

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**İÇME SUYU ALIMI VE HAVA SOLUNMASI İLE MARUZ KALINAN SAĞLIK
RİSKLERİNİN STANDARTLAR BAZINDA DEĞERLENDİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Nazan RAMOĞLU

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Çevre Bilimleri, Mühendisliği ve Yönetimi

HAZİRAN 2019

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**İÇME SUYU ALIMI VE HAVA SOLUNMASI İLE MARUZ KALINAN SAĞLIK
RİSKLERİNİN STANDARTLAR BAZINDA DEĞERLENDİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Nazan RAMOĞLU
(501101740)**

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Çevre Bilimleri, Mühendisliği ve Yönetimi

Tez Danışmanı: Prof. Dr. İsmail TORÖZ

HAZİRAN 2019

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 501101740 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Nazan RAMOĞLU, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “İÇME SUYU ALIMI VE HAVA SOLUNMASI İLE MARUZ KALINAN SAĞLIK RİSKLERİNİN STANDARTLAR BAZINDA DEĞERLENDİRİLMESİ” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. İsmail TORÖZ**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. F. Gülen İSKENDER**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Neşe TÜFEKÇİ
İstanbul Üniversitesi

Teslim Tarihi : 03 Mayıs 2019
Savunma Tarihi : 13 Haziran 2019





Eşime ve aileme,



ÖNSÖZ

Bütün çalışmam boyunca bana yol gösteren, sabırla bana destek olan ve yardımlarını hiçbir zaman esirgemeyen değerli hocam ve danışmanım Sayın Prof. Dr. İsmail TORÖZ'e teşekkür ederim.

Ayrıca tezi hazırlarken bana sonsuz özveride bulunan, her konuda bıkmadan destek olan canım eşime, ve hayatımın her aşamasında olduğu gibi bu çalışmamda da beni destekleyen canım kocaman aileme en içten sevgilerimle teşekkürü borç bilirim.

Haziran 2019

Nazan RAMOĞLU
(Çevre Mühendisi)



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER.....	ix
KISALTMALAR.....	xi
SEMBOLLER.....	xiii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xv
ŞEKİL LİSTESİ.....	xvii
1. GİRİŞ	1
1.1 Çalışmanın Amacı	1
2. ULUSAL VE ULUSLARARASI İÇME SUYU STANDARTLARI.....	3
2.1 Ulusal İçme Suyu Standartları	3
2.2 Uluslararası İçme Suyu Standartlarının Karşılaştırılması.....	3
3. ULUSAL VE ULUSLARARASI HAVA KALİTESİ STANDARTLARI.....	5
3.1 Ulusal Hava Kalitesi Standardı	5
3.2 Uluslararası Hava Kalitesi Standartlarının Karşılaştırılması	6
4. SEÇİLEN KİMYASALLARIN TOKSİSİTESİ	7
4.1 Bromat	7
4.2 Benzen	9
4.3 Arsenik.....	11
4.4 Kurşun.....	15
4.5 Cıva.....	18
4.6 Formaldehit	21
4.7 Toluen	24
5. RİSK DEĞERLENDİRMESİ.....	27
5.1 Risk Tanımı.....	27
5.1.1 Çevresel risk tanımı	28
5.2 Risk Değerlendirme Yöntemi	29
5.2.1 Tehlikenin tanımlanması.....	31
5.2.2 Tehlikeye maruz kalmanın değerlendirilmesi	34
5.2.2.1 Maruz kalma yolları.....	37
5.2.3 Doz-Tepki (Zehirlilik) Değerlendirmesi.....	39
5.2.4 Risk Karakterizasyonu	42
6. SEÇİLEN KİRLETİCİLER İÇİN RİSK HESAPLAMALARI	49
6.1 Risk Hesaplamaları.....	51
6.2 Sonuçların Değerlendirilmesi	68
KAYNAKLAR.....	71
ÖZGEÇMİŞ	75



KISALTMALAR

RG	: Resmi Gazete
ITASHY	: İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik
HKDYY	: Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliği
SKHKKY	: Sanayi Kaynaklı Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği
US-EPA	: United States Environmental Protection Agency (Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı)
OSHA	: Occupational Safety And Health Administration (İş Güvenliği ve Sağlığı İdaresi)
ACGIH	: Association Advancing Occupational and Environmental Health
NIOSH	: The National Institute for Occupational Safety and Health (Ulusal İş Sağlığı ve Güvenliği Enstitüsü)
WHO	: World Health Organization (Dünya Sağlık Örgütü)
IARC	: International Agency For Research On Cancer (Uluslararası Kanser Araştırmaları Ajansı)
ATSDR	: Agency for Toxic Substances and Disease Registry (Toksik Maddeler ve Hastalık Kayıt Ajansı)



SEMBOLLER

BrO₃⁻	: Bromat
Br⁻	: Bromür iyonu
NH₄⁺	: Amonyak
C₆H₆	: Benzen
As	: Arsenik
AsO₃	: Arsenik trioksit
AsH₃	: Arsenik hidrür
Hg	: Cıva
CH₂O	: Formaldehit
C₆H₅CH₃	: Toluen
CDI	: Alınan miktar (mg/kg vücut ağırlığı. gün)
C	: Maruz kalınan ortamdaki kimyasal maddenin konsantrasyonu (mg/L su veya mg/m ³ hava)
CR	: Temas oranı (L/gün veya m ³ /gün)
EF	: Maruz kalma sıklığı (gün/yıl)
ED	: Maruz kalma süresi (yıl)
BW	: Vücut ağırlığı (kg)
AT	: Ortalama süre (gün)
RR	: Alıkonma süresi
Abs	: Kana karışma oranı
PF	: Potency Faktörü (mg/kg-gün) ⁻¹
RfD	: Referans Doz
HI	: Tehlike İndeksi



ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1: Ulusal içme suyu standartları ve kirleticiler için limit değerleri.	3
Çizelge 2.2: Uluslararası içme suyu standartları ve kirleticiler için limit değerleri. ...	4
Çizelge 3.1: Ulusal hava kalitesi standartları ve kirleticiler için limit değerleri.	5
Çizelge 3.2: Uluslararası hava kalitesi standartları ve kirleticiler için limit değerleri. ...	6
Çizelge 5.1: Örnek olay (Kaplan, 2015).	27
Çizelge 5.2: Maruziyet faktörleri (US-EPA, 1997).	37
Çizelge 5.3: Maruz kalma yolları matrisi (CEPA, 1993).	38
Çizelge 5.4: Bazı kimyasallar için potency faktör değerleri (US EPA,2006).	44
Çizelge 5.5: Bazı kimyasallar için referans doz değerleri (US EPA, 2006).	45
Çizelge 5.6: Kanserojen risk (Kaplan, 2015).	46
Çizelge 5.7: Kanserojen olmayan risk (Kaplan, 2015).	46
Çizelge 6.1: Hesaplamalarda kullanılacak maruziyet kabülleri (US-EPA,1997). ...	49
Çizelge 6.2: Seçilmiş kimyasalların potency faktörleri ve referans doz değerleri.	50
Çizelge 6.3: Hesaplamalarda kullanılacak kabüller.	50
Çizelge 6.4: Su kirletici (bromat, arsenik, cıva, kurşun) değerleri (İSKİ, 2019)	51
Çizelge 6.5: Hava kirletici (benzen, toluen) değerleri (Tavşan, 2010).	51
Çizelge 6.6: Hava kirletici (formaldehit) değerleri (Aksakal, 2009).	52
Çizelge 6.7: Hesaplamalardan alınan değerler ile elde edilen risk/tehlike indeksi değerleri.	69
Çizelge 6.8: İTASHY ve SKHKKY'dan alınan değerler ile elde edilen risk/tehlike indeksi değerleri.	69



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 5.1: Risk değerlendirmesi basamakları.	29
Şekil 5.2: Risk değerlendirmesi basamakları (Topuz, 2009).	31
Şekil 5.3: Bir tehlikeli atık sahasından kirleticilerin taşınması (U.S. EPA, 1956). ...	35
Şekil 5.4: Tehlikeye maruz kalma değerlendirme süreci (US-EPA, 1989).	36
Şekil 5.5: Kanserojen maddeler için doz-tepki ilişkisi.	40
Şekil 5.6: Kanserojen olmayan bir kimyasal için doz-tepki ilişkisi.	41





İÇME SUYU ALIMI VE HAVA SOLUNMASI İLE MARUZ KALINAN SAĞLIK RİSKLERİNİN STANDARTLAR BAZINDA DEĞERLENDİRİLMESİ

ÖZET

Bu çalışmada amaçlanan seçilmiş 7 tane kanserojen ve kanserojen olmayan kimyasalın su ve/veya hava yolu alımları ile insanlar üzerinde oluşturdıkları sağlık risk değeri ya da tehlike indeksini belirlemektir. Bromat, benzen, arsenik, cıva, kurşun, formaldehit ve toluen bu çalışmada kullanılacak 7 kimyasaldır.

Risk değeri ya da tehlike indeksi belirlenirken kullanılan hesaplamalar detaylı bir şekilde ilgili bölümde anlatılmıştır. Kullanılan konsantrasyon değerleri seçilirken ise bazı tez çalışmalarından ve İSKİ'nin ölçmüş olduğu su kalite raporlarından yararlanılmıştır. Ayrıca ulusal mevzuatlarda belirlenmiş olan sınır değerlerde konsantrasyon değeri gibi kabul edilmiş ve risk/tehlike indeksi değerleri hesaplanmıştır. Hesaplamalar yapılırken bazı kabullerden yapılmış ve bu kabuller tablo halinde listelenmiştir.

Örnek çalışmalar verilmeden önce; seçilmiş olan 7 tane kimyasalın su ve hava için ulusal ve uluslararası mevzuatlarda belirlenmiş olan sınır değerleri Bölüm 2 ve Bölüm 3'te verilmiştir.

Bölüm 4'te ise seçilmiş olan bu 7 kimyasal için kısa literatür bilgileri verilmiştir. Kimyasalların fiziksel ve kimyasal özelliklerinden çok kısa bahsedilmiştir. Kimyasalların doğadaki oluşum yolları ve günümüzdeki kullanım alanları anlatılmıştır. Ayrıca bu kimyasallara insanların nasıl maruz kaldıklarından ve maruziyet sonucu oluşabilecek etkilerinden de bahsedilmiştir. Her bir kimyasalın kanserojenlik bilgisi hakkında bilgi verilmiştir.

Bölüm 5'te ise risk değerlendirme hakkında literatür bilgisi verilmiştir. Risk tanımı ile başlayan bu bölüm, risk değerlendirme yönteminin basamaklarını tanımlama ile devam etmiştir. Risk değerlendirme yönteminin adımları olan tehlikelerin tanımlanması, tehlikeye maruz kalmanın değerlendirilmesi, doz-tepki değerlendirilmesi ve risk karakterizasyonu adımları anlatılmıştır.

Risk karakterizasyonu bölümünde riskin veya tehlike indeksinin nasıl hesaplanacağı verilmiştir. Kanserijen ve kanserojen olmayan kimyasallar için farklı hesaplama olduğu görülmüştür. Kanserijen olan kimyasallar için belirlenen değer risk iken, kanserojen olmayan maddeler için belirlenen değer tehlike indeksidir. Bu farklılığın nedeni risk hesaplanırken, kanserojen kimyasallar için kullanılan değer potency faktörü ve kanserojen olmayan kimyasallar için kullanılan değer ise referans doz değeri olmasıdır.

Son bölüm olan Bölüm 6'da Bölüm 5'teki bilgiler ışığında, örnek çalışmalarla risk ve tehlike indeksi hesaplamaları yapılmıştır ve bulunan değerler yorumlanmıştır. Örnek hesaplamalarda kullanılan değerler İSKİ'nin yayınlamış olduğu su kalite raporlarından

ve bazı tez çalışmalarından alınmış değerlerdir. Ayrıca ulusal mevzuatlarda belirlenmiş olan sınır değerler de tez çalışması için veri olarak değerlendirilmiş, bu değerlere de heslamalar yapılmıştır.



EVALUATION ON THE BASIC OF STANDARTS OF HEALTH RISKS EXPOSED BY DRINKING WATER INTAKE AND AIR INHALATION

SUMMARY

Humans are exposed to chemicals in 3 different ways; by drinking or eating, by inhalation, by skin contact. In order to protect people from health hazards caused by these different exposures and chemicals, limit values are set for various chemicals in water, air, and other regulations.

It can be assumed that the limits of the chemicals set for a particular recipient environment are sufficient to protect human health. However, when exposed to the same chemicals from two or three different environments at the same time, the question of whether the limits set separately in each regulation is sufficient to protect human health comes to mind.

Therefore, it is necessary to understand whether the limit value set for a single receiving environment can protect human health when people are exposed to water and air at the same time, ie to know whether there is a need to make a cumulative assessment for a chemical pollutant that will be exposed to water and air for a certain period of time. is required.

For this purpose, risk limits were determined separately for the limits set in the regulations and it was tried to determine whether the results could be reached by calculating the exposure levels.

The aim of this study is to evaluate the accuracy or adequacy of human health and environmental risks caused by selected water and air pollutants by comparing the values obtained with the risk calculations to the limit values determined by the current national and international legislation. As a result, it will be possible to reach the information whether the limit values determined for water pollutants alone or for air pollutants alone are sufficient in terms of protecting human health and control will be provided.

For this purpose, the national and international upper limit values given in the legislation in terms of human health are given for selected water and air pollutants in the first stage of the study. Differences can be observed by presenting these limit values comparatively in the table. Or, in some legislation, it will be seen that no upper limit is set for some pollutants.

In the second stage of this study, brief information about selected chemicals will be given. Information about physical, chemical properties, routes of exposure, areas of use and carcinogenicity of chemicals are explained at this stage.

In the third section, a risk assessment will be mentioned. The risk assessment referred to here is the environmental risk assessment. First of all, risk definition and environmental risk definitions are made. Environmental risk assessment and management is considered as an assessment of the risk arising from a hazardous waste

for human health and/or a landfill. Following these definitions, risk characterization and risk assessment were performed.

In the last part of this study, 7 chemicals which are included in national and international legislation published with drinking water and air, both in drinking water and air, which have the potential to cause health problems in case of intake by drinking and breathing water have been selected and given for these chemicals. risk assessment calculations were made based on limit values. With these risk assessment accounts, people;

- 1- The value they are exposed to only with the pollutants they take from the water,
- 2- Value to which it is exposed only with the pollutant it takes from the air,
- 3- or the value to which they are exposed when they are taken at the same time, tried to find.

The aim of this study was to determine the health risk value or hazard index of 7 selected carcinogens and non-carcinogens on humans through water or airway intake. Bromate, benzene, arsenic, mercury, lead, formaldehyde and toluene are the 7 chemicals to be used in this study.

The calculations used in determining the risk value or hazard index are explained in detail in the related section. While selecting the concentration values, several thesis studies and water quality reports measured by İSKİ were used. In addition, the limit values specified in the national legislation were accepted as concentration value and risk/hazard index values were calculated. A few assumptions were made during the calculations and these assumptions were listed in a table.

Before the sample studies are given; the limit values of aforementioned 7 chemicals for water and air, which are determined in national and international legislation, are given in Chapter 2 and 3.

Chapter 4 provides brief literature information for these 7 selected chemicals. The physical and chemical properties of chemicals are mentioned very briefly. The paths of formation of chemicals in nature and their usage areas are explained. In addition, it is mentioned how people have exposed to these chemicals and their effects as a result of exposure. Carcinogenicity information of each chemical is given.

In Chapter 5, literature information about risk assessment is emphasized. Starting with the definition of risk, this section continues with defining the steps of the risk assessment method. The steps of the risk assessment method are the identification of hazards, the assessment of exposure, the dose-response assessment and the risk characterization steps.

The risk characterization section describes how to calculate the risk or hazard index. It has been found that there are different calculations for carcinogenic and non-carcinogenic chemicals. The value determined for the carcinogenic chemicals is a risk, while the value for non-carcinogenic substances is the hazard index. The reason for this difference is that when calculating risk, the value used for carcinogenic chemicals is the potency factor and the value used for non-carcinogenic chemicals is the reference dose value.

In light of the information in Chapter 5, Chapter 6, which is the last chapter, risk and hazard indices have been determined and interpreted with case studies. The values used in the sample studies are taken from the water quality reports published by İSKİ

and taken from some thesis studies. In addition, the limit values specified in the national legislation constitute data for this thesis and calculations have been made with these values.





1. GİRİŞ

İnsanlar, kimyasal maddelere 3 farklı şekilde maruz kalabilmektedirler; içme veya yeme yoluyla, solumayla, deri teması ile. İnsanların, bu farklı maruziyetler ile kimyasal maddelerin sebep olacağı sağlık ile ilgili tehlikelerden korunması amacıyla, su, hava ve diğer yönetmeliklerde çeşitli kimyasal maddeler için limit değerler konulmuştur. Belirli bir alıcı ortam için konulmuş kimyasal madde limitlerinin, insan sağlığını korumak için yeterli olduğu kabul edilebilir. Ancak, aynı anda iki veya 3 farklı ortamdaki aynı kimyasala maruz kalındığında, herbir yönetmelikte ayrı ayrı konulmuş limitlerin, insan sağlığını korumak için yeterli olup olmadığı sorusu akla gelmektedir. Dolayısıyla, insanların suya, havaya maruziyetleri aynı anda olduğunda, sadece bir alıcı ortam için konulmuş limit değerinin insan sağlığını koruyup koruyamayacağının anlaşılması, yani, belirli bir süre hem sudan hem de havadan maruz kalınacak bir kimyasal kirletici için, kümülatif bir değerlendirme yapma ihtiyacının olup olmadığının bilinmesi gerekmektedir. Bu amaçla, yönetmeliklerde konulmuş limitler için ayrı ayrı risk değerlendirme yapılarak, maruziyet mertebelerinin hesaplanması yöntemiyle sonuca gidilip gidilemeyeceği anlaşılmaya çalışılmıştır.

1.1 Çalışmanın Amacı

Bu çalışmanın amacı seçilmiş bazı su ve hava kirleticilerinin neden olduğu çevresel risklerin, risk hesaplamaları ile elde edilen değerlerinin mevcuttaki ulusal ve uluslararası mevzuatlarla belirlenmiş olan limit değerler ile kıyaslanıp, insan sağlığı için doğruluğunun veya yeterliliğinin kontrol edilmesi, tartışılmasıdır. Bunun sonucunda tek başına su kirleticileri için veya tek başına hava kirleticileri için belirlenmiş olan limit değerlerinin insan sağlığını korumak açısından yeterli olup olmadığı bilgisine ulaşılabilecek, kontrolü sağlanabilecektir.

Bu amaç doğrultusunda çalışmanın ilk aşamasında verilen, seçilmiş bazı su ve hava kirleticileri için insan sağlığı açısından mevzuatlarda belirlenmiş olan ulusal ve uluslararası üst limit değer bilgileridir. Bu limit değerlerinin karşılaştırılmalı olarak tabloda

sunulması ile aradaki farklar gözlenebilir. Ya da bazı mevzuatlarda kimi kirleciler için herhangi bir üst limit belirlenmediği görülecektir.

Bu çalışmanın ikinci aşamasında seçilmiş olan kimyasallar hakkında kısa bilgiler verilecektir. Kimyasalların fiziksel, kimyasal özellikleri, maruziyet yolları, kullanım alanları, kanserojenlikleri hakkında bilgi bu aşamada anlatılmıştır.

Üçüncü bölümde ise risk değerlendirmesinden bahsedilecektir. Burada bahsedilen risk değerlendirmesi çevresel risk değerlendirmesidir. Öncelikle risk tanımı ve çevresel risk tanımları yapılmıştır. Çevresel risk değerlendirmesi ve yönetimi, insan sağlığı açısından tehlikeli bir atık ve/veya atık sahasından kaynaklanan riskin değerlendirilmesi şeklinde ele alınmıştır. Bu tanımlamaların akabinde risk karakterizasyonu ve risk değerlendirmesi yapılmıştır.

Bu çalışmanın son bölümünde, içme suyu ve hava ile yayınlanmış ulusal ve uluslararası mevzuatlarda yer alan ve hem içme suyunda hem de havada bulunan, su içme ve hava soluma yoluyla alımı durumunda sağlık sorunlarına sebep olma potansiyeli olan 7 adet kimyasal madde seçilmiş ve bu kimyasallar için verilmiş limit değerler baz alınarak, risk değerlendirme hesapları yapılmıştır.

Yapılan bu risk değerlendirme hesapları ile insanların;

- 1- Sadece sudan aldıkları kirletici ile maruz kaldığı değer,
 - 2- Sadece havadan aldığı kirletici ile maruz kaldığı değer,
 - 3- Ya da ikisini aynı anda aldığı anda maruz kaldığı değer,
- bulunmaya çalışılmıştır.

2. ULUSAL VE ULUSLARARASI İÇME SUYU STANDARTLARI

Ulusal ve uluslararası mevzuatlarda, hem içme suyunda hem de hava yoluyla alınması durumu dikkate alınarak seçilen 7 kimyasal madde için, su kalitesi için verilmiş limit değerler aşağıdaki bölümlerde açıklanmıştır.

2.1 Ulusal İçme Suyu Standartları

Ülkemizde su kalitesi ile ilgili bilgiler, Sağlık Bakanlığı tarafından 07.02.2005 tarih ve 25730 sayılı R.G.'de yayımlanan İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik (İTASHY) ve Nisan 1997 tarihli 13.060.20 ICS kodlu TS 266 Sular-İçme ve Kullanma Suları Standardında verilmiştir. Aşağıdaki Çizelge 2.1'de İTASHY ve TS 266 Standardının karşılaştırılmalı hali verilmiştir.

Çizelge 2.1: Ulusal içme suyu standartları ve kirleticiler için limit değerleri.

Örnek Kirleticiler	İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik	TS 266 Sular-İçme ve Kullanma Suları
Standartlar		
Bromat (mg/L) (yan ürün)	0,01	-
Benzen (mg/L) (organik)	0,001	-
Arsenik (mg/L) (inorg.)	0,01	0,05
Kurşun (mg/L) (inorg.)	0,01	0,05
Cıva (mg/L) (inorg.)	0,001	0,001
Formaldehit (mg/L) (yan ürün)	-	-
Toluen (mg/L) (organik)	-	-

2.2 Uluslararası İçme Suyu Standartlarının Karşılaştırılması

Uluslararası içme suyu limit değerleri farklı ülkeler için olmak üzere aşağıdaki Çizelge 2.2'de verilmiştir.

Çizelge 2.2: Uluslararası içme suyu standartları ve kirleticiler için limit değerleri.

Örnek Kirleticiler Standartlar	Almanya İçme Suyu Yönetmeliği (TrinkwV 2001)	Rusya Federasyonu Sağlık Bakanlığı	Japon Sağlık Bakanlığı	Avrupa Birliği İçme Suyu Direktifi	ABD Çevre Koruma Ajansı (US-EPA)	Dünya Sağlık Örgütü (WHO)
Bromat (mg/L) (yan ürün)	0,01	-	0,01	0,01	0,01	0,01
Benzen (mg/L) (organik)	0,001	0,01	0,01	0,001	0,005	0,01
Arsenik (mg/L) (inorg.)	0,01	0,05	0,01	0,01	0,01	0,01
Kurşun (mg/L) (inorg.)	0,01	0,03	0,01	0,01	0,015	0,1
Cıva (mg/L) (inorg.)	0,001	0,0005	0,0005	0,001	0,002	0,006
Formaldehit (mg/L) (yan ürün)	-	-	0,08	-	-	-
Toluen (mg/L) (organik)	-	0,5	-	-	1	0,7

3. ULUSAL VE ULUSLARARASI HAVA KALİTESİ STANDARTLARI

Ulusal ve uluslararası mevzuatlarda, hem içme suyunda hem de hava yoluyla alınması durumu dikkate alınarak seçilen 7 kimyasal madde için, hava kalitesi için verilmiş limit değerler aşağıdaki bölümlerde açıklanmıştır.

3.1 Ulusal Hava Kalitesi Standardı

Ülkemizde hava kalitesi ile ilgili standartlar, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından 06.06.2008 tarih ve 26898 sayılı R.G.'de yayımlanan Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliği (HKDYY)'nde ve 03.07.2009 tarih ve 27277 sayılı R.G.'de yayımlanan Sanayi Kaynaklı Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği (SKHKKY)'nde verilmiştir. Aşağıdaki Çizelge 3.1'de HKDYY ve SKHKKY karşılaştırılmalı hali verilmiştir.

Çizelge 3.1: Ulusal hava kalitesi standartları ve kirleticiler için limit değerleri.

Örnek Kirleticiler	Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliği	Sanayi Kaynaklı Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği
Standartlar		
Bromat (yan ürün)	-	-
Benzen (mg/Nm ³) (organik)	0,005	5
Arsenik (mg/Nm ³) (inorg.)	-	0,20
Kurşun (mg/Nm ³) (inorg.)	0,00005	1
Cıva (mg/Nm ³) (inorg.)	-	0,20
Formaldehit (mg/Nm ³) (yan ürün)	-	20
Toluen (mg/Nm ³) (organik)	-	100

3.2 Uluslararası Hava Kalitesi Standartlarının Karşılaştırılması

Uluslararası hava kalitesi limit değerleri farklı ülkeler için olmak üzere aşağıdaki Çizelge 3.2’de verilmiştir.

Çizelge 3.2: Uluslararası hava kalitesi standartları ve kirleticiler için limit değerleri.

Örnek Kirleticiler	OSHA	ACGIH	NIOSH	WHO
Standartlar				
Bromat (mg/Nm ³) (yan ürün)	-	-	-	-
Benzen (mg/Nm ³) (organik)	3,19	31,9	0,319	-*
Arsenik (mg/Nm ³) (inorg.)	5	0,01	5	***
Kurşun (mg/Nm ³) (inorg.)	0,05	0,05	0,05	0,05
Cıva (mg/Nm ³) (inorg.)	0,1	0,025	0,05	1 µg/m ³
Formaldehit (mg/Nm ³) (yan ürün)	0,75	0,37	0,01	-
Toluen (mg/Nm ³) (organik)	753	188,25	375	-

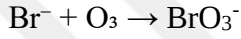
*Özel bir kılavuz değeri geliştirilmemiştir. Benzen insanlara kanserojendir ve güvenli düzeyde maruz kalma önerilemez.

**Güvenli bir klavuz değeri belirlenmemiştir.

4. SEÇİLEN KİMYASALLARIN TOKSİSİTESİ

4.1 Bromat

Bromat anyonu, BrO_3^- , brom bazlı bir oksoanyondur. Bromat, bu iyonu içeren kimyasal bir bileşiktir. Bromatların örnekleri arasında sodyum bromat ve potasyum bromat bulunur. İçme sularında bromat çok farklı şekillerde oluşur. En yaygın olanı aşağıdaki ozon ve bromür tepkimesidir;



Bromat (BrO_3^-) kimyasalı sularda doğal olarak bulunan bir kimyasal değildir. Fakat doğal kaynak sularında doğal olarak bulunan bromür (Br^-) ve amonyak iyonunun (NH_4^+) varlığında, ozonlama prosesi süresince oluşmaktadır. Bromürün sularda bulunmasının doğal nedeni, toprak gibi bir substrat materyal ile etkileşimidir ve bromür; bromat oluşumunun öncü iyonudur (EYİ, 2015).

Bromürün sularda bulunmasının kaynağı; insan kaynaklı etkenler ve doğal etkenlerdir. İnsan etkileri; pestisitler, ilaçlar, benzin atıkları ve su arıtım sistemleridir. Bromat oluşumunun artışı da, bromür konsantrasyonunun fonksiyonu ve ozon miktarı ile temas süresi çarpımı olarak verilmiştir (EYİ, 2015).

Bromat asidi, eczacılık sektöründe, boyacılık sektöründe ve kimya sektöründe çeşitli kimyasal madde üretiminde kullanılmaktadır. Genelde baryum bromat çözeltisine sülfat asit ilave edilerek elde edilmektedir. Bromat asidi 100 derece sıcaklıkta bozunmakta ve oksijen ve broma dönüşmektedir. Bromat asidinin tuzlarına da bromat denmektedir.

İçme ve kullanma suları dezenfekte edilirken, bromat iyonu meydana gelmektedir. Ozonlama sırasında oluşan bromat iyonu kanserojen özelliktedir. Bu yüzden içme ve kullanma sularında brom ve bromat analizleri yapmak çok gereklidir.

Dezenfeksiyon sırasında suda bromür varsa, kanserojen özellikler taşıyan bazı bromlu bileşikler oluşmaktadır. Serbest klorlar ile birlikte bulunan bromdan oluşan bromür tuzları, ozonlama ile birlikte bromata dönüşmekte ve bu defa sularda bromat kirliliği

görülmektedir. Kısaca içme sularının dezenfekte edilmesinde ozon kullanıldığı zaman, eğer su bromür içeriyorsa bromat ve diğer bromlu yan ürünleri oluşmaktadır.

Bromür iyonunun tek başına insan sağlığı üzerinde olumsuz bir etkisi görülmemiştir. Fakat bromat oluşumu mutajenik ve kanserojenik risk olarak belirtilmektedir. İçerisinde bromat bulunan içme suyu vücuda girdiği zaman, böbrek, karaciğer ve merkezi sinir sistemi üzerinden tahribata yol açmaktadır. Bunun yanı sıra kanser riski taşımaktadır.

Bromatın toksikolojik semptomları, gastrointestinal iritasyon, depresyon ve böbrek yetmezliği olarak belirtilmiştir. Ozonlama prosesinde dezenfeksiyon yan ürünü olarak ortaya çıkan bromat kimyasalı, genotoksik kanserojen olarak değerlendirilmektedir.

Bromat aynı zamanda mide bulantısı, istifra etme, karın ağrısı, anüri, diyare, hemolitik anemi ve akciğer ödemi gibi bazı toksik etkilere sahiptir. Bromatın nörotoksik oluşumları tetiklediği; yüksek dozlarındaki kullanımının duyma kaybı ve kulak salyangozunda doku zedelenmesine sebep olduğu belirtilmektedir. Fakat bu etkilerin, insanın günlük tükettiği su miktarından çok daha fazla oranda bromat maddesine maruz kaldığında ortaya çıktığı tespit edilmiştir (EYİ, 2015).

Bromat içeren suyun laboratuvar koşullarında hayvanlar tarafından tüketilmesi ile birlikte, hayvanlarda böbrek tümörlerinin olduğu gözlenmiştir (Ratpudki ve diğ., 2011). Çeşitli hayvanlarda yapılan deneyler bromatın hayvanın genetik materyaline zarar vererek kanser oluşumunu tetiklediğini göstermiştir (EYİ, 2015).

Hayvanlar üzerinde gerçekleştirilen testler sonucu bromatın kanserojen olduğunun anlaşılması, ozon ile muamele gören içme sularında bromat ile ilgili yasal bir düzenlemeye ihtiyacı gerektirmiştir. Bromat konsantrasyonunu düşürmeye yönelik 3 temel yaklaşım oluşturulmuştur. İlk yaklaşım bromür ve doğal organik maddeler gibi bromat oluşumunu destekleyen parametreleri ozonlama prosesinden önce azaltmaktır. İkinci yaklaşım ozonlama işlemi süresince bromat oluşumunu ozonlama modifikasyonları ile engellemektir. Üçüncü yaklaşım ise oluşan bromatı fiziksel veya kimyasal metotlar ile azaltmaktır (EYİ, 2015).

İçme sularında bromat için tartışılan yasal düzenleme üç temel faktöre bağlıdır:

- Bromatın toksisitesi
- Doğal sulardaki tayin limiti
- Dezenfeksiyon güvenilirlik kriteri (Soyer, 2003)

Amerika Çevre Koruma Ajansı (EPA) da son yıllarda bromat üzerinde daha fazla durmaktadır ve bu kirlilik çeşidi için 0,01 ppm sınır değeri belirlemiştir. İçme sularında bromatın 0,5 µg/l ve daha düşük olması durumunda, sağlık üzerine olumsuz bir etkisi bulunmamaktadır. Bunun yanında bromür içeren sularda ozonlama sonucunda bromat oluştuğu için, ve ozonlama sonucu bromat oluştuğundan sonra, bromatı giderme işlemi güç olduğu için başka bir dezenfeksiyon yöntemi kullanılması önerilmektedir.

US-EPA, her gün 5 µg/l bromat konsantrasyonuna sahip 2 litre su içen 70 kg'lık bir yetişkin üzerinde risk değerlendirmesi çalışmaları yürütmüştür: yaşam süresi riski 10^{-4} olarak hesaplanmıştır. Bu değerin anlamı bromat alımı nedeniyle her 10.000 kişiden birinin kansere yakalanabileceğidir.

US-EPA 0,05; 0,5 ve 5µg/L BrO_3^- değerleri için kanser risk seviyelerini sırasıyla 10^{-6} , 10^{-5} ve 10^{-4} olarak tahmin etmektedir (Soyer, 2003).

Yetkili laboratuvarlarda, kimyasal testler kapsamında içme ve kullanma sularında bromat tayini çalışmaları yapılmaktadır. Bu çalışmalarda yerli ve yabancı kuruluşlar tarafından çıkarılan standartlar esas alınmaktadır.

Bromat suda çözünabilirliği ve inert olması sebebi ile su sistemlerinden uzaklaştırılması güç olan bir kimyasaldır (EYİ, 2015).

4.2 Benzen

Aromatik bileşiklerin en basiti benzendir. Ayrıca bilinen en eski organik bileşiklerden biridir. Kapalı molekül formülü C_6H_6 'dır.

Berrak, oda sıcaklığında renksiz, aromatik yapıda hoş kokulu bir sıvıdır. Son derece yanıcıdır. İyi bir organik çözücüdür. Kan hücrelerini öldürme etkisi olduğundan kanser yapan bileşikler arasına girer. Alkol, kloroform, eter, aseton, karbon tetra klorür, glasiyal asetik asit ve yağlara karışır. Organik çözücülerin çoğunda çözünür. Suda çözünürlüğü çok düşüktür. Buharları dumanlı bir alev çıkartarak yanar. Benzen, benzol, sikloheksatrin, fenilhidrit, kömür katranı naftası olarak da adlandırılır (MEB, 2012).

Benzen, gerek fiziksel özellikleri gerekse benzerlerine göre çok daha ucuz olması nedeniyle endüstride çok yaygın kullanılan çözücülerden biridir. Bu amaçla; kundura, çanta v.b. deri eşyalar ile karton kutu imalatında yapıştırıcı olarak, kuru temizleme,

madeni aletleri temizleme, matbaacılıkta boyaları eritme, silindirleri temizleme, oto ve yaldız boyaları eritme, seyreltme işlerinde kullanılır. Ayrıca kauçuk ve film sanayinde de geniş çapta kullanıma sahiptir. Boyaları inceltmek amacı ile yaygın olarak kullanılan tiner bileşiklerinin içinde de benzen bulunmaktadır.

Benzen, kimya ve ilaç sanayinde bazı maddelerin sentez yoluyla üretiminde de kullanılmakta olup, günümüzde üretilen benzenin yaklaşık yarısının stiren üretimi için kullanıldığı tahmin edilmektedir. Benzen, enerjetik değeri yüksek olduğundan bazen doğrudan, bazen de benzine karıştırılmak suretiyle yakıt olarak da kullanılmaktadır. Amerika Birleşik Devletleri'nde kullanılan benzinin yaklaşık % 2-3 oranında benzen, % 30-50 oranında diğer aromatikleri içerdiği bildirilmektedir. Benzen türevleri de sanayide yaygın olarak kullanılan maddelerdir. Örneğin; toluen, ksilen, boya ve yapıştırıcı sanayinde, anilin boya sanayinde, benzenin halojenli bileşikleri olan klorlu hidrokarbonlar pestisid olarak kullanılmaktadır.

Benzen vücuda daha ziyade solunum yolu ile alınır. Vücuda alınan benzenin yaklaşık %50'si absorbe olurken, geri kalanı yine solunum yolu ile dışarı atılır. Yiyecekler ve su ile sindirim yoluyla vücuda alınan benzen miktarı minimal düzeydedir. Deri yoluyla vücuda alınan benzen, organizmaya ciddi zararlar verecek kan konsantrasyonlarına ulaşamaz. Bununla birlikte deri yoluyla absorpsiyonun ciddiyeti, maruziyet süresinin kısaltılması ve maruz kalan deri yüzeyi alanının küçültülmesi sağlanarak azaltılabilir (Tözün ve diğ., 2008).

Havada 10 ppm'in üzerinde bulunması insan sağlığı açısından sakıncalıdır. Zehirlenme hâli genellikle benzen buharlarının solunması ile ortaya çıkar. Deri yoluyla da organizmaya girerek zehirlenmeye neden olabilir.

Yüksek konsantrasyonda (3000 ppm veya üzeri) benzen buharına maruz kalındığında ani zehirlenme belirtileri ortaya çıkar. Bu belirtiler baş ağrısı, baş dönmesi, düzgün konuşamama, depresyon, derinin kızarması, solunum güçlüğü, mide bulantısı, kusma şeklinde görülür. Ortam değiştirilmediği takdirde koma veya ölüm hâli meydana gelebilir.

Ancak endüstride daha çok rastlanan zehirlenmeler kronik benzen zehirlenmeleri olup son derece önemlidir. Bu tür kronik olaylarda kan hücreleri tahrip olur ve alyuvar, akyuvar sayıları azalır. Belirtiler iştahsızlık, baş ağrısı, baş dönmesi, bulantı, güçsüzlük, sinirlilik, kilo kaybı şeklinde ortaya çıkar ve daha sonra burun ve

damarlarda kanamalar görülür. Benzen buharlarının olduğu ortamlarda sürekli çalışan işçiler periyodik kan kontrollerine tabi tutulmalıdır. Alyuvar veya akyuvar sayıları devamlı azalma gösteren ya da ard arda gelen aylık iki kontrolde akyuvar sayısı metreküpte 5000'in, alyuvar sayısı metreküpte 4.000.000'un altında bulunanlar hayati tehlikeye girmeden ortamdan uzaklaştırılmalıdır (MEB, 2008).

Mesleki ortamlarda benzene kronik yani uzun süreli maruziyet sonucunda ise, kırmızı kan hücrelerinin sayısının azalması ve anemi dâhil kanda çeşitli bozukluklar meydana gelmektedir. Yüksek seviyelerde benzene solunum yoluyla maruz kalan kadınların üreme sistemlerine etkileri rapor edilmiş ve fetüs üzerinde olumsuz etkileri hayvan deneylerinde gözlenmiştir. Mesleği gereği benzene maruz kalan insanlarda lösemi vakalarında artış görülmüştür. EPA tarafından benzen bütün maruziyet yolları için insan kanserojeni olarak sınıflandırmıştır (EPA, 2013).

Ani zehirlenme hâllerinde suni solunum yaptırılmalı gerekirse oksijen verilmelidir. Solunumu düzeltmek amacıyla adrenalin kullanılmalıdır. Benzenle çalışanlar koruyucu gözlük, yüz siperliği, kauçuk giysiler kullanılmalıdır.

Çevre sağlığı açısından içinde benzen bulunan atıklar bir fırın içine püskürtülmek suretiyle yakılmalıdır, yanmanın daha kolay olması açısından daha yanıcı bir çözelti ile karıştırmak uygun olabilir (MEB, 2008).

Sonuç olarak benzen, sanayide geniş bir kullanım alanına sahip olması ve sağlığa verdiği pek çok zarar nedeniyle iş sağlığı açısından önem arz etmektedir. Benzene mesleki maruziyeti olanlarda koruyucu önlem olarak işe giriş muayenesinde ve aralıklı kontrol muayenelerinde özellikle hematolojik yönden değerlendirme yapılması uygun olur (Tözün ve diğ., 2008).

4.3 Arsenik

Arsenik, kimyada As sembolü ile gösterilen ve metal ile ametal arasında özelliğe sahip olan bir elementtir ve bilinen en toksik metallere biridir, yerkabuğunda en yaygın olarak bulunan 20. elementtir (IARC, 2012). Kimyasal olarak hem metal hem de ametal özelliği gösterdiği için, yarı metal (metalloid) olarak sınıflandırılır (ATSDR, 2007).

Arsenik, 200'den fazla mineralin içerisinde bulunur. En yaygın olan arsenik minerali, arsenopirittir. Bakır, gümüş, kurşun, nikel, kobalt, antimon madenlerinde, sülfür formunda bulunmaktadır (WHO, 2001).

Arsenik doğal olarak meydana gelebilen, erozyon aracılığıyla su kaynaklarını kirletebilen ayrıca boya, metal, sabun, ilaç gibi endüstriyel ürünlerin, üretim proseslerinin yan ürünü olarak da doğaya karışabilen bir ağır metaldir. Arsenik topraktaki kayalarından, minerallerden, maden filizlerinden aşınarak ve çözünerek doğal yollardan su ortamına geçer.

Arsenik'in iki kökeni vardır; endüstriyel atıklardan kaynaklanan atık suyun deşarjı ve atıksuyun su kaynağına (yüzeysel sulara, yeraltı suyuna) sızması ya da tarım alanlarında kullanılan böcek öldürücülerin suya karışması ve su kalitesinin bozulması. Kirilenen kaynaktan içme suyu temin edilirse içme suyunda kirlilik kaynağına bağlı olarak arsenik gibi, ağır metaller ortaya çıkacaktır.

Arsenik doğal olarak da (örn. organik maddelere bağlı ya da element olarak) toprakta bulunabilir ve suyla (yağış ya da sulama suyu etkisi ile) çözülerek su kaynağında arsenik oranının artışına neden olabilir.

Bor madeni yatakları çevresindeki suda arsenik doğal olarak bulunmaktadır ve Türkiye bor madenleri açısından zengin bir ülkedir. Dünya bor yataklarının %70'i Türkiye'de bulunmaktadır, dolayısıyla arsenik oranını sıfıra indirmek mümkün değildir, arsenik olacaktır ama mümkün olan en düşük değerlerde arsenik olmalıdır (Özdemir, 2010).

Arsenik, intihar ve zehirleyerek adam öldürmelerde kullanılan bir kimyasaldır. Orta çağda arsenik sözcüğü zehir sözcüğüyle eş anlamda kullanılmaktaydı. Arsenik trioksit (AsO_3), renksiz ve kokusuz olduğu için yiyecek ve içeceklerde fark edilmemesi, zehirlenme belirtilerinin kansızlık ve kolera gibi hastalıklara benzemesi nedeniyle sık kullanılan bir zehirdir. Ancak analitik toksikolojideki zehirlenmenin kimyasal olarak tanımlanabilmesi ve diğer ilaçların da zehirlenme amaçlı kullanılması ile arsenikle zehirlenmeler azalmıştır (Yağmur ve Hancı, 2002).

Element halinde arsenik'in kullanım alanı oldukça kısıtlıdır; tüfek saçmalarına yuvarlak biçim vermek için kurşunda, tunç kaplamacılığında, bazı alaşımların yüksek sıcaklıklarda direncini artırmak için kullanılabilmektedir ve ayrıca As-72, As-74 ve

As-76 gibi radyoaktif izotopları ise tıpta tanı yöntemlerinde kullanılır. Arseniğin bileşikleri halinde de bazı kullanım alanları vardır.

Arseniğin metalik formda kullanılmasının herhangi bir faydası olmadığı için bu tür çalışmalar genellikle yapılmamaktadır. Endüstride arseniğin en bilinen uygulamaları yarı iletken teknolojilerinde ve lazer üretimindedir. Arsenik bileşikleri; uzun yıllar herbisit ve pestisitlerde de kullanılmıştır. Her yıl dünyada 50.000 tonun üzerinde üretilen arsenik türevlerinin yaygın kullanım alanı bulmaktadır (Yağmur ve Hancı, 2002).

Doğada doğal olarak da bulunabildiğinden dolayı arseniğe maruz kalmak insanlar açısından kaçınılmaz olmaktadır. Bu durum başlıca üç şekilde gerçekleşebilir; havanın solunması, yiyecek ve su tüketimi ve dermal absorpsiyon. Arsenik vücuda alındıktan sonra cilt, solunum, kalp ve damar, bağışıklık, genital ve üriner sistemler, üreme, sindirim sistemi ve sinir sistemini de içeren çok farklı organları etkilemektedir. Arsenik absorblandığında öncelikle karaciğer, akciğer, böbrek ve kalpte depolanmaktadır. Daha küçük miktarlarda da kas ve sinir dokusunda birikmektedir. Arsenik alımından iki veya dört hafta sonra, keratin sülfidril gruplar tarafından bağlanarak tırnak, saç ve ciltte birikmeye başlamaktadır.

Arsenik toksik ve kanserojendir, ancak ne kadar alındığı (miktarı), nasıl alındığı (solunarak, yenerek veya içilerek, temas sonucu) ve maruz kalınma sıklığı sağlık etkilerini belirler (Başkan ve Pala, 2009). İnsan sağlığı üzerinde en olumsuz etkiyi yapan arsenik bileşiği solunum yolu ile alınan arsenik hidrürdür (AsH_3).

İçme suyundaki arseniğin sağlık üzerine etkisi arsenik bileşiğinin formuna ve maruz kalma süresine çok bağlıdır. İçme suyundaki inorganik arsenik (III) bileşiği, sağlık üzerinde en etkin toksik etkiye sahiptir. İnorganik arsenik bileşikler, organik arsenik bileşiklerine göre çok daha toksiktir. Arsenik bileşiklerinin sudaki çözünürlüğü arttıkça toksisite etkisi artmaktadır. İçme suyu ile alınan inorganik arsenik (III) bileşiklerinin %80-90 bağırsaklar tarafından absorbe edilirken organik arsenik bileşiklerinin çok azı absorbe edilmektedir. Organik arsenik bileşiklerinin çoğu idrar yolu ile atılmaktadır (Öztürk, 2008).

İnorganik arsenik bileşikler de organik bileşiklerine göre 100 kez daha toksiktir. Uluslararası Kanser Araştırmaları Ajansı (IARC) tarafından arsenik 1. grup kanser yapıcı bileşikler arasında tanımlanmıştır.

Akut Arsenik Toksisitesi: Ağız yoluyla alınan 60.000 µg/L'den yüksek dozlar ölüme neden olmaktadır. Ölüme neden olmayan dozlarda kırmızı ve beyaz kan hücrelerinde azalma, kalp ritminde anormallik, kan damarlarında bozukluk, el ve ayak fonksiyonlarında zayıflık ve ensefalopati görülmektedir, birden başlayan kusma, karın ağrısı, kanlı ishal, fazla miktarda beden sıvı kaybına bağlı, kan basıncı düşmesi olmakta ve şok ile kişi kaybedilmektedir. Bu tür zehirlenmelerden kurtulanlarda sonradan kansızlık, karaciğer büyümesi, sinir iltihabı, idrar miktarında azalma ve derinin dövülmüş bakır gibi görünüm alması gibi rahatsızlıklar kalabilmektedir (Dönmez, 2011).

Kronik Arsenik Toksisitesi: Çoğu kez uzun yıllar arsenik içeren suların içilmesi, altın, çinko, kalay, gümüş gibi minerallerin arıtılması sırasında, iç ortamda ve çevreden arsenik solunması sonucunda meydana gelir. İnsanda arseniğin kronik toksik etkilerine ait veriler; başlıca kanser dışındaki toksik etkiler (hematolojik sistem, üreme ve gelişimsel sistem, damarsal sistem, deri lezyonları, diabetes mellitus ve solunum sistemi) ve kanserojenik etkiler (akciğer, mesane, deri, böbrek ve karaciğer) olarak ortaya çıkmaktadır (Dönmez, 2011).

Arseniğin, içme ve kullanma sularında bulunmasına izin verilen miktarlarda veya bu miktarların altında meydana getirebileceği sağlık riskleri konusunda yeterli bilimsel kaynak bulunmamakta, bunun yanı sıra sulardaki arsenik miktarının daha da azaltılması ile sağlığa olumlu katkı sağlanıp sağlanamayacağı da bilinmemektedir. Bazı araştırmacılar arsenik alımının azaltılmasının ciddi sağlık sorunlarına yol açacağını ileri sürerken sulardaki arseniğin tamamen yok edilmesi gerektiğini çok az da olsa iddia edenler vardır.

Türkiye genelinde bazı bölgelerde kırsal alanlarda yaşayanların ve özellikle kuyu suyu kullananların 10 µg/L üzerinde arsenik içeren suyu tüketme ihtimallerinin yüksek olduğu söylenebilir. Çünkü yukarıda da açıklandığı gibi yeraltı kaynaklı içme sularının içindeki arseniğin kaynağı topraktır. Kuramsal bazı bilgilere göre içme sularındaki arsenik üst sınırlarını yeniden düzenlemeye çalışmak, “çoğu zararlıysa azı da zararlıdır” yaklaşımıyla milyonlarca insanı ilgilendirecek girişimlerde bulunmak sorun yaratabilir. Bu nedenle Amerika Çevre Koruma Birimi 2001 yılında, 2006'dan itibaren içme suları için arsenik üst sınırını 10 µg/L'ye indireceğini açıklarken, konu hakkında bilimsel verilerin yetersiz olduğunu ve beş yıllık geçiş süreci içinde konuyla ilgili çalışmalara ağırlık verileceğini açıklamıştır. Gelecekte iz element olarak arsenik

eksikliğine bağlı sorunların çıkabilmesinden korkulmaktadır. Arseniğin, içme ve kullanma sularında bulunmasına izin verilen (10 µg/L ve altında) miktarlarda bilinen sağlık riski yoktur. 5-6 µg/L düzeyinin sağlık etkisi oluşturduğunu ve kanser oranını artırdığı iddiaları tamamen tahmine dayanmaktadır, bilimsel dayanaktan yoksun olup kontrollü çalışmalar değildir (Dönmez, 2011).

4.4 Kurşun

Kurşun yeryüzünde doğal olarak bulunan, atom numarası 82, atom ağırlığı 207,2 gr/mol ve yoğunluğu 11,34 gr/cm³ olan mavi-gümüş renkte parlak bir elementtir. Ağır metaller arasında yer alan kurşun, kullanılmakta olan en eski metallerden biridir. Endüstri kuruluşlarında sıkça kullanılan kurşun, ayrıca yer kabuğunda doğal olarak bulunan metaller arasındadır. Yeryüzünde genelde bileşik formda bulunan kurşun, organik ve inorganik kurşun olarak iki gruba ayrılmaktadır (Çetinkaya, 2018) (ATSDR, 2019).

Değişik fiziksel ve kimyasal kombinasyonlarıyla kurşun, sanayide birçok alanda kullanılmaktadır. Yumuşak olması, işlenme kolaylığı, yüksek özgül ağırlığı, yüksek kaynama noktası, düşük erime noktası, aşınmaya karşı direnci, enerji absorpsiyonu, ve kısa dalga ışınları geçirmeme özellikleri ona bir çok kullanım alanında üstün bir yer yaratmaktadır. Son yıllarda kurşun yerine çeşitli malzemeler kullanılmaya başlanmış olmasına rağmen, akü imalatı, boya, kimya sanayinde ve metal alaşımı olarak sanayinin önemli bir girdisini oluşturmaktadır (Anonim, 2001).

Kurşunun ana kullanım alanı akü imalatı olup, yeraltı haberleşme kablolarının kurşunla izolasyonu, diğer önemli tüketim alanıdır. Korozyonu önleyen kurşun oksit boyalar, kabloların kaplanması, kurşun tetraetil ve tetrametil formlarında benzin içinde oktan ayarlayıcı bileşikler olarak, radyasyonu en az geçiren metal olması nedeniyle x-ışınlarından korunmada, renkli televizyon tüplerinin yapımında ve mühimmat imalinde önemli kullanım alanları bulmuştur (Anonim, 2001).

Kurşunun diğer kullanım alanları ise metal üretimi, pil üretimi, madencilik ve mineral, petrol rafinerisi, çimento üretimi, termik santraller, cam üretimi, seramik, fotoğrafçılık, tekstil, elektrik-elektronik ve otomotiv endüstrilerinin faaliyetleri, lastik üretimi gibi endüstrilerdir (Anonim, 2001).

Kurşuna çevresel ve mesleki olmak üzere iki şekilde maruz kalınır.

Çevresel maruziyet: Kurşun, hava, su ve toprak yoluyla besinlere karışarak biyolojik sistemlere giren son derece toksik özelliklere sahiptir. Kurşunlu boyalar, kurşunlu benzin ve endüstriyel kaynaklı kurşun toprak aracılığı ile çevreye yayılmaktadır. Kurşun biyodegradasyona uğramadığı ve bozulmadığı için toprakta birikerek sürekli maruziyet kaynağı oluşturabilmektedir.

Kurşunla kontamine olmuş yiyecekler, içme ve kullanma suları ve atmosfer, kozmetikler bunların yanı sıra alkol, tütün ve kurşunla sırlanmış çanak ve çömlekler kurşuna çevresel maruziyetin başlıca kaynaklarıdır.

Günümüzde, özellikle havaya karışan kurşunun kandaki kurşun düzeyini arttırdığı bilinmektedir. Kurşunlu benzin kullanımının yasaklandığı ülkelerde atmosferdeki kurşun düzeyi önemli ölçüde azalmıştır. Bununla beraber geri kalmış ve gelişmekte olan ülkelerde, halen kurşunlu benzin kullanılması, kurşuna çevresel maruziyetin önemli nedenlerinden biridir (Palaz, 2013).

Mesleki maruziyet: Kurşun ağır metaller içerisinde endüstride en geniş kullanım alanına sahip ve toksikolojik etkileri belirlenmiş bir metaldir. Kurşun yumuşak, tava gelen, şekil verilmeye müsait, bulunduğu yerden itilip çıkarılabilme özellikleri ve elde edilmesi ve işlenebilirliğindeki kolaylık nedeniyle sanayide 150'den fazla iş kolunda kullanılmaktadır. Bu sebeple çok değişik alanlarda kurşuna maruziyet söz konusudur.

Saf metal olarak kurşun, akü, levha, yapı kaplamaları, tel ve kablo imalatında kullanılmaktadır. Sık ve yaygın kullanılan bileşikler ise, patlayıcı fitili olarak kurşun dioksit, boya imalatında kurşun klorür, kauçuk sanayinde ve üstübeç olarak kurşun beyazı, lastik endüstrisinde yapıştırıcı olarak kurşun sülfat ve oksitleri, kurutucu olarak kurşun naftenattır. Endüstride kullanılan organik kurşun bileşikler ise motorlarda patlama önleyici olması nedeniyle benzine katılan tetraetil ve tetrametildir. Ayrıca kurşun kozmetik malzemelerde bulunan pigment ve diğer ana maddelerde, kuyumculuk işlemlerinde altının geri kazanımında ve sigara üretiminde de kullanılmaktadır.

Çalışma ortamında kurşun maruziyeti bakımından en riskli uygulama kurşunun eritilmesi safhalarıdır. Çünkü kurşun buharı içinde erimiş kurşunun mikron düzeyinde partikülleri vardır. Solunum yolu ile vücuda alınan kurşunun 5 µm'den büyük partiküller üst solunum yollarında, daha küçükleri ise alveollerde çöker ve kurşun alveollerden kana karışır.

Özellikle kurşun madenleri ve metal endüstriler, akü ve pil fabrikaları, petrol rafinerileri, boya endüstrisi ve patlayıcı sanayi gibi kurşun kullanılan iş kollarında çalışan işçiler, meslekleri gereği kurşuna maruz kalmaktadırlar ve bu işçilerde akut ve kronik kurşun zehirlenmeleri görülmektedir. Bununla birlikte, özellikle çalışma koşulları sağlıklı olmayan işçilerin giyecekleri ya da işyerlerinden getirdikleri malzemeler aileleri, özellikle de çocukları için kontaminasyon kaynağı oluşturmaktadır. Amerikan Hastalık Kontrol ve Önleme Merkezi, ebeveynlerin işyerlerindeki kurşun tozunu araba veya iş kıyafetleri ile eve taşımalarının çocuklar için potansiyel bir maruziyet kaynağı olduğunu uzun zamandan beri belirtilmektedir (Palaz, 2013).

Uluslararası Kanser Araştırmaları Ajansı (IARC), 1980 yılında kurşun ve bileşiklerinin kanserojen olduğu hakkında yeterli delil bulunamadığını açıklamıştır. Ancak yapılan çeşitli çalışmalarda kurşunlu materyal kullanılan işyerlerinde çalışanlarda, özellikle mide, akciğer ve mesane kanserlerinin daha sık görüldüğü bildirilmiştir. Bunun üzerine Uluslararası Kanser Araştırmaları Ajansı 2004 yılında kurşun ve bileşiklerinin kanser ile olan ilişkisini yeniden gözden geçirmiş, kurşunun “İnsanlar için olası kanserojenler” arasında yer almasına karar vermiştir (Tözün, 2007).

Kurşun zehirlenmesi kentlerde ve kurşun kullanılan endüstri dallarında daha sık görülür. Kurşun zehirlenmesi akut veya kronik olabilir. Akut zehirlenmeler yüksek dozda kurşunla karşılaşılması sonrasında semptomların kısa sürede ortaya çıkması sonucu olarak, kronik zehirlenmeler ise daha uzun sürede oluşan vakalardır (Beker, 2014).

İnorganik kurşun bileşikleri solunum ve sindirim yoluyla, organik kurşun bileşikleri ise solunum, sindirim ve deri yoluyla vücuda alınır.

Kurşunun vücuda alınmasındaki en önemli yol solunum sistemidir. Solunum sistemi yüzeyinin çok geniş olması nedeniyle absorpsiyonun fazla ve çabuk olması, çok az miktarlarda dahi alınan kurşunun neden olduğu akut zehirlenmeleri açıklayabilir. Solunum ile vücuda alınan kurşun dioksit partiküllerinin yaklaşık %40'ı alveollerden absorbe olur. Atmosferdeki kurşun konsantrasyonu, günlük solunan hava hacmi, kurşunun solid veya buhar formda olması ve kurşun içeren partiküllerin çapı ve dağılım hacmi absorpsiyonu etkileyen önemli faktörlerdendir. Kurşunla kontamine

ellerin ağıza götürülmesi ile vücuda alınan kurşunun yaklaşık %8-10'u ince barsaklardan emilir. Sık aralıklarla yemek yeme kurşun emilimini azaltan bir faktördür. Açlık halinde veya kalsiyum, demir, fosfor ve çinko yönünden eksik beslenmede kurşunun barsaklardan emilimi artar. Organik kurşun bileşiklerinin az miktarda da olsa deri yolu ile doğrudan vücuda alınması söz konusudur (Tözün, 2007).

Vücuttaki kurşunun yaklaşık %92'si kemiklerde, %8'i ise yumuşak dokularda depolanır. Karaciğer ve böbrekler başta olmak üzere tüm yumuşak dokularda da depolanabilir (Tözün, 2007).

Kandaki kurşun miktarlarına göre; 40 µg'dan az ise normal, 40-80 µg ise kabul edilebilir, 80-120 µg ise tehlikelidir, 120 µg'den fazla ise çok tehlikeli kurşun zehirlenmesi var denebilir. Yetişkin bir kimse kanının 100 ml'sinde 80 µg kurşun bulunması zehirlenmenin önemli bir işaretidir (Beker, 2014).

Kurşunun çok çeşitli sağlık etkisi olduğu gösterilmiştir. Maruziyet sonucu kurşun, özellikle hematolojik sistem, gastrointestinal sistem (GİS), merkezi sinir sistemi, kardiyovasküler sistem (KVS), böbrekler, karaciğer gibi birçok sistemi ve organı etkilemekte; üreme sağlığı ile ilgili ciddi sorunlara yol açmaktadır (Palaz, 2013).

4.5 Cıva

Cıva kimyada Hg sembolü ile gösterilen ve atom numarası 80 olan gümüş renkli, oda sıcaklığında (25°C) sıvı halde bulunan 5 elementten (galyum, brom, sezyum, cıva ve fransiyum) biri olan ağır metaldir. Cıva uçucu bir element olduğundan oda sıcaklığında sürekli buharlaşır.

Cıva doğada; metalik (elementel) cıva, inorganik tuzlar ve organik bileşikler şeklinde bulunur ve her formu toksik etki oluşturabilir.

Ekosistemdeki cıvanın başlıca kaynakları çeşitli gıdalar, atmosfer ve amalgam dolgulardan salınan cıvadır. Cıva, yer kabuğu ve okyanuslardan atmosfere yılda 30.000 -150.000 ton kadar salınır ve tabiatta normal olarak bulunan bir elementtir. Atmosferde cıvanın % 99'u cıva buharı şeklinde bulunur. Cıva buharı atmosferde yıllarca değişmeden kalabilmektedir. Bu özelliği cıvanın atmosfer aracılığı ile her yere dağılmasına olanak sağlar. Atmosferde bulunan cıva konsantrasyonunun insanın temas ettiği cıvaya katkısı düşüktür.

Cıva, besin zincirine cıva içeren atıkların uygunsuz olarak göllere, okyanuslara, yeraltı kaynaklarına karışması sonucunda girer. Bu ortamlarda bulunan mikroorganizmalar inorganik cıvayı daha toksik olan metil cıvaya dönüştürürler. Daha sonra metil cıva mikroskobik su yosunları tarafından alınır ve bu organizmaların balıklar tarafından tüketilmesi ile de balıklarda birikmeye başlar. Metil cıva balıklarda ve deniz memelilerinde birikerek, sudaki besin zincirinin en üstünde bulunan avcı balıklarda en yüksek düzeylere ulaşır. İnsanlar bu tür balıkları tüketerek metil cıvaya maruz kalırlar. Bu balıklarla beslenen insanlarda yüksek oranda toksik maddeyi vücutlarına almış olurlar (Arık, 2016).

Endüstride birçok alanda kullanılan cıva floresan lambalarda, tansiyon aleti ve termometre gibi tıbbi aletlerde kullanılır. Diş hekimliğinde dolgu maddesi olarak kullanılan amalgamların %40-50'sini cıva oluşturur. Cıva kağıt hamur ve kağıt endüstrisinde beyazlatıcı olarak yaygın bir şekilde kullanılır. Kağıt fabrikalarında açığa çıkan atık sular iyi bilinen cıva kaynaklarından. Cıva üretim endüstrisinde plastik sentezinde katalizör olarak kullanılır (Özkan ve diğ., 2013).

Cıva buharlı lambalarda da kullanılır. Cıva buharlı lambalar, beyaz parlak bir ışık verir. Cıva buharı çok zehirlidir. Koklamak tehlikelidir. Aynaların sırlanmasında, altın ve gümüş üretiminde, tıpta tedavi maddesi olarak cıvadan faydalanılır. Bazı elektrik devre anahtarlarının yapımında da cıva kullanılır (Beker, 2014).

Endüstrileşme ile kullanımı artan cıvanın çevrede bulunma oranı da 3 kat artmıştır. Deniz ürünlerinde ufak miktarlarda cıva vardır. Fakat bazı av balıkları daha yüksek seviyelerde cıva içerirler ve düzenli olarak bunlar ile beslenildiğinde vücutta cıva birikimine yol açabilirler (Özkan ve diğ., 2013).

Metalik cıvayla temas, organik (ör. balıktaki metil cıva) ve inorganik (ör. boya) cıvaya göre daha az olur. Metalik cıva; günlük hayatımızda kullandığımız termometre, barometre, bazı piller, pompa, amalgam dolgu, termostat gibi çeşitli yerlerde bulunur. Metalik cıvaya, en çok cıvanın kullanıldığı sanayi alanlarında çalışan işçiler maruz kalır. Özellikle az havalandırılan alanlarda, cıva buharının toksik etkisine maruz kalılabilmektedir (Arık, 2016).

Cıvanın mesleki maruziyeti oldukça yaygındır. Bunlar; cıva madencileri, diş hekimliği, kloralkali sanayi, termometre fabrikaları çalışanlarıdır.

İnsanların cıvaya maruziyeti farklı formlarla ve yollarla (havanın solunması, yiyecek ve su tüketimi ve dermal absorpsiyon) olmaktadır. Genel nüfus cıvaya esas olarak diyet ve amalgam dolgular ile maruz kalmaktadır. Organik cıvanın en önemli kaynağı balıklar, metillenmiş cıvanın ise en sık kaynağı amalgam dolgular olmaktadır. Amalgam dolgulardan cıva salınması dolgu sayısı ve toplam amalgam dolgu yüzey oranı ile orantılıdır. Dolgulardan cıva salınmasını doğru tahmin etmek zordur, ancak dünya sağlık örgütünden uzman bir kurul amalgam dolgudan salınımın ortalama günde 10 µg olduğuna inanmaktadır. Diş gıcırdatma alışkanlığı bulunan kişilerin idrar cıva ölçümleri sonucu elde edilen bilgilere göre, bu kişilerde diğer kişilere nispeten daha fazla cıva salınmaktadır ve mevcut dolguların kaldırılmasını destekleyen yeterli kanıt yoktur.

Çoğu gıda malzemelerinde cıva konsantrasyonu oldukça düşüktür. Ancak kirli sularda bulunan balıklarda (kedi balığı, sazan) ve denizde bulunan balıklarda (köpekbalığı, tuna, kılıç balığı) cıva yüksek konsantrasyonlarda bulunabilir ve cıvanın neredeyse tamamı metil cıva şeklindedir. Metil cıvanın bu balıklarda 1 mg/kg ve hatta üzerinde olması nadir bir durum değildir (Arık, 2016).

Uluslararası Kanser Araştırma Ajansı (IARC) metil cıvanın insanlar için muhtemel kanserojen olduğunu (grup 2B), diğer cıva formlarının kanserojen olarak sınıflandıramayacağını (grup 3) bildirmiştir.

Cıvanın sistemik etkileri hayvan deneyleri ve otopsi çalışmaları ile, bazı doku hücrelerindeki ve organlardaki değişimlerin izlenmesi ve/veya cıvaya maruz kalmış bireylerde bazı sistemik fonksiyonların incelenmesi yoluyla değerlendirilmiştir. Cıvanın insan vücudundaki metabolizması, ne şekilde maruz kalındığına ve cıvanın; iyonik, organik veya elementer formda oluşuna bağlıdır. Akut ve kronik etkileri şu şekildedir.

Akut cıva toksisitesi: Deri ve kıllarda dökülmeler, sindirim sistemi rahatsızlıkları, vücutta sıvı kaybı, şişmeler, ödem, heyecan, titreme, refleks artışı.

Kronik cıva toksisitesi: Aşırı heyecan, diş etlerinde cıva çizgileri, diş kaybı, hızlı çoğalan dokularda hasar, karaciğer ve böbrek hastalıkları, otizm (Özkan ve diğ., 2013).

4.6 Formaldehit

Metanal, metilen oksit, oksimetilen, metil aldehit, oksometan ve formik aldehit olarak da bilinen formaldehit keskin ve rahatsız edici kokulu, oda sıcaklığında renksiz, zehirli bir gazdır. Aldehitlerin en basit üyesidir ve doğada en yaygın bulunan şeklidir. CH_2O formülüne sahip formaldehit sıvı olarak metanolün oksidasyonundan elde edilir. Formaldehit, oda sıcaklığında kolaylıkla sıvı halden gaz hale geçebilen yanıcı bir maddedir. Suda kolayca çözünerek formalin denen sulu çözeltiyi meydana getirir. Etki edebilmesi için % 60-80 nem ve 18°C ısı gerekir. Kolayca polimerleşen Formaldehit, canlılar açısından toksik olabilmektedir. Dünyada birçok üründe önemli hammadde olarak kullanılan formaldehitin sağlayacağı faydaların yanında potansiyel sağlık risklerine de yol açtığı belirtilmektedir (ATSDR, 2008).

Formaldehit çevrede doğal olarak ve insan kaynaklı işlemler nedeniyle yaygın bulunur ve çok sayıda doğal ve antropojenik aktiviteler sonucu veya orman ve çöp gibi organik materyallerin tam yanmaması sonucu ortama salınır. Sularda formaldehit organik yapıların güneş ışığı etkisi ile parçalanması sonucu meydana gelir (Aydın, 2009).

Antropojenik kaynaklar: Formaldehit, yapı malzemeleri imalatı ve çok sayıda ev ürünü endüstrisi tarafından yaygın olarak kullanılan bir kimyasaldır. Evlerde formaldehit, yapı malzemelerinden, sigara kullanımından, ev ürünlerinden ve gaz yağı ısıtıcıları veya gaz sobaları gibi yakıt yakma aletlerinin bacasız kullanımlarından kaynaklanır.

Formaldehit, tek başına ya da diğer kimyasal maddelerle birlikte, imal edilmiş ürünlerde birkaç amaca hizmet eder. Örneğin, tutkal ve yapıştırıcıların bir bileşeni olarak giysi ve perdeler ütü istemez özellik kazandırmak amacıyla kullanıldığı gibi bazı boyalarda ve kaplama ürünlerinde koruyucu olarak kullanılır. Evlerde formaldehitin en önemli kaynağı üre-formaldehit (UF) reçineleri içeren yapıştırıcılarla preslenmiş ahşap ürünlerdir.

Ayrıca; endüstriyel süreçlerde yakıtın tam yanmaması, evsel ve endüstriyel yerleşkelerdeki kullanımları, yapı malzemelerinden çıkan gazlar ve otomobil egzoz gazları ve sigara dumanı gibi direkt kaynaklarda antropojenik kaynaklardır (Yenilmez, 2014).

Doğal kaynaklar: Formaldehit, atmosferde doğal olarak meydana gelir ve pek çok doğal sürecin bir ürünüdür. Formaldehit, orman yangınları gibi biyokütle yanması

sırasında açığa çıktığı gibi sucul ortamda humik maddelerin güneş ışığı varlığında fotokimyasal olarak parçalanması sonucu da oluşur.

Formaldehitin atmosfere biyogenik emisyonlarla yayıldığı bilinmektedir. Bitkilerden yayılan terpen bileşiklerinin oksidasyonu formaldehit gibi basit aldehyitlerin oluşumuna yol açar.

Yağmur suyunun bekletildiği durumlarda ise bir kısım formaldehitin buharlaşma ya da polimerleşme yolu ile kaybolduğu gözlenmiştir.

Formaldehit ayrıca, toprağın oksijensiz bölgesindeki biyokütlenin biyolojik olarak bozunmasıyla oluşan basit hidrokarbonların oksitlenmesi ile atmosferde de meydana gelebilir.

Formaldehit et, sebze ve meyve gibi ürünlerde çeşitli derişimlerde doğal olarak bulunabildiği gibi insan metabolizmasının da doğal bir ürünüdür ve insan nefesinde de değişen seviyelerde ölçülebilmektedir (Yenilmez, 2014).

Formaldehit; gübre, kâğıt, kontraplak, kozmetik, şeker, lateks, tutkal ve yapıştırıcı gibi birçok maddenin üretiminde kullanılmaktadır. Formaldehit ayrıca, tarımda tahıl ve tohumların koruyucu ile kaplanması, deri tabakalanmasında, ahşap korunmasında, hastane ve laboratuvarlarda doku örneklerinin korunmasında kullanılmaktadır.

Formaldehit çeşitli kullanım alanları ve amaçları; deterjan ve temizlik ürünleri endüstrisinde; sabun deterjan, temizlik ajanlarında koruyucu olarak, kozmetik endüstrisinde; sabun, deodorant, şampuan, ağız hijyeni ürünlerinde koruyucu olarak, tırnak sertleştiricilerde katkı maddesi olarak, şeker endüstrisinde; reçel ürünlerine koruyucu olarak, ilaç sanayinde; ürünlerin dezenfeksiyonu, strelizasyonu, korunması amacıyla, petrol endüstrisinde; motor yağlarında biyosit olarak, arıtımda yardımcı ajan olarak, tarımda; tahılda ve tohum gübrelemede koruyucu olarak, toprak dezenfeksiyonunda, besinlerin çürümeye karşı korunmasında, toprakların nitrojen gübrenmesinde, büyük baş hayvanların diyetel proteinlerinin korunmasında; kauçuk endüstrisinde, latekste biyosit ve yapıştırıcı olarak, sentetik kauçuklarda ant-oksidan olarak; metal endüstrisinde; buhar depolama ve elektrolizle kaplama işlemlerinde anti-korozif ajan olarak; deri endüstrisinde; tabaklayıcı ajan olarak; gıda endüstrisinde; kurutulmuş besinlerin saklanmasında, kapların dezenfeksiyonunda, balık ve sıvı yağların korunmasında, soğuk kabarması için nişastalarda; odun

endüstrisinde; koruyucu olarak; fotoğraf endüstrisinde; filmin banyo edilmesinde kaplama jelatinin sertleştirilmesinde kullanılmasıdır (Aydın, 2009).

Ucuz ve kolay ulaşılabilir olması nedeniyle formaldehite çevresel ve mesleki maruziyet yaygındır.

Yukarıda da bahsedildiği gibi pek çok farklı sektörlerde kullanılan formaldehit endüstriyel alanlarda, mobilya ve inşaat malzemelerinde, kozmetik, tıbbi ve sanayi ürünlerinde, yapıştırıcılarda, plastik malzemelerde hammadde olarak kullanılmaktadır. Ayrıca kullanım alanları dışında sigaranın içeriğinde, araçların egzoz dumanında, doğalgazda ve yakacakların atmosfere bıraktığı atık ürünlerin içeriğinde bulunması nedeniyle her canlının herhangi bir şekilde bu kimyasal maddeye maruz kalması mümkündür (Kahraman, 2019).

Formaldehit, Uluslararası Kanser Araştırma Kurumu (IARC) tarafından kanserojen özelliği açısından Grup 2A olarak sınıflandırılmıştır.

Formaldehit, yaygın kullanımının insan sağlığına önemli zararlar içerdiği bilinmektedir. Formaldehit üretiminin yapıldığı ya da kullanıldığı endüstriyel alanlardaki meslek grupları, formaldehite ve dolayısıyla onunun olumsuz etkilerine işlerinden dolayı aşırı maruz kalan kişiler üzerinde yaptığı araştırmalarda, beyin kanseri, kan kanseri ve kolon kanserinden ölenlerin sayısında normal popülasyona göre bir artış olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca, günlük hayatta formaldehit içeren ürünlerin ev ve iş yerlerinde kullanılması (duvar boyası, mobilyalar, yer döşemeleri, cila kaplamalar, tekstil ürünleri, deodorantlar, temizlik ürünleri v.b.) ve çevresel etkenlerle maruziyet (fuel-oil ve odunun yanması ile, egzoz gazı ve sigara dumanı gibi) etkilenmeyi daha da artırmakta ve formaldehit emisyonunu tetikleyici etki etmektedir. Yapılan deneysel araştırmalarla kansorejenik olduğu vurgulanan formaldehitin, solunum sistemi, sinir sistemi ve sindirim sistemi gibi bir çok sistem üzerinde de zararlı etkiler gösterdiği ortaya konmuştur (Gündüz, 2015).

Formaldehit maruziyeti inhalasyon, ağız veya ve cilt teması yoluyla olabilmektedir. İnhalasyon yoluyla formaldehit maruziyeti sonucunda ölüm vakası bildirilmemiştir. İnhalasyon yoluyla formaldehit maruziyeti sonucunda; sistemik olarak göz, burun ve akciğerlerin etkilendiği belirlenmiştir. İnhalasyonla formaldehit maruziyetinin; gözlerde, burun ve boğazda iritan etkiye, gözlerde kızarıklığa, gözlerde yanmaya,

burun akıntısına, öksürüğe, hapşırmaya, kaşınmaya, pulmoner fonksiyonlarda azalmaya, göğüs ağrısına, hırıtlı solunuma, nefes darlığına yol açtığı belirlenmiştir.

Formaldehit maruziyeti için ağız yolu çok rastlanan bir durum değildir. Vakalar genellikle kaza ile ağız yoluyla formaldehit alımı görülen şeklinde ortaya çıkmaktadır. Bu sebeple ağız yoluyla formaldehit maruziyetinde, maruziyet miktarını net olarak değerlendirmek mümkün olmamıştır. Ağız yoluyla formaldehit maruziyeti sonucunda ölüme neden olan vakalar görülmüştür.

Cilt teması yoluyla formaldehit maruziyeti sonucunda ölüm vakası bildirilmemiştir. Cilt teması yoluyla formaldehit maruziyeti sonucunda; alerjik reaksiyonlar, kontakt dermatit, gözde iritasyon, küçük deri ülserleri olduğu gösterilmiştir (Aktaş, 2016).

4.7 Toluen

Önceden toluol olarak da bilinen toluen tinerin karakteristik kokusuna sahip renksiz, suda çözünmeyen oda sıcaklığında sıvıdır halde olan bir aromatik hidrokarbondur. Metil benzen olarakta bilinir. Yapısal formülü $C_6H_5CH_3$ 'dir.

Toluenin kırsal alanlarda ortalama dış ortam derişimi $5\mu g/m^3$ 'ten daha azdır, kentsel alanlarda ise $5-150 \mu g/m^3$ arasında değişkenlik gösterebilmektedir. Endüstriyele alanlarda daha yüksek derişimler de ölçülebilir (WHO, 2000).

Toluen ham petrolün ve doğal gazın bir bileşenidir. Volkanlar ve orman yangınları doğal kaynakları olmakla birlikte havadaki derişimlere en büyük katkıyı antropojenik kaynaklar yapmaktadır. Toluen endüstriyel olarak yüksek miktarlarda üretilmekte ve yaygın olarak kullanılmaktadır. Stiren üretimi ve kömürün yanması esnasında yan ürün olarak ortaya çıkar. Ayrıca boya, kauçuk, baskı, kozmetik ve diğer yapıştırıcı endüstrilerinde kullanılır. Diğer pek çok kimyasalın üretiminde başlangıç maddesi olarak kullanılabilir (Özdemir, 2013). Ayrıca kimya endüstrisinde de kullanma yeri vardır.

Toluen maruziyetlerini sınıflandıracak olursak;

Hava: Motorlu araçların egzoz dumanlarından dolayı hava kirliliği başlıca maruziyet kaynağı olarak kabul edilmektedir. Toluen veya ilgili madde üretiminde veya toluen içeren maddelerin kullanıldığı iş alanlarında çalışanlar genel popülasyondan belirgin şekilde yüksek seviyelere maruz kalmaya devam etmektedir. Ayrıca, petrol

istasyonlarına veya endüstriyel alanlara yakın bölgelerde havada toluen varlığından dolayı çalışanlara ve bölge sakinlerine ek bir zarara da neden olmaktadır.

Tütün içimi: Toluen, sigaradan sigaraya büyük oranda değişmekle birlikte tütün dumanının başlıca bileşenidir. Filtresiz sigaranın dumanında toluen miktarı 100-200 µg aralığındadır. Sigara içicilerinin kandaki toluen seviyeleri, içmeyenlere göre belirgin olarak yüksek bir orandadır.

İçme suyu: İçme suyu yoluyla maruziyet, yoğun kontaminasyon vakaları dışında önemli değildir. ABD’de yapılmış olan çalışmalar içme suyunda 10 µg/L’den az olduğunu göstermiştir.

Besinler: Beslenme yoluyla maruziyet de önemsiz olarak kabul edilmektedir (Mohammed, 2018).

Toluenin vücuda en önemli giriş yolu solunum yoludur. İçme suyu ve gıda yolu ile etkilenecek ağır kontaminasyon durumları hariç çok azdır.

Toluenin lokal ve sistemik zararlı etkileri vardır. Gözlerde, solunum sisteminde ve deride iritatif etkileri bulunmaktadır. Akut ya da kronik olarak düşük dozda maruz kalındığında santral sinir sisteminde baskılanma ve bellek azalmasına neden olmaktadır. Belirtileri genellikle baş ağrısı, baş dönmesi, yorgunluk, kaslarda zayıflık, güçsüzlük, yürüme bozuklukları, parestezi, hematemez, karın ağrısı ve koma şeklindedir (Çomunoğlu ve diğ., 2009).

Toluenin merkezi sinir sistemi üzerindeki akut ve kronik etkileri çok önemlidir. Ayrıca insanlarda büyüme bozuklukları ve doğum anormalliklerine sebep olabilir. Bu etkiler hayvanlar üzerindeki araştırmalarla kanıtlanmıştır (WHO, 2000).

Akut toluen zehirlenmesi yoğun şekilde toluene maruz kalma veya bağımlılık şeklinde inhalasyonu ile (yapıştırıcı koklama, uçucu çözücü tipi bağımlılık) görülür.

Toluene maruziyet şekli ve etkileri şöyle sıralanabilir; solunum maruziyeti ile; buharlaşmaya bağlı uyuşukluk, baş dönmesi, öksürük, boğaz ağrısı, bilinç kaybı, baş ağrısı, mide bulantısı, deri maruziyeti ile; cildi tahriş eder, tekrarlanan maruziyetler ciltte kuruluğa, çatlamaya veya kızarıklığa neden olabilir, göz maruziyeti ile; gözle temas tahriş neden olabilir, eritem (kızarıklık), ağrı, yutma maruziyeti; akciğerde hasara neden olabilir.

Vücuda alınan toluenin %75'inden fazlası, alındıktan 12 saat sonra uzaklaştırılır. Verilen nefeste kimyasal olarak değişmemiş biçimde kalabilir veya üre yoluyla farklı birtakım kimyasallara dönüştürüldükten sonra uzaklaştırılır. Genelde vücut, tolueni hipurik asit gibi daha az zararlı kimyasallara dönüştürür (ATSDR, 2000).

EPA tolueni insanlar için kanserojen etki bakımından sınıflandırılmamış olarak grup D kategorisine almıştır.



5. RİSK DEĞERLENDİRMESİ

5.1 Risk Tanımı

Risk zarara uğrama ihtimali olarak tanımlanır. Meydana gelebilecek zararlı bir olayın sonuçları ve oluşma olasılığının bileşkesidir. Çok önemsiz bir olaydan (kâğıt kesigi gibi), felaket düzeyinde bir kazaya (deprem gibi) kadar çok geniş bir aralıkta tanımlanır.

Bir olayın istenilmeyen sonuçlarının potansiyel gerçekleşmesi olarak da tanımlanabilir.

Risk zararın şiddeti ile olayın meydana gelme ihtimali ile çarpılarak hesaplanabilir.

Yani; risk = ihtimal x zararın şiddeti

Bu tanımda ihtimal ve şiddetin ne şekilde birleştirileceği açık değildir. Aşağıdaki örneğe göre;

(A) olayına göre % 0,01 olasılıkla 1 kişi ölecek ve

(B) olayına göre % 0,0001 olasılıkla 100 kişi ölecek ise

Riskin hangi seçenek için daha fazla olduğu olasılık ve şiddetin bir biri ile çarpımı sonucu bulunabilir. Burada her iki seçenek için de riskler eşit çıkmaktadır (A= B).

Aşağıda Çizelge 5.1’de örnek, tablo şeklinde sunulmuştur;

Çizelge 5.1: Örnek olay (Kaplan, 2015).

Olay	Zararın şiddeti, (ölüm)	Olayın meydana gelme ihtimali	Risk
A	1	0,01	0,01
B	100	0,0001	0,01

Çevresel risklerin karşılaştırması ise daha zordur. Çünkü olayların şiddeti ve önemini ölçmek için dahi üniform bir ölçüm metodu yoktur. Risk hesaplamalarında kullanılan olayın şiddeti çoğu zaman sayılabilir bir özellikte değildir. Bu da riskin hesaplamasını zorlaştırır.

Bir veya daha fazla bireyin etkileniminin söz konusu olduğu durumlarda gruplarla ilgili risk değerlendirmesi söz konusudur. Belirli bir sürede belirli bir etkenin etkisinde kalan kişilerin ne oranda risk taşıdığının belirlenmesi risk değerlendirmesidir (Kaplan, 2015).

5.1.1 Çevresel risk tanımı

Çevresel risk; çeşitli çıktı, atık, emisyon veya kimyasalların salınımı ile, enerji kullanımı veya doğal kaynakların tüketimi ile çevrenin kirlenmesi sonucu canlı organizmalar üzerine ters etki yaratma potansiyeli olarak tanımlanır.

Burada çevreye zarar mı yoksa insan sağlığına olan tehdit mi göz önünde bulundurulmalı konusunda belirsizlikler vardır. Bazen çevresel riskte su, toprak ve hava çevresel ortamlar olduğu kadar flora ve faunaya da tehdit anlaşılmaktadır. Bununla birlikte çevresel ortamların kontaminasyonu veya şartlarının değişimi kişilere, malvarlığına ve yarar sağlayan niteliğine zarar verebilir (Genç, 2012).

Bir başka tanımda şu şekildedir; sonuçları; insan sağlığı, yaşam koşulları ve çevreyi, toprağı yüzeysel suları, yer altı suyunu, havayı, iklimi, flora ve faunayı, biyolojik çeşitliliği, toplum yapısını, binaları, manzarayı, şehrin görüntüsünü, kültürel mirası ve bu bileşinler arasındaki ilişkiyi etkileyen riske çevresel risk denir.

Gerçekleştirilen faaliyetin insan sağlığını veya çevreyi doğrudan veya dolaylı olarak olumsuz etkileme ihtimalidir (Özsoy, 2014).

Çevresel risk değerlendirmesi ise, çevresel durumun nitel ve nicel değerinin biçilmesidir. Bu değerlendirme insan sağlığı ve ekolojik risk değerlendirmesinden oluşur. İnsan sağlığı risk değerlendirmesi, çevresel tehlikelere maruz kalan insan sağlığına ters yöndeki potansiyel etkileri nitelendiren sistematik bir süreçtir. Ekolojik risk değerlendirmesi insan olmayan populasyonlar, topluluklar, ekosistemler üzerinde kimyasalların etkisini değerlendiren bir süreçtir. Çevresel risk yönetimi ise çevresel tehlikelerin sistematik olarak tanımlanması, meydana gelme olasılığının ve potansiyel sonuçlarının şiddetinin analiz edilmesi ve riski olabildiğince hafifletecek stratejinin geliştirilmesi sürecidir (Genç, 2012).

Bir başka tanımla çevresel risk değerlendirmesi, insan aktiviteleri sonucu, doğal çevrede yada doğal çevre yolu ile oluşan istenmeyen etkilerin olasılıklarının değerlendirime prosesidir. Sistematik metotlar ile çalışma ortamında var olan çevresel

tehlikeleri belirlemek, riskleri ortaya çıkarmak ve riskleri kontrol altına almak için uygun nitel ve/veya nicel yöntemler kullanarak yapılan çalışmaların bütünüdür (Özsoy, 2014).

Bu özelliği ile kamuda ve özel sektör de çeşitli projelerin değerlendirilmesinde önemli yer tutmaktadır. Bu proje çalışmaları, yasal düzenlemeler ve politikalar, düşük konsantrasyonlu bir toksik maddeye uzun süre maruz kalma, ciddi kaza potansiyeli (endüstriyel patlamalar gibi) yada yok edici mühendislik ve sistem hataları gibi konuları içermektedir.

5.2 Risk Değerlendirme Yöntemi

Risk değerlendirmesi; geleceğin tahmini için belirsizliğin ifade edilmesinde kullanılan bilimsel metottur. İlgili kriterler dikkate alınarak risk analizi ile tanımlanmış risklerin önem derecelerinin belirlenmesi işlemidir.

Risk kavramı, çevre politikacıları tarafından tarihi boyunca sürekli olarak ilgilenilmiş ve dikkate alınmıştır. Ancak ilk zamanlarda risk değerlendirmeleri toksikoloji, kimya, kirleticilerin taşınımı ve modellenmesi gibi bilimsel esaslara dayanmaktan ziyade daha çok sezgilere dayanmaktaydı. Bilimsel esaslı risk değerlendirmesi son bir kaç yılda çevre politikaları oluşturulmasında önemli rol oynamıştır. Bu farkı vurgulamak için, bilimsel yöntemlerle yapılan risk tahminleri sayısal risk analizi olarak tanımlanır.

Özetle risk değerlendirmesi tüm faaliyetlerde, riskin büyüklüğünü tahmin etmek ve var olan ya da oluşabilecek riske tahammül edilip edilemeyeceğine karar vermek olarak tanımlanabilir.

Risk bilimcilerinin çoğu tarafından kabul edilen risk değerlendirme yöntemi 4 aşamadan oluşur, bu aşamalar aşağıdaki Şekil 5.1’de gösterilmiştir.



Şekil 5.1: Risk değerlendirme basamakları.

1-Tehlikenin tanımlanması

Kullanılabilecek uygun sorular şunlardır;

- Hangi kimyasallar önemlidir?
- Kimyasal maddeden kaynaklanan olumsuz bir etki var mıdır?
- Belirli bir kimyasala maruziyet insan sağlığına ya da çevreye tehlikeli midir?
- Önerilen bir proje ne gibi zararlı sonuçlar doğuracaksa reddedilir?

2-Tehlikeye maruz kalmanın değerlendirilmesi

Kullanılabilecek uygun sorular şunlardır;

- Kimyasallar nereye doğru gitmektedir?
- Hangi popülasyonlar ya da ekosistemler zararlı sonuçlara maruz kalacak?
- Ne kadarlık bir süre için?
- Ve hangi ihtimalle?

3-Doz-tepki (zehirlilik) değerlendirmesi (zehirliliğin sayısal olarak ortaya konması)

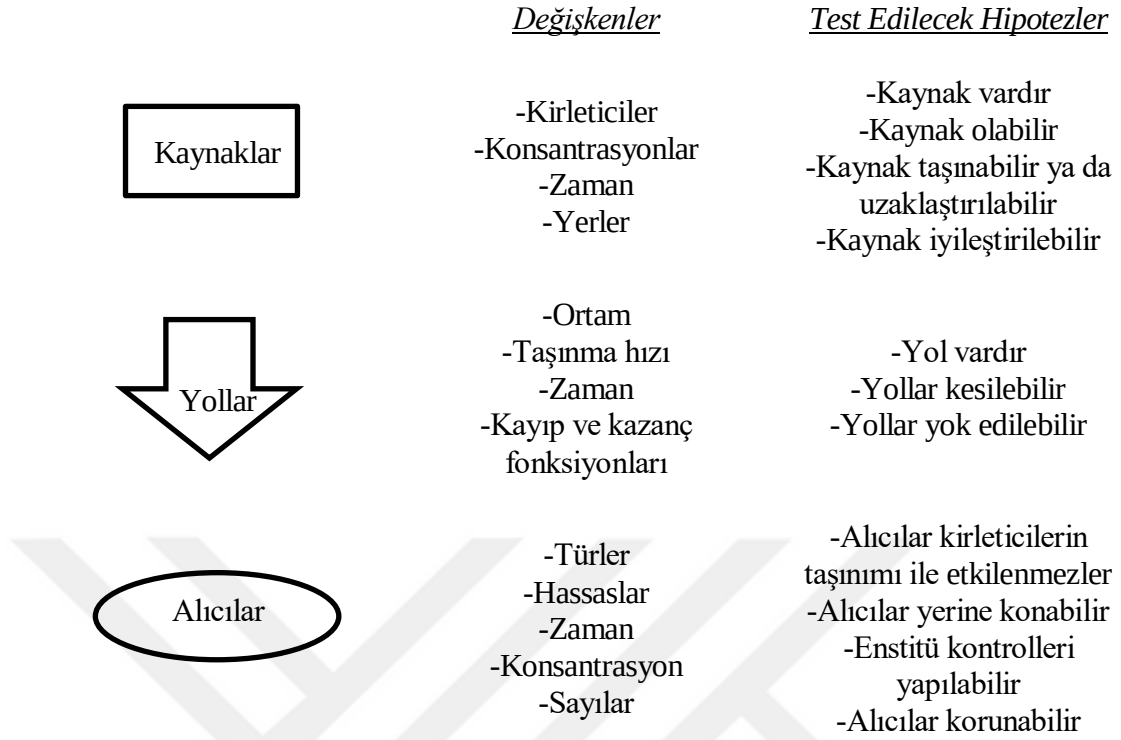
Kullanılabilecek uygun sorular şunlardır;

- İnsan, bitki ve hayvanların kirleticilerin farklı dozlarına tepkilerini öngörebilmek için ne gibi bilgiler mevcuttur?

4-Riskin karakterizasyonu (riskin büyüklüğünün tahmini, tahmindeki belirsizlikler)

Çevresel risk değerlendirme için kavramsal bir modelin bileşenleri Şekil 5.2’de gösterilmiştir. Buna göre, değerlendirme modelinin 3 ana bileşeni vardır. Her ana bileşene ait değişkenler ve test edilecek hipotezler söz konusudur. Riskin oluşmasına neden olan bir kaynak, riskin olduğu bir yol ve riske maruz kalan alıcılar ana bileşenlerdir. Oluşan riski kalitatif ya da kantitatif olarak ortaya koyabilmek için bu riski oluşturan bileşenler tek tek sorgulanmalıdır (Topuz, 2009).

Kavramsal Bir Değerlendirme Modelinin Bileşenleri



Şekil 5.2: Risk değerlendirmesi basamakları (Topuz, 2009).

5.2.1 Tehlikenin tanımlanması

Tehlike; insanların yaralanması, hastalanması, malın veya malzemenin hasar görmesi, işyeri ortamının zarar görmesi veya bunların birlikte gerçekleşmesine sebep olabilecek kaynak veya durumdur.

Risk analizinin ilk adımı olan tehlike değerlendirmesi, insan sağlığı için risk oluşturan kimyasalların tanımlanmasını içermektedir. Kimyasalların insanlar üzerindeki potansiyel olumsuz sağlık etkilerinin kalitatif olarak değerlendirilmesi gerçekleştirilmektedir. Risk hakkındaki bilimsel araştırmaların değerlendirilmesi insanlar üzerindeki olumsuz etkilerin olabilirliğini belirlemektedir

Tehlike tanımlama aşaması, risk yönetiminin en önemli adımıdır ve diğer aşamalardan farklıdır.

Sistem veya organizasyon içerisindeki potansiyel zarar veya hasar yaratabilecek etkilerin objektif olarak analiz edilmesidir.

Tehlikelerin belirlenmesi, risklerin değerlendirilmesi ve gerekli kontrol ölçümlerinin yapılması için tüm alanlarda; kazaya, dökülmeye, hasara veya diğer kayıplara sebebiyet verebilecek tüm istenmeyen olaylar tanımlanır (Özsoy, 2014).

Tehlike tanımı genellikle sözel olarak yapılmaktadır. Amacı, maddenin sağlık etkilerini, bu etkilerin şiddetini veya büyüklüğünü, kirletici ile ilgili kurulan nedensel ilişkinin kanıtının ağırlığını belirlemektir (Leeuwen ve Vermeire ,2007).

Tehlike üç yöntemle tespit edilebilir;

-Laboratuvar çalışmaları

-Hayvan deneyleri: Laboratuvar test hayvanlarında gözlenen etkilerle maruz kalma arasındaki pozitif ilişkiyi gösterir.

-Epidemiyolojik çalışmalar: Hedef toplumun kimyasala maruz kalması ile bunun sonucunda gözlenen sağlık etkileri arasında pozitif istatistiksel ilişkiyi gösterir.

Tehlikenin tanımlanması aşamasında bir sahada bulunabilecek olan tüm kimyasalların belirlenmesi ve bunların içinden risk oluşturanların tespiti gerçekleştirilir. Böyle bir tehlikeli atık sahasının risk değerlendirmesinde gerek duyulan bilgiler aşağıdaki gibi sıralanabilir (Kaplan, 2015).

Gerekli veriler:

-Alanın tarihçesi

-Arazi kullanımı

-Hava, yüzeysel su, yeraltı suyu ve toprak ortamındaki kirletici düzeyleri

-Kimyasalların hareketlerini ve akıbetlerini etkileyen çevresel (jeolojik, hidrojeolojik, atmosferik, topografik özellikler)

-Etkilenen potansiyel kişiler

-Etkilenen potansiyel biyolojik ortam

Bir tehlikeli atık sahasından kaynaklanacak riskin belirlenmesinde, öncelikle sahadaki tüm kimyasalların belirlenmesi gerekir. Daha sonra bu kimyasalların arasından risk oluşturan en önemli olanlar belirlenir. Bunun için;

-En toksik, en kalıcı ve en hareketli olanlar

-Saha içinde ve çevresinde alansal dağılımı veya konsantrasyonu en yüksek olanlar

-En yüksek etki potansiyeline sahip olanların belirlenmesi gerekir.

Bu belirleme çalışmasında bazı kimyasalların elimine edilmesi de söz konusu olabilir. Ancak seçilen kimyasalların toplam riskin % 99'unu içerecek şekilde seçilmesi gerekir (Kaplan, 2015).

Ön eleme

Ön eleme aşamasında sahada tespit edilen tüm kimyasallar aşağıdaki gibi özetlenir.

1-Alanda bulunan kanserojen olan ve kanserojen olmayan kimyasalların tamamı, bulundukları ortama göre sıralanır.

2-Tespit edilen tüm kimyasalların ortamsal miktarları ortalama ve maksimum konsantrasyon şeklinde tablo haline getirilir.

3-Kanserojen olmayan kimyasallar için referans konsantrasyon, kanserojen olan kimyasallar için ise potency faktörleri (slope faktör) belirlenir.

4-Her ortamdaki her bir kimyasal için bir risk belirlenir.

Kanserojen olmayanlar için tehlike indeksi;

Kanserojen olanlar için risk;

5-Her bir maruz kalma şekli için kimyasallar zehirlilik puanına göre sıralanır.

6-Her bir maruz kalma şekli için toplam puanın % 99'unu oluşturan kimyasallar seçilir.

Kimyasalların ileri elemesi

Kimyasalların zehirlilik puanlarına göre sıralanması, bize maksimum konsantrasyonuna ve zehirlilik derecesine göre hangi kimyasalın en yüksek tehlike arz ettiğini göstermektedir. Ancak dikkate alınması gereken kimyasalların seçilmesi ayrıca her bir kimyasalın konsantrasyon dağılımına, onun çevresel hareketliliğine ve diğer benzeri özelliklerine göre daha ileri bir değerlendirmeyi gerektirmektedir. Bu ileri değerlendirmeler aşağıdaki özellikleri de içerir.

-Ortalama konsantrasyon

-Tespit edilme sıklığı

-Hareketlilik

-Çevresel kalıcılık

-Aritılabilirlik

Genel olarak az sayıda tespit edilen kimyasallar veya aşırı düşük ortalama konsantrasyona

sahip olanlar direk olarak değerlendirmeye alınacak kadar önemli kabul edilmezler. Kimyasalların çevresel hareketliliklerin değerlendirilmesi, yarılanma ömrü ve fiziksel-kimyasal özellikler (Henry katsayısı, buhar basıncı, oktanol-su dağılım katsayısı ve çözünürlük) gibi bilgiler kullanılarak yapılır. Kalıcılığı ve hareketliliği önemli bir risk taşıyanlar mutlaka listede kalmalıdır. Ayrıca risk analizcileri listedeki kimyasalların ayrışma ürünlerini de listeye ekleyebilirler. (örneğin TCE'den vinil klorit oluşumu).

Dikkate alınacak kimyasalların listesi, riskin % 99'unu içermesi gerekmesine rağmen, risk listedeki kimyasalların sayısal olarak % 10'undan da kaynaklanabilir. Ancak yine de tespit edilen 100 tane kimyasalın 10-15'e indirilmesi sık görülen bir durum değildir (Kaplan, 2015).

5.2.2 Tehlikeye maruz kalmanın değerlendirilmesi

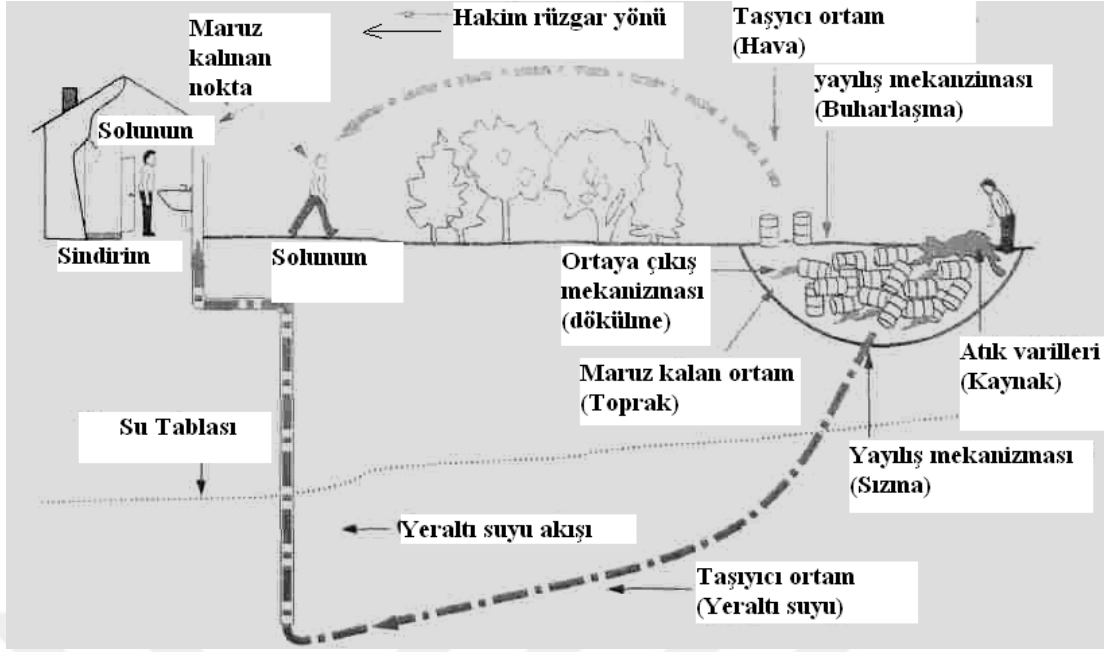
Maruz kalma değerlendirmesi, bir maddeye maruz kalmanın büyüklüğünün, sıklığının, süresinin ve maruz kalma yolunun belirlenmesi ya da kalitatif/kantitatif olarak tahminde bulunulmasıdır (Altuğ, 2014).

Bir başka tanım olarak maruz kalma değerlendirmesi; insan popölasyonlarının ya da çevre bileşenlerinin maruz kalacağı ya da kalabileceği madde konsantrasyonlarının tahmin edilmesidir (Topuz, 2009).

Sayısal risk değerlendirmesinin ikinci aşaması olan tehlikeye maruz kalma değerlendirme aşaması, potansiyel risk altında olanların tehlikeye ne ölçüde ve nasıl maruz kalacaklarının değerlendirilmesidir.

Bu aşamada yapılması gereken ilk işlem, kirleticı kaynağın ve çevresinin, içerisindeki kimyasalların konsantrasyon dağılımını gösterecek şekilde grafik halinde gösterilmesidir. Daha sonra kirleticilerin nasıl ortaya çıktıkları, nasıl hareket ettikleri, kimler tarafından bünyeye alınabileceklerinin değerlendirilmesi gerekir.

Şekil 5.3'te bir tehlikeli atık sahasından kirleticilerin taşınmasını gösteren örnek bir çizim paylaşılmıştır.



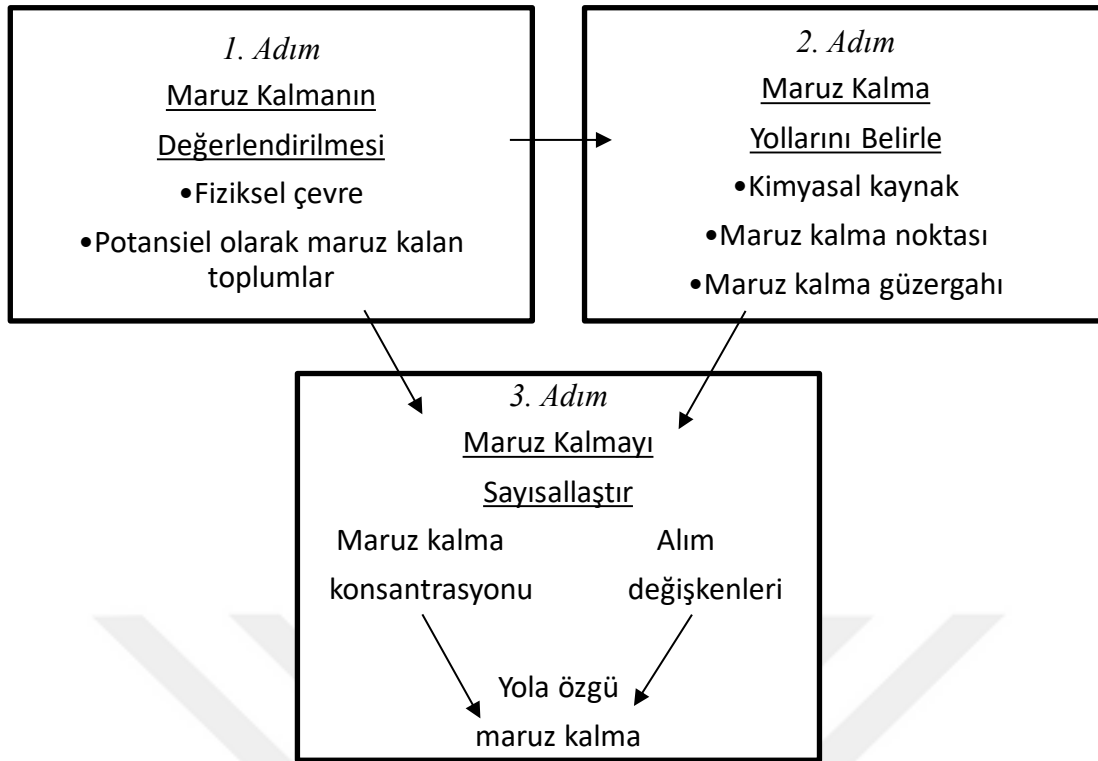
Şekil 5.3: Bir tehlikeli atık sahasından kirleticilerin taşınması (U.S. EPA, 1956).

Maruz kalma değerlendirme, kirleticilerin kaynaklarından yayılması ile ilgili bilgilerin, o kirleticilerin insan ve diğer organizmalar tarafından alınan dozlarının tahminine dönüştürülmesi işlemidir. Maruz kalma değerlendirme, risklerin azaltılması için bir şans doğurur.

Konsantrasyon bilgileri ve maruz kalma ile ilgili kabuller doz hesaplamak için bir temel oluşturmaktadır. Çevresel risk değerlendirmesinde maruz kalma ile ilgili aşağıdaki bilgilere ihtiyaç duyulur;

- Kimyasalın tipi, miktarı, yeri, ve depolama şartları
- Kasıtlı ya da kaza ile çevreye yayılma durumu
- İnsanların nasıl ve hangi süre boyunca maruz kalacağı
- Dış ortam konsantrasyonları
- Vücuda alınan gerçek doz, ve
- Maruz kalanların özel fiziksel durumları ve nasıl tepki verecekleri (Kahraman, 2002).

US-EPA (1989) tarafından önerilen tehlikeye maruz kalma değerlendirme süreci aşağıdaki Şekil 5.4'te verilmiştir.



Şekil 5.4: Tehlikeye maruz kalma değerlendirme süreci (US-EPA, 1989).

Bir maruz kalma değerlendirmesi maruz kalma yollarının, konsantrasyonun ve dozun hesaplanmasından başka maruz kalan popülasyonun tanımlanmasında içerir. Bir ekolojik risk değerlendirmesinde kabuller, türler ve ekosistemler ve bunlara olan etkiler göz önüne alınarak yapılır.

Bir tehlikeli atık sahası etki alanında bulunan alıcıların soluma veya yeme/içme yoluyla vücutlarına alacakları kimyasalın dozu genel olarak aşağıda gösterilen denklem ile belirlenir.

$$CDI = \frac{C \times CR \times EF \times ED}{BW \times AT} \quad (5.1)$$

CDI = Alınan miktar [mg/(kg.gün)]

C = Maruz kalınan noktadaki konsantrasyon (mg/L su veya mg/m³ hava)

CR = Temas oranı (L/gün veya m³/gün)

EF = Maruz kalma sıklığı (gün/yıl)

ED = Maruz kalma süresi (yıl)

BW = vücut ağırlığı (kg)

AT = Ortalama süre (gün)

Yukarıdaki denklemde, özel maruz kalma şekilleri için çeşitli ilave veya değişiklikler yapılır. Örneğin, uçucu özellik gösteren bir kimyasala ait tozların deri temas yoluyla alımında denklem, aşağıdaki şekilde değiştirilir. Bu değişim denklem 5.2’de gösterilmiştir.

$$CDI = \frac{C \times CR \times EF \times ED \times RR \times Abs}{BW \times AT} \quad (5.2)$$

RR = Alıkonma süresi

Abs = Kana karışma oranı

Çizelge 5.2’de alınan dozun belirlenmesinde kullanılan standart parametreler, yani bazı maruziyet faktörleri gösterilmiştir. Hesaplamalarda bu faktörler kullanılmaktadır.

Çizelge 5.2: Maruziyet faktörleri (US-EPA, 1997).

Maruz kalma faktörü	Değer	Normalize edilmiş değer
Yetişkin vücut ağırlığı	70 kg	
Ömür	75 yıl	
Solunan hava miktarları		
-çocuklar (< 1 yaş)	4,5 m ³ /gün (ort.)	
-çocuklar (< 1-12 yaş)	8,7 m ³ /gün	
-yetişkin (kadın)	11,3 m ³ /gün	
-yetişkin (erkek)	15,2 m ³ /gün	
İçme suyu alımı	1,5 L/gün (ort.)	21 mL/kg/gün

5.2.2.1 Maruz kalma yolları

Zarar kaynağının çevresel iz yolları ve mantıklı olay sıralaması planlanır. Örneğin, toksik bir kimyasal, yaşam döngüsünün her hangi bir noktasından hareket ederek hava, su, bitki, hayvanlar ya da toprak yoluyla, solunum, ağızdan alma ya da deri teması ile alınabilir (Kahraman, 2002).

Önemli maruz kalma şekli ve yollarından bazıları şunlardır:

1-Kimyasalların **solunması**

Doğrudan dış ya da iç ortama yayılması

Toprak, toz, bina veya bitki yüzeylerinden tekrar askıda hale dönüşme

Kontamine olmuş bir su kaynağından duş, banyo veya diğer su kullanım aktiviteleri esnasında buharlaşma

2-Kimyasalların **yutulması**

Toprak, toz veya bina yüzeylerinden elden ağza bulaşması

Kamusal su kaynaklarından ya da özel kuyulardan içme suyu ile

Yüzeysel sularda yüzme esnasında

Yiyeceklerden, örneğin; kontamine olmuş yüzeysel sulardan çıkan balık, atmosferik çökeltilere maruz kalmış ya da kontamine su ile sulanmış meyva veya sebze, hava, su ya da besin zinciri yoluyla kirleticiye maruz kalan çiftlik hayvanlarından elde edilen et ya da süt ürünleri

3-Kimyasalların **deri yolu ile alınması**

Su kaynağında yıkama ya da banyo esnasında

Yüzeysel sularda yüzme ya da su sporları esnasında

Kontamine olmuş topraklarda kazı yaparken ya da çocuk oyun alanlarında (Topuz, 2009).

Aşağıdaki çizelge 5.3'te detaylı bir maruz kalma matrisi örneği gösterilmiştir.

Çizelge 5.3: Maruz kalma yolları matrisi (CEPA, 1993).

Maruz kalma yolları	Çevresel Ortam		
	Hava (gaz ve partikül)	Toprak	Su (yüzeysel ve yeraltı suyu)
Solunum	*Dış ortamdaki gazların ve partiküllerin nefes ile alınması	*Topraktan buharlaşma ile alma	*Kirlenmiş sudan geçen kirleticilerin alınması
	*Dış ortamdan iç ortama geçen gazların ve partiküllerin nefes alınması	*Havaya geçen toprak partiküllerinin alınması	
Ağızdan alma	*Atmosferik kimyasalların bitki dokularına geçmesi ile kirlenmiş meyve, sebze ve tahılların alınması	*Toprağın ağız yolu ile alınması	*Musluk suyunun içilmesi
	*Havadan bitkilere ve hayvanlara geçen kirleticilerle kirlenmiş et, süt ve yumurtaların yenmesi	*Topraktan geçen kirleticilerin meyve, sebze ve tahılla alınması	*Kirli su ile sulanan meyve, sebze ve tahılların yenmesi
		*Kirlenmiş topraktan bitkilere, oradan hayvanlar geçen kirleticinin et, süt ve yumurta ile alınması	*Kirlenmiş suyu tüketen hayvanların et, süt ve yumurtalarının yenmesi *Balık ve su ürünlerinin yenmesi

Çizelge 5.3 (devam): Maruz kalma yolları matrisi (CEPA, 1993).

Maruz kalma yolları	Çevresel Ortam		
	Hava (gaz ve partikül)	Toprak	Su (yüzeysel ve yeraltı suyu)
Ağızdan alma	*Nefes yolu ile hayvanlara geçen kirleticilerin et, süt ve yumurta ile alınması *Anne sütünün alınması	*Toprağı ağız yolu ile alan hayvanların et, süt ve yumurtalarının yenmesi *Anne sütünün alınması	*Yüzme ve diğer su uğraşları sırasında yüzeysel suyun alınması *Anne sütünün alınması
Deri teması	-	*Toprakla deri teması	*Banyo ve mutfakta deri teması *Yüzme sırasında deri teması

5.2.3 Doz-Tepki (Zehirlilik) Değerlendirmesi

Doz, bir organizmanın bir toksik maddeye maruz kalma derecesidir ve genellikle birim organizma ağırlığı başına alınan toksik madde miktarı olarak ifade edilir. Toksik maddenin gözlenen etkisi de tepkidir (Kahraman, 2002).

Doz-tepki değerlendirme; bir etkene maruz kalma dozu ile o etkene verilen biyolojik yanıt arasındaki ilişkinin incelenmesi olarak tanımlanabilir (Altuğ, 2014).

Bir maddeye maruz kalma dozu ya da seviyesi ile olumsuz etkinin olabilirliği ve şiddeti arasındaki ilişkinin tahmin edilmesidir (Leeuwen ve Vermeire, 2007).

İnsan sağlığı üzerindeki riskin hesaplanması için tehlikeli kimyasallar kanserojen ve kanserojen olmayanlar diye 2 gruba ayrılır.

Doz- tepki ilişkileri hem kanserojen maddeler hem de kanserojen olmayan maddeler için incelenebilir. Bazı kimyasallar hem kanserojen hem de kanserojen olmayan özellikler sergileyebilirler.

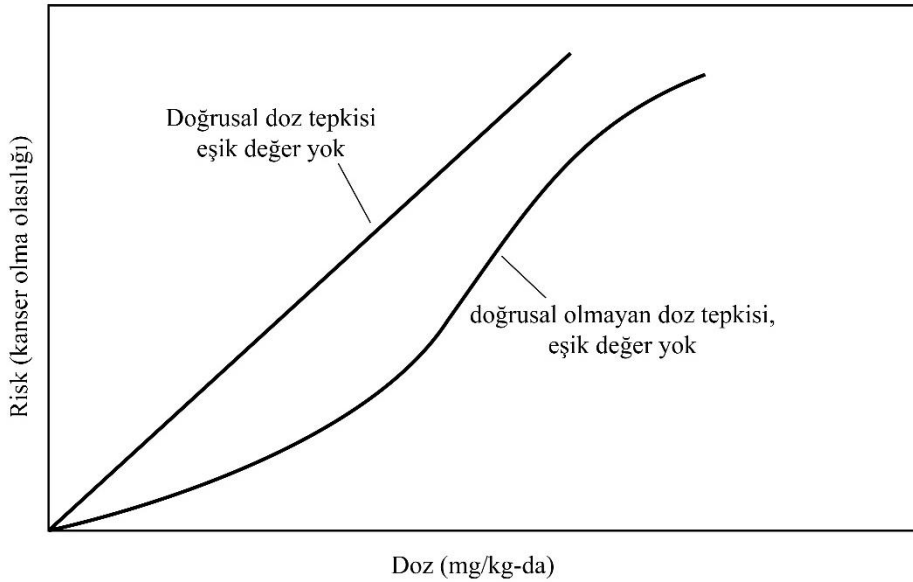
Risk hesaplamalarında kanserojen olan ve olmayan kimyasallar için farklı hesaplama yöntemleri kullanılır. Kanserijen olmayanlar için eşik düzeyi kavramı söz konusudur. Bu eşik düzeyinin altında bu maddelerin zehirlilik göstermeyeceği kabul edilir. Ancak kanserojen olanların her dozunun dikkate alınması gerekir (Kaplan, 2015).

Doz- tepki ilişkisi verileri genellikle hayvan deneyleri ile elde edilir. Örneğin kanserojen bir kimyasal madde için doz-tepki ilişkisinin elde edilebilmesi amacıyla deney hayvanları ile bir laboratuvar çalışması gerçekleştirilmiştir. Toplam 100 fareden

oluşan populasyonda, kimyasala [mg/(kg.gün)]'lük dozda maruz kalınması sonucunda, 2 hayvanın tümör geliştirdiği (%2 kanser oranı) görülmüştür. İnsanların incelenen kimyasala maruz kaldıkları tipik doz 1×10^{-5} [mg/(kg.gün)] olarak bilinmektedir. Doz- tepki ilişkisinin doğrusal olduğu ve insanlar ile farelerde hastalık insidansının aynı miktarda olduğu kabulü ile, düşük dozdaki kanser hızını tespit etmek için kaç fare ile çalışılması gerektiği hesaplanmak amaçlanmıştır.

İnsanların maruz kaldığı tipik doz farelere uygulanan dozdan 10^5 kat daha düşüktür. Buna göre, doz-tepki ilişkisinin doğrusal olduğu kabulü ile, düşük dozda farelerde tümör geliştirme oranı da %2'den 10^5 kat daha düşük (yani 2×10^{-5}) olacaktır. Yüksek dozda 100 fareden 2'sinde tümör geliştiğine göre, düşük dozda aynı sayıda farede tümör gözlenebilmesi için 10^7 (10 milyon) adet fare ile deney yapılması gerekir ki, bu durum uygulanabilirlik açısından oldukça zordur. Farelerin bir kısmı da diğer nedenlere bağlı tümör geliştirebileceğinden, test edilen kimyasallara maruz kalmayan farelerin de (kontrol grubu) gözlenmesi gerekir ki, bu durumda deney hayvanı sayısının 10^7 'den fazla olması gerekir (Altuğ, 2014).

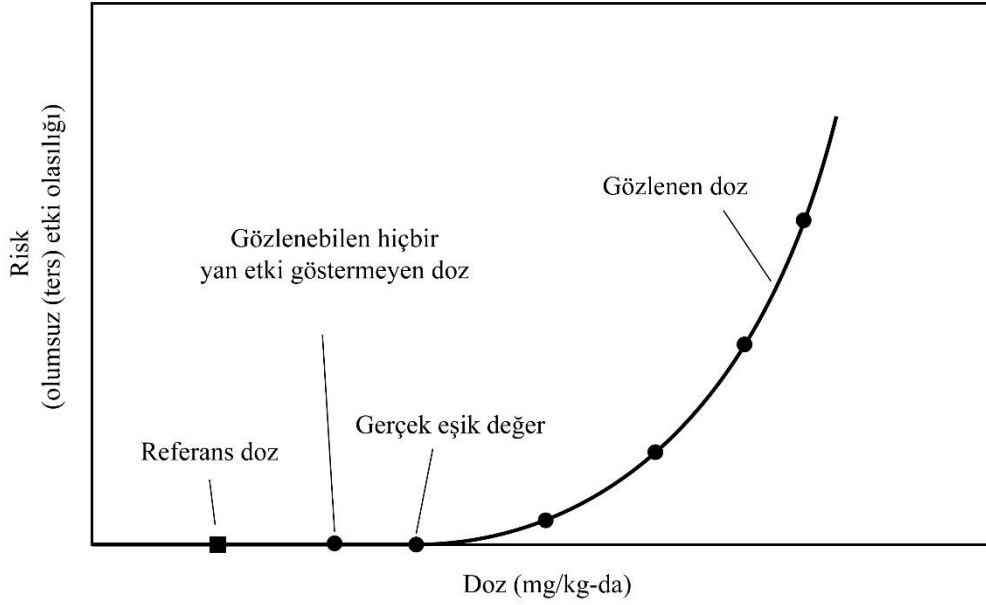
Kanserojen maddeler için doz-tepki ilişkisi



Şekil 5.5: Kanserojen maddeler için doz-tepki ilişkisi

Kanserojen bir kimyasal için doz-tepki ilişkisi genellikle eşik değerinin olmadığı (sıfırın üzerindeki herhangi bir dozun risk teşkil etmesi) doğrusal bir ilişkiyi varsayar. Bununla birlikte, bazı durumlarda doğrusal olmayan ilişkiler de kullanılabilmektedir. Yukarıda şekil 5.5' te bu durum gösterilmiştir.

Kanserojen olmayan maddeler için doz-tepki ilişkisi



Şekil 5.6: Kanserojen olmayan bir kimyasal için doz-tepki ilişkisi.

Bu ilişkiler tipik olarak olumsuz etkinin görülmeye başlandığı bir eşik doz değerine sahiptir. Yukarıda şekil 5.6’da ifade edilmiştir (Altuğ, 2014).

Doz-tepki değerlendirmesi, kirleticiye maruz kalmış populasyonun nasıl etkileneceği sorunu üzerinde durur. Bu konuyla ilgili olarak uzmanlar toksisite çalışmalarının sonuçlarının bulunduğu veri bankalarını kullanırlar.

Örnek olarak EPA periyodik olarak ‘Sağlık Etkileri Değerlendirmesi Özet Tablosu’ nu yayınlar. Bu tablo çeşitli kimyasallar için doz-tepki bilgilerini içerir. Her hangi bir madde için, EPA’ nın tabloları Referans Doz (RfD) miktarlarını da verir. Referans doz, Kanserojen olmayan, kronik etkinin ölçüsü için bir eşik değerdir. Referans doz, altındaki miktarlar da sağlık etkisinin minimum olduğu, anlamlı bir ortalama maruz kalma (mg/ kg kişi/ gün) seviyesi tahminini temsil eder.

Referans doza ek olarak EPA’nın ‘Sağlık Etkileri Değerlendirmesi Özet Tablosu’ artan kanser riskini hesaplamada kullanılan potency faktörü değerlerini de içerir. Kanserojen bir maddeye yaşam boyu maruz kalma ile kanser riski tahmininde kullanılan prosedüre göre zararlı etkiler artan dozla artmaktadır. Yani doz-tepki eğrisi lineerdir ve orijinden geçer.

Potency faktörü de lineer doz-tepki eğrisinin eğimidir.

Örnek olarak (Kahraman, 2002), 0,01 mg/L benzen içeren sudan 2 L/gün tüketen bir insan için kanser riski hesaplanacak olursa; önce ömür boyu ortalama günlük doz denklem 5.3'e göre hesaplanır (ortalama insan ağırlığı 70 kg alınarak ve EPA' nın benzen için verdiği potency faktörün $2,9 \times 10^{-2} \text{ [mg/(kg.gün)]}^{-1}$ olduğu bilinerek);

$$\text{Doz} = (\text{günlük su tüketimi} \times \text{konsantrasyon}) / \text{vücut ağırlığı} \quad (5.3)$$

$$= (2 \text{ L/gün} \times 0,01 \text{ mg/L}) / 70 \text{ kg}$$

$$= 2,86 \times 10^{-4} \text{ [mg/(kg.gün)]} \text{ günlük doz bulunur.}$$

$$\text{Risk} = \text{Kronik günlük alınan miktar (doz)} \times \text{etki faktörü} \quad (5.4)$$

Bu durumda denklem 5.4'e göre kanser riski;

$$= 2,9 \times 10^{-2} \text{ [mg/(kg.gün)]}^{-1} \times 2,86 \times 10^{-4} \text{ [mg/(kg.gün)]}$$

$$= 8,29 \times 10^{-6} \text{ bulunur.}$$

Bu sonuç, 70 yıllık bir periyodun üstünde, bu kirlenmiş sudan kullanan bir milyonda 8 kişinin daha kanser olabileceğini göstermektedir. Bu, çok küçük bir ek risk gibi görünse de belirlenmesi önemlidir. Bireylerin, bazıları çok güçlü kanserojen etkiye sahip olan birçok doğal ve yapay kanserojen maddeye günlük yaşamda maruz kalmaları sonucu bu ek risklerin kümülatif toplamı önemli bir değere ulaşabilmektedir. Yiyeceklerdeki kimyasalların endüstriyel kimyasallardan daha kanserojen olduğunu savunan görüşler bu kümülatif etkiyi temel almaktadırlar (Kahraman, 2002).

5.2.4 Risk Karakterizasyonu

Risk değerlendirmesinin en son basamağı olan risk karakterizasyonunda, incelenen kimyasallar için maruz kalım değerlendirmesi ve doz-tepki ilişkileri birlikte kullanılarak incelenen sağlık riskleri (kanser ya da diğer hastalıklar) hesaplanır.

Bu basamakta, maddenin belirli bir popülasyonda potansiyel ya da bilinen olumsuz etkilerinin ortaya çıkma olasılığı ve şiddetinin, katılan bilinmezlik faktörlerini de dikkate alarak, kalitatif ve/veya kantitatif olarak kestirilmeye çalışılır (Altuğ, 2014).

Risk belirlenmesinde son aşama riskin hem kanserojen hem de kanserojen olmayan maddeler için her türlü maruz kalma senaryoları için ayrı ayrı sayısallaştırılmasıdır. Risk sayısallaştırılırken, maruz kalma noktasında tespit edilen hem ortalama hem de maksimum kirlenici konsantrasyonuna göre hesaplama yapılır. Güvenli tarafta kalmak

için maksimum konsantrasyona göre hesap yapılması daha doğru olacaktır (Kaplan, 2015).

5.2.4.1 Kanserojen olanlar için riskin belirlenmesi

Kanserojen risk kronik günlük alınan doz ile (CDI) kanserojenlik eğim faktörünün (PF) çarpımı ile elde edilir. Aşağıdaki denklem 5.5’te gösterilmiştir.

$$\text{Risk} = \text{CDI} \times \text{PF} \quad (5.5)$$

CDI= kronik günlük kanserojen madde alımı [mg/(kg.gün)]

PF = potency faktörü [(kg.gün)/mg]

Ayrıca burada 4 tane ana unsurdan bahsedilebilir;

-Kronik günlük alım (CDI [mg/(kg.gün)]): Kronik günlük alım kavramı kanserojen maddeler için kullanılmaktadır ve bir kişinin, vücut ağırlığına göre normalize edilmiş, tüm yaşam süresi boyunca aldığı günlük dozu belirtmektedir.

Kronik günlük alım [mg/(kg.gün)] = [Ortalama günlük doz (mg/gün)] / Vücut ağırlığı (kg)

- Potency faktörü (slope faktör) (PF): Kanserojen bir maddeye maruz kalma sonucu ortaya çıkacak tümör gelişme riskinin hesaplanması için kronik günlük alım değerinin “potency faktör” isimli katsayılar ile çarpılması gerekir.

Potency faktörü değerleri, her bir kimyasal için üretilen doz-yanıt ilişkilerine dayanılarak belirlenen katsayılardır. Bu değer kanserojen kimyasalın 1 mg/kg-gün’lük kronik günlük alımına karşılık kanser riskindeki artışı ifade eder. Kanserojen maddeler için doz-yanıt ilişkisinin doğrusal olduğu kabulüne göre, potency faktörü doz-yanıt doğrusunun eğimini verir.

PF: Potency Faktörü [mg/(kg.gün)]⁻¹

Çizelge 5.4’te bazı kimyasallar için belirlenmiş olan potency faktör değerleri verilmiştir.

Çizelge 5.4: Bazı kimyasallar için potency faktör değerleri (US EPA,2006).

	Oral PF [mg/(kg.gün)] ⁻¹	Soluma yolu PF [mg/(kg.gün)] ⁻¹
Metaller ve inorganikler		
Arsenik	1,5	50
Berilyum	4,3	8,4
Kadmiyum	-	6,3
Krom 6	-	41
Organik bileşenler		
Benzen	5,5 x 10 ⁻²	2,9 x 10 ⁻²
Benzo(a)piren (BaP)	7,3	3,1
Kloroform	6,1 x 10 ⁻³	8,1 x 10 ⁻²
1,4 Dioksin	1,1 x 10 ⁻²	-
Formaldehit	-	4,5 x 10 ⁻²
Metilen klorit	7,5 x 10 ⁻³	1,65 x 10 ⁻³
PCB'ler	0,4-2,0	0,4-2,0

-Yaşam boyu kanser riski: Doğrusal doz-tepki ilişkilerine dayanarak hesaplanan yaşam boyu kanser riski

Yaşam boyu Kanser Riski = Kronik Günlük Alım x Potency Faktörü

Yani denklem 5.5'te de belirtildiği gibi Risk=CDI x PF

-Kabul edilebilir risk: Kanserojen bir madde için hangi risk seviyesi kabul edilebilirdir?

EPA, 10⁻⁶ (milyonda bir) ya da daha küçük yaşam boyu riskin kabul edilebilir olabileceğini, diğer yandan 10⁻³ (binde bir) ya da daha büyük yaşam boyu riskin ciddi/önemli bir seviye olarak alınması gerektiğini bildirmiştir (Altuğ, 2014).

5.2.4.2 Kanserojen olmayanlar için riskin belirlenmesi

Kanserojen olmayan kimyasallar için risk, tehlike indeksine bağlı olarak karakterize edilir. Bu indeks, günlük alınan tahmini dozun referans konsantrasyon düzeyine bölünmesi ile bulunur. Bu denklem aşağıdaki denklem 5.6'da gösterilmiştir.

$$HI = CDI / RfD \quad (5.6)$$

HI = Tehlike indeksi

CDI = Kronik günlük alım [mg/(kg.gün)]

RfD = Referans konsantrasyon [mg/(kg.gün)]

Eğer alınan günlük doz, referans doza eşit ise eşitliğe göre tehlike indeksi 1'e eşit çıkacaktır. Bu doz kabul edilebilir doz olarak değerlendirilir. Bu miktarın üstündeki dozlar ise riskli sayılır (Kaplan, 2015).

Burada da iki ana unsurdan bahsedilebilir;

-Referans doz (RfD): genellikle kanserojen olmayan kimyasallar için kullanılan bir terimdir. Özellikle çocuklar gibi hassas gruplar da dâhil olmak üzere, insan popülasyonlarında yaşam boyu herhangi bir olumsuz etki oluşturmada alınabilecek günlük oral alım düzeyidir.

Çizelge 5.5'te bazı kimyasallar için belirlenmiş olan potency faktör değerleri verilmiştir.

Çizelge 5.5: Bazı kimyasallar için referans doz değerleri (US EPA, 2006).

	Oral RfD	Solunum yolu RfD
Metaller ve inorganikler		
Arsenik	3×10^{-4}	-
Berilyum	2×10^{-3}	$5,7 \times 10^{-6}$
Kadmiyum	1×10^{-3} (beslenme)	6,1
	5×10^{-4} (su)	6,1
Krom 6	3×10^{-3}	$2,86 \times 10^{-5}$
Organik bileşenler		
Toluen	0,2	0,144
Ksilen	2,0	-
Kloroform	1×10^{-2}	-
Karbondisülfid	0,1	0,2
Formaldehit	0,2	-
Metilen klorit	$6,0 \times 10^{-2}$	0,857
Sitiren	0,2	0,286
Tetrakloroetilen	1×10^{-2}	0,171

-Tehlike indeksi: Tahmini maruz kalma dozunun referans doza oranlanması ile elde edilen bir değerdir, denklem 5.6'da da belirtildiği gibi.

Farklı kimyasalların aynı anda bulunduğu durumda tehlike indeksi her bir kimyasal ya da maruz kalım yolu için belirlenen tehlike indekslerinin toplanması ile elde edilir.

5.2.4.3 Toplam riskin belirlenmesi

Kanserojen olan ve kanserojen olmayan her kimyasal için ayrı ayrı hesaplanan risk ve indeks değerleri toplanarak kimyasallardan kaynaklanan toplam riskler belirlenir. Örnek olarak farklı bir kirlenici kaynaktan elde edilen risk değerleri ve kanserojen risk çizelge 5.6'da, kanserojen olmayan risk ise çizelge 5.7'de verilmiştir (Kaplan, 2015).

Çizelge 5.6: Kanserojen risk (Kaplan, 2015).

Kanserojen olan maddeler	Risk
Benzen	0,0005
Kadmiyum	0,0008
Vinil klorür	0,0025
Toplam	$0,0038 = 3.8 \times 10^{-3}$

Eşik dozu olmayan kanserojenler için 1×10^{-6} seviyesindeki hayat boyu risk “İhmal edilebilir Risk Seviyesi” olarak kabul edilmektedir (Hayat boyu maruz kalan 1 milyon kişide 1 kanser vakası).

Bir örnekle ifade edilmek istenirse; kanserojenik bir kimyasal maddeye gıda yolu ile günde 0,07 [mg/(kg.gün)] dozunda 30 yıl maruz kalınırsa ve kimyasal madde için $PF=0,001$ [mg/(kg.gün)]⁻¹ olduğu biliniyorsa buradaki risk denklem 5.5’te belirtildiği gibi hesaplanır. Kişinin ortalama 70 yıl yaşadığı kabulü ile, kronik günlük alım değeri (CDI) hesaplanır.

Elde edilen CDI değeri; 0,03 [mg/(kg.gün)] olduğuna göre risk değeri; $3,0 \times 10^{-5}$ ’tir.

Görüldüğü gibi matematiksel olarak bu maruziyetin kanser oluşturma olasılığı 3/100.000 dir. Elde edilen risk 10^{-6} ’dan büyüktür.

Çizelge 5.7: Kanserojen olmayan risk (Kaplan, 2015).

Kanserojen olmayan maddeler	Tehlike indeksi
Acenaphthene	0,05
Siyanür	0,15
Cıva	0,03
Toplam	0,23 (< 1,0)

Standart toplama yönteminin, tüm kirleticiler için kullanılması gerekmebilir. Çünkü kirleticilerin hepsi aynı organda etki göstermeyecekleri için tamamının toplanması anlamlı olmayabilir. Bu nedenle kanserojen olmayan farklı kimyasalların toksik etki mekanizmaları iyice biliniyorsa, bunların organ bazında tehlike indekslerinin toplanması daha anlamlı olacaktır (Kaplan, 2015).

Bir örnekle ifade edilmek istenirse; bir içme suyu 0,1 mg/L ‘Kimyasal A’ ve 0,1 mg/L ‘Kimyasal B’ içermektedir. 70 kg ağırlığındaki bir yetişkinin günde 2 L su içtiği ve ‘Kimyasal A’ için $RfD= 0,1$ [mg/(kg.gün)]; ‘Kimyasal B’ için $RfD= 0,01$ [mg/(kg.gün)] olduğu kabul edilirse; bu maruz kalma koşullarının “kanser dışında” bir sağlık riski oluşturup oluşturmadığını belirlemek için bu sefer denklem 5.6 kullanılır. Öncelikle günlük alım miktarları (CDI) belirlenmelidir.

Kimyasal A için günlük alım değeri (CDI); 0,0029 [mg/(kg.gün)] iken, Kimyasal B için günlük alım değeri (CDI); 0,0029 [mg/(kg.gün)]’dür.

Kimyasal A için tehlike indeksi (HI); 0,029 iken, Kimyasal B için tehlike indeksi (HI); 0,29’ dur.

Bu durumda toplam risk değeri de; $HI = 0,029 + 0,29 = 0,319$ ’dür.

Yorumlamak gerekirse $HI < 1$ olduğu için önemli bir toksik etki ile sonuçlanması muhtemel değildir.

Günümüzde EPA kanserojenler için kabul edilebilir yaşam boyu kanser riskini 10^{-4} ile 10^{-6} arasında belirlerken, kanserojen olmayanlar için ise tehlike indeksi 1’den küçük olmalıdır.





6. SEÇİLEN KİRLETİCİLER İÇİN RİSK HESAPLAMALARI

Risk değerlendirme basamakları bir önceki bölümde adım adım anlatılmıştır. Ve risk değerlendirmesinin son adımı olan risk karakterizasyonu ile var olan riskin nasıl hesaplanacağı belirlenmiştir. Ayrıca kanserojen ve kanserojen olmayan maddeler için riskin nasıl tespit edileceği hususları da risk değerlendirmesi bölümünde açıklanmıştır.

Bu bölümde, açıklanan kabuller de dikkate alınarak, ikinci ve üçüncü bölümlerde ulusal ve uluslararası sınır değerleri verilmiş olan kanserojen ve kanserojen olmayan kimyasallar için örnek risk hesaplamaları ve değerlendirme yapılmıştır.

Bu hesaplamalar yapılırken kullanılacak bazı kabüller olacaktır ve bazı sabit değerlere ihtiyaç vardır (potency faktör ve referans doz değeri). Aşağıdaki çizelge 6.1’de EPA tarafından belirlenmiş olan maruziyet kabülleri, çizelge 6.2’de potency faktörleri ve referans doz değerleri ve çizelge 6.3’te de hesaplamaları tamamlayabilmek için belirlemiş olduğumuz kabüller listelenmiştir.

Çizelge 6.1: Hesaplamalarda kullanılacak maruziyet kabülleri (US-EPA,1997).

Maruz kalma faktörü	Değer	Normalize edilmiş değer
Yetişkin vücut ağırlığı	70 kg	
Ömür	70 yıl	
Solunan hava miktarları		
-çocuklar (< 1 yaş)	4,5 m ³ /gün (ort.)	
-çocuklar (< 1-12 yaş)	8,7 m ³ /gün	
-yetişkin (kadın)	12 m ³ /gün	12 m ³ /gün
-yetişkin (erkek)	15 m ³ /gün	15 m ³ /gün
İçme suyu alımı	2 L/gün	29 mL/kg/gün

Bu çalışmada kullanmak üzere seçilmiş olan kanserojen ve kanserojen olmayan kimyasallar şu şekildedir; Bromat, Benzen, Arsenik, Kurşun, Cıva, Formaldehit, Toluen. Hesaplamalar bu kimyasal maddeler ile gerçekleştirilecektir.

Çizelge 6.2: Seçilmiş kimyasalların potency faktörleri ve referans doz değerleri

Örnek Kirleticiler	Potency Faktör (PF)*		Referans Doz (RfD)*	
	(oral)	(soluma)	(oral)	(soluma)
Bromat (yan ürün) (kanserojen değil)	-	-	4x10 ⁻³	-
Benzen (organik) (kanserojen)	5,5x10 ⁻²	2,9x10 ⁻²	-	-
Arsenik (inorg.) (kanserojen)	1,5	15,1	-	-
Kurşun (inorg.) (kanserojen)	0,0085	-	-	-
Cıva (inorg.) (kanserojen değil)	-	-	3x10 ⁻⁴ mg/m ³	3x10 ⁻⁴ mg/m ³
Formaldehit (yan ürün) (kanserojen)	-	4,5x10 ⁻²	-	-
Toluen (organik) (kanserojen değil)	-	-	0,08	5 mg/m ³

*US EPA, 2006

Çizelge 6.3: Hesaplamalarda kullanılacak kabüller

Parametreler	Kabuller
Maruz kalma sıklığı (EF) (gün/yıl)	365 gün/yıl
Maruz kalma süresi, kabul 1 (ED) (yıl)	30 yıl
Maruz kalma süresi, kabul 2 (ED) (yıl)	70 yıl
Ortalama süre (AT) (gün)	365 gün x 70 yıl

Hesaplamalarda kullanılacak formüller bu çalışmada Bölüm 5'te çeşitli başlıklar altında verilmiştir. Formülleri tekrar liste şeklinde sıralayacak olursak;

- $CDI = \frac{C \times CR \times EF \times ED}{BW \times AT}$
- $HI = CDI / RfD$
- $Risk = CDI \times PF$

Bölüm 5 Risk Karakterizasyonu bölümünde kanserojen maddeler ve kanserojen olmayan maddeler için farklı terimlerin kullanıldığı görülmüştür. Buradaki terimlerin ve bilgilerin ışığında örnek hesaplamalar ile risk değerleri ve tehlike indeksleri bulunmuş, bu sonuçlar üzerinden değerlendirme yapılmıştır.

6.1 Risk Hesaplamaları

Ulusal ve uluslararası mevzuatlarda, hem içme suyunda hem de hava yoluyla alınması durumu dikkate alınarak seçilen 7 kimyasal madde için, su kalitesi raporlarından ve tez çalışmalarından alınan değerler ve kabul edilen değerlerle örnek hesaplamalar yapılmıştır.

Bu hesaplamalar ile farklı konsantrasyon değerleri ile ortaya çıkan (kimyasalın türüne göre) risk veya tehlike indeksi değerleri belirlenmiştir. Hesaplamalarda kullanılan su kirletici değerleri İSKİ'nin hazırlamış olduğu su kalitesi raporlarından ve hava kirletici değerleri ise tez çalışmalarından alınmıştır.

Ayrıca hem su hem de hava için ulusal ve uluslararası mevzuatlarda belirlenmiş olan limit değerler de bu çalışmalarda kirletici değeri olarak kullanılmış ve risk veya tehlike indeksi değeri hesaplanmıştır.

Hesaplamalarda kullanılan değerler aşağıdaki çizelge 6.4, çizelge 6.5 ve çizelge 6.6'da verilmiştir.

Çizelge 6.4: Su kirletici (bromat, arsenik, cıva, kurşun) değerleri (İSKİ, 2019)

	Büyükçekmece		Ömerli	
	Ocak	Mart	Ocak	Mart
Bromat (mg/L) (yan ürün)	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002
Arsenik (mg/L) (inorg.)	0,0004	0,0004	<0,0003	<0,0003
Cıva (mg/L) (inorg.)	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
Kurşun (mg/L) (inorg.)	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003

Çizelge 6.5: Hava kirletici (benzen, toluen) değerleri (Tavşan, 2010).

	DLV	GYTE
Benzen (mg/m ³) (organik)	0,0037	0,0039
Toluen (mg/m ³) (organik)	0,0072	0,0044

Çizelge 6.6: Hava kirletici (formaldehit) değerleri (Aksakal, 2009).

	Pursaklar Ayyıldız A.L.	Keçiören Kalaba A.L.
Formaldehit (mg/m ³) (yan ürün)	0,9840	0,7675

- **Çizelge 6.4'e** göre yapılan hesaplamalar şu şekilde sıralanmıştır;

Bromat için;

-İSKİ 2019 Ocak ve Mart ayı verilerine göre Büyükçekmece ve Ömerli de ölçülmüş olan Bromat değeri <0,002 mg/L'dir. Bu değere ve kabullere göre hesaplanan risk değerleri şu şekildedir;

Büyükçekmece ve Ömerli için risk değeri;

$$CDI1 = \frac{C \times CR \times EF \times ED}{BW \times AT}$$

$$C = <0,002 \text{ mg/L}$$

$$CR = 2 \text{ L/gün}$$

$$EF = 365 \text{ gün/yıl}$$

$$ED = 30 \text{ yıl (kabul 1)}$$

$$BW = 70 \text{ kg}$$

$$AT = 365 \text{ gün} \times 70 \text{ yıl} = 25550 \text{ gün}$$

$$CDI1 = \frac{0,002 \text{ mg/L} \times 2 \text{ L/gün} \times 365 \text{ gün/yıl} \times 30 \text{ yıl}}{70 \text{ kg} \times 25550 \text{ gün}}$$

$$CDI1 = <2,4 \times 10^{-5} \text{ [mg/(kg.gün)]}$$

$$CDI2 = \frac{C \times CR \times EF \times ED}{BW \times AT}$$

$$C = <0,002 \text{ mg/L}$$

$$CR = 2 \text{ L/gün}$$

$$EF = 365 \text{ gün/yıl}$$

$$ED = 70 \text{ yıl (kabul 2)}$$

$$BW = 70 \text{ kg}$$

$$AT = 365 \text{ gün} \times 70 \text{ yıl} = 25550 \text{ gün}$$

$$CDI2 = \frac{0,002 \text{ mg/L} \times 2 \text{ L/gün} \times 365 \text{ gün/yıl} \times 70 \text{ yıl}}{70 \text{ kg} \times 25550 \text{ gün}}$$

$$CDI2 = <5,7 \times 10^{-5} \text{ [mg/(kg.gün)]}$$

Bromat maddesi kanserojendir, bu yüzden risk hesaplarırken *denklem 5.5* kullanılır.

Risk = CDI x PF ve bromat için belirlenmiş oral PF değeri 0,7 [mg/(kg.gün)]⁻¹ olduğuna göre ;

$$Risk1 = 2,4 \times 10^{-5} \text{ [mg/kg.gün]} \times 0,7 \text{ [mg/(kg.gün)]}^{-1}$$

$$Risk1 = <1,7 \times 10^{-5} \text{ (Risk 1)}$$

$$Risk2 = 5,7 \times 10^{-5} \text{ [mg/kg.gün]} \times 0,7 \text{ [mg/(kg.gün)]}^{-1}$$

$$Risk2 = <4,0 \times 10^{-5} \text{ (Risk 2)}$$

Yorumlamak gerekirse; için hesaplanan 2 risk değerinde 10⁻⁶'dan büyük ya da küçük olduğunu net değildir (C değeri <0,002 mg/L olduğu için). Bu durumda yapılan kabuller doğrultusunda elde edilen değerler ışığında bromat kimyasalının Büyükçekmece ve Ömerli'de kanserojen bir etki oluşturup oluşturamayacağı konusunda net bir yorum yapılamaz.

Aynı hesaplamayı konsantrasyon değerini değiştirerek yapacak olursak ve konsantrasyon değeri yerine bromat için mevzuatta (İTASHY) verilmiş olan sınır değeri kullanacak olursak ortaya çıkan risk (ED=70 yıl kabulü ile);

$$\text{Yani } C=0,01 \text{ mg/L ise } CDI3 = 2,9 \times 10^{-4} \text{ [mg/(kg.gün)]}$$

$$Risk3 = 2,0 \times 10^{-4} \text{ olacaktır.}$$

Bu sonucu da yorumlamak gerekirse; burada da risk > 10⁻⁶ olduğu için kanserojen bir etki ile sonuçlanması muhtemeldir. Bu durumda belirlenmiş olan sınır değeri yorumlamak gerekebilir.

Arsenik için;

-İSKİ 2019 Ocak ve Mart ayı verilerine göre Büyükçekmece için ölçülmüş olan Arsenik değeri 0,0004 mg/L ve Ömerli için ölçülmüş olan Arsenik değeri <0,0003 mg/L'dir. Bu değerlere ve kabullere göre hesaplanan risk değerleri şu şekildedir;

Büyükçekmece için risk değeri;

$$CDI1 = \frac{C \times CR \times EF \times ED}{BW \times AT}$$

$$C = 0,0004 \text{ mg/L}$$

$$CR = 2 \text{ L/gün}$$

$$EF = 365 \text{ gün/yıl}$$

$$ED = 30 \text{ yıl (kabul 1)}$$

$$BW = 70 \text{ kg}$$

$$AT = 365 \text{ gün} \times 70 \text{ yıl} = 25550 \text{ gün}$$

$$CDI1 = \frac{0,0004 \text{ mg/L} \times 2 \text{ L/gün} \times 365 \text{ gün/yıl} \times 30 \text{ yıl}}{70 \text{ kg} \times 25550 \text{ gün}}$$

$$CDI1 = 4,9 \times 10^{-6} \text{ [mg/(kg.gün)]}$$

$$CDI2 = \frac{C \times CR \times EF \times ED}{BW \times AT}$$

$$C = 0,0004 \text{ mg/L}$$

$$CR = 2 \text{ L/gün}$$

$$EF = 365 \text{ gün/yıl}$$

$$ED = 70 \text{ yıl (kabul 2)}$$

$$BW = 70 \text{ kg}$$

$$AT = 365 \text{ gün} \times 70 \text{ yıl} = 25550 \text{ gün}$$

$$CDI2 = \frac{0,0004 \text{ mg/L} \times 2 \text{ L/gün} \times 365 \text{ gün/yıl} \times 70 \text{ yıl}}{70 \text{ kg} \times 25550 \text{ gün}}$$

$$CDI2 = 1,1 \times 10^{-5} \text{ [mg/(kg.gün)]}$$

Arsenik maddesi kanserojendir, bu yüzden risk hesaplarken *denklem 5.5* kullanılır.

Risk = CDI x PF ve arsenik için belirlenmiş oral PF değeri $1,5 \text{ [mg/(kg.gün)]}^{-1}$ olduğuna göre ;

$$Risk1 = 4,9 \times 10^{-6} \text{ [mg/kg.gün]} \times 1,5 \text{ [mg/(kg.gün)]}^{-1}$$

$$Risk1 = 7,3 \times 10^{-6} \text{ (Risk 1)}$$

$$\text{Risk2}=1,1 \times 10^{-5} [\text{mg/kg.gün}] \times 1,5 [\text{mg}/(\text{kg.gün})]^{-1}$$

$$\text{Risk2}=1,7 \times 10^{-5} (\text{Risk 2})$$

Yorumlamak gerekirse; Büyükçekmece için hesaplanan 2 risk değeride Risk > 10⁻⁶ olduğu için kanserojen bir etki ile sonuçlanması muhtemeldir.

Ömerli için risk değeri;

$$\text{CDI1} = \frac{C \times \text{CR} \times \text{EF} \times \text{ED}}{\text{BW} \times \text{AT}}$$

$$C = <0,0003 \text{ mg/L}$$

$$\text{CR} = 2 \text{ L/gün}$$

$$\text{EF} = 365 \text{ gün/yıl}$$

$$\text{ED} = 30 \text{ yıl (kabul 1)}$$

$$\text{BW} = 70 \text{ kg}$$

$$\text{AT} = 365 \text{ gün} \times 70 \text{ yıl} = 25550 \text{ gün}$$

$$\text{CDI1} = \frac{0,0003 \text{ mg/L} \times 2 \text{ L/gün} \times 365 \text{ gün/yıl} \times 30 \text{ yıl}}{70 \text{ kg} \times 25550 \text{ gün}}$$

$$\text{CDI1} = <3,7 \times 10^{-6} [\text{mg}/(\text{kg.gün})]$$

$$\text{CDI2} = \frac{C \times \text{CR} \times \text{EF} \times \text{ED}}{\text{BW} \times \text{AT}}$$

$$C = <0,0003 \text{ mg/L}$$

$$\text{CR} = 2 \text{ L/gün}$$

$$\text{EF} = 365 \text{ gün/yıl}$$

$$\text{ED} = 70 \text{ yıl (kabul 2)}$$

$$\text{BW} = 70 \text{ kg}$$

$$\text{AT} = 365 \text{ gün} \times 70 \text{ yıl} = 25550 \text{ gün}$$

$$\text{CDI2} = \frac{0,0004 \text{ mg/L} \times 2 \text{ L/gün} \times 365 \text{ gün/yıl} \times 70 \text{ yıl}}{70 \text{ kg} \times 25550 \text{ gün}}$$

$$\text{CDI2} = <8,6 \times 10^{-6} [\text{mg}/(\text{kg.gün})]$$

Arsenik maddesi kanserojendir, bu yüzden risk hesaplarırken *denklem 5.5* kullanılır.

Risk = CDI x PF ve arsenik için belirlenmiş oral PF değeri 1,5 [mg/(kg.gün)] olduğuna göre ;

$$\text{Risk1} = 3,7 \times 10^{-6} [\text{mg/kg.gün}] \times 1,5 [\text{mg/(kg.gün)}]^{-1}$$

$$\text{Risk1} = < 5,5 \times 10^{-6} \text{ (Risk 1)}$$

$$\text{Risk2} = 8,6 \times 10^{-6} [\text{mg/kg.gün}] \times 1,5 [\text{mg/(kg.gün)}]^{-1}$$

$$\text{Risk2} = < 1,3 \times 10^{-5} \text{ (Risk 2)}$$

Yorumlamak gerekirse; Ömerli için hesaplanan 2 risk değerinde 10^{-6} 'dan büyük ya da küçük olduğunu net değildir (C değeri $< 0,0003 \text{ mg/L}$ olduğu için). Bu durumda yapılan kabuller doğrultusunda elde edilen değerler ışığında arsenik kimyasalının Ömerlide kanserojen bir etki oluşturup oluşturamayacağı konusunda net bir yorum yapılamaz.

Aynı hesaplamayı konsantrasyon değerini değiştirerek yapacak olursak ve konsantrasyon değeri yerine arsenik için mevzuatta (İTASHY) verilmiş olan sınır değeri kullanacak olursak ortaya çıkan risk (ED=70 yıl kabulü ile);

$$\text{Yani } C = 0,01 \text{ mg/L ise } \text{CDI3} = 2,9 \times 10^{-4} [\text{mg/(kg.gün)}]$$

$$\text{Risk3} = 4,3 \times 10^{-4} \text{ olacaktır.}$$

Bu sonucu da yorumlamak gerekirse; burada da risk $> 10^{-6}$ olduğu için kanserojen bir etki ile sonuçlanması muhtemeldir. Bu durumda belirlenmiş olan sınır değeri yorumlamak gerekebilir.

Cıva için;

-İSKİ 2019 Ocak ve Mart ayı verilerine göre Büyükçekmece ve Ömerli de ölçülmüş olan Cıva değeri $< 0,0001 \text{ mg/L}$ 'dir. Bu değere ve kabullere göre hesaplanan tehlike indeksi değerleri şu şekildedir;

Büyükçekmece ve Ömerli için risk değeri;

$$\text{CDI1} = \frac{C \times \text{CR} \times \text{EF} \times \text{ED}}{\text{BW} \times \text{AT}}$$

$$C = < 0,0001 \text{ mg/L}$$

$$\text{CR} = 2 \text{ L/gün}$$

$$\text{EF} = 365 \text{ gün/yıl}$$

$$ED = 30 \text{ yıl (kabul 1)}$$

$$BW = 70 \text{ kg}$$

$$AT = 365 \text{ gün} \times 70 \text{ yıl} = 25550 \text{ gün}$$

$$CDI1 = \frac{0,0001 \text{ mg/L} \times 2 \text{ L/gün} \times 365 \text{ gün/yıl} \times 30 \text{ yıl}}{70 \text{ kg} \times 25550 \text{ gün}}$$

$$CDI1 = <1,2 \times 10^{-6} \text{ [mg/(kg.gün)]}$$

$$CDI2 = \frac{C \times CR \times EF \times ED}{BW \times AT}$$

$$C = <0,0001 \text{ mg/L}$$

$$CR = 2 \text{ L/gün}$$

$$EF = 365 \text{ gün/yıl}$$

$$ED = 70 \text{ yıl (kabul 2)}$$

$$BW = 70 \text{ kg}$$

$$AT = 365 \text{ gün} \times 70 \text{ yıl} = 25550 \text{ gün}$$

$$CDI2 = \frac{0,0001 \text{ mg/L} \times 2 \text{ L/gün} \times 365 \text{ gün/yıl} \times 70 \text{ yıl}}{70 \text{ kg} \times 25550 \text{ gün}}$$

$$CDI2 = <2,9 \times 10^{-6} \text{ [mg/(kg.gün)]}$$

Cıva maddesi kanserojen değildir, bu yüzden risk hesapları için *denklem 5.6* kullanılır.

HI = CDI / RfD ve cıva için belirlenmiş RfD değeri 0,0003 [mg/(kg.gün)] olduğuna göre ;

$$HI1 = \frac{1,2 \times 10^{-6} \text{ mg/kg.gün}}{0,0003 \text{ mg/kg.gün}}$$

$$HI1 = <4,1 \times 10^{-3} \text{ (Risk 1)}$$

$$HI2 = \frac{2,9 \times 10^{-6} \text{ mg/kg.gün}}{0,0003 \text{ mg/kg.gün}}$$

$$HI2 = <9,5 \times 10^{-3} \text{ (Risk 2)}$$

Yorumlamak gerekirse; hesaplanan 2 risk değerinde HI < 1 olduğu için önemli bir toksik etki ile sonuçlanması muhtemel değildir.

Aynı hesaplamayı konsantrasyon değerini değiştirerek yapacak olursak ve konsantrasyon değeri yerine cıva için mevzuatta (İTASHY) verilmiş olan sınır değeri kullanacak olursak ortaya çıkan risk (ED=70 yıl kabulü ile);

Yani $C=0,001 \text{ mg/L}$ ise $CDI3=2,9 \times 10^{-5} [\text{mg}/(\text{kg} \cdot \text{gün})]$

$HI3=9,5 \times 10^{-2}$ olacaktır.

Yorumlamak gerekirse; hesaplanan 2 risk değerinde $HI < 1$ olduğu için önemli bir toksik etki ile sonuçlanması muhtemel değildir.

Kurşun için;

-İSKİ 2019 Ocak ve Mart ayı verilerine göre Büyükçekmece ve Ömerli de ölçülmüş olan Kurşun değeri $<0,0003 \text{ mg/L}$ 'dir. Bu değere ve kabullere göre hesaplanan risk değerleri şu şekildedir;

Büyükçekmece ve Ömerli için risk değeri;

$$CDI1 = \frac{C \times CR \times EF \times ED}{BW \times AT}$$

$C = <0,0003 \text{ mg/L}$

$CR = 2 \text{ L/gün}$

$EF = 365 \text{ gün/yıl}$

$ED = 30 \text{ yıl (kabul 1)}$

$BW = 70 \text{ kg}$

$AT = 365 \text{ gün} \times 70 \text{ yıl} = 25550 \text{ gün}$

$$CDI1 = \frac{0,0003 \text{ mg/L} \times 2 \text{ L/gün} \times 365 \text{ gün/yıl} \times 30 \text{ yıl}}{70 \text{ kg} \times 25550 \text{ gün}}$$

$CDI1 = <3,7 \times 10^{-6} [\text{mg}/(\text{kg} \cdot \text{gün})]$

$$CDI2 = \frac{C \times CR \times EF \times ED}{BW \times AT}$$

$C = <0,0003 \text{ mg/L}$

$CR = 2 \text{ L/gün}$

$EF = 365 \text{ gün/yıl}$

$ED = 70 \text{ yıl (kabul 2)}$

BW = 70 kg

AT = 365 gün x 70 yıl = 25550 gün

$$CDI2 = \frac{0,0003 \text{ mg/L} \times 2 \text{ L/gün} \times 365 \text{ gün/yıl} \times 70 \text{ yıl}}{70 \text{ kg} \times 25550 \text{ gün}}$$

$$CDI2 = <8,6 \times 10^{-6} \text{ [mg/(kg.gün)]}$$

Kurşun maddesi kanserojendir, bu yüzden risk hesaplarken *denklem 5.5* kullanılır.

Risk = CDI x PF ve kurşun için belirlenmiş oral PF değeri 0,0085 [mg/(kg.gün)]⁻¹ olduğuna göre ;

$$Risk1 = 3,7 \times 10^{-6} \text{ [mg/kg.gün]} \times 0,0085 \text{ [mg/(kg.gün)]}^{-1}$$

$$Risk1 = <3,1 \times 10^{-8} \text{ (Risk 1)}$$

$$Risk2 = 8,6 \times 10^{-6} \text{ [mg/kg.gün]} \times 0,0085 \text{ [mg/(kg.gün)]}^{-1}$$

$$Risk2 = <7,3 \times 10^{-8} \text{ (Risk 2)}$$

Yorumlamak gerekirse; Kurşun için hesaplanan 2 risk değerinin de 10⁻⁶'dan büyük ya da küçük olduğu net değildir (C değeri <0,0003 mg/L olduğu için). Bu durumda yapılan kabuller doğrultusunda elde edilen değerler ışığında kurşun kimyasalının Büyükçekmece ve Ömerli'de kanserojen bir etki oluşturup oluşturamayacağı konusunda net bir yorum yapılamaz.

Aynı hesaplamayı konsantrasyon değerini değiştirerek yapacak olursak ve konsantrasyon değeri yerine kurşun için mevzuatta (İTASHY) verilmiş olan sınır değeri kullanacak olursak ortaya çıkan risk (ED=70 yıl kabulü ile);

$$\text{Yani } C=0,01 \text{ mg/L ise } CDI3 = 2,9 \times 10^{-4} \text{ [mg/(kg.gün)]}$$

$$Risk3 = 2,4 \times 10^{-6} \text{ olacaktır.}$$

Bu sonucu da yorumlamak gerekirse; burada da risk > 10⁻⁶ olduğu için kanserojen bir etki ile sonuçlanması muhtemeldir. Bu durumda belirlenmiş olan sınır değeri yorumlamak gerekebilir.

- **Çizelge 6.5'e** göre yapılan hesaplamalar şu şekilde sıralanmıştır;

Benzen için;

-Selim Tavşan tarafından 2010 yılında Gebze'de gerçekleştirilen 'Sanayileşmiş Kıyısal Bölgedeki Ortam Havasında Uçucu Organik Bileşik Kirliliği: GYTE

Muallimköy Yerleşkesi ve Dilovası Yerleşim Bölgesinde BTEX Ölçümleri' yüksek lisans tezinden alınan verilere göre ölçülmüş benzen değeri DLV noktası için 0,0037 mg/m³ ve GYTE noktası için 0,0039 mg/m³'tür. Bu değerlere ve kabullere göre hesaplanan risk değerleri şu şekildedir;

DLV noktası için risk değeri;

$$CDI1 = \frac{C \times CR \times EF \times ED}{BW \times AT}$$

$$C = 0,0037 \text{ mg/m}^3$$

$$CR = 15 \text{ m}^3/\text{gün}$$

$$EF = 365 \text{ gün/yıl}$$

$$ED = 30 \text{ yıl (kabul 1)}$$

$$BW = 70 \text{ kg}$$

$$AT = 365 \text{ gün} \times 70 \text{ yıl} = 25550 \text{ gün}$$

$$CDI1 = \frac{0,0037 \text{ mg/m}^3 \times 15 \text{ m}^3/\text{gün} \times 365 \text{ gün/yıl} \times 30 \text{ yıl}}{70 \text{ kg} \times 25550 \text{ gün}}$$

$$CDI1 = 3,4 \times 10^{-4} [\text{mg}/(\text{kg} \cdot \text{gün})]$$

$$CDI2 = \frac{C \times CR \times EF \times ED}{BW \times AT}$$

$$C = 0,0037 \text{ mg/m}^3$$

$$CR = 15 \text{ m}^3/\text{gün}$$

$$EF = 365 \text{ gün/yıl}$$

$$ED = 70 \text{ yıl (kabul 2)}$$

$$BW = 70 \text{ kg}$$

$$AT = 365 \text{ gün} \times 70 \text{ yıl} = 25550 \text{ gün}$$

$$CDI2 = \frac{0,0037 \text{ mg/m}^3 \times 15 \text{ m}^3/\text{gün} \times 365 \text{ gün/yıl} \times 70 \text{ yıl}}{70 \text{ kg} \times 25550 \text{ gün}}$$

$$CDI2 = 7,9 \times 10^{-4} [\text{mg}/(\text{kg} \cdot \text{gün})]$$

Benzen maddesi kanserojendir, bu yüzden risk hesaplarırken *denklem 5.5* kullanılır.

Risk = CDI x PF ve benzen için belirlenmiş PF değeri 0,029 [mg/(kg.gün)]⁻¹ olduğuna göre ;

$$\text{Risk1} = 3,4 \times 10^{-4} [\text{mg/kg.gün}] \times 0,029 [\text{mg}/(\text{kg.gün})]^{-1}$$

$$\text{Risk1} = 9,9 \times 10^{-6} \text{ (Risk 1)}$$

$$\text{Risk2} = 7,9 \times 10^{-4} [\text{mg/kg.gün}] \times 0,029 [\text{mg}/(\text{kg.gün})]^{-1}$$

$$\text{Risk2} = 2,3 \times 10^{-5} \text{ (Risk 2)}$$

Yorumlamak gerekirse; DLV noktası için hesaplanan 2 risk değerinde Risk > 10⁻⁶ olduğu için kanserojen bir etki ile sonuçlanması muhtemeldir.

GYTE noktası için risk değeri;

$$\text{CDI1} = \frac{\text{C} \times \text{CR} \times \text{EF} \times \text{ED}}{\text{BW} \times \text{AT}}$$

$$\text{C} = 0,0039 \text{ mg/m}^3$$

$$\text{CR} = 15 \text{ m}^3/\text{gün}$$

$$\text{EF} = 365 \text{ gün/yıl}$$

$$\text{ED} = 30 \text{ yıl (kabul 1)}$$

$$\text{BW} = 70 \text{ kg}$$

$$\text{AT} = 365 \text{ gün} \times 70 \text{ yıl} = 25550 \text{ gün}$$

$$\text{CDI1} = \frac{0,0039 \text{ mg/m}^3 \times 15 \text{ m}^3/\text{gün} \times 365 \text{ gün/yıl} \times 30 \text{ yıl}}{70 \text{ kg} \times 25550 \text{ gün}}$$

$$\text{CDI1} = 3,6 \times 10^{-4} [\text{mg}/(\text{kg.gün})]$$

$$\text{CDI2} = \frac{\text{C} \times \text{CR} \times \text{EF} \times \text{ED}}{\text{BW} \times \text{AT}}$$

$$\text{C} = 0,0039 \text{ mg/m}^3$$

$$\text{CR} = 15 \text{ m}^3/\text{gün}$$

$$\text{EF} = 365 \text{ gün/yıl}$$

$$\text{ED} = 70 \text{ yıl (kabul 2)}$$

$$\text{BW} = 70 \text{ kg}$$

$$AT = 365 \text{ gün} \times 70 \text{ yıl} = 25550 \text{ gün}$$

$$CDI2 = \frac{0,0039 \text{ mg/m}^3 \times 15 \text{ m}^3/\text{gün} \times 365 \text{ gün/yıl} \times 70 \text{ yıl}}{70 \text{ kg} \times 25550 \text{ gün}}$$

$$CDI2 = 8,4 \times 10^{-4} \text{ [mg/(kg.gün)]}$$

Benzen maddesi kanserojendir, bu yüzden risk hesaplarken *denklem 5.5* kullanılır.

Risk = CDI x PF ve benzen için belirlenmiş PF değeri 0,029 [mg/(kg.gün)]⁻¹ olduğuna göre ;

$$\text{Risk1} = 3,6 \times 10^{-4} \text{ [mg/kg.gün]} \times 0,029 \text{ [mg/(kg.gün)]}^{-1}$$

$$\text{Risk1} = 1,0 \times 10^{-5} \text{ (Risk 1)}$$

$$\text{Risk2} = 8,4 \times 10^{-4} \text{ [mg/kg.gün]} \times 0,029 \text{ [mg/(kg.gün)]}^{-1}$$

$$\text{Risk2} = 2,4 \times 10^{-5} \text{ (Risk 2)}$$

Yorumlamak gerekirse; GYTE noktası için hesaplanan 2 risk değeride Risk > 10⁻⁶ olduğu için kanserojen bir etki ile sonuçlanması muhtemeldir.

Aynı hesaplamayı konsantrasyon değerini değiştirerek yapacak olursak ve konsantrasyon değeri yerine benzen için mevzuatta (SKHKY) verilmiş olan sınır değeri kullanacak olursak ortaya çıkan risk (ED=70 yıl kabulü ile);

$$\text{Yani } C=5 \text{ mg/m}^3 \text{ ise } CDI3=1,1 \text{ [mg/(kg.gün)]}$$

$$\text{Risk3} = 3,1 \times 10^{-2} \text{ olacaktır.}$$

Bu sonucu da yorumlamak gerekirse; burada da risk > 10⁻⁶ olduğu için kanserojen bir etki ile sonuçlanması muhtemeldir. Bu durumda belirlenmiş olan sınır değeri yorumlamak gerekebilir.

Toluen için;

-Selim Tavşan tarafından 2010 yılında Gebze’de gerçekleştirilen ‘Sanayileşmiş Kıyısız Bölgedeki Ortam Havasında Uçucu Organik Bileşik Kirliliği: GYTE Muallimköy Yerleşkesi ve Dilovası Yerleşim Bölgesinde BTEX Ölçümleri’ yüksek lisans tezinden alınan verilere göre ölçülmüş toluen değeri DLV noktası için 0,0072 mg/m³ ve GYTE noktası için 0,0044 mg/m³’tür. Bu değerlere ve kabullere göre hesaplanan risk değerleri şu şekildedir;

DLV noktası için risk değeri;

$$CDI1 = \frac{C \times CR \times EF \times ED}{BW \times AT}$$

$$C = 0,0072 \text{ mg/m}^3$$

$$CR = 15 \text{ m}^3/\text{gün}$$

$$EF = 365 \text{ gün/yıl}$$

$$ED = 30 \text{ yıl (kabul 1)}$$

$$BW = 70 \text{ kg}$$

$$AT = 365 \text{ gün} \times 70 \text{ yıl} = 25550 \text{ gün}$$

$$CDI1 = \frac{0,0072 \text{ mg/m}^3 \times 15 \text{ m}^3/\text{gün} \times 365 \text{ gün/yıl} \times 30 \text{ yıl}}{70 \text{ kg} \times 25550 \text{ gün}}$$

$$CDI1 = 6,6 \times 10^{-4} \text{ [mg/(kg.gün)]}$$

$$CDI2 = \frac{C \times CR \times EF \times ED}{BW \times AT}$$

$$C = 0,0072 \text{ mg/m}^3$$

$$CR = 15 \text{ m}^3/\text{gün}$$

$$EF = 365 \text{ gün/yıl}$$

$$ED = 70 \text{ yıl (kabul 2)}$$

$$BW = 70 \text{ kg}$$

$$AT = 365 \text{ gün} \times 70 \text{ yıl} = 25550 \text{ gün}$$

$$CDI2 = \frac{0,0072 \text{ mg/m}^3 \times 15 \text{ m}^3/\text{gün} \times 365 \text{ gün/yıl} \times 70 \text{ yıl}}{70 \text{ kg} \times 25550 \text{ gün}}$$

$$CDI2 = 1,5 \times 10^{-3} \text{ [mg/(kg.gün)]}$$

Toluen maddesi kanserojen değildir, bu yüzden risk hesaplarken *denklem 5.6* kullanılır.

$HI = CDI / RfD$ ve toluen için belirlenmiş soluma RfD değeri 5 [mg/(kg.gün)] olduğuna göre ;

$$HI1 = \frac{6,6 \times 10^{-4} \text{ mg/kg.gün}}{5 \text{ mg/kg.gün}}$$

$$HI1 = 1,3 \times 10^{-4} \text{ (Risk 1)}$$

$$HI2 = \frac{1,5 \times 10^{-3} \text{ mg/kg.gün}}{5 \text{ mg/kg.gün}}$$

$$HI2 = 3,1 \times 10^{-4} \text{ (Risk 2)}$$

Yorumlamak gerekirse; hesaplanan 2 risk değerinde $HI < 1$ olduğu için önemli bir toksik etki ile sonuçlanması muhtemel değildir.

GYTE noktası için risk değeri;

$$CDI1 = \frac{C \times CR \times EF \times ED}{BW \times AT}$$

$$C = 0,0044 \text{ mg/m}^3$$

$$CR = 15 \text{ m}^3/\text{gün}$$

$$EF = 365 \text{ gün/yıl}$$

$$ED = 30 \text{ yıl (kabul 1)}$$

$$BW = 70 \text{ kg}$$

$$AT = 365 \text{ gün} \times 70 \text{ yıl} = 25550 \text{ gün}$$

$$CDI1 = \frac{0,0044 \text{ mg/m}^3 \times 15 \text{ m}^3/\text{gün} \times 365 \text{ gün/yıl} \times 30 \text{ yıl}}{70 \text{ kg} \times 25550 \text{ gün}}$$

$$CDI1 = 4,0 \times 10^{-4} [\text{mg}/(\text{kg.gün})]$$

$$CDI2 = \frac{C \times CR \times EF \times ED}{BW \times AT}$$

$$C = 0,0044 \text{ mg/m}^3$$

$$CR = 15 \text{ m}^3/\text{gün}$$

$$EF = 365 \text{ gün/yıl}$$

$$ED = 70 \text{ yıl (kabul 2)}$$

$$BW = 70 \text{ kg}$$

$$AT = 365 \text{ gün} \times 70 \text{ yıl} = 25550 \text{ gün}$$

$$CDI2 = \frac{0,0044 \text{ mg/m}^3 \times 15 \text{ m}^3/\text{gün} \times 365 \text{ gün/yıl} \times 70 \text{ yıl}}{70 \text{ kg} \times 25550 \text{ gün}}$$

$$CDI2 = 9,4 \times 10^{-4} [\text{mg}/(\text{kg.gün})]$$

Toluen maddesi kanserojen değildir, bu yüzden risk hesaplarırken *denklem 5.6* kullanılır.

HI = CDI / RfD ve toluen için belirlenmiş soluma RfD değeri 5 [mg/(kg.gün)] olduğuna göre ;

$$HI1 = \frac{4,0 \times 10^{-4} \text{ mg/kg.gün}}{5 \text{ mg/kg.gün}}$$

$$HI1 = 8,1 \times 10^{-5} \text{ (Risk 1)}$$

$$HI2 = \frac{9,4 \times 10^{-4} \text{ mg/kg.gün}}{5 \text{ mg/kg.gün}}$$

$$HI2 = 1,9 \times 10^{-4} \text{ (Risk 2)}$$

Yorumlamak gerekirse; hesaplanan 2 risk değeride HI < 1 olduğu için önemli bir toksik etki ile sonuçlanması muhtemel değildir.

Aynı hesaplamayı konsantrasyon değerini değiştirerek yapacak olursak ve konsantrasyon değeri yerine toluen için mevzuatta (SKHKKY) verilmiş olan sınır değeri kullanacak olursak ortaya çıkan risk (ED=70 yıl kabulü ile);

$$\text{Yani } C=100 \text{ mg/m}^3 \text{ ise } CDI3=2,1 \times 10^1 [\text{mg}/(\text{kg.gün})]$$

$$\text{Risk3}=4,3 \text{ olacaktır.}$$

Yorumlamak gerekirse; hesaplanan risk değeri HI > 1 olduğu için önemli bir toksik etki ile sonuçlanması muhtemeldir. Bu durumda belirlenmiş olan sınır değeri yorumlamak gerekebilir.

- **Çizelge 6.6'**ya göre yapılan hesaplamalar şu şekilde sıralanmıştır;

Formaldehit için:

-Nur Baran Aksakal tarafından 2009 yılında Ankara'da gerçekleştirilen 'Ankara İlinde İki Okulda Solunan Havada Mantar Varlığı, CO, CO₂, Formaldehit ve Toluen Düzeyleri ile Öğrencilerde İlgili Olabilecek Yakınmaların Değerlendirilmesi' yüksek lisans tezinden alınan verilere göre ölçülmüş formaldehit değeri Pursaklar Ayyıldız A.L. noktası için 0,9840 mg/m³ ve Keçiören Kalaba A.L. noktası için 0,7675 mg/m³'tür. Bu değerlere ve kabullere göre hesaplanan risk değerleri şu şekildedir;

Pursaklar Ayyıldız A.L. noktası için risk değeri;

$$CDI1 = \frac{C \times CR \times EF \times ED}{BW \times AT}$$

$$C = 0,9840 \text{ mg/m}^3$$

$$CR = 15 \text{ m}^3/\text{gün}$$

$$EF = 365 \text{ gün/yıl}$$

$$ED = 30 \text{ yıl (kabul 1)}$$

$$BW = 70 \text{ kg}$$

$$AT = 365 \text{ gün} \times 70 \text{ yıl} = 25550 \text{ gün}$$

$$CDI1 = \frac{0,9840 \text{ mg/m}^3 \times 15 \text{ m}^3/\text{gün} \times 365 \text{ gün/yıl} \times 30 \text{ yıl}}{70 \text{ kg} \times 25550 \text{ gün}}$$

$$CDI1 = 9,0 \times 10^{-2} [\text{mg}/(\text{kg} \cdot \text{gün})]$$

$$CDI2 = \frac{C \times CR \times EF \times ED}{BW \times AT}$$

$$C = 0,9840 \text{ mg/m}^3$$

$$CR = 15 \text{ m}^3/\text{gün}$$

$$EF = 365 \text{ gün/yıl}$$

$$ED = 70 \text{ yıl (kabul 2)}$$

$$BW = 70 \text{ kg}$$

$$AT = 365 \text{ gün} \times 70 \text{ yıl} = 25550 \text{ gün}$$

$$CDI2 = \frac{0,9840 \text{ mg/m}^3 \times 15 \text{ m}^3/\text{gün} \times 365 \text{ gün/yıl} \times 70 \text{ yıl}}{70 \text{ kg} \times 25550 \text{ gün}}$$

$$CDI2 = 2,1 \times 10^{-1} [\text{mg}/(\text{kg} \cdot \text{gün})]$$

Formaldehit maddesi kanserojendir, bu yüzden risk hesaplarken *denklem 5.5* kullanılır.

Risk = CDI x PF ve formaldehit için belirlenmiş PF değeri 0,045 [mg/(kg.gün)]⁻¹ olduğuna göre ;

$$Risk1 = 9,0 \times 10^{-2} [\text{mg}/(\text{kg} \cdot \text{gün})] \times 0,45 [\text{mg}/(\text{kg} \cdot \text{gün})]^{-1}$$

$$Risk1 = 4,1 \times 10^{-3} \text{ (Risk 1)}$$

$$\text{Risk2} = 2,1 \times 10^{-1} [\text{mg/kg.gün}] \times 0,045 [\text{mg/(kg.gün)}]^{-1}$$

$$\text{Risk2} = 9,5 \times 10^{-3} (\text{Risk 2})$$

Yorumlamak gerekirse; Pursaklar Ayyıldız A.L. noktası için hesaplanan 2 risk değeride $\text{Risk} > 10^{-6}$ olduğu için kanserojen bir etki ile sonuçlanması muhtemeldir.

Keçiören Kalaba A.L. noktası için risk değeri;

$$\text{CDI1} = \frac{C \times \text{CR} \times \text{EF} \times \text{ED}}{\text{BW} \times \text{AT}}$$

$$C = 0,7675 \text{ mg/m}^3$$

$$\text{CR} = 15 \text{ m}^3/\text{gün}$$

$$\text{EF} = 365 \text{ gün/yıl}$$

$$\text{ED} = 30 \text{ yıl (kabul 1)}$$

$$\text{BW} = 70 \text{ kg}$$

$$\text{AT} = 365 \text{ gün} \times 70 \text{ yıl} = 25550 \text{ gün}$$

$$\text{CDI1} = \frac{0,7675 \text{ mg/m}^3 \times 15 \text{ m}^3/\text{gün} \times 365 \text{ gün/yıl} \times 30 \text{ yıl}}{70 \text{ kg} \times 25550 \text{ gün}}$$

$$\text{CDI1} = 7,0 \times 10^{-2} [\text{mg/(kg.gün)}]$$

$$\text{CDI2} = \frac{C \times \text{CR} \times \text{EF} \times \text{ED}}{\text{BW} \times \text{AT}}$$

$$C = 0,7675 \text{ mg/m}^3$$

$$\text{CR} = 15 \text{ m}^3/\text{gün}$$

$$\text{EF} = 365 \text{ gün/yıl}$$

$$\text{ED} = 70 \text{ yıl (kabul 2)}$$

$$\text{BW} = 70 \text{ kg}$$

$$\text{AT} = 365 \text{ gün} \times 70 \text{ yıl} = 25550 \text{ gün}$$

$$\text{CDI2} = \frac{0,7675 \text{ mg/m}^3 \times 15 \text{ m}^3/\text{gün} \times 365 \text{ gün/yıl} \times 70 \text{ yıl}}{70 \text{ kg} \times 25550 \text{ gün}}$$

$$\text{CDI2} = 1,6 \times 10^{-1} [\text{mg/(kg.gün)}]$$

Formaldehit maddesi kanserojendir, bu yüzden risk hesaplarken *denklem 5.5* kullanılır.

Risk = CDI x PF ve benzen için belirlenmiş PF değeri 0,045 [mg/(kg.gün)]⁻¹ olduğuna göre ;

$$\text{Risk1} = 7,0 \times 10^{-2} [\text{mg/kg.gün}] \times 0,045 [\text{mg}/(\text{kg.gün})]^{-1}$$

$$\text{Risk1} = 3,2 \times 10^{-3} \text{ (Risk 1)}$$

$$\text{Risk2} = 1,6 \times 10^{-1} [\text{mg/kg.gün}] \times 0,045 [\text{mg}/(\text{kg.gün})]^{-1}$$

$$\text{Risk2} = 7,4 \times 10^{-3} \text{ (Risk 2)}$$

Yorumlamak gerekirse; Keçiören Kalaba A.L. noktası için hesaplanan 2 risk değeride Risk > 10⁻⁶ olduğu için kanserojen bir etki ile sonuçlanması muhtemeldir.

Aynı hesaplamayı konsantrasyon değerini değiştirerek yapacak olursak ve konsantrasyon değeri yerine formaldehit için mevzuatta (SKHKKY) verilmiş olan sınır değeri kullanacak olursak ortaya çıkan risk (ED=70 yıl kabulü ile);

$$\text{Yani } C=20 \text{ mg/m}^3 \text{ ise } \text{CDI3} = 5,7 \times 10^{-1} [\text{mg}/(\text{kg.gün})]$$

$$\text{Risk3} = 2,6 \times 10^{-2} \text{ olacaktır.}$$

Bu sonucu da yorumlamak gerekirse; burada da risk > 10⁻⁶ olduğu için kanserojen bir etki ile sonuçlanması muhtemeldir. Bu durumda belirlenmiş olan sınır değeri yorumlamak gerekebilir.

6.2 Sonuçların Değerlendirilmesi

Bu çalışmada kullanılmak üzere seçilmiş olan her bir kimyasal için ayrı ayrı hesaplamalar yapılmış ve her bir kimyasal için ayrı risk/tehlike indeksi değerleri elde edilmiştir. Sonuçlardan görüleceği üzeri maruz kalınan konsantrasyon değerleri ve maruz kalınan süreler değiştikçe risk ya da tehlike indeksinin de değiştiği görülmektedir.

Burada yorumlanması gereken kimyasallar için mevzuatlarda belirlenmiş olan limit değerlerin konsantrasyon kabul edilmesi ile elde edilen risk ya da tehlike indeksinin güvenli olup olmadığıdır.

Yukarıdaki örnek çalışmalarda elde edilen risk/tehlike indeksi değerleri aşağıdaki çizelge 6.7’de, konsantrasyon değeri kullanılarak elde edilen risk/tehlike indeksi değeri de çizelge 6.8’de toplu halde verilmiştir.

Çizelge 6.7: Hesaplamalardan elde edilen risk/tehlike indeksi değerleri

	CDI ₁ *	Risk/HI	CDI ₂ **	Risk/HI	Sınır değer
Bromat (Büyükçekmece ve Ömerli)	$<2,4 \times 10^{-5}$	$<1,7 \times 10^{-5}$	$<5,7 \times 10^{-5}$	$<4,0 \times 10^{-5}$	10^{-6}
Arsenik (Büyükçekmece)	$4,9 \times 10^{-6}$	$7,3 \times 10^{-6}$	$1,1 \times 10^{-5}$	$1,7 \times 10^{-5}$	10^{-6}
Arsenik (Ömerli)	$<3,7 \times 10^{-6}$	$<5,5 \times 10^{-6}$	$<8,6 \times 10^{-6}$	$<1,3 \times 10^{-5}$	10^{-6}
Cıva (Büyükçekmece ve Ömerli)	$<1,2 \times 10^{-6}$	$<4,1 \times 10^{-3}$	$<2,9 \times 10^{-6}$	$<9,5 \times 10^{-3}$	1
Kurşun (Büyükçekmece ve Ömerli)	$<3,7 \times 10^{-6}$	$<3,1 \times 10^{-8}$	$<8,6 \times 10^{-6}$	$<7,3 \times 10^{-8}$	10^{-6}
Benzen (DLV)	$3,4 \times 10^{-4}$	$9,9 \times 10^{-6}$	$7,9 \times 10^{-4}$	$2,3 \times 10^{-5}$	10^{-6}
Benzen (GYTE)	$3,6 \times 10^{-4}$	$1,0 \times 10^{-5}$	$8,4 \times 10^{-4}$	$2,4 \times 10^{-5}$	10^{-6}
Toluen (DLV)	$6,6 \times 10^{-4}$	$1,3 \times 10^{-4}$	$1,5 \times 10^{-3}$	$3,1 \times 10^{-4}$	1
Toluen (GYTE)	$4,0 \times 10^{-4}$	$8,1 \times 10^{-5}$	$9,4 \times 10^{-4}$	$1,9 \times 10^{-4}$	1
Formaldehit (Pursaklar Ayyıldız A.L.)	$9,0 \times 10^{-2}$	$4,1 \times 10^{-3}$	$2,1 \times 10^{-1}$	$9,5 \times 10^{-3}$	10^{-6}
Formaldehit (Keçiören Kalaba A.L.)	$7,0 \times 10^{-2}$	$3,2 \times 10^{-3}$	$1,6 \times 10^{-1}$	$7,4 \times 10^{-3}$	10^{-6}

*ED değeri 30 yıl olarak kabul edilmiştir.

**ED değeri 70 yıl olarak kabul edilmiştir.

Çizelge 6.8: İTASHY ve SKHKY'dan alınan değerler ile elde edilen risk/tehlike indeksi değerleri

	CDI ₃ *	Risk/HI	Sınır değer	Yorum
Bromat	$2,9 \times 10^{-4}$	$2,0 \times 10^{-4}$	10^{-6}	Uygun değil
Arsenik	$2,9 \times 10^{-4}$	$4,3 \times 10^{-4}$	10^{-6}	Uygun değil
Cıva	$2,9 \times 10^{-5}$	$9,5 \times 10^{-2}$	1	Uygun
Kurşun	$2,9 \times 10^{-4}$	$2,4 \times 10^{-6}$	10^{-6}	Uygun değil
Benzen	1,1	$3,1 \times 10^{-2}$	10^{-6}	Uygun değil
Toluen	$2,1 \times 10^1$	4,3	1	Uygun değil
Formaldehit	$5,7 \times 10^{-1}$	$2,6 \times 10^{-2}$	10^{-6}	Uygun değil

*ED değeri 70 yıl olarak kabul edilmiştir.

Çizelge 6.7 ve 6.8’de verilen değerler ve açıklamalardan, söz konusu kimyasal maddelerden dolayı meydana gelecek kanser riskine veya tehlikeye maruz kalınmaması için daha detaylı çalışma ve araştırmaların yapılması gerekmektedir. Bu anlamda, su ve hava kalitesinin sürekli izlenerek maruz kalınacak konsantrasyonların azaltılmasına çalışılmalıdır.

Bu çalışmada, teorik hesaplamalarla bulunan sonuçların, bu maddelerin söz konusu olduğu bölgelerde uzun süreli yapılacak epidemiyolojik çalışmalarla teyit edilebilmesi mümkün olup, bunun için de sağlıklı ve güvenilir verilere ihtiyaç olacaktır.



KAYNAKLAR

- Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR).** (2007). Toxicological Profile For Arsenic, Atlanta, GA: U.S. Department Of Health And Human Services, Public Health Service.
- Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR).** (2008). Formaldehyde, Division of Toxicology and Environmental Medicine, Available: <http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp111.html>
- Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR).** (2019). Toxicological Profile For Lead Available: <https://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp13.pdf>
- Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR).** (2000). Toxicological Profile for Toluene, U.S. Department Of Health And Human Services, Atlanta.
- Aktaş, H.** (2016). *Mersin İli Patoloji Laboratuvarları Çalışanlarında Formaldehit Maruziyeti ile Bellek Arasındaki İlişkinin Değerlendirilmesi.* (Uzmanlık tezi). T.C. Mersin Üniversitesi, Tıp Fakültesi Halk Sağlığı Anabilim Dalı, Mersin.
- Aksakal Baran, N.** (2009). *Ankara İlinde İki Okulda Solunan Havada Mantar Varlığı, CO, CO₂, Formaldehit ve Toluen Düzeyleri ile Öğrencilerde İlgili Olabilecek Yakınmaların Değerlendirilmesi.* (Yüksek lisans tezi). T.C. Hacettepe Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Altun, B.** (2014). *İçme Sularında Arsenik Kirliliği Olan Bölgelerde Yaşayan Bireylerin Saç Örneklerindeki Arsenik Düzeylerinin ve Yanak Epitel Hücrelerinde Olası Genotoksik Hasarın Belirlenmesi* (Yüksek lisans tezi). Gazi Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Ankara Üniversitesi, Eczacılık Fakültesi, F. Toksikoloji Anabilim Dalı.** (2018). *Toksikoloji, Risk Karakterizasyonu.* Ankara. [PowerPoint slaydı]. https://acikders.ankara.edu.tr/pluginfile.php/67866/mod_resource/content/0/Toksisitenin%20ara%C5%9Ft%C4%B1r%C4%B1lmas%C4%B1%20III.pdf
- Anonim.** (2001). Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı, Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Metal Madenler Alt Komisyonu Kurşun-Çinko-Kadmiyum Çalışma Grubu Raporu. Dpt: 2628 - Öik: 639, Ankara.
- Arık, E.** (2016). *Akut Cıva İntoksikasyonunda Kandaki Nitrotrozin ve Nitrik Oksit Düzeylerinin Değerlendirilmesi.* (Tıpta uzmanlık tezi). T.C. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Tıp Fakültesi Çocuk Sağlığı ve Hastalıkları Anabilim Dalı, Kahramanmaraş.
- Aydın, S.** (2009). *Formaldehite Maruz Kalan İşçilerin İmmün ve Genetik Göstergelerinin İncelenmesi.* (Doktora tezi). T.C. Hacettepe Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

- Başkan, M., Pala, A.,** (2009). İçme Sularında Arsenik Kirliliği: Ülkemiz Açısından Bir Değerlendirme. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Mühendislik Bilimleri Dergisi, 1, (69-79).
- Council Directive 98/83/EC On The Quality of Water Intended For Human Consumption.** (1998). Official Journal of the European Communities, 3 Aralık 1998.
- California Environmental Protection Agency (CEPA) Office of Environmental Health Hazard Assessment Air Toxicology and Epidemiology Section,** (1999). Technical Support Document for Describing Available Cancer Potency Factors.
- Çetinkaya, K.** (2018). *Karabük İli ve Çevresinde Anne Sütünde Kurşun, Kadmiyum, Nikel Düzeyleri* (Yüksek lisans tezi). T.C. Karabük Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Karabük.
- Çomunoğlu, N., Ekici Doğan, I., Eren, B., Türkmen, N., Fedakar, R., Çöloğlu, S.** (2009). Adli Tıp Dergisi Journal of Forensic Medicine, *Toluen Bileşiklerinin Toksik Etkilerinin 4 Otopsi Olgusu Üzerinden Değerlendirilmesi*, 23(1): 33-43.
- Dönmez, M.** (2011). *İçme Suyundan Arsenik Giderimi* (Yüksek lisans tezi). T.C. Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Samsun.
- Durusoy, R.** (2006). Halk Sağlığı Açısından İçme ve Kullanma Suyu Analizleri.
- EYİ, H.** (2015). *Ozonlama İşlemi Sirasında Doğal Kaynak Suyunda Bromat Oluşumunu Etkileyen Parametreler ve Bromat Miktarının Kontrolünü Sağlayan Uygulamalar.* (Yüksek lisans tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Fjeld, R. A., Eisenberg, N. A., Compton, K. L.** (2007). *Quantitative Environmental Risk Analysis for Human Health* (2007). Canada.
- Gündüz, M.** (2015). *Mobilya ve Dekorasyon Eğitimi Anabilim Dalı Bazı Ahşap Esaslı Levhaların Oda ve Gaz Analiz Metoduna Göre Formaldehit Emisyonlarının Belirlenmesi.* (Yüksek lisans tezi). T.C. Düzce Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Düzce.
- Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliği.** (2008). T.C. Resmi Gazete, 26989, 06 Haziran 2008.
- Internal Agency for Research on Cancer (IARC).** (2004). Some Drinking-Water Disinfectants And Contaminants, Including Arsenic. IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans, 84, 1-512.
- Internal Agency for Research on Cancer (IARC).** (2012). Arsenic, Metals, Fibres And Dusts. IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans, 100C, 41-85.
- İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik.** (2005). T.C. Resmi Gazete, 25730, 17 Şubat 2005.
- İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi (İ.S.K.İ.).** (2019). *İstanbul Su Kalite Raporu Mart 2019.* İstanbul.

İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi (İ.S.K.İ.). (2019). *İstanbul Su Kalite Raporu Ocak 2019*. İstanbul.

Kahraman Aydın, H. (2019). *Ratlarda Formaldehit Toksikasyonu ile İndüklenen Nefrotoksisite ve Hepatotoksisiteye Bağlı Oluşturulan Oksidatif Stres Üzerine Kafeik Asit Fenetil Ester'in Koruyucu Etkileri*. (Yüksek lisans tezi). T.C. Kafkas Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Kars.

Kahraman, M. (2002). *Tehlikeli Maddeler ve Çevresel Risk Değerlendirme Yaklaşımları Örnek Uygulama*. (Yüksek lisans tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Leeuwen, C. J., and Vermeire, T. G., (2007). *Risk Assessment of Chemicals: An Introduction*, Springer, Hollanda.

Mohammed, A. A. (2018). *Siçanlarda Toluen Toksisitesinin Asetilkolinesteraz, Na⁺/K⁺ Atpaz, Fosfofruktokinaz Aktiviteleri Üzerine Etkisinin Post-Mortem Araştırılması*. (Yüksek lisans tezi). Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.

Ordinance on The Quality of Water Intended For Human Consumption. (2016). Trinkwasserverordnung – TrinkwV 2001, 10 Mart 2016.

Özdemir, F. (2010). *İçme Sularından Arsenik Giderimi* (Yüksek lisans tezi). T.C. Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.

Özdemir, G. (2013). *Dilovasi Bölgesindeki Uçucu Organik Bileşiklerin Zaman ve Konuma Bağlı Değişiminin Pasif Örnekleme Metodu ile İzlenmesi ve Dağılım Haritalarının Oluşturulması*. (Yüksek lisans tezi). T.C. Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Gebze.

Özkan, E., Yavuz Taşlıpınar, M., Yeşilkaya, Ş. (2013). Journal of Computational and Applied Mathematics, *Ağır Metal Zehirlenmeleri*, (s.107-110).

Öztürk, M., (2017). *İçme Suyunda Arsenik Miktarı ve Sağlık Üzerine Etkisi*. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Ankara.

Palaz, T. (2013). *Kurşun Maruziyetine İlişkin Sağlık İnanç Ölçeğinin Geliştirilmesi Çalışması* (Yüksek lisans tezi). T.C. Gazi Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Sanayi Kaynaklı Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği. (2009). T.C. Resmi Gazete, 27277, 03 Temmuz 2009.

Soyer, E. (2003). *Büyükçekmece Su Kaynağının Ozonlama Sonucu Bromat Oluşturma Potansiyelinin Araştırılması* (Yüksek lisans tezi), İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Tavşan, S. (2010). *Sanayileşmiş Kıyusal Bölgedeki Ortam Havasında Uçucu Organik Bileşik Kirliliği: GYTE Muallimköy Yerleşkesi ve Dilovası Yerleşim Bölgesinde BTEX Ölçümleri*. (Yüksek lisans tezi). T.C. Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Gebze.

T.C. Milli Eğitim Bakanlığı (2012), *Kimya Teknolojisi, Benzen Türevleri ve Prosesleri*, Ankara.

- T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı (2009)**, Kirilenmiş Saha Risk Değerlendirme Teknik Rehberi, Ankara.
- Topuz, E.** (2009). *Endüstriyel Tehlikeli Maddeler İçin Çevresel Risk Değerlendirme Yaklaşımı*. (Yüksek lisans tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Tözün, M.** (2007). *Eskişehir’de Kurşunla Çalışan İşyerlerinde Kurşun Maruziyeti*. (Uzmanlık tezi). Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Tıp Fakültesi Halk Sağlığı Anabilim Dalı, Eskişehir.
- Tözün, M., Ünsal, A.** (2008). Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Tıp Fakültesi, TAF Preventive Medicine Bulletin, 7(6) Derleme/Review Article TAF Prev Med Bull; 7(6):541-546, *Benzen ve Sağlık Etkileri*, Eskişehir 1 No’lu Toplum Sağlığı Merkezi, Halk Sağlığı AD. Eskişehir.
- TSE** (1997). TS 266 Sular-İçme ve Kullanma Suları Standardı. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- United States Environmental Protection Agency (US EPA)**. 2006. Integrated Risk Information System.
- World Health Organization (WHO)**. (2000). World Health Organization Regional Office for Europe, Air Quality Guidelines for Europe, WHO Regional Publications, Copenhagen.
- Yağmur, F., Hancı, İ. H.**, (2002), Arsenik, Sürekli Tıp Eğitimi Dergisi (sted), 11(7), (250-251).
Available: <http://www.ttb.org.tr/STED/sted0702/arsenik.pdf>.
- Yenilmez, A.** (2014). *Mersin Atmosferik Çökelme Örneklerinin Formaldehit İçeriklerinin İncelenmesi*. (Yüksek lisans tezi). Mersin Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mersin.

ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Nazan RAMOĞLU
Doğum Tarihi ve Yeri : 03.07.1988 / Üsküdar
E-posta : nazanramoglu@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2010, Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- (2012-2018) Testmer Test ve Ölçüm Hizmetleri A.Ş. / Çevre Mühendisi-İSG Uzmanı
- (2016-2018) Inspecco Belgelendirme ve Gözetim Hizmetleri A.Ş. / İSG Uzmanı
- (2019-...) Cankurt OSGB / İSG Uzmanı