

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

NOKTASAL KAYNAKLARDAN KİRLENMİŞ TOPRAKLARDA
SAHA DURUM VE RİSK ANALİZİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Melike ÇETİN

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

ŞUBAT 2024

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

NOKTASAL KAYNAKLARDAN KİRLENMİŞ TOPRAKLARDA
SAHA DURUM VE RİSK ANALİZİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Melike ÇETİN

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Cemile DEDE

ŞUBAT 2024

Melike ÇETİN tarafından hazırlanan “Noktasal Kaynaklardan Kirlenmiş Topraklarda Saha Durum ve Risk Analizi” adlı tez çalışması 09.02.2024 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği/oy çokluğu ile Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi

Jüri Başkanı : **Prof. Dr. Saim ÖZDEMİR**

 Sakarya Üniversitesi

Jüri Üyesi : **Doç. Dr. Nazire P. TANATTI**

 Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi

Jüri Üyesi : **Dr. Öğr. Üyesi Cemile DEDE**

 Sakarya Üniversitesi

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Lisansüstü Eğitim-Öğretim Yönetmeliğine ve Yükseköğretim Kurumları Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesine uygun olarak hazırlamış olduğum “NOKTASAL KAYNAKLARDAN KİRLENMİŞ TOPRAKLARDA SAHA DURUM VE RİSK ANALİZİ” başlıklı tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın tüm aşamalarında yukarıda belirtilen yönetmelik ve yönergeye uygun davrandığımı, tezin içerdiği yenilik ve sonuçları başka bir yerden almadığımı, tezde kullandığım eserleri usulüne göre kaynak olarak gösterdiğimi, bu tezi başka bir bilim kuruluna akademik amaç ve unvan almak amacıyla vermediğimi ve 20.04.2016 tarihli Resmi Gazete ’de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince Sakarya Üniversitesi’nin abonesi olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Enstitü tarafından belirlenmiş ölçütlere uygun rapor alındığını, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun ortaya çıkması halinde doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi beyan ederim.

09/02/2024

Melike ÇETİN

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim boyunca değerli bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım, her konuda bilgi ve desteğini almaktan çekinmediğim, araştırmanın planlanmasından yazılmasına kadar tüm aşamalarında yardımlarını esirgemeyen, teşvik eden, aynı titizlikte beni yönlendiren değerli danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Cemile DEDE'ye, çalışmalarım sırasında bana her zaman ışık tutan sevgili hocalarım Prof. Dr. Saim ÖZDEMİR ve Doç. Dr. Ömer Hulusi DEDE'ye yoğun çalışmalarım esnasında beni her daim destekleyen eşim Yasin ÇETİN'e, varlığıyla beni onurlandıran sevgili aileme teşekkürlerimi sunarım.

Melike ÇETİN

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ	v
TEŞEKKÜR	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xi
TABLO LİSTESİ	xiii
ŞEKİL LİSTESİ	xv
ÖZET	xvii
SUMMARY	xix
1. GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER.....	5
2.1. İnsan Sağlığı Risk Değerlendirmesi ve Kirlenmiş Saha Değerlendirme Sürecinde Kullanılması	5
2.1.1. Kanser riskinin değerlendirilmesi	8
2.1.2. Kanser dışındaki sağlık risklerinin değerlendirilmesi.....	9
2.2. Hedef Kirleticilerin Fiziksel-Kimyasal Özellikleri ve Sağlık Etkileri.....	11
2.2.1. Arsenik	11
2.2.2. Krom	12
2.2.3. Nikel.....	12
2.3. Konu İle İlgili Literatür Araştırması	13
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	19
3.1. Çalışma Alanı ve Örneklemeler	19
3.2. Kanser Dışındaki Sağlık Riskinin Belirlenmesi.....	20
4. ARAŞTIRMA BULGULARI.....	23
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	35
KAYNAKLAR	37
ÖZGEÇMİŞ.....	45

KISALTMALAR

HI	: Tehlike İndeksi
As	: Arsenik
Ni	: Nikel
T.Cr	: Toplam Krom
Cd	: Kadmiyum
Hg	: Civa
Cu	: Bakır
Pb	: Kurşun
Zn	: Çinko
Co	: Kobalt
Mn	: Manganez
ÖD	: Ölçüm Değerleri
RD	: Referans Değerleri
UNEP	: Birleşmiş Milletler Çevre Programı
EPA	: Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı
TKKNKSDY	: Toprak Kirliliğinin Kontrolü ve Noktasal Kaynaklı Kirlenmiş Sahalara Dair Yönetmelik
JKSD	: Jenerik Kirletici Sınır Değerler
TYDT	: Toprağın Yutulması Ve Deri Teması Yoluyla Emilim
KTS	: Kaçak Tozların Dış Ortamda Solunmaları
UMS	: Uçucu Maddelerin Dış Ortamda Solunmaları
YSİ	: Kirleticilerin Yeraltı Suyuna Taşınması Ve Yeraltı Suyunun İçilmesi
CR	: Kanserojenler İçin Risk
SF	: Kirleticiye Özgü Eğim Faktörü
IARC	: Uluslararası Kanser Araştırma Ajansı
HQ	: Tehlike Oranı
EDI	: Tahmini Günlük Alım
HK	: Hedef Kirletici Parametreler
T	: Kontrol Noktası
RT	: Referans Noktası

S	: Gözlem Kuyusu
RS	: Referans Kuyusu
RfD	: Referans Doz
KSRDTR	: Kirlenmiş Saha Risk Değerlendirme Teknik Rehberi
CW	: Su Örneklerinde Ölçülen Kirlenici Konsantrasyonu
IR	: Yutma Oranı
EF	: Maruziyet Sıklığı
ED	: Maruziyet Süresi
BW	: Vücut Ağırlığı
AT	: Ortalama Zaman
SA	: Temasa Açık Deri Yüzeyi Alanı
PC	: Kimyasala Özgü Deri Geçirgenlik Sabiti
ET	: Bir Gündeki Maruziyet Süresi
CF	: Hacimsel Dönüşüm Faktörü
FI	: Kirlenmiş Kaynaktan Yutulan Oran
TF	: Kimyasala Özgü Bitki Transfer Faktörü

TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 4.1. Toprak numunelerinde belirlenen kirletici konsantrasyonları (mg/kg) ...	23
Tablo 4.2. Kuyulardan alınan su numunelerindeki kirletici konsantrasyonları.....	24
Tablo 4.3. Ölçülen değer / referans değer sonuçları.....	24
Tablo 4.4. T1 Sahası Kirletici Konsantrasyonlarının Jenerik Sınır Değerler ile Karşılaştırılması	25
Tablo 4.5. T2 Sahası Kirletici Konsantrasyonlarının Jenerik Sınır Değerler ile Karşılaştırılması	25
Tablo 4.6. T3 Sahası Kirletici Konsantrasyonlarının Jenerik Sınır Değerler ile Karşılaştırılması	26
Tablo 4.7. T4 Sahası Kirletici Konsantrasyonlarının Jenerik Sınır Değerler ile Karşılaştırılması	26
Tablo 4.8. Maruz kalınan miktarlar	28

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 4.1. As için T1 Sahası HI değerleri.....	28
Şekil 4. 2. As için T2 Sahası HI değerleri.....	29
Şekil 4.3. As için T3 Sahası HI değerleri.....	29
Şekil 4.4. As için T4 Sahası HI değerleri.....	30
Şekil 4.5. Ni için T1 Sahası HI değerleri	30
Şekil 4.6. Ni için T2 Sahası HI değerleri	31
Şekil 4.7. Ni için T3 Sahası HI değerleri	31
Şekil 4.8. Ni için T4 Sahası HI değerleri	32
Şekil 4.9. Toplam Cr için T1 Sahası HI değerleri.....	32
Şekil 4.10. Toplam Cr için T2 Sahası HI değerleri.....	33
Şekil 4.11. Toplam Cr için T3 Sahası HI değerleri.....	33
Şekil 4.12. Toplam Cr için T4 Sahası HI değerleri.....	34
Şekil 4.13. Toplam HI değerleri	34

NOKTASAL KAYNAKLARDAN KİRLENMİŞ TOPRAKLARDA SAHA DURUM VE RİSK ANALİZİ

ÖZET

Toprak kirliliği, ekolojik dengeyi, çevre ve insan sağlığını tehdit eden en önemli faktörlerden biridir. Toprak kalitesinin değerlendirilmesi, kirlilik şüphesi bulunan ya da kirlendiği bilinen sahaların yönetimi, kirliliğin boyutunun belirlenmesi, sahanın temizleme işlemlerine ihtiyaç olup olmadığının belirlenmesi gibi süreçlerde insan sağlığı risk analizi değerlendirmelerinden faydalanılmaktadır. Bu değerlendirmede kirleticilerin maruz kalan alıcılarda yol açabileceği kanser dışı sağlık etkileri Tehlike İndeksi (HI) hesaplanarak değerlendirilir.

Bu çalışmanın amacı; noktasal kaynaklı kirlilik şüphesi olan endüstriyel bir sahada arsenik (As), nikel (Ni) ve toplam krom (T.Cr) konsantrasyonlarının belirlenmesi, kirleticilerin alıcılara ulaşmasında etkili taşınım yollarının tespit edilmesi ve bu kirleticilere maruz kalacak potansiyel yetişkin popülasyonunda kanser dışı sağlık riskinin değerlendirilmesidir.

Bu amaçla sahada 4 kontrol noktası ile 2 referans noktasında 2 m ve 4 m olmak üzere iki ayrı derinlikten toprak numuneleri, 3 adet gözlem kuyusu ve 1 adet referans kuyusundan 10 m derinlikten su örnekleri alınarak As, Ni, Toplam Cr konsantrasyonları belirlenmiştir.

Kontrol noktalarında 2 m derinlikten alınan toprak örneklerinde en yüksek As, Ni, T.Cr konsantrasyonları sırası ile 19,8 mg/kg, 72,5 mg/kg, 69.2 mg/kg, 4 m derinlikten alınan toprak örneklerinde ise 18,7 mg/kg, 54,4 mg/kg, 57.2 mg/kg olarak belirlenmiştir. Kontrol noktalarında elde edilen ölçüm sonuçları (ÖD) kirlilikten etkilenmediği varsayılan referans noktalarından alınan örneklerden elde edilen sonuçlar (RD) ile oranlanmıştır. Tüm noktalar için $\text{ÖD/RD} < 25$ olduğu, ancak 1-25 arasında olan değerler bulunduğu tespit edilmiştir.

Tespit edilen kirletici konsantrasyonları ilgili kirleticiler için belirlenmiş olan sınır değerler ile karşılaştırılmıştır. Kirleticilerin sahadaki potansiyel alıcılara taşınmasında etkili olabilecek taşınım yolları belirlenmiş ve her bir taşınım yolu ile maruz kalınan kirletici miktarları hesaplanmıştır. Her üç kirletici için de kirleticilerin suyun içilmesi yoluyla alınmasının en fazla maruziyete neden olduğu görülmüştür. Maruz kalınan kirleticilerin alıcılarda yol açabileceği kanser dışı sağlık riski değerlendirmesi için HI değerleri hesaplanmıştır. Hesaplanan toplam HI değerlerinin $1,23E-02-1,57E-02$ arasında ve toplam $HI < 1$ olduğu belirlenmiştir. Toplam $HI < 1$ olması sahadaki kirleticilere maruz kalınmasından dolayı kanser dışı olumsuz sağlık etkilerinin beklenmediğini işaret etmektedir.

Anahtar kelimeler: arsenik, nikel, toplam krom, toprak kirliliği, risk değerlendirme, tehlike indeksi

FIELD SITUATION AND RISK ANALYSIS IN SOILS CONTAMINATED FROM POINT SOURCES

SUMMARY

Soil pollution is one of the most important factors that threaten ecological balance, environment and human health. Pollution in soils is not only limited to terrestrial ecosystems, but can also be transported to different points by factors such as atmospheric transport, precipitation and flows, and can also pollute surface and groundwater resources. This situation also makes the prevention and correct management of soil pollution a necessity for the sustainable use of water resources.

Soil quality is one of the most important factors in terms of plant development. Therefore, it is of great importance to improve soil quality and prevent pollution in order to ensure agricultural productivity, the quality of produced agricultural products and food safety.

Various diffuse or point sources can cause soil pollution. Industrial activities and accidents occurring during these activities are one of the most important causes of soil pollution. Especially heavy metal pollution in industrial areas is a concern for the reasons such as their resistance to microbial or chemical degradation and their ability to be transported through the food chain.

In order to protect human and environmental health, increase human welfare, and prevent economic losses that soil pollution may cause, soil pollution must first be prevented through preventive actions.

In cases of pollution cannot be prevented, in order to control, manage, remediate the pollution correctly with scientifically based approaches, it is important to identify the polluting sources, determine the extent of the pollution, determine whether cleaning operations are needed, and in areas where pollution is suspected, to clarify the pollution situation of the site.

Human health risk assessment offers significant advantages in all these processes.

Human health risk assessment analysis are used in processes such as the assessment of soil quality, management of contaminated or suspected contaminated, determination of the extent of pollution, and determination of whether the site requires cleaning operations.

Cleaning processes of contaminated soils may be multi-component, complex, quite time-consuming, labor-intensive and costly. Using human health risk assessment in the soil pollution management process can contribute to more effective use of time, labor and economic resources.

Revealing the suitability of soils for their current or planned future use through human health risk assessment studies can support the sustainable use of resources. Particularly in areas used or planned to be used for agricultural production, it can help prevent the transport of pollutants through the food chain.

In the health risk assessment, it is accepted that the target pollutants cause cancer and non-cancerogenic health risks in potential exposed receptors. Different formulas are used to calculate the health risks in these two groups.

The non-cancerogenic health effects that pollutants may cause in exposed receptors are evaluated by calculating the Hazard Index (HI). In this evaluation, the chemical intake to be exposed over a certain period of time is divided by the reference chemical intake developed for a similar period of time.

Receptors can be exposed to the pollutants mainly ingestion, inhalation, and dermal contact pathways. For the calculation of HI, the exposure amounts first be determined for the exposure pathways. Calculated values are compared with reference values.

When calculating the non-cancerogenic health risks that may occur as a result of receptors being exposed to more than one chemical, the amounts to be exposed to each chemical through each exposure are calculated. Then, the total hazard index is calculated by adding up the values for each chemical.

Total $HI > 1$ indicates that adverse non-cancerogenic health effects due to exposure to examined pollutants can be expected.

The aim of this study is to determine arsenic, nickel and total chromium concentrations in an industrial site with suspected point source pollution, to identify exposure pathways, and calculate the hazard index (HI) to estimate non-cancerogenic health risk in the exposed adult population.

For this purpose soil samples collected from two different depths. Soil samples were taken from 2 m and 4 m depth at 4 control points (T1, T2, T3, T4) and 2 reference points (RT1, RT2).

Water samples collected from 3 observation wells (S1, S2, S3) and 1 reference well (RS) at 10 m depth. Reference points are areas thought to be unaffected by pollution. Arsenic (As), nickel (Ni), total chromium (T.Cr) concentrations were determined in all samples.

The highest As, Ni, total Cr concentrations in the soil samples taken from 2 m depth at control points were determined as 19,8 mg/kg, 72,5 mg/kg, 69.2 mg/kg, respectively and 18,7 mg/kg, 54,4 mg/kg, 57.2 mg/kg, respectively in the samples taken from 4 m depth.

The measurement results obtained at the control points (ÖD) were compared with the results of the samples taken from the reference points (RD).

ÖD/RD is used to determine the decision to be made regarding the field. If $\text{ÖD/RD} \leq 1$, related site does not require monitoring. If $\text{ÖD/RD} > 25$, the site is considered contaminated and requires cleaning. If $1 < \text{ÖD/RD} < 25$, second stage evaluation process including site and pollution characterization, generic risk assessment, and site-specific risk assessments is needed.

In this study, it was determined that $\text{ÖD/RD} < 25$ for all points, but there were values between 1-25.

The detected pollutant concentrations were compared with the limit values determined for the relevant pollutants.

Pathways that may be valid in transporting pollutants to potential receptors in the field were determined, and pollutant intake amounts for each pathways were calculated.

In this study for all three pollutants, ingestion of pollutants through drinking water was found to cause the highest exposure.

HI values were calculated to assess the non-cancer health risk that exposed pollutants may cause in receptors. It was determined that the calculated total HI values were between $1,23E-02$ - $1,57E-02$ and total $HI < 1$.

A total $HI < 1$ indicates that non-cancerogenic adverse health effects are not expected due to exposure to contaminants at the site.

Key words: arsenic, nickel, total chromium, soil pollution, risk assessment, hazard index

1. GİRİŞ

Toprak ekolojik dengenin ve sürdürülebilir bir geleceğin vazgeçilmez unsurlarından biridir. Toprakların sürdürülebilir kullanımı ve yönetimi için toprak kirliliğinin önlenmesi, azaltılması, izlenmesi ve doğru yönetilmesi, ekolojik dengenin sürdürülebilmesi, insan sağlığının korunması, doğal çevre tahribatının azaltılması ve insan refahının iyileştirilmesi açısından hayati önem taşımaktadır.

Toprak oluşum süreci çok uzun yıllar almasına karşın, toprakların fiziksel, kimyasal ve biyolojik özellikleri seller, kasırgalar, doğal sebeplerle oluşan yangınlar gibi doğal nedenler ya da çeşitli sanayi faaliyetleri, endüstriyel faaliyetler sırasında meydana gelen kazalar, madencilik faaliyetleri, tarımsal üretim amacıyla kullanılan pestisit ve gübre uygulamaları gibi insan kaynaklı birçok nedenden dolayı hızla bozulabilmektedir. Özellikle sanayi bölgelerinde yaşanan toprak kirliliği sorunu dünyanın birçok yerinde önde gelen endişe kaynaklarından biridir.

Topraklarda yaşanan kirlilik sadece karasal ekosistemlerle sınırlı kalmayıp atmosferik taşınma, yağış ve akışlar gibi etkenlerle uzak noktalara taşınabilmekte, yerüstü ve yeraltı su kaynaklarını da kirletebilmektedir. Bu durum toprak kirliliğinin önlenmesi ve doğru yönetilmesini su kaynaklarının sürdürülebilir kullanımı için de bir zorunluluk haline getirmektedir.

Toprak kalitesi bitki gelişimi açısından da dikkate alınması gereken ilk faktördür. Dolayısıyla tarımsal verimliliğinin, üretilen tarım ürünlerinin kalitesinin ve gıda güvenliğinin sağlanabilmesi için de toprak kalitesinin iyileştirilmesi, kirliliğinin önlenmesi büyük önem taşımaktadır.

Toprak kirliliği sadece insan sağlığını tehdit etmekle sınırlı kalmayıp, toprağın içerdiği çok sayıda ve çeşitte olan ve toprak verimliliği, madde ve enerji döngüleri gibi süreçlerde önemli rol oynayan mikroskobik canlılardan bitkilere, kirliliğin besin zincirinde taşınması yoluyla zincirin en üst halkalarında yer alan canlılara kadar birçok organizmayı tehdit edebilmektedir.

Toprak kirliliğinin insan sağlığı ve bitki gelişiminin yanı sıra ekolojik sistemin birçok unsurunu tehdit etmesi ciddi ekonomik kayıplara ve sosyal eşitsizliklere neden olmakta ve sürdürülebilir kalkınma hedeflerine yönelik küresel çabaları da zayıflatmaktadır [1-6].

Dünyanın birçok yerinde doğal süreçler ya da insan faaliyetleri sonucunda ortaya çıkan yayılı ya da noktasal kaynaklı kirleticiler nedeniyle yaşanan toprak kirliliği, toprak erozyonu ve asitlenme gibi nedenlerle daha da şiddetli bir hale gelebilmektedir [7-11].

Her bir sektörün gerçek emisyonlarına ilişkin somut ve karşılaştırılabilir veriler bulunmamakla birlikte endüstriyel faaliyetler toprak kirliliğine neden olan kirleticilerin ana kaynaklarının başında yer almaktadır. Endüstriyel faaliyetlerden kaynaklanan kimyasalların iyi yönetilmemesi ve çevreye yayılması, hem sanayi sahasında hem de partiküllerin hava ve su yoluyla taşınması aracılığıyla daha geniş çapta gerçekleşen toprak kirliliğinin ana kaynaklarıdır [1].

Özellikle sanayi bölgelerinin yakınında yaşayan insanlar toprak veya su kirliliğine karşı daha savunmasızdırlar ve dolayısıyla olumsuz sağlık etkileri açısından daha yüksek risk altındadırlar [12-14].

Dünyanın farklı bölgelerinde daha önce endüstriyel olarak kirlenmiş alanlar artık endüstriyel olarak kullanılmaları bile çeşitli kirleticileri yüksek düzeyde barındırmaya devam edebilmektedir. Yasal düzenlemelerdeki eksiklikler ve arazi ıslahının gerektirdiği yüksek maliyet gibi nedenler kirlenmiş alanların herhangi bir temizleme işlemi olmaksızın arazi piyasasına girmesine de yol açabilmektedir [14].

Tüm bu olumsuzlukların yaşanmaması için toprak kirliliğinin önlenmesi, kontrolü ve doğru yönetimi konusunda küresel çapta önemli çabalar sürdürülmektedir. Birleşmiş Milletler Çevre Programı (UNEP) küresel çevre, gıda güvenliği ve tarım, kalkınma ve sağlık gündemleri kapsamındaki toprak kirliliğini sürdürülebilir kalkınma bağlamında özellikle mevcut bilimi kullanarak önleyici yaklaşımlar ve risk yönetimi yoluyla entegre bir şekilde ele almak ve yönetmek için acil eylem ve işbirliği çağrısında bulunan bir kararı kabul etmiş ve bu karar 170'ten fazla ülke tarafından kabul görmüştür [3,15-17].

Toprak kalitesinin korunması ve iyileştirilmesi için kirliliğin önlenmesi kadar kirlilik şüphesi bulunan alanlarda kirliliğe yol açabilecek kaynakların ve süreçlerin elverişli yöntemlerle belirlenmesi, izlenmesi, kontrol altına alınması, kirliliğin meydana gelmiş

olduğu alanlarda ise kirliliğin nedenlerinin, boyutunun belirlenerek sürdürülebilir kalkınma hedefleriyle uyumlu bir şekilde temizlenmesi ve izlenmesi gerekmektedir [18].

Kirlenmiş topraklar saha içinde ya da saha dışına taşınarak temizlenebilmekte ancak bu temizleme süreçleri çok bileşenli, karmaşık, oldukça zaman alıcı, yoğun emek gerektiren ve maliyetli olabilmektedir.

Kirlenmiş ya da kirlendiğinden şüphe edilen sahaların risk değerlendirmesine dayalı olarak incelenerek sahanın kirlilik durumunun ortaya çıkarılması, temizleme işlemlerine ihtiyaç duyulup duyulmadığının belirlenmesinde önemli katkılar sunmaktadır. Son yıllarda kamuoyunun kirlenmiş alanların risk değerlendirmesine olan ilgisi ve farkındalığı dünya çapında artmıştır [19].

İnsan sağlığı risk değerlendirmesi; toprak kalitesinin riske dayalı değerlendirmesinde ve kirlenmiş sahaların yönetiminde oldukça büyük bir öneme sahiptir.

Bu çalışmanın amacı; noktasal kaynaklı kirlilikten etkilenmiş endüstriyel bir sahada arsenik, toplam krom, ve nikel konsantrasyonlarının belirlenmesi ve bu kirleticilere maruz kalacak potansiyel yetişkin popülasyonunda kanser dışı sağlık riskinin hesaplanarak sahadaki toprak kirliliği durumunun değerlendirilmesidir.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. İnsan Sağlığı Risk Değerlendirmesi ve Kirlenmiş Saha Değerlendirme Sürecinde Kullanılması

Kirlilik ve sağlıkla ilgili Lancet Komisyonu tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada, çevresel kirliliğin 2015 yılında küresel çapta hastalık ve erken ölümlerle ilgili dünyanın en büyük çevresel risk faktörü olduğu belirlenmiş ve yılda 9 milyon erken ölümden sorumlu olduğu tahmin edilmiştir. 2022 yılında yayınlanan çalışmada ise Küresel Hastalık, Yaralanma ve Risk Faktörleri Çalışması 2019'dan alınan veriler kullanılarak tahminler güncellenmiş, kirliliğin yılda yaklaşık 9 milyon ölümden sorumlu olmaya devam ettiği ve bunun dünya çapında gerçekleşen her altı ölümden birine tekabül ettiği belirtilmiştir [20]. İnsan sağlığını ve refahını tehdit eden en önemli çevresel etkenlerden biri de toprak kirliliğidir.

Toprak kirliliği genellikle insan sağlığı üzerinde uzun vadeli bir etkiye sahiptir. Toprak kirliliğine maruz kalma ile neden olabileceği sağlık etkileri arasındaki ilişkiyi pek çok değişken belirlemektedir. Kirletici madde(ler) ve konsantrasyonları, maruz kalma yolları, maruz kalınan ortam, bireysel özellikler bu değişkenlerden bazılarıdır. Kronik hastalığı olan bireyler, fetüs, yeni doğan ve çocuklar gibi bazı gruplar sağlıklı yetişkinlere göre kirletici etkenlere karşı daha hassastır [1].

İnsan sağlığı, toprak kalitesinin riske dayalı değerlendirilmesinde ve kirlenmiş sahaların yönetiminde önemli bir koruma hedefi olarak kabul edilmektedir [21,22].

Risk kelimesinin birçok tanımı olmasına rağmen, Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı (EPA) riski, çevresel stres etkenine maruz kalma sonucu insan sağlığına veya ekolojik sistemlere zararlı etki olasılığı olarak ele almaktadır. Stres etkeni, insanlarda veya ekosistemlerde olumsuz etkilere yol açabilen herhangi bir fiziksel, kimyasal veya biyolojik unsur olabilir [23].

İnsan sağlığına yönelik risklerin doğasını ve büyüklüğünü karakterize etmek için risk değerlendirmesi kullanılmaktadır [23].

Kirleticilerin çevre ve insan sağlığı üzerindeki olumsuz etkilerinin değerlendirilmesinde deneysel ve epidemiyolojik çalışmalar önemli olmakla birlikte; bu yöntemler oldukça kapsamlı, maliyetli ve zaman alıcı olabilmektedir. İnsan sağlığı risk değerlendirmesine yönelik matematiksel yaklaşımlar ise düşük maliyetli, hızlı ve tahmin gücünün yüksek olması gibi nedenlerle önemli avantajlar sunmaktadır [24].

İlk olarak ABD Ulusal Araştırma Konseyi tarafından önerilmiş olan insan sağlığı risk değerlendirmesi; birey veya popülasyonun maruz kaldığı belirli bir kirletici dozu veya konsantrasyonu nedeniyle gelişebilecek kanser veya kanser dışı sağlık riskini değerlendirme sürecidir. Genel olarak, insan sağlığı risk değerlendirmesi; tehlikenin tanımlanması, maruz kalmanın değerlendirilmesi, doz-tepki değerlendirmesi ve risk karakterizasyonu olmak üzere dört adımdan oluşur [25,26].

İnsan sağlığı risk değerlendirmesi; kirlenmiş ya da kirlilik şüphesi bulunan toprakların kirlilik durumunun incelenerek bu sahalara yönelik uygulanması gereken işlemlerin belirlenmesi için önemli bir süreçtir.

Risk değerlendirme; Toprak Kirliliğinin Kontrolü ve Noktasal Kaynaklı Kirlenmiş Sahalara Dair Yönetmelik, Madde 4(1)/v'de tanımlanarak, doğal evre ve insanların kirletici maruziyeti sonucunda olumsuz etkilerin nitelik olarak tanımlanması, incelenmesi ve kirlilik boyutlarının derecesinin ortaya koyulması gerekliliği belirtilmektedir [18].

TKKNKSDY esaslarına göre bir sahanın kirlilik durumu ile ilgili karara varılabilmesi için öncelikle hedef kirleticinin ölüm değer (D) ile referans değerinin (RD) belirlenmesi, D/RD oranının analiz edilerek referans değerden sapma düzeyinin tespit edilmesi gerekmektedir [27]. Adı geçen terimler ilgili yönetmelikte tanımlandığı şekliyle aşağıdaki gibi açıklanabilir.

Ölüm değer (D): Hedef kirleticinin gösterge parametresi veya konsantrasyonunu belirtir. İnsan etkinlikleri sonucu veya noktasal kaynaklardan gelen kirleticilerle kirlendiği şüphesi bulunan alanlardan temin edilen toprak veya yüzey-yeraltı suyu numunelerinin, kirlilik şüphesi duyulan sahanın kirlilik gösterge parametreleri veya hedef kirleticiler için bulunan referans değerleri karşılaştırılmak amacıyla kullanılır [28].

Referans değer (RD): İnsan faaliyetleri veya noktasal kaynaklardan gelen kirleticiler ile kirlendiği varsayılan veya düşünülen alanın yakınında bulunan sahadan alınan

toprak, yüzey-yeraltı suyu numunelerinde, birinci aşama ve ikinci aşama değerlendirmelerdeki kirlilik gösterge parametreleri ve kirlletici konsantrasyonu ile kıyaslama yapmak için ölçümü gerçekleştirilen kirlilik gösterge parametresi veya hedef kirlletici konsantrasyonu ölçüm değerini belirtir [29].

Hedef kirlletici: İnsan etkinlikleri veya noktasal kaynaklardan gelen kirlleticilerle kirlendiği düşünüldüğünden incelenecek olan saha için, kirliliğin kaynağına göre insan sağlığı ve doğal çevrede oluşturacağı riskler dikkate alınarak ölçülmesi gereken kirlletici maddeyi belirtir [30].

İlgili yönetmelikte belirtilen esaslara göre sahada ölçülen değer(ler) ile referans değer(ler)in karşılaştırılması neticesinde sapmanın ≤ 1 olduğunun belirlenmesi durumunda saha hakkında “Takip Gerektirmeyen Saha” olduğu kararı verilir [27].

Sapma >25 olduğunun tespit edilmesi durumunda ise sahanın “Bakanlıkça belirlenen süreç uyarınca temizlenmesi gereken Kirlenmiş Saha” olduğuna karar verilir [27].

Sapma değerinin 1-25 arasında bulunması durumunda ise sahanın “İkinci Aşama Değerlendirme sürecine tabi Takip Gerektiren Saha” olduğuna karar verilir. İkinci aşama değerlendirmede sürecinde; “saha ve kirlilik karakterizasyonu”, “jenerik risk değerlendirmesi” ve “sahaya özgü risk değerlendirmesi” gerçekleştirilmesi gerekmektedir [27].

Jenerik risk değerlendirmesi sürecinde ilgili alanın yerleşim yeri olarak kullanıldığı ya da gelecekte bu amaçla kullanılacağı varsayılır. Bu varsayım üzerine oluşturulan senaryoda potansiyel alıcıların sahadaki kirlleticilere makul bir süre boyunca en yüksek seviyede maruz kalacakları farz edilerek geliştirilmiş olan ve olabilecek en olumsuz şartları temsil eden “jenerik kirlletici sınır değerler (JKSD)” ile bir karşılaştırma yapılır. Bu karşılaştırmada aşağıda belirtilen dört taşınım yolu dikkate alınır [31].

I: “Toprağın yutulması ve deri teması yoluyla emilim (TYDT)”,

II: “Kaçak tozların dış ortamda solunmaları (KTS)”,

III: “Uçucu maddelerin dış ortamda solunmaları (UMS)”,

IV: “Kirlleticilerin yeraltı suyuna taşınması ve yeraltı suyunun içilmesi (YSİ)”

İlk iki taşınım yolunun kirlilik kaynağını yüzey toprağı, III. ve IV. taşınım yolları için ise yüzey altı toprağı oluşturmaktadır [31, 32]. Dolayısıyla karşılaştırma yapılırken

yüzey toprağındaki ve yüzey altı toprağındaki kirletici konsantrasyonları sadece kaynağını oluşturdıkları taşınım yolları için geliştirilmiş olan JKSD ile karşılaştırılır.

Karşılaştırma sonucunda sahadaki konsantrasyonların JKSD altında bulunması ve ileride de altında kalacağına dair şüphe bulunmaması durumunda sahanın takip gerektirmediğı sonucuna varılır [31].

Ancak sahada belirlenen konsantrasyonların hepsinin ilgili oldukları tüm JKSD altında bulunmaması durumunda; JKSD altında olanların sağlık risklerine yol açmayacakları kabul edilirken, JKSD üzerinde olması durumunda ilgili taşınım yolları için risk değerlendirmesine ihtiyaç duyulur [31].

Kirlilik durumu incelen sahaya ilişkin ikinci aşama değerlendirme sürecinde yer alan risk değerlendirmesi ile hedef kirleticilerin alıcılara ulaşmasından kaynaklanabilecek sağlık etkilerinin tespit edilebilmesi gerekmektedir. Kirleticiler kaynaktan alıcılara taşınım yolu adı verilen yolu kat ederek ulaşırlar. Kirletici bir unsurun insan sağlığı üzerinde istenmeyen olumsuz etkiler oluşturabilmesi için kirletici kaynak, alıcının kirletici ile temasının meydana geleceğı çevresel ortam ve temasın gerçekleşeceği maruziyet yolunun mevcut olması gerekmektedir. Bu üç temel unsurun da bulunduğu taşınım yolu ise eksiksiz taşınım yolu olarak ifade edilir. Yapılacak değerlendirmede saha için geçerli olan eksiksiz taşınım yolları ile potansiyel alıcılara ulaşacak kirleticilerden kaynaklanacak risk düzeyi belirlenir. Bu değerlendirme sonucunda hesaplanan sağlık risklerinin düzeyi incelenerek ilgili sahanın temizleme işlemi gerektirip gerektirmediğı konusunda bir karara varılır [31].

İnsan sağlığı risk değerlendirmesinde hedef kirleticilerin maruz kalan potansiyel alıcılarda iki farklı grupta değerlendirilen sağlık riskine yol açtığı kabul edilir. Bunlar;

- I. Kanser riski
- II. Kanser dışındaki sağlık riskleridir.

Bu iki grupta yer alan sağlık risklerinin hesaplanmasında farklı formüllerden yararlanılmaktadır [31].

2.1.1. Kanser riskinin değerlendirilmesi

Kanserojenler için risk (CR), bireyin kanserojen tehlikelere maruz kalma süresi boyunca herhangi bir kanser türünün ortaya çıkma olasılığını gösterir. Kanser riski

hesaplamalarında bireyin kanserojen etkene ömür boyu maruz kalacağı varsayılmakta ve ortalama ömür 70 yıl olarak kabul edilmektedir [31, 32].

EPA tarafından yayınlanan ilk kanserojen risk değerlendirme kılavuzu 1986 yılında yayınlanmış, zaman içerisinde özellikle toksikoloji alanında kaydedilen bilimsel gelişmeler ve edinilen deneyimler ışığında güncellenmiştir [23].

EPA tarafından kansere sebep olan kimyasallar öncelikle epidemiyolojik çalışmalardan elde edilen insan verileri, uzun süreli deneysel hayvan biyo-analizlerinin sonuçları, genotoksisite ve diğer ilgili özellikler, farmakokinetik ve metabolik çalışmalar gibi çalışmalardan elde edilen verilere dayalı olarak sınıflandırılmıştır. Bu sınıflandırmaya göre örneğin ilgili ajanın insan kanseriyle nedensel ilişkisini göstermek için yeterli insan verisine sahip ajanlar “Grup A - İnsanlar için Kanserojen” olarak sınıflandırılmaktadır [23].

Kanser riski hesaplamalarında 70 yıllık maruziyet süresince gerçekleşen kronik günlük kirletici alımı ve kirleticiye özgü eğim faktörü (SF) değerlerinden yararlanılmaktadır [31].

Hesaplamalar sonucunda elde edilen yaşam boyu toplam potansiyel kanserojen sağlık riskinin 1×10^{-4} 'ü aşmasının yüksek kanser riskini gösterdiği, değer $<1 \times 10^{-6}$ olması durumunda ise; kirleticiye maruz kalmanın neden olduğu potansiyel kanserojen etkinin göz ardı edilebilecek düzeyde olduğu kabul edilmektedir [33]. Toplam kanserojen riskin 1×10^{-4} ile 1×10^{-6} arasında değişmesi ise, riskin kontrol ve gözetim koşullarında olduğunu göstermektedir [15].

2.1.2. Kanser dışındaki sağlık risklerinin değerlendirilmesi

Kanser dışı riskin değerlendirilmesinde; düşük dozların söz konusu olduğu durumlardaki riske bakılmaksızın, yalnızca maruz kalınan doz/konsantrasyonun belirli bir eşik değeri aşması durumunda oluşabilecek insan sağlığına yönelik riskler dikkate alınmaktadır [26].

Değerlendirmede belirli bir süre maruz kalınan kirletici miktarının benzer süre için geliştirilmiş ve söz konusu kirleticiye maruz kalan duyarlı alıcının bile kanser dışı olumsuz sağlık etkileri yaşamayacağı referans kimyasal alımına oranlanmasından yararlanılmaktadır. Bu oran “tehlike indeksi (hazard quotient)” olarak adlandırılmakta ve oranlama sonucunda elde edilen değer 1’den büyük olması kanser dışı sağlık etkilerinin görülebileceğini işaret etmektedir [26,31].

Maruz kalmanın değerlendirilmesi sağlık riski değerlendirmesinde kilit öneme sahiptir. Bu basamakta çevresel kirleticiye maruz kalınan miktar maruz kalma yoluyla, maruz kalma süresi, vücut ağırlığı ve diğer etkileyen faktörler analiz edilerek tahmin edilir [34-36].

Bir kirleticinin olumsuz sağlık etkilerine yol açabilmesi için kirletici kaynağı, kirletici ile temasın gerçekleşeceği maruziyet noktası ile maruziyet yolu unsurlarının bulunması gerekmektedir. Bu üç temel unsurun bulunduğu taşınım yolu “eksiksiz taşınım yolu” olarak adlandırılmaktadır [31].

Alıcıların kirleticilere temas ettiği yola “maruziyet yolu” adı verilmektedir. Alıcılar kirleticilere tipik olarak sindirim, solunum ve deri teması yoluyla maruz kalabilmektedir [23].

Sindirim yoluyla maruziyet; kirletici barındıran gıda, su ve diğer sıvıların tüketilmesi yoluyla meydana gelebilir. Ayrıca, özellikle küçük çocuklar için kirletici içeren yüzeyler ya da nesnelere gerçekleştirilen el-ağız veya nesne-ağız temasları da temas edilen yüzeyler veya nesnelereki toprak, toz veya kimyasal kalıntılara sindirim yoluyla diyet dışı olarak maruz kalınmasına yol açabilir [23].

Sindirim yoluyla maruz kalmanın tahmin edilmesi için, kirleticinin ortamdaki konsantrasyonu, yutulma oranı ve maruz kalınan zaman dilimi hakkında verilere gereksinim duyulmaktadır. Diyet dışı sindirimden kaynaklanan maruziyetin tahmin edilmesi ise aynı zamanda el-ağız veya nesne-ağız temasının sıklığı hakkında da bilgi gerektirebilir [37].

Solunum yoluyla maruz kalma, partikül madde, uçucu ya da yarı uçucu kirletici maddeler veya aerosoller gibi kirleticilerle kirlenmiş havanın solunmasından kaynaklanabilir. Bireyler, bu kirleticilere dış ortam ya da kapalı alanda gerçekleştirilen çeşitli aktiviteler sırasında solunum yoluyla maruz kalabilmektedir. Aynı zamanda dış ortam havasında bulunan kirleticilerin iç ortamlara sızması da alıcıların bu kirleticilere maruz kalmasına yol açmaktadır [38].

En önemli maruz kalma yollarından bir diğeri ise deri yolu ile temastır. İnsan derisi dış çevre ile iç biyolojik süreçler arasında bir arayüz oluşturmaktadır. Deri yoluyla maruz kalınan çeşitli kirleticiler deri için tehdit oluşturabileceği gibi deri yoluyla vücuda nüfus ederek diğer organları da tehdit edebilir. Deri temasıyla ilişkili risklerin

değerlendirilmesi, çevresel kirleticilerle ilişkili sağlık riskleri değerlendirmesinin önemli bir bileşenidir [39].

2.2. Hedef Kirleticilerin Fiziksel-Kimyasal Özellikleri ve Sağlık Etkileri

2.2.1. Arsenik

Arsenik, periyodik cetvelin dördüncü periyodunun 15. grubunda (5A) yer almaktadır. Sembolü As, atom numarası 33, atom ağırlığı ise 74.92'dir. Kimyasal olarak hem metal hem de ametal özelliklere sahip bir metaloid olarak sınıflandırılır; ancak sıklıkla metal olarak anılır. Metalik arsenik olarak da bilinen elemental arsenik çelik grisi renkte katı bir materyaldir. Arsenik çevrede genellikle oksijen, klor ve kükürt gibi diğer elementlerle birlikte bulunur. Bu elementlerle birleşen arsenik inorganik arsenik olarak, karbon ve hidrojenle birleşen arsenik ise organik arsenik olarak adlandırılır [40]. İnorganik formda bulunan arsenik oldukça toksiktir [41].

İnsanlar arseniğe arsenikle kirlenmiş suların içilmesi, gıda ürünlerinin yetiştirilmesinde sulama suyu olarak kullanılması ya da gıdaların hazırlanmasında kullanılması, arsenikle kirlenmiş gıdaların tüketilmesi, sigara içiciliği ya da endüstriyel işlemler gibi yollarla yüksek düzeyde maruz kalabilmektedir [41].

Uluslararası Kanser Araştırma Ajansı (IARC), arseniği insanlarda mesane, akciğer ve melanom dışı cilt kanserine neden olduğuna dair kanıtlara dayanarak Grup 1 kanserojen olarak sınıflandırmaktadır [42,43].

Oberoi ve ark. (2014), tarafından dünya çapında her yıl 9.129 ila 119.176 mesane kanseri vakasının, 11.844 ila 121.442 akciğer kanserinin ve 10.729 ila 110.015 cilt kanserinin gıdalardaki inorganik As maruziyetine atfedilebileceği tahmin edilmiştir [43].

Ayrıca literatürde yer alan çalışmalarda arseniğe maruz kalmanın, kardiyovasküler hastalıklar ve solunum yolu hastalıklarından kaynaklanan ölüm riskini artırdığı belirtilmektedir [43-47].

Kronik inorganik As maruziyetinin en belirgin kanser dışı etkisi ise dermal etkilerdir. Hiperpigmentasyon en yaygın dermal etki olmakla birlikte hipopigmentasyon veya dönüşümlü hiperpigmentasyon ve hipopigmentasyona da yol açabilmektedir. Hiperkeratoz da gelişebilmektedir. Periferik nöropati, gastrointestinal semptomlar, diyabet, böbrek sistemi etkileri, karaciğer büyümesi, sirotik olmayan portal

hipertansiyon, anemi, hipertansiyon ve kardiyovasküler hastalık kronik arsenik maruziyetinin yol açabileceği diğer kanser dışı etkilerdir [48,49].

2.2.2. Krom

Krom periyodik tabloda “Cr” sembolü gösterilen ve VI B grubunda yer alan bir metaldir. Atom numarası 24, atom kütlesi 51.996, yoğunluğu 7,15 g/cm³ olan kromun erime noktası 1907 °C, kaynama noktası 2671°C’dir [50].

Krom, (-II)-(VI) arasında değişen değerliklere sahiptir. Krom bileşikleri üç değerlikli (III) durumda kararlıdır, altı değerlikli (VI) form ise en kararlı ikinci durumdur [51]. Krom (III), glikoz, yağ ve protein metabolizmasında rol oynayan temel bir element olmasına karşın yüksek düzeylerde maruz kalınması olumsuz sağlık etkilerine neden olabilmektedir [52]. Genel olarak krom (VI) bileşikleri, krom (III) bileşiklerinden daha toksiktir [51].

Krom, özellikle endüstriyel alanlarda insan ve çevre sağlığını tehdit eden tehlikeli, kanserojen bir elementtir [53]. İnsan ve hayvan dokularında birikerek zararlı sağlık etkilerine yol açabilir. Bitki metabolizmasını da olumsuz etkileyerek bitki gelişimi, ürün verimi ve kalitesini olumsuz etkileyebilir. Bitkilerin yenilebilir kısımlarında birikerek besin zinciri aracılığı ile maruziyete yol açabilir. Topraktaki Cr su kaynaklarında taşınarak sucul ekosistemlere zarar verebilir [53-56].

Krom maruziyeti insan sağlığı üzerinde kanserojen etki, solunum sistemi etkileri, genotoksik ve mutajenik etkiler, kardiyovasküler etkiler, üreme ve gelişimle ilgili etkiler olarak kategorize edilebilecek toksikolojik etkilere yol açabilmektedir [57,58].

2.2.3. Nikel

Nikel Sembolü “Ni” olan nikelin atom numarası 28, atom ağırlığı 58.693; yoğunluğu 8.90 g cm⁻³; erime noktası 1455 °C; kaynama noktası 2913 °C olup periyodik tablonun 10. grubuna aittir [59].

Oksitlenme direnci göstermesi nedeniyle alaşım üretiminde yaygın bir şekilde kullanılan Ni kaplama ve döküm sanayinde önemli bir kullanım alanına sahiptir [60]. Özellikle elektro kaplama ve kimya sanayi başta olmak üzere sanayi faaliyetleri ve madencilik faaliyetleri topraktaki Ni kirliliğinin ana kaynaklarıdır [61].

Nikel işleyen veya kullanan endüstrilerde çalışanlarda mesleki nedenlerle yüksek düzeyde maruziyet meydana gelebilmektedir. Mesleki nedenler dışında ise çoğu insan

için ana maruz kalma kaynağı nikel içeren yiyeceklerin tüketilmesidir. Nikel içeren toprak, su ya da objelerle cilt teması, nikel içeren suların tüketilmesi, havadan solunum yoluyla alınması ya da nikel içeren tütün ürünlerinin kullanılması da nikel maruziyetine neden olabilmektedir [62].

Maruz kalınan doza ve maruz kalma süresine bağlı olarak immünotoksik ve kanserojen bir ajan olarak çeşitli sağlık etkilerine neden olur [63,64]. Ni, yüksek düzeyde maruz kalınması durumunda inflamasyon, pulmoner fibrozis, nevrastenî, deformiteler ve kansere neden olabilen önemli bir eser elementtir [61,65]. Akut Ni maruziyeti böbrek, karaciğer ve beyin hasarına neden olurken, kronik maruz kalma akciğer ve nasal kanserlerin yanı sıra doku hasarına da neden olabilmektedir [66].

2.3. Konu İle İlgili Literatür Araştırması

Núñez ve ark., (2016) topraktaki krom ve arsenik seviyeleri ile kanser ölüm oranı arasındaki ilişkiyi değerlendirmek amacıyla İspanya anakarasındaki 7917 birimde, 1999'dan 2008'e kadar yaşanmış olan 861.440 kanser ölümünü kapsayan bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Çalışma alanındaki birimlerde arsenik için ortalama yüzey toprağı konsantrasyonlarının 0,10 ila 2510 mg kg⁻¹ olduğu belirlenmiştir. Sonuçlar, arsenikli toprak seviyeleri ile mide, pankreas, akciğer ve beyin kanserleri ve Non-Hodgkin lenfoma nedeniyle ölüm arasında hem erkeklerde hem de kadınlarda istatistiksel bir ilişki olduğunu göstermiştir [67].

Sandil ve ark., (2021) tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada kumlu, kumlu siltli ve siltli topraklarda yetiştirilen ve 0,05 ile 0,2 mg/L arsenik içeren sularla sulanan domates ve lahanalarda arseniğin etkisi ve bu gıdaların tüketiminden kaynaklanabilecek potansiyel sağlık riski araştırılmıştır. Çalışma sonuçları tahmini günlük alım (EDI) ve tehlike oranı (HQ) değerlerinin her iki sebze de <1 olduğunu ve potansiyel sağlık riskinin bulunmadığını göstermiştir [68].

Shi ve ark., (2023) tarafından gerçekleştirilen bir derleme çalışmasında 1977-2020 yılları arasında Çin'de yürütülen çalışmalar incelenerek topraklardaki kurşun (Pb), kadmiyum (Cd), civa (Hg), krom (Cr), arsenik (As), nikel (Ni) ve bakır (Cu) dahil olmak üzere yedi ağır metalin konsantrasyonları belirlenmiş, mekansal-zamansal dağılımları, ekolojik ve insan sağlığı riskleri değerlendirilmiştir. İncelenen ağır metaller arasında Pb ve As'in daha ciddi risk oluşturduğu tespit edilmiştir. Sonuçlar

kanser dışı riske katkıda bulunan başlıca ağır metalin Pb olduğunu ve As kirliliğinin ise halk sağlığı açısından ciddi kanser riski oluşturduğunu göstermiştir [33].

Taati ve ark., (2020) İran'ın Arak sanayi bölgesindeki topraklarda metal ve arseniğin mekansal dağılımını, seviyelerini, kaynaklarını ve sağlık riski değerlendirmesini belirlemek amacıyla gerçekleştirdikleri çalışmada bölgeden alınan 235 adet (0-5 cm) toprak örneğini analiz etmişlerdir. İncelenen örneklerdeki As konsantrasyonunun 152 mg kg⁻¹ olduğu ve referans değer üzerinde bulunduğu tespit edilmiştir. Kirlilik indeksi değerleri toprakların çoğunun As düzeylerinin yüksek olduğu göstermiş ve bu durumun bölgedeki madencilik faaliyetlerinden kaynaklan kalıntılara atfedilebileceği bildirilmiştir. Çalışmada kanser dışı risk değerlendirmesinin sonuçları, sindirim yoluyla gerçekleşen kronik günlük kirlenici alımının (CDI), deri teması ve solunum yoluyla alınandan daha yüksek olduğunu göstermiştir. Tehlike indeksi (HI) değerleri güvenli seviyenin (HI≤1) altında bulunmuş, sonuçlar kanser dışı sağlık riski bulunmadığını işaret etmiştir. Çalışmada As ile kanser riskinin kabul edilebilir aralıkta (1×10^{-6} - 1×10^{-4}) bulunduğu belirtilmiştir [15].

Gujre ve ark., (2021) tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada belediye katı atık depolama sahası topraklarında bulunan Cd, Cu ve Ni kirliliğine ile ilişkili sağlık riskleri değerlendirilmiştir. Çalışmada yetişkin bireyler için sindirim, solunum ve deri teması yoluyla Ni kirliliğine maruz kalma ile ilişkili HQ değerleri sırası ile 0.01, 2.8×10^{-7} , 2.5×10^{-5} olarak hesaplanmıştır. Yetişkinlerde kanser dışı sağlık risklerine yol açabilecek Ni maruziyeti için önde gelen maruz kalma yolunun sindirim yoluyla maruz kalma (%98) olduğu, bunu deri yoluyla maruz kalmanın izlediği (%2) belirlenmiştir [66].

Jamal ve ark., (2019) tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada İran'ın Zanzan şehrinde bulunan bir kurşun ve çinko döküm fabrikasının çevresindeki topraklardaki kadmiyum, kurşun, çinko, bakır ve nikel kirliliği ve bu kirlilikle ilgili sağlık riski değerlendirmesi gerçekleştirilmiştir. İncelenen toprak örneklerinin en az bakır ve nikel, en fazla ise kadmiyum ile kirlenmiş olduğu belirlenmiştir. Sağlık riski değerlendirmesi, topraktaki kurşun ve kadmiyum kirliliğinin insan sağlığı açısından hem kanser hem de kanser dışı riskler oluşturan ana kirlenici maddeler olduğunu göstermiş; kanserojen risk seviyelerinin kabul edilemeyecek kadar yüksek ($>1 \times 10^{-4}$) olduğu tespit edilmiştir. İncelenen yaş gruplarının çoğunda Cd, Zn, Cu, Ni için temel maruz kalma yolunun dermal emilim olduğu ve incelenen bölgelerde Pb, Ni, Cd'nin

HQ değerlerinin toplam HI değerinin sırasıyla %43,8'i, %35'i ve %21'i olduğu görülmüştür [69].

Jafari ve ark (2019) tarafından İıan da bir imento fabrikası çevresindeki topraklarda ağır metal kirliliği ve bu kirliliğin yol açabileceği sağlık riskleri değerlendirilmiştir. Fabrikanın bulunduğu sahadan 500 m, 1250 m ve 2000 m aralıklarla 0-10 cm ve 10-20 cm derinliklerden örnekler alınarak incelenmiştir. Çimento fabrikası çevresindeki topraktaki ortalama krom, nikel, bakır, kurşun ve çinko konsantrasyonlarının sırasıyla 115,77 mg/kg, 139,07 mg/kg, 80,47 mg/kg, 56,27 mg/kg ve 135,73 mg/kg olduğu belirlenmiştir. Sonuçlar, toprağın üst kısmındaki ağır metal konsantrasyonunun önemli ölçüde daha yüksek olduğunu, ayrıca ölçülen tüm ağır metallerin konsantrasyonlarının EPA standardından daha yüksek olduğunu göstermiştir. Çimento fabrikasının çevresindeki topraklarda kirlilik indeksi değerlerinin $Cu > Pb > Zn > Ni > Cr$ şeklinde olduğu belirlenmiştir. Çalışmada, tüm elementlerin sindirim yoluyla maruz kalınan günlük alım oranının, soluma ve dermal temas yollarından daha yüksek olduğu bulunmuştur. İncelenen tüm numune alma noktalarındaki tüm ağır metaller için $HQ < 1$ olarak hesaplanmıştır [70].

Gupta ve ark., (2022) tarafından Hindistan'ın Jhansi Őehrinin tarım alanlarından toplanan sebzelerde kadmiyum (Cd), kurşun (Pb), nikel (Ni), kobalt (Co), inko (Zn), bakır (Cu) ve manganez (Mn) birikimleri belirlenmiş, bu sebzelerin tkretiminden kaynaklanabilecek kanser dışı sağlık riskleri değerlendirilmiştir. Toprak örneklerindeki ortalama Cd, Pb, Ni, Co, Zn, Cu ve Mn içeriğinin sırasıyla 2.02, 19.09, 21.56, 9.31, 35.34, 14.96 ve 15,21 mg/kg olduğu tespit edilmiştir. Sonuçlar araştırılan tüm ağır metaller için HQ değerlerinin izin verilen değerler içerisinde olduğunu göstermiştir [71].

Cocra ve ark., (2016) tarafından Romanya'daki bir metalurji tesisinin yakınındaki tarım toprağındaki Be, Cd, Cr (toplama), Cr(VI), Ni, Pb konsantrasyon seviyeleri analiz edilmiştir. Örnekler 0–0,2 m, 0,2–0,4 m toprak katmanlarından ve 2,1 m derinliğine kadar olan derinliklerden toplanmıştır. Cd, Cr ve Pb konsantrasyonlarının ülkedeki mevzuatta belirtilen hassas alanlara yönelik müdahale eşiklerini aştığı grlmştir. Çalışmada incelenen sahanın ilk katmanında belirlenen ortalama Cd, Cr VI ve Pb konsantrasyon seviyeleri sırasıyla 23,83, 7,71 ve 704,22 mg/kg dır. Toplama Cr konsantrasyonları mevzuatta belirtilen limit değerlerin ve Ni konsantrasyonları ise hassas alanlar için müdahale eşiğinin altında bulunmuştur. Elde edilen sonuçlar

topraktaki ağır metal kirliliğinin özellikle tesisi çevreleyen kirlenmiş arazinin tarım için kullanılması durumunda insan sağlığı açısından kabul edilemez bir risk oluşturabileceğini göstermiştir [72].

Parlak ve ark (2023) tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada Türkiye’de bir çimento fabrikası yakınındaki toprakların fiziko-kimyasal özellikleri, ağır metal konsantrasyonları ve mekansal dağılımları ile bunların yerel nüfusunun sağlığı üzerindeki etkileri incelenmiştir. Çimento fabrikasından farklı yönlerde ve farklı mesafelerden 0–10 cm derinlikten toprak örnekleri toplanarak analiz edilmiştir. Çalışmada Cd, Co, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Zn analizleri ile ilgili sonuçlar Cd ve Pb dışındaki diğer ağır metallerin ortalama değerlerinin topraklardaki arka plan seviyesinin altında olduğu göstermiştir. Cr ortalama konsantrasyonu 50.92 mg kg^{-1} ve Ni ortalama konsantrasyonu ise 41.17 mg kg^{-1} olarak belirlenmiştir. Sağlık riski değerlendirme sonuçları $HQ < 1$ olduğunu ve kanser dışı sağlık etkilerinin beklenmediğini göstermiştir. Ancak kanser riski değerlendirmesi sonuçları çocuklarda Cr ve Pb'nin, yetişkinlerde ise Cr seviyesinin kabul edilebilir risk aralığını aştığını, çalışma alanı topraklarındaki ağır metallere uzun süre maruz kalan kişilerin kanserojen risk altında olabileceğini işaret etmiştir [73].

Xu ve ark., (2023) tarafından sanayiden ve önceden uygulanmış atıksu ile sulamadan etkilenenmiş kırsal bir alanda toprak-bitki sistemlerindeki Cr riski değerlendirilmiştir. Dört farklı sahada kök bölgesindeki topraktan ve 10 farklı bitki türünden alınan örnekler analiz edilmiştir. Sonuçlar, hem tarım arazisi toprağındaki ($> \% 21,85$) hem de bazı tarım ürünlerinin yenilebilir kısımlarındaki Cr içeriğinin ulusal standart eşliğini aştığını göstermiştir. Analizler tarım ürünlerinin yenilebilir kısımlarındaki Cr birikiminin toprağın Cr içeriği ve kullanılabilir potasyum içeriği ile anlamlı korelasyon gösterdiğini işaret etmiştir. Kanser dışı sağlık riski değerlendirmesi sonucunda incelen tarım ürünleri içerisinde su ıspanağı dışındaki diğer tarım ürünlerinin hedef tehlike oranı (THQ) 1,0'ın altında bulunmuş ancak kanserojen sağlık risklerinin tüm ürünlerde limitleri aştığı tespit edilmiştir [74].

Chandio ve ark (2021) tarafından Pakistan’da krom madenciliği yapılan bir bölgede toprak ve içme suyu numuneleri ile alanının yakınında yaşayan yerel nüfustan kan örnekleri toplanarak analizler gerçekleştirilmiştir. Çalışma alanına ait örneklerdeki Ni, As ve Cr miktarları sırası ile toprak örneklerinde $1 \times 10^3 - 11 \times 10^3$, $84 \times 10^3 - 187 \times 10^3$, $6.9 \times 10^6 - 19.5 \times 10^6$ ($\mu\text{g/kg ppb}$), içme suyu örneklerinde ise 40–1370, 47–890,

1990–13,530 ($\mu\text{g}/\text{kg}$ ppb) aralıklarında elde edilmiştir. Fiziko-kimyasal özelliklere ve ağır metal miktarlarına ilişkin elde edilen veriler, bölgedeki mevcut içme suyu kaynaklarının, esas olarak içerdikleri yüksek krom miktarı nedeniyle insani tüketimine uygun olmadığını göstermiştir. Hem kanser riski hem de kanser dışı sağlık riski değerlendirmesi, bölgedeki çocukların ve yetişkinlerin yüksek risk altında olduğu ortaya çıkarmıştır [75].

Xiao ve ark., (2020) ekili alanların yüzey topraklarındaki potansiyel toksik faktörlerin oluşturduğu kirliliği ve bunun insan sağlığına yönelik risklerini belirlemek için Çin'in Xiangzhou kentinden alınan 1109 toprak numunesini analiz etmişlerdir. Ekilebilir arazi toprağında ortalama 12.89 mg/kg As, 78.58 mg/kg Cr bulunduğu belirlenmiştir. Sağlık risk değerlendirmesi, en önemli maruz kalma yolunun, kirleticilerin sindirim yoluyla alınması olduğunu göstermiştir. Topraktaki As, Cr kirliliğine maruz kalmanın yolabileceği kanser ve kanser dışı sağlık riski, hem çocuklar hem de yetişkinler için limitin üzerinde bulunmuştur [9].

Li ve ark., (2023) tarafından Çin'de topraklardaki krom (Cr) kirliliğinin ülke çapında değerlendirildiği bir çalışmada 506 sanayi bölgesi incelenmiştir. Bu amaçla literatürde ülkede yer alan sanayi bölgelerindeki krom konsantrasyonlarının içeren yayınlar araştırılmıştır. Genel olarak toprak Cr konsantrasyonlarının 0,74–37.967,33 mg/kg arasında olduğu ve incelenen bölgelerin %4,15'indeki toprak Cr içeriğinin referans değeri aştığı görülmüştür. Krom tuzu üretimi ve tabaklama endüstrilerinin kanserojen olmayan riskleri ulusal ortalama değerlerden yüksek bulunmuş, çocukların bu kirlilikten kaynaklanacak risklere karşı en savunmasız gruplar olduğu belirtilmiştir. Ortalama HQ değerleri çocuklar, yetişkin erkekler ve yetişkin kadınlar için sırasıyla $4,28 \cdot 10^{-2}$, $3,78 \cdot 10^{-3}$ ve $3,88 \cdot 10^{-3}$ olarak rapor edilmiştir [76].

Zhao ve ark., (2019) tarafından Çin'in Zhangye kentinde tarım topraklarındaki ağır metal kirliliğinin kaynakları ve sağlık risklerinin araştırıldığı bir çalışmada tarım topraklarındaki ağır metallerin esas olarak çelik endüstrisi, trafik, tarım ilaçları, gübre, madencilik faaliyetleri, deri endüstrisi ve metal işleme endüstrisi kaynaklarından etkilendiği belirtilmiştir. Sonuçlar deri endüstrisi ve metal işleme endüstrisinden kaynaklanan Cr ile çelik endüstrisi ve trafikten kaynaklanan Ni kirlilik seviyelerinin daha yüksek olduğunu göstermiştir. Sağlık riski değerlendirmesi sonucunda deri endüstrisi ve metal işleme endüstrisinden kaynaklanan Cr kirliliğinin kanser ve kanser dışı sağlık risklerinin daha yüksek olduğu belirlenmiştir [77].

Brendan ve McLaughlin (2006) tarafından Kanada'da Ontario'nun güneyindeki bir bölgede 1918-1984 tarihleri arasında işletilen bir nikel rafinerisinin bulunduğu bölgede 2000 yılında bir konuttaki toprak nikel seviyelerinin 9750 ppm'yi aştığının tespit edilmesi üzerine Çevre Bakanlığı tarafından araştırma başlatılarak bölgeden alınan yaklaşık 2000 toprak örneği analiz edildiği bildirilmiştir. Nikeli de içeren 7 metal için sağlık risk değerlendirmesi gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar, yüzey toprağındaki nikel seviyelerinin 17.000 ppm'e kadar değiştiğini göstermiştir. Bölgede yetiştirilen meyve ve sebzelerin tüketilmesi, toprağın yutulması, deri teması yollarıyla maruz kalınan tahmini günlük Ni alımı çocuklar için 7,2 µg/kg/d, yetişkinler için 1,5 µg/kg/d olarak belirlenmiştir. İçme suyu, marketten alınan yiyecekler, ortam havasının solunması yolları ile maruz kalınan tahmini günlük alım ise çocuklar için 8 µg/kg/d, yetişkinler için 4,4 µg/kg/d olarak rapor edilmiştir [78].

Kormoker ve ark., (2021) tarafından Bangladeş'in sanayi bölgelerine yakın tarım topraklarında toksik metallerin potansiyel ekolojik ve insan sağlığı risklerini değerlendirmek amacıyla gerçekleştirilmiş bir çalışmada Jhenaidah ve Kushtia sanayi bölgelerinin çevresindeki farklı örnekleme alanlarından alınan 58 toprak örneği analiz edilerek krom, nikel, bakır, arsenik, kadmiyum ve kurşun konsantrasyonları ölçülmüştür. Cr, Ni, Cu, As, Cd ve Pb'nin ortalama konsantrasyonlarının sırasıyla 5,78, 21,0, 31,8, 8,05, 1,20 ve 19,2 mg/kg olduğu tespit edilmiştir. Sağlık riski değerlendirmesi sonucunda incelenen kirleticiler ile kanser dışı sağlık riskinin <1 (toplam HQ<1) ve kanser risk değerinin <10⁻⁶ olduğu belirtilmiştir [79].

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Çalışma Alanı ve Örneklemeler

Çalışmanın gerçekleştirildiği saha Marmara Bölgesi'nde, Sakarya İli'nde yer almaktadır. Bölgede endüstriyel faaliyet gösteren bir işletmenin nakliye işlemleri sırasında meydana gelen bir kaza sonucunda 150 lt kadar sülfirik asit yaklaşık 50 m² alana dökülmüştür. Bu çalışmada söz konusu kazanın meydana geldiği sahada hedef kirletici parametreler (HK) olarak belirlenen As, Ni, Toplam Cr kirletici parametrelerinin sahadaki yetişkin potansiyel alıcılar için oluşturabileceği kanser dışı sağlık risklerinin değerlendirilmesi amaçlanmıştır.

Çalışmada kirleticilerin sahadaki konsantrasyonlarının belirlenmesi amacıyla 4 adet kontrol noktası (T) ile sahanın yakınında bulunan ve kirlilikten etkilenmediği varsayılan 2 adet referans noktasından (RT) yüzey ve yüzeyaltı toprak numuneleri alınmıştır. Toprak numuneleri 2 m ve 4 m olmak üzere iki farklı derinlikten alınmıştır. Ayrıca 3 adet gözlem kuyusu (S) ve 1 adet referans kuyusundan (RS) 10 m derinlikten su numuneleri alınmıştır.

Tüm numunelerdeki As, Ni, Toplam Cr konsantrasyonlarının belirlenmesi EPA3051A/EPA 200.7 metodu ile gerçekleştirilmiştir [80].

Sahada belirlenen kirletici konsantrasyonları sahanın yakınında bulunan ve kirlilikten etkilenmediği varsayılan referans noktalarından alınan numunelerden elde edilen sonuçlarla (RD) kıyaslanmıştır.

Sahadaki kontrol noktalarında iki farklı derinlikten alınan numunelerden elde edilen ölçüm sonuçları ilgili oldukları taşınım yolu için geliştirilmiş olan jenerik kirletici sınır değeri (JKSD) ile kıyaslanmıştır. Kıyaslama sonucunda JKSD üzerinde olan taşınım yolları ve sahada geçerli olduğu düşünülen taşım yolları için sağlık riski değerlendirmesi gerçekleştirilmiştir.

Sağlık riski değerlendirmesinde ilgili sahada As, Ni, Toplam Cr kirleticilerine maruz kalabilecek yetişkin alıcılarda bu maruziyetten kaynaklanabilecek kanser dışı sağlık riski değerlendirilmiştir.

3.2. Kanser Dışındaki Sağlık Riskinin Belirlenmesi

Hedef kirleticiden kaynaklanabilecek kanser dışındaki sağlık riski tehlike indeksi (Hazard Quotient: HI) ile değerlendirilmektedir. HI değerinin 1'den büyük olması olumsuz sağlık etkilerinin oluşabileceğini işaret etmektedir.

HI aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır [31,32].

$$HI = \sum_i \frac{\text{Maruz Kalınan miktar } i}{RfDi} \quad (3.1)$$

Formülde geçen “Maruz kalınan_i” i kimyasalı için kimyasal alımı veya emilen dozu, RfD_i” i kimyasalı için referans dozu temsil etmektedir.

Tehlike indeksinin belirlenebilmesi için öncelikle her bir taşınım yolu ile maruz kalınan kirletici miktarının belirlenmesi gerekmektedir. Kronik etkilerin ortaya çıkmasındaki alım yollarından yutma ve soluma maruziyet yolları yerine “kimyasal alımı”, deri teması yerine “emilen doz” terimi kullanılmaktadır ve saha için geçerli her bir eksiksiz taşınım yolu için KSRDTR, 2009’da belirtilen denklemler kullanılarak hesaplanmıştır [31].

Hesaplamalarda kullanılan denklemler ve denklemlerde geçen sembollerle ilgili açıklamalar aşağıda belirtilmiştir.

A:“Suyun içilmesi yoluyla kimyasal alımı”:

$$\text{Kimyasal alımı} \left(\frac{mg}{kg} - \text{gün} \right) = \frac{CW * IR * EF * ED}{BW * AT} \quad (3.2)$$

CW: Su örneklerinde ölçülen kirletici konsantrasyonu

IR: Yutma oranı (litre/gün)= 2 litre/gün

EF: Maruziyet sıklığı (gün/yıl) = 365

ED: Maruziyet süresi (yıl)= 30 [31, 81]

BW: Vücut ağırlığı (kg)=70 [82]

AT: Ortalama zaman (gün)= 70 * 365= 25550 [83]

B:“Sudaki kimyasalların deri temasıyla alımı”:

$$Emilen\ doz\ \left(\frac{mg}{kg} - gün\right) = \frac{CW * SA * PC * ET * EF * ED * CF}{BW * AT} \quad (3.3)$$

CW: Su örneklerinde ölçülen kirletici konsantrasyonu

SA: Temasa açık deri yüzeyi alanı (cm²)= 18.150 [84]

PC: Kimyasala özgü deri geçirgenlik sabiti (cm/saat) [84]

ET: Bir gündeki maruziyet süresi (yapılan aktiviteye göre değişken bir değer, örneğin yüzme için 2,6 saat/gün, banyo için 0,5 kullanılabilir (saat/gün) [32]

EF: Maruziyet sıklığı (gün/yıl)=365

ED: Maruziyet süresi (yıl)= 30

CF: Hacimsel dönüşüm faktörü= su için 1 litre/1000 cm³

BW: Vücut ağırlığı (kg)=70

AT: Ortalama zaman (gün)= 25550

C:“Topraktaki kimyasalların yutma ve deri teması ile alımı”:

$$Kimyasal\ alımı\ \left(\frac{mg}{kg} - gün\right) = \frac{CS * IR * CF * FI * EF * ED}{BW * AT} \quad (3.4)$$

CS: Çalışmada 2m derinlikten alınan toprak örneklerinde ölçülmüş kirletici konsantrasyonu (mg/kg)

IR: Toprak yutma oranı=2 (mg toprak/gün) [82]

CF: Dönüşüm faktörü= Toprak için 10⁻⁶ kg/mg

FI: Kirlenmiş kaynaktan yutulan oran (birimsiz)=0,1

EF: Maruziyet sıklığı; Denklem 2-5 için (gün/yıl)=365

BW: Vücut ağırlığı (kg)=70

AT: Ortalama zaman (gün)= 25550

D:“Havada buhar halinde bulunan kimyasalların soluma yoluyla alımı”:

$$Kimyasal\ alımı\ \left(\frac{mg}{kg} - gün\right) = \frac{CA * IR * ET * EF * ED}{BW * AT} \quad (3.5)$$

CA: Havadaki kimyasal konsantrasyonudur. (mg/m^3) CA aşağıdaki formül yardımı ile hesaplanmıştır.

$$CA \left(\frac{\text{mg}}{\text{m}^3} \right) = \frac{CS}{PEF} \quad (3.6)$$

Burada CS toprakta ölçülen kirletici konsantrasyonu (mg/kg), PEF topraktan havaya buharlaşma faktörüdür (m^3/kg). Hesaplamalar sahadaki hakim rüzgar yönü kuzeydoğu, etki alanı 50 m^2 büyüklüğüne göre U.S.EPA (2002) dokümanında verilen bilgiler doğrultusunda gerçekleştirilmiştir [82].

IR: Soluma oranı (m^3/saat)

ET: Bir gündeki maruziyet süresi ($\text{saat}/\text{gün}$)=24

EF: Maruziyet sıklığı ($\text{gün}/\text{yıl}$)=365

ED: Maruziyet süresi (yıl)= 30

BW: Vücut ağırlığı (kg)=70

AT: Ortalama zaman (gün)= 25550

E:“Kimyasallarla kirlenmiş meyve sebzelerin tüketilmesi yoluyla kimyasal alımı”:

$$\text{Kimyasal alımı} \left(\frac{\text{mg}}{\text{kg}} - \text{gün} \right) = \frac{CF * IR * FI * EF * ED}{BW * AT} \quad (3.7)$$

CF: Besindeki kimyasal konsantrasyonudur (mg/kg) ve aşağıda verilen formül yardımıyla hesaplanmıştır.

$$CF = C_{\text{toprak}} * TF \quad (3.8)$$

Burada C_{toprak} : kirleticininin topraktaki konsantrasyonu,

TF: Kimyasala özgü bitki transfer faktörüdür (birimsiz). İncelenen kirleticilere özgü TF değerleri literatürde yer alan çalışmalardan elde edilmiş olup As için 0,008, Ni için 0,039, Toplam Cr için 0,009 değerleri kullanılmıştır [85-87].

FI: Kirlenmiş kaynaktan yenilen oran (birimsiz)=0,1

EF: Maruziyet sıklığı ($\text{öğün}/\text{yıl}$)=48

ED: Maruziyet süresi (yıl)= 30

AT: Ortalama zaman (gün)=25550, BW: Vücut ağırlığı (kg)=70

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

Sahada muhtemel kirlenmenin olabileceği dört kontrol noktası (T) ve kirlilikten etkilenmediği varsayılan iki referans noktasında (RT) 2m ve 4m olmak üzere iki farklı derinlikten alınan toprak numunelerinde As, Ni ve Toplam Cr konsantrasyonları belirlenmiştir. Belirlenen kirleticiler konsantrasyonları Tablo 4.1.'de sunulmuştur.

Tablo 4.1. Toprak numunelerinde belirlenen kirleticiler konsantrasyonları (mg/kg)

Kirleticiler Parametre	Derinlik	T1	T2	T3	T4	RT1	RT2
As	2 m	13,7	19,8	15,7	11	17,2	15,3
	4 m	13,8	18,7	18,2	17,8	17,3	20,7
Ni	2 m	49,1	72,5	55,3	54,5	52,3	61,8
	4 m	40,9	48,7	47,1	54,4	48,3	53,6
Toplam Cr	2 m	52,5	69,2	50,3	60,8	67,6	66,7
	4 m	43,8	52,2	52,9	57,2	56,5	61

Tablo 4.1.' de yer alan veriler incelendiğinde; 2 metre derinlikten alınan toprak numunelerdeki As konsantrasyonlarının 11 mg/kg-19,8 mg/kg arasında değiştiği, bu derinlik için referans noktasındaki maksimum değerin 17,2 mg/kg olduğu görülmektedir. 4 m derinlikte ise kontrol noktalarındaki en yüksek As konsantrasyonu 18,7 mg/kg değeri ile T2 noktasında belirlenirken, referans noktasında maksimum değer 20,7 mg/kg'dır.

Ni konsantrasyonları 2 metre derinlikte 49,1 mg/kg-72,5 mg/kg arasında olup en yüksek değer T2 noktasındadır. Bu kirleticiler için aynı derinlikte referans noktalarındaki maksimum değer 61,8 mg/kg'dır. 4 m derinlikteki en yüksek Ni konsantrasyonu ölçüm değeri 54,4 mg/kg olarak T4 noktasında tespit edilirken, referans noktasındaki en yüksek değer 53,6 mg/kg'dır.

Toplam Cr konsantrasyonları incelendiğinde ise kontrol noktalarındaki değerlerin 50,3 mg/kg-69,2 mg/kg arasında değiştiği görülmektedir. 2 metre derinlikte ölçülen en yüksek değerler kontrol noktalarında 69,2 mg/kg, referans noktalarında ise 67,6 mg/kg'dır. 4 metre derinlikte ise en yüksek değer T4 kontrol noktasında 57,2 mg/kg olarak, referans noktasında ise 61 mg/kg olarak ölçülmüştür.

Kuyularından alınan su numunelerindeki konsantrasyonlar ise Tablo 4.2.'de sunulmuştur.

Tablo 4.2. Kuyulardan alınan su numunelerindeki kirletici konsantrasyonları

Kirletici Parametre	Birim	S1	S2	S3	RS
As	µg/l	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005
Ni	mg/l	0,019	0,007	<0,005	<0,005
Toplam Cr	mg/l	0,001	<0,001	<0,001	0,001

Kuyularından alınan tüm su numunelerindeki As konsantrasyonlarının <0,005 µg/l olduğu, Ni konsantrasyonlarının en yüksek 0,019 mg/l, Toplam Cr konsantrasyonlarının ise en yüksek 0,001 mg/l olduğu tespit edilmiştir.

Elde edilen toprak numunesi ölçüm sonuçları ilgili derinlikte belirlenen maksimum referans değeri ile oranlanarak elde edilen sonuçlar Tablo 4.3.'te sunulmuştur.

Tablo 4.3. Ölçülen değer / referans değer sonuçları

Kirletici parametre	T1		T2		T3		T4	
	2m	4m	2m	4m	2m	4m	2m	4m
As	0,797	0,667	1,151	0,903	0,913	0,879	0,640	0,860
Ni	0,794	0,763	1,173	0,909	0,895	0,879	0,882	1,014
Toplam Cr	0,777	0,718	1,023	0,856	0,744	0,867	0,899	0,938

Tablodaki ÖD/RD oranları incelendiğinde tüm noktalarda oranın <25 olduğu görülmektedir. Ancak her üç kirletici için de 1-25 arasında olan sapma değerleri bulunduğu belirlenmiştir. TKKNKSDY esaslarına göre bu aralıkta bulunan parametreler için jenerik kirletici sınır değer karşılaştırması yapılması gerekmektedir. Bu karşılaştırmada aşağıda belirtilen dört taşınım yolu dikkate alınır [31].

“Toprağın yutulması ve deri teması yoluyla emilim (TYDT)”,

“Kaçak tozların dış ortamda solunmaları (KTS)”,

“Uçucu maddelerin dış ortamda solunmaları (UMS)”,

“Kirleticilerin yeraltı suyuna taşınması ve yeraltı suyunun içilmesi (YSİ)”

TYDT ve KST taşınım yolları için kirlilik kaynağı yüzey toprağı, UMS ve YSİ taşınım yolları için ise yüzey altı toprağıdır [88, 31]. Dolayısıyla karşılaştırma yapılırken yüzey toprağındaki kirletici konsantrasyonları TYDT ve KTS, yüzey altı toprağındaki kirletici saha konsantrasyonları ise UMS ve YSİ için jenerik kirletici sınır değerleri ile

karşılaştırılmıştır. Jenerik kirletici sınır değer karşılaştırması Tablo 4.4.-Tablo 4.7.'de sunulmuştur.

Tablo 4.4. T1 Sahası Kirletici Konsantrasyonlarının Jenerik Sınır Değerler ile Karşılaştırılması

Kirletici	Saha konsantrasyonu (mg/kg)		Jenerik Kirletici Sınır Değerleri (mg/kg fırın kuru toprak) [(TKKNKSDY, Ek-1)]			
			TYDT	KTS	UMS	YSİ
Arsenik	2 m	13,7	0,4	471	-	3
	4 m	13,8				
İkinci Aşama Risk Değerlendirmesine İhtiyaç (Var/Yok)			Var	Yok	Yok	Var
Nikel	2 m	49,1	1564	-	-	13
	4 m	40,9				
İkinci Aşama Risk Değerlendirmesine İhtiyaç (Var/Yok)			Yok	Yok	Yok	Var
Toplam Krom	2 m	52,5	235	24	-	900000
	4 m	43,8				
İkinci Aşama Risk Değerlendirmesine İhtiyaç (Var/Yok)			Yok	Var	Yok	Yok

Tablo 4.5. T2 Sahası Kirletici Konsantrasyonlarının Jenerik Sınır Değerler ile Karşılaştırılması

Kirletici	Saha konsantrasyonu (mg/kg)		Jenerik Kirletici Sınır Değerleri (mg/kg fırın kuru toprak) [(TKKNKSDY, Ek-1)]			
			TYDT	KTS	UMS	YSİ
Arsenik	2 m	19,8	0,4	471	-	3
	4 m	18,7				
İkinci Aşama Risk Değerlendirmesine İhtiyaç (Var/Yok)			Var	Yok	Yok	Var
Nikel	2 m	72,5	1564	-	-	13
	4 m	48,7				
İkinci Aşama Risk Değerlendirmesine İhtiyaç (Var/Yok)			Yok	Yok	Yok	Var
Toplam Krom	2 m	69,2	235	24	-	900000
	4 m	52,2				
İkinci Aşama Risk Değerlendirmesine İhtiyaç (Var/Yok)			Yok	Var	Yok	Yok

Tablo 4.6. T3 Sahası Kirletici Konsantrasyonlarının Jenerik Sınır Değerler ile Karşılaştırılması

Kirletici	Saha konsantrasyonu (mg/kg)		Jenerik Kirletici Sınır Değerleri (mg/kg fırın kuru toprak) [(TKKNKKS DY, Ek-1)]			
			TYDT	KTS	UMS	YSİ
Arsenik	2 m	15,7	0,4	471	-	3
	4 m	18,2				
İkinci Aşama Risk Değerlendirmesine İhtiyaç (Var/Yok)			Var	Yok	Yok	Var
Nikel	2 m	55,3	1564	-	-	13
	4 m	47,1				
İkinci Aşama Risk Değerlendirmesine İhtiyaç (Var/Yok)			Yok	Yok	Yok	Var
Toplam Krom	2 m	50,3	235	24	-	900000
	4 m	52,9				
İkinci Aşama Risk Değerlendirmesine İhtiyaç (Var/Yok)			Yok	Var	Yok	Yok

Tablo 4.7. T4 Sahası Kirletici Konsantrasyonlarının Jenerik Sınır Değerler ile Karşılaştırılması

Kirletici	Saha konsantrasyonu (mg/kg)		Jenerik Kirletici Sınır Değerleri (mg/kg fırın kuru toprak) [(TKKNKKS DY, Ek-1)]			
			TYDT	KTS	UMS	YSİ
Arsenik	2 m	11	0,4	471	-	3
	4 m	17,8				
İkinci Aşama Risk Değerlendirmesine İhtiyaç (Var/Yok)			Var	Yok	Yok	Var
Nikel	2 m	54,5	1564	-	-	13
	4 m	54,4				
İkinci Aşama Risk Değerlendirmesine İhtiyaç (Var/Yok)			Yok	Yok	Yok	Var
Toplam Krom	2 m	60,8	235	24	-	900000
	4 m	57,2				
İkinci Aşama Risk Değerlendirmesine İhtiyaç (Var/Yok)			Yok	Var	Yok	Yok

Karşılaştırma sonuçları incelendiğinde tüm noktalarda TYDT eksiksiz taşınım yolu için arsenik, KTS eksiksiz taşınım yolu için toplam krom değerlerinin JKSD üzerinde olduğu görülmektedir. YSİ eksiksiz taşınım yolu için ise tüm noktalarda arsenik ve nikel değerleri JKSD üzerindedir.

Sahada gerçekleştirilen incelemeler ve jenerik risk değer karşılaştırması sonucunda;

A:“Suyun içilmesi yoluyla kimyasal alımı”

B:“Sudaki kimyasalların deri temasıyla alımı”

C:“Topraktaki kimyasalların yutma ve deri teması ile alımı”

D:“Havada buhar halinde bulunan kimyasalların soluma yoluyla alımı”

E:“Kimyasallarla kirlenmiş meyve sebzelerin tüketlenmesi yoluyla kimyasal alımı”

yollarının saha için geçerli eksiksiz taşınım yolları olduğu belirlenmiş ve sahaya özęü risk değerlendirmesine taşınmıştır [31].

Kanser dışı sağlık riskinin hesaplanabilmesi için öncelikle her bir eksiksiz taşınım yolu ile maruz kalınan miktarlar Formül 3.2-3.8 kullanılarak hesaplanmıştır. Sahadaki kirleticilere maruz kalınmasından kaynaklanabilecek risklerin değerlendirilmesinde ilgili kirletici parametrenin en yüksek olduğu derinlikteki değerleri alınarak hesaplamalarda bu değerler kullanılmıştır. Hesaplanan maruz kalınan miktar sonuçları Tablo 4.8.’de sunulmuştur.

Hesaplanan maruz kalınan miktar sonuçları “Suyun içilmesi yoluyla kimyasal alımı” yolunun tüm sahalarda her üç kirletici için de en fazla maruziyete neden olduğu, en düşük maruziyete ise “Topraktaki kimyasalların yutma ve deri teması yoluyla alımı” yolunun neden olduğunu göstermiştir.

Tablo 4.8.’de sunulan her bir kirletici için belirlenen maruz kalınan miktarlar ilgili kirletici için geliştirilmiş olan ve KSRDTR, 2009’da yer alan RfD “referans doz” değerlerine bölünerek her bir kirleticiden kaynaklanabilecek tehlike indeksi (HI) hesaplanmıştır.

Tablo 4.8’de gösterilen D:“Havada buhar halinde bulunan kimyasalların soluma yoluyla alımı” maruziyet yolu için sahada kaçak tozların solunması için sınır değeri aşan tek parametre krom olduğu için As ve Ni tehlike indeksi hesaplanmamıştır.

Her bir kirletici parametre bazında hesaplanan tehlike indeksi değerleri Şekil 4.1.- Şekil 4.12.’de sunulmuştur.

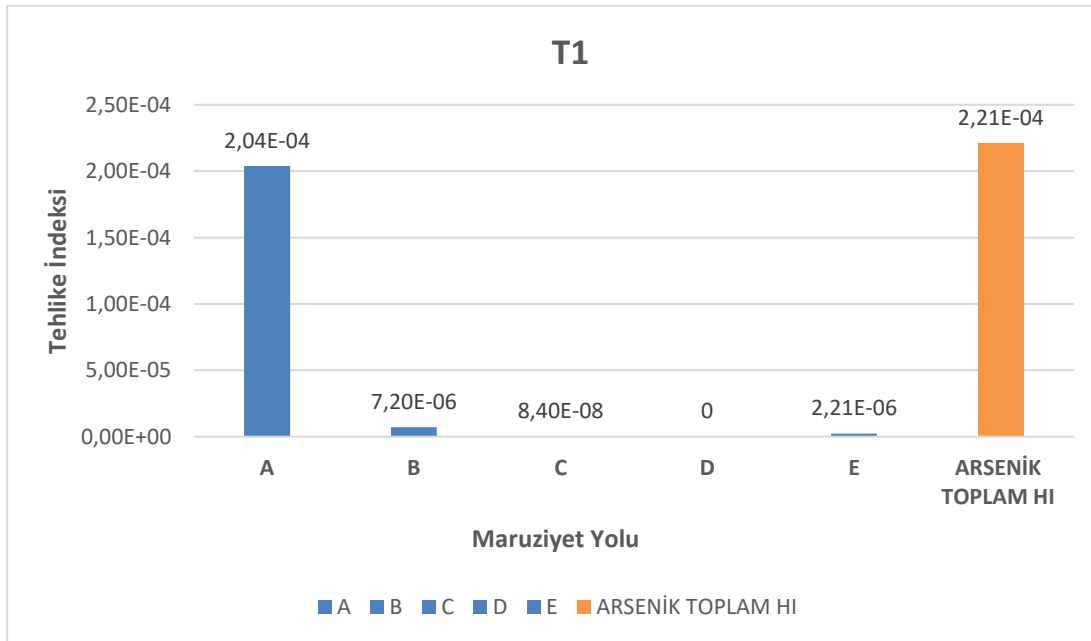
Tüm kirleticiler için hesaplanan HI değerleri Formül 3.1’de gösterildiği gibi toplanarak toplam HI değeri belirlenmiştir. Kirlilik noktaları bazında (T1, T2, T3, T4) toplam tehlike indeksi değerleri Şekil 4.13.’de sunulmuştur.

Hesaplanan sonuçlar kanser dışı toplam tehlike indeksinin tüm sahalar için 1 değerini aşmadığını göstermiştir.

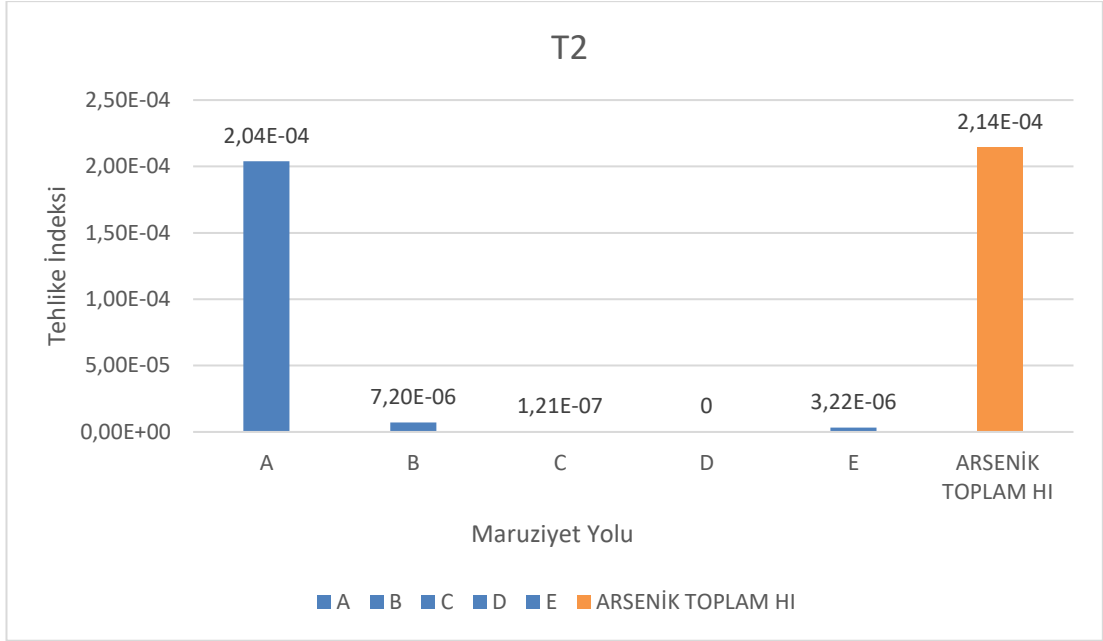
Toplam HI<1 olması kanser dışı olumsuz sağlık etkilerinin beklenmediğini işaret etmektedir.

Tablo 4.8. Maruz kalınan miktarlar

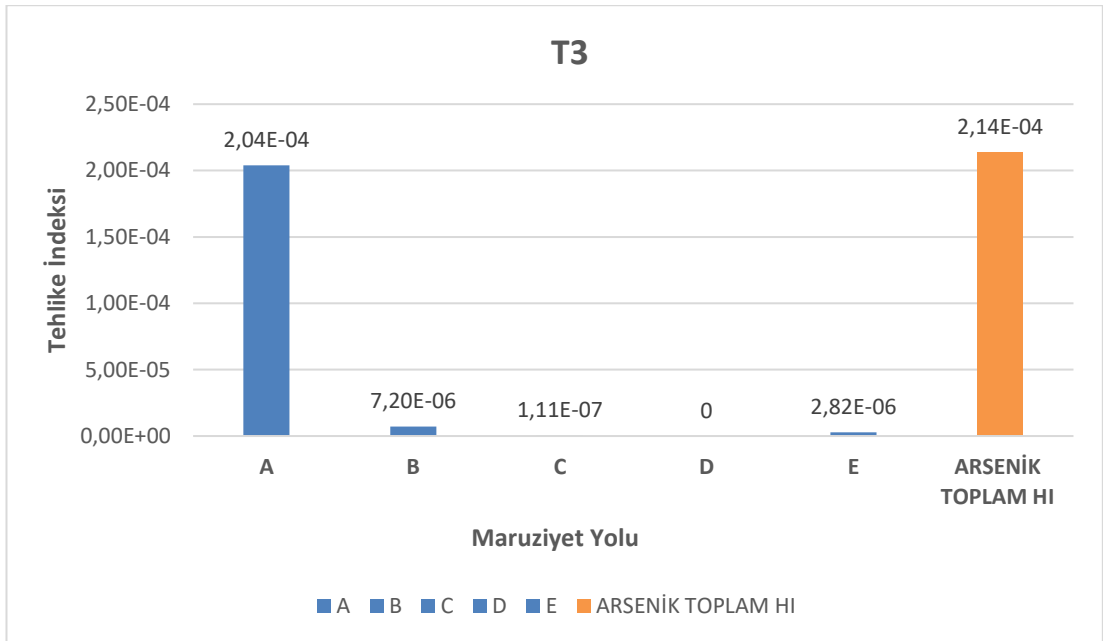
Maruziyet yolu	Kirlenici Parametre	Maruz Kalınan Miktar			
		T1	T2	T3	T4
A	As	2,04 E-04	2,04 E-04	2,04 E-04	2,04 E-04
	Ni	1,16 E-02	1,16 E-02	1,16 E-02	1,16 E-02
	Toplam Cr	8,13 E-05	8,13 E-05	8,13 E-05	8,13 E-05
B	As	7,2 E-06	7,2 E-06	7,2 E-06	7,2 E-06
	Ni	2,75 E-05	2,75 E-05	2,75 E-05	2,75 E-05
	Toplam Cr	1,92 E-07	1,92 E-07	1,92 E-07	1,92 E-07
C	As	8,4 E-08	1,21 E-07	1,11 E-07	1,09 E-07
	Ni	3,01 E-06	4,44 E-06	3,39 E-06	3,34 E-06
	Toplam Cr	4,30 E-07	5,64 E-08	4,31 E-08	7,96 E-08
D	Toplam Cr	2,06 E-05	2,06 E-05	2,06 E-05	2,06 E-05
E	As	2,21 E-06	3,22 E-06	2,82 E-06	2,82 E-06
	Ni	3,84 E-03	5,65E-04	4,23 E-04	4,27 E-04
	Toplam Cr	1,26 E-06	1,66 E-06	1,26 E-06	1,45 E-06
Kanser Dışı Toplam Tehlike İndeksi	As	2,21 E-04	2,14 E-04	2,14 E-04	2,14 E-04
	Ni	1,54 E-02	1,22 E-02	1,20 E-02	1,21 E-02
	Toplam Cr	1,04 E-04	1,04 E-04	1,03 E-04	1,03 E-04
Toplam HI	Toplam	1,57 E-02	1,25 E-02	1,23 E-02	1,24 E-02



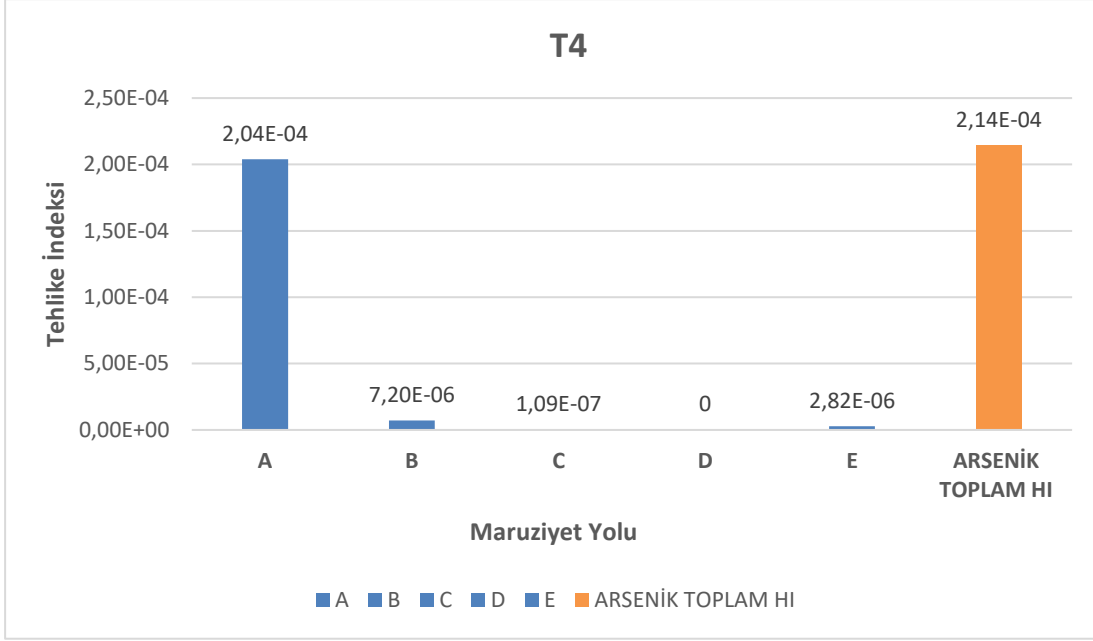
Şekil 4.1. As için T1 Sahası HI değerleri



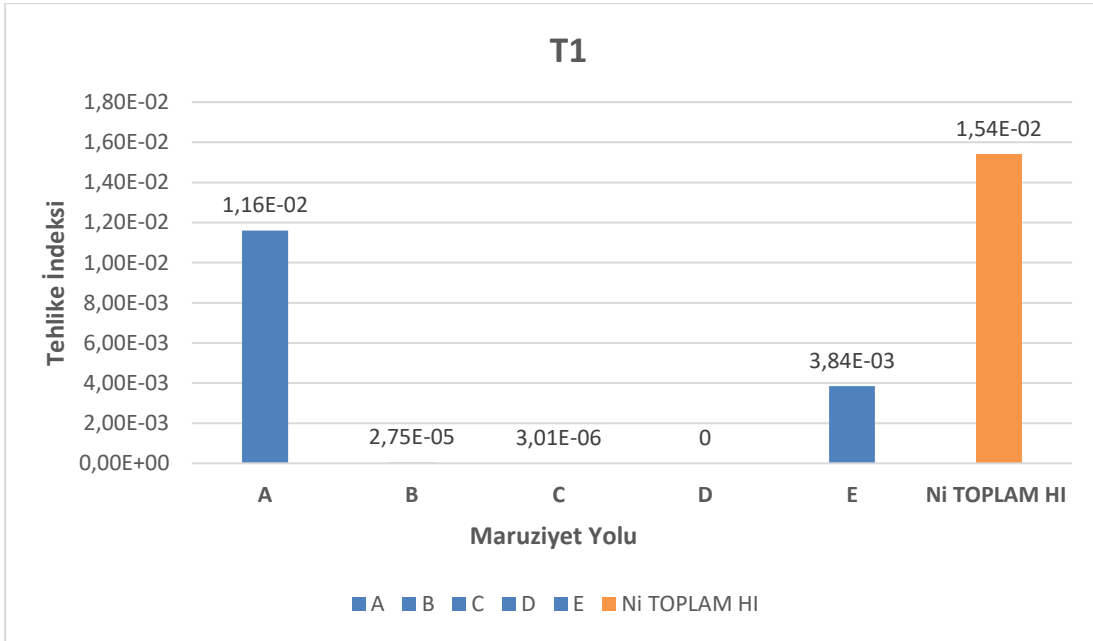
Şekil 4. 2. As için T2 Sahası HI değerleri



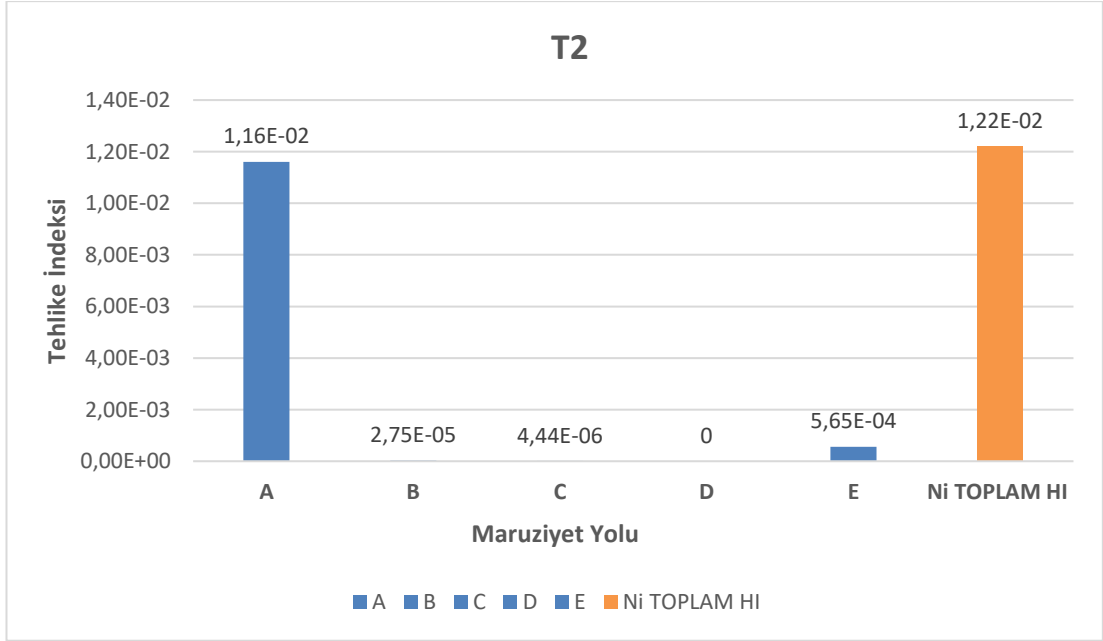
Şekil 4.3. As için T3 Sahası HI değerleri



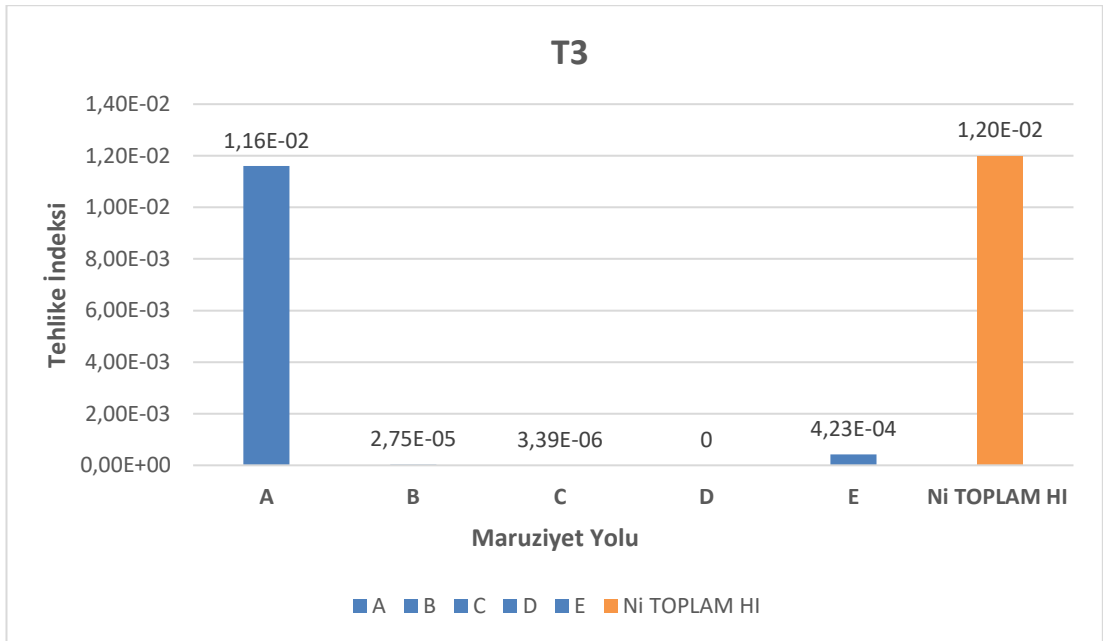
Şekil 4.4. As için T4 Sahası HI değerleri



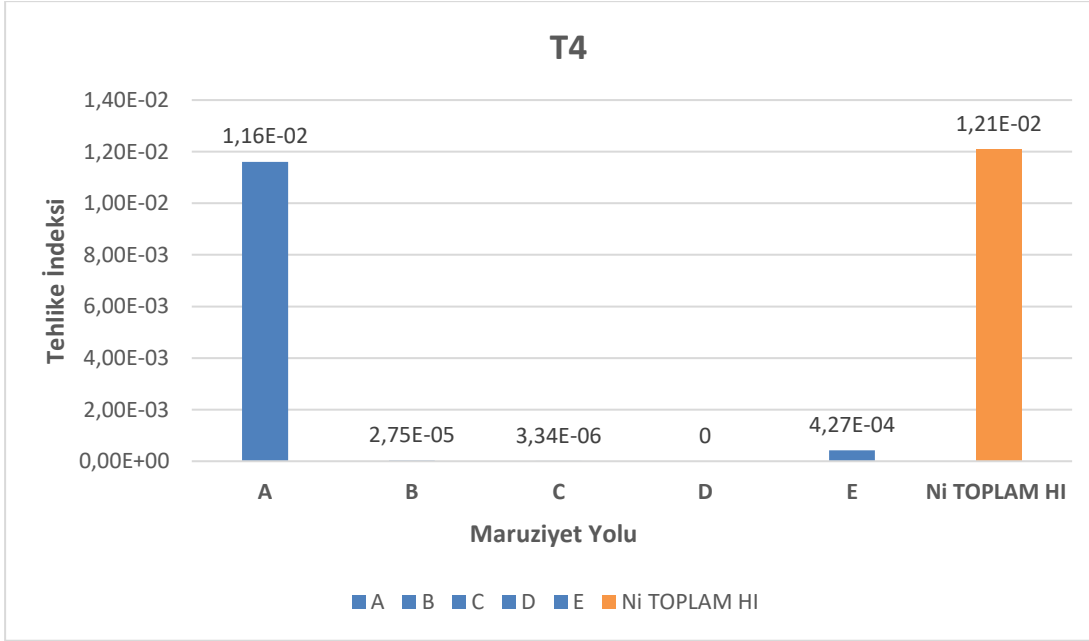
Şekil 4.5. Ni için T1 Sahası HI değerleri



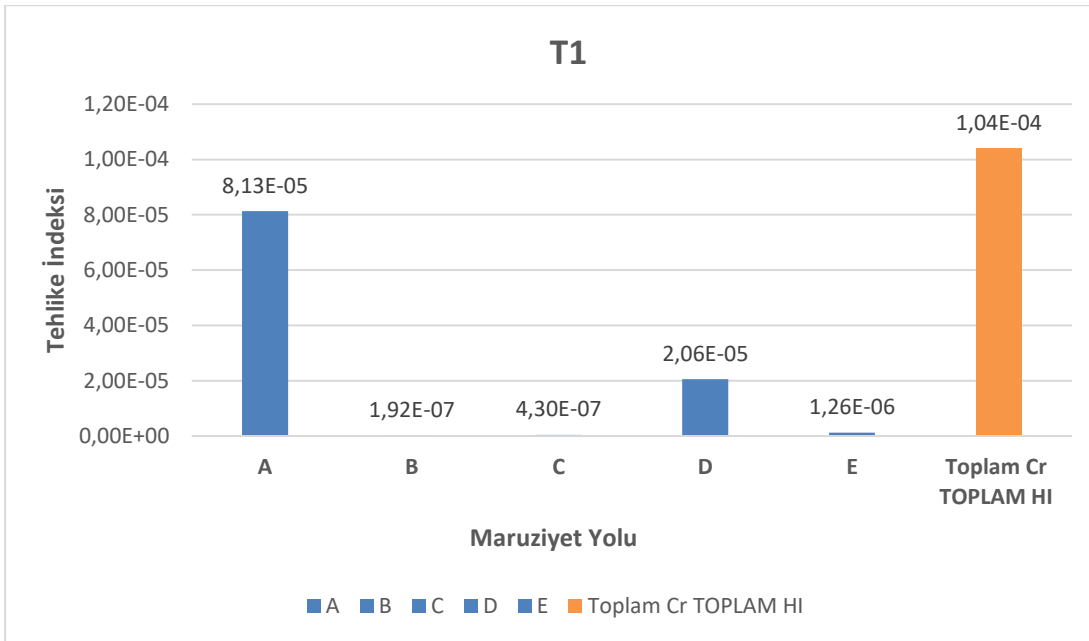
Şekil 4.6. Ni için T2 Sahası HI değerleri



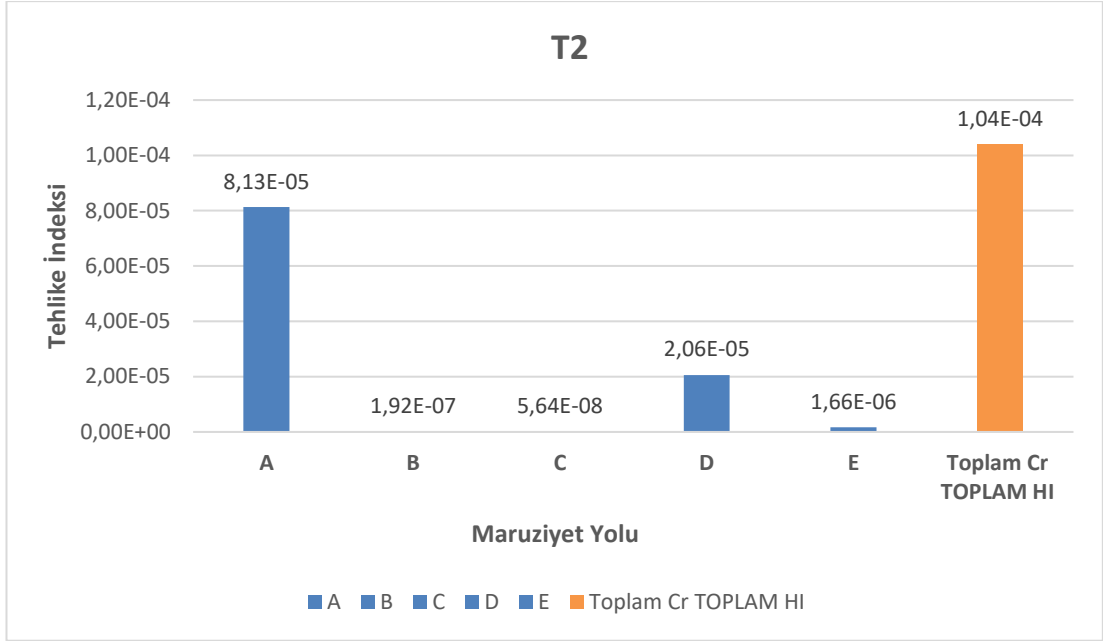
Şekil 4.7. Ni için T3 Sahası HI değerleri



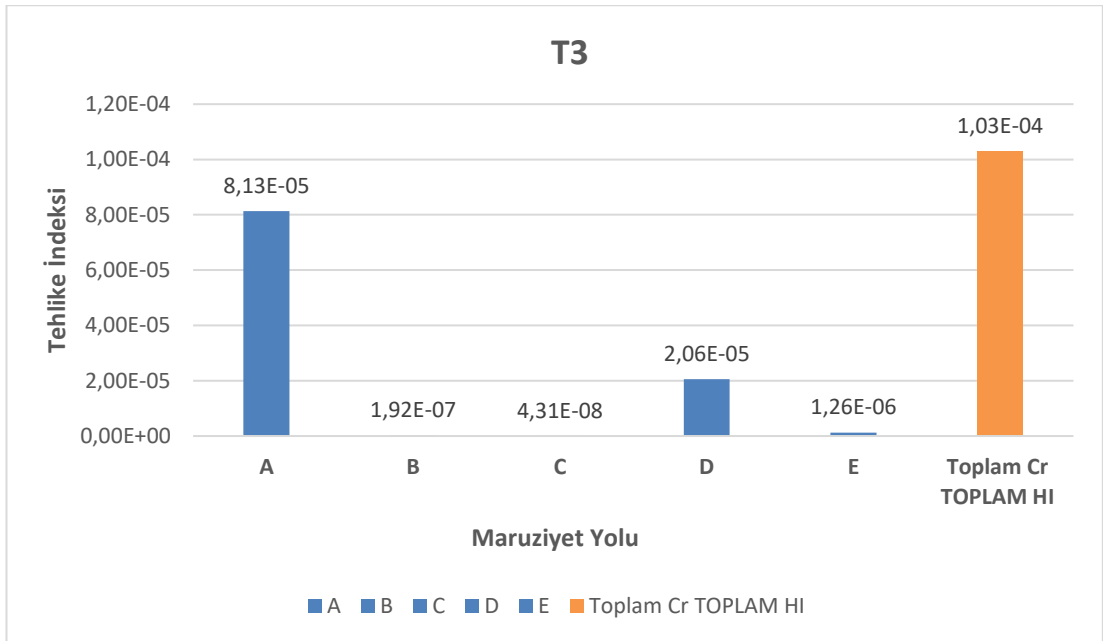
Şekil 4.8. Ni için T4 Sahası HI değerleri



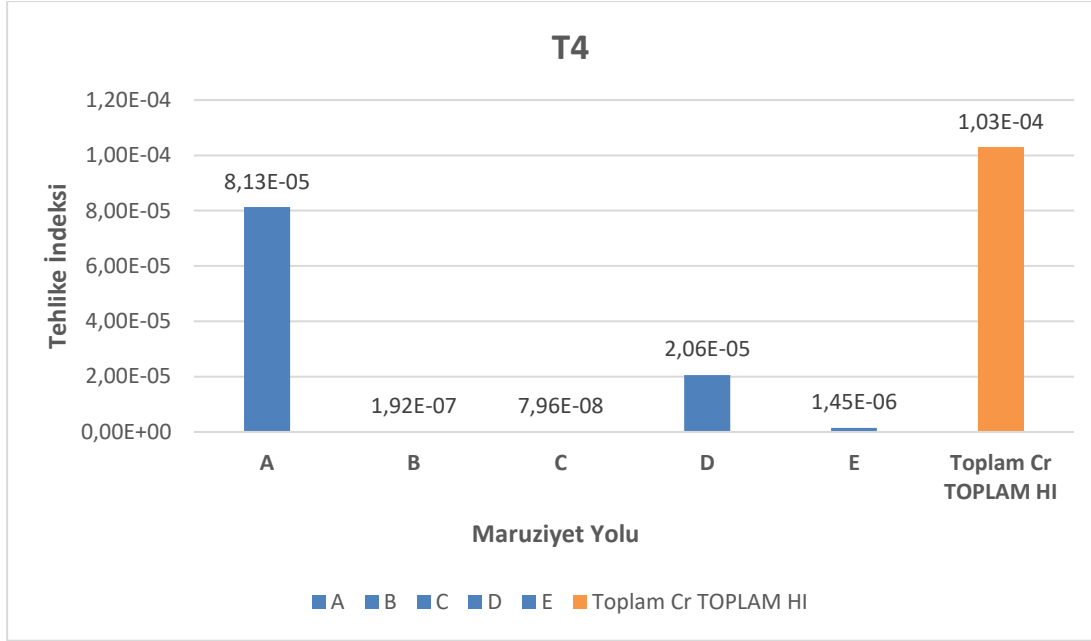
Şekil 4.9. Toplam Cr için T1 Sahası HI değerleri



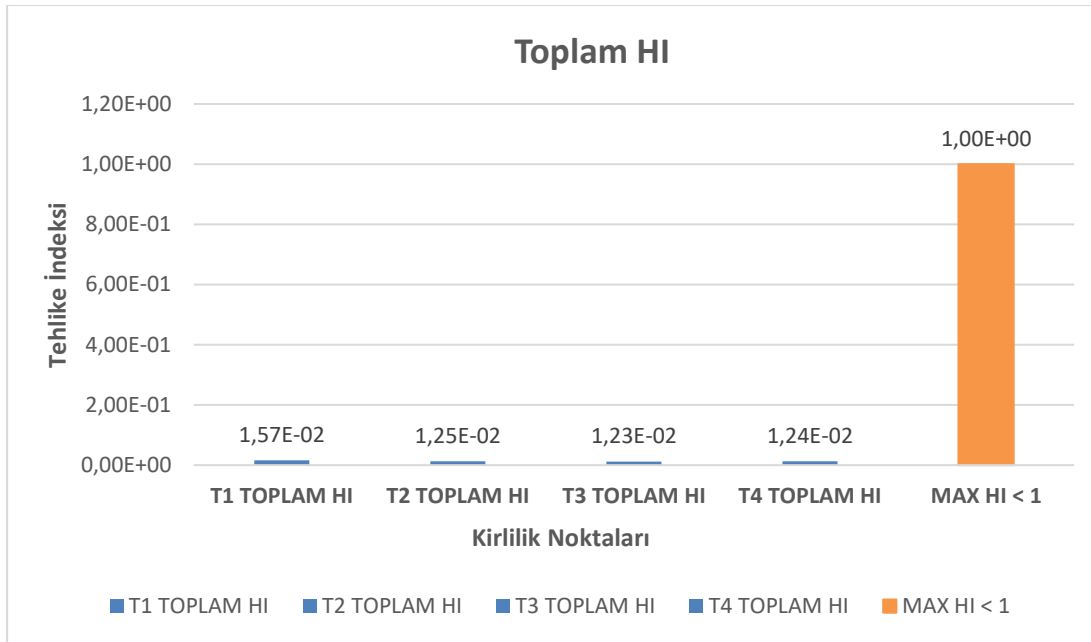
Şekil 4.10. Toplam Cr için T2 Sahası HI değerleri



Şekil 4.11. Toplam Cr için T3 Sahası HI değerleri



Şekil 4.12. Toplam Cr için T4 Sahası HI değerleri



Şekil 4.13. Toplam HI değerleri

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Ekolojik dengenin vazgeçilmez unsurlarından biri olan toprak, çeşitli kirleticilerin ana alıcı ortamlarından biridir. Kirlenmiş topraklar hava, su, besin zinciri ile taşınım gibi yollarla insan dahil ekosistemin canlı ve cansız tüm unsurları için bir kirletici kaynağı olarak hareket edebilir. Karasal ekosistemlerde yaşanan kirlilik su kaynaklarına ulaşarak su kalitesinin olumsuz etkilenmesine yol açabilir. Toprak kirliliği tarımsal verimliliği olumsuz etkileyebileceği gibi çeşitli nedenlerle kirlenmiş alanların tarımsal üretim amacıyla kullanılması üretilen ürünlerin güvenliği ile ilgili endişeleri de beraberinde getirmektedir. Özellikle sanayi bölgelerinde ve çevrelerinde yaşanan ağır metal kirliliği tüm dünyada endişe kaynağıdır.

İnsan ve çevre sağlığının korunması, insan refahının iyileştirilmesi, toprak kirliliğinin yol açabileceği ekonomik kayıpların engellenebilmesi için öncelikle önleyici faaliyetlerle toprakların kirlenmesinin önlenmesi gerekmektedir. Kirlenmenin önlenemediği durumlarda ise kirliliğin kontrol altına alınması, bilimsel temelli yaklaşımlarla doğru yönetilmesi için öncelikle kirletici kaynakların belirlenmesi, kirliliğin boyutunun saptanması, temizleme işlemlerine ihtiyaç olup olmadığının belirlenmesi, kirlilik şüphesi olan sahalarda ise sahanın kirlilik durumunun ortaya çıkarılması gerekmektedir. İnsan sağlığı risk değerlendirmesi tüm bu süreçlerde önemli avantajlar sunmaktadır.

Bu çalışmada kirlilik şüphesi olan endüstriyel bir sahada As, Ni, toplam Cr konsantrasyonları belirlenmiş, kirleticilerin alıcılara ulaşmasında etkili olabilecek taşınım yolları tespit edilmiştir. Alıcılarda bu maruziyete bağlı olarak gelişebilecek kanser dışı olumsuz sağlık riskini belirlemek üzere tehlike indeksi (HI) hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar tüm kontrol noktalarında toplam $HI < 1$ olduğunu göstermiştir. Toplam $HI < 1$ olması sahadaki As, Ni ve toplam Cr maruziyetinden kaynaklanabilecek olumsuz sağlık etkilerinin beklenmediğini işaret etmektedir.

İnsan sağlığı risk değerlendirmesi çalışmaları ile toprakların mevcut kullanım amacı ya da gelecekte planlanan kullanım amaçlarına uygunluğunun ortaya çıkarılması, kaynakların sürdürülebilir kullanımına destek olabilir. Özellikle tarımsal üretim

amacıyla kullanılan ya kullanılması planlanan alanlarda gerçekleştirilmesi kirleticilerin besin zinciri aracılığıyla taşınmasının nlenmesine yardımcı olabilir.

Kirleticilerin alıcılara ulaşmasında etkili maruziyet yollarının belirlenmesi toprak kirliliğinin önlenmesinin yanı sıra insan sağlığının ve ekosistemin dengesinin korunması için önleyici yaklaşımların geliştirilmesine de katkı sağlayabilir.

KAYNAKLAR

- [1] FAO and UNEP. 2021. Global assessment of soil pollution-Summary for policy makers. Rome, FAO. <https://doi.org/10.4060/cb4827en>.
- [2] Jia, H., Hou, D., O'Connor, D., Pan, S., Zhu, J., Bolan, N.S., Mulder, J., 2020. Exogenous phosphorus treatment facilitates chelation-mediated cadmium detoxification in perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.). *J. Hazard Mater.* 389, 121849.
- [3] Jia, X., O'Connor, D., Shi, Z., Hou, D., VIRS based detection in combination with machine learning for mapping soil pollution, *Environmental Pollution* 268 (2021) 115845).
- [4] O'Connor, D., Hou, D., Ok, Y.S., Lanphear, B.P., 2020. The effects of iniquitous lead exposure on health. *Nature Sustain.* 3, 77-79.
- [5] Wang, L., Wu, W.-M., Bolan, N.S., Tsang, D.C.W., Li, Y., Qin, M., Hou, D., Environmental fate, toxicity and risk management strategies of nanoplastics in the environment: current status and future perspectives, *Journal of Hazardous Materials* 401 (2021) 123415.
- [6] Zhang, Y., O'Connor, D., Xu, W., Hou, D., 2020. Blood lead levels among Chinese children: the shifting influence of industry, traffic, and e-waste over three decades. *Environ. Int.* 135, 105379.
- [7] Abd El-Halim, A., Omae, H., 2019. Performance assessment of nanoparticulate lime to accelerate the downward movement of calcium in acid soil. *Soil Use Manag.* 35, 683-690.
- [8] Boardman, J., Vandaele, K., Evans, R., Foster, I.D., 2019. Off-site impacts of soil erosion and runoff: why connectivity is more important than erosion rates. *Soil Use Manag.* 35, 245-256.
- [9] Xiao, L.; Zhou, Y.; Huang, H.; Liu, Y.-J.; Li, K.; Li, M.-Y.; Tian, Y.; Wu, F. Application of Geostatistical Analysis and Random Forest for Source Analysis and Human Health Risk Assessment of Potentially Toxic Elements (PTEs) in Arable Land Soil. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 2020, 17, 9296. <https://doi.org/10.3390/ijerph17249296>.
- [10] Patriche, C.V., 2019. Quantitative assessment of rill and interrill soil erosion in Romania. *Soil Use Manag.* 35, 257-272.
- [11] Tao, H., Pan, W.L., Carter, P., Wang, K., 2019. Addition of lignin to lime materials for expedited pH increase and improved vertical mobility of lime in no-till soils. *Soil Use Manag.* 35, 314e322.
- [12] Li T, Liu Y, Lin S, Liu Y, Xie Y. Soil Pollution Management in China: A Brief Introduction. *Sustainability.* 2019; 11(3):556. <https://doi.org/10.3390/su11030556>.

- [13] Peng, C.; Cai, Y.; Wang, T.; Xiao, R.; Chen, W. Regional probabilistic risk assessment of heavy metals in different environmental media and land uses: An urbanization-affected drinking water supply area. *Sci. Rep.* 2016, 6, 37084.
- [14] Wu, Q., Zhang, X., Liu, C., Chen, Z., The de-industrialization, re-suburbanization and health risks of brownfield land reuse: Case study of a toxic soil event in Changzhou, China, *Land Use Policy*, Volume 74, 2018, Pages 187-194, ISSN 0264-8377, <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2017.07.039>.
- [15] Taati, A., Salehi, M.H., Mohammadi, J., Mohajer, R., Díez, S., Pollution assessment and spatial distribution of trace elements in soils of Arak industrial area, Iran: Implications for human health, *Environmental Research* 187 (2020) 109577.
- [16] UNEA, 2018. UNEP/EA.3/L.14 Managing Soil Pollution to Achieve Sustainable Development. United Nations Environment Assembly.
- [17] UNEP, 2018. World commits to pollution-free planet at environment summit. In: UNEnvironment, <http://www.unenvironment.org/>.
- [18] TKKNKSDY, 2010, Toprak Kirliliğinin Kontrolü ve Noktasal Kaynaklı Kirlenmiş Sahalara Dair Yönetmelik, Tertip: 5 Resmî Gazete Tarihi: 08.06.2010 Sayısı: 27605.
- [19] Zhang, S., Han, Y., Peng, J., Chen, Y., Zhan, L., Li, J., Human health risk assessment for contaminated sites: A retrospective review, *Environment International*, Volume 171, 2023, 107700, ISSN 0160-4120, <https://doi.org/10.1016/j.envint.2022.107700>.
- [20] Fuller R, Landrigan PJ, Balakrishnan K, Bathan G, Bose-O'Reilly S, Brauer M, Caravanos J, Chiles T, Cohen A, Corra L, Cropper M, Ferraro G, Hanna J, Hanrahan D, Hu H, Hunter D, Janata G, Kupka R, Lanphear B, Lichtveld M, Martin K, Mustapha A, Sanchez-Triana E, Sandilya K, Schaeffli L, Shaw J, Seddon J, Suk W, Téllez-Rojo MM, Yan C. Pollution and health: a progress update. *Lancet Planet Health.* 2022 Jun;6(6):e535-e547. doi: 10.1016/S2542-5196(22)00090-0. Epub 2022 May 18. Erratum in: *Lancet Planet Health.* 2022 Jun 14;: PMID: 35594895.
- [21] Swartjes, F.A.; Human health risk assessment related to contaminated land: state of the art, *Environ Geochem Health* (2015) 37:651–673, DOI 10.1007/s10653-015-9693-0.
- [22] Carlon, C., & Swartjes, F. (2007). Analysis of variability and reasons of differences. In Carlon (Ed.), *Derivation methods of soil screening values in Europe. A review of national procedures towards harmonisation opportunities.* JRC PUBSY 7123, HERACLES. European Commission Joint Research Centre, Ispra.
- [23] EPA, 2023 a, <https://www.epa.gov/risk/about-risk-assessment#whatrisk>, (erişim tarihi:23.08.2023).
- [24] Penteadó, J.O., Brum, RDL., Ramires, PF., Garcia, EM., dos Santos, M., da Silva Júnior, F.M.R. Health risk assessment in urban parks soils contaminated by metals, Rio Grande city (Brazil) case study, *Ecotox Environ Safe*, 208 (2021), Article 111737, 10.1016/j.ecoenv.2020.111737.

- [25] NRC, 1983. Risk Assessment in the Federal Government, Risk Assessment in the Federal Government. National Academies Press, Washington, D.C. <https://doi.org/10.17226/776>.
- [26] Peng, J., Zhang, S., Y. Han, B. Bate, H. Ke, Y. Chen, Soil heavy metal pollution of industrial legacies in China and health risk assessment Sci. Total Environ., 151632 (2022). <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.151632>.
- [27] TKKNKKS DY, Ek-9 2010, Toprak Kirliliğinin Kontrolü Ve Noktasal Kaynaklı Kirlenmiş Sahalara Dair Yönetmelik, Tertip: 5 Resmî Gazete Tarihi: 08.06.2010 Sayısı: 27605.
- [28] TKKNKKS DY, Madde 4(1)/ş 2010, Toprak Kirliliğinin Kontrolü Ve Noktasal Kaynaklı Kirlenmiş Sahalara Dair Yönetmelik, Tertip: 5 Resmî Gazete Tarihi: 08.06.2010 Sayısı: 27605.
- [29] TKKNKKS DY, Madde 4(1)/ü 2010, Toprak Kirliliğinin Kontrolü Ve Noktasal Kaynaklı Kirlenmiş Sahalara Dair Yönetmelik, Tertip: 5 Resmî Gazete Tarihi: 08.06.2010 Sayısı: 27605.
- [30] TKKNKKS DY, Madde 4(1)/g 2010, Toprak Kirliliğinin Kontrolü Ve Noktasal Kaynaklı Kirlenmiş Sahalara Dair Yönetmelik, Tertip: 5 Resmî Gazete Tarihi: 08.06.2010 Sayısı: 27605.
- [31] Kirlenmiş Saha Risk Değerlendirme Teknik Rehberi, T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Ankara, 2009.
- [32] USEPA (1989). Exposure Factors Handbook. Office of Health and Environmental Assessment. EPA/600/8-89/043.
- [33] Shi, J., Zhao, D., Ren, F., Huang, L., Spatiotemporal variation of soil heavy metals in China: The pollution status and risk assessment, Science of the Total Environment 871 (2023) 161768..
- [34] Chen, Y., Qu, J., Sun, S., Shi, Q., Feng, H., Zhang, Y., Cao, S., Health risk assessment of total exposure from cadmium in South China, Chemosphere 269 (2021) 128673.
- [35] Qu, C.S., 2011. Health Risk Assessment and Management of Heavy Metal Pollution-A Case Study in a Lead-zinc Mining Area in East China. Nanjing University (in Chinese).
- [36] Xu, P., Huang, S., Wang, Z., 2011. Methods for Estimating Exposure to Metals in Drinking Water. encyclopedia of environmental health, pp. 731-737.
- [37] USEPA, 2023 b, <https://www.epa.gov/expobox/exposure-assessment-tools-routes-ingestion> (erişim tarihi:29.09.2023).
- [38] USEPA, 2023 c, <https://www.epa.gov/expobox/exposure-assessment-tools-routes-inhalation> (erişim tarihi:29.09.2023).
- [39] Kissel, J.C., Exposure Science: Dermal Contact, Editor(s): Jerome Nriagu, Encyclopedia of Environmental Health (Second Edition), Elsevier, 2019, Pages 816-822, ISBN 9780444639523, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.10646-3>.

- [40] ATSDR, (2007). Agency for Toxic Substances and Disease Registry (US); Toxicological profile for arsenic. Atlanta: U.S.Dept. of Health & Human Services.
- [41] WHO, 2023a, <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/arsenic> (erişim tarihi:19.09.2023).
- [42] IARC, 2009, International Agency for Research on Cancer, A review of human carcinogens. Part C: arsenic, metals, fibres, and dusts/IARC working group on the evaluation of carcinogenic risks to humans (2009). IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans; v. 100C(Lyon, France);2012.
- [43] Oberoi, S., Barchowsky, A., Wu, F., The global burden of disease for skin, lung, and bladder cancer caused by arsenic in food, *Cancer Epidemiol. Biomark. Prev.*, 23 (2014), pp. 1187-1194.
- [44] Chen Y, Graziano JH, Parvez F, Liu M, Slavkovich V, Kalra T, et al Arsenic exposure from drinking water and mortality from cardiovascular disease in Bangladesh: prospective cohort study. *Br Med J*, 2011;342:d2431.
- [45] Ehrenstein OS, Mazumder DN, Yuan Y, Samanta S, Balmes J, Si A, et al Decrements in lung function related to arsenic in drinking water in west bengal, India. *Am J Epidemiol* 2005;162: 533–41.
- [46] Moon K, Guallar E, Navas-Acien A. Arsenic exposure and cardiovascular disease: an updated systematic review. *Curr Atheroscler Rep* 2012; 14:542–55.
- [47] Parvez F, Chen Y, Brandt-Rauf PW, Slavkovich V, Islam T, Ahmed A, et al A prospective study of respiratory symptoms associated with chronic arsenic exposure in Bangladesh: findings from the Health Effects of Arsenic Longitudinal Study (HEALS). *Thorax* 2010;65:528–33.
- [48] Baker BA, Cassano VA, Murray C, et al. Arsenic exposure, assessment, toxicity, diagnosis, and management: Guidance for occupational and environmental physicians. *J Occup Environ Med* 2018; 60: E634–E639.
- [49] Martínez-Castillo M, García-Montalvo EA, Arellano-Mendoza MG, Sánchez-Peña LDC, Soria Jasso LE, Izquierdo-Vega JA, Valenzuela OL, Hernández-Zavala A. Arsenic exposure and non-carcinogenic health effects. *Hum Exp Toxicol.* 2021 Dec;40(12_suppl):S826-S850. doi: 10.1177/096032712111045955. Epub 2021 Oct 5. PMID: 34610256.
- [50] RSC, 2023a, Royal Society of Chemistry, 2023, <https://www.rsc.org/periodic-table/element/24/chromium>.
- [51] ATSDR 2012, Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). 2012. Toxicological profile for Chromium. Atlanta, GA: U.S. Department of Health and Human Services, September 2012.
- [52] Anderson RA. 1981, Nutritional role of chromium. *Sci Total Environ* 17:13-29.
- [53] Kapoor, R.T., Mfarrej, M.F.B., Alam, P., Rinklebe, J., Ahmad, P., Accumulation of chromium in plants and its repercussion in animals and humans, *Environmental Pollution*, Volume 301, 2022, 119044, ISSN 0269-7491, <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.119044>.

- [54] Coetzee, J.J., Bansal, N., Chirwa, E.M. N, Chromium in Environment, Its Toxic Effect from Chromite-Mining and Ferrochrome Industries, and Its Possible Bioremediation, *Exposure and Health* (2020) 12:51–62.
- [55] Prasad, S., Yadav, K.K., Kumar, S., Gupta, N., Cabral-Pinto, M.M.S., Rezanian, S., Radwan, N., Alam, J., Chromium contamination and effect on environmental health and its remediation: A sustainable approaches, *Journal of Environmental Management*, Volume 285, 2021, 112174, ISSN 0301-4797, <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112174>.
- [56] Romero-Crespo, P., Jiménez-Oyola, S., Salgado-Almeida, B. et al. Trace elements in farmland soils and crops, and probabilistic health risk assessment in areas influenced by mining activity in Ecuador. *Environ Geochem Health* (2023). <https://doi.org/10.1007/s10653-023-01514-x>.
- [57] Ayele A, Godeto YG (2021) Bioremediation of chromium by microorganisms and its mechanisms related to functional groups. *J Chem* 2021:21. <https://doi.org/10.1155/2021/7694157>.
- [58] Hossini, H., Shafie, B., Niri, A.D. et al. A comprehensive review on human health effects of chromium: insights on induced toxicity. *Environ Sci Pollut Res* 29, 70686–70705 (2022). <https://doi.org/10.1007/s11356-022-22705-6>.
- [59] RSC, 2023b). [<https://www.rsc.org/periodic-table/element/28/nickel>].
- [60] MTA, 2018, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Dünyada ve Türkiye’de Nikel, Hazırlayanlar: Eroğlu, G., Ziya Akgök, Y.Z., Fizibilite Etütleri Daire Başkanlığı Ekim 2018.
- [61] Wei, J., Deng, S. & Lu, J. A Single Soil Washing with Humic Substance Can Achieve the Risk-Based Remedial Target for Nickel Contaminated Soil. *Bull Environ Contam Toxicol* 109, 623–629 (2022). <https://doi.org/10.1007/s00128-021-03399-x>.
- [62] ATSDR, 2005, Agency for Toxic Substances and Disease Registry, ATSDR Tox Fact Sheet, Nickel.
- [63] Chen, Q.Y.; Brocato, J.; Laulicht, F.; Costa, M. Mechanisms of nickel carcinogenesis. In *Essential and Non-Essential metals. Molecular and Integrative Toxicology*; Mudipalli, A., Zeliko, J.T., Eds.; Springer International Publishing AG: New York, NY, USA, 2017; pp. 181–197.
- [64] Genchi G, Carocci A, Lauria G, Sinicropi MS, Catalano A. Nickel: Human Health and Environmental Toxicology. *Int J Environ Res Public Health*. 2020 Jan 21;17(3):679. doi: 10.3390/ijerph17030679. PMID: 31973020; PMCID: PMC7037090.
- [65] Mohmand J, Eqani SAMAS, Fasola M, Alamdar A, Mustafa I, Ali N, Liu LP, Peng SY, Shen HQ (2015) Human exposure to toxic metals via contaminated dust: bio-accumulation trends and their potential risk estimation. *Chemosphere* 132:142–151. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2015.03.004>.
- [66] Gujre, N., Rangan, L., Mi, S., Occurrence, geochemical fraction, ecological and health risk assessment of cadmium, copper and nickel in soils contaminated with municipal solid wastes, *Chemosphere* 271 (2021) 129573.

- [67] Núñez, O., Fernández-Navarro, P., Martín-Méndez, I., Bel-Lan, A., Locutura, J.F., López- Abente, G., 2016. Arsenic and chromium topsoil levels and cancer mortality in Spain. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 23 (17), 17664–17675.
- [68] Sandil S, Óvári M, Dobosy P, Vetési V, Endrédi A, Takács A, Füzzy A, Záraya B., 2021, Effect of arsenic-contaminated irrigation water on growth and elemental composition of tomato and cabbage cultivated in three different soils, and related health risk assessment. *Environ Res* 197:111098. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.111098>.
- [69] Jamal, A., Delavar, M.A., Naderi, A., Nourieh, N., Medi, B., Mahvi, A.H., (2019) Distribution and health risk assessment of heavy metals in soil surrounding a lead and zinc smelting plant in Zanjan, Iran, *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*, 25:4, 1018-1033, DOI: 10.1080/10807039.2018.1460191.
- [70] Jafari, A., Ghaderpoori, M., Kamarehi, B., Abdipour, H., Soil pollution evaluation and health risk assessment of heavy metals around Douroud cement factory, Iran, *Environmental Earth Sciences* (2019) 78:250 <https://doi.org/10.1007/s12665-019-8220-5>.
- [71] Gupta, N.; Yadav, K.K.; Kumar, V.; Prasad, S.; Cabral-Pinto, M.M.S.; Jeon, B.-H.; Kumar, S.; Abdellattif, M.H.; Alsukaibia, A.K.D. Investigation of Heavy Metal Accumulation in Vegetables and Health Risk to Humans From Their Consumption. *Front. Environ. Sci.* 2022, 10, 791052.
- [72] Cocârță, D.M., Neamțu, S., Deac, R.A.M. Carcinogenic risk evaluation for human health risk assessment from soils contaminated with heavy metals. *Int. J. Environ. Sci. Technol.* 13, 2025–2036, 2016. <https://doi.org/10.1007/s13762-016-1031-2>.
- [73] Parlak, M., Everest, T. & Tunçay, T. Spatial distribution of heavy metals in soils around cement factory and health risk assessment: a case study of Canakkale-Ezine (NW Turkey). *Environ Geochem Health* 45, 5163–5179 (2023). <https://doi.org/10.1007/s10653-023-01578-9>.
- [74] Xu, S.; Yu, C.; Wang, Q.; Liao, J.; Liu, C.; Huang, L.; Liu, Q.; Wen, Z.; Feng, Y. Chromium Contamination and Health Risk Assessment of Soil and Agricultural Products in a Rural Area in Southern China. *Toxics* 2023, 11, 27. <https://doi.org/10.3390/toxics11010027>.
- [75] Chandio, T.A., Khan, M.N., Muhammad, M.T. et al. Health risk assessment of chromium contamination in the nearby population of mining plants, situated at Balochistan, Pakistan. *Environ Sci Pollut Res* 28, 16458–16469 (2021). <https://doi.org/10.1007/s11356-020-11649-4>].
- [76] Li, Y.; Pan, S.; Wang, L.; Jia, F.; Lu, F.; Shi, J. Soil Chromium Accumulation in Industrial Regions across China: Pollution and Health Risk Assessment, Spatial Pattern, and Temporal Trend (2002–2021). *Toxics* 2023, 11, 363. <https://doi.org/10.3390/toxics11040363>.
- [77] Zhao, R., Guan, Q., Luo, H., Lin, J., Yang, L., Wang, F., Pan, N., Yang, Y., Fuzzy synthetic evaluation and health risk assessment quantification of heavy metals in Zhangye agricultural soil from the perspective of sources, *Science of The Total Environment*, Volume 697, 2019, 134126, ISSN 0048-9697, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134126>.

- [78] Brendan , B., McLaughlin, D., (2006) Soil Investigation and Human Health Risk Assessment for Nickel in Community Soils Near a Former Nickel Refinery in Southern Ontario, Canada, *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part A*, 69:9, 845-892, DOI: 10.1080/15287390600591629.
- [79] Kormoker,T., Proshad, R., Islam, S., Ahmed, S., Chandra, K., Uddin, M., Rahman, M., (2021) Toxic metals in agricultural soils near the industrial areas of Bangladesh: ecological and human health risk assessment, *Toxin Reviews*, 40:4, 1135-1154, DOI: 10.1080/15569543.2019.1650777.
- [80] USEPA, 1994,EPA Method 3051A, Microwave Assisted Acid Digestion of Sediments, Sludges, Soils, And Oils, 2007.); EPA 200.7, Method 200.7: Determination of Metals and Trace Elements in Water and Wastes by Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry, U.S. EPA. 1994.
- [81] USEPA,1991, Risk Assessment Guidance For Superfund Volume I: Human Health Evaluation Manual Supplemental Guidance "Standard Default Exposure Factors" Interim Final, 1991).
- [82] USEPA, 2002-(Supplemental Guidance For Developing Soil Screening Levels For Superfund Sites EPA, 2002.
- [83] Pawełczyk A. Assessment of health risk associated with persistent organic pollutants in water. *Environ Monit Assess.* 2013.
- [84] USEPA, 2004, Risk Assessment Guidance for Superfund Volume I: Human Health Evaluation Manual (Part E, Supplemental Guidance for Dermal Risk Assessment) Final, EXHIBIT C-1.
- [85] Huang,RQ., Gao, SF., Wang, WL., Staunton, S., Wang, G., Soil arsenic availability and the transfer of soil arsenic to crops in suburban areas in Fujian Province, southeast China, *Science of The Total Environment*, Volume 368, Issues 2–3, 2006, Pages 531 541, ISSN 0048-9697, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2006.03.013>.
- [86] Jolly, Y.N., Islam, A., Akbar, S. Transfer of metals from soil to vegetables and possible health risk assessment. *SpringerPlus* 2, 385, 2013.
- [87] Zhang, J., Li, H., Zhou, Y., Dou, L., Cai, L., Mo, L., You, J., Bioavailability and soil-to-crop transfer of heavy metals in farmland soils: A case study in the Pearl River Delta, South China, *Environmental Pollution*, Volume 235, 2018, Pages 710-719, ISSN 0269-7491, <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.12.106>
- [88] U.S. EPA, 1996a): ABD EPA (1996a). "Soil Screening Guidance: Technical Background Document." EPA/540/R- 95/128.

ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Melike ÇETİN

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2013, Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- 2013-2023 yılları arasında İZA Çevre Mühendisliği San. Ve Tic. Ltd. Şti. firmasında Çevre Mühendisi olarak çalıştı.
- 2023 yılından bu yana PERI Sakarya İskele ve Kalıp Üretim Sana. Tic. Ltd. Şti.'nde çalışıyor.

TEZDEN TÜRETİLEN ESERLER:

- Çetin, M., Dede, C., Assessment of Total Cr Exposure in a Point-Source Contaminated Industrial Site, , 8th International Congress on Environmental Research and Technology, Proceedings Book, pp:30-34, Editors: Özkök., A., Kekeçoğlu, M., E-ISBN: 978-625-98726-5-0.