizasyon sistemine 10 m de 2-5 olacak eğim verilmesi tavsiye edilir.

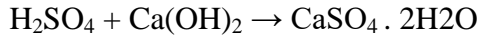
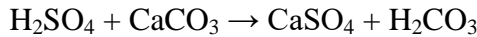
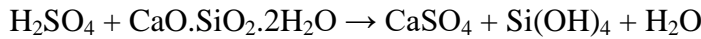
Bunların yanında AB ülkelerinde kanalizasyon sistemlerinde hidrojen sülfür oluşumunun önlenmesi için bazı kimyasallar kanala enjekte edilmektedir.

4. KANALİZASYON SİSTEMİNE HİDROJEN SÜLFÜRÜN OLUMSUZ ETKİLERİ

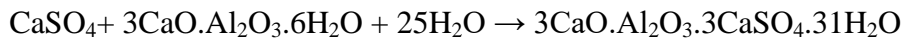
Taze betonun pH'ı kullanılan malzemeye bağlı olarak 11-12 arasında değişir. Bu yüksek pH, betonda kullanılan kireçten ileri gelir. Kanalizasyon yüzeyinde bu kadar yüksek pH'ın olması bakterilerin üremesine müsaade etmez. Beton yüzeyindeki pH değeri zamanla atık sudan salınan karbon dioksit ve hidrojen sülfürden dolayı düşer. Her iki gazda asidik gaz olarak bilinir. Bu gazlar nemli yüzeyde çözünürler. Kanal üzerindeki nemli yüzeyde hem hidrojen sülfür hem de açık havadan kanala sızan havadaki oksijen çözünür. Hidrojen sülfür ve oksijen, nemli ortamda, kanalizasyonun tavanında, bakteriler yardımı ile reaksiyona girerek çok kuvvetli asit olan sülfürik asit oluşur.



Sülfürik asit tavadaki beton boru yüzeyindeki malzemelerde bulunan başta kalsiyum hidroksit olmak üzere çeşitli maddelerle reaksiyona girer. pH düşmeye başlayınca (9-9.5) yüzeyde bakteri oluşmaya başlar. pH'ın düşmesi bakteri oluşmasına katkıda bulunur. Atık suda karbondioksit ve hidrojen sülfür oluşumu arttıkça pH daha da aşağı düşer. Beton içinde bulunan kalsiyum hidroksit sülfürik asitle reaksiyona girer ve sülfürik asidi nötralize eder. Beton malzemeler tahrip olur. Sülfürik asit, betonun ana bileşenleri kalsiyum silikat , kalsiyum karbonat ve kalsiyum hidroksitle reaksiyona girer. Reaksiyonların detayları aşağıda verilmiştir.



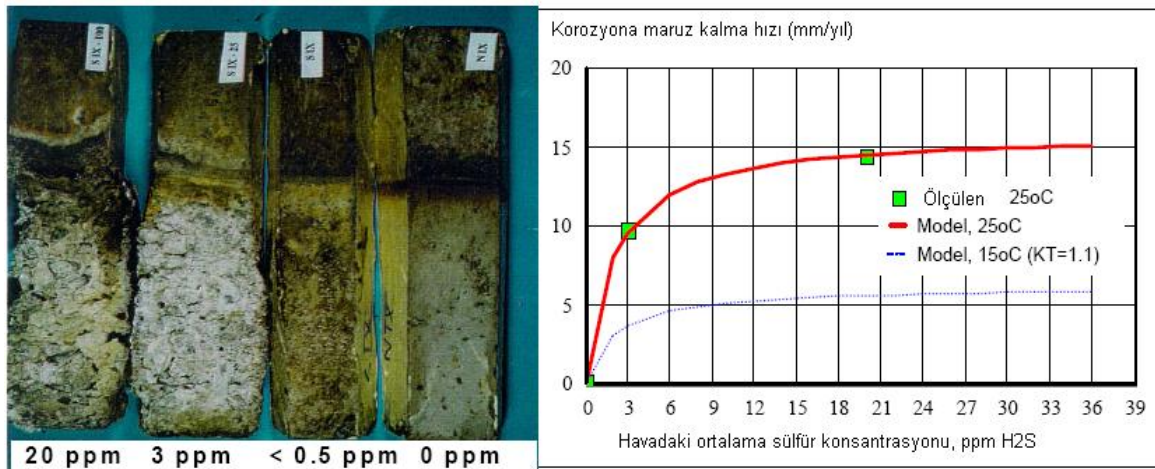
Ana korrozyon ürünü, alçı taşı ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), betonun ana bileşeninden %24 daha büyük hacme sahiptir. Kanalizasyon tavan yüzeyinde kalsiyum sülfat ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) ile betonda bulunan tri kalsiyum alüminat ile reaksiyona girer;



Kalsiyum sülfat alüminyum hidrat oluşur. Hacim 2-7 kat daha genişler ve beton boru ciddi tahribata uğrar. Her iki hacim genişmesi beton yüzeyin çatlamasına neden olur, dolayısıyla nemin, asitin ve bakterilerin artan iç yüzey alanına taşınması kolaylaşır ve bu olay daha fazla hasara neden olur. Böylece daha zayıf yüzey tabakası oluşur.

Hidrojen sülfür konsantrasyonunun yüksek olduğu yerlerde kanalizasyon borusu beton yüzeyindeki aşınma yıllık yaklaşık 6-20 mm'dir. Korozyona uğrayan beton malzemenin mekanik mukavemeti düşer. Zamanla kanalizasyon sistemi üzerinde delikler oluşur. Aşınan bölgelerden yeraltına atık su sızıntısı gerçekleşir. Kanalizasyon sisteminin tahrip olduğu bölgelerde yeraltı ve yüzeysel sular tehdit altındadır. Kanalizasyon sistemi üzerine hidrojen sülfür konsantrasyonunun etkisi Şekil 5'de verilmiştir. Şekil 6'da da görüleceği gibi yüksek hidrojen sülfür konsantrasyonlarında hidrojen sülfür kanalizasyon sisteminin üst kısmında ciddi aşınmaya neden olmaktadır. Hidrojen sülfür konsantrasyonu azaldıkça kanalizasyon sistemi üst kısmında aşınma minimum olmaktadır.

Kanalizasyon sisteminde hidrojen sülfür konsantrasyonunun ortalama 6 mg/L olduğu ortamlarda betonun korozyona maruz kalması yaklaşık 5.8-12 mm/yıl'dır. (Şekil 6)



Şekil 6. Kanalizasyon Sisteminde Oluşan Hidrojen Sülfürün Korozyon Etkisi

H₂S ve serbest oksijen konsantrasyonu, pH ve atıksu hızı kontrol edilirse beton borularda aşınma 0.4 mm/yılı geçmez.

Beton boruların ne kadar sürede tahrip olacağını ve kanalizasyonda oluşacak hidrojen sülfür ile ilgili bilgileri,

$$Z = \frac{3[EBOI_5]}{S^{1/2}Q^{1/3}} \times \frac{P}{b}$$

ile tahmin edebiliriz. Burada,

EBOI₅: Etkili BOI₅dir. Etkili BOI₅, atık suyun BOI₅ değeri 1.07^(T-20) faktörü ile çarpılarak hesaplanır.

T : Atık suyun sıcaklığı, ° C

S : Kanalizasyon sistemindeki eğim, m/100 m

Q : Atık su debisi, litre/saniye

P/b : Boru duvarının ıslak çevresinin (P) akıntının yüzey genişliğine (b) oranıdır. Yarı dolu borularda bu değer $\pi/2$ alınır.

Bu denklem ve diğerleri daha öndeki akıntıları ve sanayi tesisi akıntısını dikkate almaz. Dolayısıyla bu tür akıntılar ve kaynaklar mutlaka değerlendirilmelidir. Bu önemli uyarıdan sonra Z değerine karşı gözlenen şartlar Tablo 3’de verilmiştir.

Tablo 3. Z Değerine Karşı Gözlenen Şartlar

Z Değeri	Gözlenen Şartlar
5000 ve altı	Kanalizasyon sisteminde sülfür nadiren mevcut veya çok düşük konsantrasyonda olabilir
7.500 civarı	Çözünmüş sülfür konsantrasyonu birkaç 10 mg/lt’den pik değere ulaşabilir. Beton ve duvarlarda hafif korozyon meydana gelir. Türbülanslı bölgelerde zamanla önemli korozyon gözlenebilir
10.000 civarı	Sülfür konsantrasyonu koku oluşturacak konsantrasyona çıkabilir. Beton ve duvarlarda kaygı verici zararlar özellikle türbülanslı bölgelerde görülebilir.
15.000 civarı	Koku problemi bazen dikkate değer şekilde artar. Özellikle türbülansın olduğu bölgelerde ciddi korozyon oluşur. 25 mm et kalınlığı olan kanalizasyon borularının 25 yılda tahrip olması kuvvetle muhtemeldir.
25.000 ve üzeri	Çözünmüş sülfür her zaman mevcuttur. Küçük beton borular muhtemelen 5-10 yılda tahrip olur.

Z değeri sınırlı aralıklarda uygulanır. Atık su debisi 2000lt/sn altında ise Z değeri 5000 altında dahi olsa düşük atık su hızlarında önemli miktarda sülfür oluşabilir. Diğer taraftan 3 lt/sn gibi düşük debilerde ve nispeten yüksek Z değerlerinde sülfür oluşmayabilir. Küçük kanalizasyon

sistemlerinde çöp gibi atıklar kanalizasyondaki akışı engeller. Gerçek işletme şartlarında günde bir defa böyle engeller olabilir.

Kanalizasyon sisteminde atık suyun hızı düşükçe atık su içinde bulunan katı maddelerin çökmesi sonucu anaerobik faaliyetler artar. Kanalizasyon sistemi içinde atık su hızı 0.61 m/sn'den ve oksijen konsantrasyonu 1 mg/lt'den yüksek, sıcaklık 15 °C düşük olduğu zaman herhangi bir problem yaşanmadığı gözlenmiştir. **Kanalizasyon içinde atık su hızının 0.61-1.07 m/sn olması tavsiye edilir.** Atık su hızı daha yüksek olabilir. Böylece atık su içinde bulunan katı maddelerin askıda kalması sağlanır. Atık su hızının artması türbülansın artmasına, hidrojen sülfürün serbest hale geçmesine ve havadaki oksijenin atık su içinde çözünmesine yardımcı olur. Yine BOI₅ değeri 600 mg/lt düşük, etkili kanal meyli %0.2 ve debisi 0.085 m³/sn olan kanalizasyon sistemlerinde hidrojen sülfürün problem oluşturmadığı gözlenmiştir. 0.3-0.45 m/sn atık su hızlarında ciddi hidrojen sülfür olduğu ve kanalizasyon sistemine zarar verdiği tespit edilmiştir.

Atık su içinde bulunan askıda katı maddelerin çökmesi yani ortamda en az 1-2 saat kalması sonucu özellikle yaz aylarında biyobozunur organik maddeler daha hızlı bozunarak sülfat, hidrojen sülfüre dönüşür. Ayrıca sıcaklık arttıkça hidrojen sülfürün sudaki çözünürlüğü azaldığı için yaz aylarında daha fazla hidrojen sülfür serbest hale geçer. Kanal sistemi içinde gaz fazında daha fazla hidrojen sülfür birikmesi olur.

Güney Afrika'da eski betonların ve asbestli betonların sekiz sene içinde tahrip olduğu gözlenmiştir. Benzer şekilde Orta Doğuda 6 sene içinde kanalizasyon sisteminin tahrip olduğu tespit edilmiştir. Tahribatın özellikle atıksu içinde bulunan katı maddelerin çökeldiği bölgelerde olduğu kaydedilmiştir. Kanalizasyon sisteminde askıda katı maddelerin çökmesi minimize edildiği zaman hidrojen sülfür oluşumunun da minimize edildiği gözlenmiştir.

Ayrıca sıcaklık değişimi de sülfür oluşumunu önemli ölçüde etkiler. Sıcaklık arttıkça atıksu içindeki biyolojik faaliyet ve hidrojen sülfür oluşumu artar. Gazların su içindeki çözünürlüğü sıcaklık arttıkça azalmaktadır. Hidrojen sülfür yaz aylarında daha fazla gaz fazına geçer.

Kanalizasyonun kuru olan yüzeylerinde hidrojen sülfür serbest kükürde dönüşür. Serbest kükürt sarı renklidir. Atmosferik oksijenin veya diğer oksitleyicilerin hakim olduğu yerlerde bu tür reaksiyonlar gerçekleşir. Özellikle bu durum menhollerin üst kısmında sıkça görülür.

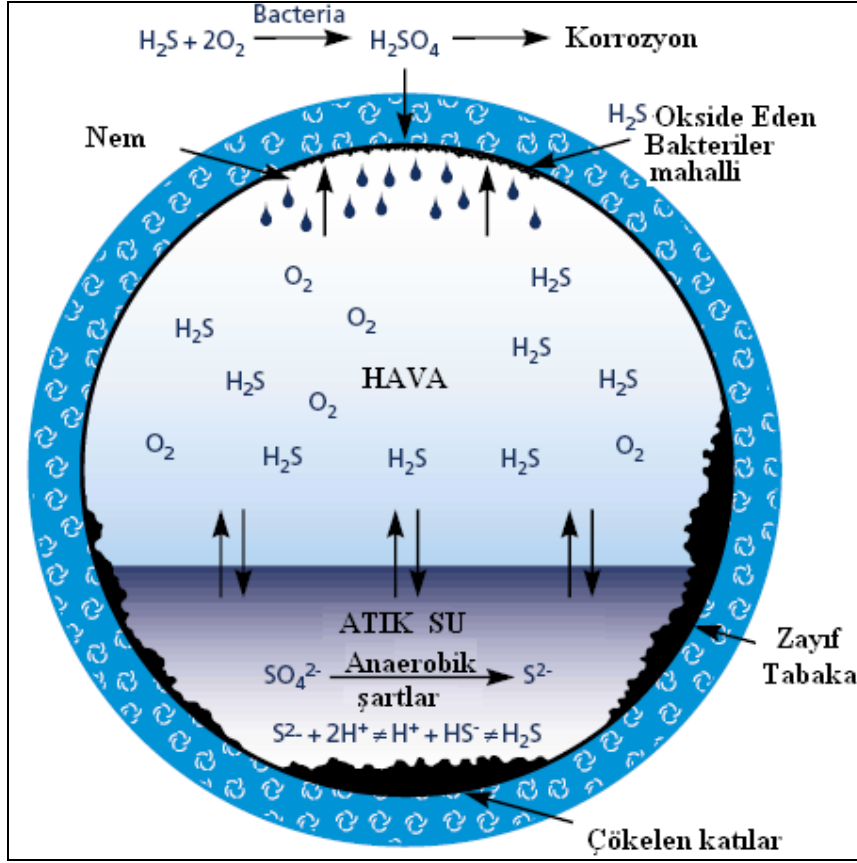
Zayıf havalandırılmalı kanallarda nem birikmesi daha fazla olur. İyi havalandırılmalı kanallarda hidrojen sülfürden ileri gelen tahribat daha az olur. Çünkü oluşan hidrojen sülfürün önemli kısmı atmosfere çıkar. Kanalizasyon sisteminin iyi bir şekilde havalandırılması hidrojen sülfürün etkisini minimize eder. Hidrojen sülfürün kontrolü kanalizasyon sisteminin ömrünü uzatır.

Kanalizasyon sistemlerinde yüksek mukavemetli ve düşük geçirimli betonların kullanılması halinde sülfürik asidin etkisi minimize edilebilir. 2/3 kısmı PVC, cam elyafı fiber ve HDPE gibi özel malzemelerle kaplanmış beton borular veya HDPE borular, kanalizasyon sistemlerinde kullanıldığı zaman sülfürik asidin etkisi minimize edilir. Belediyeler kanalizasyonlarda hidrojen sülfür etkisini minimize etmek için bu tür boruları kullanmalıdır. Belediyelilerin kanalizasyon sistemi tavanında oluşan sülfürik aside dayanıklı borular kullanmaları zorunlu olmalıdır.

Atık suda oluşan sülfür genel olarak pH'a bağlı olarak üç farklı yapıda bulunur. Bunlar, H_2S , HS^- ve S^{2-} dir. Atık suyun pH'ı yaklaşık olarak 7.5 ve üzerinde olursa/tutulursa hidrojen sülfür oluşumu azaltılabilir. Böylece hidrojen sülfürün kanalizasyona vereceği zarar minimize edilebilir. Özellikle eski kanalizasyon sistemlerinin ömrünü uzatmak için bu tür izleme ve kontrol etme mekanizmaları geliştirilebilir. AB ülkelerinde kanalizasyon sistemlerinde hidrojen sülfür oluşumunun önlenmesi için bazı kimyasallar kanala enjekte edilmektedir.

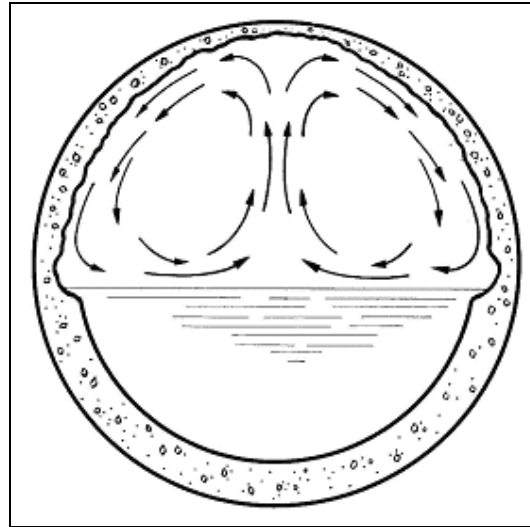
Atmosfere atılan hidrojen sülfür, yaklaşık 18 saat havada kalır ve zamanla reaksiyona girerek kükürdioksit ve sülfürik aside dönüşür. Bu ise hava kirliliğine ve asit yağmuruna neden olur.

Kanalizasyon sisteminde atığın biriktiği bölgeler anaerobik faaliyetlerin ve hidrojen sülfürün daha fazla oluştuğu bölgelerdir. Bu tür yerlerde yüzeylerde daha fazla aşınma olur. Tahrip olan kanalizasyon sistemini yenilemek veya tamir etmek oldukça maliyetlidir. Kanalizasyon sistemlerinde hidrojen sülfür oluşumu, hidrojen sülfürün sülfürik aside dönüşüm ve oluşan sülfürik asidin kanalizasyon sistemi üzerinde meydana getirdiği tahribat Şekil 7'de verilmiştir.



Şekil 7. Kanalizasyon Sisteminde Hidrojen Sülfür Oluşumu

-Kanalizasyon sisteminde sülfürik asitten dolayı oluşan tahribat Şekil 8'de verilmiştir.



Şekil 8. Hidrojen Sülfürden Dolayı Korozyona Uğramış Beton Boruda Dengesiz Bir Aşınma

Kızartma yağlarının lavaboya dökülmesi sonucu yağ ve gres kanalizasyon sistemine sıvanarak yapışır ve birikir. Yapışan yağ ve gres, atıksu içindeki katı maddeleri vantuz gibi alıkoyar. Buda yağın döküldüğü yakın bölgede boru çevresinde birikmeye ve taşlaşmaya neden olur. Birikme ve taşlaşma atıksuyun akışını engelleyerek göllenmeye ve taşlaşmaya neden olur.

Su idareleri tarafından kızartma yağlarının lavaboya dökülmesi yasaklanmalıdır. (Şekil 7) Hazır yemek sanayinin, fast foodların, lokantaların ve aş evlerinin kanala bağlanma sistemlerine yağ tutucu kapan takmaları zorunlu hale getirilmelidir. Yerel yönetimler, restoran, hazır gıda sanayi, aş evleri ve fast foodlarda tutulan yağları düzenli toplayacak bir yönetim modeli kurmalı/kurdurmalıdır. Ayrıca evlerde ve işyerlerinde oluşan kızartma yağlarını vatandaşların verebileceği merkezler oluşturulmalıdır. Kullanılmış kızartma yağları önemli biyoenerji kaynağı olup ayrı toplanıp biyodizel üretilmelidir. Üretilen biyodizel toplu taşıma araçlarında kullanılarak fosil yakıt kullanımı ve sera gazı karbondioksit emisyonu azaltılabilir.



Şekil 9. Kızartma Yağlarının Lavaboya Dökülmemesi Gerekir.

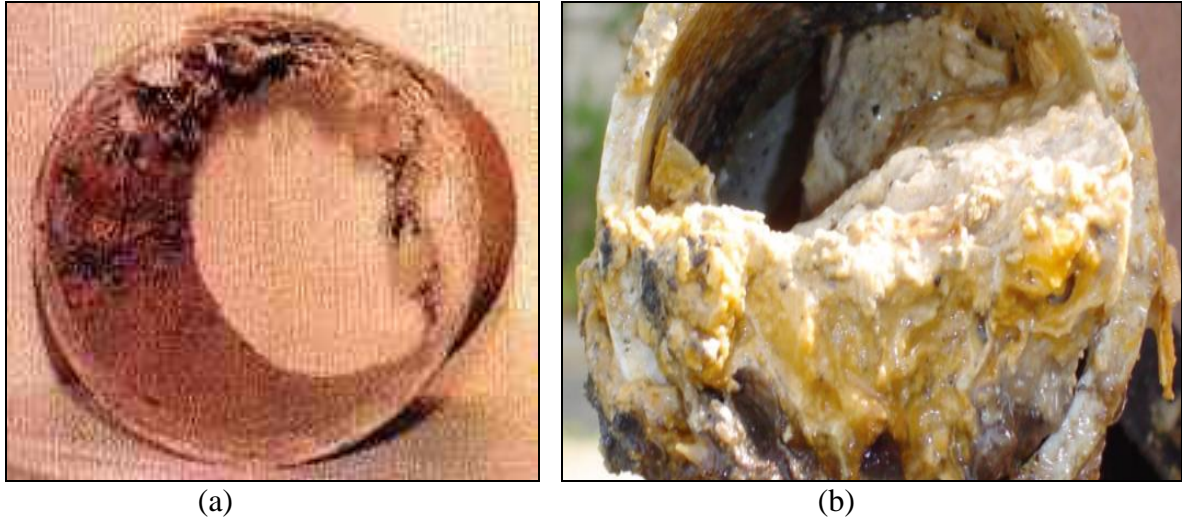
Ayrıca ıslak mendillerin tuvalet kağıdı olarak kullanılıp tuvalete atılması potansiyel olarak kanalizasyonda ciddi tıkanıklığa neden olmaktadır. Çocuk bezleri, hijyenik havlular ve ıslak

mendiller kanalizasyonda parçalanıp önce derzlerde ve daha sonra yağ birikintilerinde toplanmaktadır. Zamanla daha fazla yağ birikintisi oluşur ve kanal kötüleşir.



Şekil 10. Yağ Tutucu Sistem

Yağ biriken ve taşlanan boruların çapı daralır, atıksular göllenir ve askıda katı maddeler çökerir. Bu tür faaliyetler anaerobik faaliyetleri tetikler. (Şekil 10) Zamanında temizlenmeyen kanalizasyon sisteminin bakım ve onarımı oldukça pahalı ve uzundur.

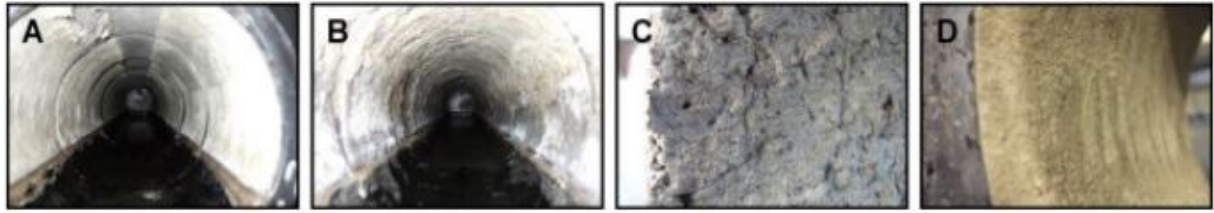


Şekli 11. (a) 235 mm Çaplı Bitümlü Bir Beton Borunun 14 Yıl Sonraki Aşınma Sonucu Durumu, (b) Kullanılmış Bitkisel ve Hayvansal Yağlardan Dolaylı Taş Bağlayan Kanalizasyon Borusu

Çok yüksek aşınmanın görüldüğü yerlerde bazen hidrojen sülfür konsantrasyonu düşük olabilir. 0.01 mg/l gibi çok düşük hidrojen sülfür konsantrasyonu olsa dahi bu gibi yerlerde aşırı türbülans ve atıksu hızından dolayı ciddi aşınma olayları görülebilir. Büyük kanal

sistemlerinde çözünmüş hidrojen sülfür konsantrasyonu yaklaşık 0.1 mg/l'dir. Küçük kanal sistemlerinde ise 0.03 ile 0.05 mg/l'e arasında değişir. Sülfür konsantrasyonunun değişmesinden dolayı pik değerler bu ortalamalardan 10 kat daha yüksek olabilir.

Hidrojen sülfürün kanalizasyon sistemine verdiği diğer olumsuzluklar Şekil 11'de verilmiştir.



A: Hafiften Korozyona Uğrayan Beton Boru / Yüzeyde Görülebilir Korozyon Etkisi Yok.

B: Yoğun Korozyona Uğramış Beton Boru.

C ve D: Ciddi Korozyona Uğramış Beton Boru.

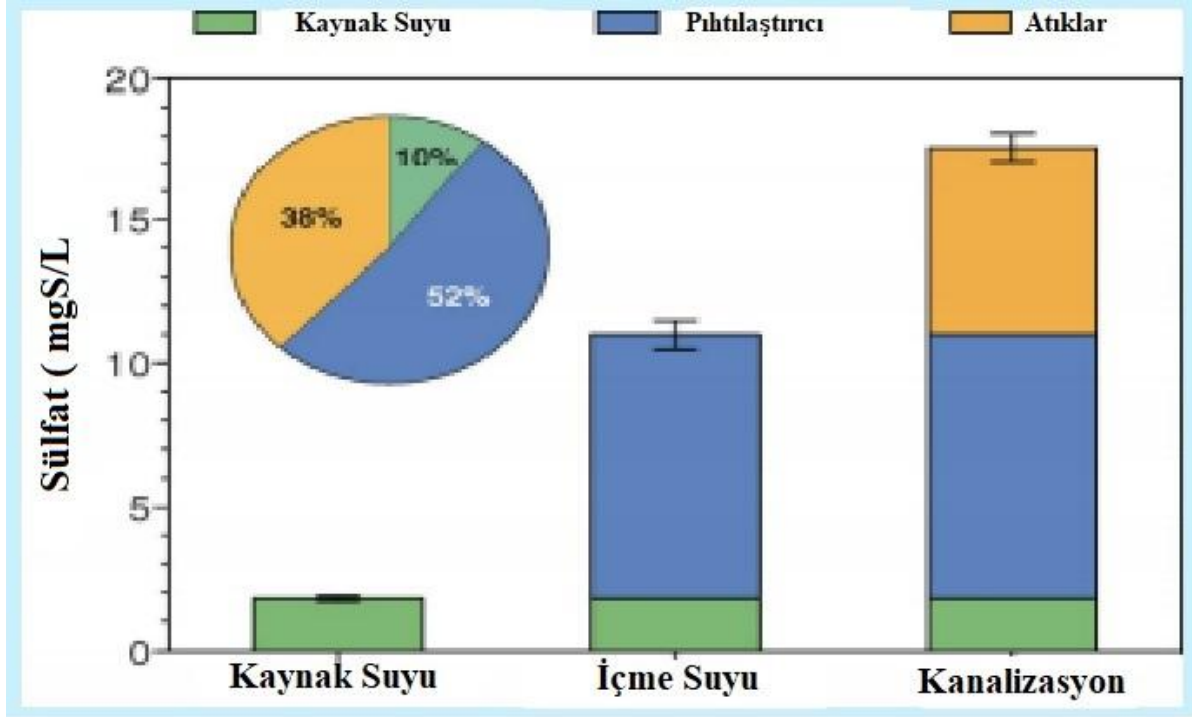
Şekil 12. Hidrojen Sülfürün Kanalizasyona Verdiği Zararlar

Kanalizasyon sisteminin ilk yatırım maliyeti çok yüksektir. Kalitesiz yapılan ve doğru işletilmeyen kanalizasyon sistemlerinin gelecekte çok maliyetli olacağı unutulmamalıdır.

4.1. Bozulan Veya Tahrip Olan Kanalizasyon Sisteminin Bakım Onarımı

- Öncelikle kanalizasyon sisteminde biriken zararlı ve zehirli gazların konsantrasyonu ölçülmeli ve daha sonra emilip deşarj edilmelidir. Aksi durumda kanalizasyon sisteminde oluşan metan gazı patlamalara ve zehirlenmelere neden olabilir.
- Kanalizasyon sistemine kamera gönderilir, tahribatın ve göllenmenin nerelerde olduğu tespit edilir. Böylece tahribatın büyüklüğü ve alınacak önlemler ortaya konulur.
- Üçüncü en önemli husus kanalizasyon sisteminin bakım ve onarımını, gerekli önlemler aldıktan sonra yeterli eğitimi almış uzman kişiler tarafından yapılmalıdır. Kanalizasyon sistemi çalışma ortamı çok tehlikeli bir ortamdır. Gerekli eğitimleri almamış kişiler kanalizasyon sistemine sokulursa ölüm kaçınılmazdır. Yanlış yönetilen kanalizasyon sisteminden dolayı birkaç yıl önce Kuşadası bölgesinde 10 kişi hayatını kaybetmiştir.
- Dördüncü olmazsa olmaz şart, metan/hidrojen sülfür gazlarını filtre eden maskeler takılmadan, iş elbiseleri giyilmeden ve oksijen tüpü kullanılmadan kanalizasyon sistemine inilmemelidir. Operatörler, hidrojen sülfürü/diğer zararlı gazları filtre edici maskeler takmadan ve iş elbiselerini giymeden kanalizasyon sistemlerine girmemelidir. Tüm su idareleri ve belediyeler bu kurallara uymalıdır.
- Beşinci önemli husus, bozulan/tahrip olan ve bakım/onarımı yapılacak kanalizasyon sistemi çevresinde gerekli koruyucu önlemler alınmalıdır. Halkın bu tür yerlere girmesi önlenmelidir. Önlem alınmayan ve açıkta bırakılan kanalizasyon sistemlerinden dolayı her yıl onlarca kişi zehirlenerek yaşamını yitirmektedir.
- Bakım onarımı yapılmayan kanalizasyon sisteminin ömrü 5 yıla kadar düşmektedir. Periyodik bakım onarım yapıldığı zaman boruların fiziki ömrü 40-60 yıla kadar çıkarılabilir.
- Hidrojen sülfürün hangi sıcak noktalarda oluştuğu kamera sistemi ve detektör ile tespit edilirse müdahale etmek pratik ve ekonomik olur. Böylece kanalizasyon ağının tümüne müdahale etmeye gerek kalmaz ve boruların fiziki ömrü 100 yıla kadar çıkarılabilir.

- İçme suyu arıtımında alüminyum sülfat yerine pıhtılaştırıcı demir klorür kullanılsa atıksu içinde sülfat konsantrasyonunu kanalizasyona zarar vermeyecek sınır değerlerinin altında tutmak mümkündür. Böylece kanalizasyon sisteminin ömrünü uzatmak mümkün olur.



Şekil 13. Atıksu İçinde Sülfat Kaynakları

5. HİDROJEN SÜLFÜRÜN İNSAN SAĞLIĞI ÜZERİNE ETKİSİ

Kanalizasyon sisteminde sülfür birikimi, altyapıya hasar verir, koku kirliliği ve potansiyel sağlık tehlikeleri oluşturur.

Renksiz olan hidrojen sülfür geniş aralıkta zehirlenme etkisine sahiptir. Özellikle sinir sistemi üzerinde çok etkilidir. Gerekli önlemleri almadan kanalizasyon sistemine giren operatörler, hidrojen sülfür içeren hava solunduğu zaman akciğer ve burun gibi solunum sistemine ve gözlerin tahribatına neden olur. Yüksek konsantrasyona bağlı olarak hidrojen sülfür, gerekli önlemleri almayan operatörlerin kanının kimyasını bozar, oksijen taşınmasını bloke eder, akciğer tahribatına neden olur ve zehirleyerek öldürür. Birkaç soluk almadan sonra bilinç kaybı olur ve kişi derhal boğularak yaşamını yitirir. (Kuşadası'nda olduğu gibi.) Bu yüzden koku duyusuna güvenilmemeli ve H₂S konsantrasyonu mutlaka elektronik detektörlerle ölçülmelidir.

Hidrojen sülfür, renksiz, çürük yumurta kokulu, korrozif ve toksik bir gazdır.

Temiz havada 0.0001-0.0002 ppm arasında hidrojen sülfür bulunur. Standartlara göre havadaki hidrojen sülfür konsantrasyonu yıllık ortalama 0,05 ppm'i ve saatlik ortalama ise 0,125 ppm'i geçmemelidir.

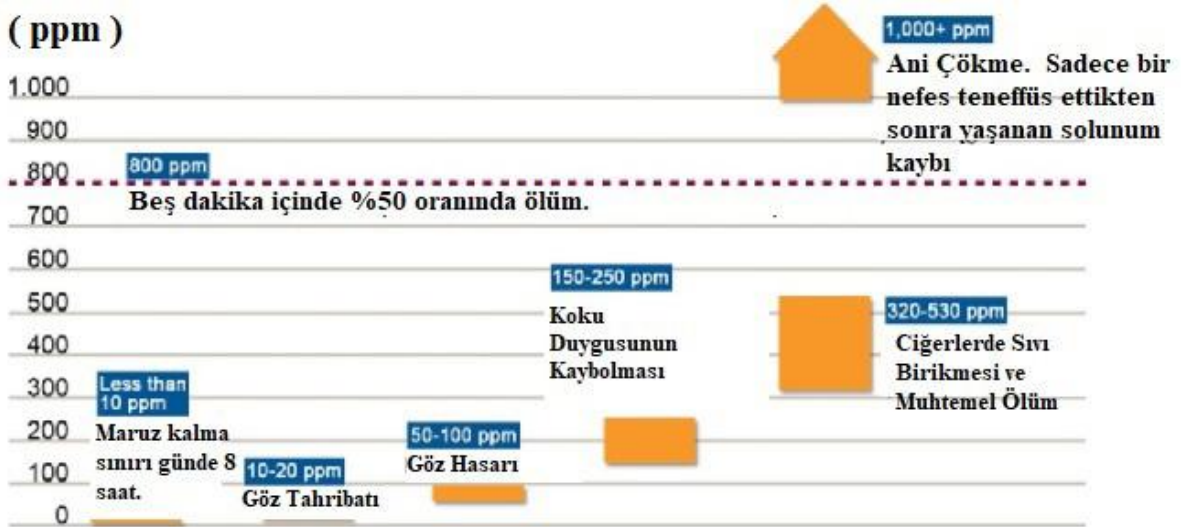
Hidrojen sülfür geniş aralıkta zehirlenme etkisine sahiptir. Özellikle sinir sistemi üzerinde çok etkilidir. Hidrojen sülfür mitokondrial cytochrome enzimlerindeki demirle kompleks bağ oluşturur. Böylece cellular solunuma bağlanarak ve durdurularak, oksijen bloke edilir. Birkaç soluk almadan sonra bilinç kaybı yaşanır ve ölüm gerçekleşir.

Hidrojen sülfür ile kirlenmiş hava solunduğu zaman hidrojen sülfür kırmızı kan pigmentini değiştirir. Kan rengini kahverenginden zeytin rengine dönüştürür. Oksijen taşınmasını engeller. Kişi derhal boğulur. Dolayısıyla kanalların temizliği ve bakımı esnasında hidrojen sülfürü ve diğer zararlı gazları filtre edici maskeler takılmadan, iş elbiseleri giyilmeden çalışmalara başlanılmamalıdır. Tüm su idareleri ve belediyeler bu kurallara uymalıdır.

5.1. Hidrojen Sülfürün Sağlık Etkisi

- Havada hidrojen sülfür gazı konsantrasyonu 0.002 – 0.2 ppm arasında olduğunda çürük yumurta kokusunda hissedilir.
- Solunan havada hidrojen sülfür konsantrasyonu 0.0047 ppm'e ulaştığında insanlar tarafından algılanır.
- 2-3 ppm arasında; çevrede ciddi koku oluşturur. 5 ppm işyerleri için sınır değeridir.
- 10-50 ppm arasında; ciddi göz yaşarmasına, baş ağrısına ve mide bulantısına neden olur.
- 50-100 ppm arasında; göz tahribatına neden olur.
- 100 ppm ve üzerinde; ciddi solunum problemine neden olur.
- 150-250 ppm arasında; koku duyu sisteminde hassasiyeti kaybına neden olur.
- 300-500 ppm arasında; solunum sisteminin ciddi ölümcül tahribatına ve birkaç dakika içinde ölüme neden olur.
- 600 ppm'de; akciğer gazla dolduğu için soluk alma engellenir.
- 800 ppm'e 5 dakika maruz kalındığında insanların %50'si için öldürücü konsantrasyondur.
- 500-1000 ppm arasında ise; merkezi sinir sistemini ciddi olarak olumsuz etkiler. 500-1000 ppm hidrojen sülfür içeren ortama maruz kalındığında kısa sürede ölüme sonuçlanma olur.
- 1000 ppm ve üzerinde; ani ölüm etkisine neden olur.

Kısaca;



Şekil 14. Hidrojen Sülfürün Sağlık Üzerine Etkisi

Özellikle kanalizasyon sistemlerinde ve çöp depolama alanlarında açılan çukurlarda bu konsantrasyona ulaşmak mümkündür. Hidrojen sülfürü ve diğer zararlı gazları filtre edici maskeler takılmadan kanalizasyon sistemlerine ve çöp depolama alanlarında açılan çukurlara girilmesi yasaklanmalıdır.

Bodrum katlarında zaman zaman kanalizasyondan ileri gelen gaz sızıntıları meydana gelmektedir. Bodrum katlarındaki hidrojen sülfür ve merkaptan gazlarının sızıntılarından dolayı dünyada onlarca insan hayatını kaybetmektedir. Belediyeler bu tür gaz sızıntısı şikayeti olan yerleri acil olarak izlemeli, gaz konsantrasyonunu ölçmeli ve olumsuzluğu ortadan derhal kaldırmalıdır. Gerekli önlemler alınıncaya kadar kişilerin evlere girmesi yasaklanmalıdır.

Evsel atıksuların açık kanal veya derelere verildiği yerlerde özellikle yaz aylarında havadaki hidrojen sülfür (H_2S) konsantrasyonu 4.7 ppb'in üzerine çıkabilir. Eğer bu tür yerlerde çürük yumurta kokusu algılanıyorsa H_2S konsantrasyonu, 4.7 ppb'in üzerinde demektir. İlgili yerel yönetimler H_2S kirliliği önlemek için gerekli önlemleri derhal almalıdır. Gerekli önlemler alınıncaya kadar H_2S 'ün halk sağlığı üzerine olumsuz etkisini gözlemek üzere ortamdaki H_2S konsantrasyonu ölçülerek halka duyurulmalı ve alınması gereken önlemler bildirilmelidir.

İnsan sağlığının korunması amacı ile dereler, açık atık su kanalı olarak kullanılmamalıdır. Arıtılmadan atıksular derelere kesinlikle verilmemelidir.

6. KAYNAKLAR

1. Henriette Stokbro Jensen, “Hydrogen sulfide induced concrete corrosion of sewer networks” Aalborg University, May 2009.
2. H.S. Jensen, A.H. Nielsen, T. Hvitved-Jacobse and J. Vollertsen, “Hydrogen sulfide initiated corrosion in concrete sewers – a conceptual approach for prediction” 11th International Conference on Urban Drainage, Edinburgh, Scotland, UK, 2008
3. Ilje Pikaar , Keshab R. Sharma, Shihu Hu , Wolfgang Gernjak , Jürg Keller , Zhiguo Yuan “Reducing sewer corrosion through integrated urban water management” Water Engineering.
4. W. KAEMPFER and M. BERNDT “Estimation Of Service Life Of Concrete Pipes In Sewer Networks”, Concrete pipes in sewer networks, Institute of Material Research and Testing; Bauhaus University of Weimar, Germany
5. Prof. Dr. Mustafa Öztürk, “Kanalizasyonlarda Hidrojen Sülfür Gazı Oluşumu Sağlık Üzerine Etkileri”, 2006.
6. L. Sutherland-Stacey, S. Corrie, A. Neethling, I. Johnson, O. Gutierrez, R. Dexter, Z. Yuan, J. Keller and G. Hamilton, “Continuous measurement of dissolved sulfide in sewer systems”, Water Science & Technology, 2008.
7. R. E. Melchers and P.A. Wells, “Modelling the long term corrosion of reinforced concrete sewers”, The University of Newcastle, Australia.
8. Noah Bednar, Bruce Carlstrom, Grace Kluchka, Michelle Nitz, “Reducing Sewer Corrosion Through Holistic Urban Water Management”