



HİD 350 HİDROJEOKİMYA KONU 9: ÇEŞİTLİ KONULAR

İÇİNDEKİLER

İÇİNDEKİLER	1
1 SULARDA KOKU ve TAT	3
2 SULARDA RENK ve BULANIKLIK	3
3 SULARDA ALKALİNİTE	3
4 SULARDA TOPLAM SERTLİK, GEÇİCİ SERTLİK, KALICI SERTLİK	6
5 SULARDA SERTLİK TÜRLERİ	6
5.1 Toplam Sertlik TS	6
5.2 Karbonat Sertliği KS	7
5.3 Karbonat Olmayan Sertlik, KOS	7
5.4 Yalancı Sertlik, YS	8
5.5 KS ve KOS Kaynakları	8
6 SULARDA ALKALİNİTE SERTLİK İLİŞKİSİ	9
7 SUYUN SERTLİK SINIFLAMASI	9
8 SUYUN SERTLİĞİ VE SAĞLIK	9
9 ÖZGÜL ELEKTRİKSEL İLETKENLİK DÖNÜŞTÜRME	10
10 SU KALİTESİ İLE İLGİLİ MEVZUAT	10
11 TS 266 İÇME SUYU STANDARDI	12
11.1 Organoeliptik (Duyusal) Özellikler	12
11.2 Mikrobiyolojik özellikler	12
11.3 Kimyasal Özellikler	13
11.4 Gösterge Özellikler	14
12 İÇME SUYU STANDARTLARI ARASI FARKLILIKLAR	16
13 SULAMA SUYU KALİTESİ	17
14 KİRLENME ve KİRLİLİK	20
15 KOİ ve BOİ	21
16 SULARDA NİTRAT KİRLİLİĞİ	21
17 ALG PATLAMASI	24
18 SUSUZ FAZ SIVISI (SFS) KİRLENMESİ	24
19 SULARDA ARSENİK KİRLİLİĞİ	25
20 SULARDA PESTİSİT KİRLİLİĞİ	26
21 SULARDA SİYANÜR KİRLİLİĞİ	27
22 İÇMECELER, İLICALAR ve KAPLICALARDA RİSKLER	29
23 JEOTERMAL AKIŞKAN KÖKENLİ KİRLENME	30
24 SULARDA HORMON BOZUCULAR	31
25 SUYLA BULAŞAN HASTALIKLAR	31
25.1 Tek Hücreli Hayvanlar (Protozoa)	32
25.2 Bakteriler	33
25.3 Virüsler	36
25.4 Yosunlar	38
25.5 Asalak Solucanlar	38
26 SULARDA KOLİFORM BAKTERİSİ ANALİZİ	38



27	SULARDA RADYASYON KİRLİLİĞİ	39
28	KİRLETİCİNİN İZOTOPIK PARMAK İZİ	41
29	SU ARITMA VE RİSKLER	42
30	SIK SORULAN İÇME SUYU SORULARI	43
31	HİDROJEOKİMYADA KULLANILAN YAZILIMLAR	44



1 SULARDA KOKU ve TAT

Koku ve tat sulara organoleptik (duyusal) özellik olarak tanımlanır. Bu konuda nicel (sayısal) bir standart bulunmamasıyla birlikte nitel açıdan suyun kokusuz ve tatsız olması arzu edilir. Sulardaki balık, çamur, küf gibi tatların nedeni su kaynağında genellikle ilkbahar, yaz aylarında gerçekleşen alg patlamalarıdır. Ayrıca, su iletim sistemindeki bakteri üremesi de suyun tadını değiştirebilir. Şebeke suyunun dezenfeksiyonu amacıyla kullanılan klor da suya çamaşır suyu tadı ve kokusu verir. Az miktarda olması kaydıyla sudaki klor sağlık açısından sorun oluşturmaz. Klor kaynaklı tat/koku suyun açık havada bekletilmesi ile bir süre sonra kaybolur.

Suya karışması durumunda akaryakıt ürünleri de suyun koku ve tadında belirgin değişime neden olurlar. Suda bulunan yüksek düzeydeki çinko, demir, manganez, bakır gibi metaller suyun tadını etkiler. Klorür bileşikler suya tuzlu bir tat verirler. Tansiyon sorunu olan bireylerin bu tür suları tüketmeleri önerilmez. Suda bulunan bazı bakteriler ya da çözünmüş hidrojen sülfür gazı suya çürük yumurta kokusu verir. Sulardaki tat ve koku sorunları uygun arıtma teknikleri ile giderilebilir.

2 SULARDA RENK ve BULANIKLIK

Az miktarda saf su renksiz olarak bilinirse de gerçekte suyun, su kütlesi büyüdükçe hafif maviye çalan bir rengi vardır. Bu durum su molekülünün beyaz ışığı emmesi ve yansıtmasının bir sonucudur. Suyun doğal renginin dışında suda çözünmüş organik ve inorganik maddeler ile askıdaki katı maddeler suyun rengini belirleyen temel unsurlardır. Örneğin, askıda sediment içeren çamurlu sular kahverengi, alg içeren sular yeşil, kırmızı, organik asitlerce zengin ormanlık alanlardaki sular açık kahve renklidir. Bununla birlikte suyun rengi içerdiği askıdaki maddeler filtre edilerek ayrıldıktan sonra ölçülür. Diğer bir deyişle sulara renk çözünmüş organik ve inorganik maddelerden kaynaklanan renktir. Suyun rengi spektrofotometrede 400 nano metre ile 700 nano metre dalga boyu aralığında ölçülür. Kalibrasyon için Platin/Kobalt çözeltisi kullanılır. Sonuç "Pt/Co renk ölçeği" olarak ifade edilir. Uygulamada farklı renk ölçeği değerlerine sahip Pt/Co çözeltileri ile örneğin gözle kıyaslanması da pratik bir renk belirleme seçeneği olarak kullanılmaktadır.

Sularda bulanıklık askıdaki katılardan ve mikroskobik canlılardan (alglerden) kaynaklanır. Bulanıklık filtrasyon ile giderilebilen bir özelliktir ve kaynak şeklindeki yeraltısu boşalmalarında şiddetli yağışlardan sonra oluşan önemli bir sorundur. Bulanıklık spektrofotometre cihazında ışık geçirgenliğinin belirlenmesi yoluyla ölçülür. Sonuçlar çoğunlukla NTU (İng. Nessler Turbidity Unit, Nessler Bulanıklık Birimi) biriminde raporlanır. FTU (İng. Formazin Turbidity Unit) gibi başka bulanıklık birimleri de kullanılmaktadır.

3 SULARDA ALKALİNİTE

Alkalinite, suyun asidi nötrleştirme kabiliyeti olarak tanımlanır. Benzer biçimde asidite de suyun bazı nötrleştirme kabiliyetidir. Alkalinite ölçümlerinde asidik, asidite ölçümlerinde bazik (yani alkalin) çözeltiler kullanılır. Alkalinite ve asidite ölçümleri titrasyon tekniği ile



gerçekleştirilir. Titrasyon, bir kap içindeki çözeltiye başka bir çözeltinin damla damla eklenmesidir. Alkalinitesi ölçülecek su örneğine belli derişime sahip asidik bir çözelti damla damla eklenerek belirli pH değerlerine ulaşmak için ne kadar çözelti harcandığı kaydedilir. Bu amaçla pH metre kullanılabilirse de pratikte pH değerini belirten belirteç kimyasallar (= indikatör) kullanılır. İndikatörler; pH değıştikçe çözeltide renk değıştiren karmaşık yapılu organik bileşiklerdir. Örneğin metil oranj, pH'sı 3,1'in altında olan çözeltilerde kırmızı ve pH'sı 4.5'in üstünde olan çözeltilerde sarıdır. Bu indikatörün pH= 3.1 - 4.5 aralığındaki rengi sarı ve kırmızının değışen bir karışımıdır. Yaygın kullanılan bazı indikatörlere ilişkin temel bilgiler aşağıdaki çizelgede verilmiştir.

Çizelge: Titrasyonda kullanılan bazı indikatörler

İndikatör	Asit rengi	Baz rengi	pH aralığı
Timol mavisi	Kırmızı	San	1.2 - 2.8
Metil oranj	Kırmızı	Sarı	3.1 - 4.5
Bromo kresol yeşili	Sarı	Mavi	3.8 - 5.5
Metil kırmızısı	Kırmızı	San	4.2 - 6.3
Turnusol	Kırmızı	Mavi	5.0 - 8.0
Bromo timol mavisi	Sarı	Mavi	6.0 - 7.6
Timol mavisi	Sarı	Mavi	8.0 - 9.6
Fenolftalein	Renksiz	Kırmızı	8.3 - 10.0
Alizarin sarısı	Sarı	Eflatun	10.0 - 12.1

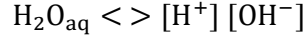
İndikatörler alkalinite (ya da asidite) reaksiyonuna katılmazlar, sadece çözelti belli pH değerine ulaştığında çözelti renginin değışmesine neden olurlar. Böylece ilgili pH değerine ulaşıldığı anlaşılmış olur. Alkalinite titrasyonunda metil oranj (pH= ~4.5) ve fenolftalein (pH= ~ 8.3) indikatörleri kullanılır.

Aşağıdaki şekilde suda bulunan inorganik karbon bileşenlerinin % bollukları ile pH arasındaki ilişki gösterilmiştir. Toplam İnorganik Karbon (TİK) karbonik asit (H_2CO_3), bikarbonat (HCO_3^-) ve karbonat (CO_3^{2-}) bileşenlerinden oluşur. Alkalinite (yani alkalilik, baziklik) $pH > 7$ koşullarını tanımladığından karbonik asit bir alkalinite bileşeni değildir. Bunlardan bikarbonat ve karbonat, Toplam Alkalinite'nin "Karbonat Alkalinitesi" bileşenleridir. Bunun dışında, aşırı alkali (bazik) sularda Hidroksil Alkalinitesi de (OH^-) önemli büyüklüğe ulaşır.

Şekilden görüldüğü gibi karbonik asit (H_2CO_3) ve karbonat (CO_3^{2-}) suda birlikte bulunamaz. Sadece karbonik asit (H_2CO_3) ve bikarbonat (HCO_3^-) ya da bikarbonat (HCO_3^-) ve karbonat (CO_3^{2-}) birlikte bulunabilirler. pH 4 dolayında suda ne bikarbonat (HCO_3^-) ne de karbonat (CO_3^{2-}) iyonu bulunurken pH 6.5 dolayında TİK'un yarısı karbonik asitten (H_2CO_3), diğer yarısı da bikarbonattan (HCO_3^-) oluşur. pH 8.3 dolayında TİK'un %100'e yakın bölümü bikarbonattan (HCO_3^-) oluşur. pH değeri yükseldikçe bikarbonatın (HCO_3^-) bir bölümü karbonata (CO_3^{2-}) dönüşmeye başlar. pH 12'nin üzerine çıktığında TİK'un %100'ü karbonata (CO_3^{2-}) dönüşmüş olur. Kabaca pH 10'un üzerinde suda hidroksil (OH^-) iyonu da dikkate



değer derişim düzeyine ulaşmaya başlar. Suyun ayrışma reaksiyonuna aşağıdaki gibi olup, denge sabiti değeri $K_w = 10^{-14}$ düzeyindedir.

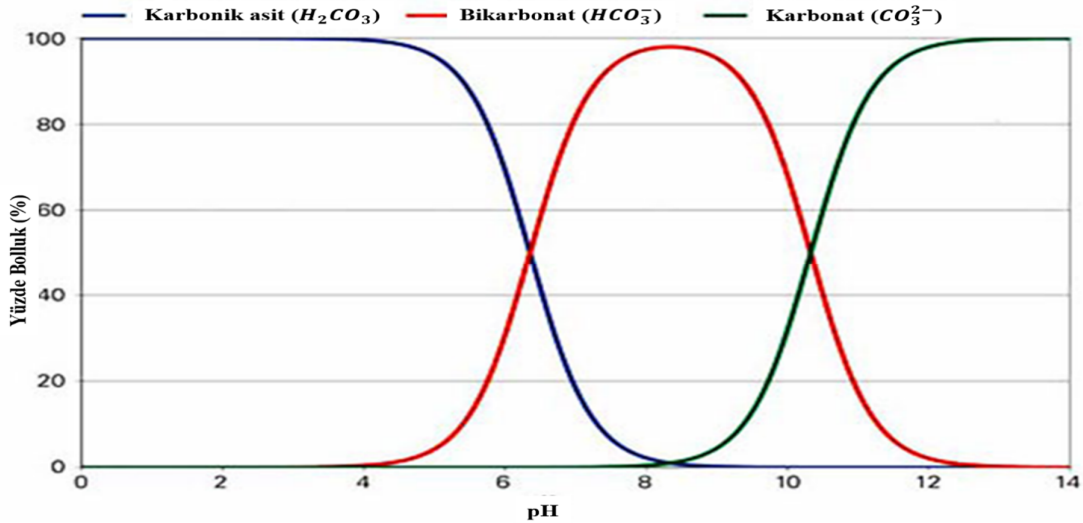


$$K_w = [H^+][OH^-] = 10^{-14}$$

pH= 10 düzeyinde hidroksil aktivitesi $[OH^-] = \frac{10^{-14}}{[10^{-10}]} = 10^{-4}$ mol/L'dir (= 0.1 mmol/L).

pH= 11, 12 ve 13 düzeylerinde hidroksil aktivitesi de sırasıyla 1, 10 ve 100 mmol/L düzeyinde artış gösterir. İçilebilir nitelikteki bir suda toplam bikarbonat (HCO_3^-) ve karbonat (CO_3^{2-}) aktivitesi 4 ila 8 mmol/L dolayındadır. Bu değerlerden, pH > 11 koşullarında hakim alkalinite bileşeninin hidroksil (OH^-) anyonu olacağı anlaşılmaktadır.

Doğal su örneklerinde çoğunlukla pH 6.5 ile 8.5 aralığındadır. Bu nedenle doğal su örneklerinin alkalinite titrasyonunda fenolftalein ve metil oranj indikatörleri kullanılır. Yukarıdaki açıklandığı gibi hidroksil Alkalinitesi ancak pH > 11 ve üzeri koşullarda dikkate değer büyüklüğe sahiptir. Doğal sularda bu düzeyde pH değerleri ile çok nadir karşılaşılır. Eğer suyun pH değeri 11 ya da üzerinde ise pH indikatörü olarak Alizarin Sarısı da kullanılabilir. Alkalinite titrasyonunda örneğe, eğer pH > 11 ise önce Alizarin Sarısı damlatılır ve yavaş yavaş derişimi bilinen asit çözeltisi (= titrant) eklenir. Alizarin Sarısı çözeltiye eflatun rengi verir. Titrant eklendikçe pH değeri düşer, pH = 10 dolayında indikatör rengi de sarıya döner. Bu aşamada çözeltiye fenolftalein indikatörü damlatılır, örneğin rengi kırmızıya döner. Titrasyona çözelti renksiz oluncaya değin devam edilir (pH= 8.3). Bu aşamada çözeltiye Metil Oranj indikatörü damlatılır ve örnek sarı renk alır. Titrasyona örneğin rengi kırmızıya dönünceye değin (pH= 4.3) devam edilir. Her bir renk dönüm noktası için harcanan titrant miktarı kullanılarak hidroksil, karbonat ve bikarbonat alkalinitesi değerleri hesaplanır.

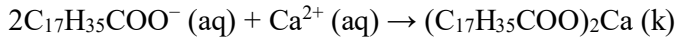


Şekil: Sudaki Toplam İnorganik Karbon (TİK) bileşenlerinin bolluklarının pH ile değışimi.



4 SULARDA TOPLAM SERTLİK, GEÇİCİ SERTLİK, KALICI SERTLİK

Sertlik (İng. Hardness) suyun sabun tüketme ya da köpük oluşturmama kapasitesi olarak tanımlanabilir. En basit sertlik testi içinde bir parça sabun bulunan şişeye su koyup çalkalamaktır. Oluşan köpük miktarı suyun sertliği ile ters orantılıdır. Sert sularda köpük oluşumu azdır. Bunun nedeni sert sulardaki 2+ değerli katyonların sabunun ana bileşeni olan sodyum stearat ($2C_{17}H_{35}COO^-$) ile birleşerek bu bileşiğin yüzey aktifliğini bozması, köpük oluşumunu engelleyerek kalsiyum stearat $[Ca (C_{17}H_{35}COO)_2]$ şeklinde çökmesine neden olmasıdır.



Çamaşır yıkama sürecindeki olumsuz etkinin yanı sıra sert sular ayrıca “kabuk (İng. Scale)” oluşumu yoluyla borularda tıkanmaya neden olur. Genellikle kalsiyum karbonat ($CaCO_3$), magnezyum karbonat ($CaCO_3$), magnezyum hidroksit ($Mg(OH)_2$) ya da kalsiyum sülfat ($CaSO_4$) bileşimli bu çökeller beyaz, kirli beyaz ya da sarımsı renklidir. Bu çökeller özellikle ısı-değiştirici (eşanjör, İng. Heat exchanger) sistemlerde büyük sorun oluşturur. Bu sorunun giderilmesi için suyun yumuşatılması (İng. Water softening) ya da çökelim engelleyici (İng. Precipitation inhibitor) kullanılması gerekir. Suyun yumuşatılması çoğunlukla sudaki 2 değerli iyonların tutulması, bunlar yerine 1 değerli iyonların suya salınması yoluyla gerçekleştirilir.

5 SULARDA SERTLİK TÜRLERİ

Sularda dört farklı sertlikte bahsetmek mümkündür.

1. TS, Toplam Sertlik
2. KS, Karbonat Sertliği (Geçici Sertlik, kaynatma ile giderilir)
3. KOS, Karbonat Olmayan Sertlik (Kalıcı Sertlik, kaynatma ile giderilemez)
4. YS, Yalancı Sertlik (YS)

5.1 Toplam Sertlik, TS

Toplam sertlik sudaki çok değerli (İng. multivalent) katyonların derişimlerinin (mol/L) toplamıdır (Toplama tek değerli (İng. monovalent) katyonlar dahil değildir).

$$TS (mol/L) = [Ca^{2+}] + [Mg^{2+}] + [Sr^{2+}] + [Ba^{2+}] + [Fe^{2+...+}] + [Mn^{2+...+}] + [Al^{2+...+}] + \dots$$

Doğal sularda başlıca çok değerli katyonlar Ca ve Mg olduğundan eşitlik çoğunlukla kısaltılarak ifade edilir.

$$TS \approx [Ca^{2+}] + [Mg^{2+}]$$

$$TS = \text{Kalsiyum Sertliği} + \text{Magnezyum Sertliği}$$



Toplam Sertlik TS, Karbonat Sertliği (KS) ile Karbonat Olmayan Sertlik (KOS) toplamından oluşur.

Toplam sertlik değişik birimlerde ifade edilebilir. Uluslararası standart (SI) sertlik birimi mek/L'dir. Bununla birlikte, ppm CaCO₃ vb birimler de kullanılmaktadır. Türkiye'de Fransız Sertlik Derecesi kullanılmaktadır. Aşağıdaki çizelgelerde çeşitli derişim birimlerine göre Toplam Sertlik eşitlikleri ile farklı sertlik derecesi eşitlikleri gösterilmiştir.

Çizelge: Toplam Sertlik eşitlikleri.

Toplam Sertlik		Eşitlik
TS (ppm ya da mg/L CaCO ₃)	=	([Ca, ppm CaCO ₃] + [Mg, ppm CaCO ₃])
TS (mmol/L)	=	([Ca, mmol/L] + [Mg, mmol/L])
TS (mek/L)	=	2 × ([Ca, mmol/L] + [Mg, mmol/L])
TS (ppm CaCO ₃)	=	100.1 × ([Ca, mmol/L] + [Mg, mmol/L])

Çizelge: Sertlik derecesi eşitlikleri.

Sertlik Derecesi	Simge		Eşitlik
Fransız sertlik derecesi:	1 °f	=	10 mg/L CaCO ₃
Alman sertlik derecesi:	1 °d	=	10 mg/L CaO
İngiliz sertlik derecesi:	1 °e	=	10 mg CaCO ₃ / 0.7 L
ABD sertlik derecesi:	1 °a	=	1 mg/L CaCO ₃

5.2 Karbonat Sertliği, KS

Karbonat Sertliği aşağıda gösterildiği gibi doğrudan Karbonat (+ bikarbonat) Alkalinitesi ile ilişkilidir.

$$KS \text{ (mek/L)} = \text{Karbonat Alkalinitesi (mek/L)}$$

5.3 Karbonat Olmayan Sertlik, KOS

Karbonat Olmayan Sertlik aşağıdaki eşitlikle hesaplanır

$$KOS = TS - KS$$

Karbonat Sertliği suyun ısıtılması ile Ca ve Mg karbonatlar şeklinde çökelerek sudan ayrıldığından Geçici Sertlik olarak adlandırılır. Buna karşın, Ca ve Mg'un sülfatlı, klorürlü ya da nitratlı kompleksleri ısınmayla sudan ayrılmadıklarından Kalıcı Sertlik (= KOS) olarak adlandırılır.

KOS mmol/L derişim birimi kullanılarak aşağıdaki eşitlikle de hesaplanabilir. Sonuç mek/L birimindedir.

$$KOS \text{ [mek/L]} \approx (2 \times SO_4^{2-} + Cl^- + NO_3^-) - (Na^+ + K^+ + NH_4^+)$$



5.4 Yalancı Sertlik, YS

Hidrojeokimya literatüründe çoğunlukla TS, KS ve KOS terimlerinden bahsedilir. Bununla birlikte eğer Karbonat Alkalinitesi (yani KS) Toplam Sertlikten (TS) büyükse (yani $KS > TS$) bu durumda negatif KOS değeri oluşur ve Yalancı Sertlik (YS) derişim birimleri mmol/L olmak üzere şu şekilde ifade edilir (YS derişim birimi mek/L'dir):

$$YS \text{ [mek/L]} \approx (2 \times SO_4^{2-} + Cl^- + NO_3^-) - (Na^+ + K^+ + NH_4^+)$$

Diğer bir deyişle, YS, KS'nin tek değerli katyonlara ($Na^+ + K^+ + NH_4^+$) ait olan bölümüdür. Bu durumda Suyun Sertliği eşitliğini aşağıdaki gibi yazmak daha uygun olur:

$$\text{Suyun Sertliği: } TS + YS = KS + KOS$$

Bu durumda TS eşitlikleri şu şekilde olacaktır:

$$TS = KS + KOS \text{ (TS} \geq KS \text{ olması durumunda, YS} = 0 \text{)}$$

$$TS + YS = KS \text{ (TS} < KS \text{ olması durumunda, KOS} = 0 \text{)}$$

5.5 KS ve KOS Kaynakları

Karbonat Sertliği (KS) ile Karbonat Olmayan Sertliğin (KOS) kaynakları aşağıda gösterilmiştir.

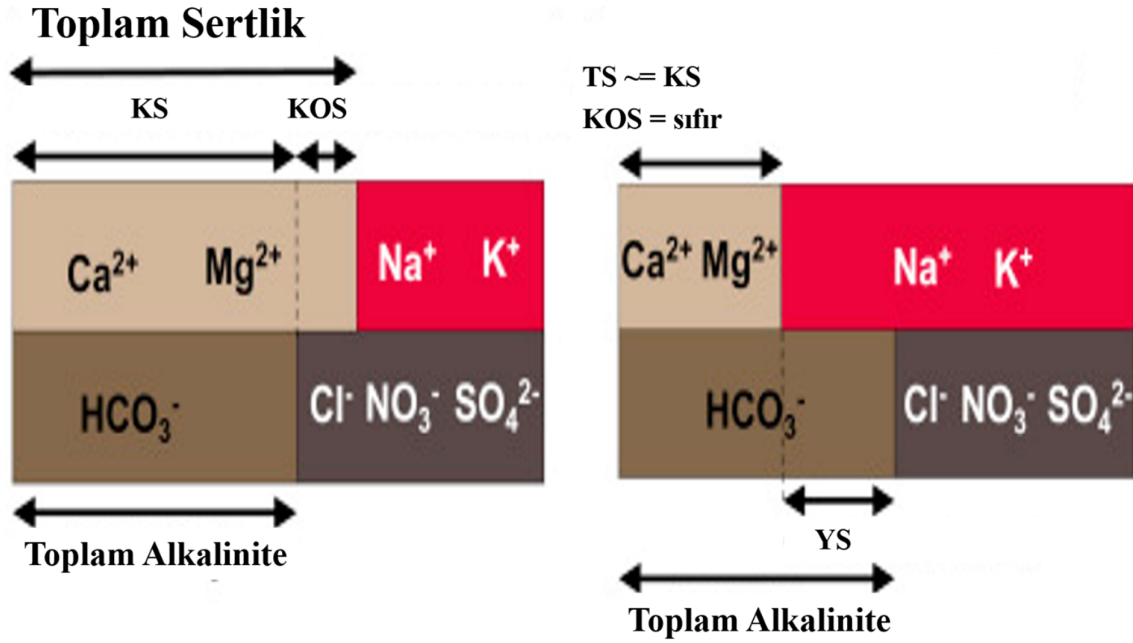
Karbonat Sertliği Kaynakları	Karbonat Olmayan Sertlik Kaynakları
Kalsiyum karbonat ($CaCO_3$)	Kalsiyum sülfat ($CaSO_4$)
Magnezyum karbonat ($MgCO_3$)	Magnezyum sülfat ($MgSO_4$)
Kalsiyum bikarbonat [$Ca(HCO_3)_2$]	Kalsiyum klorür ($CaCl_2$)
Magnezyum bikarbonat [$Mg(HCO_3)_2$]	Magnezyum klorür ($MgCl_2$)
Kalsiyum hidroksit [$Ca(OH)_2$]	
Magnezyum hidroksit [$Mg(OH)_2$]	

Daha fazla bilgi için: (<https://www.aqion.de/site/water-hardness#convert>)



6 SULARDA ALKALİNİTE SERTLİK İLİŞKİSİ

Sularda çeşitli alkalinite ve sertlik büyüklükleri arasındaki ilişki aşağıdaki şekilde gösterilmiştir.



7 SUYUN SERTLİK SINIFLAMASI

ABD Jeolojik Araştırmalar Kurumu (İng. U.S. Geological Survey) sertlik düzeylerine göre suyu şu şekilde sınıflamaktadır:

Su Tipi	Toplam Sertlik (ppm $CaCO_3$)	Toplam Sertlik ($^{\circ}dH$)	Toplam Sertlik (mek/L)
Yumuşak	< 60	< 3.35	< 1.2
Orta sert	60 -120	3.35-6.7	1.2-2.4
Sert	120-180	6.7-10.05	2.4-3.6
Çoksert	> 180	> 10.05	> 3.6

8 SUYUN SERTLİĞİ VE SAĞLIK

Sert su yüksek çözünmüş madde (Toplam Çözünmüş Katı) içeriğine sahip olan sudur. Suyun sertliğini arttıran başlıca kaya türleri; kireçtaşı, dolomit ve jips gibi kolay çözünebilen minerallerden yapılmıştır. Sert (ya da yumuşak) suların sağlığa faydalı olduğu yönünde bazı iddialar bulunmakla birlikte bunlar Dünya Sağlık Örgütü (İng. World Health Organization, WHO) tarafından kabul görmemektedir. Yumuşak suyun da çocukluk ekzaması (İng. Childhood eczema) gibi deri hastalıklarına iyi geldiği iddiası kanıtlanamamıştır.



Su da bir besin maddesidir. Bu nedenle sert suyun belirli bir düzeyde sağlıklı olduğu düşünülebilir. Buna karşın, yumuşak sular çoğunlukla iz elementlerce zengin magmatik ve metamorfik kayalarla temas sonucu olduğundan yumuşak suların iz element içeriklerinin dikkatle izlenmesi gereklidir. Sert sular, boru hatlarında, su kazanlarında su soğutma kulelerinde ve diğer ortamlarda mineral çökelişi nedeniyle önemli sorunlara neden olurlar. Çaydanlıklarda, çamaşır ve bulaşık makinelerinin ısıtıcılarında gözlenen çökeller sert sudan kaynaklanır.

9 ÖZGÜL ELEKTRİKSEL İLETKENLİK DÖNÜŞTÜRME

Başka bir sıcaklıkta ölçülmüş Elektriksel İletkenlik değerini Özgül Elektriksel İletkenlik değerine (yani Elektriksel İletkenliğin 25 °C'deki karşılığına) dönüştürmek için aşağıdaki eşitlik kullanılır. Eşitlikteki a katsayısının gerçek değeri suyun hidrojeokimyasal fasiyesine (örğ, Ca-CO₃, Ca-SO₄, Na-Cl, Na-HCO₃ vb) bağlıdır. Ca-CO₃ fasiyesindeki tatlı sularda genellikle 0.65 değeri kullanılır.

$$\text{ÖEİ } (\mu\text{S/cm}@25^\circ\text{C}) = \text{Eİ } (\mu\text{S/cm}) / [1 + a (T - 25)], a = 0.020^\circ\text{C}^{-1} (T, ^\circ\text{C birimindedir}).$$

$$\text{TÇK (mg/L)} = \Sigma \text{ katyonlar (mg/L)} + \Sigma \text{ anyonlar (mg/L)}$$

$$\text{TÇK (mg/L)} = \text{dönüştürme faktörü} \times \text{ÖEİ } (\mu\text{S/cm}@25^\circ\text{C})$$

Dönüştürme faktörünün değeri 0.55 ile 0.70 arasında değişir, genellikle 0.65 alınır.

Sulu Çözeltilerin Tipik ÖEİ Değerleri

Su Tipi	ÖEİ ($\mu\text{S/cm}@25^\circ\text{C}$)
Saf su	0.055
Damıtık su	0.5
Yağmur suyu	5 – 30
Kullanma suyu	500 – 1,000
Yeraltı suyu	30 – 2,000
Endüstriyel atıksu	$\geq 5,000$
Deniz suyu	54,000
Derişik asit ve baz	$\sim 1,000,000$

10 SU KALİTESİ İLE İLGİLİ MEVZUAT

Su kaynaklarının kirlenmeden korunması, içme-kullanma, sulama amaçlı suların kullanıma uygunluğunun belirlenmesi için yasal kurallar uygulanır. Bu kurallar çoğunlukla “Yasalar” ve “Yönetmelikler” ile ilan edilir ve uygulanır.

Mevzuat, yürürlükte olan yasa, tüzük, yönetmelik vb. normların bütünü kapsayan bir terimdir. Norm; kural olarak benimsenmiş, yerleşmiş ilkeye ya da yasaya uygun duruma denir.



Bir hukuk düzeninde mevcut olan, anayasa, kanun, tüzük, yönetmelik gibi normlar arasında altlık-üstlük ilişkisi vardır. Buna “Hukukta Normlar Hiyerarşisi” denir. Bu hiyerarşide alt basamakta yer alan norm geçerliliğini üst basamakta yer alan normdan alır ve dolayısıyla ona uygun olmak zorundadır. Su kaynakları ve su kalitesi ile ilgili mevzuat çoğunlukla Yönetmelik, Yönerge ve Tebliğlerden oluşur. T.C. Hukukunda Normlar Hiyerarşisi aşağıdaki gibidir.

1- Anayasa

2- Milletlerarası Andlaşmalar

3- Kanunlar

4- KHK (Kanun Hükmünde Kararname)

5- Tüzükler (Nizamname)

6- Yönetmelikler

Yönetmelik bakanlıklar ve kamu tüzel kişilerin, kanun ve tüzüklerin uygulanmasını sağlamak için çıkarılır. Tüzüklerden farklı olarak yönetmelikler için belli bir şekil şartı getirilmemiştir.

7- Yönerge

Herhangi bir konuda tutulacak yol için üst makamlardan alt makamlara belli bir esasa dayanarak verilen buyruk, talimat, direktif. Bu buyrukların yazılı olduğu belge. Yönetmeliklerde değinilmeyen konulara açıklık getirmek için düzenlenen resmî belge.

8- Tebliğ

9- Genelge

10- Talimat

Çizelge: Su kaynakları ve su kalitesi ile ilgili mevzuat.

DSİ Yeraltısuları Teknik Yönetmeliği (Resmî Gazete: Tarih 23/06/1972, 1 Sayı 4224)
Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği (RG: 31/12/2004, 25687)
İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik (RG: 17/2/2005, 25730)
Yeraltı Sularının Kirlenmeye Ve Bozulmaya Karşı Korunması Hakkında Yönetmelik (RG: 07/04/2012, 28257)
Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği (RG: 30/11/2012, 28483)
Yüzeysel Sular ve Yeraltı Sularının İzlenmesine Dair Yönetmelik (RG: 11/2/2014, 28910)
Tarımsal Kaynaklı Nitrat Kirliliğine Karşı Suların Korunması Yönetmeliği (RG: 23/07/2016, 29779)
Sularda Tarımsal Faaliyetlerden Kaynaklanan Nitrat Kirliliğinin Önlenmesine Yönelik İyi Tarım Uygulamaları Kodu Tebliği (RG: 11/02/2017, 29976)
İçme-Kullanma Suyu Havzalarının Korunmasına Dair Yönetmelik (RG: 28/10/2017, 30224)
TS266 (2005) Türk Standardı Sular - İnsanî Tüketim Amaçlı Sular
Doğal Mineralli Sular Hakkında Yönetmelik (RG: 01/12/2004, 25657)



11 TS 266 İÇME SUYU STANDARDI

TS 266 İçme Suyu Standardı'nın bazı bölümleri aşağıda özetlenmiştir.

Bu Standard kapsamına giren sular;

1. Sınıf 1 - Kaynak (memba) suları.
2. Sınıf 2 - Kaynak suları dışındaki insanî tüketim amaçlı sular olmak üzere iki sınıftır.

Sınıf 1 sular bir tiptir.

Sınıf 2 sular;

- i. Tip 1 - İşlem görmüş kaynak (memba) suları,
- ii. Tip 2 - içme ve kullanma suları olmak üzere iki tiptir.

İçmesuyu standardının parametreleri aşağıdaki gibidir:

11.1 Organoeliptik (Duyusal) Özellikler

Su; berrak, tortusuz, kendine has renkte ve kokusuz olmalıdır.

11.2 Mikrobiyolojik özellikler

Suyun mikrobiyolojik özellikleri aşağıdaki gibi olmalıdır.

Çizelge: TS 266 Suyun mikrobiyolojik özellikleri

Özellik	Değer, en çok	
	Sınıf 1 ve Sınıf 2 Tip 1	Sınıf 2 Tip 2
Escherichia coli (E.coli)	0/250 mL	0/100 mL
Enterococci,	0/250 mL	0/100 mL
Pseudomonas aeruginosa	0/250 mL	-
Koloni sayısı, 22°C'ta	100/mL	-
Koloni sayısı, 37°C'ta	20/mL	-



11.3 Kimyasal Özellikler

Suyun kimyasal özellikleri aşağıdaki gibi olmalıdır.

Çizelge: TS 266 Suyun kimyasal özellikleri

Özellik	Değer. en çok		Birim	Açıklama
	Sınıf 1 ve Sınıf 2 Tip 1	Sınıf 2 Tip 2		
Antimon	5.0	5.0	µg/L	
Arsenik	10	10	µg/L	
Benzen	1.0	1.0	µg/L	
Bor	1.0	1.0	µg/L	
Bromat	10	10	µg/L	
Kadmiyum	5.0	5.0	µg/L	
Krom	50	50	µg/L	
Bakır	100	2000	µg/L	
Siyanür	50	50	µg/L	
Florür	1.0	1.5	µg/L	
Kurşun	10	10	µg/L	
Cıva	1.0	1.0	µg/L	
Nikel	20	20	µg/L	
Nitrat	25	50	mg/L	
Nitrit	0.10	0.50	mg/L	
Pestisitler	0.10	0.10	µg/L	Pestisit ifadesi, organik insektisitler, organik herbisitler, organik fungusitler, organik nematositler, organik acarisitler, organik algisitler, organik rodentisitler, organik slimisitler ve ilgili ijrünler (bunlarla birlikte büyüme düzenleyicileri) ile bunların metabolitleri, parçalanma ve tepkime ürünlerini kapsamaktadır. Belirtilen değer, her bir pestisit için ayrı ayrı uygulanır. Suda aldrin, dieldrin, heptaklor ve heptaklor epoksit bulunması hâlinde bu değer 0,030 ng/L olarak uygulanmalıdır.
Toplam pestisit	0.50	0.50	µg/L	Yukarıda belirtilen ve ayrı ayrı tespit edilebilen pestisitlerin



				derişimleri toplamını ifade etmektedir.
Polisiklik aromatik hidrokarbonlar	0.10	0.10	µg/L	Değer, benzo(b)floranten, benzo(k)floranten, benzo(ghi)perilen ve indeno(1,2,3-cd)piren bileşiklerinin derişimleri toplamını ifade etmektedir.
Selenyum	10	10	µg/L	

11.4 Gösterge Özellikler

Suyun gösterge özellikleri aşağıdaki Çizelgeye uygun olmalıdır. Gösterge özellikler Organoeliptik, mikrobiyolojik ve kimyasal özellikleri açısından TS266 standardına uygun olduğu belirlenmiş suların düzenli denetimleri sırasında izlenecek olan özelliklerdir.

Çizelge: TS 266 Suyun gösterge özellikleri

Özellik	Değer		Birim	Açıklama
	Sınıf 1 ve Sınıf 2 Tip 1	Sınıf 2 Tip 2		
Alüminyum, en çok	200	200	µg/L	
Amonyum, en çok	0.05	0.50	mg/L	
Klorür, en çok	30	250	mg/L	
Clostridium perfringens (<i>sporlular dahil</i>)	0	0	sayı/100 ml	Suyun yüzeyden alınmaması veya yüzey suyundan etkilenmemesi halinde bu özellikler aranmaz. .
Renk, en çok	1	20	mg/L Pt-Co skalası	Suyun kendine has renginden fark edilebilir bir sapma gözlenmemelidir.
İletkenlik, 20°C'ta, en çok	650	2500	µS/cm	
pH	6.5<pH<9.5	6.5<pH<9.5	pH birimi	Ambalajlı sular için, üst sınır aynı kalmak kaydıyla, en düşük pH değeri 4,5 olarak uygulanmalıdır.
Demir, en çok	50	200	µg/L	



Mangan, en çok	20	50	µg/L	
Koku	Suyun kendine has kokusund a fark edilebilir bir değişiklik gözlenme melidir.			
Sülfat, en çok	25	250	mg/L	
Sodyum, en çok	100	200	mg/L	
Tat	Suyun kendine has tadında fark edilebilir bir değişiklik gözlenme melidir.			
Koloni sayımı, 22°C'ta	Fark edilebilir bir değişiklik olmamalıdır.			
Koliform bakteri	0	0	sayı/100 ml	Ambalajlı sular için birim, sayı/250 mL olarak uygulanmalıdır.
Toplam organik karbon (TOK)	Fark edilebilir bir değişiklik gözlenme melidir.			
Bulanıklık, en çok	5	5	NTU	Suyun, yüzey suyunun arıtılması ile elde edilmesi durumunda, bulanıklık en çok 1.0 NTU (Nefelometrik Bulanıklık Birimi) olmalıdır.



Radyoaktivite, en çok				
Trityum	100	100	Bq/L	
Toplam gösterge dozu	0.10	0.10	mSv/yıl	
Alfa aktivitesi	0.1	0.1	Bq/L	
Beta aktivitesi	1	1	Bq/L	

12 İÇME SUYU STANDARTLARI ARASI FARKLILIKLAR

İçme suyu (ve tüm diğer) standartları yeni bilimsel bulgular temelinde yenilenmekte, bazı parametreler standart listesinden çıkartılır iken başka parametreler listeye eklenebilmekte ya da bir parametreye ait izin verilen derişim değeri değışebilmektedir. Ayrıca, farklı ülke ve kuruluşların içme suyu standartlarında yer alan parametre değeri arasında farklılık olabilmektedir.

Örneğin 2006 yılında gerçekleştirilmiş bir çalışmaya göre içme suyundaki siyanür derişimi değeri farklı kuruluş ve ülkeler tarafından şu şekilde belirlenmiştir: WHO (0.07 mg/L), AB (0.05 mg/L), Avustralya (0.08 mg/L), ABD ve Kanada (0.2 mg/L).

İzin verilen maksimum derişim değeri zamanla da değışebilmektedir. Örneğin, kanserojen bir kimyasal olan arsenik (As) elementinin içme suyunda için verilen derişimi uzun yıllar 50 µg/L olarak uygulanmış, daha sonra bu değeri günümüzde uygulanmakta olan 10 µg/L'ye çekilmiştir. Halen bu değerin 1 µg/L'ye çekilmesi üzerine araştırmalar yürütölmektedir. Halen Dünya Sağlık Örgütü'nce (WHO) 10 µg/L olarak uygulanması önerilen maksimum As derişimi 22 ülkede bu değerin üzerinde (örğ. 50 µg/L), bir ülkede ise bu değerin altındadır (7 µg/L), 79 ülkede ise bu değeri ile aynıdır. Benzer durum hemen her kimyasal için geçerlidir. Örneğin WHO tarafından önerilen maksimum baryum (Ba) derişimi 0.7 mg/L olup, 35 ülke bu değeri kullanırken, 11 ülkede uygulanan değeri bunun üzerinde (2.0 mg/L), 6 ülkede ise uygulanan değeri bu değerin altındadır (0.1 mg/L). Söz konusu farklılıkların bir bölümü yerel politik, ekonomik ve teknik tercihlerden kaynaklanmaktadır.

Örneğin Bangladeş'te, nüfusun %97'sinin içme suyu ihtiyacı kuyulardan sağlanmakta olup, 64 ilin 59'unun kullandığı yeraltısuyunda arsenik derişimi ulusal standart olarak kabul edilen 50 µg/L'nin üzerindedir. Toplam 125 milyon kişi olan ülke nüfusunun 35 milyon ila 77 milyon arasındaki bölümünün içme suyunda sınır değeri aşıldığı değeriendirilmektedir. Düşük gelir düzeyi de dikkate alındığında sınır değeri daha alt sınırlara çekilebilmesi için gereken arıtma maliyetinin ekonomik olarak uygulanabilir olmadığı anlaşılmaktadır.

İçme suyu standartlarındaki değışimlerin bir değeri nedeni ne yeni bilimsel bulgulardır. Örneğin krom içme suyunda farklı valans (iyonik yük) değerilerinde bulunabilmekle birlikte bunlardan yalnızca Cr⁶⁺ kanserojendir. Bu nedenle, bazı ülkelerde izin verilen derişim sınırları toplam Cr (örğ. 50 ppb) ve Cr⁶⁺ (0.2 ppb) için ayrı ayrı belirlenmiştir. Yeni bulgulara göre toplam



kromun tamamının Cr^{6+} 'ya dönüşebileceği anlaşıldığından toplam Cr derişiminin de 0.2 ppb'ye çekilmesi gerektiği yönünde görüşler vardır.

13 SULAMA SUYU KALİTESİ

Sulama suyu kalitesinde etkili çok sayıda parametre vardır ve belirli parametre değerleri bazı bitkileri etkilemezken diğer bir kısım bitki üzerinde olumsuz etkiye sahip olabilir. Benzer bir durum tarım toprağı için de geçerlidir.

Sulama suyu kalitesinin belirlenmesinde pek çok parametrenin kullanımından kaynaklanabilecek karmaşıklığı gidermek için oldukça basit iki diyagramdan yararlanılmaktadır. Diyagram, sınıflandırma yapmak amacıyla kullanılan grafiklerdir. “ABD Tuzluluk Laboratuvarı Diyagramı” ve “Wilcox Diyagramı” olarak adlandırılan bu diyagramların çiziminde Özgöl Elektriksel İletkenlik ($\mu S/cm@25^{\circ}C$), Sodyum Yüzdesi ($\%Na^{+}$) ve Sodyum Adsorbsiyon Oranı (İng. Sodium Adsorption Ratio, SAR, %) değerleri kullanılır. Öte yandan suyun sulamaya uygunluğunun belirlenmesinde yalnızca bu diyagramların yeterli olmayabileceği de dikkate alınmalıdır. Suyun diğer özellikleri de tarımsal üretim açısından önemlidir. Örneğin bor (B) önemli bir bitkisel besin olmakla birlikte sulama suyundaki yüksek bor derişimleri bitkiye zarar vermektedir. Farklı bitkilerin sulama suyu bor derişimine olan toleransları da farklıdır. Pek çok metalik element de bitkiler üzerinde zehirleyici etkiye sahiptir.

Sulama suyunun bitki kök derinliğine kolaylıkla ulaşması ve bitkileri zehirlemeyecek düzeyde düşük tuzluluğa sahip olması istenir. Sulama suyunda majör katyonlardan sodyumun diğer katyonlara göre bolluğunun daha yüksek olması kil partiküllerinin toprak gözeneklerini tıkamasına neden olur. Bu durum kök zonuna oluşan su miktarını azaltır, toprağın balçıklaşması yoluyla tarımsal araçların hareketinin zorlaşmasına neden olur.

ABD Tuzluluk Laboratuvarı Diyagramı'nda kullanılan $\%Na^{+}$ ve Wilcox Diyagramı'nda kullanılan SAR parametreleri aşağıdaki eşitliklerle hesaplanırlar. Derişim birimi mek/L'dir.

$$\%Na = \left[\frac{Na^{+}}{Na^{+} + K^{+} + Ca^{++} + Mg^{++}} \right] * 100$$

$$SAR = \left[\frac{Na^{+}}{\sqrt{((Ca^{++} + Mg^{++})/2)}} \right]$$

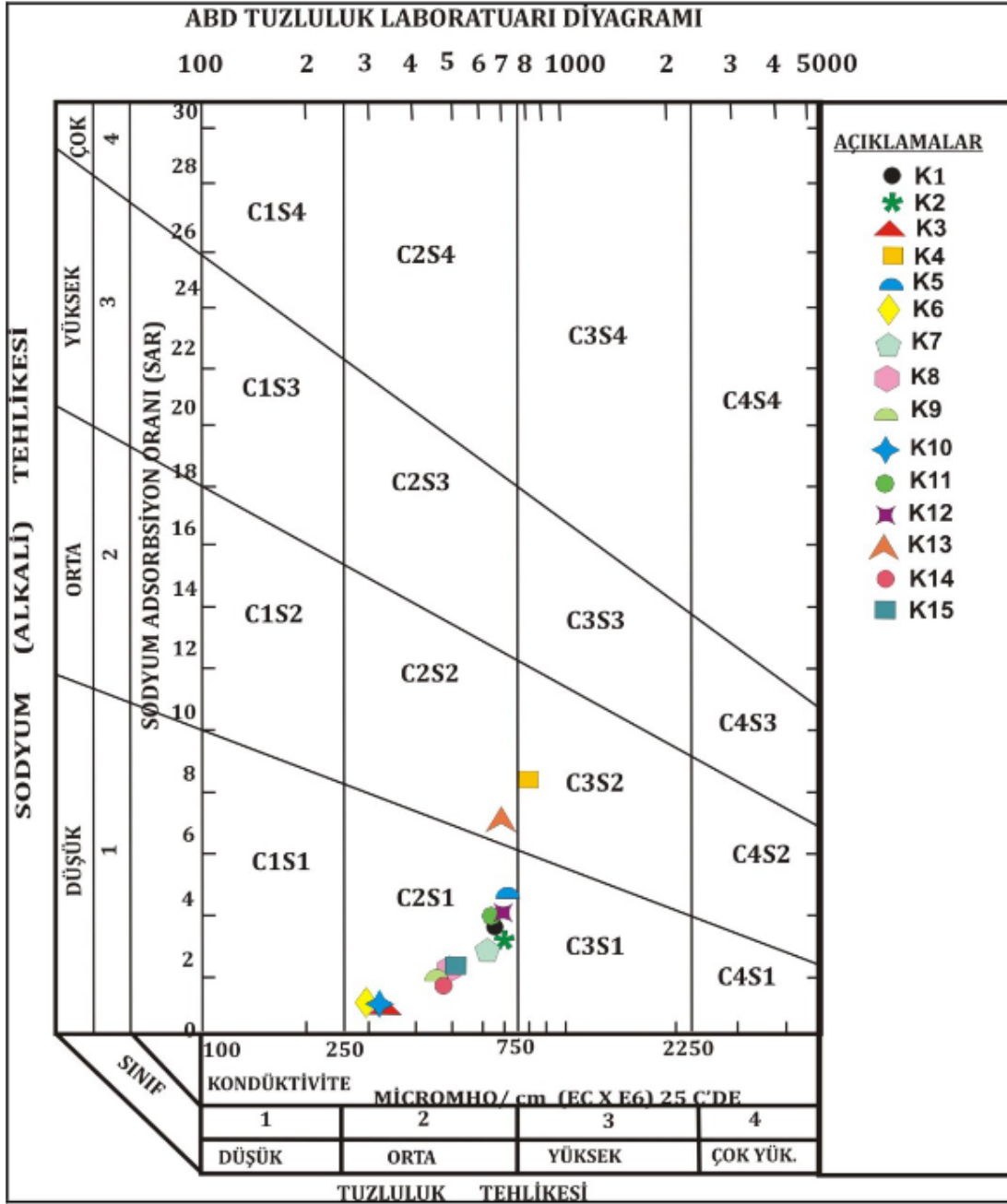
ABD Tuzluluk Laboratuvarı Diyagramında su örneğinin konumu SAR ve ÖEİ değerleri kullanılarak belirlenir. C1S1 (C: conductivity, Tr. ÖEİ: Özgöl elektriksel iletkenlik; S: salinity, Tr. tuzluluk) sulama için en uygun, C4S4 ise en uygun olmayan suyu tanımlar. Genellikle sol alttaki altı bölge içindeki sular (C1S1, C1S2, C1S3, C2S1, C2S2, C2S3) sulamada yaygın biçimde kullanılmaktadır.



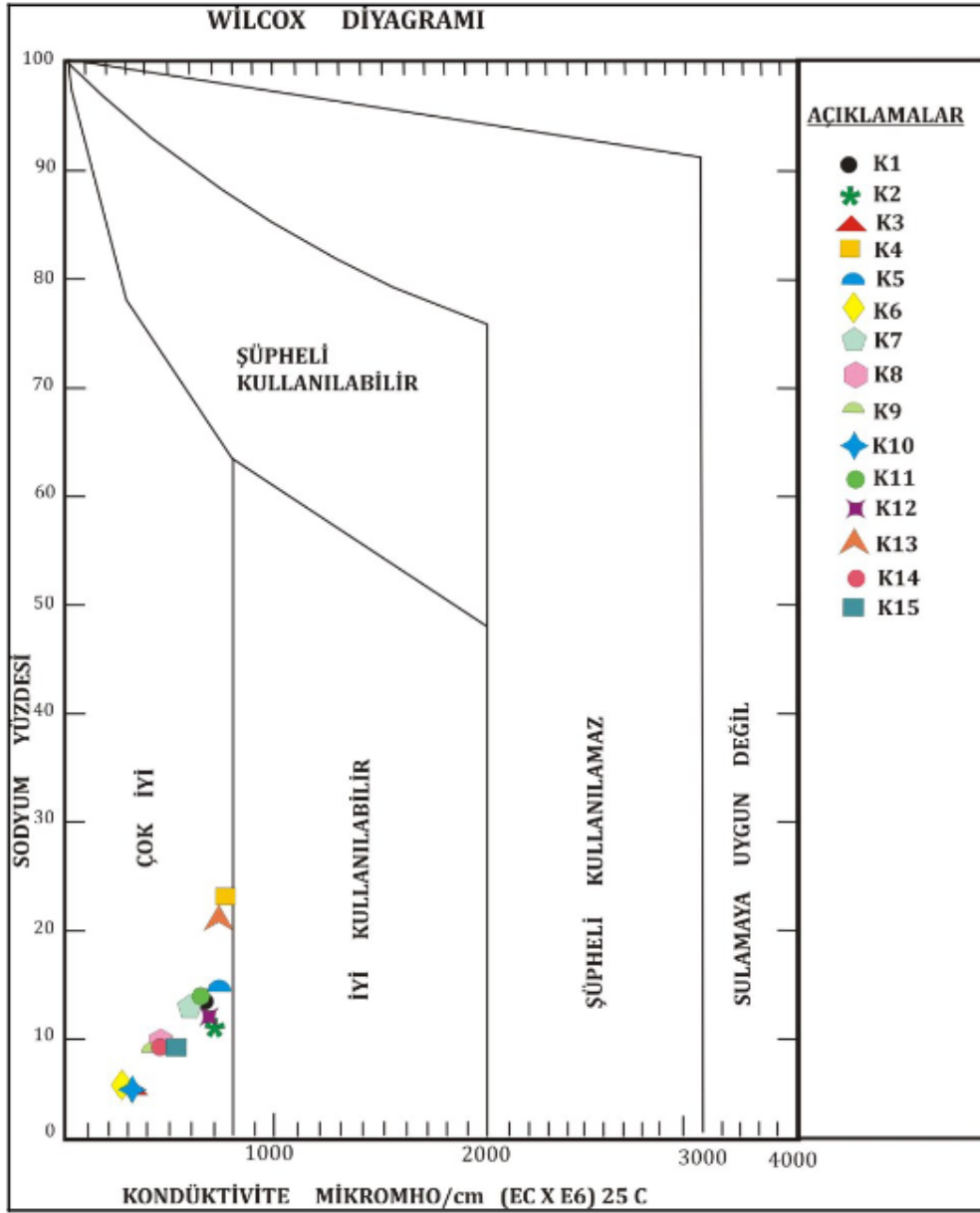
Wilcox Diyagramında ise su örneğinin konumu %Na ve ÖEİ değerleri kullanılarak belirlenir. Sulamaya uygun suların bulundukları sınıflar diyagram üzerinde “Çok İyi”, “İyi Kullanılabilir” ve “Şüpheli Kullanılabilir” şeklinde gösterilmiştir. Birleşmiş Milletlere bağlı bir kurum olan Dünya Tarım Örgütü’nün (İng. Food and Agriculture Organization, FAO) sulama suyu kalitesi kılavuz değerleri aşağıda çizelgede gösterilmiştir. Daha ayrıntılı bilgiler için orijinal belgeye de bakınız (<http://www.fao.org/3/T0234E/T0234E01.htm#note5>).

Çizelge: FAO sulama suyu kalitesi kılavuz değerleri

Potansiyel Sulama Sorunu			Birimler	Kullanım Kısıtlaması Derecesi		
				Yok	Hafif ila Orta	Şiddetli
Tuzluluk (bitki sularının kullanılabilirliğini etkiler)						
	ÖEİ	dS / m		<0.7	0.7 - 3.0	> 3.0
	TÇK	mg / l		<450	450- 2000	> 2000
Sızma (suyun toprağa sızma oranını etkiler. ÖEİ ve SAR'nı birlikte kullanın)						
SAR	= 0-3	ÖEİ dS	=	> 0.7	0.7 - 0.2	<0.2
	= 3-6		=	> 1.2	1.2 - 0.3	<0.3
	= 6-12		=	> 1.9	1.9 - 0.5	<0.5
	= 12-20		=	> 2.9	2.9 - 1.3	<1.3
	= 20-40		=	> 5.0	5.0 - 2.9	<2.9
Spesifik İyon Toksisitesi (hassas bitkileri etkiler)						
	Sodyum (Na)					
	yüzey sulama	SAR		<3	3-9	> 9
	yağmurlama sulama	mek/L		<3	> 3	
	Klorür (Cl)					
	yüzey sulama	mek/L		<4	4-10	> 10
	yağmurlama sulama	mek/L		<3	> 3	
	Bor (B)	mg/L		<0.7	0.7 - 3.0	> 3.0
Çeşitli Etkiler (duyarlı bitkileri etkiler)						
	Azot (NO ₃ - N)	mg/L		<5	5 - 30	> 30
	Bikarbonat (HCO ₃)					
	(sadece üstten yağmurlama)	mek/L		<1.5	1.5 - 8.5	> 8.5
	pH			Normal Aralık 6.5 - 8.4		



Kaynak: Şekerci, M., 2018, Korkuteli (Antalya) Su Kaynaklarının Hidrojeokimyasal Özellikleri Ve Kullanılabilirliğinin Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, Süleyman Demirel Üniversitesi, 91 s.



14 KİRLENME ve KİRLİLİK

Kirlenme (İng. contamination) bir maddenin ilgili ortamda beklenenin üzerinde bulunan ama zararlı olmayan düzeyini tanımlayan bir terimdir. Kirlilik (İng. pollution) ise bir maddenin ilgili ortamda beklenenin üzerinde bulunan ve zararlı olan düzeyini tanımlayan bir terimdir. Her iki süreç de doğal ya da insan kökenli olabilir. Örneğin, yeraltısuyunda 10 mikrogram/L (= içme suyunda izin verilen maksimum derişim) altındaki As derişimi için “arsenik kirlenmesinden” bahsedilmesi gerekirken, bu değerin aşılması durumunda “arsenik kirliliğinden” bahsedilmesi gerekir.



15 KOİ ve BOİ

Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ, İng. Chemical oxygen demand, COD) ve Biyolojik Oksijen talebi (BOİ, İng. Biological oxygen demand, BOD), suların kirlenme nedeninin ve düzeyinin ölçümünde kullanılan gösterge parametrelerdir. Her iki parametre de suyun oksijen tüketme eğilimini gösterir. BOİ, aerobik (oksijen soluyan) organizmaların organik maddeyi ayrıştırmak için ihtiyaç duydukları oksijen miktarını ölçer. KOİ ise suda bulunan organik ve inorganik bileşenleri kimyasal reaksiyonla ayrıştırmak için gerekli oksijen miktarını ölçer. Bu nedenle, KOİ'nin değeri her zaman BOİ değerinden büyüktür. BOİ ve KOİ değerlendirilirken, aşağıdaki çizelgede gösterildiği gibi sayısal değerden çok sayısal büyüklük dikkate alınır.

Çizelge: BOİ ve KOİ içeriğine göre kirlenme düzeyi

Kirlenme Düzeyi	BOİ (mg/L)	KOİ (mg/L)
Düşük	<200	<400
Orta	350	700
Yüksek	500	1000
Çok yüksek	> 750	> 1500

Çizelge: BOİ ve KOİ arasındaki temel farklar.

BOİ	KOİ
BOİ biyolojik bir oksidasyon işlemidir	KOİ kimyasal bir oksidasyon işlemidir
BOİ aerobik organizmalar tarafından gerçekleştirilir	KOİ kimyasal reaktifler ile gerçekleştirilir
BOİ ölçümü 5 gün sürer.	KOİ birkaç gün içinde ölçülebilir.
BOİ sudaki doğal organik maddeyi ve organik atığı oksitlemek için kullanılır	KOİ, endüstriyel kanalizasyonun bozulmasına neden olabilir. KOİ, su örneğinde bulunan asetatların tükettiği oksijen miktarını ölçmez

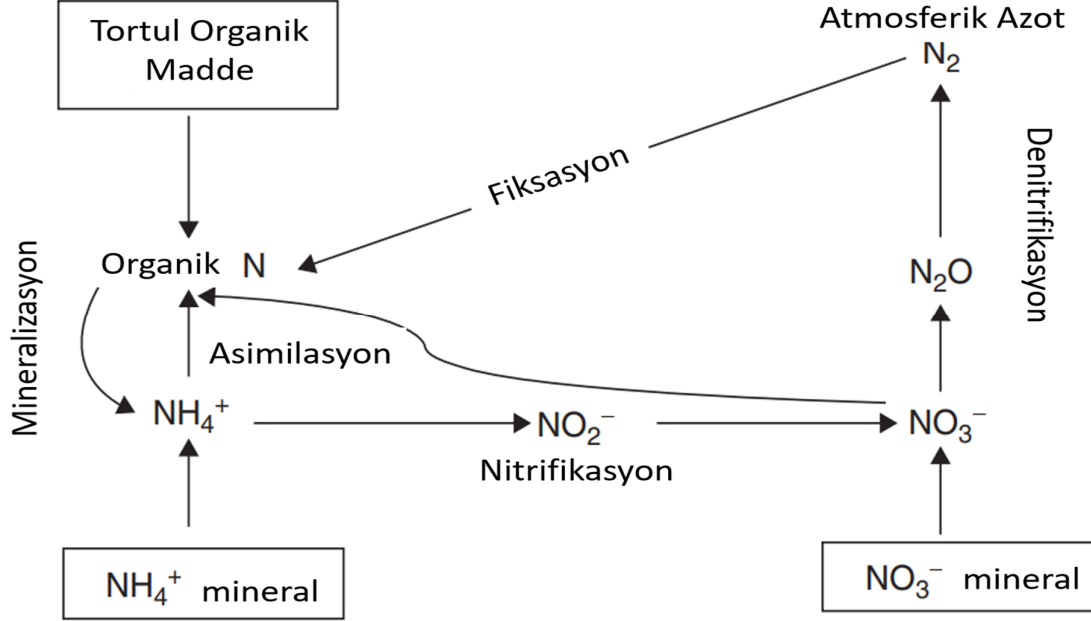
16 SULARDA NİTRAT KİRLİLİĞİ

Nitrat (NO_3^-), dünya genelinde yeraltısuyunu kirleten en yaygın ve kaygı verici kirlenici maddelerden birisidir. Azot döngüsünün ayrılmaz bir parçası olan nitrat atmosferik fiksasyon ve yıldırım fırtınaları gibi doğal ya da gübre uygulamaları, septik tanklardan sızma (= dışkı çukurları), hayvan dışkıları ve endüstriyel faaliyetler (boya ve metal işleme endüstrisi atıkları), patlayıcı madde kullanımı, orman kesimi gibi antropojenik yollardan hidrosfere kolayca girmektedir. Nitrat içeren mineraller (örğ. tobelite $(\text{NH}_4, \text{K})\text{Al}_2(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_{10}(\text{OH})_2$, niter (KNO_3) ve nitratin (NaNO_3)) doğada yaygın olarak bulunmazlar.

Yutulması insanlarda ve bir ölçüde hayvanlar üzerinde methemoglobinemia, kanser ve diyabet vb gibi çeşitli sağlık risklerine neden olur. İçme suyunda izin verilen maksimum nitrat derişimi 45 mg/L (EPA, BIS) veya 50 mg/L (WHO, TS266) düzeyindedir.



Yerkürede yılda yaklaşık 260 milyon ton atmosferik azot diğer azot bileşiklerine dönüşür.



İnsanlarda nitrat asimilasyonu içme suyu ve yiyecek ile gerçekleşir ve nitrat ağız boşluğunda nitrite indirgendiğinde toksik hale gelir. Tüm sağlık etkileri açısından en büyük tehdit “methemoglobinemia”dır. Bu olgu “mavi bebek sendromu” olarak da bilinir, özellikle “biberonla beslenen yenidoğanlarda gözlenir.

Kanda dokulara oksijen taşıyan unsur hemoglobine (Hb) bağlı Fe^{2+} 'dir. Nitrattan itibaren oluşan nitritler Fe^{2+} 'den bir elektron alarak NO 'e (nitrik oksit) indirger, Fe^{2+} 'yi Fe^{3+} 'e yükseltirler. Fe^{3+} bağlı hemoglobine methoglobine (MetHb) denir. Kandaki O_2 Fe^{2+} 'ye bağlanırken, Fe^{3+} 'e bağlanamaz. Bu yüzden Hb dokulara oksijen taşıyabilir iken, MetHb dokulara O_2 taşıyamaz. Bu durum, yetersiz O_2 içeriğinden dolayı siyanoza (kanın renginin koyulaşması, kahverengine dönmesine), tırnakların çomaklaşmasına, kanın yetersiz O_2 içeriğinden dolayı tırnaklarda ve dilde mavi renkli görünüme neden olur.

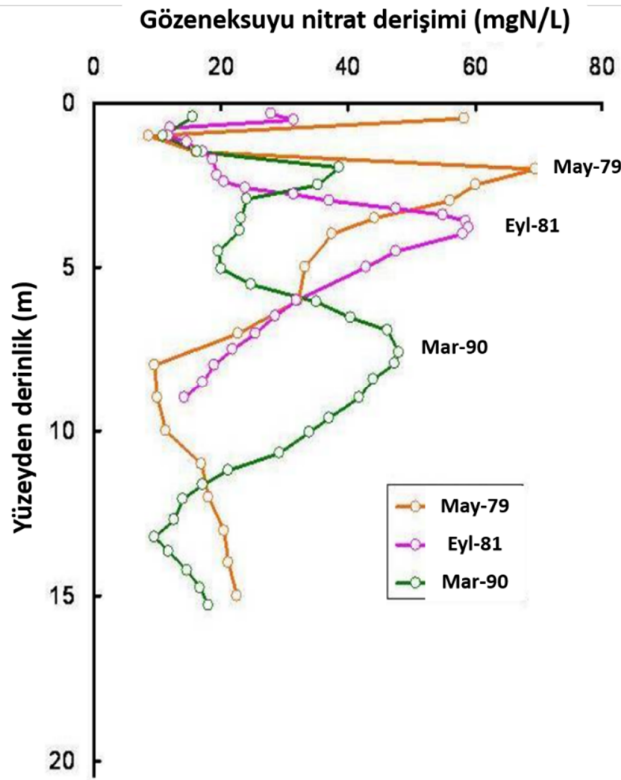
Bunun dışında nitrat, nitrozaminlerin oluşumunda bir öncüdür. Nitrozaminler $R_2N - N = O$ kimyasal formuna sahip organik moleküllerdir. Formülde R genellikle C_nH_{2n+1} formundaki alkil grubu bir organik moleküldür. Nitrozaminlerin çoğu kanserojendir. Nitrozaminlerin sigara içmek yoluyla, işlenmiş et ürünlerindeki nitrit ve nitratların sindirim sırasında nitrozamine dönüşmesiyle ya da nitratça zengin sebzelerin (örğ. ıspanak) tekrar ısıtılmasıyla oluşan nitritin midede aminlerle etkileşimi sonucunda vücuda girebildikleri bilinmektedir. Uluslararası Kanser Araştırmaları Ajansı (IARC) nitratı 2A sınıfı olası bir kanserojen olarak tanımlamıştır.

Ayrıca, nitrat bir guatrojenik (guatr hastalığına neden olan) bir maddedir 250 ila 500 mg / L gibi yüksek nitrat dozunun tiroid bezinde histomorfolojik değişikliklere neden olduğu yönünde



kanıtlar gözlenmiştir. Öte yandan, bazı araştırmalarda 100 ila 200 mg / L düzeyindeki nitratın besi hayvanlarında iştah kaybına neden olduğu, bazı somon balığı türlerinde yumurta ve yavru ölümü gibi sorunlara neden olduğu izlenmiştir.

Yeraltısuyu ve yeraltısuyunca beslenen akarsularda nitrat kirliliği ilk kez İngiltere’de önemli bir sorun olarak fark edilmiştir. Besi çiftliklerinde sıvı ve katı hayvan dışkılarından oluşan karışımın (= sıvı gübre, İng. Manure) gübre olarak kullanılması kirliliğin başlıca nedenidir. Doygun olmayan bölgede gözenek suyunda farklı zamanlarda ölçülen nitrat derişimleri, kirletici pik derişiminin akifere doğru ilerlediğini göstermektedir. Bu durum “nitrat saatli bombası” (İng. Nitrate time bomb) olarak adlandırılmakta, gelecekte yeraltısularında nitrat derişiminin yükseleceğini göstermektedir.



Şekil: Sıvı gübre kullanımından kaynaklanan ve yüksek düzeyde nitrat içeren gözenek suyunun dikey yöndeki hareketi. Dispersiyondan dolayı nitrat pik derişimi azalmakta ama toplam nitrat kütlesi değişmemektedir.

Avrupa Birliği Konseyi (İng. European Council) 1991 yılında yayınladığı bir talimatla (İng. Directive) (91/676/EEC) üye ve üye aday ülkelerden sularını tarımsal kaynaklı nitrat kirliliğinden korumaları için önlem almalarını istemiştir. Türkiye’de de bu talimat doğrultusunda yasal ve idari mevzuatta düzenlemeler yapılmış (örg. Tarımsal Kaynaklı Nitrat Kirliliğine Karşı Suların Korunması Yönetmeliği), eylem planları ve izleme programları oluşturulmasına başlanmıştır.



Daha fazla bilgi için: Shukla S., Saxena A. (2018) Global Status of Nitrate Contamination in Groundwater: Its Occurrence, Health Impacts, and Mitigation Measures. In: Hussain C. (eds) Handbook of Environmental Materials Management. Springer, Cham, 1-12.

17 ALG PATLAMASI

Alg patlaması (İng. algal bloom), tatlı veya tuzlu su sistemlerinde alglerin miktarındaki hızlı artışı tanımlayan bir terimdir. Alg patlamaları çoğu zaman etkiledikleri su kütleindeki renk değişikliği (kızıl, kahverengi, yeşil vb) ile belirlenir. Alg terimi, makroskopik su yosunları, çok hücreli organizmalar veya siyanobakteriler (= mavi-yeşil algler) gibi mikroskobik, tek hücreli organizmalar gibi pek çok suda yaşayan fotosentetik organizmayı kapsamaktadır. Buna karşın, birlikte alg patlaması terimi mikroskobik, tek hücreli alglerin hızlı üremesi için kullanılır.

Alg patlamalarının nedeni sudaki azot veya fosfor türevi besin tuzları (örğ. NO_2^- , NO_3^- , PO_4^{3-}) derişimindeki ani artıştır. Bu artış genellikle bu besin tuzlarını içeren yüzey ve yeraltısularının sellenme ya da yoğun yağışlar sonrası patlamanın oluştuğu su kütlelerine aniden katılımı sonrasında ortaya çıkar. Şiddetli bahar yağışlarının tarlalardaki gübreleri yıkayarak taşınması bu sürecin tipik örneklerden birisidir. Alg patlamalarına neden olan algler fotosentez yapan mikroskobik bitkilerdir. Bunlar fotosentezde su çözünmüş oksijeni kullandıklarından alg popülasyonundaki ani artış çözünmüş oksijen düzeyini aniden azaltarak balık gibi makro sucul canlıların ihtiyaç duyduğu seviyenin altına çekerek, bunların topluca ölmelerine neden olur. Yengeç, istiridye ve solucan gibi dip canlıları 1-6 mg/L düzeyindeki çözünmüş oksijen ile yetinebilirken, sıg su balıkları 4-15 mg/L aralığında çözünmüş oksijene gereksinim duymaktadır. Makro sucul canlı ölümlerinin bir diğer nedeni alglerin salgıladıkları zehirli bileşiklerdir (İng. algal toxin). Bu bileşikler insanlar için de aşırı zehirleyicidir. Bu gibi sularla temas edilmesi bile ciddi sağlık sorunlarına neden olabilir.

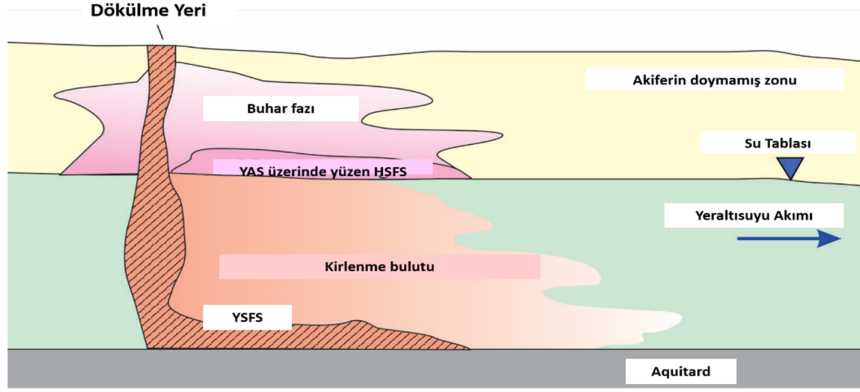
18 SUSUZ FAZ SIVISI (SFS) KİRLLENMESİ

Susuz Faz Sıvıları (SFS, İng. Non-aqueous Phase Liquids, NAPL), doğal olmayan, insan kökenli (= antropojenik) kuru temizleme kimyasalları, akaryakıt ve benzin gibi suda çözünmeyen tehlikeli organik sıvılardır. Oldukça ciddi çevre ve sağlık sorunlarına neden olur. Bir kez toprağa ya da suya bulaştıklarında temizlenmeleri son derece güç hatta olanaksızdır. SFS kirliliğinin doğal yollarla (örğ. biyolojik bozunma) temizlenmesi on binlerce yıl sürebilir. Suyu göre daha Yoğun Susuz Faz Sıvıları (YSFS, İng. Dense NAPL) ve daha Hafif Susuz Faz Sıvıları (HSFS, İng. Light NAPL) şeklinde iki gruba ayrılırlar. Her ikisi de suda çözünmez ve su ile karışmaz.

YSFS döküldüğünde yere sızar, su tablasının altına iner, yeraltısuyu içinden geçerek geçirimsiz bir jeolojik birime ulaştığında durur. Yer yüzeyinin çok altına inebildikleri için kontaminasyon alanlarını bulmak zordur. Kuru temizlemede kullanılan klorlu çözücüler, kömür katranı, kreozot, PCB'ler, ekstra ağır ham petrol başlıca YSFS örnekleridir.



HSFS, döküldüğünde yere sızar, ancak su tablasının üstünde kalır. Benzin, benzen, tolüen, Ksilen ve diğer hidrokarbonlar başlıca HSFS örnekleridir.



19 SULARDA ARSENİK KİRLİLİĞİ

Arsenik doğada az miktarda bulunan metal benzeri bir elementtir. Yüksek derişimde aniden yutulması zehirlenme yoluyla ölümü, düşük dozlarda sürekli tüketilmesi kansere varan sağlık sorunlarına neden olur. Yeraltısuyunda arsenik, tehlikeli atıkların veya arsenik üreten/kullanan endüstrilerin neden olduğu kirlenmenin bir sonucu olabilir.

Arsenik, ahşap koruyucu olarak, pestisitlerde ve özel cam türlerinde kullanılmaktadır. Öte yandan, özellikle volkano tortul kayalarda ve sülfidik cevher (özellikle bakır, çinko, altın, kalay) yataklarında bulunan minerallerin çözünmesi ya da bu cevherlerin zenginleştirilmesi ve işlenmesi sürecindeki kaçaklar yoluyla da yeraltısuyuna geçebilir. Arsenik yeraltısuyunda Arsenik asid (H_3AsO_4) veya, arsenöz asid (H_3AsO_3) and bunların türevleri şeklinde bulunur. Yeraltısuyunda alansal olarak yaygın arsenik kirliliği durumlarının çoğu arsenik içeren minerallerin çözünmesi kaynaklıdır. Bunların başında pek çok durumda pirit (FeS_2) ile birlikte bulunan arsenopirit ($FeAsS$) gelir. Dünya genelinde jeotermal aktivitenin yoğun, volkanik ve plütonik kayalar ile sülfürlü cevherleşmelerin yoğun olduğu bölgelerde yeraltısuyunun arsenik içeriğinin yüksek olduğu izlenmektedir. Türkiye’de de, sülfidik cevher zonları ile volkano-tortul kayaların egemen olduğu bölgelerde yeraltısuyu arsenik derişiminin yüksek olduğu gözlenmektedir.

Arsenopiritin yeraltısuyundan çözünmüş oksijen ile bakterilerce hızlandırılan oksidasyonu yeraltısuyuna arsenik geçişini sağlayan başlıca redoks sürecidir. Genellikle yeraltısuyu geçiş süresi ile çözünmüş arsenik derişimi arasında doğrusal bir ilişki vardır.

Çoğu insan için en yaygın arsenik kaynağı yediğimiz besindir. Sebzeler, balıklar ve deniz ürünleri de dahil olmak üzere çoğu gıda bir miktar arsenik içerir. Arsenik içeren suyu içerek veya bu suda pişirilen yiyecekleri yiyerek de vücuda arsenik girebilir. Arsenik havaya buharlaşmaz ve cilt yoluyla kolayca emilmez. Arsenik kokusuz ve tatsızdır. Suda arsenik derişimi ancak hassas analizlerle belirlenebilir. Güncel bir çalışmaya göre dünya genelinde



70'ten fazla ülkede, yaklaşık 140 milyon kişinin içme suyu kaynaklı arsenik zehirlenmesinden etkilendiğini göstermiştir.

Arsenikğin sağlık üzerindeki etkileri vücuda giren arsenik tipi ve miktarına, ne kadar süredir arseniğe maruz kaldığını ve vücudun arseniklere nasıl tepki verdiğine bağlıdır. Doğmamış bebekler, küçük çocuklar, uzun süreli hastalığı olan insanlar ve yaşlılar arsenik maruziyeti nedeniyle en büyük risk altında bulunanlardır. Uzun sürelik arsenik maruziyeti cilt ve karaciğer gibi organlara, kalp-damar, sindirim, sinir, böbrek ve solunum ile üreme sistemlerine zarar verebilir. Arsenik günümüzde kanserojen olarak kabul edilmektedir.

Araştırmalar, yüksek seviyelerde arsenik içeren içme suyunun a) cildin kalınlaşması ve renk değişikliği neden olduğunu (bu değişikliklerin cilt kanserine neden olabildiğini), b) mide ağrısı, bulantı, kusma ve ishal gibi sindirim sorunlarına neden olduğunu, c) el ve ayaklarda uyuşmaya neden olduğunu göstermiştir. Pek çok ülkede içme suyunda arsenik limiti 10 mikrogram/L olarak belirlenmiştir.

Daha fazla bilgi için: Arsenic in Groundwater: A Summary of Sources and the Biogeochemical and Hydrogeologic Factors Affecting Arsenic Occurrence and Mobility By Julia L. Barringer and Pamela A. Reilly Submitted: June 12th 2012Reviewed: December 3rd 2012Published: February 27th 2013, DOI: 10.5772/55354

20 SULARDA PESTİSİT KİRLİLİĞİ

Pestisit terimi, herbisit, insektisit, termitisit, nematisid, mollusisit, pisisit, avisit, rodentisit, bakterisit, fungusit vb pek çok tarım zararlısı canlı ile mücadele amaçlı kimyasalların ortak adıdır. Bunlardan en yaygın olanı, tüm pestisit kullanımının yaklaşık % 80'ini oluşturan herbisitlerdir (zararlı ot öldürücü). Küresel olarak, her yıl, başta tarım olmak üzere, tahmini 1 ila 2,5 milyon ton aktif böcek ilacı bileşeni (insektisid) kullanılmaktadır. Dünyada ilk kullanılan pestisitler kükürt ve arseniktir. Bunu takiben 1943 yılında piyasaya sunulan DDT başlangıçta bir kimyasal devrim olarak kabul edilmiş, ancak 1960'lı yıllarda yapılan araştırmalarda kanserojen olduğunun kanıtlanması ile kullanımı 1980'li yılların sonlarına doğru tüm ülkeler kullanımını yasaklamışlardır.

Pestisitler kişilerde akut ve gecikmiş sağlık sorunlarına neden olabilir. Bu sorunlar cildin ve gözlerin basit tahrişinden sinir sistemini etkileme, üreme problemlerine neden olan hormonları taklit etme ve kansere neden olma gibi daha ciddi etkiler kapsamaktadır.

"Hodgkin dışı lenfoma (lenf sistemi kanseri) ve lösemnin (kan kanseri) pestisit maruziyeti ile ilişkili olduğu kanıtlanmıştır. Nörolojik hasarlar, doğum kusurları ve fetüs ölümü de pestisitlerin diğer olumsuz etkileri arasında yer almaktadır.

Püskürtülen insektisitlerin sadece % 2'si ve herbisitlerin sadece % 95'i hedefe ulaşmakta, kalan kısım hava, su ve toprak gibi hedeflenmeyen ortamlara karışmaktadır.



Pestisit parçalanması, bir pestisidin uygulandığı bölgeyle çevresel olarak uyumlu iyi huylu bir maddeye dönüştürülme işlemidir.

Prensip olarak, pestisitlerin kullanımına çevrede amaçlanan kullanım sürelerinin çok ötesinde kalmadıkları kanıtlandıktan sonra izin verilmektedir. Buna karşın bu testlerin gerçekleştirildiği koşullar doğada karşılaşılabilecek koşulların yalnızca bir bölümünü oluşturmaktadır. Pestisidlerin toprak yarı ömürleri günler ile haftalar mertebesinde. Bununla birlikte, pestisit kalıntıları, ng / litre ile µg / litre derişimlerinde hemen her ortamda bulunabilmektedir. Örneğin, sanayileşmiş ülkelerdeki yeraltısuyu ve arıtılmamış içme suyu üzerinde yapılan ölçümlerde pestisitler için kabul edilen maksimum içme suyu derişiminin (örğ. 0,01 µg / dL) üzerinde derişimlerde pek çok pestisid ölçüldüğü bilinmektedir. Bu maddelerin yaklaşık yarısı artık kullanılmamakta olup, % 10 ila % 20 kadarı da pestisitlerin duraylı bozunma ürünleridir. Pestisitlerin bozunması hem biyotik hem de abiyotik bozunma süreçlerini içermekte olup, biyotik dönüşümlere mikroorganizmalar aracılık etmekte, abiyotik dönüşümler ise kimyasal ve fotokimyasal reaksiyonlarla gerçekleşmektedir. Bir pestisitinin nasıl bozunacağı kimyasal yapısının yanısıra içinde bulunduğu çevre koşullarınca belirlenmektedir. Pestisitler yeraltısuyunda onlarca yıldır kalabilmektedir ve pestisidlerin . yeraltısuyundaki biyolojik bozunumu konusunda bilgi birikimi de oldukça sınırlıdır.

Pestisidlerin bozunması olumsuz etkileri azaltsa da bozunma sonucu oluşan ürünler de sorunlu olabilmektedir. Örneğin pestisit ile bozunma ürünlerinin karışımı pestisitten daha güçlü etkiye sahip olabilmektedir. Bazı bozunma ürünlerinin yeraltısuyu ve yüzey suları gibi içme suyu kaynaklarına ulaşma potansiyellerini daha yüksektir. Ayrıca, içme suyu kaynaklarındaki bozunma ürünleri, ozon ile su arıtımı sırasında N-nitroso-dimetilamin gibi kanserojen bileşiklerin oluşumuna neden olabilmektedir.

21 SULARDA SİYANÜR KİRLİLİĞİ

Siyanür (CN^-), sıvı, gaz ve katı formlarda bulunabilen oldukça hızlı bir biçimde kişilere etkiyen ölümcül bir kimyasaldır. Siyanür, hidrojen siyanür (HCN) veya siyanojen klorür ($CNCl$) gibi rensiz bir gaz veya sodyum siyanür ($NaCN$) veya potasyum siyanür (KCN) gibi katı bir formda bulunabilir. Siyanür bazen “acı badem” kokusuna sahiptir ancak her zaman bir kokuyu vermez ve herkes de bu kokuyu algılayamaz.

Siyanür lima fasulyesi ve badem gibi bazı bitkilerde doğal olarak bulunur. Kayısı, elma ve şeftali gibi meyve çekirdeklerinde siyanüre dönüşen önemli miktarlarda kimyasal bulunabilir. Siyanür, sigara dumanında ve plastik gibi sentetik malzemelerin yanma ürünlerinde bulunur. Siyanür; kağıt, tekstil ve plastik yapımında kullanılır. Siyanür tuzları elektrokaplama, metal temizleme ve altının cevherinden ayrılması için de kullanılmaktadır. Siyanür gazı (HCN), ulaşılması güç mekanlardaki zararlıları ve haşereleri yok etmek için de kullanılmaktadır.

Siyanür vücuda solunan havadan, içme suyundan, yemekten ya da temas edilen siyanürlü topraktan geçebilir. Sigara içmek muhtemelen siyanürle ilgili endüstrilerde çalışmayan insanlar için siyanür maruziyetinin en önemli kaynaklarından biridir.



Siyanürün neden olduğu zehirlenmenin derecesi, kişinin maruz kaldığı siyanür miktarına, maruz kalma yoluna ve maruz kalma süresine bağlıdır.

Siyanür gazını solumak en çok zarara neden olur, ancak siyanür yutmak da zehirleyici olabilir. Siyanür, vücut hücrelerinin oksijen kullanmasını önleyerek hücrelerin ölmesine neden olur. Kalp ve beyin çok fazla oksijen kullandığından siyanür bu organlara daha fazla zarar verir. Siyanür zehirlenmesi vücutta kalıcı hasar bırakabilir.

21.1 Siyanür ve Altın Madenciliği

Basında sıklıkla “siyanürle altın aranması”nın sakıncalarından bahsedilen yayınlarla karşılaşmaktadır. Bu ifade yanlıştır, siyanürle altın aranmaz. Siyanür, altın içeren cevher kayaların içindeki altının çözeltiye alınması için kullanılır. Daha sonra altın çözeltiden alınır ve çözelti tekrar aynı amaçla kullanılır.

Altın cevheri epitermal damar çökelleri, breş bacaları, saçılmış (İng. disseminated) cevherleşme, alüvyon ve plaj plaserleri gibi pek çok biçim ve ortamda bulunabilir. Bu yataklarından bazılarında altın gözle görülebilecek kadar iri iken diğerlerinde gözle görülemeyecek kadar küçük ve saçılmış durumdadır. Bu altının elde edilmesi için cevher kayası öğütülür ve içindeki altın çeşitli yöntemlerle ayrıştırılır. Bu yöntemlerde birisi yığın liçi (İng. Heap leaching) yöntemidir. Türkiye’deki altın üretiminin önemli bir bölümünde bu yöntem kullanılmaktadır.

Yığın liçi yönteminde cevher öğütülerek belirli bir tane boyuna getirilerek özel olarak yalıtılmış bir alana yığılır. Cevher yığını üzerine siyanür çözeltisi genellikle damla sulamaya benzer bir yöntemle uygulanır. Yığın alanının tabanı bir noktaya eğimli bir çukurdur. Yığın içinden geçen altın içeren çözelti bu noktada toplanır, kimyasal işlemden geçirilerek altın alındıktan sonra çözelti tekrar kullanılır.

Bu işlemde kullanılan “yığın liçi” ve siyanür çözeltisi havuzları doğal zemin üzerinde inşa edilmektedirler. Siyanür çözeltisinin “üretim sistemi” dışına sızması hem çevre kirliliği, hem de işletme maliyeti açısından istenmeyen bir durumdur. Bu amaçla doğal zemin üzerinde öncelikle 0.5 kalınlığında kil tabakası kaplanır. İmalat sırasında önce doğal zemin yüzeyi sağlam kayaya ulaşacak biçimde sıyırılmakta, yüzeylere çözeltilerin belirli bir bölgeye yöneleceği eğim verilmektedir. Daha sonra sıyırılmış doğal zemin üzeri 0.5 m kalınlığında kil tabakası ile kaplanmaktadır. Kilin hidrolik iletkenliği (K) 10^{-9} m/s ile 10^{-11} m/s arasındadır. Bu değerler kilin yeraltısuyu üretiminde kullanılan jeolojik birimlerden yüz ilâ on bin kat daha düşük yeraltısuyu iletme kabiliyetine sahip olduğunu göstermektedir. Siyanür çözeltisinin kil tabakasına ulaşmasını engellemek için bu tabaka üzerine Jeomembran olarak adlandırılan bir “sentetik geçirimsiz örtü” serilir. Basitçe ifade edildiğinde bu örtü 2 mm kalınlığında, belirli en ve boya sahip rulo halinde üretilen –halk arasında plastik olarak bilinen- bir sentetik malzemedir. Yığın liçi alanının zemini jeomembran ruloları ile kaplanır, ruloların birbiri ile örtüşen kısımları eritilerek birbirine kaynatılır. Yapışma işleminin başarısı yapışan yanaklar arasında bulunan hava kanalına uygulanan basıncın zamanda sabit kalması dikkate alınarak



belirlenir. Jeomembranın hidrolik iletkenliği en geçirimsiz kaya, yani 10^{-13} m/s m/s düzeyindedir. Bu değere göre jeomembran, yeraltısuyu üretimine uygun jeolojik birimlerden bir milyon ilâ yüz milyar kat daha geçirimsizdir. Yığın liçi işleminde kullanılan siyanür çözeltisi de benzer biçimde yalıtılmış siyanür havuzunda depolanmaktadır. Uygulama benzer biçimde imal edilmiş boş bir havuz olası bir taşkın durumunda siyanür çözeltisinin çevreye salınmasını engellemek için kullanılır.

Altın üretimi bittiğinde yığın liçi siyanürden arındırılıncaya kadar defalarca siyanürsüz su ile yıkanır. Daha sonra üzeri yalıtıcı bir örtü ile kapatılır, örtü üzerine de toprak serilerek bitkilendirme yapılır. Siyanür havuzu da boşaltılır, yıkanır ve jeomembran kendi üzerine katlanarak paketlenir ve üzeri yığın liçine uygulanan biçimde yalıtılır.

Altın işleme tesislerin de alınan önlemlerin yeterliliği ve/veya yüzey-yeraltısuyunu kirlетip kirlетmediklerinin hidrojeokimyasal gözlemlerle izlenir. İzleme faaliyetleri öncelikle doğal fon (background) koşullarındaki fiziksel ve kimyasal özelliklerin belirlenmesi için işletme faaliyetlerinden en az iki yıl önce başlar, işletmenin tamamlanmasından sonra -duruma göre-onlarca yıl sürdürülür. Olası bir sızıntının yeraltısuyu sistemi üzerinde yer ve zaman içinde oluşturacağı etkilerin öngörülmesi için sayısal yeraltısuyu akım ve taşınım modelleri kullanılarak çeşitli senaryoların sonuçları değerlendirilir.

Alınan önlemlerin başarısı kurallara uygun imalat ve işletme faaliyetlerine bağlıdır. Deprem ve sellenme gibi afetlerin etkilerine karşı yeterli önlemler alınmış olmalıdır.

Siyanür altın madenciliğinde 1887 yılından beri kullanılmaktadır ve alınan tüm önlemlere rağmen siyanür çözeltisi kaçakları olabilmekte, bu süreçler doğaya ve insanlara zarar verebilmektedir. Maden sahalarında siyanür kullanımına ilişkin 2011 tarihli bir değerlendirmeye göre son 25 yılda dünya çapında siyanür ile ilgili 30'dan fazla büyük kaza meydana gelmiştir. Bu nedenle altın madenciliğinde siyanür kullanımı pek çok ülkede endişe ile karşılanmaktadır. Bazı ülkelerde bu amaçla siyanür kullanımı yasaklanmış olup, bazı durumlarda siyanür yerine zehirli olmayan tiyosülfatın kullanılması tercih edilmektedir.

Altının elde edilme yönteminden bağımsız pek çok altın ve sülfidik cevher madenciliğinde ayrıca asit maden/kaya drenajı sorunları da oluşabilmektedir. Bu sorunların öngörülmesi, izlenmesi ve çözümüne yönelik eylemlerin tasarlanması ve uygulaması kapsamlı hidrojeokimyasal çalışmaların gerçekleştirilmesini zorunlu kılmaktadır.

22 İÇMECELER, ILICALAR ve KAPLICALARDA RİSKLER

Kokusu ve tadı farklı sular ile doğal sıcak suların insan sağlığına faydalı olduğuna dair tarih boyunca gelişen hemen her ülkede yaygın bir inanış vardır. Bilimsel temeli olmayan bu inanışlara göre sıra dışı tadı/kokusu olan bazı suları içmek, doğal sıcak sular ile banyo yapmak bazı hastalıklara iyi gelmektedir. Türkçe’de bu amaçla içilen doğal kaynak sularına “içmece”, üstü açık sıcak su banyolarına “ılıca”, üstü kapalı sıcak su banyolarına ise -kapalı ılıca anlamında- “kaplıca” denilmektedir.



Çok sayıda araştırma sonucu içmecelerin şifalı olduğu inancını oluşturan farklı tadın bu suların normalin üstündeki (ve içme suyu standardı değerlerini aşan) ağır metal içeriğinden kaynaklandığını göstermiştir. Aşırı derecede asidik (örğ. pH < 1.5) suların şifa verir düşüncesi ile katarakt hastalarının gözlerine damlatıldıkları gözlenmiştir. Eğitim düzeyinin sınırlı olduğu toplumlarda bu gibi uygulamaların fayda getirmediği tersine zarar verici olduğuna kişileri inandırmak maalesef oldukça güçtür.

Ilıca ve kaplıcalardaki başlıca riskler ise suyun içerdiği çözünmüş gazlardan kaynaklanmaktadır. Banyo alanlarının mevzuatta belirlendiği gibi kullanılmaması durumunda aşırı karbon-dioksit gazı solunumuna bağlı boğulma vakaları ile karşılaşılabilir. Kaplıcalarda karşılaşılan sinsi bir diğer tehlike kaynağı Radon ($^{222}_{86}\text{Rn}$) gazıdır. Renksiz, kokusuz ve tatsız bir gaz olan radon-222 gazı 3.8 günlük yarı ömrü ile oldukça aktif bir radyonüklittir. Havadan ağır olduğu için durgun ortamlarda zeminde yoğunlaşır. Yerkabuğundaki radyoaktif elementlerin bozunmasından kaynaklanan bu gaz bazı yörelerde oldukça yüksek aktiviteye sahiptir. ABD’nde yer kabuğundan radon akısının yüksek olduğu bölgelerdeki evlerin satılabilmesi için kabuktan konuta ulaşan radon akısının belirlenen sınır değerlerin altında olması gerekmektedir.

İçmece, ılıca ve kaplıcaların tıbbi amaçlı kullanımı mutlaka bir hekimin gözetiminde gerçekleştirilmelidir. Bu konu “Tıbbi Ekoloji ve Hidroklimatoloji” tıp disiplini ile ilgilidir.

23 JEOTERMAL AKIŞKAN KÖKENLİ KİRLENME

Jeotermal akışkan çoğunlukla ısısından, kısmen de karbon-dioksit içeriğinden yararlanılması amacıyla gittikçe artan bir yoğunlukta kullanılmaktadır. Genellikle çevre dostu olarak kabul edilen ve önemli miktarda kirlenmeye neden olmadığı öne sürülen jeotermal enerji kullanımı hatalı uygulamalar ya da uygun jeolojik koşullarda önemli bir kirlilik kaynağı olabilmektedir (Örg. <https://doi.org/10.1016/j.jconhyd.2008.08.006>).

Örneğin, İzmir, Balçova Jeotermal Sahasında gerçekleştirilen bir araştırmada sıcak jeotermal suyun doğal ve antropojenik nedenlerden dolayı soğuk-sığ alüvyon akifere karışarak kirlenmeye neden olduğu belirlenmiştir. Kirlenmenin başlıca nedenleri i) jeotermal akışkanın fay hattı boyunca yukarı doğru doğal hareketi, ii) jeotermal akışkanın hatalı biçimde inşa edilmiş sondaj deliklerinden yukarı doğru sızması, iii) hatalı geri enjeksiyon uygulamaları ve iv) atık jeotermal sıvının kontrolsüz bir şekilde doğal drenaj şebekesine boşaltılması olarak belirlenmiştir. Bu etkiler nedeniyle sığ akiferde ısı, arsenik, antimon ve bor kirliliği oluşmuştur. Benzeri sorunlar ile Türkiye’deki hemen her jeotermal enerji uygulamasında karşılaşılmaktadır. Başlıca kirlenme nedenleri hatalı kuyu inşası ve ısısı alınmış akışkanın akifere geri enjeksiyonu işleminin mevzuata uygun biçimde yapıl-a-mayıdır. Ayrıca üretim sırasında atmosfere geçen hidrojen sülfür gazının da -henüz ölçümlerle gösterilmemiş olmakla birlikte- asit yağmuruna neden olması olası bir sorundur.



24 SULARDA HORMON BOZUCULAR

Hormon (endokrin) çok hücreli organizmalarda salgı bezleri tarafından üretilen uzaktaki diğer organların ve fizyoloji ve davranışını düzenlemek için salgılanan ve dolaşım sistemi tarafından bu organlara taşınan bir sinyal molekülleri sınıfının herhangi bir üyesidir.

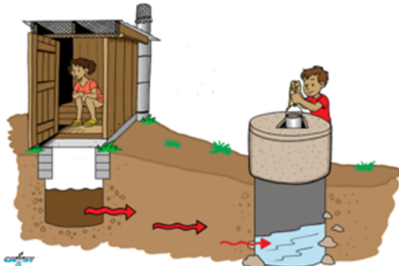
Bazen hormonal olarak aktif maddeler olarak da adlandırılan endokrin bozucular (endokrin bozucu kimyasallar ya da bileşikler) hormonal sistemlere müdahale edebilen kimyasallardır. Bu müdahaleler kanserli tümörlere, doğum kusurlarına ve diğer gelişimsel bozukluklara neden olabilmektedir. Birçok ev ve endüstriyel üründe bulunan endokrin bozucular, normal hücre metabolizmasının gelişiminden, davranışından, doğurganlığından ve korunmasından sorumlu olan doğal hormonların sentezine, salgılanmasına, taşınmasına, bağlanmasına, eylemine veya ortadan kaldırılmasına müdahale ederler.

Endokrin bozucular doğal ya da sentetik olabilir. Doğal olanları genellikle önemli bir etki göstermeden vücuttan atılır. Sentetikler ise üreme sistemini, tiroid fonksiyonlarını, pankreas fonksiyonlarını ve santral etkili hormon salımını etkileyebilmektedir. Ftalatlar, BisfenolA ve PCB'ler yaygın bilinen sentetik endokrin bozuculardır. Bu bileşikler “plastik” olarak adlandırılan malzemelerden kaynaklanır.

Endokrin Bozucuların içme ve kullanma suyunda bulundukları gözlenmiştir. Bununla birlikte bu kimyasalların sulara düzenli olarak örneklenmesi ve analizlerine ilişkin yöntemler henüz oturmamıştır. İnsanlar üzerindeki zararları ve etki mekanizmaları gibi konularda yoğun tartışmalar yürütülmektedir. Bununla birlikte, erkeklerde üremeyi olumsuz etkiledikleri, bazı kanser türlerine neden oldukları, kadınlarda cinsel gelişimi etkiledikleri vb konularda güçlü kanıtlar bulunmaktadır.

25 SUYLA BULAŞAN HASTALIKLAR

Suyla bulaşan hastalıklar terimi ile kast edilen su ile taşınan patojen (enfeksiyona neden olan) mikroorganizmalarca bulaştırılan hastalıklardır. Bu gibi hastalıklar patojenlerce kirlenmiş yeraltı ve yüzeysularının ya da bunlarla temas etmiş gıdaların kullanımı sonucunda bulaşır. Suyu taşıyan hastalıklar insanlara protozoa, bakteriler, virüsler, yosunlar, asalak solucanlar aracılığı ile bulaşmaktadır. Konuyla ilgili özet bilgiler aşağıdaki çizelgelerde sunulmuştur. Bilgiler “https://en.wikipedia.org/wiki/Waterborne_diseases” Web sitesinden “Google Translate” ile çevrilmiş olup, sözcük düzeyinde kısmi düzeltmeler yapılmıştır.





25.1 Tek Hücreli Hayvanlar (Protozoa)

Hastalık (Bulaşma)	Mikrobiyal Ajan	Ajanın Su Kaynağındaki Temsilcisi	Genel Belirtiler
Acanthamoeba keratit (kontakt lenslerin kontamine su ile temizlenmesi)	Acanthamoeba spp. (A. castellanii ve A. polyphaga)	Yüzeysuyu, musluk suyu, yüzme havuzları ve kontakt lens çözeltileri dahil olmak üzere birçok su ortamında bulunan yaygın olarak dağıtılan serbest yaşayan amipler	Göz ağrısı, göz kızarıklığı, bulanık görme, ışığa duyarlılık, gözdeki bir şeyin hissi ve aşırı yırtılma
Amebiyazis (ağızdan ağıza)	Protozoan (Entamoeba histolytica) (Kist benzeri görünüm)	Kanalizasyon , arıtılmamış içme suyu , su kaynağında uçar , tükürük transferi (diğer kişinin hastalığı varsa)	Karın rahatsızlığı, halsizlik , kilo kaybı, ishal , şişkinlik , ateş
Kriptosporidyoz (oral)	Protozoan (Cryptosporidium parvum)	Dezenfekte edilemeyen su filtreleri ve membranlar , hayvan gübresi , mevsimsel su akışı üzerinde toplanır .	Grip benzeri semptomlar , sulu ishal, iştahsızlık, önemli ölçüde kilo kaybı, şişkinlik , artan gaz, bulantı
Cyclosporiasis	Protozoon parazit (Cyclospora cayetanensis)	Kanalizasyon , arıtılmamış içme suyu	kramplar , bulantı, kusma , kas ağrıları, ateş ve halsizlik
Giardiasis (fokal-oral) (ağızdan ağıza)	Protozoan (Giardia lamblia) En yaygın bağırsak paraziti	Arıtılmamış su, zayıf dezenfeksiyon, boru kopmaları, sızıntılar, yeraltı suyu kirliliği, insanların ve vahşi yaşamın aynı su kaynağını kullandığı kamp alanları . Kunduzlar ve muskrallar Giardia için rezervuar görevi gören havuzlar oluştururlar.	İshal, karın rahatsızlığı, şişkinlik ve şişkinlik
Microsporidiosis	Protozoon filum (Microsporidia), ancak mantarlarla yakından ilişkili	Encephalitozoon intestinalis, içme suyunun kökeni olan yeraltı sularında tespit edilmiştir	İshal ve tükenme içinde bağışıklığı zayıflamış kişiler.



Naegleriasis (primer amebik meningoensefalit [PAM]) (burun)	Protozoan (Naegleria fowleri) (Kist benzeri görünüm)	Su sporları , klorsuz su	Baş ağrısı, kusma, konfüzyon, denge kaybı, ışık duyarlılığı, halüsinasyonlar, yorgunluk , kilo kaybı, ateş ve koma
---	--	--------------------------	--

25.2 Bakteriler

Hastalık ve Bulaşma	Mikrobiyal Ajan	Su Temini Temsilcisi Kaynakları	Genel Belirtiler
Gıda zehirlenmesi	Clostridium botulinum	Bakteri kirlenmiş su kaynaklarından açık bir yaraya girebilir. Kirlenmiş içme suyu veya (daha yaygın) gıda tüketimi ile gastrointestinal sisteme girebilir	Ağız kuruluğu, bulanık ve / veya çift görme , yutma güçlüğü, kas güçsüzlüğü, nefes almada güçlük, konuşma bozukluğu, kusma ve bazen ishal . Ölüm genellikle solunum yetmezliğinden kaynaklanır .
Campylobacteriosis	En sık Campylobacter jejuni neden olur	Dışkı ile kirlenmiş içme suyu	Yüksek ateşle birlikte dizanteri benzeri semptomlar üretir . Genellikle 2-10 gün sürer.
Kolera	Vibrio cholerae bakterisi tarafından yayılır	Bakteri ile kirlenmiş içme suyu	Şiddetli formlarda bilinen en hızlı ölümcül hastalıklardan biri olduğu bilinmektedir. Semptomlar çok sulu ishal, bulantı , krampolar , burun



			kanaması , hızlı nabız , kusma ve hipovolemik şoku (şiddetli vakalarda) içerir; bu noktada ölüm 12-18 saat içinde ortaya çıkabilir.
E. coli Escherichia coli enfeksiyonu	Bazı Escherichia coli suşları (genellikle E. Coli)	Bakterilerle kirlenmiş su	Çoğunlukla ishal. Uzun süreli hastalıklardan kaynaklanan dehidrasyon nedeniyle bağışıklık yetersizliği olan bireylerde, çok gençlerde ve yaşlılarda ölüme neden olabilir .
M. marinum enfeksiyonu	Mycobacterium marinum	Doğal olarak suda, çoğu durumda yüzme havuzlarına veya daha sık akvaryumlara maruz kalmaktan oluşur ; çoğunlukla bağışıklık yetersizliği olan bireyleri enfekte ettiği için nadir görülen enfeksiyon	Belirtileri şunlardır lezyonlar genellikle dirsek, diz üzerinde bulunan ve ayaklarını (dan yüzme havuzları ellerde (açık) veya lezyonlar akvaryumlar). Lezyonlar ağrısız veya ağrılı olabilir.
Dizanteri	Shigella ve Salmonella cinsindeki birkaç türün neden olduğu , en yaygın olanı Shigella dysenteriae	Bakteri ile kirlenmiş su	Dışkıların kan ve / veya mukus ile sık geçişi ve bazı durumlarda kan kusması.
Lejyonis	Legionella cinsine ait	Lejyonella, ılık suda çok sayıda	Pontiac ateşi, zatürree



(iki farklı form: Lejyoner hastalığı ve Pontiac ateşi)	bakterilerin neden olduğu (Legionella pneumophila'nın neden olduğu vakaların% 90'ı)	üreyen çok yaygın bir organizmadır; ancak aerosollendiğinde ciddi hastalığa neden olur. [10]	olmadan akut influenzaya benzeyen daha hafif semptomlar üretir . Lejyoner hastalığı ateş , titreme , zatürre (bazen balgam üreten öksürük ile), ataksi , anoreksi , kas ağrıları, halsizlik ve bazen ishal ve kusma gibi şiddetli semptomlara sahiptir.
Leptospirosis	Leptospira cinsinden bakteri neden olur	Bakterileri taşıyan hayvan idrarı ile kirlenmiş su	Grip benzeri semptomlarla başlar, sonra düzeler. İkinci aşama daha sonra menenjit , karaciğer hasarı (sarılıklara neden olur) ve böbrek yetmezliğini içerir.
Otitis Externa (yüzücünün kulağı)	Bir dizi bakteriyel ve mantar türden kaynaklanır.	Sorumlu patojenler tarafından kirlenmiş suda yüzme	Kulak kanalı şişer, dokunmaya ağrı ve hassasiyet verir
Salmonellozis	Salmonella cinsinin birçok bakterisinin neden olduğu	Bakterilerle kirlenmiş içme suyu. Gıda kaynaklı bir hastalık olarak daha yaygındır.	Semptomlar ishal , ateş , kusma ve karın kramplarını içerir
Tifo	Salmonella typhi	Enfekte bir kişinin dışkılarıyla kirlenmiş su alımı	40 ° C'ye (104 ° F) kadar sürekli ateş ile karakterize, bol terleme ; ishal oluşabilir.



			Semptomlar deliryuma ilerler ve dalak ve karaciğer tedavi edilmezse büyür. Bu durumda dört haftaya kadar sürebilir ve ölüme neden olabilir. Tifo ateşi olan bazı kişilerde "gül lekeleri" adı verilen döküntü, karın ve göğüste küçük kırmızı lekeler görülür.
Vibrio Hastalığı	Vibrio savunmasız, Vibrio alginolyticus ve Vibrio parahaemolyticus	Kirlenmiş sudan yaralara girebilir. Ayrıca kirlenmiş su içerek veya az pişmiş istiridye yiyerek elde edilir.	Semptomlar karın hassasiyeti, ajitasyon, kanlı dışkı, titreme, karışıklık, dikkat çekmede zorluk (dikkat eksikliği), deliryum, dalgalanan ruh hali, halüsinasyon, burun kanaması, şiddetli yorgunluk, yavaş, halsiz, uyuşukluk hissi, halsizliktir.

25.3 Virüsler

Hastalık ve Bulaşma	Viral Madde	Su Temini Temsilcisi Kaynakları	Genel Belirtiler
SARS	Koronavirüs	Uygunsuz arıtılmış suda kendini gösterir	Semptomlar ateş , kas ağrısı , uyuşukluk , gastrointestinal



(Şiddetli Akut Solunum Sendromu)			semptomlar, öksürük ve boğaz ağrısıdır.
Hepatit a	Hepatit A virüsü (HAV)	Suda (ve yiyeceklerde) kendini gösterebilir	Semptomlar sadece akut (virüse kronik bir aşama yoktur) ve Yorgunluk, ateş, karın ağrısı, bulantı, ishal, kilo kaybı, kaşıntı, sarılık ve depresyonu içerir.
Hepatit E (fokal-oral)	Hepatit E virüsü (HEV)	Enfekte bireylerin dışkılarından su girer	Ateş, yorgunluk, iştahsızlık, bulantı, kusma, karın ağrısı, sarılık, koyu renkli idrar, kil renkli dışkı ve eklem ağrısı dahil olmak üzere akut hepatit (karaciğer hastalığı) belirtileri
Akut gastrointestinal hastalık [AGI] (fokal-oral; yiyecek, su, kişiden kişiye ve fomitler tarafından yayılır)	Nörovirüs	Enfekte bireylerin dışkılarından su girer	İshal, kusma, bulantı, mide ağrısı
Çocuk felci (Çocuk felci)	Poliovirüs	Enfekte bireylerin dışkılarından su girer	Hastaların% 90-95'inde semptom görülmez,% 4-8'inde deliryum, baş ağrısı, ateş ve nadiren nöbetler ve spastik felç gibi küçük semptomlar (nispeten) vardır, % 1'inde paralitik olmayan aseptik menenjit belirtileri vardır. Geri kalanlar felç veya ölümle sonuçlanan ciddi semptomlara sahiptir.
Polyomavirüs enfeksiyonu	İki Polyoma virüsü: JC virüsü ve BK virüsü	Çok yaygın, kendini suda gösterebilir, popülasyonun ~% 80'i Polyomavirüs'e	BK virüsü hafif üreten solunum yolu enfeksiyonu ve bulaşabilir böbrekler arasında bağışıklık sistemi baskılanmış



		karşı antikorlara sahiptir	nakli hastalarında. JC virüsü enfekte solunum sistemi, böbrek veya neden olabilir progresif multifokal lökoensefalopati olarak beyinde (ölümcül).
--	--	----------------------------	---

25.4 Yosunlar

Hastalık ve Bulaşma	Mikrobiyal Ajan	Su Temini Temsilcisi Kaynakları	Genel Belirtiler
Desmodesmus enfeksiyonu	Desmodesmus armatus	Doğal olarak suda oluşur. Açık yaralara girebilir.	Mantar enfeksiyonuna benzer.

25.5 Asalak Solucanlar

Hastalık ve Bulaşma	Ajan	Su Temini Temsilcisi Kaynakları	Genel Belirtiler
Dracunculiasis [Gine solucanı hastalığı] (kontamine su alımı)	Dracunculus medinensis	Dişi kurt, ev sahibi deriden çıkar ve suda larvaları serbest bırakır	Hafif ateş, kaşıntılı döküntü, bulantı, kusma, ishal, baş dönmesi, ardından ağrılı blister oluşumu (tipik olarak alt vücut kısımlarında)

26 SULARDA KOLİFORM BAKTERİSİ ANALİZİ

Sularda mikrobiyal kirlenmenin olup olmadığının kontrolü için öncelikle “koliform bakterisi analizi” (kısaca koliform analizi) yapılır. Koliform grubu bakteriler, toprakta, bitki örtüsünde ya da sıcak kanlı hayvanların bağırsak sisteminde (yani dışkısında) bulunur. Bu bakteri grubu uzun zamandır suda mikrobiyal kirlenme olup olmadığının, olası bağırsak parazitleri ve patojenlerin varlığının göstergesi olarak kullanılmaktadır. Koliform bakterileri kolaylıkla ve hızlı bir biçimde (24 saat içinde) tanımlanırlar ve daha tehlikeli patojenlerden çok daha fazla sayıda bulunurlar. Koliform bakteri yoğunluğu gözlenerek birçok patojenik (hastalık yapıcı) bakterinin artıp artmayacağı tahmin edilebilir. Koliform analizi sadece bakteriyel kirlenme hakkında bilgi verir; tek hücreli hayvanlar, virüsler, mantarlar, yosunlar ve asalak solucanlardan kaynaklanabilecek enfeksiyonlar hakkında bilgi vermez.



Koliform analizi için sterilizasyona dikkat etmek gerekir. Bu amaçla, otoklavda (bir tür düdüklü tencere) mikroplardan arındırılmış koyu renkli cam şişeler kullanılır. Örneklenecek suyun aktığı musluk, boru vs alkolle ıslatılmış pamuk alevi ile sterilize edilir. Steril şişenin ağzı hızlı açılır, su hızlı bir biçimde şişeye doldurulur, hızla tıplanır. Örnek en hızlı biçimde -24 saatten önce- laboratuvara ulaştırılır. Burada 100 mL su örneği 40 mikrometre göz açıklığına sahip bakterileri besleyecek besin içeren özel bir filtreden geçirilir. Bu göz açıklığı pek çok bakterinin tutulması için yeterlidir. Filtre daha sonra 24 saat süre ile bakterilerin üremesine uygun sıcaklıkta (45 °) steril bir ortamda tutulur. Daha sonra filtre üzerinde gözle görülebilen noktalar (koliform kolonileri) sayılarak sonuç örneğin “5 koloni/100 mL” (ya da koliforma rastlanmamıştır) şeklinde raporlanır. Koliform testinin “Toplam Koliform” ve “Fekal Koliform” şeklinde iki ayrı tipi vardır. Fekal (İng. Feces) Koliform sıcak kanlı hayvanların katı dışkılarında taşınan koliform türüdür.

27 SULARDA RADYASYON KİRLİLİĞİ

İçme suyu, insan sağlığı için risk oluşturabilecek radyoaktif maddeler (radyonüklitler, yani radyasyon yayan izotoplar) içerebilir. Çok özel durumlar dışında, sudaki radyonüklitlerden kaynaklanan riskler, içme suyunda bulunabilecek mikroorganizmaların ve kimyasallardan kaynaklanan risklere oranla daha küçüktür. Normal koşullarda içme suyundaki radyonüklitlerin yutulmasından kaynaklanan radyasyon dozu, diğer radyasyon kaynaklarından (uzaydan gelen, röntgen çekimi vb) alınan dozdan çok daha düşüktür. Su kaynaklarındaki radyasyon doğal ve/veya antropojenik olabilir. Yakın geçmişte Çernobil (Ukrayna) ve Fukushima (Japonya) Nükleer Güç Santrallerinde yaşanan kazalar sonucu atmosfere karışan radyasyonun binlerce kilometre uzaklığı taşınabildiği ve ulaştıkları bölgelerdeki su kaynaklarını kirletebildiği gözlenmiştir. Bu gibi radyoaktif serpintiler (İng. Radioactive fallout) öncelikle göl, baraj ve akarsu gibi yüzeysuyu kaynaklarını etkilemekte, yeraltısuyu kaynakları ise yavaş beslenimlerinden dolayı bağıl olarak daha korunumlu konumda bulunmaktadır. Özellikle basınçlı akiferler bir radyoaktif serpinti sonrasında olasılıkla en güvenilir su kaynakları olacaklardır.

Doğal olarak oluşan ve insan yapımı kaynaklardan oluşan radyoaktivite çevremizde her yerde, her an mevcuttur. Bazı elementlerin doğada bulunan izotopları radyoaktiftir (Örg. $^{40}_{19}K$, $^{222}_{86}Rn$).

Minerallerde bulunan, potasyum-40 dahil olmak üzere, toryum (Th) ve uranyum (U) bozunma serilerinin radyum-226, radyum-228, uranyum-234, uranyum-238 ve radon-222 doğal olarak oluşan radyoaktif maddelerin başlıca örnekleridir. Gaz formunda bulunan radon-222’nin ABD’nde her yıl -çoğu sigara kaynaklı- 14,000 akciğer kanseri vakasına neden olduğu değerlendirilmektedir. Bu radyonüklitler toprakta, suda, iç ve dış ortam havasında ve hatta vücudumuzda çeşitli miktarlarda bulunur ve bunlara maruz kalmak kaçınılmazdır. Ayrıca, Dünya hem güneşten hem de güneş sisteminin dışından kaynaklanan (yani kozmik kökenli) yüksek enerjili parçacıklar tarafından sürekli bombardımana tutulur. Toplu olarak, bu parçacıklara kozmik radyasyon denir. Herkes enlem, boylam ve yüksekliğe bağlı olarak kozmik radyasyondan değişen oranlarda bir doz alır. Günümüzde insan kaynaklı en büyük



radasyon maruziyet kaynağı tıbbi tanı ve tedavide kullanılan radyonüklitlerdir. Nükleer silahların test edilmesi, endüstriyel ve tıbbi tesislerden önlenemeyen kaçaklar ve Çernobil ile Fukuşhima Nükleer Güç Santrallerinden kaza ya da afet sonucu çevremize yayılan radyonüklitler de insan kaynaklı radyasyon maruziyeti kaynakları arasında yer almaktadır.

Radyasyonla ilgili birim ve tanımlar:

Bekerel (Bq, Becquerel) saniyede bir radyoaktif parçalanmaya karşılık gelen radyoaktivite birimidir. İçme suyu durumunda, Bq/L birimleriyle ifade edilen aktivite konsantrasyonu kullanılır.

Etkili doz vücuda geçen radyasyon miktarını ifade eder. Sieverts (Sv) birimi ile ifade edilir. Biyolojik etkilerin doğrudan karşılaştırılabilmesi ve farklı radyasyon türleri arasındaki farkları dikkate almak için kullanılan bir birimdir.

Her radyonüklit için radyasyon büyüklüğü ile insana etkiyen doz aynı değildir. Bazı radyonüklitler vücuda hızla terk ederken bazıları vücutta daha uzun zaman geçirir. Etkili doz radyoaktivitenin doz faktörü ile çarpılması sonucunda belirlenir ve her bir radyonüklit için solunma ya da yutulma durumları için farklı doz faktörleri söz konusudur. Aşağıda bazı radyonüklitlere ait doz faktörleri gösterilmiştir.

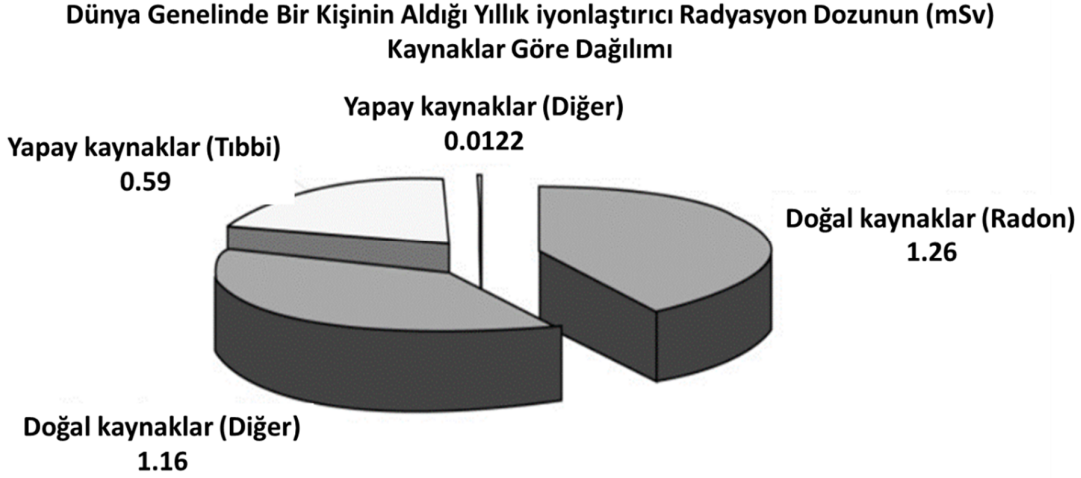
		Doz Faktörü (mSv/kBq)		
Radyonüklit	Yarı Ömür (yıl)	Solunma	Yutma	
Trityumlu Su	12.3	0.000018	0.00002	Yetişkin
Stronsyum-90	28.1	0.064	0.03900	Bebek
Teknesyum-99	213,000	0.002	0.00034	
İyot-131	8.1 gün	0.072	0.18000	
İyot-129	15,700,000	0.047	0.07400	
Sezyum-135	2,300,000	0.0012	0.00190	
Sezyum-137	30	0.0087	0.01400	
Kaynak: https://www.radioactivity.eu.com/site/pages/Dose_Factors.htm				

Doğal ya da antropojenik olup olmadıklarına bakılmaksızın tüm radyonüklitlerin 1 yıllık içme suyu tüketimindeki toplam dozunun 0.1 mSv'i aşmaması gerektiği muhafazakâr bir yaklaşım olarak benimsenmiştir.

Birleşmiş Milletler Atomik Radyasyonun Etkileri Bilimsel Komitesi dış ortamdaki tüm radyasyon kaynaklarından kişi başına düşen küresel ortalama yıllık dozun yaklaşık 3.0 mSv / yıl olduğunu tahmin etmiştir (UNSCEAR, 2008). Toplam dozun % 80'i (2,4 mSv) doğal olarak oluşan radyasyon kaynaklarından, % 19.6'sı (~ 0,6 mSv) tıbbi tanı için radyasyon kullanımından kaynaklanmaktadır. Kalan % 0.4 (~ 0,01 mSv) diğer kaynaklardan yayılmaktadır. Buna karşın, bireysel olarak alınan yıllık doz, yaşanan yere, beslenme



tercihlerine, yaşam tarzı seçimlerine, alınan tıbbi tedavi biçimlerine mesleki maruziyetlere bağlı olarak değişmektedir.



Radyonüklid içeren içme suyunun uzun süre yutulması gibi uzun süreli maruziyetlerde 100 mSv'in üzerindeki dozlarda kanser riskinin arttığına dair kanıtlar bulunmaktadır. Bu dozun altında, epidemiyolojik (yani, hastalık, kaza ve sağlıkla ilgili durumların dağılımını, görülme sıklıklarını ve bunları etkileyen belirteçleri inceleyen) çalışmalar ile artmış bir risk tespit edilmemiştir. Radyasyonu maruz kalma ve bunun riskleri arasında doğrusal bir ilişki olduğu varsayılmakla birlikte, mevcut bilgi birikimiyle altında hiçbir risk bulunmadığı bir eşik değer önerilememektedir. Sonuç olarak, 0.1 mSv/yıl düzeyindeki bir bireysel doz kriterinin herhangi bir olumsuz sağlık etkisine yol açması beklenmeyen çok düşük bir risk seviyesini temsil ettiği kabul edilmiştir.

İçme suyundaki olası tüm radyonüklitlerin aktivitelerinin ölçülmesi oldukça güç ve masraflı olduğundan sulara toplam alfa ve toplam beta radyasyonunun ölçülmesi tercih edilmiştir. TS266 standardına göre toplam alfa aktivitesi için 0.1 Bq/L, toplam beta aktivitesi için 1.0 Bq/L değerleri verilmektedir. Toplam radyasyon dozu ise 0.1 mSv/yıl'dır. Eğer su örneği söz konusu sınır değerleri aşıyorsa, bu durumda radyasyon kaynağı radyonüklitlerin neler olduğuna ilişkin ayrıntılı ölçümler yapılması gerekmektedir.

Daha fazla bilgi için: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK442362/>

28 KİRLETİCİNİN İZOTOPİK PARMAK İZİ

Kirletici kaynağının bilinmesi, kirlenmenin nedeninin bilinmesi ve kirliliğin giderilmesi açısından önemli bir bilgidir. Bir kirlenme durumunda birden fazla olası kaynağın olması durumunda asıl kirletici kaynağın bulunmasında duraylı izotoplar önemli faydalar sağlayabilirler. Kirletici kimyasalların yapısında yer alan azot (N), karbon (C), sülfür (S),



hidrojen (H) ve oksijen (O) elementlerinin duraylı izotopları pek çok durumda o kimyasala ait bir parmak izi oluşturur. Su örneğindeki bu parmak izleri İzotop Oranı Kütle Spektrometresi ölçümleri ile belirlenebilir.

29 SU ARITMA VE RİSKLER

İçme amaçlı sular şebekeye verilmeden önce -özellikle patojen mikroorganizmaların yok edilmesi amacıyla- arıtılırlar. Bu amaçla farklı kimyasallar ve teknikler kullanılır. Arıtma işlemi sonucunda patojen mikroorganizmalar arıtılmış olmakla birlikte kullanılan kimyasalların kalıntıları ya da uygulanan teknik sonucu oluşan ikincil kimyasallar sağlığa zararlı olabilirler. Bu nedenle arıtma işleminin ham suyun özellikleri dikkate alınarak özenle gerçekleştirilmesi gerekir. İçme sularının şebekeye verilmeden önceki arıtma aşamasında suya Klor gazı (Cl_2), Hipoklorit ($NaOCl$ ya da $Ca(ClO)_2$) çözeltisi, Klor Dioksit (ClO_2) gazı, Ozon (O_3) gazı eklenmesi ya da suya Ultraviyole Radyasyon (UV) uygulanması tekniklerinden bir ya da birkaçı kullanılabilir. Farklı kimyasalların farklı avantaj ve dezavantajları olmakla birlikte hepsinin ortak özelliği aşırı derecede oksitleyici ve temas edildiklerinde oldukça tahriş edici olmalarıdır. Suya uygulanan konsantrasyonları gaz formundaki kimyasallar zehirleyici olabilmektedir. Bu nedenle klor, klor-dioksit gazları ile hipoklorit çözeltilerinin arıtma tesisine nakledilmesi yerine tesiste üretilmeleri tercih edilmektedir. UV ile arıtmada 254 nano metre (UVC) dalga boyundaki UV radyasyon bir mikroorganizmanın DNA zincirini kırarak üreme sürecini durdurur: UV klora dayanıklı patojenlerin (örğ. *Cryptosporidium*, *Giardia*) ve geleneksel dezenfeksiyon yöntemlerine dirençli olduğu kanıtlanmış çeşitli virüslerin arıtımında etkilidir.

Kullanılan tekniğe ve ham suyun kimyasal kompozisyonuna bağlı olarak arıtma süreci sonunda bazı istenmeyen dezenfeksiyon ürünleri oluşabilmektedir. Başlıca dezenfeksiyon ürünleri arasında Tri-halo-metanlar (THM), bromat (BrO_3^-), Klorit (ClO_2^-) ve Klorat (ClO_3^-) sayılabilir. Bu ürünler yüksek derişimlerde sağlığa zararlıdır, zehirleyici ve kanserojen olabilmektedirler. Bu nedenle içme suyu arıtımı dezenfeksiyon ürünleri içinde de limit değerler belirlenmiştir. Örneğin, WHO tarafından önerilen limit derişim değeri klorit ve klorat için 0.7 mg/L'dir. THM için bir WHO limit değeri bulunmamakla birlikte çeşitli ülkelerde 0.08 mg/L ile 0.25 mg/L arasında limit değerler uygulanmaktadır. Bromat için WHO ve diğer ülke limit değeri 0.01 mg/L'dir.

Çizelge : Çeşitli içmesuyu arıtım tekniklerinin özellikleri

	Klor Gazı	Yerinde Klor Gazı Üretilmesi	Yerinde Hipoklorit Üretilmesi	Hazır Hipoklorit Kullanımı	Klor Dioksit	Ozon	UV
Yatırım Maliyeti	Düşük	Yüksek	Orta	Düşük	Düşük	Yüksek	Yüksek
İşletme Maliyeti	Düşük	Düşük	Düşük	Orta/Yüksek	Yüksek	Orta	Yüksek
Hammade Temin Kolaylığı	Evet	Evet	Evet	Evet	Evet	Evet	Evet
Kalıntı Bırakır	Evet	Evet	Evet	Evet	Evet	Hayır	Hayır
Etkinlik	Yüksek	Yüksek	Yüksek	Yüksek	Yüksek	Yüksek	Orta
pH'tan etkilenir	Evet	Evet	Evet	Evet	Hayır	Hayır	Hayır
Kimyasal Duraylılık	Yüksek	Orta	Orta	Orta	Orta	Düşük	N/A
Güvenlik Endişeleri	Yüksek	Orta	Orta	Yüksek	Orta	Orta	Düşük
Amonyakla Reaksiyona Girer	Evet	Evet	Evet	Evet	Hayır	Hayır	Hayır
THM Oluşumu	Evet	Evet	Evet	Evet	Hayır	Hayır	Hayır
Bromat Oluşumu	Mümkün	Mümkün	Mümkün	Mümkün	Hayır	Mümkün	Hayır
Klorit Oluşumu	Hayır	Hayır	Hayır	Hayır	Mümkün	Hayır	Hayır
Klorat Oluşumu	Önemsiz	Düşük	Mümkün	Mümkün	Önemsiz	Hayır	Hayır



30 SIK SORULAN İÇME SUYU SORULARI

Halk ağzında ve basında içme suları hakkında asılsız anlatılar ve haberlerle sıklıkla karşılaşmaktadır. Şifalı su, çok tanrılı dinler döneminden beri insanların yaygın inançları arasında yer almaktadır. Aslında, diğerlerinde olduğu gibi su da bir besin maddesidir ve tıpkı diğer besinlerde olduğu gibi içerdiği maddeler sağlığa yararlı ya da zararlı derişim düzeylerinde olabilmektedir. Bu başlık altında “içme suyu” ile ilgili sıklıkla sorulan bazı sorulara yanıt verilmektedir.

Alkali su faydalı mıdır? Mide sıvısının pH değeri yemek öncesinde 4.5, mideye gıda girdiğinde, yani yemek sonrasında 2.5 dolayındadır. İçme suyunun pH değeri 6.5-8.5 aralığındadır. Alkali su pH değeri 7 üzerindeki sudur, pH değeri ne kadar büyükse su o denli alkalidir. pH=9.5 olan 1 litre alkali su pH= 2.5 olan 0.05 mili litre mide sıvısı ile karıştığında karışımın pH değeri 3.8 olur ki bu karışımın hâlâ daha asidik olduğunu gösterir.

Yumuşak su iyi midir? Yumuşak su normale göre daha az çözünmüş madde içeren sudur. Bir besin maddesi olan suyun normalin altında çözünmüş madde içermesinin özel bir faydası yoktur. Hidrojeolojik açıdan yumuşak suların iz element içermesi olasılığı sert sulara göre daha yüksektir. Bu durum “yumuşak” yeraltısularının silikatlı kayalardan kaynaklanması ve bu kayaların da iz element içeriklerinin kireçtaşı gibi kimyasal sedimanter kayalardan daha yüksek olmasıdır.

Gazlı içecek iyi midir? Tüm gazlı içeceklerdeki gaz karbondioksittir. Yüksek karbon-dioksit gaz içeriği bu içeceklerde pH’ın 3-4 aralığında (hafif asidik) olmasını sağlar. Gaz kabarcıklarının içecekten ayrılmasıyla pH= 8.3 dolayına yükselir. Mide sıvısı pH’ının yemekten sonra 2.5 dolayında olduğu dikkate alınırsa gazlı içeceklerin sindirime özel bir katkı sağlamayacağı anlaşılmaktadır. Maden suyu sodalarının günde litrelerce tüketilmesinin faydalı olduğu yönündeki iddialar bilimsel dayanaktan yoksundur. Tersine iz elementçe zengin bu suların sıradan içme suları gibi yoğun tüketilmesi sakıncalı sonuçlara neden olabilir. Azı karar, çoğu zarar yılların süzgecinden geçmiş deyiştir.

Hangi şişe suyunu almalıyım? Tüm şişelenmiş sular içme suyu olarak kullanılmaya uygundur, aksi durumda üretim ruhsatı alamazlar. Bu suların kalitesi üretim tesisinde yapılan denetimlerle izlenmektedir. Daha nitelikli bir denetimin yapılması için marketlerdeki ürünlerin rastgele örnekleme yoluyla toplanarak incelenmesi gerekir. Türkiye’de bu yönde bir uygulama yoktur. Kurallara uygun olarak üretilmiş şişe sularında bir markanın diğerine göre üstünlüğü yoktur. Bununla birlikte markalar bir pazarlama yaklaşımı olarak sularına özgü farklılıkları öne çıkartarak (alkali su, sodyum diyetine uygun su, gazlı su vb) satışlarını arttırmaya çalışmaktadırlar.

Mineralli su nedir? Mineralli su (İng. mineral water) suyun mineral içerdiği algısına neden olduğu için bilimsel açıdan hatalı bir ifadedir. Mineral jeolojik moleküllere verilen addır. Minerallerin bir kısmı kayaları oluştururken nadir bulunan bazıları da maden yataklarını oluşturur. Mineraller su da mineral olarak bulunamazlar, sadece minerallerin çözünme ürünleri



suya geçebilir. Mineralli su sıra dışı kimyasal bileşime sahip sulara verilen genel ve geleneksel bir addir. Bir bardak içme suyu içine bir tatlı kaşığı deniz suyu katarakta kimyasal bileşimi sıra dışı olan bir “mineralli su” yapabilirsiniz. Bu suya yeterince karbon-dioksit ekleyip sodalı suya da dönüştürebilirsiniz.

Günde kaç litre su içmeliyim? Bunu size vücudunuz içinde bulunduğu koşullara göre susama duygunuzu harekete geçirerek söyler. Yeterince su içildiğinde de bu duygu kaybolur. Günde x litre su için önermeleri doğru olmadığı gibi zorla içilen su vücut elektrolit dengenizi bozabilir. Güneş altında, terleyerek geçirdiğiniz bir günde örneğin 10 litre su susuzluğunuzu ancak giderirken evde geçirdiğiniz bir kış gününde örneğin 2 litre su yeterli olacaktır. İhtiyaç duyulan suyun önemli bir bölümünün de katı ve sıvı diğer gıdalardan alındığı da unutulmamalıdır. Yediğimiz bir elmanın % 85’i sudur.

Şebeke suyunu içebilir miyim? Şebeke suyunun içilebilir kalitede olması su idarelerinin sorumluluğundadır. İçme suyu şebekeye verilmeden önce ilgili standartlara uygun olarak arıtılır ve kullanıma sunulur. Su İdarelerinin yanı sıra Sağlık Bakanlığı’nın Halk Sağlığı birimleri de düzenli olarak şebeke suyunda örnekleme yaparak su kalitesini izlerler. Bu durum, özellikle suyla bulaşan hastalıklar açısından böyledir. Kanalizasyon sitemleri olası bir bulaşmanın önlenmesi için içme suyu şebekesi borularından daha derine gömülüdür. Buna rağmen arıza ya da planlı kesinti sonucu şebekedeki suyun boşalması boruların vakum yaparak çevrelerindeki kirleticileri bünyelerine almasına neden olabilir. Bu nedenle, yeniden su verildiğinde şebeke suyuna normalin üstündeki dozda dezenfektan eklenerek ve şebekenin uç noktalarında yeterli düzeyde dezenfektan varlığı izlenerek olası bir mikrobiyal bulaş engellenmeye çalışılır. Bu gibi durumlarda bir gün ya da daha uzun süre boyunca şebeke suyunun içme amaçlı kullanılmaması yoluna gidilebilir. Şebeke suyunun kalitesinden şüphelenen kullanıcıların su kalitesinin su idaresi laboratuvarlarınca ve/veya bağımsız ve kalite akreditasyon belgesine sahip kurumlarca yapılacak örnekleme ve analiz sonuçları ile gösterilmesini istemeleri gerekir.

31 HİDROJEOKİMYADA KULLANILAN YAZILIMLAR

Hidrojeokimyasal çalışmalarda kullanılan ücretli ve ücretsiz yazılımlara ilişkin internet kaynakları aşağıda belirtilmiştir.

<https://water.usgs.gov/software/lists/groundwater/>

<https://www.rockware.com/product/aqtesolv/>

<https://www.environmental-expert.com/software/aquachem-groundwater-software-624100>

<https://www.environmental-expert.com/software/piper-geochemical-data-analysis-software-515989>

<https://www.environmental-expert.com/software/aquachem-v2014-2-410630>

<https://www.dsi-software.com/explorer.html>

https://www.rockware.com/product_page/rockworks-hydrochemistry-hydrology-diagrams/