T.C.
YOZGAT BOZOK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ (DİSİPLİNLERARASI)
ANABİLİM DALI

LABORATUVAR ÇALIŞANLARINDA TOKSİKOLOJİK PARAMETRELERİN DEĞERLENDİRİLMESİ

ŞEYMA BETÜL BEYTAŞ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Danışman: Prof. Dr. Hülya ŞİMŞEK

İkinci Danışman: Prof. Dr. Vugar Ali TÜRKSOY

AĞUSTOS – 2025

YOZGAT

T.C.
YOZGAT BOZOK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ (DİSİPLİNLERARASI)
ANABİLİM DALI

LABORATUVAR ÇALIŞANLARINDA TOKSİKOLOJİK PARAMETRELERİN DEĞERLENDİRİLMESİ

ŞEYMA BETÜL BEYTAŞ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Danışman: Prof. Dr. Hülya ŞİMŞEK

İkinci Danışman: Prof. Dr. Vugar Ali TÜRKSOY

AĞUSTOS – 2025

YOZGAT

YOZGAT BOZOK ÜNİVERSİTESİ

LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

LİSANSÜSTÜ TEZ ONAY FORMU

T.C.

YOZGAT BOZOK ÜNİVERSİTESİ

LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

Enstitümüzün İş Sağlığı ve Güvenliği (Disiplinlerarası) Anabilim Dalı Tezli Yüksek Lisans Programı 91123722004 numaralı öğrencisi Şeyma Betül BEYTAŞ'ın hazırladığı "**Laboratuvar Çalışanlarında Toksikolojik Parametrelerin Değerlendirilmesi**" başlıklı tezi ile ilgili tez savunma sınavı, Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliği'nin ilgili maddeleri gereğince 13/08/2025 çarşamba günü saat 16.00'da yapılmış, tezin onayına oy birliği ile karar verilmiştir.

Başkan : Doç. Dr. Bayram YÜKSEL

Jüri Üyesi : Prof. Dr. Hülya ŞİMŞEK

(Danışman)

Jüri Üyesi : Doç. Dr. Vugar Ali TÜRKSOY

(İkinci Danışman)

Jüri Üyesi : Doç. Dr. Gültekin COŞKUN

Jüri Üyesi : Dr. Öğr. Üyesi İbrahim Yasin ÇOLAK

ONAY:

Bu tezin kabulü, Enstitü Yönetim Kurulu'nun ……../……../….. tarih ve …… sayılı Enstitü Yönetim Kurulu Kararı ile onaylanmıştır.

…...../...../ 20…..

Prof. Dr. Ümit BUDAK

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

TEZ BEYANI

Tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu tezin yazılmasında bilimsel ahlak kurallarına uyulduğunu, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezin içerdiği yenilik ve sonuçların başka bir yerden alınmadığını, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, tezin herhangi bir kısmının bu üniversite veya başka bir üniversitedeki başka bir tez çalışması olarak sunulmadığını beyan eder, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Şeyma Betül BEYTAŞ

13/08/2025

ÖN SÖZ

Bu tez çalışması, laboratuvar çalışanlarında solvent ve metallere maruziyet düzeylerinin değerlendirilmesi amacıyla gerçekleştirilmiştir. Kimyasal maruziyetin çalışan sağlığı üzerindeki olası etkilerini ortaya koymak ve bu alanda koruyucu önlemlerin gerekliliğine dikkat çekmek, çalışmanın temel motivasyonunu oluşturmuştur.

Çalışmanın yürütülmesi sürecinde bilgi, deneyim ve rehberlikleriyle değerli katkılar sunan danışman hocalarım Sayın Prof. Dr. Hülya Şimşek'e ve Sayın Prof. Dr. Vugar Ali Türksoy'a teşekkürlerimi sunarım. Araştırma sürecinde çalışmaya katılımları ve anlayışları için Yozgat Bozok Üniversitesi'nde görev yapan laboratuvar çalışanlarına teşekkür ederim. Son olarak eğitim hayatım boyunca bana her zaman destek olan kıymetli aileme sabırları, sevgileri ve destekleri için gönülden şükranlarımı sunarım.

Şeyma Betül BEYTAŞ

13/08/2025

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

LABORATUVAR ÇALIŞANLARINDA TOKSİKOLOJİK PARAMETRELERİN DEĞERLENDİRİLMESİ

ŞEYMA BETÜL BEYTAŞ

YOZGAT BOZOK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ ANABİLİM DALI

TEZ DANIŞMANI: PROF. DR. HÜLYA ŞİMŞEK
İKİNCİ DANIŞMAN: PROF. DR. VUGAR ALİ TÜRKSOY

Laboratuvar ortamlarında kullanılan pek çok kimyasal madde, çalışanlar için potansiyel sağlık tehlikesi taşıyan toksik özelliklere sahiptir. Çalışmanın temel amacı, elde edilen biyolojik ölçüm sonuçlarını ulusal ve uluslararası sınır değerlerle karşılaştırarak kimyasal maruziyetin olası varlığını ve düzeyini ortaya koymak, mevcut koruyucu önlemlerin yeterliliğini değerlendirmek ve gerekli görülen durumlarda ilave önlemler önermektir. Çalışma kapsamında Yozgat Bozok Üniversitesi'nde görev yapan 50 laboratuvar çalışanının idrar numunelerinde arsenik, bakır, çinko, manganez, krom, civa, kurşun, kadmiyum, kobalt, alüminyum, nikel, fenol, hippürik asit ve 3-metil hippürik asit analizi yapıldı. Analiz sonuçları SPPS 20.0 paket programında değerlendirildi.

Bu çalışmada laboratuvar ortamında çalışan bireylerde tespit edilen metal ve metabolit düzeyleri sırasıyla arsenik 6,38 ± 1,32 µg/L, bakır 1160,93 ± 389,84 µg/L, çinko 1668,96 ± 707,41 µg/L, manganez 9,96 ± 3,32 µg/L, krom 8,47 ± 2,12 µg/L, cıva 2,32 ± 0,75 µg/L, kurşun 25,19 ± 10,73 µg/L, kadmiyum 1,31 ± 0,89 µg/L, kobalt 1,19 ± 0,77 µg/L, alüminyum 3,64 ± 2,08 µg/L, nikel 1,80 ± 1,94 µg/L, fenol 40,45 ± 61,33 mg/L, hippürik asit 888,95 ± 1020,43 mg/L ve 3-metil hippürik asit 1373,65 ± 493,22 mg/L olarak belirlenmiştir. Bu bulgular, çalışanların maruz kaldığı kimyasalların düzeylerini ortaya koymakta olup, potansiyel sağlık etkilerinin değerlendirilmesi açısından önem arz etmektedir.

2025, xii + 94 Sayfa

Anahtar Kelimeler: İş sağlığı, Laboratuvar çalışanı, Metal, Maruziyet, Solvent

ABSTRACT

MASTER THESIS

EVALUATION OF TOXICOLOGICAL PARAMETERS IN LABORATORY WORKERS

ŞEYMA BETÜL BEYTAŞ

YOZGAT BOZOK UNIVERSITY
INSTITUTE OF POSTGRADUATE EDUCATION
DEPARTMENT OF OCCUPATIONAL HEALTHY AND SAFETY

SUPERVISOR: PROF. DR. HÜLYA ŞİMŞEK
CO-SUPERVISOR: PROF. DR. VUGAR ALİ TÜRKSOY

Many chemical substances used in laboratory environments possess toxic properties that pose potential health hazards to workers. The primary objective of this study is to determine the possible presence and level of chemical exposure by comparing the obtained biological measurement results with national and international limit values, to assess the adequacy of existing protective measures, and to propose additional precautions where necessary. Within the scope of the study, urine samples from 50 laboratory workers at Yozgat Bozok University were analyzed for arsenic, copper, zinc, manganese, chromium, mercury, lead, cadmium, cobalt, aluminum, nickel, phenol, hippuric acid, and 3-methylhippuric acid. The analysis results were evaluated using the SPSS 20.0 software package.

In this study, the levels of metals and metabolites detected in individuals working in the laboratory environment were as follows: arsenic 6.38 ± 1.32 µg/L, copper 1160.93 ± 389.84 µg/L, zinc 1668.96 ± 707.41 µg/L, manganese 9.96 ± 3.32 µg/L, chromium 8.47 ± 2.12 µg/L, mercury 2.32 ± 0.75 µg/L, lead 25.19 ± 10.73 µg/L, cadmium 1.31 ± 0.89 µg/L, cobalt 1.19 ± 0.77 µg/L, aluminum 3.64 ± 2.08 µg/L, nickel 1.80 ± 1.94 µg/L, phenol 40.45 ± 61.33 mg/L, hippuric acid 888.95 ± 1020.43 mg/L, and 3-methylhippuric acid 1373.65 ± 493.22 mg/L. These findings reveal the levels of chemicals to which the workers were exposed and are of importance in terms of evaluating potential health effects.

2025, xii + 94 Pages

Keywords: Occupational health, Laboratory worker, Metal, Exposure, Solvent

İÇİNDEKİLER

Sayfa

LİSANSÜSTÜ TEZ ONAY FORMU ii

TEZ BEYANI iii

ÖN SÖZ iv

ÖZET v

ABSTRACT vi

İÇİNDEKİLER vii

TABLOLAR LİSTESİ x

RESİMLER LİSTESİ xi

SİMGELER ve KISALTMALAR LİSTESİ xii

1. GİRİŞ 1

1.1. Konunun Tanımı 1

1.2. Araştırmanın Amacı 1

1.3. Araştırmanın Önemi 1

1.4. Araştırmanın Hipotezleri 2

1.5. Araştırmanın Sınırlılıkları 2

2. GENEL BİLGİLER 4

2.1. Laboratuvarlar 4

2.2. Laboratuvarlarda Kimyasalların Kullanımı 4

2.3. Laboratuvar Çalışanları İçin Güvenli Çalışma Prensipleri 7

2.4. Toksikoloji 10

2.4.1. Absorbsiyon 12

2.4.2. Dağılım 12

2.4.3. Metabolizma 13

2.4.4. Atılım 14

2.5. Metaller 14
2.5.1. Alüminyum 16
2.5.2. Arsenik 18
2.5.3. Bakır 19
2.3.4. Cıva 21
2.3.5. Çinko 22
2.5.6. Kadmiyum 23
2.3.7. Kobalt 24
2.5.8. Krom 26
2.3.9. Kurşun 27
2.3.10. Mangan 28
2.5.11. Nikel 29
2.6. Solventler 31
2.6.1. Benzen 32
2.6.2. Toluen 33
2.4.3. Ksilen 35
2.7. Kimyasal Maruziyetlerin Biyolojik İzlenmesi 35
3. GEREÇ VE YÖNTEM 38
3.1. Çalışma Grubu ve Laboratuvarlar 38
3.1.1. A Laboratuvarı 38
3.1.2. B Laboratuvarı 39
3.1.3. C Laboratuvarı 40
3.1.4. D Laboratuvarı 41
3.1.5. E Laboratuvarı 42
3.1.6. F Laboratuvarı 42
3.1.7. G Laboratuvarı 43

3.2. Etik Kurul Onayının Alınması 44
3.3. Numunelerin Toplanması Ve Muhafaza Edilmesi 44
3.4. Laboratuvar Analizleri 44
3.4.1. Metal Analizi 44
3.4.1.1. Ön analiz 44
3.4.1.2. Metot Parametrelerinin Optimizasyonu 44
3.4.1.3. Validasyon Çalışmaları 45
3.4.2. Solvent Analizi 45
3.5. Kullanılan Materyaller 46
3.6. İstatistiksel Analiz 46
4. BULGULAR 47
5. TARTIŞMA 59
6. SONUÇ VE ÖNERİLER 69
7. KAYNAKLAR 71
EKLER 89
Ek-1 Etik Kurul Karar Formu 89
Ek- 2 Anket 92

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo **Sayfa**

Tablo 2.1. Kimyasal tehlike türleri 6
Tablo 2.2. Aleminyum 18
Tablo 2.3. Arsenik.....19
Tablo 2.4. Bakır 21
Tablo 2.5. Cıva.....22
Tablo 2.6. Çinko 23
Tablo 2.7. Kadmiyum.....24
Tablo 2.8. Kobalt 26
Tablo 2.9. Krom.....27
Tablo 2.10. Kurşun.....28
Tablo 2.11. Mangan 29
Tablo 2.12. Nikel.....31
Tablo 3.1. Laboratuvar birimi ve katılımcı sayısı.....38
Tablo 3.2. Kullanılan materyaller 46
Tablo 4.1. Katılımcıların yaş ve beden kitle indeksine ait tanımlayıcı istatistikler.....47
Tablo 4.2. Katılımcıların medeni durumu, eğitim durumu, günlük çalışma süresi, aynı iş yerinde çalışma süresi ve iş yeri tehlike sınıfı hakkındaki düşüncesine ait tanımlayıcı istatistikler 47
Tablo 4.3. Katılımcıların sigara ve alkol kullanımı ile amalgam dolgu varlığı ve sayısı açısından tanımlayıcı istatistikleri.....48
Tablo 4.4. Katılımcıların kişisel koruyucu donanım kullanımına ilişkin tanımlayıcı istatistikler 49
Tablo 4.5. Katılımcıların gıda takviyesi, balık ve deniz ürünleri, meyve/sebze, beyaz et, süt ve süt ürünleri, yumurta ve bakliyat tüketimine ilişkin tanımlayıcı istatistikler.....49
Tablo 4.6. Katılımcıların fast-food, abur cubur, konserve, maden suyu, şeker, tuz ve yağ tüketimine ilişkin tanımlayıcı istatistikler.....50
Tablo 4.7. Katılımcıların kimyasal güvenlik değerlendirmesine ilişkin tanımlayıcı istatistikler.....52
Tablo 4.8. Laboratuvar çalışanlarına ait idrar numunesi analiz sonuçları.....53
Tablo 4.9. Laboratuvar birimleri bazında idrar analiz bulgularının karşılaştırılması 54
Tablo 4.10. Korelasyon tablosu 57

RESİMLER LİSTESİ

Resim **Sayfa**

Resim 2.1. Metaller ve sağlık etkileri....16
Resim 2.2. Solventlerin insan vücuduna sistemik etkileri....32
Resim 2.3. Maruziyet ve biyolojik izleme....36
Resim 3.1. A laboratuvarı....39
Resim 3.2. B laboratuvarı....40
Resim 3.3. C laboratuvarı....41
Resim 3.4. D laboratuvarı....42
Resim 3.5. E laboratuvarı....43
Resim 3.6. G laboratuvarı....43

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	**Açıklamalar**
µg/L	**:** Mikrogram/Litre
m^2	**:** Metrekare
mg/L	**:** Miligram/Litre
ms	**:** Milisaniye
ppb	**:** Milyarda bir
ppM	**:**Milyonda bir
W	**:** Watt

Kısaltmalar	**Açıklamalar**
AAS	**:** Atomik Absorpsiyon Spektroskopisi
ACGIH	**:** Amerikan Hükümet Endüstriyel Hijyenistleri Konferansı
BKİ	**:** Beden Kitle İndeksi
BMI	**:** Biyolojik Maruziyet İndeksi
GBF	**:** Güvenlik Bilgi Formu
IARC	**:** Uluslararası Kanser Araştırmaları Ajansı
ICP-MS	**:** İndüktif Eşleşmiş Plazma Kütle Spektrometresi
NIOSH	**:** Ulusal İş Sağlığı ve Güvenliği Enstitüsü
ROS	**:** Reaktif Oksijen Türleri
TLV	**:** Eşik Sınır Değer
TWA	**:**Zaman Ağırlıklı Ortalama Değer

1. GİRİŞ

1.1. Konunun Tanımı

Laboratuvar ortamlarında çeşitli araştırma ve analiz amaçlarıyla çok sayıda kimyasal madde kullanılmaktadır. Bu ortamlarda çalışan personel söz konusu kimyasallara akut ya da kronik olarak, farklı doz ve sıklıklarda, çeşitli maruziyet yolları ile (solunum, cilt teması, yutma vs.) maruz kalabilmektedir. Kimyasal maruziyet, cilt ve göz tahrişi gibi lokal etkilerden başlayarak, solunum, sinir, üreme, kardiyovasküler, bağışıklık, sindirim ve endokrin sistemler üzerinde toksik etkiler yaratabilecek ciddi sistemik sağlık sorunlarına yol açabilmektedir.

Kimyasal maruziyetin izlenmesi, çalışanların hangi kimyasallara ne düzeyde maruz kaldığının belirlenmesi ve buna bağlı potansiyel sağlık risklerinin değerlendirilmesi açısından büyük önem taşır. Bu tez çalışmasında laboratuvar çalışanlarının solvent ve metallere maruziyet düzeyleri değerlendirilecektir.

1.2. Araştırmanın Amacı

Bu çalışmanın amacı, laboratuvar çalışanlarından alınan idrar numuneleri aracılığıyla solvent ve metallerin vücut sıvılarındaki düzeylerini belirlemek ve bu düzeyleri ilgili sınır değerlerle karşılaştırmaktır. Yapılacak değerlendirmeler sayesinde, çalışanların bu kimyasallara maruz kalıp kalmadığı tespit edilecek, maruziyet düzeylerinin değerlendirilmesi ile mevcut koruyucu tedbirlerin yeterliliği sorgulanacak ve gerekli durumlarda ilave önlemler önerilecektir.

1.3. Araştırmanın Önemi

Laboratuvarlar; solventler, asitler, bazlar ve metaller gibi çeşitli toksik kimyasalların yoğun şekilde kullanıldığı, genellikle kapalı alanlarda yürütülen çalışmaların yapıldığı ortamlardır. Bu ortamda çalışan personel, soluma, cilt teması veya yutma gibi yollarla kimyasallara maruz kalma riski altındadır. Bu nedenle, laboratuvar çalışanları kimyasal maruziyet açısından düzenli olarak izlenmesi gereken bir meslek grubudur.

Literatür taramaları sonucunda, farklı meslek grupları için biyolojik izleme çalışmalarının yaygın olduğu, ancak laboratuvar çalışanlarına yönelik çalışmaların sınırlı kaldığı görülmektedir. Bu tez çalışması, mevcut çalışmalardan farklı olarak hem solvent hem de metallerin maruziyet düzeylerini birlikte değerlendirmesi açısından özgün bir katkı sunmaktadır.

Solventler ve metallerin vücudun birçok sisteminde toksik etkilere neden olabileceği bilinmektedir. Bu potansiyel sağlık etkilerinin önlenebilmesi için maruziyet düzeylerinin belirlenmesi ve takip edilmesi gereklidir. Bu doğrultuda, çalışmanın temel amacı, laboratuvar çalışanlarının kimyasallara maruziyet düzeylerini belirlemek, elde edilen bulgular ışığında mevcut durumun değerlendirmesini yapmak ve gerekli görülen koruyucu önlemleri önermektir.

1.4. Araştırmanın Hipotezleri

Hipotez 1: Kimyasal Maruziyetin Varlığı

H0: Laboratuvar çalışanlarında kimyasal madde maruziyeti yoktur.

H1: Laboratuvar çalışanlarında kimyasal madde maruziyeti vardır.

Hipotez 2: Maruziyet Sınır Değerleri

H0: Laboratuvar çalışanlarında kimyasallara maruziyet düzeyleri sınır değerlerin altındadır.

H1: Laboratuvar çalışanlarında kimyasallara maruziyet düzeyleri sınır değerlerin üzerindedir.

Hipotez 3: Kişisel Koruyucu Donanım Yeterliliği

H0: Laboratuvar çalışanlarının kullandığı kişisel koruyucu donanım yeterlidir.

H1: Laboratuvar çalışanlarının kullandığı kişisel koruyucu donanım yetersizdir.

1.5. Araştırmanın Sınırlılıkları

Bu çalışma, belirli sınırlılıklar çerçevesinde yürütülmüştür:

- Araştırma, yalnızca Yozgat Bozok Üniversitesi bünyesinde görev yapan laboratuvar çalışanları ile sınırlıdır.
- Katılımcı sayısı 50 kişi ile sınırlıdır.
- Biyolojik izleme kapsamında yalnızca 11 metal (arsenik, bakır, çinko, manganez, krom, cıva, kurşun, kadmiyum, kobalt, alüminyum, nikel) ve fenol, hippürik asit, 3-metilhippürik asit metabolitleri analiz edilmiştir.
- Maruziyet düzeyleri, idrar örnekleri üzerinden yapılan ölçümler ile sınırlıdır. Kan veya diğer biyolojik örnekler değerlendirme dışında bırakılmıştır.
- Çalışma belirli bir zaman diliminde yapılmış olup mevsimsel veya uzun dönemli

maruziyet etkilerini kapsamamaktadır.

- Numunelerin alındıktan hemen sonra analiz laboratuvarına transferi sağlanamadığı için idrarda kreatinin düzeyleri ölçülememiştir

2. GENEL BİLGİLER

2.1. Laboratuvarlar

Laboratuvarlar bilimsel, teknolojik ve deneysel çalışmaların yürütüldüğü, ölçüm, analiz ve kalite kontrol işlemlerinin gerçekleştirildiği, özel olarak donatılmış çalışma alanlarıdır. Bu ortamlar, bilimsel olguların gözlemlenmesine olanak tanıyarak kavramsal anlayışın gelişmesine katkı sağlar, araştırma becerilerini destekler ve bilimsel farkındalığı artırarak aktif öğrenmeye zemin hazırlar (Mugivhisa vd., 2021).

İş Sağlığı ve Güvenliğine İlişkin İşyeri Tehlike Sınıfları Tebliği'ne göre laboratuvarlar, yürütülen faaliyetlere bağlı olarak genellikle "tehlikeli" veya "çok tehlikeli" sınıfında değerlendirilmektedir. Özellikle kimyasal madde kullanılan laboratuvarlar, bu maddelerin yanlış veya uygunsuz kullanımı, depolanması, bertaraf edilmesi ya da laboratuvar cihazlarının hatalı kullanımı gibi durumlarda ciddi riskler oluşturabilmektedir. Bu tür tehlikeler önceden tanımlanıp uygun şekilde yönetilmediğinde, çalışanlar ciddi yaralanmalar veya meslek hastalıkları ile karşı karşıya kalabileceği gibi, laboratuvar ortramı ve çevresel sistemler de zarar görebilir (Yıldız & Aykan, 2018).

Laboratuvar güvenliği, yalnızca kullanılan kimyasal malzemeler ve ekipmanlarla sınırlı olmayıp, iş süreçleri ve çalışan davranışlarını da kapsamaktadır. Güvenli bir çalışma ortamının sürdürülebilmesi için kurumlarda güvenlik kültürünün oluşturulması elzemdir. Bu kültür, ekip çalışması, kişisel sorumluluk bilinci ve etkin risk değerlendirmesi ile desteklenmektedir. Böylece kazalar, yaralanmalar ve meslek hastalıkları en aza indirilebilir, aynı zamanda üretkenlik artırılırken maliyetler de düşürülebilir (Igbashio vd., 2022).

2.2. Laboratuvarlarda Kimyasalların Kullanımı

Laboratuvarlar, kimyasalların kapsamlı bir şekilde kullanıldığı çalışma alanlarıdır. Bu ortamlarda kullanılan veya depolanan birçok kimyasal madde, çalışanlar için potansiyel maruziyet riski taşımaktadır. Laboratuvar kimyasalları yeni maddelerin sentezlenmesi, test edilmesi ve çeşitli analizlerin gerçekleştirilmesi gibi geniş uygulama alanlarına sahiptir (Mugivhisa vd., 2021).

Asitler ve bazlar, laboratuvarlarda yaygın olarak kullanılan temel kimyasallardır. Hidroklorik asit, sülfürik asit, nitrik asit, sodyum hidroksit ve potasyum hidroksit bu

gruptaki başlıca maddelerdendir. Bu kimyasallar; pH ayarlamaları, titrasyon işlemleri ve çözelti hazırlıkları gibi pek çok uygulamada kullanılır (Yavuz, 2020).

Tuzlar ve inorganik bileşikler de laboratuvar çalışmalarında önemli bir yer tutar. Bu maddeler reaksiyon ortamlarının oluşturulması, çözelti hazırlama, cihaz kalibrasyonu ve farklı bilimsel disiplinlerde reaksiyonların gerçekleştirilmesi gibi işlemler için gereklidir. Sodyum klorür, potasyum nitrat ve bakır sülfat bu tür bileşiklere örnek olarak verilebilir (Yılmaz & Bilici, 2020).

Reaktifler, kimyasal reaksiyonlarda tepkime maddelerinde istenen dönüşümü sağlamak için kullanılan maddelerdir. Çeşitli araştırma çalışmalarında, reaksiyonları yürütmek ve hedef bileşiklerin sentezini gerçekleştirmek için hayati öneme sahiptir. Örneğin, fenolftalein ve bromotimol mavisi gibi gösterge reaktifleri titrasyonlarda son noktanın belirlenmesine yardımcı olurken, potasyum permanganat ve hidrojen peroksit gibi oksitleyici reaktifler, oksidasyon reaksiyonlarında görev alır. Ayrıca, bilinen konsantrasyonlara sahip standart çözeltiler, kalibrasyon ve kantitatif analizlerde kullanılarak hassas ölçümlerin yapılmasını sağlar (Yavuz, 2020; Yılmaz & Bilici, 2020).

Boyalar, özellikle patoloji ve histoloji laboratuvarlarında önemli bir yere sahiptir. Hematoksilen-eozin ve metilen mavisi gibi boyalar, biyolojik örneklerin ve dokuların kontrastını artırarak yapıların daha net bir şekilde gözlemlenmesini sağlar. Bu boyalar doku içindeki yapısal değişikliklerin ayırt edilmesini, bileşenlerin tanımlanmasını ve araştırmaların etkili bir şekilde yönlendirilmesini mümkün kılar (Earn, 2022).

Çözücüler de laboratuvarlarda sıkça kullanılan kimyasallardır. Maddelerin çözündürülmesi, ayrıştırılması, ekstraksiyonu, temizlenmesi, sentezi, saflaştırılması, kromatografi işlemleri ile spektrometrik ve fizikokimyasal ölçümlerde kullanılmaktadır. Etanol, metanol, aseton yaygın olarak tercih edilen çözücülerdendir (Agarwal vd., 2018).

Organik bileşikler ise ilaçlar ve biyomalzemeler gibi çeşitli moleküllerin sentezinde temel bileşenler olarak görev yapar. Bu bileşikler, DNA, RNA ve protein çalışmalarında, biyokimyasal deneylerde ve kromotografi uygulamalarında sabit veya hareketli faz olarak kullanılabilir (Yılmaz & Bilici, 2020).

Temizlik kimyasalları, laboratuvar ortamının hijyeninin sağlanmasında hayati bir öneme sahiptir. Laboratuvar ekipmanlarının, personelin ve genel çalışma alanlarının temizliği sırasında, kimyasal ve biyolojik kalıntıların uzaklaştırılması amacıyla çeşitli kimyasallar kullanılmaktadır. Bu temizlik maddeleri, kontaminasyonun önlenmesine ve potansiyel

sağlık risklerinin azaltılmasına katkı sağlar. Ancak kullanılan temizlik kimyasalları; formik asit, asetik asit, hidroklorik asit, amonyak, etanol, hidrojen peroksit, formaldehit, alüminyum gibi asitler, alkoller, çözücüler, ağartıcılar, koruyucular ve yüzey aktif maddeleri içerebilmektedir (Salonen, 2024; Yıldız & Aykan, 2018).

Laboratuvar çalışanları, görevleri gereği sıkça çeşitli tehlikeli kimyasallara maruz kalmaktadır. Bu kimyasallar arasında asitler, bazlar, kanserojenler, yanıcı ve patlayıcı maddeler, tahriş edici ajanlar, radyoaktif ve toksik bileşikler yer almaktadır. Bu tür maddelere maruz kalmak, kimyasal yanıklar, cilt ve göz tahrişi, baş ağrısı, iç organlarda hasar, doğumsal veya gelişimsel bozukluklar, kanser ve ölüm gibi ciddi sağlık sorunlarına yol açabilir. Bu etkiler, maruz kalmanın şiddetine bağlı olarak bireyin çalışma kapasitesini ciddi şekilde azaltabilir ve yaşam kalitesini olumsuz yönde etkileyebilir. Kimyasal maruziyetin etkileri bireyler arasında farklılık gösterebilir. Hastalıkların gelişiminde genetik yatkınlık, kullanılan kişisek koruyucu donanım, maruz kalınan kimyasalın dozu, konsantrasyonu, maruziyet süresi ve sıklığı, bireyin yaşam tarzı ve çevresel faktörler belirleyici rol oynamaktadır (Mugivhisa vd., 2021; Yavuz, 2020).

Tablo 2.1. Kimyasal tehlike türleri

Kimyasal Tehlikeler	Etkileri	Örnekler
Tahriş Edici	Temas ettikleri bölgede; kızarıklık, döküntü gibi geri dönüşümlü iltihap oluşturur. Semptomlar genellikle geçici olsa da bazen uzun süreli etkiler bırakabilir.	Nitrik asit, Sülfürik asit, Sodyum hidroksit, Formaldehit, Amonyak.
Aşındırıcı	Canlı dokularda geri dönüşü olmayan ciddi cilt hasarına neden olur. Ayrıca biyolojik olmayan maddelere (metal, ahşap) temas ettiğinde bu maddeleri tahrip edebilir.	Glikolik asit, Sülfürik asit, Brom, Hidroklorik asit, Potasyum hidroksit
Reaktif/ Yanıcı Kimyasallar	Bu kimyasallar, hava veya diğer maddelerle temas ettiğinde yangın ya da patlamalara neden olabilir.	Perklorik asit, Aseton, Dietil eter, Ksilen, Toluen, Etanol, Glacial asetik asit.
Alerjenler/ Duyarlılaştırıcılar	Sağlıklı dokularda sık maruz kalma sonrasında bağışıklık sistemi tarafından alerjik bir reaksiyon geliştirilmesine neden olabilen maddelerdir. Kimyasal alerjiler, alerjik temas dermatitine neden olan cilt duyarlılığı ve rinit ile astıma yol açan solunum yolu duyarlılığı gibi durumları içerir.	Formaldehit, Nitrojen dioksit, Nikel, Fenol türevleri

Tablo 2.1.(Devamı) Kimyasal tehlike türleri

Toksik Kimyasallar	Solunduğunda, yutulduğunda veya cilt yoluyla emildiğinde akut etkilerden ciddi etkilere kadar bir dizi olumsuz sonuca yol açabilir.	Potasyum siyanür, Cıva, Sodyum nitroprusit, Formalin, Baryum klorür, Tiosemikarbazid, Kloroform
Mutajenler	DNA üzerinde geri dönüşü olmayan hasar ya da mutasyonlara neden olan kimyasallardır.	Dietilen nitrozamin, Dietilen sülfonat, Amonyak asidi, Maleik hidrazin
Teratojenler	Gebelik sırasında fetüs gelişimini engelleyerek doğum kusurlarına neden olan kimyasallardır.	Alkol, Kurşun, Bisfenol A, Talidomid, Cıva.
Karsinojenler	Çeşitli kanser türlerine (akciğer, karaciğer, meme kanseri vb.) neden olan kimyasallardır.	Cıva, Kurşun, Vinil klorür, Benzen, Asbest, Nikel, Kadmiyum.

(Kaynak: Igbashio vd., 2022)

2.3. Laboratuvar Çalışanları İçin Güvenli Çalışma Prensipleri

Laboratuvar çalışanlarının birçok görevi ve sorumluluğu vardır. Bir laboratuvar çalışanı ölçüm sonuçlarını analiz edip işlemenin, araştırma yürütmenin ve cihazları kullanmanın yanı sıra güvenli bir çalışma ortamına da dikkat etmelidir (Abedsoltan & Shiflett, 2024; Asiry & Ang, 2018; Ateş & Kavaklı Vatansever, 2018; Camel vd., 2021; Gürkan, 2018; Kerimak Öner, 2020; Mugivhisa vd., 2021; Yılmaz & Bilici, 2020).

- Laboratuvar önlükleri, pamuk ve polyester gibi çeşitli malzemelerden yapılmaktadır. Çalışmalarda kullanılan malzemeler ve gerçekleştirilecek faaliyetlere uygun içeriğe sahip önlüklerin seçimi, potansiyel sıçramalar veya dökülmeler yoluyla olası cilt temasından korunmak için büyük bir önem taşımaktadır. Örneğin pamuk, asitlerle reaksiyona girebilirken, plastik önlükler yanıcı çözücüler etrafında kullanılmamalıdır. Laboratuvar önlükleri dizleri ve kolları tamamen örtmeli, bir kaza durumunda hızlı açılıp çıkarılabilmesini sağlamak için çıtçıtlı olmalı ve daima önü ilikli olarak kullanılmalıdır. Laboratuvar ortamında, delikli veya açık burunlu ayakkabılar yerine kapalı, düz tabanlı ve konforlu ayakkabılar tercih edilmelidir.
- Tek bir eldiven malzemesi tüm kullanımlar için etkili koruma sağlayamayacağı için laboratuvarda yapılan çalışmanın niteliğine uygun eldiven kullanılmalıdır. Eldiven seçimi yapılırken, kimyasallara karşı dayanıklılığı, uzunluğu, malzemesi, bozulma ve geçirgenlik süresi, yeterli bariyer koruması sağlayacak kalınlıkta olması ve el becerisine olanak tanıması gibi çeşitli kriterlere dikkat edilmelidir. Kullanmadan önce eldivenlerde

küçük delikler, yırtıklar ve bozulma belirtileri olup olmadığını incelenmelidir. Ortak yüzeylerin kirlenmesini önlemek için laboratuvar dışındaki kapı kolları, tutacaklar veya ortak ekipman gibi eşyalara eldivenle dokunulmamalıdır. Eldiven giyilmiş olsa bile, herhangi bir laboratuvar kimyasalıyla çalıştıktan hemen sonra eller yıkanmalıdır.

- Deneylerde potansiyel tehlikelere uygun göz koruma ekipmanları kullanılmalıdır. Reçeteli gözlüklerin yeterli koruma sağlamayacağı bilinmelidir. Lensler kimyasal buharların bulunduğu ortamlarda kullanılmamalıdır.
- Laboratuvar dışına laboratuvarda kullanılmış önlük, eldiven vb. ile çıkılmamalıdır.
- Laboratuvarlarda uzun saçlar mutlaka sıkı bir şekilde toplanmalı, takı ve aksesuar kullanılmamalıdır.
- Laboratuvarlarda yeme, içme, tütün ürünleri kullanma veya yiyecek ve içecek depolama gibi faaliyetler yapılmamalıdır. Yeme ve içme kapları tehlikeli kimyasalların işlendiği veya depolandığı alanlarda saklanmamalıdır. Laboratuvar işlemlerinde kullanılan eşyalar asla yiyecek veya içecek hazırlamak veya tüketmek için kullanılmamalıdır. Laboratuvar buzdolapları, buzluk veya fırınlar yiyecek depolamak veya hazırlamak için tercih edilmemelidir. Laboratuvar su kaynakları ve deiyonize laboratuvar suyu içme suyu olarak kullanılmamalıdır.
- Çalışma alanları temiz ve düzenli tutulmalıdır. Kişisel eşyalar tezgah ya da koridor üzerine değil uygun alanlara konulmalıdır.
- Birikmiş toz ve kimyasallar solunum tehlikeleri oluşturacağı için aerosol oluşumunu önlemek amacıyla laboratuvarda kuru süpürme yapılmamalıdır.
- Satın alınan kimyasallar envanter listesine alınmalı ve güvenlik bilgi formları dosyalanmalıdır.
- Kimyasallar, "Kimyasalların Etiketlenmesi, Maddelerin ve Karışımların Sınıflandırılması, Etiketlenmesi ve Ambalajlanması Hakkında Yönetmelik" kapsamında yasal gereklere uygun şekilde etiketlenmelidir.
- Madde veya karışım içeren ambalajların etiketleri, ambalajın bir ya da daha fazla yüzeyine sağlam şekilde yerleştirilmeli ve normal konumdayken yatay olarak okunabilir olmalıdır.
- Etiket üzerindeki unsurlar, özellikle zararlılık işaretleri kolayca fark edilecek şekilde görünmelidir. Ayrıca tüm etiket unsurları rahatça okunabilecek boyut ve aralıklarda yönetmeliğe uygun şekilde düzenlenmelidir.

- Bozunmaya başlayan kap ve etiketler değiştirilmeli, etiketler kolayca görülebilecek şekilde dışa doğru çevirili olmalıdır.
- Kimyasallar, ilgili yönetmeliklere ve güvenlik standartlarına uygun şekilde depolanmalıdır. Güvenli depolamanın ilk adımı, kimyasalların doğru şekilde tanımlanmasıdır. Bu süreçte her kimyasalın özelliklerinin öğrenilmesi ve değerlendirilmesi için Güvenlik Bilgi Formları (GBF) rehber niteliği taşır. GBF'ler kimyasalın iç veya dış mekanda depolanması gerekip gerekmediği, diğer maddelerden ayrılması gerekip gerekmediği, havalandırma ihtiyacı gibi çeşitli depolama koşullarına ilişkin ayrıntılı bilgiler sunar.
- Kimyasalların içerikleri analiz edildikten sonra, birlikte saklanabilecek olanların belirlenmesi büyük önem taşır. Kimyasalları aynı alanda depolamak yer tasarrufu sağlasa da, uyumsuz kimyasalların bir arada bulunması ciddi tehlikelere yol açabilir. Uygun olmayan kombinasyonlar, tehlikeli kimyasal reaksiyonların, toksik gaz oluşumunun ya da patlamaların meydana gelmesine neden olabilir. Örneğin, asitler ve bazlar temas ettiğinde şiddetli reaksiyonlar ve sıçramalar ortaya çıkabilirken; yanıcı ve oksitleyici maddelerin bir arada bulunması yangın riskini artırabilir. Bu nedenle, güvenli depolama için kimyasalların uyumluluklarına göre sınıflandırılması ve uygun depolama gruplarına ayrılması gerekmektedir.
- Kimyasallar orijinal kaplarında tutulmalıdır.
- Kimyasallar iyi havalandırılan alanlarda, doğrudan güneş ışığı veya diğer ısı kaynakları ile kıvılcım, alev, statik elektrik veya diğer tutuşturma kaynaklarından uzakta olmalıdır.
- Depolama raf malzemeleri asitlere karşı dayanıklı olmalıdır. Rafların sağlam bir yapıya sabitlendiğinden ve içerisindeki malzemelerini ağırlığını destekleyecek kadar güçlü olduğundan emin olunmalıdır.
- Kimyasal kaplar, kazara devrilebilecekleri şekilde üst üste veya zemine konulmamalıdır.
- Kimyasallar taşınırken kırılmaya dayanıklı şekilde ambalajlanarak, tabandan da desteklenerek iki elle taşınmalıdır. Asit kovaları veya plastik kaplar gibi ikincil kaplar kullanılmalıdır. Basınçlı gaz tüplerini taşırken emniyet zinciri olan bir el arabası kullanılmalıdır.
- Laboratuvar ekipmanlarının hem doğru ve güvenilir sonuçlar vermesi hem de tehlikeli durumlara sebep olmaması için düzenli bakım ve denetimler aksatılmamalıdır.

Nitelikli ve eğitimli personeller tarafından rutin denetimler gerçekleştirilmeli, olası sorunlar erkenden tespit edilmelidir.

- Kontrollü bir çalışma alanı sağlamak, zararlı kimyasallara ve dumanlara maruziyeti sınırlamak için zehirli gazlar içeren maddelerle yapılan çalışmalar çeker ocakta yapılmalıdır.
- Kimyasalların kazara yutulmasını önlemek için pipetleme asla ağız yoluyla yapılmamalıdır. Vakum ya da puar kullanılmalıdır.
- Katı kimyasalları şişesinden almak için kullanılan spatula, reaktiflerin kirlenmesini önlemek için temiz ve kuru olmalıdır. Spatula temizlenmeden farklı bir kimyasalla temas etmemelidir.
- Kimyasallar yalnızca talimatlara uygun şekilde ve amaçları doğrultusunda kullanılmalıdır. Şişe kapakları veya tıpaları karıştırılmamalıdır.
- Çözeltiler şişelere koyulurken genişleme payı bırakılmalı ve ihtiyaç duyulan miktarda hazırlanmalıdır.
- Laboratuvarlarda tehlikeli, radyoaktif, biyolojik, tıbbı, evsel ve kimyasal gibi çeşitli türlerde atıklar oluşmaktadır. Kimyasal atıklar, uygun şekilde kontrol altına alınmazsa insan ve çevre için ciddi tehlikeler oluşturabilir. Bu yüzden kullanılan laboratuvar eşyaları, biten veya son kullanma tarihi geçmiş kimyasallar gibi tüm atıklar kurallara uygun şekilde bertaraf edilmelidir.
- Zararlı dumanların birikmesini önlemek, kimyasallara maruziyeti azaltmak ve temiz hava için uygun havalandırma ve sirkülasyon sağlanmalıdır.
- Kimyasalların stabilitesi için sıcaklık, nem gibi çeşitli faktörler düzenli olarak kontrol edilmelidir.
- Hassas çalışmalar ve olası tehlikeler için yeterli aydınlatmalar olmalıdır.
- Olası acil durumlar için mutlaka bir acil durum eylem planı hazırlanmalıdır. Acil durum ekipmanları görünür, kolay erişilebilir bir konumda ve çalışır durumda olmalıdır. Acil durumları yönetmekle sorumlu olan personeller kimyasal güvenlik, ilk yardım ve tahliye gibi farklı alanlarda uzman kişileri içermelidir.
- Laboratuvarlarda yangın söndürücü, ilk yardım çantası ve kimyasal dökülme kitleri gibi acil durum ekipmanları mevcut olmalıdır.

2.4. Toksikoloji

Toksikolojinin genel tanımı zehir bilimidir. Kimyasallar, maddeler veya durumların insanlar, hayvanlar ve çevre üzerinde yaratabileceği zararlı etkileri ve bu etkilerin

mekanizmalarını araştıran bir bilim alanıdır. Uzmanlar toksik maddelerin tespiti, etki mekanizması, toksik dozları, nitel ve nicel analizleri, belirtileri, kökeni ve tedavisi üzerinde uzmanlaşarak, düzenleyici kuruluşlara ve halka rehberlik ederler. Böylece insanların zararlı kimyasallara maruz kalmasını engelleyen program ve politikaların geliştirilmesine katkı sağlarlar (Egorova & Ananikov, 2017).

Toksiklik, bir maddenin canlı organizmalarda olumsuz etkilere neden olma yeteneğinin göreceli olarak tanımlanabileceği bir durumdur. Bu göreceli yetenek, birkaç koşula bağlıdır. Paracelsus "Tüm maddeler zehirdir; zehir olmayan hiçbir şey yoktur. Zehir ile ilacı ayıran dozudur." şeklindeki söylemiyle, bir maddenin zehir olup olmadığını belirleyen faktörün, o maddenin alınan miktarı veya dozuyla doğrudan ilişkili olduğunu vurgular. Genellikle doz ne kadar büyük veya yoğunsa, tepki veya etki o kadar büyük olur. Dozun yanı sıra, maruziyet yolu ve maruziyet süresi gibi faktörler de bileşiğin toksisitesini etkileyebilir. Ayrıca herkes kimyasallara karşı eşit derecede duyarlı değildir ve aynı şekilde etkilenmezler. İnsan vücudu, genetik farklılıklar nedeniyle bazı kimyasalları farklı şekilde emer ve parçalar. Yaş, hastalık, diyet, alkol kullanımı, hamilelik ve uyuşturucu kullanımı gibi faktörler de kişinin bir kimyasala duyarlılığını etkileyebilmektedir (McCarty vd., 2020).

Kimyasalların toksik etkileri, maruz kalma süre ve sıklığına bağlı olarak akut ya da kronik olarak ortaya çıkabilir. Akut toksisite, toksik maddeye maruz kaldıktan sonra nispeten kısa bir zaman aralığında gelişir ve genellikle kimyasalın tek bir maruziyeti sonucunda meydana gelir. Kronik toksisite ise uzun süreli maruziyetten sonra subletal etkiler olarak ortaya çıkar. Bu etkiler genellikle geri dönüşümsüzdür (Agarwal vd., 2018).

Kimyasalların etkileri, lokal ve sistemik olmak üzere iki temel yol aracılığıyla ortaya çıkabilir. Lokal etkiler vücudun kimyasalla ilk temas eden bölgesinde meydana gelirken sistemik etkiler kimyasalın emilip vücudun diğer bölgelerine dağıtılmasından sonra ortaya çıkar. Lokal etkilerin en sık görüldüğü bölgeler cilt, gözler, burun ve boğazdır. Toksik etkinin derecesi tüm organlarda aynı değildir. Merkezi sinir sistemi, sistemik etkilerde en sık yer alan hedef organdır. Dolaşım sistemi, karaciğer, böbrekler ve akciğerler sistemik etkilerin sıklığını takip eder. Kas ve kemikler birkaç madde için hedef organlardır. Erkek ve dişi üreme sistemleri de birçok maddeye karşı hassastır (Gürkan, 2018; McCarty vd., 2020).

2.4.1. Absorbsiyon

Toksik maddeler solunum, dermal ve oral gibi çeşitli emilim yollarından vücuda giriş yapabilirler. Toksik maddelerin farklı maruziyet yolları üzerinden vücuda girmesi, dolaşımda farklı miktarlarda dolaşmasına ve çeşitli toksisite seviyelerine neden olabilir. Bu farklılıklar, toksik maddenin fiziksel ve kimyasal özellikleri, zarların kalınlığı gibi vücudun anatomik yapıları ve biyokimyasal süreçleriyle ilişkilidir (Asiry & Ang, 2018).

Solunum, toksik maddelere maruz kalmanın en kolay ve hızlı yoludur. Çünkü toksik maddeler solunum yollarından kolayca emilir. Bu maddeler buhar, duman, buğu, aerosol ve ince toz halinde solunabilir. Kimyasallar solunum yoluna girdiğinde, vücutta dağıtılmak üzere kan dolaşımına karışabilir. Bazı kimyasallar tahriş edici özellikte olup burun veya boğaz tahrişine, bronşlarla temas ettiğinde rahatsızlık, öksürük veya göğüs ağrısına neden olabilirler. Havadaki toksik maddenin konsantrasyonu, kan ve dokuda çözünürlüğü, maruz kalma süresi, solunum sayısı ve solunum yolu sağlığı toksik maddenin solunmasını etkilyen faktörlerdendir (Dogan, 2024).

Cilt kıl folikülleri, sebase bezler veya üzerindeki kesik veya sıyrıklarla bazı kimyasallar için vücuda giriş yoludur. Kimyasallara dermal maruziyet, işçilerin farkına varmadan, direkt temasla kontamine olmuş yüzeyler, batırma veya sıçramalar yoluyla gerçekleşebilir. Uzun süreli maruziyet, giysilerin kontaminasyonundan veya kimyasalların eldivenler aracılığıyla geçmesinden kaynaklanabilir. Koruyucu bariyerde meydana gelen kesik veya aşınma gibi fiziksel hasarlar, kimyasalların deriye nüfuz etmesine ve dermise geçişine neden olur. Özellikle organik çözücüler cilt yağlarını çözerek cildi kimyasal emilimine karşı duyarlı hale getirirler (Anderson & Meade, 2014).

Oral yolla maruziyet, maruz kalma kaynakları arasında en az yaygın olanıdır. Yutma yoluyla maruz kalma el-ağız veya nesne-ağız aktivitesiyle temas eden yüzeyler veya nesneler üzerindeki kimyasal kalıntıların bilerek ya da kazara yutulmasıyla gerçekleşir. Yutma yoluyla kimyasallara maruz kalmanın belirtileri arasında ağızda metalik veya tuhaf tatlar, mide rahatsızlığı, kusma, yutma sorunları ve genel hastalık hissi yer alır (Dogan, 2024).

2.4.2. Dağılım

Toksik maddelerin ve toksik metabolitlerin vücut boyunca dağılımı sonunda toksisitenin meydana geldiği yerleri belirler. Bir toksik maddenin hücrelere zarar verip vermeyeceğinin önemli bir belirleyicisi lipid çözünürlüğüdür. Bir toksik madde lipid çözünürse hücre

zarlarını kolayca geçer. Birçok toksik madde vücutta depolanır. En sık karşılaşılan depolama bölgeleri arasında yağ dokusu, karaciğer, böbrekler ve kemik dokusu yer almaktadır. Kan, dağıtım için ana yol olarak hizmet eder. Lenf ayrıca bazı materyalleri dağıtır (Wooley, 2008).

Toksik maddeler vücutta dağılımları sırasında özelliklerine göre bazı vücut dokularında birikebilirler. Birikme yerinde herhangi bir biyolojik etki göstermiyorsa bu birikim yeri depolama yeridir. Toksik maddelerin depolandığı birincil yerler yağ dokusu, kemik, karaciğer ve böbreklerdir. Lipitte çözünen maddeler genellikle yağ dokusunda depolanmaktadır. Vücudun çeşitli bölgelerinde, özellikle deri altı dokularda bulunan yağ dokusundaki lipitler kanla sürekli etkileşim içindedir. Bu nedenle toksik madde, dağılım ve emilim için kana karışarak diğer yağ dokusu hücrelerinde yeniden birikebilir (Hou vd., 2024). Başka bir depolama yeri olan kemikler de normal koşullar altında sürekli olarak yeniden şekillenmektedir. Kalsiyum ve diğer mineraller ortalama olarak her 10 yılda bir sürekli olarak emilmekte ve değiştirilmektedir. Böylece matrikste depolanan herhangi bir toksik madde, sonunda dolaşım sistemine yeniden girmek üzere salınacaktır (Ciosek vd., 2021). Karaciğer ve böbrekler de yüksek kan akışı sebebiyle toksik maddeler de dahil olmak üzere bazı kimyasalların depolandığı yerlerdir. Toksik maddeler, özelliklerine göre farklı dokularda da birikme eğiliminde olabilirler. Fakat kan beyin bariyeri toksik maddelere geçirgenliğin oldukça az olması sebebiyle koruma sağlar (Wooley, 2008).

2.4.3. Metabolizma

Biyotransformasyon, bir maddenin organizma içerisindeki enzimatik aktiviteler sonucunda kimyasal yapısının değiştirilmesini içeren metabolik bir süreçtir. Kimyasallar karaciğer başta olmak üzere böbrekler, akciğerler, deri, bağırsaklar gibi çeşitli organlarda biyolojik olarak dönüştürülür. Vücut dokularındaki çeşitli biyotransformasyon yollarının ana işlevi, nispeten lipid çözünürlüğüne sahip maddeleri suya çözünebilir, toksik olmayan ve kolayca atılabilir bileşiklere dönüştürmektir (Vural, 2005).

Bir toksik maddenin zararlı etkilerini ne ölçüde uygulayabileceği, vücudun onu ne kadar etkili bir şekilde metabolize edebildiğine bağlıdır. Biyotransformasyon reaksiyonları genellikle Faz I ve Faz II reaksiyonları olarak ikiye ayrılır. Faz I reaksiyonları genellikle kimyasala işlevsel bir yapı ekleyerek değiştiren reaksiyonlardır. Faz I'de çoğunlukla rekatif grup eklenmesiyle polar, suda çözünebilen bir metabolit üretilir. Bu evrede oluşan birçok ürün, aynı zamanda faz II reaksiyonları için substrat olarak görev yapar. Oluşan

metabolitler ana bileşiklerden daha toksik olabileceği gibi toksik olmayan metabolitler de oluşabilir. Faz II'de ise vücut tarafından atılabilen, suda çözünebilen grupların eklenmesiyle büyük ve genellikle polar bir metabolit elde edilir. Böylece vücuttan kolay atılırlar (Macherey & Dansette, 2008).

2.4.4. Atılım

Vücut, toksik maddeleri veya bunların metabolitlerini ortadan kaldırmak için çeşitli yollar kullanır. Eliminasyonun temel yolları, karaciğer, böbrekler ve akciğerler gibi organlardır. Karaciğer, kanın toplandığı ve lipofilik maddelerin genellikle daha az toksik ve daha polar türevlere dönüştürüldüğü önemli bir organdır. Ardından bu türevler safraya atılır. Böbrekler, karaciğeri tamamlayarak kanı bir süzme süreciyle, atıklar ve diğer kimyasallarla toplar ve bunları idrar ile atar. Akciğerlerin solunum zarları, uçucu maddelerin kanı solunmuş havaya atılması için ideal bir yapıya sahiptir. Ayrıca cilt, ter, anne sütü ve saç da kimyasalların elimine edilmesi için bir yol sağlamaktadır (Vural, 2005).

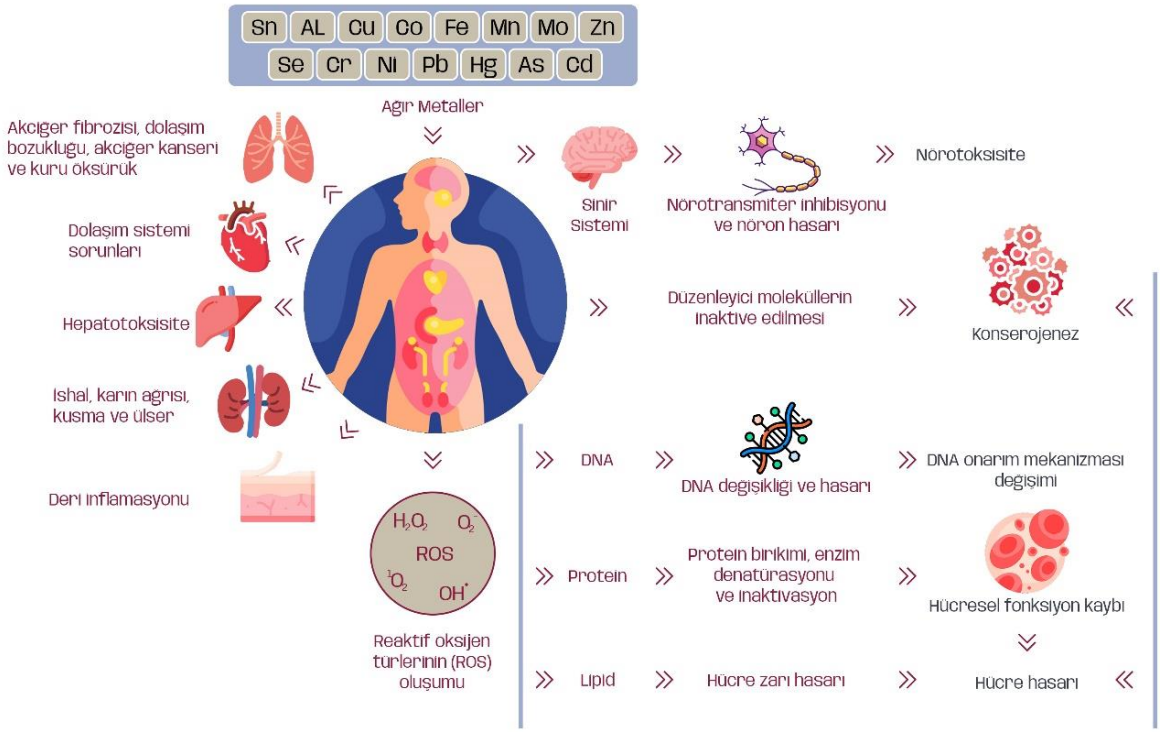
2.5. Metaller

Kimyasal olarak metaller; elektriği ileten, metalik parlaklığa sahip, dövülebilir ve sünek özellik gösteren, katyon oluşturan ve bazik oksitler meydana getiren elementler olarak tanımlanır. Biyolojik ve çevresel bilimlerde ise metallerle ilişkili olarak sıklıkla kullanılan kavramlar arasında metal, yarı metal, hafif metal, ağır metal, temel metal, faydalı metal, toksik metal, eser metal ve mikro besin yer almaktadır. Metaller, geniş bir kullanım yelpazesine sahip olup, sanayinin merkezinde yer alan insan toplumunda temel bir konuma sahiptir. Bazı metaller, biyolojik sistemlerde hayati öneme sahip fizyolojik ve biyokimyasal işlevler üstlenir; bu elementlerin eksikliği ya da aşırı miktarda bulunması, metabolizmanın dengesini bozarak çeşitli hastalıkların ortaya çıkmasına neden olabilir (Rehman vd., 2017; Renu vd., 2021).

Ağır metaller, suya kıyasla nispeten yüksek yoğunluğa sahip veya özgül ağırlığı 5g/cm3'ten fazla olan elementler olarak tanımlanmaktadır. Yaşam için gerekli olmalarına karşın organizmalarda birikerek toksik hale gelebilirler (Kiran & Sharma, 2022). Biyolojik olarak parçalanmadıkları için yaşadığımız çevrenin ayrılmaz parçalarıdır. Ekosistemdeki ağır metaller endüstri, atmosfer, toprak, su, gıda ve insan arasında döngüsel bir şekilde kirlenme zinciri oluştur. Ağır metallerin çevrede artan kullanım ve yaygınlığı çevresel bir endişedir ve dünya çapında yüz milyonlarca insan etkilenmektedir (Fu & Xi, 2019;

Özbolat & Tuli, 2016). Ağır metallere maruz kalma antropojenik faaliyetler ve modern endüstrileşmedeki büyüme ile çevresel bir endişe haline gelmiştir. Volkanik aktivite ve metal içeren kayaların aşınması ağır metallerin en yaygın doğal kaynaklarıdır (Fu & Xi, 2019; Jomova vd., 2024). Madencilik faaliyetleri, metal eritme ve rafinasyon işlemleri, kimyasal üretim ve işleme yapan endüstriler, nükleer enerji santralleri, petrol sızıntıları, endüstriyel ürünlerin bertarafı veya tehlikeli atıkların uygunsuz şekilde depolanması ise antropojenik kaynaklar arasındadır. Eski bilgisayarlar, akıllı telefonlar, devre kartları, piller ve diğer elektronik bileşenler de çevreye ağır metal salabilmektedir. Kirli atıklı sular, pestisit ve gübreler toprak kirliliği; fosil yakıtların yakılması, araç egzozları, yangınlar, bacalar, yanmalı ve jet motorlar hava kirliği; gemi enkazları, maden atıkları, endüstriyel atık suları ise su kirliliğine sebep olmaktadır (Abd Elnabi vd., 2023; Jomova vd., 2024; Waqas vd., 2024).

Metallerin insan vücuduna girişi kontamine gıda, içme suyu, hava yolu veya temasla gerçekleşebilir. Vücutta oluşturacağı etki metalin kimyasal yapısına, vücuda hangi yolla alındığına, maruz kalınan doz ve süreye bağlıdır. Bunlara maruziyet vücudun metabolik işlevlerini çeşitli yollarla bozabilir. Enzimatik işlevlerin ve iyon düzeninin bozulması, reaktif oksijen türleri (ROS) üretimi ve DNA ile protein yapısına doğrudan zarar verilmesi gibi mekanizmalarla toksik etki gösterirler. Bu durum karaciğer hasarı, nörolojik bozukluklar, böbrek fonksiyonlarında hasar, kardiyovasküler sistemle ilgili bozukluklar, üreme anormallikleri, gelişimsel kusurlar gibi çeşitli sistem ve organlarda hastalıklara sebep olabilir (Kiran & Sharma, 2022; Rehman vd., 2017; Renu vd., 2021).



Resim 2.1. Metaller ve sağlık etkileri

2.5.1. Alüminyum

Alüminyum, Dünya'nın karasal kabuğunda en bol bulunan üçüncü elementtir. Alüminyumdan yapılan nesneler güçlü, dayanıklı, hafif ve korozyona dayanıklıdır. Ayrıca mükemmel bir elektrik iletkenidir (Renke vd., 2023; Zhou vd., 2021). Doğal kaynakları volkan patlamaları, boksit, silikatlar ve kriyolit gibi kayaçlar, göl, nehir gibi yüzey suları, yer altı suları ve topraktır (Brylíński vd., 2023).

Alüminyum ve diğer elementlerle oluşturduğu alaşımlar uçak ve otomotiv endüstrisinde, elektrikli cihaz ve kablolarda, inşaat ve yapı malzemelerinde, ambalajlarda, madencilik, kaynakçılık ve eritme gibi çeşitli endüstrilerde kullanılmaktadır (Kuman Oyman vd., 2021). Meslek dışı maruziyetin kaynakları arasında diş macunu, aşılar, ter önleyiciler, ilaçlar, kozmetikler ve tıbbi ürünler bulunmaktadır (Shaw & Tomljenovic, 2013).

İçme suları, çay, bazı sebze ve meyveler, işlenmiş gıdalar, süt ürünleri, unlu mamuller, kabartma tozu, kahve ve tuzlar alüminyum katkı maddeleri açısından maruziyet oluşturabilir. İnsanlar gıdalardaki alüminyumun yanı sıra alüminyum kaplarla yemek pişirme, alüminyum folyo ile paketleme ve alüminyum kutularda saklanan gıdalar

nedeniyle de vücutlarına alüminyum alabilirler. Alüminyumun gıdalara geçişi, pişirme yöntemine ve gıda türüne bağlı olarak değişirken özellikle asidik yiyeceklerin alüminyum kaplarda pişirilmesi risk oluşturmaktadır (Alasfar & Isaifan, 2021; Bryliński vd., 2023; Renke vd., 2023).

Alüminyum ve bileşikleri vücuda solunum, yutma veya cilt temasıyla girebilmektedir. Maruziyet ile karaciğer, böbrek, kemik ve beyin gibi çeşitli vücut dokularında biyolojik birikimi meydana gelebilir. Alüminyum özellikle nörotoksik etkileriyle dikkat çekmektedir. Beyin dokusunda birikerek oksidatif stres ve nöroinflamasyonun artmasına neden olur. Uzun süreli alüminyum maruziyeti, beyin üzerinde patolojik ve biyokimyasal değişikliklerle birlikte nörolojik ve davranışsal bozukluklara yol açabilir. Bu durum alüminyumun nörotoksik etkilerinin bir sonucu olarak beynin işlevlerinde bozulmalara neden olur (Alasfar & Isaifan, 2021; Renke vd., 2023; Sharma vd., 2020). Çeşitli epidemiyolojik çalışmalar alüminyumun parkinson, alzheimer, otizm spektrum bozukluğu, multipl skleroz ve amyotrofik lateral skleroz gibi çeşitli nörolojik hastalıklarla etiyolojik olarak bağlantılı olduğunu desteklemektedir (Bryliński vd., 2023; Shaw & Tomljenovic, 2013). Alüminyum toz veya dumanına maruz kalan işçilerde hırıltılı nefes, nefes darlığı ve göğüs sıkışması gibi semptomlarla mesleki astım gelişebilir. Ayrıca mesleki maruziyet ile pnömokonyoz, kronik obstrüktif akciğer hastalığı, pulmoner fibrozis gibi solunum yolu hastalıkları görülebilir. Alüminyum kaynaklı oluşan alüminozis hastalığı ise alüminyum tozları ve buharlarının neden olduğu nadir bir pnömokonyoz türüdür (Kuman Oyman vd., 2021; Kurt & Basaran, 2020; Zhou vd., 2021). Alüminyum, böbrek hastalarında hemodiyaliz veya peritoneal diyaliz sırasında kemiklerde birikebilir. Ayrıca, alüminyum içeren antasitlerin ağız yoluyla alınmasıyla da kemiklerde birikim gerçekleşebilir. Kemiklerde yüksek alüminyum seviyeleri, osteoblastların ve osteoklastların aktivitelerini bozarak osteomalazi ve adinamik kemik hastalığı gibi durumlara yol açabilir. Ayrıca paratiroid bezlerinde birikerek paratiroid hormonu salgısını bozabilir. Alüminyumun kemiklerde birikmesi, vitamin D'nin aktif forma dönüşümünü inhibe eder ve anemiye yol açabilir (Akbal vd., 2015; Klein, 2019). Alüminyum ve bileşenlerine doğrudan cilt teması sonucu ciltte kızarıklık, kaşıntı ve tahriş gibi belirtilerle mesleki kontakt dermatiti gelişebilir (Kurt & Basaran, 2020). Çalışmalar alüminyum maruziyeti ile mesane ve akciğer kanseri arasında ilişki olduğunu göstermektedir. Alüminyum üretimi sırasında mesleki maruziyetlerin kanserojenliği için insanlarda yeterli kanıt bulunmaktadır ve

Uluslararası Kanser Araştırmaları Ajansı (IARC) tarafından grup1 kanserojen olarak sınıflandırılmıştır (IARC, 2024).

Tablo 2.2. Alüminyum

CAS	Molekül Formül	Kimyasalın Adı	Kimyasal Güvenlik	
7429-90-5	Al	Alüminyum		

2.5.2. Arsenik

Arsenik, periyodik tablonun 33. elementi olup toksikoloji bağlamında ağır metal olarak anılır. Çoğu arsenik bileşiği renk veya kokuya sahip olmadığı için hemen fark edilemez (Jomova vd., 2011). Organik, inorganik ve arsin gazı olmak üzere üç formda bulunur. Doğasına, değerlik durumuna, çözünürlüğüne, fiziksel durumuna ve var olduğu formun saflığına bağlı olarak farklı toksisite profillerine sahiptir (Adeogun vd., 2024; Kaur vd., 2024).

Hem doğal kaynaklar hem de insan faaliyetleri nedeniyle çevrede yaygın olarak bulunan doğal bir yerkabuğu elementidir. Yarı iletkenler, pestisitler ve ahşap koruyucuların üretimi de dahil olmak üzere çeşitli endüstriyel süreçlerde kullanılmaktadır (Prakash vd., 2015; Thakur vd., 2021). Yer kabuğunda bol miktarda bulunur ve belirli koşullar altında yeraltı sularına karışabilir. Önemli toksisitesi nedeniyle, içme suyunda bulunan bir kirletici olarak kabul edilmiştir. Ayrıca balıklar ve kabuklu deniz canlıları arsenik biriktirebilir (Renu vd., 2021; Wāng vd., 2024).

İnsanların arseniğe maruz kalması oral, soluma veya cilt yoluyla gerçekleşebilir. Beyin, arsenik için önemli bir hedef organdır ve kan beyin bariyerini kolayca geçerek öğrenme, hafıza ve konsantrasyon gibi çeşitli fonksiyonları etkileyebilir. Öğrenme bozuklukları, hafıza kaybı, düşük konsantrasyon, ensefalopati ve bilişsel işlev bozuklukları gibi sorunlara neden olmaktadır. Uzun süreli arsenik maruziyeti, IQ düşüşüne ve unutkanlık gibi belirtilere yol açabilir. Yüksek seviyelerde inorganik arseniğe maruz kalan insanlarda periferik sinir nöropatisi, değişmiş duyusal işlev ve azalmış iletim hızı gözlemlenmiştir (Kaur vd., 2024; Prakash vd., 2015; Thakur vd., 2021). Arsenik toksisitesine karşı hassas dokulardan bir diğeri karaciğerdir. Şiddetli toksisitenin ileri aşamalarında, karaciğer lezyonları ve karaciğer fibrozisi, siroz, sirozun yol açabileceği karaciğer yetmezliği gibi

diğer komplikasyonlar ortaya çıkabilir (Jomova vd., 2011; Liu & Waalkes, 2008; Renu vd., 2021). Böbrek fonksiyon bozuklukları, tübüler ve glomerüler hasar, böbrek yetmezliği gibi rahatsızlıklara da yol açabilir (Mohammed Abdul vd., 2015). Araştırmalar, arseniğin kardiyovasküler sistemde birikerek kalp dokusunda yapısal değişikliklere ve vasküler disfonksiyona neden olduğunu göstermektedir. Bu durum, hipertansiyon ve ateroskleroz gibi kardiyovasküler hastalıkların temelini oluşturur. Ayrıca fetal gelişim sırasında kalbe zarar verip embriyonik kalp hücrelerinin gelişimini de olumsuz etkileyebilir (Jomova vd., 2011; Wāng vd., 2024). Erkeklerde sperm kalitesini, motilitesini ve sayısını azaltırken, kadınlarda hormon seviyelerini ve üreme fonksiyonlarını etkileyebilir (Adeogun vd., 2024). Tiroid bezi, pankreas, gonadlar ve hipotalamik-hipofiz-adrenal aksı dahil olmak üzere potansiyel endokrin bozucudur (Mohammed Abdul vd., 2015). Kronik arsenik maruziyeti melanoz, keratoz ve pigmentasyon gibi deri lezyonlarına yol açabilir. Arsenik birikimi tırnak gibi keratin açısından zengin bölgelerde mees çizgileri oluşturabilir. Saç dökülmesi de arsenik maruziyetine bağlı yaygın bir klinik bulgudur (Jomova vd., 2011; Mohammed Abdul vd., 2015). Kronik arsenik alımının cilt, mesane ve akciğer kanserine neden olduğu bilinmektedir. IARC arsenik ve inorganik arsenik bileşiklerini grup 1 kanserojen olarak sınıflandırmıştır (IARC, 2024; Liu vd., 2008; Wāng vd., 2024).

Tablo 2.3. Arsenik

CAS	Molekül Formül	Kimyasalın Adı	Kimyasal Güvenlik		
7440-38-2	As	Arsenik			

2.5.3. Bakır

Bakır, kayaçlarda, toprakta, suda ve atmosferde doğal olarak bulunan bir elementtir. Kokusuz, parlak kırmızı renge sahip ve katı halde bulunan bakır, yüksek elektrik ve ısı iletkenliği, korozyon direnci ile işlenebilirliği gibi özellikleri nedeniyle endüstriyel ve teknolojik açıdan büyük öneme sahiptir. Bunun yanı sıra, bağışıklık sistemi, üreme sistemi, endokrin sistem ve merkezi sinir sistemi başta olmak üzere çeşitli biyolojik işlevlerde kritik rol oynayan esansiyel bir elementtir. Normal fizyolojik seviyelerde bulunduğunda, bakır organizmanın hayati fonksiyonları ve metabolik düzenlemeleri için gereklidir (Toraman & Karaman, 2024).

Bakır ve alaşımları, elektrikli cihazların üretimi, elektrokaplama, madeni para imalatı, sıhhi tesisat sistemleri, elektrik kabloları ve pişirme gereçlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bakır bileşikleri ise özellikle tarım sektöründe bitki hastalıklarının kontrolünde, su arıtımında ve ahşap, deri ile tekstil ürünlerinin korunmasında önemli bir yer tutmaktadır (Haase vd., 2021).

İnsanlar bakıra solunum, sindirim ve dermal temas yoluyla maruz kalmaktadır. Özellikle içme suyu, günlük bakır alımının temel kaynaklarından biri olarak öne çıkmaktadır. Bakır tesisat sistemlerinin yaygın olduğu konutlarda, suyun borularda uzun süre beklemesi çözünmüş bakır seviyelerini artırabilmektedir. Ayrıca bakır bileşiklerinin tarımsal uygulamalarda yaygın kullanımı, özellikle suda çözünür formlar aracılığıyla çevresel bulaş potansiyelini artırmakta ve halk sağlığı açısından dikkate değer bir risk oluşturmaktadır. Sanayi bölgelerinde özellikle maden çıkarımı ve cevher işleme tesislerinin yakınında bulunan bireyler, havadaki bakır partiküllerine inhalasyon yoluyla maruz kalabilir.

Bakırın en sık görülen toksik etkileri gastrointestinal sistemde ortaya çıkar. Özellikle bakır sülfat formundaki maruziyetlerde mide bulantısı, kusma, karın ağrısı ve ishal gibi belirtiler yaygındır. Yüksek dozlarda ise mukozal erozyon, gastrointestinal kanama ve ciddi komplikasyonlar gözlenebilir. Bakır ayrıca mide boşalmasının gecikmesine ve mide geçirgenliğinin artmasına da neden olabilir (Hajimohammadi vd., 2022). Yüksek seviyelerde bakır tozu ya da buharlarının solunması, burun, boğaz ve akciğerlerde tahriş ile sonuçlanabilir. Uzun süreli inhalasyon, kronik akciğer iltihabına yol açarak zamanla obstrüktif veya restriktif akciğer hastalıklarına sebep olabilir. Ayrıca bakır tuzlarının inhalasyonu üst solunum yollarında tahrişe yol açarken, özellikle bakır oksit gibi metal dumanlarının solunması durumunda bulantı, ağızda metalik tat, cilt ve saç renginde değişiklikler gibi sistemik belirtiler görülebilir. Bakır bileşikleri ciltte irritan etki göstererek inflamasyon ve tahrişe yol açabilir. Gözle temas durumunda ise özellikle uzun süreli maruziyette lens üzerinde yapısal değişikliklere yol açarak katarakt gelişimini tetikleyebilir (Li vd., 2016; Poland vd., 2022). Bakır sülfatın akut toksisitesinde hemoliz, methemoglobinemi ve rabdomiyoliz gibi ciddi kan ve kas hasarları ortaya çıkabilir. Hemoliz, eritrositlerde oksidatif hasar sonucu hemolitik anemiye yol açarken, rabdomiyoliz kas hücrelerinde hasar oluşturur. Hemolizle açığa çıkan hemoglobin ve bakırın doğrudan toksik etkileri, akut böbrek yetmezliğine neden olabilir; bu süreçte renal tübül hasarı, proteinüri ve nitrojen retansiyonu gibi belirtiler görülebilir. Bazı durumlarda hemodiyaliz gerekebilir. Ayrıca, bakır birikimi miyokard dokusunda fibrozis ve damar

sklerozuna yol açarak kardiyomiyopati ve aritmilere neden olabilir (Hassoun vd., 2021; Kayacan vd., 2007).

Tablo 2.4. Bakır

CAS	Molekül Formül	Kimyasalın Adı	Kimyasal Güvenlik	
7440-50-8	Cu	Bakır		

2.3.4. Cıva

Cıva doğada bulunan, gümüş-gri renkte, oda sıcaklığında yüksek toksisiteyle sıvı halde kalan tek metaldir. Suda çözünmeyen ve havaya göre yedi kat daha yoğun bir maddedir. Metalik, inorganik ve organik cıva bileşikleri olmak üzere üç formu vardır (Özbolat & Tuli, 2016; Taux vd., 2022).

Cıvanın doğal kaynakları arasında volkanik faaliyetler ve yer kabuğundan çıkan gazlar yer alırken, antropojenik kaynaklar arasında kömürle çalışan elektrik santraller, çöp yakma tesisleri, cıva, altın ve diğer metallerin çıkarılması ve cıva içeren atıkların yakılması gibi çeşitli işlemler bulunur. Ayrıca, tarımda kullanılan cıva içeren pestisitler ve fungisitler cıva kirliliğine neden olabilir (Raj & Maiti, 2019). İnsanlar cıvaya, kontamine olmuş gıda, pil endüstrisi veya diş amalgamı gibi yollarla maruz kalabilirler. Çevreye girdiğinde bakteriler tarafından metilcıvaya dönüştürülebilir. Metilcıva daha sonra balık ve kabuklu deniz hayvanlarında biyolojik olarak birikir. Japonya'da metilcıva ile kontamine olmuş balıkların tüketilmesi nedeniyle yayılan minamata hastalığı cıvanın insan sağlığı üzerindeki zararlı etkileri ortaya koymaktadır (Rana vd., 2018).

Cıva buharı, akciğerler yoluyla vücuda emilerek kimyasal pnömoni, nefes darlığı, öksürük, göğüs ağrısı ve astım gibi akciğer hastalıklarına yol açabilir (Wu vd., 2024). Ayrıca mide bulantısı, ishal, ateş gibi diğer spesifik olmayan semptomlar görülebilir (Taux vd., 2022). Cıva, kan-beyin bariyerini geçerek beyne ulaşır ve hücre zarının yapısını bozar. Kronik maruziyet ruh hali değişiklikleri, halüsinasyonlar, hafıza kaybı, bilişsel bozukluk, güçsüzlük, titreme, uykusuzluk, unutkanlık ve görme bozuklukları gibi psikolojik ve nörolojik bozukluklarla ilişkilendirilmiştir (Sharma vd., 2020; Waqas vd., 2024). Cıva, mitokondriyal işlevi bozarak enerji üretiminin bozulmasına, kalp işlev bozukluğuna ve kalp yetmezliğine yol açabilir (Wu vd., 2024). Hem erkeklerde hem de kadınlarda

hormonal düzensizliklere yol açarak endokrin bozucu olabilir. Erkeklerde sperm sayısını azaltabilir ve sperm morfolojisini bozarken, kadınlarda ise düşük seviyelerde maruziyet bile ölü doğum, spontan düşük, doğumsal anomaliler ve kısırlığa yol açabilmektedir (Mukherjee vd., 2022). Maruziyet sonucu böbreğe taşınan cıva, özellikle proksimal tübüllerde birikerek hücre hasarına yol açabilir. Proteinüri, nefrotik sendrom ve tübüler hücrelerin bozulması gibi böbrek rahatsızlıkları görülebilir. Uzun süreli cıva maruziyeti, böbrekte bağışıklık temelli hasarlara, glomerülonefrit gibi durumlara ve kronik böbrek yetmezliğine sebep olabilir (Rana vd., 2018).

Tablo 2.5. Cıva

CAS	Molekül Formül	Kimyasalın Adı	Kimyasal Güvenlik			
7439-97-6	Hg	Cıva				

2.3.5. Çinko

Çinko, yer kabuğunda yaygın olarak bulunan bir element olup, atmosfer, toprak ve su kaynaklarında geniş bir şekilde bulunmaktadır. Saf haliyle mavimsi beyaz renkte parlak bir metal olan çinko, vücutta birçok enzimin yapısal bileşeni olarak görev yapmakta ve DNA ekspresyonu, membran stabilizasyonu, A vitamini metabolizması ile tat ve koku alma gibi kritik biyolojik süreçlerde kofaktör rolü üstlenmektedir. Normal fizyolojik işlevlerin devamı için vazgeçilmez olmakla birlikte, yüksek düzeylerde toksik etkiler gösterebilir. (Hudson vd., 2025).

Genel nüfus, çevresel hava, besinler ve su aracılığıyla çinkoya maruz kalmaktadır. Maruziyet, yiyecek tüketimi, içme suyu, atmosferik kirlilik ve tütün ürünleri gibi çeşitli kaynaklardan kaynaklanmaktadır. İş ortamında ise özellikle çinko içeren aerosol, toz, veya dumanların solunması yoluyla maruziyet söz konusudur. Bu durum metal ürünleri üreten fabrikalarda çalışan işçiler ile birincil metal sanayi ve taş, kil ve cam ürünleri üretiminde görev alan personel arasında yaygındır. Çinko, korozyona karşı koruyucu kaplamalarda, kuru pillerde ve pirinç ile bronz gibi alaşımların üretiminde diğer metallerle birleşerek çeşitli endüstriyel alanlarda kullanılmaktadır (Schoofs vd., 2024; Wessels vd., 2021).

Çinko, vücutta birçok temel biyolojik süreçte yardımcı kofaktör olarak görev yaparken, aşırı maruziyeti toksik etkilere yol açabilmektedir. Yüksek dozda oral çinko alımı

genellikle gastrointestinal sistemde bulantı, kusma, karın ağrısı, kramp ve ishal gibi akut semptomlarla kendini gösterir. Bu durum çoğunlukla takviye ürünleri veya kirlenmiş gıda ve sudan kaynaklanmaktadır. Kronik çinko toksisitesi ise uzun süreli yüksek doz maruziyet sonucu ortaya çıkarak bakır eksikliği, hematolojik bozukluklar, bağışıklık sisteminde zayıflama ve lipid metabolizmasında bozulmalar gibi sistemik etkiler yaratır. Bu toksik mekanizmada, çinkonun bakır emilimini engellemesi merkezi bir rol oynamaktadır (Hudson vd., 2025; Schoofs vd., 2024; Plum vs.,2010).

Tablo 2.6. Çinko

CAS	Molekül Formül	Kimyasalın Adı	Kimyasal Güvenlik		
7440-66-6	Zn	Çinko			

2.5.6. Kadmiyum

Kadmiyum gümüş-beyaz renkte, yumuşak ve dövülebilir bir ağır metaldir. Esas olarak çinko, kurşun ve bakırın işlenmesi sırasında yan ürün olarak elde edilir. Kadmiyumun önemli bileşikleri arasında kadmiyum oksit, kadmiyum sülfür, kadmiyum sülfat bulunur (Charkiewicz vd., 2023; De Angelis vd., 2017).

Kadmiyum ve bileşenleri, pil, batarya, pigment, metal kaplama, elektrokaplama, galvanizleme, seramik, boya, pestisit ve gübre üretimi, fosil yakıt yakma ve atık yakma süreçlerinden türemektedir. Kadmiyumun çevreye salınımı hava, su ve toprak gibi çeşitli süreçler ve yollarla gerçekleşebilir. Genel nüfus, kirli tarım topraklarından gelen gıdalar yoluyla maruz kalabilir. Tütün içmek kadmiyum maruziyetini daha da artırır (De Angelis vd., 2017; Wang & Du, 2013; Qu vd., 2022).

Kadmiyum solunum, oral veya dermal emilim yollarıyla vücuda girerek çeşitli sağlık sorunlarına sebep olabilir (Rezaei vd., 2024). Solunum yollarını etkileyerek burun mukozasında tahrişe, koku kaybına ve üst solunum yolu hasarına yol açar. Uzun süreli maruz kalma ise kronik bronşit, amfizem ve azalmış akciğer fonksiyonlarıyla sonuçlanabilir (Charkiewicz vd., 2023). Kadmiyumun böbrek dokusunda zamanla birikmesi tübüler disfonksiyon, glomerüler yaralanma ve azalmış glomerüler filtrasyon hızı gibi sonuçlarla ilerleyici böbrek hasarlarına sebep olabilir (Bautista vd., 2024). Kadmiyuma kronik maruziyet hipertansiyona, ateroskleroza ve bozulmuş kalp

fonksiyonuna yol açabilir (Charkiewicz vd., 2023; Tellez-Plaza vd., 2013). D vitamini metabolizmasının ve kalsiyum emiliminin bozulmasına neden olabilir. Artan kemik kırılganlığı nedeniyle kemik kırılması riskini artırmaktadır. Osteoporoz, osteoartrit ve osteomalazi gibi ciddi kemik metabolizma hastalıklarına neden olabilir. Itai-itai hastalığı da hareket zorluğu, kemik ve eklem ağrılarıyla, karakterize kronik kadmiyum zehirlenmesinin en şiddetli şeklidir (Rehman vd., 2017). Kadmiyum maruziyeti baş dönmesi, baş ağrısı, denge kaybı, koku alma bozukluğu, vazomotor işlevlerin yavaşlaması, periferik nöropati ve öğrenme güçlükleri gibi sinir sistemi bozukluklarına neden olabilir. Kadmiyumun nörotoksik etkileri çocuklarda zeka geriliği ve görsel-motor beceri azalması ile ilişkilendirilmiştir. Nöronlardaki kalsiyum dengesini bozar, mitokondri fonksiyonlarını etkiler ve hücre ölüm süreçlerini başlatır. Bu etkiler alzheimer, parkinson ve amyotrofik lateral skleroz gibi nörolojik hastalıkların etiopatogenezinde rol oynamaktadır (Rehman vd., 2017; Rezaei vd., 2024; Wang & Du, 2013). Kadmiyum, testis ve prostat bezinin fonksiyonlarını bozarak erkek fertilitesini olumsuz etkiler. Kadınlarda ise adet döngüsü, üreme hormonları, gebelik ve doğum ağırlığı üzerinde olumsuz etkileri vardır. Ayrıca plasentayı geçerek fetüs üzerinde teratojenik etkilere neden olabilir. IARC, kadmiyum ve kadmiyum bileşiklerinin insanlarda kanserojenliği için yeterli kanıta dayanarak, grup 1 olarak sınıflandırmıştır. Kadmiyum maruziyeti ile prostat, böbrek ve akciğer kanserleri arasında ilişki bulunmaktadır (Charkiewicz vd., 2023; De Angelis vd., 2017; IARC, 2024; Qu vd., 2022).

Tablo 2.7. Kadmiyum

CAS	Molekül Formül	Kimyasalın Adı	Kimyasal Güvenlik				
7440-43-9	Cd	Kadmiyum					

2.3.7. Kobalt

Kobalt çelik grisi, parlak, sert, kırılgan ve manyetiktir. Çevrede doğal olarak, yer kabuğunda yaklaşık %0,002 oranında ve genellikle bakır, demir, kurşun, nikel ve gümüş cevherlerinde ise %1'den daha az konsantrasyonlarda bulunur. Demir ve nikel benzeri özellikler taşır. B12 vitamininin metalik bileşeni olan kobalt; prokaryotlar, hayvanlar ve insanlar için temel bir eser elementtir (Leyssens vd., 2017; Wahlqvist vd., 2020).

Kobalt, tungsten ve karbonu bağlama yeteneği sayesinde sert metal alaşımlarının oluşturulmasında kullanılır. Süperalaşımlar, manyetik alaşımlar, yüksek mukavemetli çelikler ve sert metal gibi çeşitli alaşımlar buna örnektir. Pigmentlerde, boyalarda, pillerde, taşlama ve kesme aletlerinde, seramiklerde, elmas endüstrisinde, kozmetik ve mücevher sektöründe, uçak motorlarında, manyetik ürünlerde, katalizörler ve çeşitli elektrokimyasal uygulamalarda kullanılmaktadır. Diz ve kalça gibi yüksek direnç gerektiren ortopedik implantlarda kobalt alaşımlarının artan kullanımı bir diğer önemli maruz kalma yolu haline gelmiştir. Genel nüfus için beslenme kobalt maruziyetinin ana kaynağıdır. Çikolata, tereyağı, kahve, balık, fındık, yeşil yapraklı sebzeler ve tahıllar gibi çeşitli gıdalarda, su, hava ve tütün dumanında bulunabilir. Ayrıca B12 vitamini takviyesi alan kişiler genel popülasyonun üzerindeki seviyelerde kobalta maruz kalabilir (Leyssens vd., 2017; Simonsen vd., 2018; Wahlqvist vd., 2020).

Kobaltın solunum sistemi üzerindeki toksik etkileri, genellikle sert metal tozlarının solunmasıyla oluşmaktadır. Kobalt maruziyeti öksürük, balgam, rinit, nefes darlığı, bronşit, azalmış akciğer kapasitesi, akciğer iltihabı, pnömokonyoz gibi solunum yolu hastalıkları ile ilişkilidir (Kurt & Basaran, 2020; Rosenman & Beckett, 2015; Wahlqvist vd., 2020). Kobalt temas alerjisine neden olan en yaygın metallerden biridir. Temas halinde kaşıntı, kızarıklık ve döküntüler gibi belirtiler ortaya çıkabilir. Kobalt alerjisi genellikle doğrudan temas olan bölgelerde alerjik kontakt dermatit olarak ortaya çıkar ancak daha yaygın hale gelebilir (Simonsen vd., 2018). Miyokardiyumda kobalt birikimi nedeniyle kardiyomiyopati görülebilir. Ancak kobaltın kardiyotoksik etkileri genellikle düşük proteinli diyet, tiamin eksikliği, alkolizm ve hipotiroidizm gibi ek faktörler ile bağlantılıdır (Hantson, 2019; Jenkinson vd., 2021). Tekrarlanan maruziyeti, tiroid fonksiyonlarını bozabilir (Yu, 2017). Azalmış görme keskinliğini, bulanık görme, tam körlük, kulak çınlaması ve sensöriyel işitme kaybı gibi görsel ve işitsel problemler oluşabilir. Yürüme bozukluğu, titreme, kas zayıflığı uyuşukluk, koordinasyon bozukluğu gibi motor performanslarda bozukluklar görülebilir. Bilişsel gerileme, zayıf konsantrasyon, hafıza kaybı, bozulmuş dikkat, yönelim bozukluğu da kobalt maruziyeti ile ilişkilendirimiştir (Garcia vd., 2020; Leyssens vd., 2017).

Tablo 2.8. Kobalt

CAS	Molekül Formül	Kimyasalın Adı	Kimyasal Güvenlik	
7440-48-4	Co	Kobalt		

2.5.8. Krom

Krom çelik grisi renkte, parlak ve sert bir metaldir. Doğal olarak kayalarda, bitkilerde, hayvanlarda, toprakta ve volkanik toz ve gazlarda bulunmaktadır. Karbonhidrat, lipit ve protein metabolizmasında rol oynayan önemli bir mikro besindir. En yaygın iki formu üç değerlikli ve altı değerlikli olanlardır. Aynı zamanda bunlar en toksik formlarıdır (Neghab vd., 2015; Shin vd., 2023).

Krom ve bileşikleri krom kaplama, kromat üretimi, deri tabaklama, pigment üretimi, metal temizleme, kaynak yapma, lehimleme, tekstil, boyama, ahşap işleme gibi endüstriler ile metalurji ve refrakter malzeme pil, mum, boya ve kauçuk gibi çeşitli ürünlerin üretiminde kullanılmaktadır (Chakraborty vd., 2022; Kurt & Basaran, 2020, Xiao vd., 2012). Krom içeren endüstriyel atıklar toprak ve su kirliliğine sebep olarak genel nüfus için yiyecek veya içme suyunun yutulmasıyla maruziyet oluşturabilir (Shin vd., 2023).

Kroma maruz kalma, solunum, sindirim ve deri yoluyla mümkündür. Krom kan dolaşımına girdiğinde kemik, dalak, kalp, böbrekler, karaciğer ve gastrointestinal sistem gibi hemen hemen tüm dokulara dağılır. Kromun özellikle altı değerlikli formu vücutta oksidatif stres oluşturarak karaciğer, akciğer ve böbrekte ciddi hasarlara yol açar (Chakraborty vd., 2022; Renu vd., 2021; Xiao vd., 2012). Solunum, krom maruziyetinin meydana geldiği başlıca yollardan biridir ve akciğer toksisitenin temel hedeflerindendir. Yüksek konsantrasyonlarda altı değerlikli krom solunması burun mukozasında tahriş, burun ülseri, burun kanaması ile hırıltı, öksürük, nefes darlığı, astım gibi solunum problemlerine yol açabilir. Krom partikülleri akciğer dokusunda hasara, iltihaplanmaya ve hücre toksisitesine neden olabilir (Chakraborty vd., 2022; Neghab vd., 2015). Oral yolla maruziyetlerde yutma zorlukları, tükürük ve mide asidi salgılarında azalma, kusma, karın ağrısı, gastrointestinal kanama, gastrit, ülser ve çeşitli sindirim sistemi rahatsızlıkları görülebilir. Krom, iş yerinde en sık rastlanan metal alerjenlerden biridir. Krom temasının cilt üzerindeki etkileri dermatit, cilt ülseri ve cilt döküntüsü gibi sonuçlarla ilişkilendirilmiştir

(Hossini vd., 2022; Shin vd.,2023). IARC, altı değerlikli kromu akciğer kanseri ile ilişkilendirerek grup 1 kanserojen olarak sınıflandırmıştır (IARC, 2024; Xiao vd., 2012).

Tablo 2.9. Krom

CAS	Molekül Formül	Kimyasalın Adı	Kimyasal Güvenlik		
7440-47-3	Cr	Krom			

2.3.9. Kurşun

Kurşun, en önemli toksik ağır metallerden birisidir. Mavi-beyaz renkte, parlak bir metaldir. İnorganik kurşun, atmosferde partikül formunda bulunurken, organik kurşun uçucu özelliktedir. Korozyona karşı direnç, yüksek yoğunluk ve şekil alabilirlik gibi özellikleri sayesinde geniş bir uygulama yelpazesine sahiptir (Rehman vd., 2017).

Levha, boru, dökme metal ve folyo üretiminde, kablo kaplamasında, kurşun cevheri madenciliğinde yer alır. Boya, emaye, sır, cam ve seramik sanayisinde, lehim içeriklerinde, kaynak, metal yapıların kesilmesi ve eritilmesinde de rol oynar. Kurşun alaşımlarının eritilmesi ve dökülmesi, mühimmat üretimi, motor sanayi ve benzin içindeki katkılar gibi çeşitli işlemler de kurşunun kullanım alanları arasındadır. Otomobil akülerinde de önemli bir bileşendir. Ayrıca iyonlaştırıcı radyasyona karşı bir koruyucu olarak da kullanılmaktadır (Charkiewicz & Backstrand, 2020; Şimşek & Önal, 2019).

İnsanların kurşuna maruz kalması solunum, oral veya deri yoluyla olabilir. Özellikle toprak, yiyecek, su, kurşunlu toz ve günlük kullanım ürünlerinden veya iş yerindeki çeşitli kaynaklardan vücuda girebilir (Renu vd., 2021).

Kurşun vücut tarafından emildiğinde kan, dalak, karaciğer, böbrek, beyin, kaslar, akciğer, kalp ve kemikler gibi dokularda biriken potansiyel toksik bir elementtir (Harshitha vd., 2024). Kurşun, hem erkek hem de kadın üreme sistemini olumsuz etkileyerek genetik hasara ve doğurganlık problemlerine yol açabilir. Erkeklerde sperm üretim ve kalitesini, kadınlarda hormon üretimini etkiler (Mukherjee vd., 2022). Kurşuna maruz kalmak özellikle küçük çocuklar ve doğurganlık çağındaki kadınlar için zararlıdır. Kemikteki kurşun, gebelik sırasında kana karışır ve gelişmekte olan fetüsün maruziyet kaynağı haline gelir. Küçük dozda kurşun maruziyetinde bile düşük doğum ağırlığı, erken doğum, yetersiz büyüme ve ölü doğum gibi istenmeyen sonuçlar görülebilir. Hamilelik sırasında kurşuna

maruz kalmanın fetal beyin üzerinde etkileri olabilir (Şimşek & Önal, 2019). Çocuklarda şiddetli kurşun zehirlenmesi sinirliliğe, baş ağrılarına, kas seğirmelerine, halüsinasyonlara, konsantrasyon ve dikkat sorunlarına, IQ'da azalmaya, işitme kaybına ve hiperaktiviteye sebep olabilir (Charkiewicz & Backstrand, 2020). Yetişkinlerde ise baş ağrıları, yorgunluk, ruh hali değişimleri, uyuşukluk, unutkanlık, konsantrasyon bozuklukları gibi nörolojik etkiler gösterebilir. Maruziyet iştahsızlık, karın ağrıları, kabızlık gibi gastrointestinal semptomlara neden olabilir. Araştırmalar, kurşun maruziyetinin oksidatif strese yol açarak kan basıncını artırdığı ve bu durumun kardiyovasküler hastalık riskini yükselttiğini göstermiştir. Yüksek kurşun seviyelerinin hemolitik anemiye neden olabilir. (Charkiewicz & Backstrand, 2020; Özbolat & Tuli, 2016; Sharma vd., 2020). Özellikle diyabetik ve böbrek hastalığı yaşayanlar gibi hassas gruplarda, kan kurşun konsantrasyonları düşük olsa bile nefrotoksiktir (Waqas vd., 2024). Araştırmalar, kurşunun bağışıklık sistemi üzerinde de zararlı etkileri olduğunu göstermektedir. Kurşun ve inorganik kurşun bileşikleri IARC tarafından grup 2B olarak yani, olası bir insan kanserojeni olarak sınıflandırılmıştır (Harshitha vd., 2024).

Tablo 2.10. Kurşun

CAS	Molekül Formül	Kimyasalın Adı	Kimyasal Güvenlik		
7439-92-1	Pb	Kurşun			

2.3.10. Mangan

Çevrede en bol rastlanan beşinci metal olan mangan, doğal olarak kayalarda, toprakta ve suda bulunmaktadır. Saf mangan, oksijen, kükürt, klor ve diğer maddelerle bileşikler oluşturarak saf metal haline gelen gümüş renkli bir metaldir. Büyüme, gelişme ve hücresel homeostaz için birçok farklı biyolojik süreçte yer alan yapısal bir temel elementtir (Bouabid vd., 2015; Peres vd., 2016; Yang vd., 2018).

Mangan kuru pil, demir ve çelik üretimi, alaşımlar, cam üretimi, gübre ve fungisitler, havai fişekler, kozmetik ve boya üretiminde pigment olarak ve benzin katkı maddesi olmak üzere çeşitli endüstrilerde kullanılmaktadır (Baj vd., 2023; Bouabid vd., 2015). Genel halk için maruziyetin temel yolu mangan içeren yiyecekler veya besin takviyeleri tüketmektir. Baklagiller, pirinç, kuruyemişler ve tam tahıllar en yüksek metal seviyelerini içerir. Deniz

ürünleri, çay, yeşil yapraklı sebzeler de mangan bulunan gıdalardır. Yeraltı suyunda, içme suyunda, toprak ve havada da belli seviyelerde bulunabilir (Peres vd., 2016).

Mangana maruz kalma solunum, yutma veya deri teması yoluyla gerçekleşebilir. Mangan toksisitesinin birincil hedef organı merkezi sinir sistemi olup, özellikle ekstrapiramidal sistem üzerinde etkilidir. Yüksek mangan maruziyeti parkinson hastalığına benzer semptomlarla karakterize edilen manganizm olarak adlandırılan nörolojik bir duruma yol açarak, bilişsel ve motor işlev bozukluklarına sebep olabilir. Manganizmin baş ağrısı, güçsüzlük, iştahsızlık, uyku bozuklukları gibi erken klinik belirtilerini konuşma sorunları, yürüme zorluğu, dengesizlik, halüsinasyonlar, titreme gibi semptomlar takip eder (Baj vd., 2023; Bouabid vd., 2015; Peres vd., 2016). Havadaki yüksek mangan seviyelerine maruz kalmak akciğer tahrişine neden olabilir. Zatürre, bronşit ve interstisyel akciğer fibrozunun artışıyla ilişkilendirilebilir. Manganez içeren yoğun toz veya dumanın solunması, metal dumanı ateşine benzer şekilde kendini gösteren halsizlik, ateş ve soğuk algınlığına benzer belirtilere sebep olabilir (Corrin & Nicholson, 2011; Gandhi vd., 2021). Karaciğer, vücutta mangan homeostazını sağlamak için manganın depolanması, yeniden dağıtılması ve atılmasında önemli rol oynayan birincil organdır. Aşırı mangan seviyesine maruz kalma karaciğerde birikim sonucu karaciğer hasarına neden olabilir ve homeostazı bozarak atılımı sınırlayabilir (Huang vd., 2011). Mangan düşük seviyelerde üreme sağlığı için gerekli olmasına karşın yüksek konsantrasyonlarda toksiktir. Erkeklerde sperm kalitesini ve hormon seviyelerini etkiler. Kadınlarda ise ovulasyon ve gebelik sonuçları üzerinde etki gösterebilir (Baj vd., 2023; Yang vd., 2018). Aynı zamanda yüksek mangan maruziyeti fetal büyümeyi bozabilir (Rahman vd., 2015).

Tablo 2.11. Mangan

CAS	Molekül Formül	Kimyasalın Adı	Kimyasal Güvenlik		
7439-96-5	Mn	Mangan			

2.5.11. Nikel

Nikel yer kabuğunda doğal olarak bulunan, sert, sünek, gümüş beyazı bir geçiş metalidir. Birçok hayvan türü, bitki ve mikroorganizma için gerekli bir eser element olarak kabul edilir. Doğada esas olarak sülfür, oksit ve silikat mineralleri formunda bulunur. Korozyon

direnci, yüksek erime noktası, ferromanyetizma ve düşük maliyeti nedeniyle yaygın olarak kullanılmaktadır (Ahlström vd., 2019; Rizvi vd., 2020).

Nikel alaşım üretimi, elektrokaplama, kaynak, nikel-kadmiyum pillerin üretimi gibi birçok endüstriyel alanda geniş uygulamalara sahiptir. Atmosfere nikel emisyonlarının ana kaynakları fosil yakıtların ve atıkların yakılması, madencilik ve eritme ile üretim süreçleri olmuştur. Nikel, aynı zamanda diş protezleri, cerrahi aletler ve ortopedik implantlar gibi medikal cihazlardan da çevreye salınabilir. Su, hava, toprak ve biyolojik materyallerde bulunabilir. Genel halk için maruziyet çikolata, kahve, çay, kuruyemiş yeşil fasulye, brokoli, bezelye gibi gıdalardan ve içme suyundan kaynaklanabilmektedir (Buxton vd., 2019; Genchi vd., 2020; Guo vd., 2020).

İnsanlar nikele solunum, sindirim ve cilt yoluyla maruz kalabilirler. Nikel inhalasyonu, burun ve sinüslerde tahrişe yol açabilir. Nikel tozlarını ve aerosollerini kronik soluma astım, hırıltı, bronşit, azalmış akciğer fonksiyonu bozuklukları gibi solunum etkilerine yol açabilir (Kurt & Basaran, 2020). İnsanlarda nikelin en yaygın zararlı sağlık etkisi alerjik reaksiyondur. Nikel alerjisi, nikel içeren eşyaların ciltle uzun süreli temasında terle korozyona uğraması ve iyonların emilmesi sonucu ortaya çıkar. Bu durum, duyarlı kişilerde dermatit, egzama, dudak çatlakları, ağız kenarında yarıklar, tat kaybı ve uyuşmaya yol açabilir. Mesleki ve meslek dışı maruziyetlerde el, bilek ve ön kolda kızarıklık ve kaşıntı sıkça gözlenir (Ahlström vd., 2019; Buxton vd., 2019). Aşırı nikel maruziyeti, bağışıklık sistemi üzerinde zararlı etkiler yaparak organ gelişimini engelleyebilir, inflamasyonu tetikleyebilir ve bağışıklık hücrelerini inaktive edebilir (Genchi vd., 2020; Guo vd., 2020). Nikel partikülleri, üreme organlarında birikerek üreme ve gelişimsel toksisiteye sebep olabilir. Kısırlık, düşük ve doğum kusurları gibi çeşitli sağlık sorunları görülebilir. Ayrıca nikel plasentayı geçebilir ve teratojeneze yol açabilir (Kong vd., 2014; Rizvi vd., 2020). IARC, nikel bileşiklerini grup 1 olarak, insanlarda kanserojen olarak sınıflandırırken; nikel metal ve alaşımlarını grup 2B olarak, insanlarda muhtemelen kanserojen olarak sınıflandırmıştır (Buxton vd., 2019; IARC, 2024).

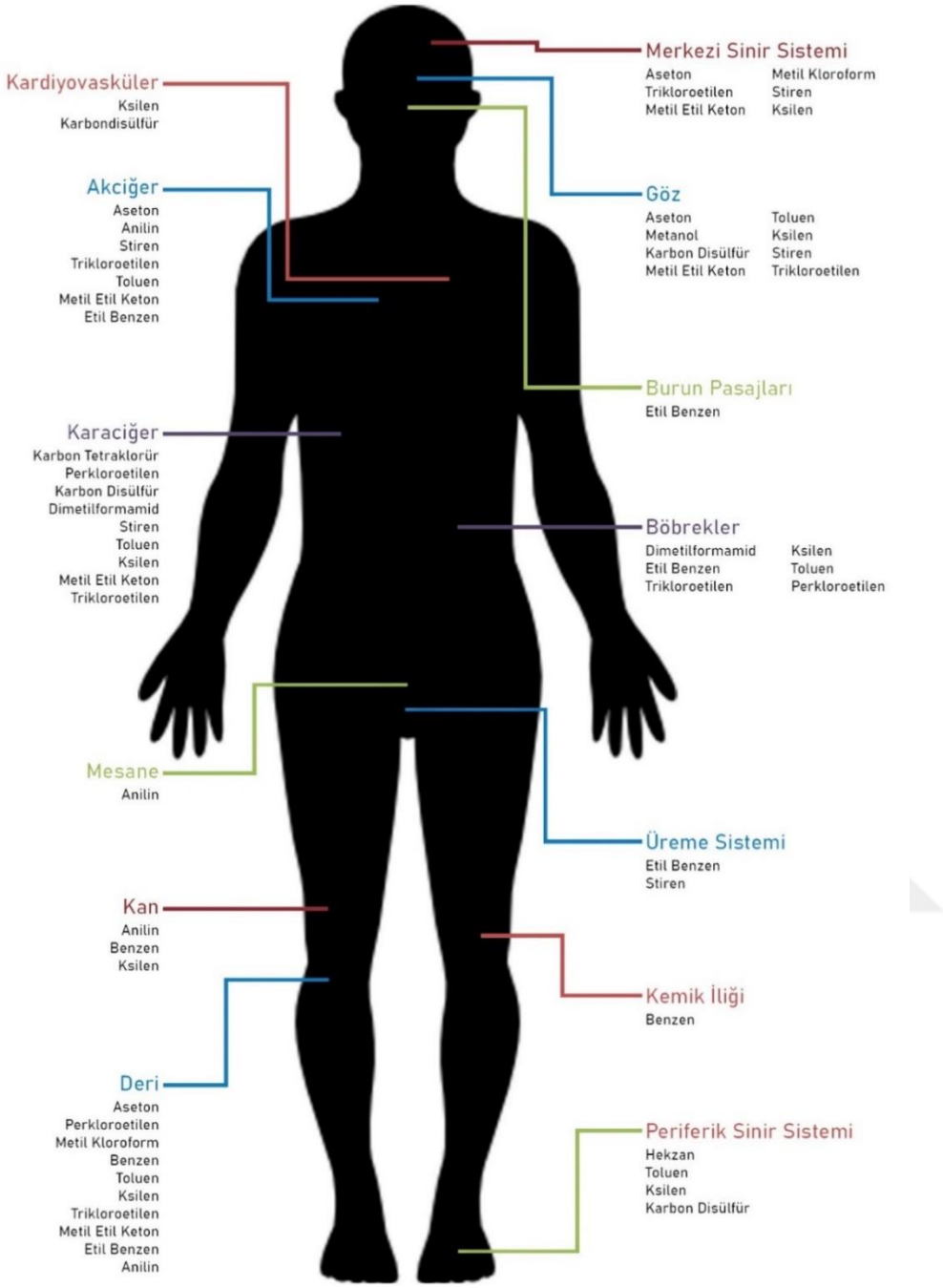
Tablo 2.12. Nikel

CAS	Molekül Formül	Kimyasalın Adı	Kimyasal Güvenlik		
7440-02-0	Ni	Nikel			

2.6. Solventler

Çözücüler genellikle diğer kimyasalları çözmek, seyreltmek veya çıkarmak için kullanılan maddelerdir. Dünya genelinde büyük miktarlarda ve geniş bir yelpazede kullanılmaktadır. Genellikle sıvı halde bulunmalarına karşın katı veya gaz halde de olabilirler. Kimyasal yapılarına göre halojenli, oksijenli ve hidrokarbon çözücüler olarak sınıflandırılmaktadır. Yüksek lipofilik özellik gösterirler ve oldukça uçucudurlar. Aynı zamanda reaksiyon hızını, seçiciliğini ve verimini de önemli ölçüde etkilerler (Agarwal vd., 2018).

Solventler boyalar, baskı mürekkepleri, vernik, cila, yağ çıkarma, yapıştırıcılar, ilaç, kozmetik, plastik eşya üretimi, metal işleme, kuru temizleme, temizlik ürünleri, yakıt katkı maddeleri, kimyasal sentezler, havacılık ve otomotiv bakım ve imalatı gibi birçok alanda kullanılmaktadır. Kullanımları oldukça yaygın olduğu için her yıl milyonlarca kişiyi etkilemektedir. Yaygın olarak kullanılan çözücüler arasında toluen, ksilen, benzen, metanol, etanol, hekzan, kloroform, diklorometan ve trikloroetilen bulunmaktadır (Anderson & Meade, 2014; Gomes vd., 2010).



Resim 2.2. Solventlerin insan vücuduna sistemik etkileri

2.6.1. Benzen

Benzen aromatik, renksiz, tatlı kokulu ve yanıcı bir hidrokarbondur. Kolayca buharlaşır ve sıvılarda büyük çözünürlüğe sahiptir. Hem ham hem de rafine edilmiş petrolün doğal bir bileşenidir ve petrol ürünleri ve kömür gibi fosil yakıtların eksik yanması sonucu oluşur. Dünya çapında birçok endüstriyel süreçte önemli bir ham madde olarak kullanılır (Chiavarini vd., 2024).

Mesleki olarak benzen maruziyeti, petrol, kimya üretimi ve imalat dahil olmak üzere çeşitli alanlarda meydana gelebilir. Yapıştırıcı, ayakkabı imalatı, baskı endüstrisi, kauçuk ve deri endüstrisi, yağlayıcılar, boyalar, ilaçlar ve pestisitlerde birincil aromatik çözücü olarak kullanılır. Genel nüfus kirli hava ve suyun yanı sıra sigara dumanı, araç egzozu ve endüstriyel emisyonlar ile maruziyet yaşayabilir (Dewi vd., 2020; Zhou vd., 2020).

Uçucu bir yapıya sahip olan benzen için hem genel hem mesleki popülasyonların ana maruziyet yolu solunumdur. Küçük ölçüde doğrudan cilt veya mukoza zarlarıyla temas ederek dermal yolla veya kirli su ve yiyeceklerin yutulması ile oral yolla da maruziyet söz konusu olabilir (Chiavarini vd., 2024).

Benzen göz, cilt ve solunum yolu için tahriş edicidir. Dermal maruziyet sonucu cildi tahriş ederek kızarıklık ve kabarcıklar ile kendini gösterirken, yutulması durumunda kimyasal pnömoniyle sonuçlanabilir. Yüksek konsantrasyonlarda maruziyet merkezi sinir sistemi depresyonuna neden olabilir. Baş ağrısı, baş dönmesi, uyuşukluk, yorgunluk gibi semptomlarla başlayan bu durum bilinç kaybı, solunum durması, koma ve ölüm gibi ciddi sonuçlara kadar ilerleyebilir (Bahadar vd., 2014; Boogaard vd., 2022). Kronik benzen maruziyeti, hematolojik fonksiyonlarda sürekli bozulmaya neden olur. Özellikle kemik iliğini baskılar. Kemik iliğinden kırmızı ve beyaz kan hücrelerin sentezinin azalması sonucunda aplastik anemi, pansitopeni ve trombositopeniye neden olur. Bağışıklık sistemini etkileyerek ve immün yanıtı zayıflatarak enfeksiyon riskini artırabilir (Dewi vd., 2020; Zhou vd., 2020). Benzen maruziyetinin hem yapısal hem de sayısal kromozom anormalliklerine sebep olarak çeşitli genetik hasarlarla ilişkilendirilmiştir. Yapılan bazı epidemiyolojik çalışmalar, hamilelik sırasında anne benzen maruziyetinin doğmamış fetüs üzerindeki toksik sonuçları olabileceğini göstermektedir (Chiavarini vd., 2024; Zhou vd., 2020). Ayrıca benzen endokrin bozucu özelliklere sahiptir (Bahadar vd., 2014; Verma & Rana, 2009). IARC tarafından bilinen bir insan kanserojeni olarak sınıflandırılmıştır. Akut miyeloid lösemi/akut non-lenfositik lösemiye neden olur. Ayrıca benzen ile kronik lenfositik lösemi, multiple miyelom ve hodgkin dışı lenfoma arasında pozitif bir ilişki bulunmaktadır (IARC, 2024).

2.6.2. Toluen

Toluen, belirgin bir kokuya sahip, berrak, renksiz bir sıvıdır. Yanıcıdır ve yoğunluğu suyun yoğunluğundan düşük olduğu için suda yüzer, çözünmez. Ham petrol veya kömürün işlenme sürecinde oluşur. Boya, cila, tutkal gibi maddelerin üretiminde çözücü olarak

kullanılan toluen; benzen, fenol gibi kimyasalların üretiminde ara ürün olarak da kullanılmaktadır (Gomes vd., 2010; Lima, 2023).

Toluenin ana maruziyet yolu solunumdur. Ancak gıdalarda veya suda tespit edilemediği için düşük bir olasılık da olsa ağız yoluyla veya boya, inceltici, yapıştırıcılar gibi maddelere temas ile dermal yolla da maruz kalınabilir. Kapalı alanlardaki toluenin başlıca kaynakları, tütün dumanı, zemin kaplama malzemeleri, poliüretan köpük, vinil döşeme, alçıpan, boyalar, tiner, yenilenmiş binalar, oje, leke çıkarıcılar, sızdırmazlık maddeleri, antifriz ürünleri, kozmetikler, yapıştırıcılar ve çeşitli ev ürünleridir (Gomes vd., 2010 Saeedi vd., 2024).

Toluene maruz kalan işçiler, baş dönmesi, sersemlik, göz tahrişi, cilt tahrişi, solunum problemleri, karaciğer, böbrek ve merkezi sinir sistemi bozuklukları gibi sağlık sorunları yaşayabilirler. Toluenin toksik etki mekanizmaları, esas olarak hücre zarındaki ve zar kanallarındaki değişikliklere dayanmaktadır. Düşük konsantrasyonlara maruz kalınması durumunda bile manuel becerilerde, sözlü hafızada ve görsel yeteneklerde kayıplar gözlemlenmiştir. Dikkat eksikliği, apati, anksiyete, motivasyon eksikliği gibi nörodavranışsal işlev bozukluklarına neden olabilir (Christopher vd., 2004; Lima, 2023). Toluen maruziyeti, kalp üzerindeki etkisini sodyum ve kalsiyum kanallarını etkileyerek gösterir. Kanalların normal işleyişini bozarak kalp ritmini düzenleyen sinyalleri etkiler. Ayrıca kalp hızını ve basıncını artırarak kalbi zorlar. Bu durum, kalp ritim bozukluklarına ve ani ölümlere neden olabilir (He vd., 2024; Saeedi vd., 2024). Kronik maruziyet, hepatotoksisite ve nefrotoksisiteye neden olarak proteinüriye, ayrıca glomerüllerde ve renal tübüllerde lezyonlara yol açabilir. (Ana-Lilia vd., 2006; Lima, 2023). Hamilelik sırasında toluenin kötüye kullanımı, birçok vaka çalışmasına göre çok sayıda yenidoğan olumsuzluğuna yol açmıştır. Fetüs gelişiminde gerileme, erken doğum, doğuştan gelen anormallikler ve doğum sonrası gelişim geriliği gibi olumsuz etkiler ortaya çıkabilir (Miller vd., 2020; Saeedi vd., 2024). Toluene maruz kalma solunum yollarının mukoza zarını tahriş edebilir ve şiddetli maruz kalma akciğerlerde sıvı birikmesine ve zatüreye yol açabilir. Maruz kalma astım veya kronik obstrüktif akciğer hastalığı olan kişilerde bronkospazmlara neden olabilir (Lima, 2023). Ayrıca yapılan çalışmalar toluenin işitme kaybı ve renk görme bozukluklarına sebep olabileceğini göstermektedir (Silva vd., 2018; Zavalić vd., 1998).

2.4.3. Ksilen

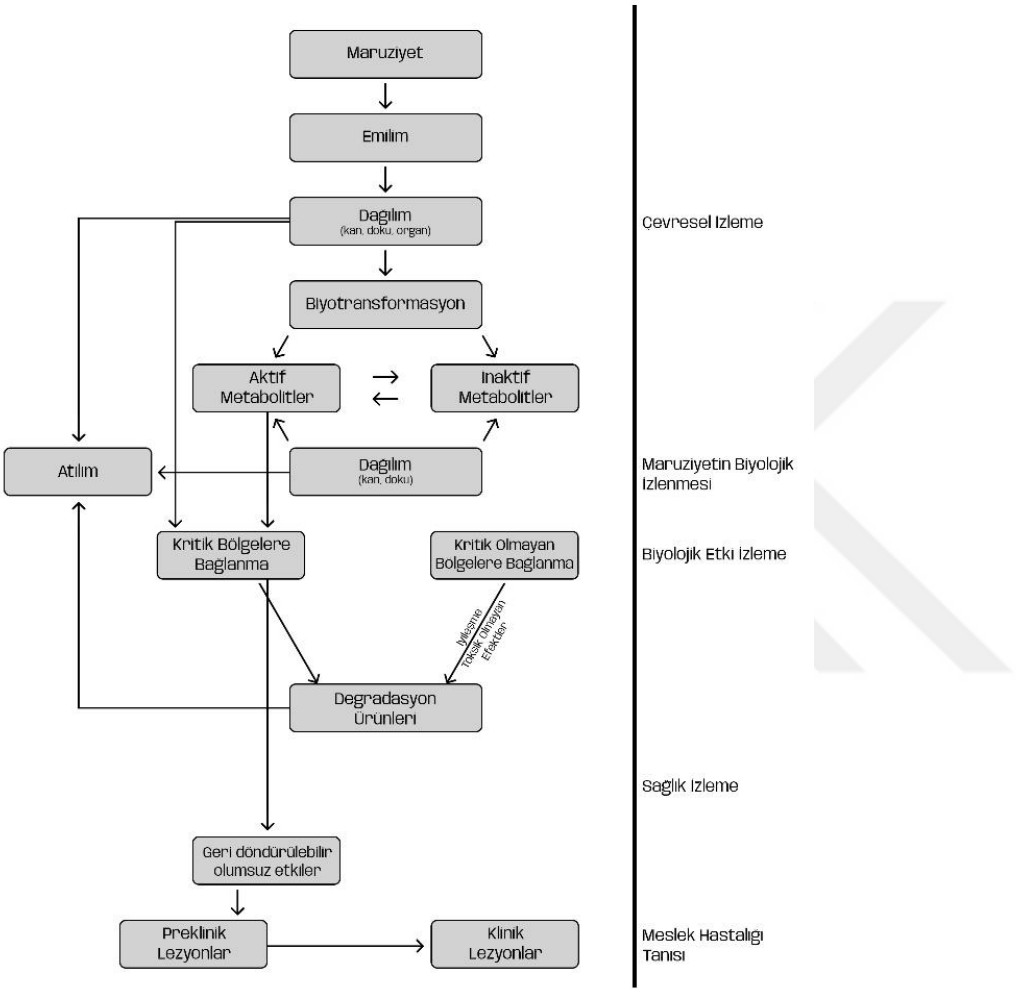
Ksilen, karakteristik aromatik bir kokuya sahip, renksiz ve yanıcı bir sıvıdır. o-, m- ve p-ksilen olmak üzere üç izomerik formdadır. Doğal olarak petrol ve kömür katranında bulunmaktadır. Kauçuk, matbaa, boya, deri endüstrilerinde, histoloji, hematoloji, mikrobiyoloji ve sitoloji laboratuvarlarında, yapıştırıcı ve deterjanlarda, bazı ilaç ve pestisit formülasyonlarında kullanılmaktadır. Ayrıca uçak yakıtı, benzin ve sigara dumanında da bulunmaktadır (Niaz vd., 2015; Rai vd., 2016).

Genel popülasyon için en önemli maruz kalma yolu, uçucu ksilenlerin solunmasıdır. Ancak ksilen içeren sıvılarla dermal temas da olası bir maruziyet yoludur (Thetkathuek vd., 2015). Ksilen maruziyeti ile göz tahrişi meydana gelebilir. Temas durumunda cildin doğal koruyucu yağlarını çözerek tahriş, kuruluk, çatlak ve egzamaya sebep olabilir (Rai vd., 2016). Ksilen buharının solunmasının başlıca etkisi, baş ağrısı, baş dönmesi, mide bulantısı ve kusma gibi semptomlarlardır. Maruziyet arttıkça kafa karışıklığı, vücut yürüyüşünde dengesizlik, sersemlik, bulanık görme gibi etkiler gibi etkiler görülebilir. Daha yüksek maruziyetlerde ise uyku hali, solunum hızlanması, bilinç kaybı, koma ve ölüm riski bulunmaktadır (Mandiracioglu vd., 2011; Thetkathuek vd., 2015). Uzun süreli maruziyet, kalp çarpıntısı ve kalp ritim bozukluklarına sebep olabilir (Assadi, 2017; Niaz vd., 2015). Yüksek seviyelerde ksilen maruziyeti akciğerleri tahriş edebilir. Nefes darlığı, göğüs ağrısı, akciğer sisteminde işlev bozukluğuna, akciğer ödemine ve alveollerde kanamaya sebep olabilir (Rai vd., 2016). Olumsuz işitsel etkiler, daha zayıf ses algılma, işitme kaybı gibi etkileriyle ototoksik etki gösterdiği bilinmektedir (Zarus vd., 20224). Hayvanlar üzerinde yapılan bazı çalışmalar kanserojen etki gösterebileceğini belirtmiştir. IARC tarafından grup 3 olarak sınıflandırılmıştır (IARC, 2024).

2.7. Kimyasal Maruziyetlerin Biyolojik İzlenmesi

Biyolojik izleme, izlenmek istenen bir grupta kan, idrar, saç, tükürük veya tırnak gibi çeşitli biyolojik materyallerin toplanması ve bu biyolojik matrislerdeki biyobelirteç konsantrasyonlarının ölçülmesini ifade eder. Mesleki biyoizleme çalışmaları, çalışanların tehlikeli kimyasallara maruziyetini kontrol etmek, sağlığını korumak ve gerektiğinde maruziyet azaltma stratejileri uygulamak için kullanılır. Kişisel koruyucu ekipmanlar da dahil olmak üzere önleyici ve koruyucu önlemlerin etkinliği hakkında fikir verebilir (Scheepers, 2021).

Biyoizleme tüm maruziyet yollarını ve kaynaklarını dikkate alır. Su tüketimi, hava solunumu, diyet ve endüstriyel süreçler gibi bir kimyasalın tüm maruz kalma kaynaklarının vücuda emilen miktarını hesaba katar. Bu nedenle, bir kişinin vücudunda taşıdığı kimyasal yükün kümülatif bir tahminini sağlar (Hopf vd.,2024).



Resim 2.3. Maruziyet ve biyolojik izleme

Uygun matris seçimi biyobelirteç ve kimyasal türüne bağlıdır. Sıklıkla kullanılan biyolojik örnekler kan ve idrardır. Kan örneklemesi genellikle inorganik kimyasallar ve biyotransformasyonu zayıf olan organik maddelerin tespitinde kullanılır. Kan örneklerinin genel bileşimi bireyler arasında tutarlıdır. Bu yüzden idrar örneklerinde olduğu gibi hacim veya hidrasyon farklılıklarını düzeltme gereksinimi yoktur. Fakat invaziv bir yöntem olup eğitimli personel gerektirmesi dezavantajıdır. Buna karşın noninvaziv bir yöntem olan

idrar numuneleri, toplanması bakımından kolaydır ve numunenin toplanması kişiler tarafından daha kolay bir şekilde kabul edilir. Çeşitli organik ve inorganik bileşikler için bir matris olarak sıklıkla kullanılmaktadır. İdrar ana boşaltım yolu olduğu için genellikle hızla metabolize edilen bileşikleri izlemek için tercih edilen bir matristir. Kan örneklerine kıyasla metabolitler daha yüksek konsantrasyonlarda bulur. Ancak numunenin çok seyreltik veya konsantre olmaması konusunda dikkat edilmelidir. İçeriğinde yüksek moleküler ağırlıklı bileşiklerin olmaması toksikolojik ön analizleri kolaylaştırır. Fakat uzun dönemli maruziyetler hakkında bilgi vermez (Kaya-Akyüzlü & Kayaaltı, 2015).

Biyoizleme çalışmalarında insan numuneleri kullanıldığı için dikkat edilecek ilk husus etik ilkeler ve veri güvenliği konusunda gerekli kurallara uyulmasıdır. Mesleki maruziyetlerin değerlendirilmesinde ise biyobelirteçlerin kimyasala gerçek maruziyetleri yansıtacak şekilde doğru ve özgül seçimi ile doğru örnekleme zamanının belirlenmesi oldukça önemlidir. Güvenilir sonuçların elde edilebilmesi için numunelerin uygun depolama ve taşıma prosedürlerine göre işlenmesi ve dış kontaminasyon risklerinden korunması gerekmektedir (Hopf vd.,2024).

Biyolojik izleme için önemli referans değerler ACGIH tarafından yayımlanan biyolojik maruziyet indeksleri listesidir. Biyolojik maruziyet indeksleri (BMİ), biyolojik örneklerde kimyasal belirteçlerin ölçülmesini sağlayan kılavuz değerlerdir. Çalışanın ilgili tehlikeye maruz kalma potansiyeline işaret ederek uzmanlara rehberlik eder. BMİ, genellikle eşik sınır değerlere (TLV) dayalı olarak geliştirilir ve TLV'deki solunum yoluyla maruziyete karşılık gelen iç dozu temsil eder. Ancak BMİ, yalnızca solunum yoluyla değil, diğer maruziyet yolları ile de iç maruziyeti dikkate alarak daha geniş bir bakış açısı sunar. Bireyler ayrıca genetik faktörler, yaş, sigara ve alkol gibi çeşitli kişisel alışkanlıklar veya önceki maruziyetler nedeniyle bazı kimyasallara karşı aşırı duyarlı olabilirler. Bu bireyler eşik limitlerdeki kimyasallardan bile olumsuz sağlık etkilerine karşı yeterince korunmamış olabilirler (Agarwal vd., 2018).

3. GEREÇ ve YÖNTEM

3.1. Çalışma Grubu ve Laboratuvarlar

Çalışmaya Yozgat Bozok Üniversitesi'nde çeşitli laboratuvarlarda görevli toplam 50 çalışan katılmıştır. Etik ilkeler gereği laboratuvar birimlerinin açık adları yerine A, B, C, D, E, F, G ve H harfleriyle kodlanarak tanımlanmıştır. Tablo 3.1'de laboratuvar birimlerindeki katılımcı sayıları gösterilmiştir.

Tablo 3.1. Laboratuvar birimi ve katılımcı sayısı

Laboratuvar Birimi	**A**	**B**	**C**	**D**	**E**	**F**	**G**
Katılımcı Sayısı	8	7	11	10	8	2	4

3.1.1. A Laboratuvarı

A laboratuvarı yaklaşık olarak 50m^2 ve tek bölümden oluşmaktadır. Doğal havalandırma yapılmakta, ayrıca bir havalandırma sistemi bulunmamaktadır. Çalışmaların çeker ocakta yapıldığı belirtilmiştir. Sürekli çalışan 7 kişi bulunmaktadır.

Laboratuvarda apoptoz ve negroz analizleri, komet testi, dna izolasyonu, antioksidan aktivite tayini, PCR, Rabit PCR, kromozom anomalileri, mitotik indeks tayini, hücre canlılık analizi, doku takibi, immunohistokimya, tünel analizi, hematoksilin eozin boyama gibi çalışmalar yürütülmektedir. Labaoratuvarda otoklav, etüv, mikroskop, mikrotom, su banyosu, homojenizatör, soğutmalı santrifüj, eliza, pcr, spektrofotometre, uv cihazı, mikrodalga, su arıtma cihazı, distile arıtma cihazı gibi çeşitli cihazlar bulunmaktadır. Dietil eter, etanol, methanol,, dimetil formaldehit, ksilen, nitrik asit, diklorometan, kloroform, formaldehit, fosforik asit, hidrojen peroksit, n-hekzan, sitrik asit, trikloroasetik asit, amonyak gibi kimyasallar bulunmaktadır.



Resim 3.1. A laboratuvarı

3.1.2. B Laboratuvarı

B Laboratuvarı, yaklaşık 3.600 m² kapalı alana sahip olup, bağımsız bir binada hizmet vermektedir. Laboratuvar, işlevselliği artırmak amacıyla genellikle cam bölmelerle ayrılmış özel odalarda konumlandırılmış cihazlarla donatılmıştır. Laboratuvarda sürekli olarak görev yapan 15 personel, çeşitli disiplinlerde ileri düzey analiz ve araştırma faaliyetlerini yürütmektedir. Laboratuvar altyapısında eşleşmiş plazma-kütle spektrometresi (ICP-MS), atomik absorpsiyon spektrofotometresi (AAS), çok amaçlı X-ışını difraktometresi (XRD), yüksek performanslı sıvı kromatografisi (HPLC), gaz kromatografisi-kütle spektrometresi (GC-MS), diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC), jel geçirgenlik kromatografisi/boyut ayırımlı kromatografi (GPC-SEC), ELISA sistemleri bulunmaktadır.

Laboratuvarda gerçekleştirilen başlıca çalışmalar arasında numune hazırlama işlemleri, ağır metal ve elementel analizler, anyon ve katyon tayinleri, organik bileşiklerin analizi, farmasötik madde analizleri, biyomolekül karakterizasyonu, kromatografik yöntem geliştirme süreçleri, polimer analizleri ve termodinamik analizler bulunmaktadır. Bu işlemler sırasında yaygın olarak kullanılan kimyasal maddeler arasında etanol, metanol, aseton, toluen, ksilen, n-hekzan, diklorometan, nitrik asit, hidrojen peroksit, hidroklorik asit, sülfürik asit, asetik asit, amonyak, izopropanol ve dimetilsülfoksit gibi uçucu, korozif ve potansiyel olarak toksik özellikte maddeler yer almaktadır.



Resim 3.2. B laboratuvarı

3.1.3. C Laboratuvarı

C Laboratuvarı, yaklaşık 70 m² büyüklüğünde, tek bölümden oluşan bir çalışma alanıdır. Laboratuvarda yalnızca doğal havalandırma sağlanmakta olup, mekanik veya merkezi bir havalandırma sistemi mevcut değildir. Laboratuvarda sürekli olarak çalışan 15 personel görev yapmaktadır.

Laboratuvarda yürütülen başlıca analizler arasında; pirolin tayini, fenolik bileşiklerin analizi, lipid peroksidasyonu ölçümleri, toplam karbonhidrat tayini ve çeşitli enzim analizleri yer almaktadır. Bu çalışmalar kapsamında kullanılan temel laboratuvar ekipmanları arasında inkübatör, etüv, otomatik potansiyometrik titratör, spektrofotometre, su banyosu, vorteks, santrifüj ve diğer yardımcı cihazlar bulunmaktadır. Laboratuvar faaliyetleri sırasında kullanılan kimyasal maddeler arasında; askorbik asit, trikloroasetik asit, sitrik asit, sodyum hidroksit, kloroform ve sodyum karbonat gibi çeşitli reaktifler yer almaktadır.



Resim 3.3. C laboratuvarı

3.1.4. D Laboratuvarı

D Laboratuvarı, çok amaçlı bir yapıya sahip olup, içerisinde numune kabul alanı, tekniker odası, doktor odası, personel odası, iki adet malzeme odası, santrifüj odası, asistan odası ile hemogram bölümüne entegre kan gazı, koagülasyon ve idrar analiz odalarını barındırmaktadır. Laboratuvarda yürütülen başlıca analizler arasında tam kan sayımı, hücre segmentasyonu, biyokimyasal testler, pıhtılaşma (koagülasyon) testleri, kan gazı analizi ve tam idrar tetkikleri yer almaktadır. Bu kapsamda, laboratuvar tanı amaçlı olarak hematolojik, biyokimyasal ve klinik analizlerin gerçekleştirildiği yoğun bir çalışma alanıdır.

Laboratuvarda kullanılan başlıca cihazlar arasında otoanalizör sistemleri, hemogram cihazları, koagülasyon analizörleri, idrar analizörleri, kan gazı analiz cihazları, sedimentasyon cihazları, vakumlu yoğunlaştırıcılar, santrifüjler, mikroskoplar ve çeşitli soğutucu sistemler bulunmaktadır. Bu cihazlar aracılığıyla gerçekleştirilen analizlerde; hidroklorik asit, sodyum hidroksit, nitrik asit, çeşitli tampon çözeltiler, etanol, metanol, kloroform, diklorometan, n-hekzan ve asetik asit gibi farklı fizikokimyasal özelliklere sahip reaktifler kullanılmaktadır.



Resim 3.4. D laboratuvarı

3.1.5. E Laboratuvarı

Bu laboratuvarda sürekli olarak görev yapan yaklaşık 7 personel, bakteriyolojik, mikolojik ve bazı durumlarda virolojik analizlerin yürütülmesinde aktif rol almaktadır. Laboratuvarda kullanılan temel ekipmanlar arasında biyogüvenlik kabinleri (BSC-II), otoklav, etüv, inkübatör, laminar flow kabini, santrifüj, mikroskop, koloni sayım cihazı, pH metre ve ısı kontrollü su banyosu gibi cihazlar yer almaktadır. Çalışmalar kapsamında, klinik örneklerden izole edilen mikroorganizmaların kültür, boyama ve identifikasyon işlemleri; antibiyotik duyarlılık testleri (disk difüzyon, MIC) ve spesifik biyokimyasal testler gerçekleştirilmektedir. Bu laboratuvarda kullanılan başlıca kimyasallar arasında etanol, metanol, asidik ve bazik tampon çözeltiler, gram boyaları (kristal viyole, iyot, safranin), Ziehl-Neelsen boyaları, fenol, klorofrom, sodyum hipoklorit, formaldehit, pepton suyu, besiyerleri (agar bazlı) ve çeşitli antibiyotik standartları bulunmaktadır.

3.1.6. F Laboratuvarı

F Laboratuvarı, yaklaşık 100 m² büyüklüğünde kapalı bir alanda faaliyet göstermektedir. Laboratuvarda, düzenli olarak görev yapan üç personel bulunmaktadır. Bu ortamda formaldehit, formalin çözeltisi, aseton, gliserin, dietil eter, asetik asit, etanol, metanol ve ksilen gibi uçucu ve potansiyel olarak toksik kimyasal maddeler yaygın biçimde kullanılmaktadır. Laboratuvarın başlıca faaliyet alanları arasında diseksiyon işlemleri, fikzasyon uygulamaları, kadavra incelemeleri ve pratik eğitim çalışmaları yer almaktadır.



Resim 3.5. E laboratuvarı

3.1.7. G Laboratuvarı

G laboratuvarı immunofloresan odası, ışık mikroskobu odası, eğitim odası, sekreterlik, personel dinlenme odası, uzman doktor odası, histoteknik alanı (makroskopi odası, arşiv) gibi çeşitli odalardan oluşmaktadır. Sürekli çalışan 4 kişi bulunmaktadır.

Laboratuvarda otomatik doku işleme cihazı, lam kapama cihazı, otomatik immünohistokimya boyama cihazı, doku gömme cihazı, mikrotom gibi çeşitli cihazlar bulunmaktadır. Formaldehit, glutaraldehit, etanol, metanol, ksilen, aseton, hidrojen peroksit, kloroform, parafin, gliserol, hematoksilin, ezoin gibi çeşitli kimyasallar kullanılmaktadır.



Resim 3.6. G laboratuvarı

3.2. Etik Kurul Onayının Alınması

Yozgat Bozok Üniversitesi Girişimsel Olmayan Klinik Araştırmalar Etik Kurulu'na yapılan etik başvurusu 04.09.2024 tarihinde 2023-GOKAEK-248_2024.09.04_150 karar numarasıyla kabul edildi.

3.3. Numunelerin Toplanması Ve Muhafaza Edilmesi

Çalışmada biyolojik numune olarak idrar örnekleri kullanıdı. Noninvaziv bir yöntem olması sebebiyle gönüllülere yönelik herhangi bir tehlike veya olumsuz sonuç bulunmamaktadır. Katılmcılara ait demografik bilgiler (15 soru), beslenme durum değerlendirmesi (15 soru) ve kimyasal güvenlik değerlendirmesi (7 soru) gibi kişisel bilgiler numune toplama işleminden önce anket yöntemiyle elde edildi.

Numune toplama işlemleri etik kurul izni sonrası Eylül 2024- Ekim 2024 tarihlerinde titizlikle, numaralandırılarak toplandı. 50 ml'lik steril idrar kapları kullanıldı. Ardından numuneler Yozgat Bozok Üniversitesi Araştırma Hastanesi Multidisipliner Laboratuvarında -80 °C'de muhafaza edildi.

3.4. Laboratuvar Analizleri

3.4.1. Metal Analizi

3.4.1.1. Ön analiz

İdrar numunelerinin ön analiz işlemleri, Yozgat Bozok Üniversitesi Tıp Fakültesi Multidisipliner Araştırma Laboratuvarı'nda gerçekleştirildi. Homojen bir karışım elde etmek amacıyla numunelere öncelikle karıştırma işlemi uygulandı. Ardından 10 ml'lik polipropilen tüplere aktarıldı. Tüplere aktarılan numunelere 5 ml nitrik asit (Suprapur®, %65) eklenerek vorteks cihazında karıştırıldı ve homojen hale getirildi. Çözünme işlemini tamamlamak amacıyla her tüpe 2 ml hidrojen peroksit eklenip, bir kez daha vorteks işlemi yapıldı. Homojen hale getirilen numuneler, analiz için hazırlanarak +4°C'de buzdolabında saklandı.

3.4.1.2. Metot Parametrelerinin Optimizasyonu

Analiz işlemleri ICP-MS cihazında (Thermo Scientific, ICAPQc, ABD) gerçekleştirildi. ICP-MS sistemi örneklerde arsenik (As), bakır (Cu), çinko (Zn), manganez (Mn), krom (Cr), cıva (Hg), kurşun (Pb), kadmiyum (Cd), kobalt (Co), alüminyum (Al), nikel (Ni)

seviyelerinin belirlenmesinde kullanıldı. Çalışmada, metallerin tayini için Turksoy ve ark. (2019) tarafından geliştirilen yöntem kullanıldı.

Çalışma parametreleri RF gücü 1550 W, plazma gaz akışı 0.86 L/dakika, nebülizatör gaz akışı 0.95 L/dakika, nebülizatör basıncı 2,99 bar, bekleme süresi 0.01 ms ve sprey haznesi sıcaklığı 3,4°C olacak şekilde ayarlanarak cihazın optimizasyonu gerçekleştirildi.

Örnekleme probu, enjeksiyonlar arasında üç aşamalı durulama işlemi ile temizlendi Probu durulama işlemi ilk olarak 30 saniye ultra saf su ile, ardından 45 saniye %2 HNO_3 ile, son olarak ise 45 saniye ultra saf su ile yapıldı.

Her bir metal için özel olarak hazırlanmış kalibrasyon çözeltileri kullanıldı. Kalibrasyon sürecinde 11 farklı konsantrasyona (0,05 µg/L, 0,1 µg/L, 0,2 µg/L, 0,5 µg/L, 1 µg/L, 2 µg/L, 5 µg/L, 10 µg/L, 20 µg/L, 50 µg/L, 100 µg/L) uygulandı. Tüm metaller için elde edilen r^2 değerleri 0,99'un üzerinde tespit edildi.

3.4.1.3. Validasyon Çalışmaları

Sonuçların doğruluğunu artırmak amacıyla kalibrasyon standartları ve standart referans ölçümleri beş kez tekrarlandı. Metot validasyonları Whole Blood Label-2 (SeronormTMTrace Elements, Norveç) sertifikalı standart materyal ile gerçekleştirildi. Standart referans materyallerin ölçümleri gün içi ve günler arası farklılıkları değerlendirmek için tekrarlanabilirlikleri dikkate alınarak uygulandı. Yöntemin doğrulaması için tüm referans numunelerin ölçülen değerlerinin bağıl standart sapması (RSD) %5'in altında olduğu belirlendi.

3.4.2. Solvent Analizi

Bu çalışmada, toluen, ksilen ve fenol türevi bileşiklerin idrardaki metabolit düzeylerinin kantitatif tayini için Kartaloğlu ve arkadaşları (2019) tarafından önerilen yöntem temel alındı. Yüksek Basınçlı Sıvı Kromatografisi (HPLC) sistemi kullanıldı. Analizlerde dedektör olarak Photo-Diode Array (PDA) tercih edildi (Kartaloğlu vd., 2019).

Çalışma kapsamında katılımcılardan toplanan idrar örnekleri analiz öncesi uygun asidik ve bazik pH koşulları sağlanarak, organik çözücülerle sıvı-sıvı ekstraksiyon yöntemi uygulanarak hazırlandı. Hazırlanan numuneler HPLC sisteminde PDA dedektörü aracılığıyla analiz edildi.

Analitlerin maksimum absorbans gösterdiği dalga boyları belirlendi. Hippürik asit ve 3-metil hippürik asit için en uygun absorbans dalga boyu 210 nm, fenol için ise 272 nm

olarak tespit edildi. Kalibrasyon eğrileri, 0,125–20 ppm konsantrasyon aralığında oluşturuldu ve yöntemin bu aralıkta doğrusal sonuçlar verdiği gözlemlendi.

3.5. Kullanılan Materyaller

Tablo 3.2. Kullanılan materyaller

Kimyasallar	Hidrojen peroksit Nitrik asit (Suprapur®, %65) Ultra saf su
Cihazlar	ICP-MS (Thermo Scientific, ICAPQc, ABD) HPLC Derin Dondurucu (NUVE, DF490) Vorteks Pipet (Brand)
Standartlar	Whole Blood L-2 Standart Referans Materyali (SeronormTM Trace Elements, Norveç) Arsenik, kurşun, cıva, kadmiyum, kobalt, nikel, manganez, bakır, krom, alüminyum, çinko mix standardı (6020 Cal, Denge 24; Inorganic Ventures, Christiansburg, VA, USA; 19E Multi Element Standard; Chem-Lab, Zedelgem, 32 Belçika)

3.6. İstatistiksel Analiz

Tez çalışması kapsamında verilerin değerlendirilmesinde SPSS 20.0 paket programı kullanıldı. Değerlendirmeler demografik verilerle birlikte yapıldı. Verilerin normal dağılıma uyup uymadığı Kolmogorov-Smirnov testi ile değerlendirildi. Parametrik verilerin analizi t-testi ve Anova testleriyle, non-parametrik verilerin analizi ise Mann-Whitney U ve Kruskal-Wallis testleriyle gerçekleştirildi. Veriler arasındaki korelasyonları değerlendirmek için parametrik verilerde Pearson, non-parametrik verilerde ise Spearman testleri tercih edildi. Gruplar arasındaki farkların anlamlılığı, 0,05 ve 0,01 düzeylerinde anlamlı olarak kabul edildi.

4. BULGULAR

Çalışma Yozgat Bozok Üniversitesi'nde bulunan 50 laboratuvar çalışanının katılımıyla gerçekleştirildi. Metal ve metabolit analizi için idrar numuneleri toplandı. Ayrıca katılımcılara yapılan anket ile demografik bilgiler, beslenme durum değerlendirmesi ve kimyasal bilgi düzeyleri değerlendirildi. Elde edilen bulgulara ait tanımlayıcı istatistikler aşağıdaki tablolarda açıklanmıştır.

Tablo 4.1. Katılımcıların yaş ve beden kitle indeksine ait tanımlayıcı istatistikler

	Ort. ± SS	**Min.**	**Maks.**
Yaş (yıl)	36,08±7,365	22	52
BKİ (kg/boy(m²)	26,05±5,42	17,58	41,21

Tablo 4.1 verileri incelendiğinde, çalışmaya katılan laboratuvar çalışanlarının yaş ortalaması 36,08 ± 7,37 yıl olup, minimum 22 ile maksimum 52 yaş aralığında değiştiği görüldü. Katılımcıların beden kitle indeksi (BKİ) ortalaması ise 26,05 ± 5,42 kg/m² olarak belirlendi. BKİ değerleri minimum 17,58 kg/m², maksimum 41,21 kg/m² arasında değişiklik göstermektedir.

Tablo 4.2. Katılımcıların medeni durumu, eğitim durumu, günlük çalışma süresi, aynı iş yerinde çalışma süresi ve iş yeri tehlike sınıfı hakkındaki düşüncesine ait tanımlayıcı istatistikler

		n	**%**
Medeni Durum	**Bekar**	20	40,0
	Boşanmış	1	2,0
	Evli	29	58,0
Eğitim Durumu	**Lise**	1	2,0
	Önlisans	5	10,0
	Lisans	8	16,0
	Yüksek Lisans ve Üzeri	36	72,0
Günlük Çalışma Süresi	**1-2 Saat**	2	4,0
	3-4 Saat	4	8,0
	5-8 Saat	27	54,0
	8 Saat ve Üzeri	17	34,0
Aynı İş Yerinde Çalışma Süresi	**0-2 Yıl**	9	18,0
	3-5 Yıl	16	32,0
	6-10 Yıl	11	22,0
	10 Yıl Ve Üzeri	14	28,0
İş Yeri Tehlike Sınıfı Hakkında Düşünce	**Az Tehlikeli**	6	12,0
	Tehlikeli	25	50,0
	Çok Tehlikeli	15	30,0
	Bilmiyorum	4	8,0

Tablo 4.2'deki veriler incelendiğinde, çalışmaya katılan laboratuvar çalışanlarının %58 (n=29)'inin evli, %40 (n=20)'ının bekar ve %2 (n=1)'sinin boşanmış olduğu görüldü. Çalışanların %72 (n=36)'sinin yüksek lisans ve üzeri eğitim düzeyinde, %2 (n=1)'sinin ise lise mezunu olduğu belirlendi. Günlük çalışma süresine bakıldığında katılımcıların %54 (n=27)'ünün günlük 5-8 saat çalıştığı, %4'ünün (n=2) 1-2 saat çalıştığı tespit edildi. Aynı iş yerinde çalışma süreleri açısından incelendiğinde katılımcıların %32 (n=16)'sinin 3-5 yıl ve %18'inin (n=9) 0-2 yıl arasında olduğu görüldü. İş yeri tehlike sınıfına ilişkin değerlendirmeleri incelendiğinde %50 (n=25)'sinin iş yerini tehlikeli olarak sınıflandırdığı görülmüştür. Bu grubu %30 (n=15) oranında çok tehlikeli ve %12 oranında (n=6) az tehlikeli olarak değerlendiren katılımcılar takip etmiştir. %8 ile (n=4) ise bilmiyorum cevabını vermiştir.

Tablo 4.3. Katılımcıların sigara ve alkol kullanımı ile amalgam dolgu varlığı ve sayısı açısından tanımlayıcı istatistikleri

		n	%
Sigara Kullanımı	**Hiç Kullanmadım**	32	64,0
	Bıraktım	6	12,0
	Kullanıyorum	12	24,0
Alkol Kullanımı	**Hiç Kullanmadım**	44	88,0
	Bıraktım	1	2,0
	Kullanıyorum	5	10,0
Amalgam Dolgu Varlığı	**Hayır**	25	50,0
	Evet	25	50,0
Amalgam Dolgu Sayısı	**1**	8	16,0
	2	4	8,0
	3	3	6,0
	4	5	10,0
	5	1	2,0
	6	2	4,0
	7	1	2,0
	10	1	2,0

Tablo 4.3. incelendiğinde katılımcıların %64 (n=32)'ünün hiç sigara kullanmadığı, %24 (n=12)'ünün sigara kullandığı ve %12 (n=6)'sinin sigara kullanmayı bıraktığı tespit edildi. Alkol kullanımı açısından bakıldığında ise %88 (n=44)'inin hiç alkol kullanmadığı, %10 (n=5)'unun alkol kullandığı ve %2 (n=1)'sinin alkolü bıraktığı görülmektedir. Amalgam dolgu bulundurulmasına ilişkin veriler incelendiğinde katılımcıların %50 (n=25)'sinin evet, %50 (n=25)'sinin ise hayır cevabı verdiği görüldü. Amalgam sayılarına bakıldığında ise %16 (n=8)'sının 1 adet, %8 (n=4)'inin 2 adet, %6 (n=3)'sının 3 adet, %10 (n=5)'unun 4 adet, %2 (n=1)'sinin 5 adet, %4 (n=2)'ünün 6 adet, %2 (n=1)'sinin 7 adet ve %2 (n=1)'sinin ise 10 adet amalgam dolguya sahip olduğu tespit edildi.

Tablo 4.4. Katılımcıların kişisel koruyucu donanım kullanımına ilişkin tanımlayıcı istatistikler

		n	%
Kişisel Koruyucu Donanım Kullanımı	**İş Elbisesi**	34	68,0
	İş Eldiveni	42	84,0
	İş Ayakkabısı	3	6,0
	Maske	25	50,0
	Gözlük	16	32,0
	Cilt Koruyucu	2	4,0
	Yüz Koruyucu	7	14,0

Tablo 4.4 incelendiğinde, katılımcılar tarafından en fazla kullanılan kişisel koruyucu donanımın %84 (n=42) ile iş eldiveni olduğu görüldü. İş eldivenini sırasıyla %68 (n=34) ile iş elbisesi, %50 (n=25) ile maske, %32 (n=16) ile gözlük, %14 (n=7) ile yüz koruyucu, %6 (n=3) ile iş ayakkabısı ve %4 (n=2) ile cilt koruyucu takip etmektedir.

Tablo 4.5. Katılımcıların gıda takviyesi, balık ve deniz ürünleri, meyve/sebze, beyaz et, süt ve süt ürünleri, yumurta ve bakliyat tüketimine ilişkin tanımlayıcı istatistikler

		n	%
Gıda Takviyesi Kullanımı	**Hayır**	25	50,0
	Evet	25	50,0
Kırmızı Et Tüketimi	**Ayda 1-2**	6	12,0
	Haftada 1-2	36	72,0
	Haftada 3-4	8	16,0
Balık ve Deniz Ürünleri Tüketimi	**Tüketmiyorum**	1	2,0
	Nadiren	10	20,0
	Ayda 1-2	21	42,0
	Haftada 1-2	17	34,0
	Haftada 3-4	1	2,0
Meyve/Sebze Tüketimi	**Nadiren**	1	2,0
	Ayda 1-2	2	4,0
	Haftada 1-2	15	30,0
	Haftada 3-4	32	64,0
Beyaz Et (Tavuk Eti) Tüketimi	**Tüketmiyorum**	1	2,0
	Nadiren	1	2,0
	Ayda 1-2	4	8,0
	Haftada 1-2	31	62,0
	Haftada 3-4	13	26,0
Süt ve Süt Ürünleri Tüketimi	**Nadiren**	5	10,0
	Haftada 1-2	16	32,0
	Haftada 3-4	29	58,0
Yumurta Tüketimi	**Tüketmiyorum**	1	2,0
	Nadiren	2	4,0
	Ayda 1-2	2	4,0
	Haftada 1-2	22	44,0
	Haftada 3-4	23	46,0

Tablo 4.5. (Devamı) Katılımcıların gıda takviyesi, balık ve deniz ürünleri, meyve/sebze, beyaz et, süt ve süt ürünleri, yumurta ve bakliyat tüketimine ilişkin tanımlayıcı istatistikler

Bakliyat Tüketimi	**Nadiren**	2	4,0
	Ayda 1-2	10	20,0
	Haftada 1-2	32	64,0
	Haftada 3-4	6	12,0

Tablo 4.5'teki veriler incelendiğinde katılımcıların %50 (n=25)'sinin gıda takviyesi kullandığı, %50 (n=25)'sinin ise gıda takviyesi kullanmadığı belirlendi. Beslenme alışkanlıklarına bakıldığında katılımcıların %72'sinin (n=36) kırmızı eti haftada 1-2 kez,%12 (n=6)'sinin ise ayda 1-2 defa tükettiği belirlendi. Balık ve deniz ürünlerinin tüketim sıklığı incelendiğinde ise katılımcıların %42'sinin (n=21) ayda 1-2 defa tükettiği görüldü. En az verilen cevaplar ise %2 (n=1) ile tüketmiyorum ve haftada 3-4 yanıtları oldu. Meyve sebze tüketiminde ise %64 (n=32) ile katılımcıların çoğunluğunun haftada 3-4 defa tükettiği, %2 (n=1)'sinin nadiren tükettiği görüldü. Beyaz et tüketiminde katılımcıların %62 (n=31)'si haftada 1-2 defa cevabını verirken en az cevapların %2 (n=1) ile tüketmiyorum ve nadiren seçenekleri olduğu görüldü. Süt ve süt ürünlerinde ise %58 (n=29) ile en yaygın cevap haftada 3-4 defa tüketildiği yönündeyken, %10 (n=5) ile en az nadiren cevabı alındı. Yumurta tüketiminde katılımcıların %46 (n=23)'sı haftada 3-4 kez tükettiğini, %2 (n=1) ile ise hiç tüketmediğini ifade etti. Bakliyat tüketimine baktığımızda ise %64 (n=32) ile en fazla verilen cevabın haftada 1-2, en az cevabın ise %4 (n=2) ile nadiren seçeneği olduğu görüldü.

Tablo 4.6. Katılımcıların fast-food, abur cubur, konserve, maden suyu, şeker, tuz ve yağ tüketimine ilişkin tanımlayıcı istatistikler

		n	**%**
Fast-Food Tüketimi	**Tüketmiyorum**	5	10,0
	Nadiren	14	28,0
	Ayda 1-2	14	28,0
	Haftada 1-2	11	22,0
	Haftada 3-4	6	12,0
Abur Cubur (çikolata, cips, gofret vb.) Tüketimi	**Tüketmiyorum**	4	8,0
	Nadiren	5	10,0
	Ayda 1-2	2	4,0
	Haftada 1-2	18	36,0
	Haftada 3-4	21	42,0

Tablo 4.6. (Devamı) Katılımcıların fast-food, abur cubur, konserve, maden suyu, şeker, tuz ve yağ tüketimine ilişkin tanımlayıcı istatistikler

Konserve Tüketimi	**Tüketmiyorum**	12	24,0
	Nadiren	21	42,0
	Ayda 1-2	8	16,0
	Haftada 1-2	8	16,0
	Haftada 3-4	1	2,0
Maden Suyu Tüketimi	**Tüketmiyorum**	2	4,0
	Nadiren	12	24,0
	Ayda 1-2	9	18,0
	Haftada 1-2	16	32,0
	Günaşırı	10	20,0
	Her Gün 2-3 Şişe	1	2,0
Şeker Tüketimi	**Kullanmam**	9	18,0
	Az Kullanırım	18	36,0
	Normal Kullanırım	14	28,0
	Çok Kullanırım	9	18,0
Tuz Tüketimi	**Az Kullanırım**	24	48,0
	Normal Kullanırım	20	40,0
	Çok Kullanırım	6	12,0
Yağ Tüketimi	**Hayvansal Yağ**	8	16,0
	Margarin	5	10,0
	Ayçiçek Yağı	29	58,0
	Zeytinyağı	24	48,0
	Mısır Yağı	0	0,0

Tablo 4.6 verileri incelendiğinde fast-food tüketimi için en fazla verilen cevapların %28 (n=14) ile nadiren ve ayda 1-2 seçenekleri olduğu, en az verilen cevabın ise %10 (n=5) ile tüketmiyorum seçeneği olduğu belirlendi. Abur cubur tüketiminde katılımcıların %42 (n=21)'si haftada 3-4 kez tükettiklerini belirterek en fazla yanıtı verirken, %4 (n=2)'ü ise ayda 1-2 kez tükettiklerini ifade etti. Konserve tüketiminde katılımcıların %42 (n=21)'si nadiren tükettiklerini belirtirken, %2(n=1)'si haftada 3-4 kez tükettiklerini belirterek en düşük oranı verdi. Maden suyu tüketiminde %32 (n=16) haftada 1-2 defa ile en fazla işaretlenen seçenek olurken, %2 (n=1) ile her gün 2-3 şişe yanıtı en az işaretlenen seçenek oldu. Şeker tüketiminde katılımcıların %36 (n=18)'sı az kullandıklarını belirtirken, %18 (n=9)'i kullanmam ve çok kullanırım yanıtlarını verdi. Tuz tüketiminde %48 (n=24) ile az kullanırım en fazla seçilen seçenek olurken, %12 (n=6) ile çok kullanırım seçeneği en az oranda verilen yanıt oldu. Yağ tüketimine bakıldığında en fazla tercih edilen yağın %58 (n=29) ile ayçiçek yağı olduğu görülürken mısır yağı kullanan katılımcının olmadığı görüldü.

Tablo 4.7. Katılımcıların kimyasal güvenlik değerlendirmesine ilişkin tanımlayıcı istatistikler

		n	%
Kullandığım kimyasalların malzemegüvenlik bilgi formlarına bakarım	**Hayır**	7	14,0
	Bazen	23	46,0
	Evet	20	40,0
Laboratuvarda hangi kimyasallara maruz kaldığımı biliyorum	**Hayır**	4	8,0
	Bazen	11	22,0
	Evet	35	70,0
Maruz kaldığım kimyasalların sağlığım üzerindeki etkilerini biliyorum	**Hayır**	6	12,0
	Bazen	16	32,0
	Evet	28	56,0
Kullandığım kimyasalların toksikolojik özelliklerini biliyorum	**Hayır**	10	20,0
	Bazen	18	36,0
	Evet	22	44,0
Kullandığım kimyasalların acil durum ve ilk yardım prosedürlerine hakimim	**Hayır**	6	12,0
	Bazen	24	48,0
	Evet	20	40,0
Kullandığım kimyasalların mesleki maruziyet sınır değerlerini biliyorum	**Hayır**	18	36,0
	Bazen	21	42,0
	Evet	11	22,0
Kimyasalların güvenli depolama bilgilerine hakimim	**Hayır**	9	18,0
	Bazen	14	28,0
	Evet	27	54,0

Tablo 4.7'ye bakıldığında kullandığım kimyasalların malzeme güvenlik bilgi formlarına bakarım sorusuna %46 (n=23) bazen, %40 (n=20) evet ve %14 (n=7) hayır cevabını vermiştir. Laboratuvarda hangi kimyasallara maruz kaldığımı biliyorum sorusuna %70 (n=35) ile en çok verilen cevap olurken, katılımcıların %22 (n=11)'si bazen, %8 (n=4)'i hayır cevabını vermiştir. Maruz kaldığım kimyasalların sağlığım üzerindeki etkilerini biliyorum sorusunda ise %56 (n=28) oranla evet, %32 (n=16) oranla bazen ve %12 (n=6 kişi) oranla hayır yanıtları verildi. Kullandığım kimyasalların toksikolojik özelliklerini biliyorum sorusuna katılımcılar %44 (n=22)'ü evet, %36 (n=18)'sı bazen ve %20 (n=10)'si hayır şeklinde yanıtladı. Kullandığım kimyasalların acil durum ve ilk yardım prosedürlerine hakimim sorusunda en fazla yanıtı %48 (n=24) ile bazen seçeneği alırken, %40 (n=20) oranında evet ve %12 (n=6) oranında hayır cevapları verildiği görüldü. Kullandığım kimyasalların mesleki maruziyet sınır değerlerini biliyorum sorusuna katılımcılardan %42 (n=21) oranında bazen, %36 (n=18) oranında hayır, %22 (n=11) oranında ise evet cevapları geldi. Kimyasalların güvenli depolama bilgilerine hakimim sorusunda en fazla yanıt %54 (n=27) ile evet cevabına gelirken, bu sırayı %28 (n=14) ile bazen ve %18 (n=9) ile hayır yanıtları takip etti.

Tablo 4.8. Laboratuvar çalışanlarına ait idrar numunesi analiz sonuçları

		Ortalama	Standart Sapma	Minimum	Maksimum
µg/L	**Arsenik**	6,38	1,32	2,49	10,01
	Bakır	1160,93	389,84	272,72	2515,96
	Çinko	1668,96	707,41	876,58	4422,20
	Manganez	9,96	3,32	0,33	15,60
	Krom	8,47	2,12	4,02	17,82
	Cıva	2,32	0,75	0,20	3,83
	Kurşun	25,19	10,73	13,12	90,06
	Kadmiyum	1,31	0,89	0,52	6,00
	Kobalt	1,19	0,77	0,58	5,15
	Alüminyum	3,64	2,08	2,01	13,33
	Nikel	1,80	1,94	0,77	12,33
mg/L	**Fenol**	40,45	61,33	1,62	242,89
	Hipprüik Asit	888,95	1020,43	15,95	7006,39
	3 Metil Hippürik Asit	1373,65	493,22	154,78	2326,98

Tablo 4.8 verileri incelendiğinde arsenik için ortalama düzey 6,38 ± 1,32 µg/L olarak belirlenmiş olup, minimum 2,49 µg/L ve maksimum 10,01 µg/L değerleri gözlemlenmiştir.

Bakır için ortalama düzey 1160,93 ± 389,84 µg/L olarak belirlenmiş olup, minimum 272,72 µg/L ve maksimum 2515,96 µg/L değerleri gözlemlenmiştir.

Çinko için ortalama düzey 1668,96 ± 707,41 µg/L olarak belirlenmiş olup, minimum 876,58 µg/L ve maksimum 4422,20 µg/L değerleri gözlemlenmiştir.

Manganez için ortalama düzey 9,96 ± 3,32 µg/L olarak belirlenmiş olup, minimum 0,33 µg/L ve maksimum 15,60 µg/L değerleri gözlemlenmiştir.

Krom için ortalama düzey 8,47 ± 2,12 µg/L olarak belirlenmiş olup, minimum 4,02 µg/L ve maksimum 17,82 µg/L değerleri gözlemlenmiştir.

Cıva için ortalama düzey 2,32 ± 0,75 µg/L olarak belirlenmiş olup, minimum 0,20 µg/L ve maksimum 3,83 µg/L değerleri gözlemlenmiştir.

Kurşun için ortalama düzey 25,19 ± 10,73 µg/L olarak belirlenmiş olup, minimum 13,12 µg/L ve maksimum 90,06 µg/L değerleri gözlemlenmiştir.

Kadmiyum için ortalama düzey 1,31 ± 0,89 µg/L olarak belirlenmiş olup, minimum 0,52 µg/L ve maksimum 6,00 µg/L değerleri gözlemlenmiştir.

Kobalt için ortalama düzey 1,19 ± 0,77 µg/L olarak belirlenmiş olup, minimum 0,58 µg/L ve maksimum 5,15 µg/L değerleri gözlemlenmiştir.

Alüminyum için ortalama düzey 3,64 ± 2,08 µg/L olarak belirlenmiş olup, minimum 2,01 µg/L ve maksimum 13,33 µg/L değerleri gözlemlenmiştir.

Nikel için ortalama düzey 1,80 ± 1,94 µg/L olarak belirlenmiş olup, minimum 0,77 µg/L ve maksimum 12,33 µg/L değerleri gözlemlenmiştir.

Fenol için ortalama düzey 40,45 ± 61,33 mg/L olarak belirlenmiş olup, minimum 1,62 mg/L ve maksimum 242,89 mg/L değerleri gözlemlenmiştir.

Hippürik asit için ortalama düzey 888,95 ± 1020,43 mg/L olarak belirlenmiş olup, minimum 15,95 mg/L ve maksimum 7006,39 mg/L değerleri gözlemlenmiştir.

3 Metil hippürik asit için ortalama düzey 1373,65 ± 493,22 mg/L olarak belirlenmiş olup, minimum 154,78 mg/L ve maksimum 2326,98 mg/L değerleri gözlemlenmiştir.

Tablo 4.9. Laboratuvar birimleri bazında idrar analiz bulgularının karşılaştırılması

Parametre		Lab A	Lab B	Lab C	Lab D	Lab E	Lab F	Lab G
As (µg/L)	Ortalama	5,85	6,07	6,64	6,38	7,33	6,52	5,30
	S. Sapma	1,16	1,70	0,63	1,19	1,28	0,78	2,15
Cu (µg/L)	Ortalama	1106,88	1118,52	1174,78	1299,19	1243,58	1156,25	796,51
	S. Sapma	282,86	459,53	317,77	311,37	575,67	221,96	429,43
Zn (µg/L)	Ortalama	1629,99	2076,52	1629,56	1725,12	1310,13	1411,45	1847,96
	S. Sapma	565,42	1199,05	666,23	548,82	301,79	180,18	1052,47
Mn (µg/L)	Ortalama	10,73	8,33	8,95	10,39	12,11	12,43	7,47
	S. Sapma	2,78	1,51	4,80	2,59	2,74	2,98	1,87
Cr (µg/L)	Ortalama	7,48	9,57	9,23	7,90	8,53	9,21	7,34
	S. Sapma	0,73	1,29	1,79	1,65	4,04	1,65	0,76
Hg (µg/L)	Ortalama	1,44	2,28	3,06	2,15	2,41	2,57	2,26
	S. Sapma	0,75	0,22	0,45	0,82	0,57	0,49	0,19
Pb (µg/L)	Ortalama	19,39	24,79	23,89	25,27	33,58	23,60	24,80
	S. Sapma	7,53	24,79	1,05	4,40	24,36	0,22	2,21
Cd (µg/L)	Ortalama	1,18	1,17	1,14	1,14	2,15	1,13	1,16
	S. Sapma	0,49	0,10	0,05	0,27	2,06	0,02	0,07
Co (µg/L)	Ortalama	1,13	1,31	1,08	1,00	1,70	1,06	0,94
	S. Sapma	0,74	0,28	0,21	0,51	1,64	0,29	0,07

Tablo 4.9. (Devamı) Laboratuvar birimleri bazında idrar analiz bulgularının karşılaştırılması

Al (µg/L)	Ortalama	4,16	3,88	3,29	3,29	3,89	2,94	3,90
	S. Sapma	3,74	1,57	1,65	1,08	2,42	0,20	2,06
Ni (µg/L)	Ortalama	2,62	1,59	2,05	1,34	1,81	1,40	1,18
	S. Sapma	3,93	0,74	2,18	0,07	1,50	0,03	0,27
Fenol (mg/L)	Ortalama	36,64	122,20	55,35	12,30	10,85	13,41	7,14
	S. Sapma	67,95	96,08	50,70	6,82	4,12	10,50	4,92
Hippürik asit (mg/L)	Ortalama	675,05	593,69	892,95	1270,82	718,25	1361,57	972,84
	S. Sapma	247,39	1005,22	608,56	2022,14	113,22	198,85	501,47
3-Metil Hippürik Asit (mg/L)	Ortalama	1400,43	1606,46	1441,72	1390,08	1073,11	1300,38	1322,10
	S. Sapma	456,10	568,88	606,36	486,56	417,70	370,27	240,57

Tablo 4.9 incelendiğinde idrar numunelerinde ortalama arsenik (As) düzeyleri, A laboratuvarında 5,85 ± 1,16 µg/L, B laboratuvarında 6,07 ± 1,70 µg/L, C laboratuvarında 6,64 ± 0,63 µg/L, D laboratuvarında 6,38 ± 1,19 µg/L, E laboratuvarında 7,33 ± 1,28 µg/L, F laboratuvarında 6,52 ± 0,78 µg/L ve G laboratuvarında 5,30 ± 2,15 µg/L olarak ölçülmüştür.

İdrar numunelerinde ortalama bakır (Cu) düzeyleri, A laboratuvarında 1106,88 ± 282,86 µg/L, B laboratuvarında 1118,52 ± 459,53 µg/L, C laboratuvarında 1174,78 ± 317,77 µg/L, D laboratuvarında 1299,19 ± 311,37 µg/L, E laboratuvarında 1243,58 ± 575,67 µg/L, F laboratuvarında 1156,25 ± 221,96 µg/L ve G laboratuvarında 796,51 ± 429,43 µg/L olarak ölçülmüştür.

İdrar numunelerinde ortalama çinko (Zn) düzeyleri, A laboratuvarında 1629,99 ± 565,42 µg/L, B laboratuvarında 2076,52 ± 1199,05 µg/L, C laboratuvarında 1629,56 ± 666,23 µg/L, D laboratuvarında 1725,12 ± 548,82 µg/L, E laboratuvarında 1310,13 ± 301,79 µg/L, F laboratuvarında 1411,45 ± 180,18 µg/L ve G laboratuvarında 1847,96 ± 1052,47 µg/L olarak ölçülmüştür.

İdrar numunelerinde ortalama mangan (Mn) düzeyleri, A laboratuvarında 10,73 ± 2,78 µg/L, B laboratuvarında 8,33 ± 1,51 µg/L, C laboratuvarında 8,95 ± 4,80 µg/L, D laboratuvarında 10,39 ± 2,59 µg/L, E laboratuvarında 12,11 ± 2,74 µg/L, F laboratuvarında 12,43 ± 2,98 µg/L ve G laboratuvarında 7,47 ± 1,87 µg/L olarak ölçülmüştür.

İdrar numunelerinde ortalama krom (Cr) düzeyleri, A laboratuvarında 7,48 ± 0,73 µg/L, B laboratuvarında 9,57 ± 1,29 µg/L, C laboratuvarında 9,23 ± 1,79 µg/L, D laboratuvarında

7,90 ± 1,65 µg/L, E laboratuvarında 8,53 ± 4,04 µg/L, F laboratuvarında 9,21 ± 1,65 µg/L ve G laboratuvarında 7,34 ± 0,76 µg/L olarak ölçülmüştür.

İdrar numunelerinde ortalama cıva (Hg) düzeyleri, A laboratuvarında 1,44 ± 0,75 µg/L, B laboratuvarında 2,28 ± 0,22 µg/L, C laboratuvarında 3,06 ± 0,45 µg/L, D laboratuvarında 2,15 ± 0,82 µg/L, E laboratuvarında 2,41 ± 0,57 µg/L, F laboratuvarında 2,57 ± 0,49 µg/L ve G laboratuvarında 2,26 ± 0,19 µg/L olarak ölçülmüştür.

İdrar numunelerinde ortalama kurşun (Pb) düzeyleri, A laboratuvarında 19,39 ± 7,53 µg/L, B laboratuvarında 24,79 ± 24,79 µg/L, C laboratuvarında 23,89 ± 1,05 µg/L, D laboratuvarında 25,27 ± 4,40 µg/L, E laboratuvarında 33,58 ± 24,36 µg/L, F laboratuvarında 23,60 ± 0,22 µg/L ve G laboratuvarında 24,80 ± 2,21 µg/L olarak ölçülmüştür.

İdrar numunelerinde ortalama kadmiyum (Cd) düzeyleri, A laboratuvarında 1,18 ± 0,49 µg/L, B laboratuvarında 1,17 ± 0,10 µg/L, C laboratuvarında 1,14 ± 0,05 µg/L, D laboratuvarında 1,14 ± 0,27 µg/L, E laboratuvarında 2,15 ± 2,06 µg/L, F laboratuvarında 1,13 ± 0,02 µg/L ve G laboratuvarında 1,16 ± 0,07 µg/L olarak ölçülmüştür.

İdrar numunelerinde ortalama kobalt (Co) düzeyleri, A laboratuvarında 1,13 ± 0,74 µg/L, B laboratuvarında 1,31 ± 0,28 µg/L, C laboratuvarında 1,08 ± 0,21 µg/L, D laboratuvarında 1,00 ± 0,51 µg/L, E laboratuvarında 1,70 ± 1,64 µg/L, F laboratuvarında 1,06 ± 0,29 µg/L ve G laboratuvarında 0,94 ± 0,07 µg/L olarak ölçülmüştür.

İdrar numunelerinde ortalama alüminyum (Al) düzeyleri, A laboratuvarında 4,16 ± 3,74 µg/L, B laboratuvarında 3,88 ± 1,57 µg/L, C laboratuvarında 3,29 ± 1,65 µg/L, D laboratuvarında 3,29 ± 1,08 µg/L, E laboratuvarında 3,89 ± 2,42 µg/L, F laboratuvarında 2,94 ± 0,20 µg/L ve G laboratuvarında 3,90 ± 2,06 µg/L olarak ölçülmüştür.

İdrar numunelerinde ortalama nikel (Ni) düzeyleri, A laboratuvarında 2,62 ± 3,93 µg/L, B laboratuvarında 1,59 ± 0,74 µg/L, C laboratuvarında 2,05 ± 2,18 µg/L, D laboratuvarında 1,34 ± 0,07 µg/L, E laboratuvarında 1,81 ± 1,50 µg/L, F laboratuvarında 1,40 ± 0,03 µg/L ve G laboratuvarında 1,18 ± 0,27 µg/L olarak ölçülmüştür.

İdrar numunelerinde ortalama fenol düzeyleri, A laboratuvarında 36,64 ± 67,95 mg/L, B laboratuvarında 122,20 ± 96,08 mg/L, C laboratuvarında 55,35 ± 50,70 mg/L, D laboratuvarında 12,30 ± 6,82 mg/L, E laboratuvarında 10,85 ± 4,12 mg/L, F

laboratuvarında 13,41 ± 10,50 mg/L ve G laboratuvarında 7,14 ± 4,92 mg/L olarak ölçülmüştür.

İdrar numunelerinde ortalama hippürik asit düzeyleri, A laboratuvarında 675,05 ± 247,39 mg/L, B laboratuvarında 593,69 ± 1005,22 mg/L, C laboratuvarında 892,95 ± 608,56 mg/L, D laboratuvarında 1270,82 ± 2022,14 mg/L, E laboratuvarında 718,25 ± 113,22 mg/L, F laboratuvarında 1361,57 ± 198,85 mg/L ve G laboratuvarında 972,84 ± 501,47 mg/L olarak ölçülmüştür.

İdrar numunelerinde ortalama 3-metil hippürik asit düzeyleri, A laboratuvarında 1400,43 ± 456,10 mg/L, B laboratuvarında 1606,46 ± 568,88 mg/L, C laboratuvarında 1441,72 ± 606,36 mg/L, D laboratuvarında 1390,08 ± 486,56 mg/L, E laboratuvarında 1073,11 ± 417,70 mg/L, F laboratuvarında 1300,38 ± 370,27 mg/L ve G laboratuvarında 1322,10 ± 240,57 mg/L olarak ölçülmüştür.

Tablo 4.10. Korelasyon tablosu

Parametre	Cu	Zn	Mn	Cr	Hg	Pb	Cd	Co	Al	Ni	Fenol	Hippürik Asit	3 Metil Hipp. Asit
As	,161	.324*	-,134	.367**	.322*	,068	-,092	,171	,124	.447**	,074	,103	,077
Cu	1,000	.510**	-,006	.324*	,253	-,094	-,071	-,138	,176	.418**	-,015	-,066	,138
Zn		1,000	-,167	.464**	.282*	,111	,142	,275	,009	.323*	,125	-,194	,058
Mn			1,000	-,062	-,184	-.297*	-,140	-,165	-,222	,016	-,015	-,148	-,038
Cr				1,000	.310*	,276	,103	.298*	,074	.301*	.497**	-,122	,230
Hg					1,000	,166	-,125	-,021	,049	.375**	,148	.303*	,033
Pb						1,000	.727**	,188	.324*	-,132	-,020	-,084	-,008
Cd							1,000	,130	,249	-,097	-,128	-,225	-,034
Co								1,000	,037	,103	.355*	-,162	,035
Al									1,000	-,054	-,066	,052	-,142
Ni										1,000	.301*	,039	,118
Fenol											1,000	-,061	,181
Hipp. Asit												1,000	-,047

As, Cu, Zn, Mn, Cr, Hg, Pb, Cd, Co, Al, Ni: µg/L
Fenol, Hippürik Asit, 3-metil hippürik asit: mg/L

As ile Cr ($r = 0,367$, $p < 0,01$), Zn ($r = 0,324$, $p < 0,05$), Hg ($r = 0,322$, $p < 0,05$) ve Ni ($r = 0,447$, $p < 0,01$) arasında istatistiksel olarak anlamlı pozitif korelasyonlar tespit edilmiştir.

Cu ile Zn ($r = 0,510$, $p < 0,01$), Cr ($r = 0,324$, $p < 0,05$) ve Ni ($r = 0,418$, $p < 0,01$) arasında istatistiksel olarak anlamlı pozitif korelasyonlar belirlenmiştir.

Zn ile Cr ($r = 0,464$, $p < 0,01$), Hg ($r = 0,282$, $p < 0,05$) ve Ni ($r = 0,323$, $p < 0,05$) arasında istatistiksel olarak anlamlı pozitif korelasyonlar saptanmıştır.

Mn ile Pb arasında istatistiksel olarak anlamlı negatif bir korelasyon tespit edilmiştir ($r = -0,297$, $p < 0,05$).

Cr ile Hg ($r = 0,310$, $p < 0,05$), Pb ($r = 0,276$, $p < 0,05$), Co ($r = 0,298$, $p < 0,05$), Ni ($r = 0,301$, $p < 0,05$) ve fenol ($r = 0,497$, $p < 0,01$) arasında istatistiksel olarak anlamlı pozitif korelasyonlar belirlenmiştir.

Hg ile Ni ($r = 0,375$, $p < 0,01$) ve 3-metilhipürik asit ($r = 0,303$, $p < 0,05$) arasında istatistiksel olarak anlamlı pozitif korelasyonlar tespit edilmiştir.

Pb ile Cd ($r = 0,727$, $p < 0,01$) ve Al ($r = 0,324$, $p < 0,05$) arasında istatistiksel olarak anlamlı pozitif korelasyonlar belirlenmiştir.

Fenol ile Co ($r = 0,355$, $p < 0,05$) ve Ni ($r = 0,301$, $p < 0,05$) arasında istatistiksel olarak anlamlı pozitif korelasyonlar tespit edilmiştir.

5. TARTIŞMA

Bu çalışma, laboratuvar çalışanlarının kimyasal maruziyet düzeylerini 11 metal (arsenik, bakır, çinko, manganez, krom, cıva, kurşun, kadmiyum, kobalt, alüminyum, nikel) ile toluen, benzen ve ksilen metabolitleri olan hippürik asit, 3-metilhippürik asit ve fenol düzeyleri açısından çok yönlü olarak değerlendiren nadir araştırmalardan biridir. Literatürde, çeşitli meslek gruplarında biyolojik izleme çalışmaları bulunsa da, laboratuvar ortamında hem metallerin hem de solvent metabolitlerinin aynı anda incelendiği kapsamlı bir araştırmaya rastlanmamıştır. Bu bağlamda, elde edilen bulgular hem mevcut maruziyet seviyelerinin anlaşılması hem de iş sağlığı ve güvenliği uygulamalarının etkinliğinin değerlendirilmesi açısından önem taşımaktadır.

Kimyasal maddelere maruz kalmanın insan sağlığı üzerinde hem akut hem de kronik düzeyde çeşitli olumsuz etkiler meydana getirdiği bilinmektedir. Akut maruziyet durumlarında solunum fonksiyonlarında zayıflama, taşikardi, baş ağrısı, vertigo, yorgunluk, gastrointestinal sistem rahatsızlıkları ve dermal reaksiyonlar gibi klinik bulgular gözlemlenebilir. Kronik maruziyetler ise nörolojik fonksiyonlarda bozulmalar, kardiyovasküler sistemde düzensizlikler, hematopoietik sistem parametrelerinde değişiklikler ve endokrin sistemin işleyişinde aksamalara yol açarak, sistemik ve çok yönlü sağlık problemlerine neden olabilir (Mugivhisa vd., 2021; Rehman vd., 2017).

İnsan biyoizlemesi, mesleki ve çevresel ortamlarda bulunan metaller ile diğer kimyasallara karşı sistemik maruziyetin değerlendirilmesinde yaygın ve güvenilir bir yöntem olarak kabul edilmektedir. Çevresel izleme, ortam havasındaki metal konsantrasyonlarının belirlenmesine odaklanırken, biyolojik izleme bireylerin maruziyet yollarını ve bireyler arası farklılıkları dikkate alarak, kişinin organizmasındaki gerçek iç dozu ortaya koyar. Bu yönüyle biyolojik izleme, özellikle iş sağlığı ve güvenliği alanında önemli ve tamamlayıcı bir değerlendirme aracı olarak ön plana çıkmaktadır. Bir metal veya kimyasalın biyolojik izlenebilmesi için, maddenin biyobelirteci veya metabolitinin varlığı ile bu belirtecin doğru ve hassas ölçümünün mümkün olması gerekmektedir. Modern analitik teknikler, özellikle ICP-MS ve yüksek performanslı sıvı kromatografisi HPLC gibi yöntemler, bu ölçümlerde yüksek doğruluk sağlamaktadır (Scheepers, 2021).

Çalışma kapsamında, laboratuvar çalışanlarının organik çözücülere maruziyet düzeylerinin belirlenmesi amacıyla fenol, hippürik asit ve 3-metilhippürik asit biyobelirteçleri üzerinden

biyolojik izleme gerçekleştirilmiştir. Bu parametreler, sırasıyla benzen/fenol, toluen ve ksilen maruziyetini değerlendirmede kullanılan, bilimsel geçerliliği yüksek göstergelerdir.

Tez bulgularına göre, idrar fenol düzeyi ortalama 40,45 ± 61,33 mg/L olup, laboratuvarlar arasında 1,62 ile 242,89 mg/L arasında değişiklik göstermiştir. Çalışmaya katılan 50 laboratuvar personelinden %42 (n=21)'sinin idrar örneklerinde fenol düzeyleri, literatürde belirtilen 25 µg/L'lik biyolojik sınır değerin üzerinde olduğu görülmüştür (Tonguç, 2001). Laboratuvar birimleri arasında fenol düzeyleri açısından istatistiksel olarak anlamlı bir fark saptanmıştır ($p < 0,001$). Laboratuvarlar arasında yapılan analizlerde; Lab A ile Lab B, Lab A ile Lab C, Lab B ile Lab D, Lab B ile Lab E, Lab B ile Lab F, Lab B ile Lab G, Lab C ile Lab D ve Lab C ile Lab E birimleri arasında fenol düzeyleri açısından anlamlı farklar bulunmuştur ($p < 0,05$). Laboratuvarlar arasında fenol düzeylerinde anlamlı farklılıkların bulunması, maruziyetin çalışma ortamına özgü faktörlerden etkilendiğini göstermektedir. İdrar fenol düzeyleri, A, B ve C laboratuvarlarında referans değerlerin üzerinde, D, E, F ve G laboratuvarlarında ise referans aralığında tespit edilmiştir. A, B ve C laboratuvarlarının her biri ayrı binalarda bulunmakta olup havalandırma sistemi mevcut değildir. D, E, F ve G laboratuvarları ise aynı binada bulunmakta olup havalandırma sistemi mevcuttur. Fenol, uçucu bir bileşik olması nedeniyle başta solunum yoluyla maruziyete neden olabilir. Bu bulgular, fenol gibi uçucu bir bileşik için havalandırma sisteminin maruziyetin kontrol altına alınmasında ne kadar kritik bir rol oynadığını net bir şekilde ortaya koymaktadır. Dolayısıyla, bu laboratuvarlardaki fenol maruziyetinin kabul edilebilir seviyelere indirilmesi için yerel ve genel havalandırma sistemlerinin kurulması veya mevcut sistemlerin iyileştirilmesi önerilmektedir. Düzenli eğitimler, etkili denetimler ve sürekli iş sağlığı ve güvenliği farkındalık programlarının da uygulanması gerekmektedir. Ayrıca her laboratuvar biriminin kendi özgün risk profiline göre ayrı risk değerlendirmelerinin yapılması ve hedefe yönelik koruyucu önlemlerin planlanması gerekmektedir.

Toluen maruziyetinin değerlendirilmesinde yaygın olarak kullanılan hippürik asit de mesleki maruziyetin önemli bir biyobelirteci olarak karşımıza çıkmaktadır. Tez bulgularına göre, idrar numunelerinde hipürik asit düzeyi ortalama 888,95 ± 1020,43 mg/L olarak belirlenmiştir. Hipürik asit düzeyleri A, B, C, D, E, F ve G laboratuvarlarında 15,95 ile 7006,39 mg/L arasında değişiklik göstermektedir. Ortalama hippürik asit düzeyinin limit değer (1600 mg/L) altında olduğu görülüp, katılımcıların %4 (n=2)'ünün referans sınır değerini aştığı belirlenmiştir.

Jacobson ve McLean (2003) çalışmasında, atmosferik ksilen düzeyleri ile idrardaki metilhippürik asit seviyeleri arasında istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki bulmuştur. Mordoğan (2020) tarafından farklı anabilim dalı laboratuvarlarında yapılan ölçümlerde, atmosferik ksilen düzeylerinin sınır değerlerin altında olduğu görülmüştür. Fustinoni ve arkadaşları (2021) tarafından yapılan çalışmada, büyük hacimli bir laboratuvarda çevresel, kişisel ve biyolojik izlemeler gerçekleştirilmiştir. Havadaki kimyasal maddeler ve personelin idrarında ölçülen ksilen metaboliti metilhippürik asit düzeyleri kabul edilebilir sınırlar içinde bulunmuştur. Çalışmamızda, idrarda 3-metilhippürik asit düzeyi ortalama 1373,65 ± 493,22 mg/L olarak belirlenmiştir. Bu değer, sınır değer olan 2000 mg/L'nin altında kalmakla birlikte, laboratuvar çalışanlarının %20 (n=10)'si söz konusu sınır değerinin üzerinde ölçülmüştür. Laboratuvar ortamında ksilen maruziyetinin büyük ölçüde kontrol altında tutulduğu söylenebilse de, sınır değerin üzerinde maruziyet gösteren çalışanlar için ek önlemlerin alınması ve maruziyetin düzenli biyolojik izlemelerle takibinin sürdürülmesi önerilmektedir. Ksilen maruziyetine bağlı potansiyel sağlık etkilerinin erken tespiti için düzenli sağlık taramaları yapılması ve semptom takibi önerilmektedir. Ksilen uçucu ve sağlığa zararlı bir solvent olduğu için, mutlaka sızdırmaz ve kapaklı kaplarda saklanmalıdır. Depolama alanları iyi havalandırılmalı, kapalı ve havasız ortamlarda buhar birikimi engellenmelidir.

Laboratuvar ortamında çalışanların maruziyete açık olduğu bir diğer önemli grup da metallerdir. Belirli metallerin yüksek miktarlarda bulunması sağlık sorunlarına yol açma potansiyeline sahiptir. İnsan vücudundaki metal seviyelerinin değerlendirilmesi, bunların zarar potansiyellerini belirlemeye yardımcı olabilir.

Bakır, çinko, manganez, kobalt ve krom, insan metabolizmasında önemli eser elementlerdir. Bakır ve çinko, bağışıklık sistemi ve kardiyovasküler sağlıkta önemli roller üstlenirken; manganez, aşırı birikim durumunda toksik etkilere yol açabilir ve karaciğer hastalıklarıyla ilişkilendirilmektedir. Kobalt, B12 vitamininin yapısında bulunmakta olup, krom ise özellikle insülin metabolizması, glukoz toleransı ve karbonhidrat, yağ ile protein metabolizmasında önemli işlevler üstlenmektedir. Bu eser elementlerin düzeyleri, hem eksiklik hem de fazlalık durumlarında çeşitli sağlık sorunlarına neden olabilir (Da Silva, 2024; Şahin & Türksoy, 2013).

Laboratuvar çalışanlarının idrar numunelerinde ölçülen bakır düzeyi 1160,93 ± 389,84 µg/L, kobalt düzeyi ise1,19 ± 0,77 µg/L olarak belirlenmiş olup, bu değerler sırasıyla 850-1900 µg/L ve 0-2 µg/L olan referans aralıkları içinde yer almaktadır. Çalışanların ortalama

çinko düzeyi 1668,96 ± 707,41 µg/L olarak bulunmuş olup, bu değer referans aralığı (660–1100 µg/L) dışında yer almaktadır. Manganez ortalama düzeyi 9,96 ± 3,32 µg/L olarak ölçülmüş ve referans sınırı (≤2 µg/L) dışındadır. Krom ortalama düzeyi ise 8,47 ± 2,12 µg/L olarak tespit edilmiş olup, referans aralığı (≤5 µg/L) dışındadır. Ayrıca, katılımcıların 30'unda çinko, 50'sinde manganez ve 32'sinde krom düzeyleri referans limitler dışında kalmıştır. Bu durum, geniş bir çalışan grubunu etkileyebilecek olası sistematik bir soruna işaret etmektedir. Yüksek düzeylerin kaynağını araştırırken, literatürdeki çalışmalara benzer şekilde, gıda takviyesi kullanımını önemli bir potansiyel faktör olarak değerlendirdik. Şahin ve Türksoy (2013), gıda takviyelerindeki potansiyel toksik metal düzeylerini değerlendirdikleri çalışmalarında, numunelerdeki Cr, Co, Cu, Zn, As, Se, Mo ve Hg ortalama düzeylerinin uluslararası kuruluşlarca belirlenen sınırların üzerinde olduğunu bildirmişlerdir. García-Rico ve arkadaşları (2007) ise diyet takviyelerinde en yaygın bulunan elementlerin Cu ve Zn olduğunu belirtmişlerdir. Udousoro ve arkadaşları (2017) tarafından gerçekleştirilen araştırmada, bazı gıda takviyelerindeki Cu, Mn, Mo, Pb ve Zn düzeylerinin izin verilen maksimum sınırları aştığı saptanmıştır. Çalışmamızda da gıda takviyesi kullanımı ile idrardaki manganez ve krom düzeyleri arasında anlamlı fark bulunmuştur ($r = 0,50$, $p < 0,05$; $r = 0,53$, $p < 0,05$). Ayrıca korelasyon analizinde Zn ile Cr arasında ($r = 0,464$, $p < 0,01$), Cu ile Zn arasında ise ($r = 0,510$, $p < 0,01$) anlamlı pozitif korelasyonlar gözlenmiştir. Bu durum eser ortak maruziyet kaynaklarının varlığına işaret etmektedir. Bu sonuç, gıda takviyelerinin bu metallerin biyolojik düzeylerine katkıda bulunabileceğini ve beslenme yoluyla maruziyetin önemli bir rol oynayabileceğini göstermektedir. Maruziyetin azaltılması için düzenli biyolojik izleme, iş sağlığı önlemlerinin güçlendirilmesi ve gıda takviyesi kullanımında bilinçlendirme önerilmektedir. Gelecek çalışmalarda, mesleki ve çevresel maruziyetin etkilerini ayrıştırmak için kontrol grubuyla yapılacak karşılaştırmalı çalışmalar çalışan sağlığının korunması ve sürdürülebilir iş güvenliği için önemlidir.

Cıva maruziyeti sinir sistemi, böbrekler, bağışıklık ve üreme sistemi üzerinde zararlı etkilere yol açabilir. Bu etkiler, maruziyetin dozu, süresi ve maruz kalma yoluna bağlı olarak değişir. Dünya Sağlık Örgütü tarafından halk sağlığı açısından en çok endişe duyulan on kimyasaldan biri olarak listelenmiştir. Çalışmamızda alınan idrar numunelerinde ortalama cıva düzeyi 2,32 ± 0,75 µg/L olarak belirlenmiştir. Tüm katılımcıların cıva düzeyleri kabul edilen limit değer olan 10 µg/L'nin altında kalmıştır. Bu

sonuç, laboratuvar çalışanlarının cıva maruziyetinin genel olarak kontrollü ve güvenli seviyelerde olduğunu göstermektedir.

Literatürdeki çeşitli çalışmalarda, amalgam dolgu ile idrar cıva düzeyi arasında istatistiksel olarak anlamlı pozitif ilişkiler bildirilmiştir (Kingman vd., 1998; Dutton vd., 2013; Park vd., 2023). Çalışmamızda, dişlerdeki amalgam dolgu varlığı ve dolgu sayısı ile idrarda tespit edilen cıva düzeyleri arasında istatistiksel açıdan anlamlı bir ilişki gözlenmemiştir. Aslında beklenti, bu iki değişken arasında anlamlı bir korelasyonun olması yönündeydi. Bu sonuç sınırlı örneklem büyüklüğü, bireyler arası metabolik farklılıklar, amalgam dolguların yaşı ve uygulanma şekli ile katılımcıların diyet veya çevresel kaynaklı cıva maruziyetlerinden etkilenmiş olabilir.

Tez çalışmamızda laboratuvar çalışanlarının idrar örneklerinde saptanan ortalama arsenik düzeyi 6,38 ± 1,32 µg/L olarak bulunmuş olup, bu değer Güney Kore'de genel nüfus üzerinde gerçekleştirilen ve 7,10 µg/L ortalama arsenik düzeyi bildiren çalışmaya kıyasla daha düşük seviyededir (Bae vd., 2013). Ortalama değer, limit değerin (0-35 µg/L) altında olup, arsenik maruziyetinin kabul edilebilir seviyelerde olduğunu göstermektedir. Tüm katılımcıların ölçülen değerleri literatürde kabul edilen referans sınırları içerisinde yer almaktadır.

Hg, As, Cd ve Pb gibi ağır metaller, insanlarda zehirlenmeye yol açan en yaygın maddelerdendir. Yaptığımız çalışmada, balık ve deniz ürünleri tüketimi ile idrardaki arsenik, cıva, krom ve alüminyum seviyeleri arasında istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki bulunmuştur ($p < 0.05$). Bu sonuç, beslenme düzeninin vücutta toksik elementlerin birikiminde önemli bir rol oynadığını ve bu elementlere maruziyetin diyet yoluyla artabileceğini göstermektedir. Literatürde de benzer şekilde, bu parametrelere maruziyetin ana yollarından birinin özellikle balık ve deniz ürünleri tüketimi olduğu ve bu besinlerin cıva, kurşun ve kadmiyum içeriğinin diğer gıdalara göre daha yüksek olabileceği belirtilmektedir. Dolayısıyla, bulgularımız mevcut çalışmalarla uyumlu olup, diyetin bu parametrelerin maruziyetinde önemli bir faktör olduğunu desteklemektedir (Castro-González & Méndez-Armenta, 2008; Filippini vd., 2018; Park & Lee, 2013).

Mordoğan (2020) tarafından bir anabilim dalı laboratuvarında kimyasal madde ölçüm sonuçlarında kadmiyum ve kurşunun sınır değerlere oldukça yakın seviyelerde olduğu tespit edilmiştir Çalışmamızda laboratuvar çalışanlarının idrar örneklerinde kurşun düzeyi ortalama 25,19 ± 10,73 µg/L olarak tespit edilmiştir. Bu değer, literatürde kurşun için

kabul edilen limit değer (0–80 µg/L) aralığında yer almaktadır. Katılımcıların tamamında kurşun düzeylerinin bu referans aralığı içerisinde kaldığı belirlenmiştir. Kadmiyum düzeyi ise katılımcıların idrar örneklerinde ortalama 1,31 ± 0,89 µg/L olarak saptanmıştır. Bu değer, kadmiyum için belirlenmiş limit değer (0-2,6 µg/L) içinde yer almaktadır. Katılımcıların %8 (n=4)'inin referans değerler arasında olmadığı tespit edilmiştir. Katılımcıların küçük bir bölümünde bu referans değer üzerinde ölçümler yapılması, bu bireylerde potansiyel ek maruziyet veya bireysel farklılıkların varlığına işaret etmektedir.

Sigara kullanımı, başta kadmiyum, kobalt ve krom olmak üzere çeşitli toksik elementlerin vücut düzeylerini artırabilen önemli bir çevresel maruziyet kaynağıdır. Bu metaller, tütün bitkisinin yetiştiği topraktaki metal içeriğine bağlı olarak bitkiye geçmekte ve sigara yoluyla vücuda alınmaktadır (Ashraf, 2012). Mansouri ve arkadaşları (2020) tarafından İran'da yapılan bir çalışmada sigara içen bireylerin idrarında kadmiyum, kobalt ve krom düzeylerinin, sigara kullanmayanlara kıyasla anlamlı düzeyde yüksek olduğu saptanmıştır. Benzer şekilde Alkufi ve arkadaşları (2024) tarafından yapılan bir çalışmada sigara içen bireylerin idrarında kadmiyum, krom ve kurşun konsantrasyonlarının sigara içmeyenlere kıyasla istatistiksel olarak anlamlı şekilde daha yüksek olduğu bulunmuştur. Buna karşın, laboratuvar çalışanlarını kapsayan mevcut çalışmada sigara kullanımı ile idrarla atılan metal ve metabolit düzeyleri arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark saptanmamıştır ($p > 0.05$). Bu durum örneklem büyüklüğü, katılımcıların çevresel maruziyetleri, sigara tüketim alışkanlıkları veya bireysel metabolizma farklılıkları gibi nedenlerden kaynaklanmış olabilir.

Çalışmamızda laboratuvar çalışanlarının idrar örneklerinde alüminyum düzeyi ortalama 3,64 ± 2,08 µg/L olarak bulunmuş ve ortalamanın sınır değeler (0-7 µg/L) aralığında olduğu görülmüştür. Katılımcıların tamamında idrar alüminyum düzeyi referans değer aralığındadır. Çalışanların idrar örneklerinde ortalama nikel düzeyi ise 1,80 ± 1,94 µg/L olarak tespit edilmiştir. Bu ortalama değerin de sınır değer (0 – 5,2 µg/L) içerisinde olduğu belirlenmiştir. Katılımcıların %8 (n=4)'inin referans aralığı dışında olduğu görülmektedir. Bu bağlamda, laboratuvar çalışanlarının idrarlarındaki alüminyum ve nikel düzeylerinin genel olarak referans aralıklar içinde seyrederek maruziyetin kontrol altında olduğunu göstermektedir.

Şahin ve arkadaşları (2021) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, Yozgat ilinde tüketime sunulan tavuk eti ve karaciğeri örnekleri arasında Al, Cr, Mn, Co, Zn, As, Se ve Sn düzeyleri bakımından istatistiksel olarak anlamlı fark saptanmıştır. Çalışmamızda ise tavuk

eti tüketimi ile krom ve alüminyum düzeyleri arasında anlamlı ilişki saptanmıştır ($p < 0.05$). Bu bulgu, tavuk eti tüketiminin belirli metal maruziyetlerine katkıda bulunabileceğini ve beslenme alışkanlıklarının biyolojik metal yüklenmesinde rol oynayabileceğini göstermektedir.

Laboratuvar birimleri arasında idrar örneklerindeki cıva, krom ve fenol düzeylerinde çok anlamlı ($p < 0,01$), manganez düzeyinde ise anlamlı ($p < 0,05$) farklılıklar belirlenmiştir. Laboratuvar birimleri arasında fenol düzeylerine yönelik yapılan analizlerde; Lab A ile Lab B, Lab A ile Lab C, Lab B ile Lab D, Lab B ile Lab E, Lab B ile Lab F, Lab B ile Lab G, Lab C ile Lab D, Lab C ile Lab E ve Lab C ile Lab F arasında istatistiksel olarak anlamlı farklar gözlenmiştir. Krom düzeylerine yönelik yapılan analizlerde; Lab A ile Lab B, Lab A ile Lab C, Lab B ile Lab D, Lab B ile Lab G ve Lab C ile Lab G karşılaştırmalarında istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar saptanmıştır. Laboratuvar birimleri arasında manganez düzeylerine yönelik yapılan analizlerde; Lab B ile Lab D, Lab B ile Lab E, Lab B ile Lab F ve Lab E ile Lab G karşılaştırmalarında istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar görülmüştür. Cıva açısından ise Lab A ile Lab C, Lab A ile Lab E, Lab B ile Lab C, Lab C ile Lab D, Lab C ile Lab E ve Lab C ile Lab G karşılaştırmalarında istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar gözlenmiştir. Özellikle Lab B ve C için diğer laboratuvar birimleriyle karşılaştırıldığında daha belirgin farklılıklar sergilediği dikkat çekmiştir. Bu farklılıklar laboratuvar birimlerinin çalışma ortamlarındaki maruziyet seviyelerinin, kullanılan kimyasalların türü ve yoğunluğunun, kişisel koruyucu ekipman kullanım alışkanlıklarının, çalışma sürelerinin ve hijyen uygulamalarının farklı olmasından kaynaklanabilir. Ayrıca, laboratuvarlarda yürütülen işlemlerin çeşitliliği ve kullanılan malzeme ile kimyasal madde miktarındaki değişkenlikler, biyolojik maruziyet düzeylerinin laboratuvarlar arasında farklılaşmasına yol açabilir. D, E, F ve G laboratuvarlarının aynı bina içinde bulunması ve ortak bir havalandırma sistemine sahip olmaları, kimyasal maruziyetin daha kontrollü ve homojen dağılmasına olanak tanıyabilir. Buna karşın B ve C laboratuvarlarının diğer laboratuvarlardan ayrı yerlerde bulunması ve havalandırma sistemlerinin olmaması, zararlı maddelerin birikmesine ve dolayısıyla çalışanların maruziyetinin artmasına neden olabileceğini düşündürmektedir.

Laboratuvarlar, farklı araştırmaların yapıldığı ve çeşitli risklerin mevcut olduğu çalışma alanlarıdır. Bu alanlarda kullanılan kimyasal ve fiziksel maddeler, uygun önlemler alınmadığında çalışan sağlığı açısından potansiyel tehlike oluşturabilir. Araştırmacılar ve çalışanlar ciltte tahrişe yol açabilen, patlama riski taşıyan, kolayca yanabilen, radyoaktif

özellik gösteren veya insan sağlığı için tehlike oluşturabilecek çeşitli maddelerle çalışmaktadır (Igbashio vd., 2022). Papadopoli ve arkadaşları (2020) tarafından bir araştırma laboratuvarında yürütülen çalışmada, katılımcıların büyük bir kısmı laboratuvar ortamını genel olarak güvenli olarak değerlendirmiş; ancak katılımcıların yaklaşık beşte biri bu ortamı güvensiz olarak tanımlamıştır. Benzer şekilde, Leung (2021) tarafından Hong Kong'daki iki üniversitede toplam 91 laboratuvar çalışanıyla gerçekleştirilen araştırmada, katılımcıların %79,1'i laboratuvarların çalışmak için güvenli bir yer olduğunu ifade etmiştir. Çalışmamızda ise laboratuvar çalışanlarının %50 (n=25)'si iş yerini tehlikeli, %30 (n=15)'u çok tehlikeli, %12 (n=6) 'si az tehlikeli olarak sınıflandırmıştır. Diğer araştırmalara kıyasla, katılımcıların %80'inin çalıştıkları ortamı tehlikeli veya çok tehlikeli olarak nitelendirmesi, laboratuvar güvenliğine ilişkin önemli sorunların varlığına işaret etmektedir. Bu durumun, yetersiz güvenlik önlemleri, eksik ya da etkisiz eğitim programları, risk yönetimi uygulamalarındaki aksaklıklar ile çalışanların güvenlik kültürüne ilişkin bilgi, tutum ve davranış düzeylerinin yetersizliği gibi çeşitli faktörlerden kaynaklanabileceği düşünülmektedir.

Laboratuvar ortamlarında kimyasalların yanlış veya bilinçsiz kullanımı, çalışan sağlığı açısından ciddi riskler taşımaktadır. Bu risklerin azaltılması için, kimyasalların güvenli kullanımına ilişkin bilgilerin doğru, güncel ve kolay erişilebilir kaynaklardan sağlanması büyük önem arz etmektedir. Bu kapsamda GBF, kimyasalların fiziksel ve kimyasal özellikleri, sağlık etkileri, maruziyet yolları, depolama ve bertaraf yöntemleri ile kişisel koruyucu önlemler hakkında kapsamlı bilgi sunarak çalışanlara rehberlik etmektedir. GBF'lerin etkin kullanımı, kimyasal güvenliğin sağlanmasında temel araçlardan biridir (Stuart & McEwen, 2016).

Weil (2016) tarafından gerçekleştirilen bir ankette, araştırma kurumlarındaki laboratuvar personelinin kimyasal tehlikeler hakkında bilgi edinmede en çok güvenlik bilgi formlarına başvurduğu saptanmıştır. Ancak mevcut çalışmamızda, katılımcıların yalnızca %40'ının (n=20) GBF'leri düzenli olarak kullandığı belirlenmiştir. Benzer şekilde, kimyasalların toksikolojik özelliklerini bildiğini ifade edenlerin oranı %44 (n=22), maruziyet sınır değerlerini bildiğini belirtenlerin oranı ise %22 (n=11) olarak tespit edilmiştir. Ayrıca, "Kimyasalların acil durum ve ilkyardım prosedürlerine hakimim" sorusuna olumlu yanıt verenlerin oranı da %40 (n=20) olarak belirlenmiştir. Bu veriler, kimyasalların güvenli kullanımı, maruziyetin kontrolü ve acil durum müdahaleleri konusunda önemli bilgi eksikliklerine işaret etmektedir. Özellikle, olası kimyasal kazalarda solunum, yutma, göz

veya cilt teması gibi durumlarda uygun müdahalenin yapılamaması, yaralanmaların ve sağlık sorunlarının şiddetini artırma riski taşımaktadır. Bu nedenle, laboratuvar personelinin kimyasal maddelere maruz kalma durumunda nasıl müdahale edileceği konusunda bilgi sahibi olması veya hızlıca başvurabilecekleri GBF gibi kaynakların erişilebilirliğinin sağlanması hayati önem taşımaktadır. GBF'lere erişimde yaşanan kısıtlılıklar, eğitim yetersizliği ve farkındalık eksikliği bu eksikliklerin temel nedenleri arasında yer almakta olup, dijital veri tabanları ve mobil uygulamalar aracılığıyla hızlı ve kolay erişimin sağlanması gerekmektedir.

Kişisel koruyucu donanımlar (KKD), kullanıcıyı tehlikelerden ve zararlı maddelerden korumaya yönelik tasarlanmış ekipman ve giysilerdir. Laboratuvar ortamlarında, tehlikeli kimyasallara maruziyet riski bulunması nedeniyle, laboratuvar personelinin yürütülen çalışmanın niteliği ve kullanılan kimyasalların özelliklerine uygun tür ve düzeyde KKD kullanması zorunludur. Uygun KKD seçimi ve kullanımı, yalnızca kimyasal risklere karşı değil, aynı zamanda biyolojik, radyolojik ve mekanik tehlikelere karşı da etkin koruma sağlamaktadır. Weil (2016) bir araştırma kurumundaki laboratuvar personellerine yaptığı çalışmada, katılımcıların (n=94) çalışma sırasında %95'inin eldiven, %91'inin önlük, %49'unun güvenlik gözlüğü, %23'ünün cerrahi maske ve %19'unun ise yüz kalkanı kullandığını belirtmiştir. Housni ve arkadaşları (2023) tarafından bilimsel araştırma laboratuvarlarında çalışan personellere (n=205) yapılan ankette laboratuvarlarda %33.33 oranında eldiven, %22.35 oranında önlük, %18.04 gözlük, %8.63 oranında solunum koruma maskeleri ve %5.88 oranında yüz siperliği kullandığı belirlendi. Emerce ve Güçiz Doğan (2017) tarafından analiz ve kontrol laboratuvarları dairesi çalışanlarıyla (n=93) yürütülen çalışmada ise, katılımcıların %84.9'u her zaman eldiven, %66.7'si koruyucu gözlük, %6.5'i maske ve %12.9'u diğer KKD'leri düzenli olarak kullandığını belirtmiştir. Leung (2021), Hong Kong'daki iki üniversitede gerçekleştirdiği çalışmada, 91 laboratuvar çalışanının %83,5'inin KKD kullanımını sıklıkla tercih ettiğini raporlamıştır. Aquino ve arkadaşları (2016) tarafından 18 laboratuvar teknisyeniyle yapılan bir araştırmada ise, teknisyenlerin tamamının rutin olarak laboratuvar önlüğü kullandığı, ancak yalnızca %50'sinin lateks eldiven kullanmayı tercih ettiği belirlenmiştir. Mevcut çalışmada KKD kullanım oranları incelendiğinde, katılımcıların %84'ünün iş eldiveni, %68'inin iş elbisesi, %50'sinin maske, %32'sinin gözlük, %14'ünün yüz koruyucu, %6'sının iş ayakkabısı ve %4'ünün cilt koruyucu kullandığı belirlenmiştir. Eldiven ve iş elbisesi kullanım oranlarının görece yüksek olması, temel koruyucu ekipmanların tercih edildiğini göstermektedir.

Ancak maske, gözlük ve özellikle yüz koruyucu, iş ayakkabısı ile cilt koruyucu kullanım oranlarının düşük kalması, laboratuvar ortamında tam koruma sağlanmasında eksikliklerin olduğunu ortaya koymaktadır. Bu durum, KKD kullanımının artırılması ve çalışanların farkındalıklarının geliştirilmesine yönelik eğitim programlarının gerekliliğine işaret etmektedir.

Matbaa çalışanlarıyla yürütülen bir çalışmada, günlük çalışma süresi ve KKD kullanımının, idrar ve serumda ölçülen metal düzeylerini anlamlı şekilde azalttığı bildirilmiştir (Decharat, 2015). Benzer şekilde, Cr(VI)'ya mesleki maruziyet riski taşıyan sektörlerde çalışan bireylerle yapılan araştırmada da KKD kullanımının maruziyet düzeylerini istatistiksel olarak anlamlı biçimde düşürdüğü raporlanmıştır (Viegas vd., 2022). Ancak mevcut çalışmamızda, günlük çalışma süresi ve KKD kullanımı ile idrarda tespit edilen metal ve metabolit düzeyleri arasında anlamlı bir ilişki bulunmamıştır ($p > 0,05$). Bu durum, KKD kullanımının etkinliği, uygunluğu ve düzenliliği ile ilgili olası eksiklikler ya da çalışma ortamındaki maruziyet kaynaklarının farklılığı gibi faktörlerden kaynaklanabilir.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Dünya Sağlık Örgütü, iş sağlığını tüm mesleklerde çalışanların bedensel, ruhsal ve sosyal iyilik halinin en yüksek düzeyde tutulması ve geliştirilmesi amacıyla toplum sağlığı alanında yürütülen bir çalışma olarak tanımlamaktadır. Çalışanların çalışma koşullarından kaynaklı sağlık bozulmalarının önlenmesi, çalışanın hem ruhsal hem bedensel koşullarına uygun çalışma ortamına yerleşmesi ve bu ortamın korunması amaçlanır. Etkili mesleki sağlık uygulamaları çalışanların sağlıklarını koruma ve hastalıkları önleme amacına yönelik olarak, işyeri streslerinin belirlenmesi, çalışan sağlığının tahmin edilmesi ve sürekli izlenmesiyle sağlanır.

Biyolojik izleme, çalışanların mesleki risk faktörlerine maruziyetini ve etkilerini değerlendirmeyi amaçlayan bir süreçtir. Çalışanların işyerinde karşılaştıkları tehlikeli kimyasallara maruziyetlerini değerlendirmek ve gerektiğinde maruziyet azaltma stratejileri uygulamak için kullanılır. Bireylerin farklı yollarla kimyasallara maruziyetini değerlendirmede önemli bir araçtır. Biyolojik izleme mesleki risk değerlendirmesinde önemli bir rol oynar. Çalışanların maruz kalabileceği kimyasal risk faktörlerinin erken saptanması, sürdürülebilir bir iş gücü ve sağlıklı bir toplum için temel bir adımdır. Sağlık ve güvenliği esas alan bir çalışma ortamı, yalnızca çalışanların refahını değil, aynı zamanda iş verimliliğini ve ülke ekonomisine yapılan stratejik bir yatırımı da temsil eder.

Çalışmamız kapsamında toplam 7 farklı birimde çalışan 50 laboratuvar çalışanından idrar numunesi alınarak analiz yapılmıştır. Arsenik, bakır, çinko, manganez, krom, cıva, kurşun, kadmiyum, kobalt, alüminyum, nikel metalleri ve fenol, hippürik asit, 3-metil hippürik asit metabolitleri değerlendirilmiştir. İdrada çinko, manganez ve krom metalleri ile fenol haricindeki parametreler limit değerler arasında bulunmuştur.

Bu çalışmada elde edilen bulgular doğrultusunda, laboratuvar çalışanlarının kimyasal maruziyetlerini en aza indirmek amacıyla çeşitli önlem önerilmektedir. Öncelikle, çalışanların biyolojik izlem kapsamında düzenli aralıklarla değerlendirilmesi büyük önem taşımaktadır. Tespit edilen yüksek düzeyler, maruziyetin varlığını ortaya koyduğundan dolayı hem bireysel sağlık takibi yapılmalı hem de riskin kaynağına yönelik önlemler geliştirilmelidir. Bununla birlikte, kişisel koruyucu donanım kullanımının etkinliği artırılmalı, eldiven, önlük, maske ve gözlük gibi ekipmanların kullanımının sürekliliği hem eğitimlerle desteklenmeli hem de düzenli denetimlerle sağlanmalıdır. Ayrıca, laboratuvar çalışanlarına yönelik kimyasal güvenlik, toksikoloji ve KKD kullanımı konularında hizmet

içi eğitimler verilerek, maruziyet konusunda farkındalık düzeyi artırılmalıdır. Son olarak, çalışma ortamındaki havalandırma sistemlerinin etkinliği gözden geçirilmeli ve tehlikeli kimyasal maddelere yönelik mühendislik kontrolleri iyileştirilmelidir. Bu tür önlemler, çalışan sağlığını koruma ve güvenli bir laboratuvar ortamı sağlama açısından kritik bir öneme sahiptir.

Bununla birlikte, iş sağlığı ve güvenliği uygulamaları yalnızca bireysel değil, kurumsal düzeyde de ele alınmalıdır. Risk değerlendirmeleri düzenli olarak güncellenmeli, acil durum eylem planları hazırlanmalı ve tatbikatlarla çalışanların hazır bulunuşluğu artırılmalıdır. Çalışma ortamında güvenlik kültürünün oluşturulması, çalışanların yalnızca kuralları uygulaması değil, aynı zamanda güvenlik süreçlerine aktif katılım göstermesiyle mümkündür. Bu bağlamda yöneticilerin liderliği ve kurum politikalarının kararlılığı da İSG uygulamalarının sürdürülebilirliği açısından kritik öneme sahiptir.

Bu çalışma, yalnızca Yozgat Bozok Üniversitesi'ndeki 50 laboratuvar çalışanı ile sınırlı bir örneklem üzerinden yürütülmüştür. Biyolojik izlemde sadece belirli metaller ve bazı solvent metabolitleri idrar örnekleriyle analiz edilmiştir. Kan gibi diğer biyolojik örnekler ve mevsimsel etkiler değerlendirme dışında bırakılmıştır. Ayrıca numuneler laboratuvara kısa zamand ulaştırılamadığından kreatinin düzeyleri ölçülememiştir. Bu kısıtlar, sonuçların kapsamını daraltmaktadır. Gelecek çalışmalarda daha kapsamlı ve genellenebilir sonuçlar elde edebilmek adına, farklı kurum ve bölgelerdeki laboratuvar çalışanlarını kapsayan daha geniş örneklem gruplarıyla çalışmalar yürütülebilir. Biyolojik izleme sürecinde yalnızca idrar değil, kan gibi diğer biyolojik örnek türleri de değerlendirmeye alınarak daha bütüncül bir maruziyet analizi yapılabilir. Ayrıca, mevsimsel veya uzun dönemli maruziyet farklılıklarını ortaya koyabilmek için izlem periyotları yıl içine yayılmalı ve takip süresi uzatılabilir. Numune kalitesini artırmak amacıyla, biyolojik örneklerin alındıktan hemen sonra analiz laboratuvarına ulaştırılması sağlanarak kreatinin düzeyi gibi düzeltici biyobelirteçlerin ölçümüne de yer verilebilir.

7. KAYNAKLAR

Abd Elnabi, M. K., Elkaliny, N. E., Elyazied, M. M., Azab, S. H., Elkhalifa, S. A., Elmasry, S., Mouhamed, M. S., Shalamesh, E. M., Alhorieny, N. A., Abd Elaty, A. E., Elgendy, I. M., Etman, A. E., Saad, K. E., Tsigkou, K., Ali, S. S., Kornaros, M., & Mahmoud, Y. A. G. (2023). Toxicity of heavy metals and recent advances in their removal: A review. *Toxics, 11*(7), 580. **https://doi.org/10.3390/toxics11070580**

Abedsoltan, H., & Shiflett, M. B. (2024). Mitigation of potential risks in chemical laboratories: A focused review. *ACS Chemical Health Safety, 31*(2), 104 –120. **https://doi.org/10.1021/acs.chas.3c00097**

Adeogun, A. E., Ogunleye, O. D., Akhigbe, T. M., Oyedokun, P. A., Adegbola, C. A., Saka, W. A., Afolabi, O. A., & Akhigbe, R. E. (2024). Impact of arsenic on male and female reproductive function: A review of the pathophysiology and potential therapeutic strategies. *Naunyn-Schmiedeberg's Archives of Pharmacology, 397*(6), 1209–1223. **https://doi.org/10.1007/s00210-024-03452-6**

Agarwal, P., Goyal, A., & Vaishnaw, R. (2018). Chemical hazards in pharmaceutical idustry: An overview. *Asian Journal of Pharmaceutical and Clinical Research, 11*(2), 27-35. **http://dx.doi.org/10.22159/ajpcr.2018.v11i2.23160**

Ahlström, M. G., Thyssen, J. P., Wennervaldt, M., Menné, T., & Johansen, J. D. (2019). Nickel allergy and allergic contact dermatitis: A clinical review of immunology, epidemiology, exposure, and treatment. *Contact Dermatitis, 81*(4), 227-241. **https://doi.org/10.1111/cod.13327**

Akbal, A., Reşorlu, H., & Savaş, Y. (2015). Ağır metallerin kemik doku üzerine toksik etkileri. *Türk Osteoporoz Dergisi, 21*, 30-33. **https://doi.org/10.4274/tod.31644**

Alasfar, R.H., & Isaifan, R. J. (2021). Aluminum environmental pollution: The silent killer. *Environmental Science Pollution Research, 28*, 44587–44597. **https://doi.org/10.1007/s11356-021-14700-0**

Alkufi, A. A., Oleiwi, M. H., & Abojassim, A. A. (2024). Comparison of heavy metals in urine samples of smoker and non-smoker persons. *Biological Trace Element Research, 202*, 5349–5355. **https://doi.org/10.1007/s12011-024-04097-5**

Ana-Lilia, G. Y., Carlos, K., Kazimierz, W., Elva-Leticia, P. L., Katarzina, W., & Gloria, B. (2006). Occupational exposure to toluene and its possible causative role in renal damage development in shoe workers. *International Archives Occupational Environmental Health, 79*, 259–264. **https://doi.org/10.1007/s00420-005-0001-7**

Anderson, S. E., & Meade, B. J. (2014). Potential health effects associated with dermal exposure to occupational chemicals. *Environmental Health Insights, 8*(1), 51-62. **https://doi.org/10.4137/ehi.s15258**

Aquino, T. D., Zenkner, F. F., Ellwanger, J. H., Pra, D., & Rieger, A. (2016). DNA damage and cytotoxicity in pathology laboratory technicians exposed to organic solvents. *Anais da Academia Brasileira de Ciências, 88*(1), 227-236. **https://doi.org/10.1590/0001-3765201620150194**

Ashraf, M. W. (2012). Levels of heavy metals in popular cigarette brands and exposure to these metals via smoking. *The Scientific World Journal,* 729430. **https://doi.org/10.1100/2012/729430**

Asiry, S., & Ang, L.C. (2018). Laboratory safety: Chemical and physical hazards. *Biobanking,* 1897, 243–252. **https://doi.org/10.1007/978-1-4939-8935-5_21**

Assadi, S. N. (2017). Electrocardiographic changes and exposure to solvents. *Journal of Arrhythmia, 34*(1), 65–70. **https://doi.org/10.1002/joa3.12014**

Ateş, A., & Kavaklı Vatansever, B. (2018). Ar-Ge kuruluşunda kimyasal maddelerin sınıflandırılması, etiketlenmesi, ambalajlanması, depolanması, taşınması ve oluşan kimyasal atıkların bertarafı. *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 22*(2), 159-173. **https://doi.org/10.16984/saufenbilder.292664**

Bae, H. S., Ryu, D. Y., Choi, B. S., & Park, J. D. (2013). Urinary arsenic concentrations and their associated factors in Korean adults. *Toxicological Research, 29*(2), 137–142. **https://doi.org/10.5487/TR.2013.29.2.137**

Bahadar, H., Mostafalou, S., & Abdollahi, M. (2014). Current understandings and perspectives on non-cancer health effects of benzene: A global concern. *Toxicology and Applied Pharmacology, 276*(2), 83–94. **https://doi.org/10.1016/j.taap.2014.02.012**

Baj, J., Flieger, W., Barbachowska, A., Kowalska, B., Flieger, M., Forma, A., Teresiński, G., Portincasa, P., Buszewicz, G., Radzikowska-Büchner, E., & Flieger, J. (2023).

Consequences of disturbing manganese homeostasis. *International Journal of Molecular Sciences, 24*(19), 14959. **https://doi.org/10.3390/ijms241914959**

Bautista, C. J., Arango, N., Plata, C., Mitre-Aguilar, I. B., Trujillo, J., & Ramírez, V. (2024). Mechanism of cadmium-induced nephrotoxicity. *Toxicology, 502*, 153726. **https://doi.org/10.1016/j.tox.2024.153726**

Boogaard, P. J. (2022). Human biomonitoring of low-level benzene exposures. C*ritical Reviews in Toxicology, 52*(10), 799-810. **https://doi.org/10.1080/10408444.2023.2175642**

Bouabid, S., Tinakoua, A., Lakhdar-Ghazal, N., & Benazzouz, A. (2015). Manganese neurotoxicity: behavioral disorders associated with dysfunctions in the basal ganglia and neurochemical transmission. *Journal of Neurochemistry, 136*(4), 677–691. **https://doi.org/10.1111/jnc.13442**

Bryliński, Ł., Kostelecka, K., Woliński, F., Duda, P., Góra, J., Granat, M., Flieger, J., Teresiński, G., Buszewicz, G., Sitarz, R., & Baj, J. (2023). Aluminium in the human brain: Routes of penetration, toxicity, and resulting complications. *International Journal of Moleculer Sciences, 24*(8), 7228. **https://doi.org/10.3390/ijms24087228**

Buxton, S., Garman, E., Heim, K. E., Lyons-Darden, T., Schlekat, C. E., Taylor, M. D., & Oller, A. R. (2019). Concise review of nickel human health toxicology and ecotoxicology. *Inorganics, 7*(7), 89. **https://doi.org/10.3390/inorganics7070089**

Camel, V., Maillard, M. N., Descharles, N., Roux, E. L., Cladière, M., & Billault, I. (2021). Open digital educational resources for self-training chemistry lab safety rule. *Journal of Chemical Education, 98*(1), 208-217. **https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.0c00094**

Castro-González, M. I., & Méndez-Armenta, M. (2008). Heavy metals: Implications associated to fish consumption. *Environmental Toxicology and Pharmacology, 26*(3), 263–271. **https://doi.org/10.1016/j.etap.2008.07.008**

Chakraborty, I., Renu, K., Eladl, M. A., El-Sherbiny, M., Elsherbini, D. M. A., Mirza, A. K., Vellingiri, B., Iyer, M., Dey, A., & Gopalakrishnan, A. V. (2022). Mechanism of chromium-induced toxicity in lungs, liver, and kidney and their ameliorative

agents. *Biomedicine & Pharmacotherapy, 151,* 113119. **https://doi.org/10.1016/j.biopha.2022.113119**

Charkiewicz, A. E., Omeljaniuk, W. J., Nowak, K., Garley, M., & Nikliński, J. (2023). Cadmium toxicity and health effects—A brief summary. *Molecules, 28*(18), 6620. **https://doi.org/10.3390/molecules28186620**

Chiavarini, M., Rosignoli, P., Sorbara, B., Giacchetta, I., & Fabiani, R. (2024). Benzene exposure and lung cancer risk: A systematic review and meta-analysis of human studies. *International Journal of Environmental Research and Public Health, 21*(2), 205. **https://doi.org/10.3390/ijerph21020205**

Christopher, M. F., William, H., B., & Demasters, K. (2004). The effects of toluene on the central nervous system. *Journal of Neuropathology & Experimental Neurology,*63(1), 1-12. **https://doi.org/10.1093/jnen/63.1.1**

Ciosek, Ż., Kot, K., Kosik-Bogacka, D., Łanocha-Arendarczyk, N., & Rotter, I. (2021). The effects of calcium, magnesium, phosphorus, fluoride, and lead on bone tissue. *Biomolecules. 11*(4), 506. **https://doi.org/10.3390/biom11040506**

Corrin, B, & Nicholson A. G. (2011). Occupational, environmental and iatrogenic lung disease. *Pathology of the Lungs, 2,* 327-399. **https://doi.org/10.1016/B978-0-7020-3369-8.000070**

Da Silva, J. A. L. (2024). Essential trace elements in the human metabolism. *Biology, 13*(11), 908. **https://doi.org/10.3390/biology13110908**

De Angelis, C., Galdiero, M., Pivonello, C., Salzano, C., Gianfrilli, D., Piscitelli, P., Lenzi, A., Colao, A., & Pivonello, R. (2017). The environment and male reproduction: The effect of cadmium exposure on reproductive function and its implication in fertility. *Reproductive Toxicology, 73,* 105-127. **https://doi.org/10.1016/j.reprotox.2017.07.021**

Decharat, S. (2015). Chromium exposure and hygienic behaviors in printing workers in Southern Thailand. *Journal of toxicology,* 607435. **https://doi.org/10.1155/2015/607435**

Dewi, R., Hamid, Z. A., Rajab, N., Shuib, S., & Razak, S. A. (2020). Genetic, epigenetic, and lineage-directed mechanisms in benzene-induced malignancies and

hematotoxicity targeting hematopoietic stem cells niche. *Human & Experimental Toxicology, 39*(5), 577-595. **https://doi.org/10.1177/0960327119895570**

Dogan, F. (2024). İş sağlığı ve güvenliği açısından kimyasal risk faktörleri. *Premium Sosyal Bilimler E- Dergisi, 8*(39), 236-245.

Dutton, D. J., Fyie, K., Faris, P., Brunel, L., & Emery, J. H. (2013). The association between amalgam dental surfaces and urinary mercury levels in a sample of Albertans, a prevalence study. *Journal of occupational medicine and toxicology, 8*(1), 22. **https://doi.org/10.1186/1745-6673-8-22**

Earn, J. (2022). Exploring the gap in the Occupational Safety And Health Administration (OSHA) laboratory standard: a literature review and recommendations to enhance histology laboratory safety practices. *Journal of Histotechnology, 45*(3), 107–115. **https://doi.org/10.1080/01478885.2022.2099720**

Egorova, K. S., & Ananikov, V. P. (2017). Toxicity of metal compounds: Knowledge and myths. *Organometallics, 36*(21), 4071–4090. **https://doi.org/10.1021/acs.organomet.7b00605**

Emerce, E., & Güçiz Doğan, B. (2017). Eczacılık laboratuvar çalışanlarının laboratuvar güvenliği hakkındaki bilgi ve uygulamaları. *Turk J Public Health, 15*(2), 106-122.

Filippini, T., Malavolti, M., Cilloni, S., Wise, L. A., Violi, F., Malagoli, C., Vescovi, L., & Vinceti, M. (2018). Intake of arsenic and mercury from fish and seafood in a Northern Italy community. *Food and Chemical Toxicology, 116*, 20–26. **https://doi.org/10.1016/j.fct.2018.04.010**

Fu, Z., & Xi, S. (2019). The effects of heavy metals on human metabolism. *Toxicology Mechanisms and Methods, 30*(3), 167-176. **https://doi.org/10.1080/15376516.2019.1701594**

Fustinoni, S., Campo, L., Spinazzè, A., Cribiù, F. M., Chiappa, L., Sapino, A., Mercadante, R., Olgiati, L., Boniardi, L., Cavallo, D. M., Riboldi, L., Ferrero, S., & Boggio, F. (2021). Exposure and management of the health risk for the use of formaldehyde and xylene in a large pathology laboratory. *Annals of Work Exposures and Health, 65*(7), 805–818. **https://doi.org/10.1093/annweh/wxaa141**

Gandhi, D., Rudrashetti, A. P., & Rajasekaran, S. (2021). The impact of environmental and occupational exposures of manganese on pulmonary, hepatic, and renal functions. *Journal of Applied Toxicology, 42*(1), 103-129. **https://doi.org/10.1002/jat.4214**

Garcia, M. D., Hur, M., Chen, J. J., & Bhatti, M. T. (2020). Cobalt toxic optic neuropathy and retinopathy: Case report and review of the literature. *American Journal of Ophthalmology Case Reports, 17,* 100606. **https://doi.org/10.1016/j.ajoc.2020.100606**

García-Rico, L., Leyva-Perez, J., & Jara-Marini, M. E. (2007). Content and daily intake of copper, zinc, lead, cadmium, and mercury from dietary supplements in Mexico. *Food and Chemical Toxicology, 45*(9), 1599–1605. **https://doi.org/ 10.1016/j.fct.2007.02.027**

Genchi, G., Carocci, A., Lauria, G., Sinicropi, M. S., & Catalano, A. (2020). Nickel: Human health and environmental toxicology. *International Journal of Environmental Research and Public Health, 17*(3), 679. **https://doi.org/10.3390/ijerph17030679**

Gomes, P. C. F. de L., D'Andrea, É. D., Mendes, C. B., & Siqueira, M. E. P. B. (2010). Determination of benzene, toluene and n-hexane in urine and blood by headspace solid-phase microextration/gas-chromatography for the biomonitoring of occupational exposure. *Journal of the Brazilian Chemical Society, 21*(1), 119–126. **http://dx.doi.org/10.1590/S0103-50532010000100018**

Guo, H., Liu, H., Jian, Z., Cui, H., Fang, J., Zuo, Z., & Tang, H. (2020). Immunotoxicity of nickel: Pathological and toxicological effects. *Ecotoxicology and Environmental Safety, 203,* 111006. **https://doi.org/1010.1016/j.ecoenv.2020.111006**

Gürkan, E. H. (2018). Sürdürebilir labaratuvar güvenliği kültürü. *Manisa Celal Bayar Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitü Dergisi, 5*(4), 224-230.

Haase, L.-M., Birk, T., Bachand, A. M., & Mundt, K. A. (2021). A health surveillance study of workers in a copper smelting plant: Effects of long-term copper exposure on lung function using spirometric data. *Journal of Occupational and Environmental Medicine, 63*(8), e480–e489. **https://doi.org/10.1097/JOM.0000000000002252**

Hajimohammadi, S., Gharibi, S., Pourbarkhordar, V., Mousavi, S. R., & Izadi, H. S. (2022). Acute poisoning of copper sulfate: A case report and review literature. *Egypt J Intern Med 34,* 84 . **https://doi.org/10.1186/s43162-022-00168-y**

Hantson, P. (2019). Mechanisms of toxic cardiomyopathy. *Clinical Toxicology, 57*(1), 1–9. **https://doi.org/10.1080/15563650.2018.1497172**

Harshitha, P., Bose, K., & Dsouza, H. S. (2024). Influence of lead-induced toxicity on the inflammatory cytokines. *Toxicology, 503,* 153771. **https://doi.org/10.1016/j.tox.2024.153771**

Hassoun, J., Hammer, N., Magini, G., Ponte, B., Ongaro, M., Rougemont, A.-L., Goossens, N., Frossard, J.-L., & Spahr, L. (2021). Management of acute wilsonian hepatitis with severe hemolysis: A successful combination of chelation and MARS dialysis. *Case Reports in Hepatology,* 5583654. **https://doi.org/10.1155/2021/5583654**

He, Y., Qui, H., Wang, W., Lin, Y., & Ho, K.F. (2024). Exposure to BTEX is associated with cardiovascular disease, dyslipidemia and leukocytosis in national US population. *Science of the Total Environment, 919,* 170639. **https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.170639**

Hopf, N. B., Rousselle, C., Poddalgoda, D., Lamkarkach, F., Bessems, J., Schmid, K., Jones, K., Takaki, K., Casteleyn, L., Zare Jeddi, M., Bader, M., Koller, M., Browne, P., FitzGerald, R., Viegas, S., Göen, T., Santonen, T., Väänänen, V., Duca, R.-C., & Pasanen-Kase, R. (2024). A harmonized occupational biomonitoring approach. *Environment International, 191,* 108990. **https://doi.org/10.1016/j.envint.2024.108990**

Hossini, H., Shafie, B., Niri, A. D., Nazari, M., Esfahlan, A. J., Ahmadpour, M., Nazmara, Z., Ahmadimanesh, M., Makhdoumi, P., Mirzaei, N., & Hoseinzadeh, E. (2022). A comprehensive review on human health effects of chromium: Insights on induced toxicity. *Environmental Science and Pollution Research, 29*(70), 686–705. **https://doi.org/10.1007/s11356-022-22705-6**

Hou, H., Ji, Y., Pan, Y., Wang, L., & Liang, Y. (2024). Persistent organic pollutants and metabolic diseases: From the perspective of lipid droplets. *Environmental Pollution, 362,* 124980. **https://doi.org/10.1016/j.envpol.2024.124980**

Housni, H., Bendahhou, K., Tahiri, M., & Jouti Tahiri, N. (2023). Evaluation of chemical risks management during handling operations and determination of storage conditions in scientific laboratories. *Chemistry Africa 6,* 1087–1101. **https://doi.org/10.1007/s42250-022-00530-1**

Huang, P., Chen, C., Wang, H., Li, G., Jing, H., Han, Y., Liu, N., Xiao, Y., Yu, Q., Liu, Y., Wang, P., Shi, Z., & Sun, Z. (2011). Manganese effects in the liver following subacute or subchronic manganese chloride exposure in rats. *Ecotoxicology and Environmental Safety, 74*(4), 615–622. **https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2010.08.011**

Hudson, L. G., Dashner-Titus, E. J., & MacKenzie, D. (2025). Zinc as a mechanism-based strategy for mitigation of metals toxicity. *Current Environmental Health Reports, 12*(1), 5. **https://doi.org/10.1007/s40572-025-00474-x**

IARC. (2024). Agents Classified by the IARC Monographs, Volumes 1–136. **https://monographs.iarc.who.int/agents-classified-by-the-iarc/**

Igbashio, M. D., Obasuyi, E. I., & Ochoyama, H. A. (2022). Review of hazards and precautionary measures in science and technology laboratories. *Journal of Science and Technology Research*, *4*(4), 57-71. **https://doi.org/10.5281/zenodo.7393551**

Jacobson, G. A., & McLean, S. (2003). Biological monitoring of low level occupational xylene exposure and the role of recent exposure. *Annals of Occupational Hygiene*, *47*(4), 331-336. **https://doi.org/10.1093/annhyg/meg035**

Jenkinson, M. R. J., Meek, R. M. D., Tate, R., MacMillan, S., Grant, M. H., & Currie, S. (2021). Cobalt-induced cardiomyopathy - do circulating cobalt levels matter? *Bone & Joint Research, 10*(6), 340-347. **https://doi.org/10.1302/2046-3758.106.bjr-2020-0414.r2**

Jomova, K., Alomar, S.Y., Nepovimova, Kuca, K., & Valko, M. (2024). Heavy metals: Toxicity and human health effects. *Arch of Toxicology*, *99*(1), 153-209. **https://doi.org/10.1007/s00204-024039032**

Jomova, K., Jenisova, Z., Feszterova, M., Baros, S., Liska, J., Hudecova, D., & Valko, M. (2011). Arsenic: toxicity, oxidative stress and human disease. *Journal of Applied Toxicology, 31*(2), 95-107. **https://doi.org/10.1002/jat.1649**

Kartaloğlu, N., Uzun Akgeyik, A., Akgeyik, E., Alsaleh, A., Hıdırlar, A., & Türksoy, V. A. (2019). *Toxicity Determination of Phenol, Hippuric Acid and 3-Methyl Hippuric Acid in Urine*. International Industrial and Environmental Toxicology Congress, Antalya, Turkey

Kaur, R., Garkal, A., Sarode, L., Bangar, P., Mehta, T., Singh, D. P., & Rawal, R. (2024). Understanding arsenic toxicity: Implications for environmental exposure and human health. *Journal of Hazardous Materials Letters, 5,* 10090. **https://doi.org/10.1016/j.hazl.2023.100090**

Kaya-Akyüzlü, D., & Kayaaltı, Z. (2015). Kan, saç, idrar ve solunumhavası örneklerinin bağımlılık yapan maddelerin analizinde kullanımı. *Marmara Pharmaceutical Journal, 19*, 232-237. **https://doi.org/10.12991/mpj.20151900817**

Kayacan, S. M., Vatansever, S., Akkaya, V., Erk, O., Tükek, T., Kılıçaslan, I., Yıldız, A., & Güler, K. (2007). A case of copper sulfate intoxication that is presented with prolonged hemolysis and acute renal failure. *İstanbul Tıp Fakültesi Dergisi, 70*(1), 47–50.

Kerimak Öner, M. N. (2020). Kimya eğitiminde laboratuvar güvenliği kültürünün yerleştirilmesi. *İSG Akademik, 2*(1), 15-25.

Kingman, A., Albertini, T., & Brown, L. J. (1998). Mercury concentrations in urine and whole blood associated with amalgam exposure in a US military population. *Journal of Dental Research*, *77*(3), 461–471. **https://doi.org/10.1177/00220345980770030501**

Kiran, B. R., & Sharma, R. (2022). Effect of heavy metals: An overview. *Materials Today: Proceedings, 51*(1), 880-885**. https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.06.278**

Klein, G. D. (2019). Aluminum toxicity to bone: A multisystem effect? *Osteoporos Sarcopenia, 5*(1), 2-5. **https://doi.org/10.1016/j.afos.2019.01.001**

Kong, L., Tang, M., Zhang, T., Wang, D., Hu, K., Lu, W., Wei, C., Liang, G., & Pu, Y. (2014). Nickel nanoparticles exposure and reproductive toxicity in healthy adult rats. International *Journal of Molecular Sciences, 15*(11), 21253-21269. **https://doi.org/10.3390/ijms151121253**

Kuman Oyman, E., Altundaş Hatman, E., Acar Karagül, D., & Kılıçaslan, Z. A. (2021). Current example of historical cases: Occupational pulmonary aluminosis. *Turkish*

Thoracic Journal, *22*(1), 83-85. **https://doi.org/10.5152/TurkThoracJ.2021.19137**

Kurt, O. K., & Basaran, N. (2020). Occupational exposure to metals and solvents: Allergy and airway diseases. *Current Allergy and Asthma Reports*, *20*(38). **https://doi.org/10.1007/s11882-020-00931-7**

Leung, A. H.-H. (2021). Laboratory safety awareness, practice, attitude, and perception of tertiary laboratory workers in Hong Kong: A Pilot Study. *ACS Chem. Health Saf.*, *28*(4), 250– 259. **https://doi.org/10.1021/acs.chas.0c00122**

Leyssens, L., Vinck, B., Van Der Straeten, C., Wuyts, F., & Maes, L. (2017). Cobalt toxicity in humans—A review of the potential sources and systemic health effects. *Toxicology, 387*, 43-56. **https://doi.org/10.1016/j.tox.2017.05.015**

Li, H., Toh, P. Z., Tan, J. Y., Zin, M. T., Lee, C. Y., Li, B., Leolukman, M., Bao, H., & Kang, L. (2016). Selected biomarkers revealed potential skin toxicity caused by certain copper compounds. *Scientific Reports*, 37664**.** **https://doi.org/10.1038/srep37664**

Lima, A. R. (2023). Toluene: Correlation between occupational exposure limits and biological exposure indices. *Revista Brasileira de Medicina do Trabalho*, *20*(4), 633–641. **https://doi.org/10.47626/1679-4435-2022-715**

Liu, J., & Waalkes, M. P. (2008). Liver is a target of arsenic carcinogenesis. *Toxicological Sciences*, *105*(1), 24–32. **https://doi.org/10.1093/toxsci/kfn120**

Macherey, A.C., & Dansette, P. M. (2008). Biotransformations leading to toxic metabolites. *The Practice of Medicinal Chemistry*, 674–696. **https://doi.org/10.1016/b978-0-12-374194-3.00033-0**

Mandiracioglu, A., Akgur, S., Kocabiyik, N., & Sener, U. (2011). Evaluation of neuropsychological symptoms and exposure to benzene, toluene and xylene among two different furniture worker groups in Izmir. *Toxicology and Industrial Health*, *27*(9), 802–809. **https://doi.org/10.1177/0748233711399309**

Mansouri, B., Błaszczyk, M., Binkowski, L. J., Sayadi, M. H., Azadi, N. A., Amirabadizadeh, A. R., & Mehrpour, O. (2020). Urinary metal levels with relation to age, occupation, and smoking habits of male ınhabitants of eastern Iran.

Biological Trace Element Research, 195(1), 63–70. **https://doi.org/10.1007/s12011-019-01848-7**

McCarty, L. S., Borgert, C. J., & Burgoon, L. D. (2020). Evaluation of the inherent toxicity concept in environmental toxicology and risk assessment. *Environmental Toxicology and Chemistry, 39*(12), 2351–2360. **https://doi.org/10.1002/etc.4881**

Miller, C. J., Runge-Morris, M., Cassidy-Bushrow, A. E., Straughen, J. K., Dittrich, T. M., Baker, T. R., Petriello, M. C., Mor, G., Ruden, D. M., O'Leary, B. F., Teimoori, S., Tummala, C. M., Heldman, S., Agarwal, M., Roth, K., Yang, Z., & Baker, B. B. (2020). A review of volatile organic compound contamination in post-industrial urban centers: Reproductive health implications using a detroit lens. *Int. J. Environ. Res. Public Health, 17,* 8755. **https://doi.org/10.3390/ijerph17238755**

Mohammed Abdul, K. S., Jayasinghe, S. S., Chandana, E. P. S., Jayasumana, C., & De Silva, P. M. C. S. (2015). Arsenic and human health effects: A review. *Environmental Toxicology and Pharmacology, 40*(3), 828–846. **https://doi.org/10.1016/j.etap.2015.09.016**

Mordoğan, D. (2020). Bir üniversitede bulunan laboratuvarlarda kullanılan kimyasal maddelere maruziyet riskinin değerlendirilmesi, [Basılmış yüksek lisans tezi]. İstanbul Yeni Yüzyıl Üniversitesi.

Mugivhisa, L. L., Baloyi, K., & Olowoy, J. O. (2021). Adherence to safety practices and risks associated with toxic chemicals in the research and postgraduate laboratories at Sefako Makgatho Health Sciences University, Pretoria, South Africa. *African Journal of Science, Technology, Innovation and Development, 13*(6), 747-756. **https://doi.org/10.1080/20421338.2020.1797269**

Mukherjee, A. G., Wanjari, U. R., Renu, K., Vellingiri, B., & Gopalakrishnan, A. V. (2022). Heavy metal and metalloid - induced reproductive toxicity. *Environmental Toxicology and Pharmacology, 92*, 103859**.** **https://doi.org/10.1016/j.etap.2022.103859**

Neghab, M., Azad, P., Honarbakhsh, M., Zarei, F., & Ghaderi, E. (2015). Acute and Chronic Respiratory Effects of Chromium Mists. *Journal of Health Sciences & Surveillance System, 3*(3), 119-124

Niaz, K., Bahadar, H., Maqbool, F., & Abdollahi, M. (2015). A review of environmental and occupational exposure to xylene and its health concerns. *EXCLI Journal, 14,* 1167–1186. **https://doi.org/10.17179/excli2015-623**

Özbolat, G., & Tuli, A. (2016). Ağır metal toksisitesinin insan sağlığına etkileri. *Arşiv Kaynak Tarama Dergisi, 25*(4), 502-521**. https://doi.org/10.17827/aktd.253562**

Papadopoli, R., Nobile, C.G.A., Trovato, A., Pileggi, C., & Pavia, M. (2020). Chemical risk and safety awareness, perception, and practices among research laboratories workers in Italy. *Journal of Occupational Medicine and Toxicology, 15,* 17. **https://doi.org/10.1186/s12995-020-00268-x**

Park, S. B., Kim, E. K., Sakong, J., & Park, E. Y. (2023). Association between dental amalgam restoration and urine mercury concentrations among young women: a cross-sectional study. *Journal of Yeungnam medical science, 40*(4), 373–380. **https://doi.org/10.12701/jyms.2022.00955**

Peres, T. V., Schettinger, M. R. C., Chen, P., Carvalho, F., Avila, D. S., Bowman, A. B., & Aschner, M. (2016). Manganese-induced neurotoxicity: a review of its behavioral consequences and neuroprotective strategies. *BMC Pharmacology Toxicology 17(1),* 57. **https://doi.org/10.1186/s40360-016-0099-0**

Plum, L. M., Rink, L., & Haase, H. (2010). The essential toxin: Impact of zinc on human health. *International Journal of Environmental Research and Public Health, 7*(4), 1342–1365. **https://doi.org/10.3390/ijerph7041342**

Poland, C. A., Hubbard, S. A., Levy, L., & Mackie, C. (2022). Inhalation toxicity of copper compounds: Results of 14-day range finding study for copper sulphate pentahydrate and dicopper oxide and 28-day subacute inhalation exposure of dicopper oxide in rats. *Toxicology, 474,* 153221. **https://doi.org/10.1016/j.tox.2022.153221**

Prakash, C., Soni, M., & Kumar, V. (2015). Mitochondrial oxidative stress and dysfunction in arsenic neurotoxicity: A review. *Journal of Applied Toxicology, 36*(2), 179–188. **https://doi.org/10.1002/jat.3256**

Qu, J., Wang, Q., Sun, X., & Li, Y. (2022). The environment and female reproduction: Potential mechanism of cadmium poisoning to the growth and development of

ovarian follicle. *Ecotoxicology and Environmental Safety, 244,* 114029. **https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2022.114029**

Rahman, S. M., Kippler, M., Ahmed, S., Palm, B., El Arifeen, S., & Vahter, M. (2015). Manganese exposure through drinking water during pregnancy and size at birth: A prospective cohort study. *Reproductive Toxicology, 53,* 68–74. **https://doi.org/10.1016/j.reprotox.2015.03.008**

Rai, R., Yadav, R., & Bhardwaj, A. (2016). Biosafe substitutes to xylene: A review. *International Journal of Information Research and Review, 3*(6), 2529-2532.

Raj, D.,& Maiti, S. K. (2019). Sources, toxicity, and remediation of mercury: an essence review. *Environmental Monitoring and Assessment, 191,* 566. **https://doi.org/10.1007/s10661-019-7743-2**

Rana, M. N., Tangpong, J., & Rahman, M. M. (2018). Toxicodynamics of lead, cadmium, mercury and arsenic- induced kidney toxicity and treatment strategy: A mini review. *Toxicology Reports, 5,* 704-713. **https://doi.org/10.1016/j.toxrep.2018.05.012**

Rehman, K., Fatima, F., Waheed, I., & Akash, M. S. H. (2017). Prevalence of exposure of heavy metals and their impact on health consequences. *Journal of Cellular Biochemistry, 119*(1), 157–184. **https://doi.org/10.1002/jcb.26234**

Renke, G., Almeida, V. B. P., Souza, E. A., Lessa, S., Teixeira, R. L., Rocha, L., Sousa, P. L., & Starling-Soares, B. (2023). Clinical outcomes of the deleterious effects of aluminum on neuro-cognition, ınflammation, and health: A review. *Nutrients, 15*(9), 2221. **https://doi.org/10.3390/nu15092221**

Renu, K., Chakraborty, R., Myakala, H., Koti, R., Famurewa, A. C., Madhyastha, H., Vellingiri, B., George, A., & Gopalakrishnan, A. V. (2021). Molecular mechanism of heavy metals (Lead, Chromium, Arsenic, Mercury, Nickel and Cadmium) - induced hepatotoxicity – A review. *Chemosphere, 271,* 129735. **https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.129735**

Rezaei, K., Mastali, G., Abbasgholinejad, E., Arab Bafrani, M., Shahmohammadi, A., Sadri, Z., & Zahed, M. A. (2024). Cadmium neurotoxicity: Insights into behavioral effect and neurodegenerative diseases. *Chemosphere, 364,* 143180. **https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2024.143180**

Rizvi, A., Parveen, S., Han, S., & Naseem, İ. (2020). Nickel toxicology with reference to male molecular reproductive physiology. *Reproductive Biology, 20*(1), 3-8. **https://doi.org/10.1016/j.repbio.2019.11.005**

Rosenman, K. D., & Beckett, W. S. (2015). Web based listing of agents associated with new onset work-related asthma. *Respiratory Medicine, 109*(5), 625–631. **https://doi.org/10.1016/j.rmed.2015.03.004**

Saeedi, M., Malekmohammadi, B., & Tajalli, S. (2024). Interaction of benzene, toluene, ethylbenzene, and xylene with human's body: Insights into characteristics, sources and health risks. *Journal of Hazardous Materials Advances, 16,* 100459. **https://doi.org/10.1016/j.hazadv.2024.100459**

Salonen, H., Salthammer, T., Castagnoli, E., Täubel, M., & Morawska, L. (2024). Cleaning products: Their chemistry, effects on indoor air quality, and implications for human health. *Environment International, 190,* 108836. **https://doi.org/10.1016/j.envint.2024.108836.**

Scheepers, P. T. J., Duca, R. C., Galea, K. S., Godderis, L., Hardy, E., Knudsen, L. E., Leese, E., Louro, H., Mahiout, S., Ndaw, S., Poels, K., Porras, S. P., Silva, M. J., Tavares, A. M., Verdonck, J., Viegas, S., Santonen, T., & HBM4EU e-Waste Study Team. (2021). HBM4EU occupational biomonitoring study on e-waste—study protocol. *International Journal of Environmental Research and Public Health, 18*(24), 12987. **https://doi.org/10.3390/ijerph182412987**

Schoofs, H., Schmit, J., & Rink, L. (2024). Zinc toxicity: Understanding the limits. *Molecules, 29*(13), 3130. **https://doi.org/10.3390/molecules29133130**

Sharma, S., Wakode, S., Sharma, A., Nair, N., Dhobi, M., Wani, M. A., & Pottoo, F. H. (2020). Effect of environmental toxicants on neuronal functions. *Environmental Science and Pollution Research, 27,* 44906-44921**.** **https://doi.org/10.1007/s11356-020-10950-6**

Shaw, C.A., & Tomljenovic, L. (2013). Aluminum in the central nervous system (CNS): Toxicity in humans and animals, vaccine adjuvants, and autoimmunity. *Immunologic Research, 56(2-3),* 304–316. **https://doi.org/10.1007/s12026-013-8403-1**

Shin, D. Y., Lee, S. M., Jang, Y., Lee, J., Lee, C. M., Cho, E. -M., & Seo, Y. R. (2023). Adverse human health effects of chromium by exposure route: A comprehensive review based on toxicogenomic approach. *International Journal of Molecular Sciences*, *24*(4), 3410. **https://doi.org/10.3390/ijms24043410**

Silva, T.F., Rodrigues, D.R.F., Coutinho, G.B.F., Soares, M., Almeida, M.S., Sarcinelli, P.N, Mattos, R.C.O.C., Larentis, A.L., & Matos, G.G.O. (2018). Ototoxicity of hydrocarbons present in gasoline: a literature review. *Revista CEFAC*, *20*(1), 110–122. **https://doi.org/10.1590/1982-021620182015617**

Simonsen, A. B., Friis, U. F., Johansen, J. D., Zachariae, C., Sloth, J. J., & Thyssen, J. P. (2018). Occupational allergic contact dermatitis caused by cobalt in machine oil. *Contact Dermatitis, 80*(1), 59-61. **https://doi.org/10.1111/cod.13121**

Şahin, S., Garip, İ., & Türksoy, V. A., (2021). *Yozgat'ta Tüketime Sunulan Tavuk Eti ve Karaciğerinde Ağır Metal Düzeylerinin Belirlenmesi*. Uluslararası Turaz Adli Bilimler, Adli Tıp ve Patoloji Kongresi, Baku, Azerbaijan

Şahin, S., & Türksoy, V. A. (2023). Evaluation of potential toxic metal levels in food supplements used to support the immune system. *Bozok Medical Journal*, *13*(4), 94–102.

Şimşek, H. G., & Önal, A. E. (2019). Çevresel olarak toksik bir ağır metal olan kurşunun fetüs sağlığı üzerindeki etkileri. *Turkish Journal of Family Medicine and Primary Care, 13*(3), 363-370. **https://doi.org/10.21763/tjfmpc.478783**

Taux, K., Kraus, T., & Kaifie, A. (2022). Mercury exposure and its health effects in workers in the artisanal and small-scale gold mining (ASGM) sector—A systematic review. International *Journal of Environmental Research and Public Health, 19*(4), 2081. **https://doi.org/10.3390/ijerph19042081**

Tellez-Plaza, M., Jones, M.R., Dominguez-Lucas, A., Guallar, E., & Navas-Acien, A. (2013). Cadmium exposure and clinical cardiovascular disease: A systematic review. *Current Atherosclerosis Reports, 15(10),* 356 **https://doi.org/10.1007/s11883-013-0356-2**

Thakur, M., Rachamalla, M., Niyogi, S., Datusalia, A. K., & Flora, S. J. S. (2021). Molecular mechanism of arsenic-induced neurotoxicity including neuronal

dysfunctions. *International Journal of Molecular Sciences, 22*(18), 10077. **https://doi.org/10.3390/ijms221810077**

Thetkathuek, A., Jaidee, W., Saowakhontha, S., & Ekburanawat, W. (2015). Neuropsychological symptoms among workers exposed to toluene and xylene in two paint manufacturing factories in eastern thailand. *Advances in Preventive Medicine, 28,* 183728. **https://doi.org/10.1155/2015/183728**

Tonguç, E. (2001). Benzol (Benzen). *TB Mesleki Sağlık Ve Güvenlik Dergisi, 2*(7).

Toraman, E., & Karaman, M. (2024). Investigation of the effects of maleic acid and vanillic acid on copper toxicity in the Drosophila melanogaster model. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 13*(3), 148–153. **https://doi.org/10.46810/tdfd.1454074**

Turksoy, V. A., Tutkun, L., Iritas, S. B., Gunduzoz, M., & Deniz, S. (2019). The effects of occupational lead exposure on selected inflammatory biomarkers. *Arhıv Za Hıgıjenu Rada I Toksıkologıju-Archıves of Industrıal Hygıene and Toxıcology, 70*(1), 36–41. **https://doi.org/10.2478/aiht-2019-70-3214**

Udousoro, I., Ikem, A., & Akinbo, O. T. (2017). Content and daily intake of essential and potentially toxic elements from dietary supplements marketed in Nigeria. *Journal of Food Composition and Analysis, 62*, 23–34. **https://10.1016/j.jfca.2017.04.017**

Verma, Y. & Rana, S. V. S. (2009). Endocrinal toxicity of industrial solvents – A mini review. *Indian Journal of Experimental Biology, 47*(7), 537-549.

Viegas, S., Martins, C., Bocca, B., Bousoumah, R., Duca, R. C., Galea, K. S., Godderis, L., Iavicoli, I., Janasik, B., Jones, K., Leese, E., Leso, V., Ndaw, S., van Nieuwenhuyse, A., Poels, K., Porras, S. P., Ruggieri, F., Silva, M. J., Verdonck, J., Wasowicz, W., Scheepers, P. T. J., Santonen, T., & HBM4EU Chromates Study Team. (2022). HBM4EU chromates study: Determinants of exposure to hexavalent chromium in plating, welding and other occupational settings. *International Journal of Environmental Research and Public Health, 19*(6), 3683. **https://doi.org/10.3390/ijerph19063683**

Vural, N. (2005). *Toksikoloji.* Ankara Üniversitesi Eczacılık Fakültesi Yayınları.

Wahlqvist, F., Bryngelsson, I.-L., Westberg, H., Vihlborg, P., & Andersson, L. (2020). Dermal and inhalable cobalt exposure—Uptake of cobalt for workers at Swedish

hard metal plants. *Plos One, 15*(8), e0237100. **https://doi.org/10.1371/journal.pone.0237100**

Wang, B., & Du, Y. (2013). Cadmium and its neurotoxic effects. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity, 2013*, 1–12. **https://doi.org/10.1155/2013/898034**

Wāng, Y., Ma, L., Wang, C., Gao, T., Han, Y., & Xu, D.-X. (2024). Cardiovascular adverse effects and mechanistic insights of arsenic exposure: A review. *Environmental Chemistry Letters, 22*, 1437–1472. **https://doi.org/10.1007/s10311-023-01677-0**

Waqas, W., Yuan, Y., Ali, S., Zhang, M., Shafiq, M., Ali, W., Chen, Y., Xiang, Z., Chen, R., Ikhwanuddin, M., & Ma, H. (2024). Toxic effects of heavy metals on crustaceans and associated health risks in humans: a review. *Environmental Chemistry Letters, 22*, 1391–1411 **https://doi.org/10.1007/s10311-024-01717-3**

Weil, M. (2016). The laboratory safety standard at 25: Implementation of the standard through the chemical hygiene plan and the chemical hygiene officer – Is it trickling down? *Journal of Chemical Health and Safety, 23*(5), 31–40. **https://doi.org/10.1016/j.jchas.2016.01.002**

Wessels, I., Fischer, H. J., & Rink, L. (2021). Dietary and physiological effects of zinc on the immune system. *Annual Review of Nutrition, 41*, 133–175. **https://doi.org/10.1146/annurev-nutr-122019-120635**

Wooley, A. (2008). *A guide to practical toxicology*. (2.baskı). Informa Healthcare USA, Inc. **https://doi.org/10.3109/9781420043150**

Wu, Y.S., Osman, A. I., Hosny, M., Elgarahy, A. M., Eltaweil, A. S., Rooney, D. W., Chen, Z., Rahim, N. S., Sekar, M., Gopinath, S. C. B., Mat Rani, N. N. I., Batumalaie, K., & Yap, P.S. (2024). The toxicity of mercury and its chemical compounds: Molecular mechanisms and environmental and human health implications: A comprehensive review. *ACS Omega, 9*(5), 5100-5126. **https://doi.org/10.1021/acsomega.3c07047**

Xiao, F., Feng, X., Zeng, M., Guan, L., Hu, Q., & Zhong, C. (2012). Hexavalent chromium induces energy metabolism disturbance and p53-dependent cell cycle arrest via reactive oxygen species in L-02 hepatocytes. *Molecular and Cellular Biochemistry, 371*, 65–76. **https://doi.org/10.1007/s11010-012-1423-7**

Yang, H., Wang, J., Yang, X., Wu, F., Qi, Z., Xu, B., Liu, W., & Deng, Y. (2018). Occupational manganese exposure, reproductive hormones, and semen quality in male workers: A cross-sectional study. *Toxicology and Industrial Health, 35*(1), 1-10. **https://doi.org/10.1177/0748233718810109**

Yavuz, Ş. (2020). Organik kimya laboratuvarında kullanılan kimyasalların iş sağlığı ve güvenliği açısından zararlarının incelenmesi. *İş Sağlığı ve Güvenliği Akademi Dergisi*, *3*(3), 221-229. **https://doi.org/10.38213/ohsacademy.793954**

Yıldız, Y., & Aykan, Ş. B. (2018). Tıbbi laboratuvar öğrencilerinin kimyasal maddeler ile ilgili bilgi ve farkındalığı. *Sağlık Akademisyenleri Dergisi, 5*(2), 102-108.

Yılmaz, Ş., & Bilici, M. (2020). Üniversitelerin mühendislik fakülteleri bünyesinde bulunan laboratuvarlarda iş sağlığı ve güvenliği. *İş Sağlığı ve Güvenliği Akademi Dergisi*, *3*(2), 102- 113. **https://doi.org/10.38213/ohsacademy.745723**

Yu, R. (2017). Cobalt toxicity, an overlooked cause of hypothyroidism. *Journal of Endocrinology and Thyroid Research, 1*(3), 5555563. **https://doi.org/10.19080/JETR.2017.01.555563**

Zarus, G. M., Ruiz, P., Benedict, R., Brenner, S., Carlson, K., Jeong, L., & Morata, T. C. (2024). Which environmental pollutants are toxic to our ears?—Evidence of the ototoxicity of common substances. *Toxics, 12*(9), 650. **https://doi.org/10.3390/toxics12090650**

Zavalić, M., Mandić, Z., Turk, R., Bogadi-Šare, A., & Plavec, D. (1998). Quantitative assessment of color vision impairment in workers exposed to toluene. *American journal of industrial medicine, 33*(3), 297-304. **https://doi.org/10.1002/(sıcı)1097-0274(199803)33:3%3c297::aıd-ajım12%3e3.0.co;2-v**

Zhou, M., Yang, S., Wang, X., Zhang, X., Cen, X., Mu, G., Wang, D., Ma, J., Wang, B., & Chen, W. (2021). The association between urinary aluminum and lung function among an urban adult population: A repeated-measure longitudinal study. *Chemosphere, 270,* 129443. **https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.129443**

Zhou, Y., Wang, K., Wang, B., Pu, Y., & Zhang, J. (2020). Occupational benzene exposure and the risk of genetic damage: A systematic review and meta-analysis. *BMC Public Health, 20*, 1113. **https://doi.org/10.1186/s12889-020-09215-1**