

METAL TOKSİKOLOJİSİ

*Türkiye İlaç ve Tıbbi Cihaz Kurumu
İlaç Denetim Dairesi Başkanlığı
Yurt Dışı Tesis Denetimleri Başvuru ve Takip Birimi*

Yazar

Dr. Ecz. Serdar Sinan GÜNEŞ



© Copyright 2025

Bu kitabın, basım, yayım ve satış hakları Akademisyen Kitabevi A.Ş.'ne aittir. Anılan kuruluşun izni alınmadan kitabın tümü ya da bölümleri mekanik, elektronik, fotokopi, manyetik kağıt ve/veya başka yöntemlerle çoğaltılamaz, basılamaz, dağıtılamaz. Tablo, şekil ve grafikler izin alınmadan, ticari amaçlı kullanılamaz. Bu kitap T.C. Kültür Bakanlığı bandrolü ile satılmaktadır.

ISBN
978-625-375-580-5

Sayfa Tasarımı
Akademisyen Dizgi Ünitesi

Kitap Adı
Metal Toksikolojisi

Yayıncı Sertifika No
47518

Yazar
Dr. Ecz. Serdar Sinan GÜNEŞ

Baskı ve Cilt
Vadi Matbaacılık

Yayın Koordinatörü
Yasin DİLMEN

Bisac Code
MED096000

DOI
10.37609/akya.3754

Kütüphane Kimlik Kartı
Güneş, Serdar Sinan.
Metal Toksikolojisi / Serdar Sinan Güneş.
Ankara : Akademisyen Yayınevi Kitabevi, 2025.
269 s. : tablo, şekil. ; 160x235 mm.
Kaynakça var.
ISBN 9786253755805

GENEL DAĞITIM
Akademisyen Kitabevi A.Ş.

Halk Sokak 5 / A Yenışehir / Ankara
Tel: 0312 431 16 33
siparis@akademisyen.com

www.akademisyen.com

ÖNSÖZ

Toksikoloji, kimyasal maddelerin canlı organizmalar üzerinde meydana getirdiği istenmeyen etkileri inceleyen ve kimyasal maddelerin zararsızlık limitlerini belirleyen bir bilim dalıdır. Dolayısıyla toksikoloji hayatımızın içindedir ve kimyasalların olduğu her yerde vardır.

“Metal Toksikolojisi” kitabında tüm metaller tek tek fiziksel ve kimyasal özellikleri, analiz yöntemleri, üretimi ve kullanımı, maruziyeti, toksikokinetiği, biyolojik izlenmesi, toksisitesi ve tedavisi yönünden alfabetik sıraya göre incelenmiştir. Kitabın olabildiğince sade ve anlaşılır olmasına özen gösterilmiştir.

Kitabın özellikle toksikoloji alanında faaliyet gösterenlere, eczacılara, diş hekimlerine, veterinerlere, çevre mühendislerine, kimyagerlere, biyologlara, gıda mühendislerine, ziraat mühendislerine, iş sağlığı ve güvenliği uzmanlarına, hemşirelere, adli tıp ve acil tıp uzmanlarına, tüm sağlık çalışanlarına ve bu konuda bilgi sahibi olmak isteyenlere faydalı olması en büyük isteğimdir.

Kitabın basımını ve dağıtımını üstlenen Akademisyen Kitabevi yetkilisi sayın Yasin Dilmen'e ve tüm Akademisyen Kitabevi değerli çalışanlarına sonsuz teşekkür ederim.

Eğitimim süresince yardımlarını esirgemeyen, üzerimde büyük emeği olan değerli hocam Prof. Dr. Hande Sipahi'ye ve diğer tüm hocalarıma en içten teşekkür ve saygılarımı sunarım. Hayatım boyunca beni maddi ve manevi destekleyen, haklarını asla ödeyemeyeceğim aileme sonsuz teşekkür ederim.

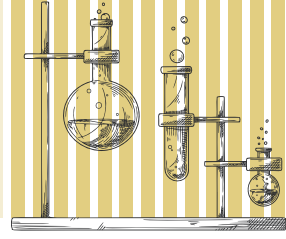
Ülkemizde maalesef toksikoloji kavramı pek bilinmemekle birlikte yayınlanmış Türkçe kitap sayısı da oldukça azdır. Toksikoloji alanında mevcut sınırlı eser sayısının artması dileğiyle...

Dr. Ecz. Serdar Sinan GÜNEŞ

İÇİNDEKİLER

Bölüm 1	Alüminyum	1
Bölüm 2	Antimon.....	7
Bölüm 3	Arsenik.....	13
Bölüm 4	Bakır	21
Bölüm 5	Baryum.....	29
Bölüm 6	Berilyum	35
Bölüm 7	Bizmut	45
Bölüm 8	Cıva.....	51
Bölüm 9	Çinko	65
Bölüm 10	Demir	73
Bölüm 11	Galyum.....	81
Bölüm 12	Germanyum	87
Bölüm 13	Gümüş.....	95

Bölüm 14	İndiyum.....	103
Bölüm 15	Kadmiyum	109
Bölüm 16	Kalay	119
Bölüm 17	Kobalt	129
Bölüm 18	Krom.....	137
Bölüm 19	Kurşun.....	145
Bölüm 20	Manganez.....	163
Bölüm 21	Molibden.....	175
Bölüm 22	Nikel	183
Bölüm 23	Paladyum	191
Bölüm 24	Platin	199
Bölüm 25	Selenyum.....	209
Bölüm 26	Talyum.....	219
Bölüm 27	Tellür.....	227
Bölüm 28	Titanyum.....	233
Bölüm 29	Tungsten.....	241
Bölüm 30	Uranyum	247
Bölüm 31	Vanadyum.....	257



Bölüm 1

ALÜMİNYUM

1. Özeti

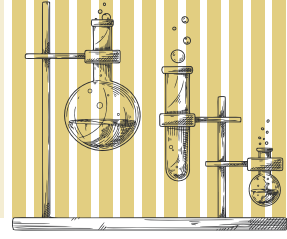
Alüminyum (Al), oksijen ve silikondan sonra yer kabuğunda en bol bulunan üçüncü elementtir. Al metali özellikle metal alaşımlarında, paketlenme, inşaat, ulaştırma, elektronik aletlerde ve içecek kutuları gibi birçok yerlerde kullanılır. Al bileşikleri gıda katkı maddesi olarak da kullanılmaktadır. Alüminyumun vücuda alınışı en çok gıdalar ve içme suları ile olmaktadır. Ancak gıdalardaki Al miktarı, antiasitlerde ve analjeziklerde kullanılan Al miktarıyla kıyaslandığında oldukça azdır.

Alüminyumun yeryüzünde yaygın olarak bulunduğu yapı, insanlara ve çoğu türlere zararsızdır. Ancak asit yağmurları, alüminyumun çözünerek biyolojik ekosistemlerde yüksek konsantrasyonda toplanmasına neden olmuştur. Buna bağlı olarak da bitkiler ve su canlıları üzerinde yıkıcı etkiler görülmüştür.

Yüksek reaktivitesinden dolayı alüminyum doğada serbest halde bulunmaz. Alüminyum normal şartlarda bileşiklerinde +3 değerliklidir (Al^{+3}). Gastrointestinal sistemden ve akciğerlerden emilir. Atılımı ise başlıca böbreklerle olur. Alüminyumun nörotoksik olduğu iyi bilinmektedir. Diyaliz tedavisi gören hastaların aynı zamanda alüminyum içeren ilaçları almaları durumunda vücutta alüminyum birikimi olur. Bu birikim sonucunda ise diyaliz ensefalopatisi meydana gelir ve ölümcüldür. Kaynak işiyle uğraşan kimselerde idrardaki Al düzeyi 100 $\mu g/L$ üstüne çıktığında nörotoksik etkiler görülmüştür. Maruz kalmayan bireylerde ise

Kaynaklar

1. Klaassen CD. Casarett and Doull's Toxicology. The Basic Science of Poisons. 7th ed. McGraw-Hill;2008.
2. Nordberg GF, Fowler BA, Nordberg M, Friberg LT. Handbook on the Toxicology of Metals. 3rd ed. Elsevier;2007.
3. Vural N. Toksikoloji. Ankara Üniversitesi Eczacılık Fakültesi Yayınları No:73, 2005.
4. Tayfur M, Ünlüoğlu İ, Bener Ö. Alüminyum ve Sağlık. Gıda Dergisi. 2002;27(4):305-9.



Bölüm 2

ANTİMON

1. Özeti

Antimon (Sb); parlak, gümüş beyazı renkte, kırılgan ve orta sertlikte bir metaldir. Periyodik cetvelde arsenik ile aynı grupta konumlandırılır. Metal ve ametal arası özelliklere sahip olan antimon, yarı metal olarak sınıflandırılır. Çoğu antimon bileşiği; trivalan ve pentavalan şeklindedir.

Antimon; yumuşak metal alaşımlarında ve kurşun alaşımlarında sertleştirici ajan olarak, ateşe dayanıklı olduğundan dolayı plastiklerin yanmaya karşı dayanıklılığını sağlayan bir bileşim olarak, boya ve cila içinde renk verici madde olarak, kibrit yapımında, patlayıcı madde ve silah sanayinde yaygın kullanılmaktadır. Tıpta kusturucu ve antiparazitik olarak da kullanılmaktadır. Antimon potasyum tartarat ('kusturucu tartar'); paraziter bir hastalık olan şistozomiyaz tedavisinde kullanılan trivalan antimon bileşiğidir. Layşmanyaz tedavisinde ise pentavalan antimon bileşikler tercih edilmektedir.

Antimon bileşiklerinin çoğu, gastrointestinal sistemden ve akciğerlerden emilir. İdrar ve dışkı yoluyla da hızlıca atılır. Atılım yolu, antimon bileşiğinin formuna bağlıdır. Pentavalan antimon bileşikler; trivalan bileşiklere göre idrar yoluyla çok daha hızlı atılır. Trivalan antimon bileşikler ise dışkı yoluyla daha hızlı atılır. Karaciğer, böbrek, akciğer, dalak ve kan antimonun biriktiği başlıca yerlerdir.

Antimona çevresel maruziyet en çok gıdalar ile olmaktadır. Ancak gıdalardan alınan Sb miktarı genellikle azdır. Gıdalardan ve içme suyundan alınan Sb

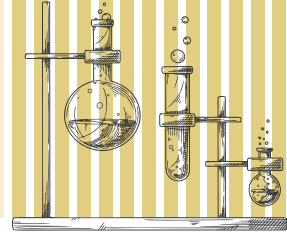
ve sınırlı sayıdaki rodent karsinogenezite testlerinden elde edilen kanıtlara dayanarak, antimon trioksit insanda düşük olasılıkla karsinojendir. Uluslararası Kanser Araştırma Ajansı (International Agency for Research on Cancer–IARC), antimon trioksiti grup 2B karsinojen olarak sınıflandırmıştır. Antimon trioksit ve trisülfür solunmasına bağlı olarak dişi sıçanlarda akciğer tümörü oluşmuştur. Antimon saf olmadığından ve az miktarda arsenik içerdiğinden dolayı işçilerde akciğer kanserine sebep olduğu şüphelidir. Şistozomiyaz hastalarında mesane tümörü görülme sıklığının yüksek olmasında antimon bileşiklerinin payı olabilir. Stibin ve trimetilstibin; reaktif oksijen türlerinin oluşumunu tetikleyip oksidatif stresi artırarak deoksiribo nükleik asite (DNA) zarar vermektedir. Stibin; hemolize neden olur ve anemi, sarılık, hematüri, rabdomiyoliz, böbrek yetmezliği, ölüm ile sonuçlanabilir. Hayvan çalışmalarında antimon maruziyeti; ovaryan atrofi, uterin metaplazi ve bozulmuş konsepsiyona neden olur. Mesleki olarak antimon tuzlarına maruz kalan bayanlarda gebeliğin düşükle sonlanması ve prematüre doğumlar söz konusudur. Bu bayanların sütünde, amniyotik sıvısında, plasentasında, idrarında ve kanında antimona rastlanmıştır.

9. Tedavisi

Antimon şelatörleri olarak Dimerkaprol (British anti-Lewisite, BAL), Dimerkaptosüksinik asit (DMSA) ve Dimerkaptopropansülfonik asit (DMPS) önerilmektedir. Ancak ciddi toksisiteye sahip hastalar nadir olduğu için antimonun şelasyonu ile ilgili insan deneyimleri sınırlıdır. Stibin için şelasyon tedavisi etkili değildir.

Kaynaklar

1. Klaassen CD. Casarett and Doull's Toxicology. The Basic Science of Poisons. 7th ed. McGraw-Hill;2008.
2. Nelson LS, Lewin NA, Howland MA, et al. Goldfrank's Toxicologic Emergencies. 9th ed. McGraw-Hill;2011.
3. Olson KR, Anderson IB, Benowitz NL, et al. Poisoning and Drug Overdose. 5th ed. McGraw-Hill;2007.
4. Hoffman RS, Nelson LS, Howland MA, et al. Goldfrank's Manual of Toxicologic Emergencies. McGraw-Hill;2007.
5. Nordberg GF, Fowler BA, Nordberg M, Friberg LT. Handbook on the Toxicology of Metals. 3rd ed. Elsevier;2007.
6. Vural N. Toksikoloji. Ankara Üniversitesi Eczacılık Fakültesi Yayınları No:73, 2005.



Bölüm 3

ARSENİK

1. Özeti

Arsenik (As) metalloid özelliği gösteren bir elementtir. Toksik ve karsinojeniktir. Eski zamanlardan beri zehir olarak kullanılmaktadır. Zehirlerin kralı olarak bilinmektedir. 1250’li yıllarda, element arsenik ilk defa izole edilmiştir. Arsenik bileşikleri eski çağlardan beri ilaçlarda da kullanılmaktadır. Günümüzde, akut promiyelositik lösemiye karşı hâlâ çok etkilidir. Arsenik bileşikleri organik veya inorganik olabilir ve arseniği trivalan veya pentavalan formda içerebilir. Arsenik trioksit ve sodyum arsenit; en yaygın inorganik trivalan arsenik bileşikleridir. Yaygın pentavalan inorganik bileşikler ise sodyum arsenat, arsenik pentaoksit ve arsenik asittir. İnorganik arsenik bileşiklerinin organizmada biyotransformasyonu sonucu oluşan metillenmiş formlar, arsenoşekerler ve arsanilik asit önemli organik arsenik bileşikleridir. Arseniğin hidrojenle veya sulu çözeltilerde indirgen ajanlarla teması sonucunda en toksik form olan renksiz arsin gazı oluşur.

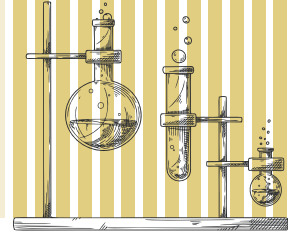
Pestisitlerin, herbisitlerin ve diğer tarımsal ürünlerin üretiminde arsenik kullanılmaktadır. Maden eritme ve döküm işlemi sırasında arsenik dumanlarına ve tozlarına yüksek maruziyet görülebilir. Çevresel maruziyet en çok arsenik ile kontamine olmuş içme sularıyla olmaktadır. İstatistiksel modellerde, içme sularında 50 µg/L olan arsenik miktarının akciğer ve mesane kanseri riskini artırdığı gösterilmiştir. Bu nedenle, Çevre Koruma Ajansı (Environmental Protection Agency–EPA), içme sularında izin verilen azami arsenik miktarını 50 µg/L’den 10 µg/L’ye indirmiştir. Çevresel maruziyet ayrıca yüksek miktarda arsenik içeren kömürün

9. Tedavisi

İntravenöz yolla verilen Dimerkaptopropansülfonik asit (DMPS); akut arsenik zehirlenmesinde en etkin tedavidir. Eğer DMPS temin edilemiyorsa, intramüsküler yoldan uygulanan Dimerkaprol (British anti-Lewisite, BAL) tedavide ikinci seçenek şelatör ajandır. Hastalarda hemodinamik stabilite sağlanırsa ve gastrointestinal semptomlar hafiflerse, oral şelatörler olarak DMPS veya Suksimer (Dimerkaptosüksinik asit-DMSA) kullanımına geçilebilir. Oral şelatör olarak Penisillamin de arseniği vücuttan uzaklaştırmada etkilidir. Akut arsin zehirlenmesinde ise farklı olarak ilk 24 saat boyunca intramüsküler Dimerkaprol uygulanmalıdır. 24 saatten sonra, oral veya parenteral DMPS veya oral Suksimer kullanımına geçilmelidir.

Kaynaklar

1. Klaassen CD. Casarett and Doull's Toxicology. The Basic Science of Poisons. 7th ed. McGraw-Hill;2008.
2. Olson KR, Anderson IB, Benowitz NL, et al. Poisoning and Drug Overdose. 5th ed. McGraw-Hill;2007.
3. Nordberg GF, Fowler BA, Nordberg M, Friberg LT. Handbook on the Toxicology of Metals. 3rd ed. Elsevier;2007.



Bölüm 4

BAKIR

1. Özeti

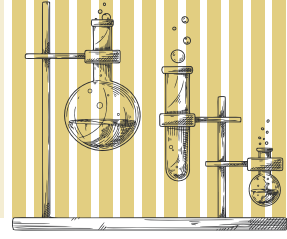
Bakır (Cu), insanlık tarihinde yüzyıllardan beri kullanılmaktadır. M.Ö. 2000 yılında, bronz (bakır-kalay alaşımı) Avrupa'da yaygın olarak kullanılmaktaydı. Roma İmparatorluğu döneminde, bakırın büyük bir kısmı Kıbrıs'tan sağlandığı için bu metale aes cyprium (Kıbrıs'ın metali) adı verilmiş, İngilizce dilindeki ismi de bu kelimeden türemiştir. İnsanların aldığı bakırın çoğunu içilen su ve yenilen yiyecekler sağlamaktadır. Yetişkinlerde günlük alınan bakır miktarı 0.9–2.2 mg, çocuklarda ise 0.6–0.8 mg'dır. Önerilen günlük alınması gereken bakır miktarı yetişkinler için 0.9 mg, hamile kadınlar için 1 mg ve emziren anneler için 1.3 mg'dır.

Bakır esansiyel bir eser elementtir, birçok enzimin yapısında bulunur ve hayati işleve sahiptir. Bu enzimlerden başlıcaları; ferroksidazlar, sitokrom c oksidaz, süperoksit dismutaz, tirozinaz, lizil oksidaz ve dopamin beta hidroksilazdır. Sitokrom c oksidaz; hücresel enerji üretiminde rol oynar ve enerji metabolizmasındaki anahtar reaksiyonu katalize eder. Bakır/çinko süperoksit dismutaz; süperoksit radikallerini hidrojen peroksite dönüştüren antioksidan enzimdir. Lizil oksidaz; elastin ve kollajendeki lizin kalıntıları oksitleyerek ve böylece kovalent çapraz bağlanmayı başlatarak, ekstraselüler matriksin oluşumunda ve onarımında önemli bir rol oynar. Bakır emilimi; ağızdan alınan miktarına, kimyasal formuna ve çinko gibi minerallerin diyetlerdeki miktarlarına bağlıdır. Bakır boruların yaygın kullanımı nedeniyle içme suyu günlük alınan bakır miktarını önemli ölçüde artırabilmekte-

(Trietilentetramin dihidroklorür); Wilson hastalığının tedavisinde kullanılmak üzere onaylanmış spesifik bir bakır şelatörüdür. Çin'de, son 30 yıl içinde, yüzlerce Wilson hastası Dimerkaptosüksinik asit (DMSA) ile başarılı bir şekilde tedavi edilmiştir. Wilson hastalığının tedavisinde çinko tuzları (çinko sülfat, çinko asetat ve çinko glukonat) da etkilidir. Tetratıyomolibdat ise serum serbest bakır düzeyini kararlı bir şekilde düşürerek Wilson hastalığının tedavisinde fayda sağlamaktadır.

Kaynaklar

1. Nordberg GF, Fowler BA, Nordberg M, Friberg LT. Handbook on the Toxicology of Metals. 3rd ed. Elsevier;2007.
2. Klaassen CD. Casarett and Doull's Toxicology. The Basic Science of Poisons. 7th ed. McGraw-Hill;2008.
3. Olson KR, Anderson IB, Benowitz NL, et al. Poisoning and Drug Overdose. 5th ed. McGraw-Hill;2007.
4. Dong QY, Wu ZY. Advance in the pathogenesis and treatment of Wilson disease. Transl Neurodegener. 2012;1(23).
5. Purchase R. The treatment of Wilson's disease, a rare genetic disorder of copper metabolism. Sci Prog. 2013;96(1):19-32.



Bölüm 5

BARYUM

1. Özeti

Baryum (Ba); toprak alkali bir metaldir ve bileşiklerinde +2 oksidasyon durumundadır. Baryum ilk defa 1774 yılında tanımlanmıştır. Yunanca “ağır” anlamına gelen “barys” kelimesinden türemiştir. Baryum alaşımları elektronikte, baryum karbonat rodentisitlerde, baryum sülfat ve karbonat pigment olarak kullanılmaktadır. Baryum bileşiklerinden baryum sülfat ise gastrointestinal sistemin görün-tülenmesinde kontrast madde olarak kullanılmaktadır. Baryum, doğada nispeten bol miktarda bulunur. Brezilya fıncığı, pıkan cevizi ve deniz ürünleri yüksek miktarda baryum içerebilir. Gıda ve içme suyundaki baryum miktarı genellikle bir sağlık sorunu oluşturmamaya kadar düşüktür.

Baryum bileşiklerinin toksisitesi; çözünürlüklerine bağlıdır. Suda çözünen baryum tuzları (asetat, karbonat, klorür, florür, hidroksit, nitrat ve sülfür) oldukça toksiktir. Serbest baryum iyonu; akciğerden veya gastrointestinal sistemden kolaylıkla emilir fakat çözünmeyen baryum sülfat emilmez ve toksik değildir. Çözünür baryum bileşiklerinin aerosoller akciğerde oldukça iyi emilir. Baryum emildikten sonra kemiklerde ve gözün pigmentli kısımlarında birikir. Kemik ve dişler; baryumun biriktiği başlıca yerlerdir. Baryum büyük oranda feçesle, daha az oranda ise idrarla atılmaktadır.

Baryum tuzlarına akut veya kronik maruziyet sonucu deney hayvanlarında böbrek zehirlenmesi, hipertansiyon ve kardiyak işlev bozukluğu görülmüştür.

Baryum zehirlenmesi sonucu ventriküler aritmiler, hipofosfatemi, rabdomyoliz, akut böbrek yetmezliği, koagülopati, şiddetli sulu ishale seyreden gastroenterit, gözde akomodasyon bozukluğuyla beraber midriyazis, miyoklonus, hipertansiyon, derin laktik asidoz ve santral sinir sistemi depresyonu meydana gelebilir.

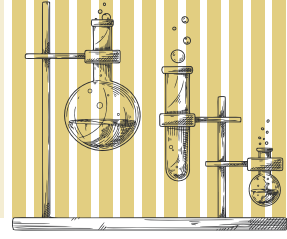
Baryuma uzun dönem maruziyet sonrasında, sıçanlar ve farelerde nefrotoksisite gözlenmiştir. Hayvan çalışmalarında, kardiyovasküler fonksiyonda önemli değişiklikler oluşmamıştır. Baryum bileşikleri kemirgenlerde karsinogenik değildir. İnsanlarda ise karsinogenik olduğuna dair hiçbir kanıt yoktur.

9. Tedavisi

İntravenöz potasyum tedavisi işe yaramaktadır. Semptomatik veya şiddetli hipokalemiyi tedavi etmek için potasyum klorür verilir. Yüksek dozlarda potasyum gerekebilir (24 saatte 420 mEq kadar yüksek dozlar verilmektedir). Hastada hipofosfatemi varsa potasyum fosfat kullanılır. Oral yolla hemen verilen magnezyum sülfat ya da sodyum sülfat; sindirim kanalındaki çözünür baryum tuzlarının baryum sülfat olarak (çözünmez form) çökmesini mümkün kılar ve emilimi azaltarak toksisiteyi azaltır.

Kaynaklar

1. Nordberg GF, Fowler BA, Nordberg M, Friberg LT. Handbook on the Toxicology of Metals. 3rd ed. Elsevier;2007.
2. Klaassen CD. Casarett and Doull's Toxicology. The Basic Science of Poisons. 7th ed. McGraw-Hill;2008.
3. Olson KR, Anderson IB, Benowitz NL, et al. Poisoning and Drug Overdose. 5th ed. McGraw-Hill;2007.
4. Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). Toxicological Profile for Barium. Atlanta, GA: U.S. 2007.
5. Gürpınar T, Aşırdizer M. Baryum bileşikleriyle meydana gelen intoksikasyonlar. Toksikoloji Dergisi. 2007;5(1-2):5-9.



Bölüm 6

BERİLYUM

1. Özeti

Periyodik cetvelin 2A grubunda yer alan, toprak alkali bir metal olan Berilyum (Be) 1798’de keşfedilmiştir. Berilyumun adı, Yunanca “beril” minerali anlamına gelen beryllos’tan türetilmiştir. İnsanların berilyum ve bileşiklerine maruz kalma durumu en çok üretim, imalat veya geri kazanım endüstrilerinde olmaktadır. İmplant destekli diş protezleriyle de berilyuma maruz kalınabilir. Genel popülasyon eser miktarda berilyuma sigara dumanı, hava, yiyecek ve su yoluyla maruz kalmaktadır. Genel popülasyondaki ortalama berilyum yükü; akciğerde 0.20 mg/kg ve diğer organlarda 0.08 mg/kg’ın altındadır.

Berilyum, birçok endüstri için stratejik ve kritik bir öneme sahiptir. Nispeten yüksek maliyetine rağmen yaygın olarak kullanılmaktadır çünkü bazı kritik uygulamalarda alternatiflerinden daha iyidir. Endüstride, berilyumun üç ana formu kullanılır. Bakır berilyum alaşımı en büyük grubu oluşturur, ardından saf berilyum metali ve berilyum oksit seramikleri gelir. Berilyum alaşımları otomobillerde, bilgisayarlarda, spor ekipmanlarında ve diş köprülerinde kullanılır. Saf berilyum metali nükleer silahlarda, uçaklarda, röntgen cihazlarında ve aynalarda kullanılır.

Berilyumun endüstriyel kullanımının artması sonucu, metale mesleki maruziyet önemli bir sorun olabilir. Berilyuma maruz kalma seviyeleri, 1960’ların ortalarına kıyasla önemli ölçüde azalmıştır. 8 saatlik bir çalışma süresi boyunca işçinin maruz kalabileceği en fazla berilyum konsantrasyonu $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ olarak belirlenmiş-

gın olarak görülmektedir. Akciğer grafisinde miliyer beneklenme görülür. Histolojik olarak alveoller; küçük interstisyel granülomlar (sarkoidozda görülenlere benzeyen) içerir. Şiddetli vakalarda, siyanoz ve hipertrofik osteoartropati görülebilir. Lezyonlar ilerledikçe; alveollerde fonksiyon kaybı, gaz alışverişinin bozulması ve solunum disfonksiyonunun artmasıyla birlikte interstisyel fibrozis artar. Bu hastalıkta, akciğerde berilyum spesifik immün cevap gelişir. İnsan lökosit antijeni, T hücreleri ve proinflamatuvar sitokinlerin (TNF- α ve IL-6) hastalığın patogeneğinde yer aldıklarına inanılmaktadır.

İnsanların berilyum bileşiklerine maruz kalmalarının sonucunda cilt ve göz irritasyonu görülmüştür. Çözünür berilyum bileşiklerine maruz kalmak; konjunktivit ve papüloveziküler dermatite neden olabilir. Dermal lezyonlar, 1-2 haftalık bir latent dönemden sonra ortaya çıkar ve gecikmiş tip hipersensitivite reaksiyonunu gösterir. Eğer çözünmeyen berilyum içeren materyaller cilt altına yerleştirilirse; nekrotizan ve ülseratif olabilen kronik granülomatöz bir lezyon gelişir.

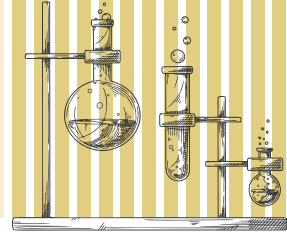
İnsanlarda berilyum ve bileşiklerinin karsinojen olduklarına dair yeterli kanıt vardır. Berilyum ve bileşikleri, akciğer kanserine neden olur. Deney hayvanlarında berilyum ve bileşiklerinin karsinojen olduklarına dair yeterli kanıt vardır. Berilyum ve bileşikleri, insanlarda karsinojendir (Grup 1).

9. Tedavisi

Maruziyet sonlandırılmalıdır. Semptomları ve/veya pulmoner fonksiyonu iyileştirmek için sistemik glukokortikosteroidler verilir. Sistemik glukokortikosteroidlerin bu konuda fayda sağladığı klinik vakalarda görülmüştür. Metotreksat ve siklosporin gibi immünosupresif ajanlar; glukokortikosteroidlere yanıt vermeyen veya ciddi yan etkiler geliştiren kişilerde kullanılabilir. Destekleyici tedavide ise oksijen ve bronkodilatörler yer alır.

Kaynaklar

1. Nordberg GF, Fowler BA, Nordberg M, Friberg LT. Handbook on the Toxicology of Metals. 3rd ed. Elsevier;2007.
2. Bruce RM, Odin M. World Health Organization & International Programme on Chemical Safety. Beryllium and beryllium compounds. † 2001.
3. Klaassen CD. Casarett and Doull's Toxicology. The Basic Science of Poisons. 7th ed. McGraw-Hill;2008.
4. Arsenic, Metals, Fibres, and Dusts. IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. Volume 100C, 2012.



Bölüm 7

BİZMUT

1. Özeti

Bizmut (Bi) ismi; ‘Weisse Masse’nin (Almanca beyaz kütle) bozulması anlamına gelen “Bisemutum” sözcüğünden gelmektedir. Kalay ve kurşuna benzerliğinden dolayı ilk zamanlarda bu elementlerle karıştırılmıştır. 1753’te, bizmutun kurşundan farklı bir metal olduğu kanıtlanmıştır. Çoğu bizmut tuzunun çözünürlüğü düşüktür fakat pH’tan ve sülfhidril veya hidroksi içeren ligandların varlığından etkilenebilir. Çevresel ve mesleki bizmut maruziyetinin toksikolojik önemi bilinmemektedir. Mesleki maruziyetlerle ilgili herhangi bir çalışma raporu bulunmamaktadır. Genel popülasyon için; gıdalardan alınan günlük toplam bizmut miktarı yaklaşık 5–20 µg’dır, hava ve sudan alınan miktarlar ise çok daha azdır. İnsanların bizmuta maruz kalması genellikle tıbbi kullanımdan kaynaklanmaktadır.

Çözünmeyen trivalan bizmut tuzları (örneğin bizmut subnitrat, subkarbonat ve subgallat); ishal, şişkinlik, kabızlık, karın ağrısı ve dispepsi gibi çeşitli gastrointestinal bozukluklarda kullanılır. Kolloidal bizmut subsitrat, bizmut subsalisilat ve ranitidin bizmut sitrat; peptik ülser ve Helikobakter pilorinin neden olduğu gastrit tedavisinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bizmut tuzlarının eski tıbbi uygulamaları arasında frengi, sıtma, siğiller, stomatit ve üst solunum yolu enfeksiyonlarının tedavisi yer almaktadır. Bizmut subnitratın potansiyel bir kullanımı ise renal metalotiyonein indüksiyonuna bağlı olarak sisplatin nefrotoksitesinin önlenmesidir. Ayrıca bizmut subnitrat, kalp dokusunda metalotiyoneini indük-

sal çekirdeklerde ve Purkinje hücrelerinde yüksek miktarlarda bizmut bulunmuştur. Aksonal taşıma; bizmut dağılımını etkiliyor gibi görünüyor. Ultrastrüktürel olarak incelendiğinde, lizozomlarda bizmut birikimi görülmüştür.

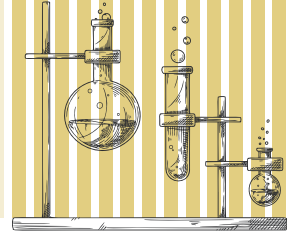
Bizmut, jeneralize cilt pigmentasyonuna neden olabilir. Bizmut sülfürün mukozada birikmesi, diş etlerinde mavi-siyah renk değişimine neden olur. Bizmut sülfürün gastrointestinal sistemde yer alması ise dışkının siyahlaşmasına neden olur.

9. Tedavisi

Bizmut toksisitesinin en etkili tedavisi; bizmut alımına son vermektir. Dimerkaprol (British anti-Lewisite, BAL), Dimerkaptosüksinik asit (DMSA) ve Dimerkaptopropansülfonik asit (DMPS) ile şelasyon tedavisi; çoğu organda (özellikle böbrek ve karaciğer) bizmut konsantrasyonunu azaltır ve bizmutun üriner eliminasyonunu artırır. Koloidal bizmut subsitrata maruz kalan gönüllü insanlarda; DMSA ve DMPS, bizmutun üriner eliminasyonunu 50 kat artırmıştır. BAL; beyin bizmut konsantrasyonunu düşürmede etkili olan tek şelatördür.

Kaynaklar

1. Nordberg GF, Fowler BA, Nordberg M, Friberg LT. Handbook on the Toxicology of Metals. 3rd ed. Elsevier;2007.
2. Klaassen CD. Casarett and Doull's Toxicology. The Basic Science of Poisons. 7th ed. McGraw-Hill;2008.
3. Hoffman RS, Nelson LS, Howland MA, et al. Goldfrank's Manual of Toxicologic Emergencies. McGraw-Hill;2007.



Bölüm 8

CIVA

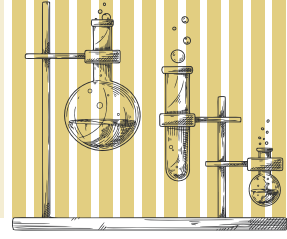
1. Özeti

Cıva, “Hg” sembolü ile gösterilen ve atom numarası 80 olan kimyasal bir elementtir. “Hg” sembolü, Latince “su” ve “gümüş” anlamına gelen “hydrargyrum” sözcüğünden türetilmiştir. “Quicksilver” (akıcı gümüş) olarak da adlandırılmaktadır. Metalik cıva, oda sıcaklığında sıvı haldedir. Cıvanın keşfedildiği tarih tam olarak belli olmamakla birlikte, M.Ö. 1500’lü yıllarda keşfedildiği düşünülmektedir. Cıva, diğer metallerle “amalgam” adı verilen alaşımlar yapar. Amalgam, diş hekimliğinde dolgu amacıyla kullanılır.

Cıvanın toksikolojik belirtileri; binlerce yıllık tıbbi uygulamaların, endüstriyel kullanımın ve çevresel felaketlerin sonucu olarak çok iyi bilinmektedir. Cıva, doğal olarak oluşan bir metaldir. Cıva doğada genellikle, kırmızı renkli bir cevher olan sinnabar cevheri içinde cıva sülfür (HgS) olarak bulunur. Cıva, üç ana formda bulunur ve bu formların toksikolojik özellikleri birbirinden farklıdır: elemental (metalik) cıva (Hg^0), inorganik cıva tuzları (örneğin, cıva klorür [HgCl_2]) ve organik (alkil ve aril) cıva (örneğin, metil cıva). Metalik cıva buharı, sıvı halinden çok daha tehlikelidir. Cıva; klor, sülfür ve oksijen ile birleştiğinde inorganik cıva tuzları oluşmaktadır. İnorganik cıva doğada, merkürik (Hg^{+2}) (divalen) ve merküröz (Hg^{+1}) (monovalan) olmak üzere iki çeşit tuz şeklinde bulunur. Cıva; karbon ile birleştiğinde ise organik cıva bileşikleri oluşmaktadır. Organik cıva bileşikleri; metil, dimetil, etil, dietil, fenil cıva gibi bileşiklerdir. Metil cıva, toksikolojik olarak en önemli organik formdur.

Kaynaklar

1. Nordberg GF, Fowler BA, Nordberg M, Friberg LT. Handbook on the Toxicology of Metals. 3rd ed. Elsevier;2007.
2. Klaassen CD. Casarett and Doull's Toxicology. The Basic Science of Poisons. 7th ed. McGraw-Hill;2008.
3. Hassett-Sipple B, Swartout J, Schoeny R. Mercury study report to Congress. Volume 5. Health effects of mercury and mercury compounds. USEPA: 1997.
4. Olson KR, Anderson IB, Benowitz NL, et al. Poisoning and Drug Overdose. 5th ed. McGraw-Hill;2007.
5. Broussard LA, Hammett-Stabler CA, Winecker RE, et al. The toxicology of mercury. Laboratory Medicine. 2002;33(8):614-25.
6. Park JD, Zheng W. Human Exposure and Health Effects of Inorganic and Elemental Mercury. J Prev Med Public Health. 2012;45(6):344-52.



Bölüm 9

ÇİNKO

1. Özeti

Çinko (Zn) ismi "kalay" anlamına gelen Almanca "zinn" kelimesinden gelir. Esansiyel bir metal olan çinko, antik çağlardan beri kullanılmaktadır. Çinko eksikliğinde ciddi sağlık sorunları ortaya çıkar. Çinko toksisitesi ise nispeten nadir görülür ve sadece çok yüksek maruziyet seviyelerinde ortaya çıkar. Çinko doğada yaygın olarak bulunur. Dolayısıyla su, hava ve birçok gıdada mevcuttur. Amerika Birleşik Devletleri'nde günlük ortalama çinko alımı 5.2–16.2 mg'dır. Çinko esas olarak diyet yoluyla vücuda alınır. Çinko içeren gıdalar arasında yeşil yapraklı sebzeler, et, balık ve kümes hayvanlarının etleri bulunmaktadır. Önerilen günlük alınması gereken çinko miktarı erkekler için 11 mg, kadınlar için 8 mg'dır. Hamile ve emziren kadınlar ise günlük 12 mg çinkoya ihtiyaç duyar.

Çinkonun ana kullanımı; çelik veya demirin galvanizasyonudur. Demir ve çelik malzemelerin üzerine ince bir çinko tabakası kaplama işlemine galvanizleme denir. Bu yöntemdeki amaç metallerin korozyona karşı korunmasıdır. Çinko, korozyon önleyici madde olarak yaygın kullanılır. Galvanizleme işlemi en çok sıcak daldırma ile yapılır. Çinko oksit toz ve dumanlarına maruziyet genellikle eritme işlemlerinde, galvanize metallerin (çinko kaplı çelik) alevle kesilmesi veya galvanize çelik kaynağı işi ile uğraşanlarda sık görülür. Mesleki çinko maruziyetinin en karakteristik bulgusu, çinko oksit dumanlarına maruziyetten sonra gelişen metal dumanı ateşi hastalığıdır. 8 saatlik bir çalışma süresi boyunca işçinin maruz kala-

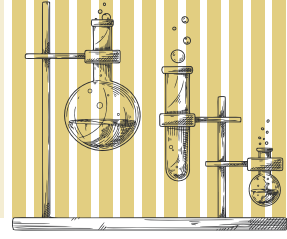
duğuna dair bir kanıt yoktur.

9. Tedavisi

Kalsiyum disodyum etilen diamintetraasetat (CaNa_2EDTA) şelatörü; yüksek seviye maruziyetin ardından vücuttaki çinko yükünü azaltmada önerilen tedavidir. Çinko zehirlenmesinin tedavisinde en yaygın kullanılan antidotlar: Etilendiamin-tetraasetik asit (EDTA), dietilentriaminpentaasetik asit (DTPA) ve dimerkaprol (BAL). İntravenöz CaNa_2EDTA uygulanması; yükselmiş serum çinko seviyesini düşürür. İntramüsküler BAL uygulanması; yükselmiş kan çinko seviyesini düşürür ve idrarla atılımını 22 kat artırır. İntravenöz N-asetilsistein; çinko klorür dumanının solunmasını takiben idrarla çinko atılımını artırır ve plazma seviyesini düşürür.

Kaynaklar

1. Nordberg GF, Fowler BA, Nordberg M, Friberg LT. Handbook on the Toxicology of Metals. 3rd ed. Elsevier;2007.
2. Klaassen CD. Casarett and Doull's Toxicology. The Basic Science of Poisons. 7th ed. McGraw-Hill;2008.
3. Hoffman RS, Nelson LS, Howland MA, et al. Goldfrank's Manual of Toxicologic Emergencies. McGraw-Hill;2007.
4. Olson KR, Anderson IB, Benowitz NL, et al. Poisoning and Drug Overdose. 5th ed. McGraw-Hill;2007.
5. Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). Toxicological Profile for Zinc. Atlanta, GA: U.S. 2005.
6. Australian Government. Department of Agriculture, Water and the Environment. National Pollutant Inventory. Zinc and compounds.



Bölüm 10

DEMİR

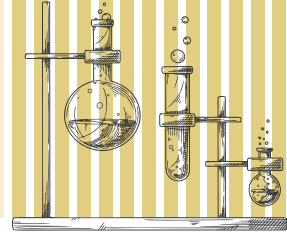
1. Özeti

Demir (Fe) çok bol bulunan bir geçiş metalidir. İlk kullanımına dair işaretler, yaklaşık M.Ö. 4000 yıllarına dayanmaktadır. Demir yaygın olarak anemi tedavisinde kullanılmakla birlikte, prenatal ve günlük vitaminlerde bulunur. Eritropoez için gereken bir metaldir. Hemoglobin, miyoglobin, hem enzimleri, metalloflavoprotein enzimleri ve mitokondriyal enzimlerin temel bileşenidir. Biyolojik sistemlerde ferröz (Fe^{+2}) ve ferrik (Fe^{+3}) formlarda bulunur. Demir eksikliği, kazara akut maruziyetler ve idiyopatik hemokromatozis nedeniyle vücutta aşırı demir birikmesi durumu, toksikolojik açıdan önemlidir. Ayrıca sık kan transfüzyonunun yapıldığı hastalarda (örneğin orak hücreli anemili hastalar, talasemili hastalar) demir toksisitesi gelişebilir. Demirin kazara yutulması, 6 yaşından küçük çocuklarda yaygın görülür ve ölümcül zehirlenmelerin önde gelen nedenidir. Çocuk vitaminleri tablet başına 5-19 mg elemental demir içerir; prenatal vitaminler ise tablet başına 60-90 mg elemental demir içerir.

Demir eksikliği; bebekleri, küçük çocukları ve doğurganlık çağındaki kadınları etkileyen, dünya genelinde en yaygın görülen besin ögesi eksikliğidir. Çocuklarda demir eksikliği açısından kritik dönem 6 aylıktan başlar ve 2 yaşına kadar sürer. Demir eksikliğinin başlıca belirtisi, hipokromik mikrositik anemidir. Demir eksikliğinin yol açtığı etkiler; psikomotor gelişim bozukluğu, mental ve kognitif fonksiyon bozukluğu, enfeksiyona karşı direncin azalması, olumsuz gebelik so-

Kaynaklar

1. Nordberg GF, Fowler BA, Nordberg M, Friberg LT. Handbook on the Toxicology of Metals. 3rd ed. Elsevier;2007.
2. Klaassen CD. Casarett and Doull's Toxicology. The Basic Science of Poisons. 7th ed. McGraw-Hill;2008.
3. Olson KR, Anderson IB, Benowitz NL, et al. Poisoning and Drug Overdose. 5th ed. McGraw-Hill;2007.
4. Madiwale T, Liebelt E. Iron: not a benign therapeutic drug. Curr Opin Pediatr. 2006;18(2):174-9.
5. Baranwal AK, Singhi SC. Acute iron poisoning: management guidelines. Indian Pediatr. 2003;40(6):534-40.
6. Singhi SC, Baranwal AK, M J. Acute iron poisoning: clinical picture, intensive care needs and outcome. Indian Pediatr. 2003;40(12):1177-82.
7. Albretsen J. The toxicity of iron, an essential element. Veterinary Medicine. 2006;101(2):82-90.
8. Lenn Tech. Chemical properties, health and environmental effects of iron.
9. Muwanguzi AJB, Karasev AV, Byaruhanga JK, et al. Characterization of Chemical Composition and Microstructure of Natural Iron Ore from Muko Deposits. International Scholarly Research Notices. Article ID 174803, 9 pages, 2012.
10. Uysal Z. Hepsidin ve Demir Metabolizması. VI. Hematoloji İlk Basamak Kursu, 16 Ekim 2007, Ankara.
11. Iron in Drinking-water. WHO Guidelines for Drinking-water Quality, 2nd ed. Vol. 2. Health criteria and other supporting information. World Health Organization, Geneva, 1996.



Bölüm 11

GALYUM

1. Özeti

Galyum (Ga), periyodik cetvelin 3A grubunda yer alır ve grubun diğer metalleriyle (alüminyum, indiyum ve talyum) benzer özelliklere sahiptir. Galyum, ismini Latince “Fransa” anlamına gelen “Gallia” kelimesinden almaktadır. 1875’te Fransız kimyager Paul-Émile Lecoq de Boisbaudran tarafından keşfedilmiştir. Galyum metali çok düşük bir erime noktasına sahiptir (29.76°C), oda sıcaklığında katıdır ama hafifçe ısıtıldığında sıvılaşır. Bileşiklerinin çoğunda galyum, +3 oksidasyon durumunda bulunur. Radyogalyum, kemik lezyonlarının yerini belirlemek için bir tanı aracı olarak kullanılır. Radyoaktif olmayan galyum nitrat, antitümör ajan olarak ve hiperkalsemi tedavisinde kullanılır. Galyum; bakır, çinko, kurşun ve alüminyum arıtılmasının bir yan ürünü olarak elde edilir. Ağırıklı olarak elektronik bileşenlerin üretilmesinde kullanılmaktadır. Ayrıca yüksek sıcaklık termometrelerinde ve metal alaşımlarında kullanılır. Galyum ile arsenik reaksiyona sokularak elde edilen galyum arsenit (GaAs), yaygın olarak kullanılan bir yarı iletkenidir.

2. Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

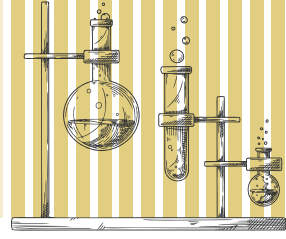
Galyum, periyodik cetvelin 3A grubunda yer alan, atom numarası 31 ve atom ağırlığı 69.723 olan kimyasal bir elementtir. Erime noktası 29.76°C , kaynama noktası 2204°C ’dir. Erime noktası ve kaynama noktası arasındaki fark çok yüksektir. Yoğunluğu 5.91 g/cm^3 ’tür. Galyum, bileşiklerinin çoğunda +3 ve birkaçında ise +1

9. Tedavisi

In vitro ve in vivo çalışmalarda, Dimerkaptosüksinik asit (DMSA) ve Dimerkaptopropansülfonik asit (DMPS)'nin, GaAs maruziyetinden kaynaklanan toksikolojik etkilerin hafifletilmesinde yararlı olduğu gösterilmiştir.

Kaynaklar

1. Klaassen CD. Casarett and Doull's Toxicology. The Basic Science of Poisons. 7th ed. McGraw-Hill;2008.
2. Nordberg GE, Fowler BA, Nordberg M, Friberg LT. Handbook on the Toxicology of Metals. 3rd ed. Elsevier;2007.
3. Lenn Tech. Chemical properties, health and environmental effects of gallium.
4. Scerri ER. The Periodic Table: Its Story and Its Significance. Oxford University Press. 2007.
5. Burton JD, Culkin F, Riley JP. The abundances of gallium and germanium in terrestrial materials. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 1959;16(1):151–80.
6. Frenzel M, Ketris MP, Seifert T, et al. On the current and future availability of gallium. *Resources Policy*. 2016;47:38–50.
7. Moskalyk RR. Gallium: The Backbone of the Electronics Industry. *Minerals Engineering*. 2003;16(10):921-9.
8. McAlister JA, Orians KJ. Dissolved gallium in the Beaufort Sea of the Western Arctic Ocean: A GEOTRACES cruise in the International Polar Year. *Marine Chemistry*. 2015;177:101–9.



Bölüm 12

GERMANYUM

1. Özeti

Germanyum (Ge); periyodik cetvelin 4A grubunda yer alan ve atom numarası 32 olan kimyasal bir elementtir. Silisyum ve kalay ile aynı grupta olmakla beraber, kimyasal olarak onlara benzerdir. Çok sayıda organometalik bileşik (dimetil germanyum ve germanyum tetrahidrit gibi) oluşturabilir. Germanyum, bileşiklerinde çoğunlukla +4 oksidasyon durumunda bulunur. Parlak, sert, kırılğan, grimsi beyaz bir metaloididir. 1886 yılında Alman kimyager Clemens Alexander Winkler tarafından gümüş, germanyum ve kükürt içeren nadir bir mineral olan "arjirodit" içinde bulundu ve böylece germanyum elementi keşfedildi. İsmi Latince "Almanya" anlamına gelen "Germania" kelimesinden almaktadır. Yarı iletken endüstrisinde germanyum transistörler, katıhal elektroniğinde 1970'lerin ortalarına kadar yoğun bir şekilde kullanılmıştır, ancak daha sonraları silisyum büyük ölçüde germanyumun yerini almıştır. Germanyum günümüzde kızılötesi gece görüş sistemlerinde, fiber optikte, polimerizasyon katalizörü olarak ve metal alaşımlarında kullanılır. Silisyum germanit (SiGe), yüksek hızlı entegre devrelerde kullanılması açısından önemli bir yarı iletken metaldir. Germanyum üretiminin büyük bir kısmı çinko sülfür (ZnS) cevherlerinden sağlanmaktadır. Ayrıca bazı kömürlerin yanması sırasında yan ürün olarak elde edilir. Yer kabuğundaki Ge miktarı ağırlıkça 1.5 ppm civarındadır.

Yapılan hayvan deneylerinde, hem inorganik hem de organik germanyum

25 g elemental Ge'yi 2 ay boyunca oral almasının ardından şiddetli laktik asidoz, böbrek yetmezliği ve hepatotoksisite gelişmiştir.

Takviye olarak alınan yüksek dozlarda germanyum bileşiklerinin neden olduğu nörolojik etkiler ise alt ekstremitelerde derin tendon reflekslerin negatif saptanması, avuç içi ve ayak tabanında karıncalanma hissi, yazma güçlüğü, yürüme bozukluğu, geri dönüşümsüz periferik nöropati, dorsal kök gangliyon hücrelerinin dejenerasyonu ve omurilik dorsal kolonunda dejenerasyondur. Kardiyak etkileri ise kalp dilatasyonu, miyokardiyal hücrelerin vakuoler dejenerasyonu ve interstisyel ödemdir.

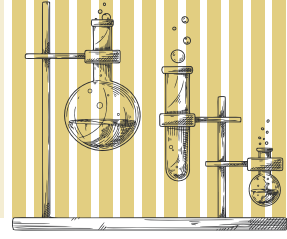
Trietilgermanyum asetat 50 mg/kg intravenöz uygulandığında veya 250 mg/kg oral verildiğinde sıçanlarda toksik etki göstermiştir. Trietilgermanyum bileşikleri; trietilkurşun ve trietilkalay bileşiklerinden çok daha az toksik olmakla birlikte, santral sinir sistemi üzerinde predominant bir etkiye sahip değildir. Antineoplastik bir ajan olan spirogermanyum, kanser hastalarında nörotoksik etki göstermiştir. Ayrıca köpeklerde de nörotoksik etkiler gözlenmiştir. Ge bileşiklerinin karsinogenik ve mutajenik olduğuna dair kesin bir kanıt yoktur. Dimetilgermanyum oksitin tavuk embriyoları üzerinde teratojenik etkiler gösterdiği ve uzuv anormalliklerine, göbek fıtıklarına ve anoftalmiye neden olduğu bildirilmiştir.

9. Tedavisi

Ge alımı sonlandırılmalıdır, buna rağmen böbrek fonksiyonu tam olarak düzelmez. Ge'den korunabilmek için gerekli önlemler alınmalıdır. Meydana gelen gastrointestinal semptomlar için hastaya semptomatik tedavi verilebilir.

Kaynaklar

1. Klaassen CD. Casarett and Doull's Toxicology. The Basic Science of Poisons. 7th ed. McGraw-Hill;2008.
2. Nordberg GF, Fowler BA, Nordberg M, Friberg LT. Handbook on the Toxicology of Metals. 3rd ed. Elsevier;2007.
3. Royal Society of Chemistry. Germanium – Element Information, properties and uses | Periodic Table.
4. JLAB Science Education. It's Elemental – The Element Germanium.
5. Lenn Tech. Chemical properties, health and environmental effects of germanium.



Bölüm 13

GÜMÜŞ

1. Özeti

Gümüş (Ag); nadir bulunan ve doğal olarak oluşan bir elementtir. Gümüşü renkte ve yumuşak bir metaldir. Arkeolojik kanıtlar, insanların en az 5000 yıldır gümüş kullandığını göstermektedir. “Ag” sembolü, Latince “gümüş” anlamına gelen “argentum” kelimesinden gelmektedir. Gümüş metali; takılarda, süs eşyalarında, elektronikte ve dişçilikte kullanılır. Çözünür gümüş tuzları (örneğin gümüş nitrat, gümüş sülfür); bakteri enfeksiyonunun tedavisinde kullanılır. Gümüş bromür ve gümüş iyodür; ışığa karşı duyarlı olduklarından fotoğrafçılık tarihinde önemli bir yere sahiptir. Gümüş sülfadiazin ise yanık tedavisinde kullanılır. Mesleki maruziyet en çok gümüş toz ve dumanlarının solunmasından kaynaklanır. Diyetle Ag alımı günde 70–90 µg aralığındadır ve ilaçlardan alınan gümüşten çok daha azdır. İçme suyunu dezenfekte etmek için izin verilen Ag miktarı 0.1 mg/L'dir.

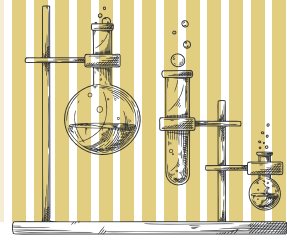
Gümüş bileşikleri oral yolla ve solunum yoluyla emilebilmektedir. Ayrıca hasar görmüş deriden de emilimi mümkündür. Ağızdan alınan gümüş bileşiklerinin %10'dan azı emilmektedir ve dokularda sadece %2–4'lük kısmı tutulur. Metalik gümüş ve çözünmeyen gümüş bileşikleri vücut tarafından kolayca alınmaz ve minimum sağlık riski oluşturur. Gümüş nitrat içeren içme suyunu (0.03 mg/L) 2 hafta süreyle tüketen farelerde; kas, serebellum, dalak, onikiparmak bağırsağı, kalp, akciğer, karaciğer ve böbrek dahil birçok dokuya gümüş yaygın olarak dağılmıştır. Gümüş; kan–beyin bariyerini geçebilir, sinir sisteminin birçok yapısında

9. Tedavisi

Öncelikle gümüş maruziyeti ortadan kaldırılmalıdır. Güneş kremi, cilt renginin daha fazla koyulaşmasını önler. Arjiri için bilinen etkili bir tedavi bulunmamaktadır. Şelasyon tedavisi, hidrokinon ve dermabrazyon etkisizdir. Ancak son zamanlarda, Q-switched lazer yöntemi ile olumlu sonuçlar elde edilmiştir.

Kaynaklar

1. Klaassen CD. Casarett and Doull's Toxicology. The Basic Science of Poisons. 7th ed. McGraw-Hill;2008.
2. Nordberg GF, Fowler BA, Nordberg M, Friberg LT. Handbook on the Toxicology of Metals. 3rd ed. Elsevier;2007.
3. Hoffman RS, Nelson LS, Howland MA, et al. Goldfrank's Manual of Toxicologic Emergencies. McGraw-Hill;2007.
4. Lenn Tech. Chemical properties, health and environmental effects of silver.
5. Royal Society of Chemistry. Silver – Element Information, properties and uses | Periodic Table.
6. JLAB Science Education. It's Elemental – The Element Silver.
7. Beutler BD, Lee RA, Cohen PR. Localized cutaneous argyria: Report of two patients and literature review. Dermatology Online Journal. 2016;22(11):11.
8. Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). Toxicological Profile for Silver. Atlanta, GA: U.S. 1990.
9. Howe PD, Dobson S. World Health Organization & International Programme on Chemical Safety. Silver and silver compounds : environmental aspects. 2002.
10. Kubba A, Kubba R, Batrani M, et al. Argyria an unrecognized cause of cutaneous pigmentation in Indian patients: A case series and review of the literature. Indian J Dermatol Venereol Leprol. 2013;79:805-11.



Bölüm 14

İNDİYUM

1. Özeti

İndiyum (In), periyodik cetvelin 3A grubunda bulunan ve atom numarası 49 olan kimyasal bir elementtir. Zayıf metaller sınıfında yer almaktadır. 1863 yılında Alman kimyagerler Ferdinand Reich ve Theodor Richter tarafından spektroskopik yöntemlerle keşfedilmiştir ve spektrumundaki çizgi renginin indigo mavisi (çivit mavisi) olması sebebiyle “İndiyum” ismi verilmiştir. Doğada nadir bulunan bir metaldir ve büyük oranda çinko cevherlerinden yan ürün olarak elde edilir. Sfalerit (çinko sülfür cevheri), indiyum için en önemli kaynaktır. Yarı iletken endüstrisinde, düşük erime noktasına sahip alaşımlarda ve LCD ekranlarda kullanılır. İndiyum ayrıca bazı makine elemanlarını (örneğin motor yatağı, bilyalı rulman) korozyona karşı korumak için yapılan kaplamalarda da kullanılmaktadır. İndiyum arsenid (InAs) ve indiyum fosfid (InP) yaygın kullanılan yarı iletkenlerdir. In, esansiyel bir metal değildir.

İnsan vücuduna alınan günlük indiyum miktarı, 8–10 µg olarak belirlenmiştir. Genel popülasyon en çok oral yolla ve solunum yoluyla indiyuma maruz kalmaktadır. Mesleki maruziyet ise en çok solunum yoluyla olmaktadır. Oral alınan veya intratrakeal instilasyon ile verilen indiyum bileşiklerinin emilimi zayıftır fakat solunduktan sonraki emilimi orta düzeydedir. İndiyumun vücut sıvıları ve dokularında taşınması; kimyasal formuna bağlıdır. İyonik indiyum; kanda transferrine bağlı olarak taşınır ve farelerde intravenöz enjeksiyondan sonraki 3 gün

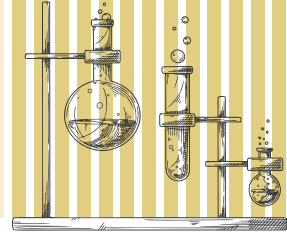
İyonik indiyum esas olarak böbreklere hasar verirken, koloidal hidratlı indiyum oksit ise karaciğer ve dalağa hasar verir. İntravenöz indiyum klorür enjeksiyonu sonucu hem sıçanların hem de farelerin böbrek proksimal tübüllerinde yaygın nekroz oluşmuştur. İntravenöz enjekte edilen koloidal hidratlı indiyum oksit ise karaciğer ve dalak hücrelerinde nekroza neden olmuştur. İyonik indiyum enjekte edilen sıçanlar, fareler ve tavşanlarda düşük hemoglobin seviyesi ve nötrofil sayısında azalma gözlemlenmiştir. İçme suyunu (5 mg iyonik indiyum/L) tüketen farelerde gelişimin baskılandığı görülmüştür. İndiyum klorürün sıçanlar ve farelerde embriyotoksik ve teratojenik etkiler gösterdiği bildirilmiştir. Sıçanlarda yapılan uzun süreli karsinogenez çalışmasındaki bulgulara dayanarak, Uluslararası Kanseri Araştırma Ajansı (International Agency for Research on Cancer-IARC), indiyum fosfidi grup 2A karsinogen (insanda büyük olasılıkla karsinogendir) olarak sınıflandırmıştır.

9. Tedavisi

Göz ile temas durumunda, gözler ılık suyla en az 15 dakika boyunca yıkanır. Göz irritasyonu devam ederse, tıbbi yardım alınır. Deri ile temas durumunda, kontamine elbise çıkarılır ve etkilenen bölge, sabun ve suyla yıkanır. İritasyon devam ederse, tıbbi yardım alınır. Solunması durumunda, kişi açık havaya çıkarılır ve nefes alırken güçlük çekiyorsa oksijen uygulanır. Oral alınması durumunda, ağız suyla iyice çalkalanır ve kişiye içmesi için 1-2 bardak su verilir. Bilinci yerinde olmayan bir kişiye asla ağızdan bir şey verilmez. İndiyum ve bileşiklerinin insan sağlığı üzerindeki etkilerine dair yeterli veri mevcut değildir. Bu nedenle koruyucu önlemler alınmalı ve azami özen gösterilmelidir.

Kaynaklar

1. Klaassen CD. Casarett and Doull's Toxicology. The Basic Science of Poisons. 7th ed. McGraw-Hill;2008.
2. Nordberg GF, Fowler BA, Nordberg M, Friberg LT. Handbook on the Toxicology of Metals. 3rd ed. Elsevier;2007.
3. Lenn Tech. Chemical properties, health and environmental effects of indium.
4. JLAB Science Education. It's Elemental – The Element Indium.
5. Royal Society of Chemistry. Indium – Element Information, properties and uses | Periodic Table.
6. Indium. "Source: European Chemicals Agency, <http://echa.europa.eu/>".
7. Anderson CS. Indium [Advance Release]. U.S. Geological Survey Minerals Yearbook—2018.
8. Anderson CS. U.S. Geological Survey, Mineral Commodity Summaries, January 2021.



Bölüm 15

KADMIYUM

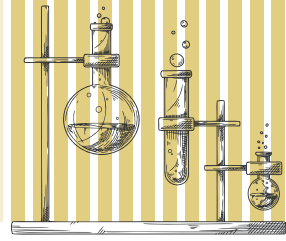
1. Özeti

Toksik bir metal olan kadmiyum (Cd), 1817 yılında Alman kimyager Friedrich Stromeyer tarafından keşfedildi. İsmi, “kalamın” mineralinin Latincesi olan “cadmia” kelimesinden alır. Yakın zamana kadar kadmiyumun endüstriyel kullanımını oldukça sınırlıydı fakat günümüzde birçok alanda kullanılan önemli bir metal haline gelmiştir. Kadmiyumun büyük bir kısmı şarj edilebilir nikel-kadmiyum pillerde kullanılır. Kolay aşınmaz özelliği sayesinde çelik kaplamada kullanılır ve korozyona karşı korur. Ayrıca boya endüstrisinde, stabilizör olarak plastik ve sentetik elyaf sanayinde, alaşımlarda ve nötron soğurucu olarak nükleer reaktörlerde kullanılır. Kadmiyumun yer kabuğundaki ortalama bolluğu 0.1–0.5 ppm'dir. Yer kabuğunda genellikle çinko, kurşun ve bakır cevherlerinde bulunur. Ticari olarak kullanılan kadmiyumun neredeyse tamamı çinko, kurşun ve bakır cevherlerinin işlenmesinde yan ürün olarak elde edilir. Kadmiyum oldukça toksik bir ağır metaldir.

Genel popülasyon en çok gıda yoluyla kadmiyuma maruz kalmaktadır. Kuzey Amerika ve Avrupa ülkelerinde gıdalardan alınan günlük ortalama Cd miktarı 15–25 µg'dır. Japonya'da ise ortalama alım miktarı genellikle 40–50 µg'dır ancak kadmiyum kirliliğinin olduğu bölgelerde muhtemelen daha yüksektir. Sigara içenler için ise kadmiyum maruziyetinin başlıca kaynağı sigaradır. Bir paket sigara içildiğinde emilen Cd miktarı 1–3 µg'dır. Sigara içmek; içmemeye kıyasla, Cd

Kaynaklar

1. Klaassen CD. Casarett and Doull's Toxicology. The Basic Science of Poisons. 7th ed. McGraw-Hill;2008.
2. Nordberg GF, Fowler BA, Nordberg M, Friberg LT. Handbook on the Toxicology of Metals. 3rd ed. Elsevier;2007.
3. Arsenic, Metals, Fibres, and Dusts. IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. Volume 100C, 2012.
4. Hoffman RS, Nelson LS, Howland MA, et al. Goldfrank's Manual of Toxicologic Emergencies. McGraw-Hill;2007.
5. Olson KR, Anderson IB, Benowitz NL, et al. Poisoning and Drug Overdose. 5th ed. McGraw-Hill;2007.
6. Royal Society of Chemistry. Cadmium – Element Information, properties and uses | Periodic Table.
7. Lenn Tech. Chemical properties, health and environmental effects of cadmium.
8. Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). Toxicological Profile for Cadmium. Atlanta, GA: U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service. 2012.
9. WHO air quality guidelines for Europe, 2nd edition. World Health Organization. Regional Office for Europe, Copenhagen, Denmark, 2000.
10. Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). Case Studies in Environmental Medicine (CSEM). Cadmium Toxicity. 2008.
11. JLAB Science Education. It's Elemental – The Element Cadmium.
12. Callaghan RM. Cadmium [Advance Release]. U.S. Geological Survey Minerals Yearbook—2018.
13. Callaghan RM. U.S. Geological Survey, Mineral Commodity Summaries, January 2021.
14. Hayes AW, Kruger CL. Hayes' Principles and Methods of Toxicology, 6th edition. CRC Press, 2014.



Bölüm 16

KALAY

1. Özeti

Kalay (Sn); yumuşak, esnek, gümüşü beyaz bir metaldir. Kalayın simgesi Sn olup, Latince “kalay” anlamına gelen “stannum” kelimesinden gelir. Kalay, antik çağlardan beri bilinen ve kullanılan en eski metallerden biridir. Bakıra sertlik ve dayanıklılık kazandırmasından dolayı, M.Ö. 3500’lü yıllarda bronz (bakır-kalay alaşımı) aletlerde kullanılmıştır. Kalay metali; teneke yiyecek kutuları, teneke içecek kutuları ve teneke aerosol kutuları kaplamada kullanılır. Sn, diğer kimyasallar ile birleşerek çeşitli bileşikler oluşturabilen bir metaldir. Kalayın; klor, sülfür veya oksijen ile birleşmesiyle inorganik kalay bileşiği (örneğin stanöz klorür, stanöz sülfür, stanik oksit) oluşur. İnorganik Sn bileşikleri, yer kabuğunda az miktarda bulunur. Ayrıca diş macunu, parfümler, sabunlar, renklendiriciler, gıda katkıları ve boyalarda bulunurlar. Kalay ayrıca karbon ile birleşerek organokalay bileşikleri (örneğin dibütil kalay, tribütil kalay, trifenil kalay) oluşturur. Bu bileşikler ise plastikler, gıda ambalajları, pestisitler, ahşap koruyucular ve kemirgen kovucularda kullanılır.

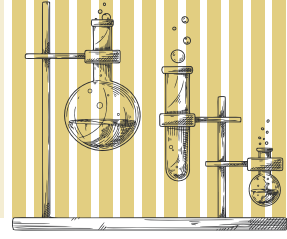
Sn; doğal kaynaklar ve antropojenik (insan kaynaklı) aktiviteler aracılığıyla çevreye salınır. İnsan kaynaklı aktiviteler arasında madencilik, fosil yakıtların yanması, atıkların yakılması, Sn bileşiklerinin üretimi ve kullanımı yer almaktadır. Havadaki Sn partikülleri rüzgarla taşınabilir veya yağmur ve kar yolu ile toprağa ve suya geçer. Sn toprağa ve sudaki sedimentlere bağlanır ve nispeten

ve suyla iyice yıkanmalıdır. Göz ile temas durumunda, gözler ılık suyla en az 15 dakika yıkanmalıdır. Gastrik lavaj, hayatı tehdit eden miktarda alım söz konusu ise ilk 1 saat içinde önerilir.

Dialkalkalay bileşiklerinin toksisitesinin, ditiyol gruplarıyla olan reaksiyonlardan kaynaklandığı ileri sürülmektedir. Dolayısıyla, hayvan çalışmalarına dayanarak, BAL (2,3-dimerkaptopropanol) bir antidot olarak önerilmiştir fakat trialkalkalay veya tetraalkalkalay bileşiklerine karşı etkili değildir. Dimerkaptopropansülfonik asit (DMPS) ve Dimerkaptosüksinik asit (DMSA); sıçanlarda dibütillalkalay diklorür kaynaklı safra kanalı, pankreas ve karaciğer lezyonlarını küçültmede etkili iken, timus atrofisine karşı daha az etkilidir. DMPS, DMSA'dan daha etkilidir.

Kaynaklar

1. Klaassen CD. Casarett and Doull's Toxicology. The Basic Science of Poisons. 7th ed. McGraw-Hill;2008.
2. Nordberg GF, Fowler BA, Nordberg M, Friberg LT. Handbook on the Toxicology of Metals. 3rd ed. Elsevier;2007.
3. Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). Toxicological Profile for Tin and Tin Compounds. Atlanta, GA: U.S. 2005.
4. Tin and Inorganic Tin Compounds. Concise International Chemical Assessment Document 65. World Health Organization, Geneva, 2005.



Bölüm 17

KOBALT

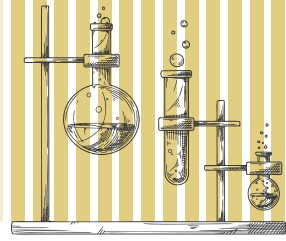
1. Özeti

Kobalt (Co); ferromanyetik bir geçiş metalidir. Özellikler bakımından nikel ile demire benzeyen ve doğal olarak oluşan bir elementtir. 1739 yılında İsveçli kimyager Georg Brandt tarafından keşfedilmiştir. Adını Almancada “kötü ruh” veya “cin” anlamına gelen “kobold” kelimesinden alır. Atom numarası 27’dir. Kobalt genellikle bakır ve nikel madenciliğinin bir yan ürünü olarak elde edilir. Kobaltın sadece bir tane kararlı izotopu vardır: ^{59}Co . Ancak çok sayıda kararsız veya radyoaktif izotopu vardır. Bunlardan ^{60}Co ve ^{57}Co önemli olanlardır. ^{60}Co önemli bir gama ışını kaynağıdır. Tıbbi ekipmanların ve tüketici ürünlerinin sterilizasyonunda ve kanser hastalarının tedavisinde (radyoterapide) kullanılır. Ayrıca ^{60}Co , gıdaları ışınlamak için de kullanılır. Bu işlem ile gıdalar sterilize edilir, patojenler yok edilir ve gıdaların raf ömrü uzatılır. ^{57}Co ise tıbbi ve bilimsel araştırmalarda kullanılır.

Az miktarda kobalt kayalarda, toprakta, suda, bitkilerde ve hayvanlarda doğal olarak bulunur. Kobalt ayrıca gök taşında (meteorit) da bulunur. Elemental kobalt sert, gümüş grisi renkte bir metaldir. Ancak, kobalt genellikle doğada oksijen, kükürt ve arsenik gibi başka elementlerle birleşik halde bulunur. B12 vitamini (siyanokobalamin); biyokimyasal olarak önemli bir kobalt bileşiğidir. B12 vitamini hayvanların ve insanların sağlıklı olması için esansiyeldir. Yetişkin bir insan vücudunda yaklaşık olarak 1 mg kobalt bulunur ve bunun %85’i vitamin B12 formundadır.

Kaynaklar

1. Klaassen CD. Casarett and Doull's Toxicology. The Basic Science of Poisons. 7th ed. McGraw-Hill;2008.
2. Nordberg GF, Fowler BA, Nordberg M, Friberg LT. Handbook on the Toxicology of Metals. 3rd ed. Elsevier;2007.
3. Hoffman RS, Nelson LS, Howland MA, et al. Goldfrank's Manual of Toxicologic Emergencies. McGraw-Hill;2007.
4. Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). Toxicological Profile for Cobalt. Atlanta, GA: U.S. 2004.
5. Royal Society of Chemistry. Cobalt – Element Information, properties and uses | Periodic Table.
6. JLAB Science Education. It's Elemental – The Element Cobalt.
7. University of Rochester Medical Center (URMC) – Cobalt.
8. Shedd KB. U.S. Geological Survey, Mineral Commodity Summaries, January 2021.
9. Cobalt. "Source: European Chemicals Agency, <http://echa.europa.eu/>".
10. Mohan N, Kasprowicz E. Identification and Management of Cobalt Toxicity: A Case Report of Rapidly Progressing Toxicity after Hip Arthroplasty Revision. The Medicine Forum. Vol. 17, Article 18, 2016.



Bölüm 18

KROM

1. Özeti

Krom (Cr), periyodik cetvelin 6. grubunda bulunan bir geçiş metalidir. 1797’de Fransız kimyacı Louis Nicolas Vauquelin tarafından krokoit (PbCrO_4) minerali içinde bulunmuştur. İsmi Yunanca “renk” anlamına gelen “chroma” kelimesinden almıştır. Çoğu krom bileşiği renkli olduğu için bu isim seçilmiştir. Doğal olarak oluşan bir element olup; kayalar, toprakta, bitkilerde ve hayvanlarda bulunur. Krom doğada serbest halde bulunmaz, başka elementlerle birleşik halde bulunur. Kromun Cr(0), Cr(III) ve Cr(VI) olmak üzere 3 ana formu vardır. Cr(III), vücudun eser miktarda ihtiyaç duyduğu esansiyel bir element olup gıdaların pek çoğunda bulunmaktadır. Cr(VI) bileşikleridir karsinogeniktir. Cr(III)’e göre Cr(VI) 1000 kat daha toksiktir. Krom, paslanmaz çelik üretiminde kullanılır. Ayrıca ahşap koruyucularda, deri tabaklama işleminde, kromla kaplama işleminde, renk verici maddeler olarak (krom bileşikleridir kırmızı, sarı, turuncu ve yeşil olabilir) ve diğer birçok alanda kullanılır.

Kromu üreten veya kullanan endüstrilerden çevreye salınım gerçekleşir. Dolayısıyla hava, su ve toprakta krom bulunur. Ayrıca doğal gaz, petrol veya kömürün yanması sonucunda da çevreye Cr salınmaktadır. Havadaki Cr partikülleri rüzgarla taşınabilir veya yağmur ve kar yolu ile toprağa ve suya geçer. Cr, mevcut koşullara bağlı olarak su ve toprakta bir formdan diğerine dönüşebilir.

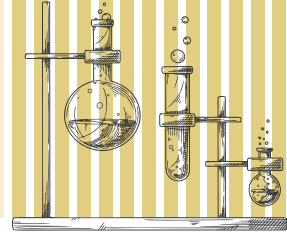
leşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı (United States Environmental Protection Agency–USEPA), Uluslararası Kanser Araştırma Ajansı (International Agency for Research on Cancer–IARC), Dünya Sağlık Örgütü (World Health Organization–WHO) ve Amerika Birleşik Devletleri Sağlık ve Sosyal Hizmetler Bakanlığı (United States Department of Health and Human Services–USDHHS) tarafından insan karsinojeni olarak belirlenmiştir.

9. Tedavisi

Krom zehirlenmesinde kanıtlanmış bir antidot mevcut değildir. N-asetilsistein (NAC); kromun idrarla atılımını artırır. Yüksek doz oral askorbik asit ise Cr(VI)'nın Cr(III)'e indirgenmesini hızlandırır. Dermal maruziyet durumunda; %10'luk askorbik asit solüsyonu, Cr(VI)'yı Cr(III)'e indirgeyerek emilimi azaltabilir. Kromatların eliminasyonunu artırmak için zorlu diürez önerilir. Ciddi akut zehirlenmede, kan krom seviyesini düşürmek için kan transfüzyonu uygulanabilir.

Kaynaklar

1. Hoffman RS, Nelson LS, Howland MA, et al. Goldfrank's Manual of Toxicologic Emergencies. McGraw-Hill;2007.
2. Nordberg GF, Fowler BA, Nordberg M, Friberg LT. Handbook on the Toxicology of Metals. 3rd ed. Elsevier;2007.
3. Arsenic, Metals, Fibres, and Dusts. IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. Volume 100C, 2012.
4. Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). Toxicological Profile for Chromium. Atlanta, GA: U.S. 2012.
5. Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). ToxFAQs for Chromium. Atlanta, GA: U.S. 2012.
6. Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). ToxGuide for Chromium. Atlanta, GA: U.S. 2012.
7. Klaassen CD. Casarett and Doull's Toxicology. The Basic Science of Poisons. 7th ed. McGraw-Hill;2008.
8. Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). Case Studies in Environmental Medicine (CSEM). Chromium Toxicity. 2008.
9. WHO air quality guidelines for Europe, 2nd edition. World Health Organization. Regional Office for Europe, Copenhagen, Denmark, 2000.
10. Schulte RF. U.S. Geological Survey, Mineral Commodity Summaries, January 2022.



Bölüm 19

KURŞUN

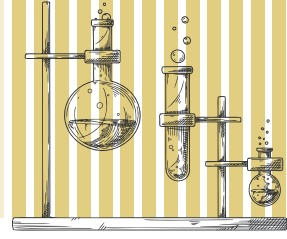
1. Özeti

Kurşun (Pb); yaygın bulunması ve kolay işlenebilir olması nedeniyle 7000 yılı aşkın bir süredir insanlar tarafından kullanılmaktadır. Yumuşak, dövülebilir ve sünektir. Pb sembolü, Latince “kurşun” anlamına gelen “plumbum” kelimesinden gelir. Atom numarası 82, atom ağırlığı 207.2’dir. Mavimsi gri olup hava ile temas sonucu koyu gri bir renge dönüşür. Yüksek yoğunluğa (11.34 g/cm^3) ve düşük erime noktasına (327.46°C) sahiptir. Yer kabuğunun yaklaşık %0.0013’ünü oluşturur. Kurşun doğada elemental formunda nadiren bulunur. Doğada esas olarak galen (PbS) (kurşun sülfür) minerali olarak bulunur. Anglezit (PbSO_4) (kurşun sülfat) ve serüzit (PbCO_3) (kurşun karbonat) diğer önemli kurşun mineralleridir.

Beyaz kurşun (bazik kurşun karbonat), sarı kurşun (kurşun kromat, kurşun monoksit), kırmızı kurşun (kurşun tetraoksit) ve kurşun asetat önemli inorganik kurşun bileşikleridir. Tetraetil ve tetrametil kurşun ise organik kurşun bileşikleridir ve benzinde oktan sayısını artırmak için kullanılır. Benzine katılan organik kurşunun yanmasıyla atmosfere kurşun salınımı gerçekleşir. Bu nedenle, ABD’de karayolu taşıtlarında kurşunlu benzin kullanımı 1 Ocak 1996’dan itibaren yasaklanmıştır. Organik kurşun bileşikleri deriden kolayca emilebildikleri için ve inorganik kurşuna kıyasla, santral sinir sistemi üzerine çok daha toksik etki gösterdikleri için son derece tehlikelidir. Organik kurşun zehirlenmesi genellikle mesleki maruziyet sonucu meydana gelir. Bugün çevremizde karşılaştığımız çoğu kurşun inorganiktir.

Kaynaklar

1. Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). Toxicological Profile for Lead. Atlanta, GA: U.S. 2020.
2. Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). ToxGuide for Lead. Atlanta, GA: U.S. 2020.
3. Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). ToxFAQs for Lead. Atlanta, GA: U.S. 2020.
4. Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). Case Studies in Environmental Medicine (CSEM). Lead Toxicity. 2017.
5. Royal Society of Chemistry. Lead – Element Information, properties and uses | Periodic Table.
6. JLAB Science Education. It's Elemental – The Element Lead.
7. Lenn Tech. Chemical properties, health and environmental effects of lead.
8. Brief guide to analytical methods for measuring lead in blood, second edition. Geneva: World Health Organization; 2020.
9. Klochko K. U.S. Geological Survey, Mineral Commodity Summaries, January 2022.
10. Oregon Department of Human Services. Health Effects of Lead Exposure.
11. Sigel A, Sigel H, Sigel RKO. Lead: Its Effects on Environment and Health. Walter de Gruyter GmbH & Co KG, 2017.
12. Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). Medical Management Guidelines for Lead. Atlanta, GA: U.S. 2014.
13. Halmo L, Nappe TM. Lead Toxicity, 2022.
14. New York City Department of Health and Mental Hygiene Guidelines for Health Care Providers. Recommended Chelation Protocol for Children With BLLs ≥ 45 $\mu\text{g}/\text{dL}$. 2022.
15. Klaassen CD. Casarett and Doull's Toxicology. The Basic Science of Poisons. 7th ed. McGraw-Hill;2008.
16. Hoffman RS, Nelson LS, Howland MA, et al. Goldfrank's Manual of Toxicologic Emergencies. McGraw-Hill;2007.
17. Nordberg GF, Fowler BA, Nordberg M, Friberg LT. Handbook on the Toxicology of Metals. 3rd ed. Elsevier;2007.
18. Olson KR, Anderson IB, Benowitz NL, et al. Poisoning and Drug Overdose. 5th ed. McGraw-Hill;2007.



Bölüm 20

MANGANEZ

1. Özeti

Manganez (Mn) diğer adıyla mangan, doğal olarak oksit, karbonat ve silikat halinde bulunur. Mn ilk kez 1774 yılında İsveçli kimyager Johan Gottlieb Gahn tarafından izole edilmiştir. Latince “mıknatıs” anlamına gelen “magnes” kelimesinden adını alır. Saf manganez, gümüş grisi renginde bir metaldir; ancak doğada saf bir metal olarak bulunmaz, diğer elementlerle birleşik halde bulunur. Manganez pek çok gıdada doğal olarak bulunur. Sağlık için gerekli bir eser elementtir. Mn özellikle çelik üretiminde sertliği, sağlamlığı, dayanıklılığı, işlenebilirliği ve aşınmaya karşı direnci artırmak için kullanılır. Karbon çeliği, paslanmaz çelik, yüksek sıcaklığa dayanıklı çelik ve takım çeliğinin yanı sıra dökme demir ve süper alaşımlarda kullanılır. Manganezin kullanıldığı bazı ürünler şunlardır; kuru piller, havai fişekler, gübre, boyalar, tıbbi görüntüleme ajanı ve kozmetikler. Ayrıca, kurşunsuz benzinde oktan sayısını artırmak ve motor vuruntusunu azaltmak için kullanılabilir. Metilsiklopentadienil manganez trikarbonil (MMT), yakıt katkısı olarak kullanılan organik bir manganez bileşiğidir.

Manganez; hava, toprak, su ve gıdaların doğal bir bileşenidir. Mn içeren ürünlerin üretimi, kullanımı ve bertaraf edilmesi sonucu hava, toprak ve suya Mn salınır. Bu durum; hava, toprak ve suda daha fazla manganez bulunmasına neden olur. Mn doğada parçalanmaz ancak bir formdan diğerine dönüşebilir. Toprakta manganezin ne kadar hızlı ilerleyeceği ve ne kadarının toprakta tutulacağı;

dikkat eksikliği, motor bozukluklar, saldırganlık ve/veya hiperaktivite görülebilir.

Çevre Koruma Ajansı (Environmental Protection Agency-EPA); manganezi grup D (insanda karsinojen olarak sınıflandırılmaz) olarak sınıflandırmaktadır. Halihazırda insanlarda kansere neden olduğuna dair bir kanıt yoktur.

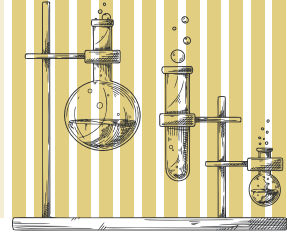
9. Tedavisi

Ciddi manganez zehirlenmesi vakalarında; vücuttaki manganez yükünü azaltmak ve semptomları hafifletmek için şelasyon tedavisi önerilebilir. EDTA gibi ajanlarla yapılan şelasyon tedavisi, manganizmde görülen bazı nörolojik belirtileri giderebilir ancak kullanıldığı vakalarda hastaların tamamında düzelme görülmemiştir ve sağladığı faydalar ise her zaman kalıcı değildir. Anti-tüberküloz ilaç olan para-aminosalisilik asit (PAS), manganizmi tedavi etmek için kullanıldığı vakalarda terapötik fayda sağlamıştır. Levo-dopa gibi anti-parkinson ilaçlar; manganizmde görülen bazı nöromusküler belirtileri tersine çevirebilir ancak bu ilaçlar birtakım yan etkilere neden olabilir ve manganizm hastalarında görülen nörotoksisite semptomlarını düzeltmede etkili değildirler. Ayrıca, E vitamini gibi antioksidanların kullanılması da tedavide fayda sağlayabilir.

Kaynaklar

1. Klaassen CD. Casarett and Doull's Toxicology. The Basic Science of Poisons. 7th ed. McGraw-Hill;2008.
2. Nordberg GF, Fowler BA, Nordberg M, Friberg LT. Handbook on the Toxicology of Metals. 3rd ed. Elsevier;2007.
3. WHO air quality guidelines for Europe, 2nd edition. World Health Organization. Regional Office for Europe, Copenhagen, Denmark, 2001.
4. Olson KR, Anderson IB, Benowitz NL, et al. Poisoning and Drug Overdose. 5th ed. McGraw-Hill;2007.
5. Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). Toxicological Profile for Manganese. Atlanta, GA: U.S. 2012.
6. Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). ToxGuide for Manganese. Atlanta, GA: U.S. 2012.
7. Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). ToxFAQs for Manganese. Atlanta, GA: U.S. 2012.
8. Royal Society of Chemistry. Manganese – Element Information, properties and uses | Periodic Table.
9. JLAB Science Education. It's Elemental – The Element Manganese.
10. Lenn Tech. Chemical properties, health and environmental effects of manganese.

11. Schnebele EK. U.S. Geological Survey, Mineral Commodity Summaries, January 2022.
12. Australian Government. Department of Climate Change, Energy, the Environment and Water. Manganese & compounds.
13. Chen P, Bornhorst J, Aschner M. Manganese metabolism in humans. *Frontiers In Bioscience, Landmark*, 23, 1655-1679, March 1, 2018.



Bölüm 21

MOLİBDEN

1. Özeti

1778'de İsveçli kimyager Carl Wilhelm Scheele, uzun bir süredir kurşun cevheri ya da grafit olduğu düşünülen molibdenit mineralinin kesinlikle kükürt ve henüz keşfedilmemiş başka bir metalden oluştuğunu öne sürmüştür. 1782'de ise İsveçli kimyager Peter Jacob Hjelm, molibden metalini mineralden ayıran ilk kişi olarak tarihe geçmiştir. Molibden (Mo) adını, Yunanca “kurşuna benzeyen” anlamına gelen “molybdos” kelimesinden alır. Mo; bazı minerallerde doğal olarak bulunan bir metaldir. Parlak gümüş grisi renginde bir metaldir. Doğada saf metalik formda bulunmaz, genellikle oksitler veya sülfür ile bileşik halinde bulunur. Vulfenit (PbMoO_4) (kurşun molibdat) ve povellit (CaMoO_4) (kalsiyum molibdat) gibi mineraller molibden içermesine rağmen, ticari olarak asıl molibden kaynağı molibdenit (MoS_2) (molibden disülfür) mineralidir.

Molibden; insanlarda, hayvanlarda ve bitkilerde mikro besin olarak önemli bir rol oynar. Esansiyel bir iz element olan Mo; insanlarda çeşitli enzimler (sülfat oksidaz, ksantin oksidaz, aldehit oksidaz) için kofaktör görevi görür. Üretilen molibdenin büyük bir kısmı metalurjik uygulamalarda kullanılır. Bu uygulamalardan bazıları; yüksek sıcaklık fırınları, akkor lambalar, güneş panelleri ve jet uçak motorları.

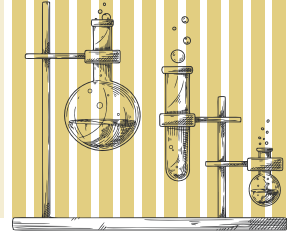
Molibden özellikle doğal maden yatağı bölgelerinde daha bol miktarda bulunur. Kontaminasyon nedeniyle endüstriyel faaliyetlerin yakınındaki hava, su

9. Tedavisi

Molibden bazı hayvanlarda, özellikle sığır ve koyunlarda aşırı toksik olabilir çünkü yüksek miktarda molibden alımı bu hayvanlarda bakır eksikliğine yol açar. Tedavide kullanılan bakır sülfat takviyesi; molibdenin emilimini azaltıp atılımını artırmaktadır. İnsanlarda ise molibden toksisitesinin görülme olasılığı düşüktür.

Kaynaklar

1. Klaassen CD. Casarett and Doull's Toxicology. The Basic Science of Poisons. 7th ed. McGraw-Hill;2008.
2. Nordberg GF, Fowler BA, Nordberg M, Friberg LT. Handbook on the Toxicology of Metals. 3rd ed. Elsevier;2007.
3. Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). Toxicological Profile for Molybdenum. Atlanta, GA: U.S. 2020.
4. Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). ToxGuide for Molybdenum. Atlanta, GA: U.S. 2020.
5. Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). ToxFQA's for Molybdenum. Atlanta, GA: U.S. 2020.
6. Royal Society of Chemistry. Molybdenum – Element Information, properties and uses | Periodic Table.
7. JLAB Science Education. It's Elemental – The Element Molybdenum.
8. Lenn Tech. Chemical properties, health and environmental effects of molybdenum.
9. Polyak DE. U.S. Geological Survey, Mineral Commodity Summaries, January 2023.
10. EFSA NDA Panel (EFSA Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies), 2013. Scientific Opinion on Dietary Reference Values for molybdenum. EFSA Journal 2013;11(8):3333, 35 pp.
11. Blakley BR. Molybdenum Toxicity in Animals – Toxicology – MSD Veterinary Manual, May 2021.
12. Novotny JA, Peterson CA. Molybdenum. Advances in Nutrition 2018;9:272–273.



Bölüm 22

NİKEL

1. Özeti

Nikel (Ni); atom numarası 28 olan kimyasal bir elementtir. Gümüşü beyaz bir metal olup, yer kabuğunda doğal olarak bulunur. Eski çağlardan beri kullanılmaktadır. Ancak nikel cevherleri kolayca gümüş cevherleriyle karıştırıldığından, bu metalin kendisinin ve kullanımının daha net bir şekilde anlaşılması nispeten yakın zamanlara dayanmaktadır. Nikel ilk kez 1751 yılında kupfernickel (nikolit) cevherinden izole edilmiştir. Bu cevher günümüzde bir nikel arsenit (NiAs) olan nikelin (eski adıyla nikolit) minerali olarak bilinmektedir. Nikel; sahip olduğu mukavemet, korozyona karşı gösterdiği direnç ve yüksek sıcaklıklarda gösterdiği dayanıklılık nedeniyle kullanım alanı oldukça geniştir. Amerika Birleşik Devletleri'nde nikel başlıca alaşımlı çeliklerde, alaşımlı çeliklerin spesifik bir türü olan paslanmaz çeliklerde, demir dışı alaşımlarda, süper alaşımlarda ve elektrokaplama kullanılmaktadır. Nikel alaşımları; tıbbi cihazlarda (örneğin dental aletler, ortopedik implantlar, doğum kontrol implantları, kardiyovasküler protezler), şarj edilebilir pillerde, kimyasal tesislerde, petrol rafinerilerinde, jet motorlarında, enerji üretim tesislerinde ve açık deniz yapılarında kullanılmaktadır. ABD Ulusal Bilimler Akademisi, önerilen günlük alınması gereken nikel miktarını belirlemek için yeterli veri bulunmadığını bildirmiştir. Kabul edilebilen maksimum nikel alım miktarları 14 yaş ve üzeri için çözünür tuzlar olarak günde 1 mg, 9-13 yaş arası için günde 0.6 mg, 4-8 yaş arası için günde 0.3 mg ve 1-3 yaş arası için

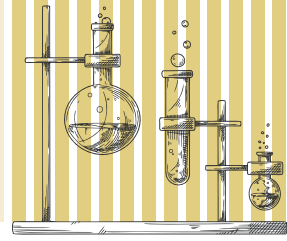
çözünür nikel tuzları (sülfat, klorür, nitrat ve karbonat); üreme üzerinde toksik etki gösterirler ve doğmamış çocuğa zarar verebilirler.

9. Tedavisi

Sodyum dietilditiyokarbamat; akut nikel karbonil zehirlenmesinde etkili bir şelatör ajandır ve idrardan nikel atılımını büyük ölçüde artırır. Disülfiram (Antabus); sodyum dietilditiyokarbamat mevcut değilse, alternatif olarak kullanılabilir. Ancak, disülfiramın etkinliğine ve güvenliğine dair daha fazla araştırmaya ihtiyaç vardır (hayvanların beyin dokusunda nikel konsantrasyonunu artırdığı görülmüştür).

Kaynaklar

1. Klaassen CD. Casarett and Doull's Toxicology. The Basic Science of Poisons. 7th ed. McGraw-Hill;2008.
2. Nordberg GF, Fowler BA, Nordberg M, Friberg LT. Handbook on the Toxicology of Metals. 3rd ed. Elsevier;2007.
3. Arsenic, Metals, Fibres, and Dusts. IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. Volume 100C, 2012.
4. Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). Toxicological Profile for Nickel. Atlanta, GA: U.S. 2023.
5. Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). ToxGuide for Nickel. Atlanta, GA: U.S. 2023.
6. Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). ToxFAQs for Nickel. Atlanta, GA: U.S. 2023.
7. Genchi G, Carocci A, Lauria G, Sinicropi MS, Catalano A. Nickel: human health and environmental toxicology. Int J Environ Res Public Health. 2020;17(3):679.
8. Australian Government. Department of Climate Change, Energy, the Environment and Water. Nickel & compounds.
9. United States Geological Survey. National Minerals Information Center. Nickel Statistics and Information.
10. McRae ME. U.S. Geological Survey, Mineral Commodity Summaries, January 2024.
11. Bonamonte D, Guida S, Vestita M, et al. Allergic contact dermatitis to nickel: from clinical aspects to therapeutic measures. Clinical Immunology, Endocrine & Metabolic Drugs. 2014;1:75.
12. Nickel – Toxicological Overview. The Centre for Radiation, Chemical and Environmental Hazards, Public Health England, 2009, Version 1.



Bölüm 23

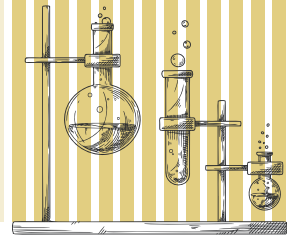
PALADYUM

1. Özeti

Paladyum (Pd); platin grubu metaller (rutenyum, rodyum, paladyum, osmiyum, iridyum ve platin) arasında yer alır. Platin metalleri arasında erime noktası ve yoğunluğu en düşük olandır. 1803'te İngiliz kimyager William Hyde Wollaston tarafından keşfedildi. Parlak, gümüşü beyaz renkte bir metaldir. Paladyum genelde diğer platin metalleriyle birlikte yer kabuğunda çok düşük konsantrasyonlarda ($<1 \mu\text{g/kg}$) bulunur. Genellikle ticari olarak bakır ve nikel cevherlerinin arıtılması sırasında yan ürün olarak elde edilir. Pd^0 (metalik), Pd^{2+} ve Pd^{4+} durumlarında bulunur. Otomobillerdeki katalitik konvertörlerde, diş protezlerinde, takılarda, beyaz altın üretiminde, dizüstü bilgisayarlarda ve cep telefonlarında bulunan çok katmanlı seramik kapasitörlerde kullanılmaktadır. Hidrojenasyon, dehidrojenasyon, oksidasyon ve hidrojenoliz reaksiyonlarında güçlü katalitik aktiviteye sahiptir. Genel popülasyon açısından Pd maruziyetinin başlıca kaynakları şunlardır: paladyum bazlı dental alaşımlar (sürekli maruziyetin en sık nedeni), takılar ve otomobillerdeki katalitik konvertörler. Diş etinin Pd bazlı dental alaşımlarla teması sonucu oral maruziyet meydana gelebilir. Paladyum takılara temas sonucu dermal maruziyet oluşabilir. Katalitik konvertörlerde paladyum kullanıldığından dolayı çevreye salınan egzoz dumanının solunmasıyla da paladyuma maruz kalmaktadır. Paladyuma mesleki maruziyetler genellikle paladyumun arıtılması ve katalizör üretimi sırasında meydana gelir.

Kaynaklar

1. Klaassen CD. Casarett and Doull's Toxicology. The Basic Science of Poisons. 7th ed. McGraw-Hill;2008.
2. Nordberg GF, Fowler BA, Nordberg M, Friberg LT. Handbook on the Toxicology of Metals. 3rd ed. Elsevier;2007.
3. Environmental Health Criteria 226 Palladium. World Health Organization, Geneva, 2002.



Bölüm 24

PLATİN

1. Özeti

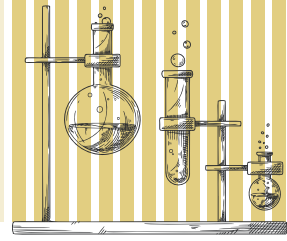
Platin (Pt); periyodik cetvelin 10. grubunda yer alan kimyasal bir element olup, atom numarası 78'dir. Dövülebilir, sünek, gümüşü beyaz renkte bir soy metaldir. Adını İspanyolcada “küçük gümüş” anlamına gelen “platina” kelimesinden alır. Doğal halde bulunan platin ve platin alaşımlarının varlığı uzun zamandan beri bilinmektedir. Avrupalıların platinden ilk defa söz etmeleri 1557 yılına rastlamakla birlikte, 1741 yılında izole edilmiştir. Platinin ticari kaynakları arasında sülfürlü ve arsenikli minerallerin yanı sıra geri kazanılmış platin de yer almaktadır. Platin bileşiklerinde, platinin en yüksek oksidasyon durumu +6'dır. Platinin en yaygın ve en kararlı oksidasyon durumları +2 ve +4 iken, +1 ve +3 oksidasyon durumları nispeten daha az yaygındır. Platin doğada ya metalik formda ya da çeşitli mineral formlarında bulunur. Çevresel Pt seviyeleri oldukça düşüktür. Pt bileşikleri; otomobillerdeki katalitik konvertörlerde katalizör olarak kullanılmakla birlikte takı ve mücevherlerde, elektronik endüstrisinde ve dental alaşımlarda da kullanılır. Otomobillerdeki katalizörlerden salınan platin nedeniyle otoyollarda ve kent-sel alanlarda platin konsantrasyonları giderek artmaktadır. Platin koordinasyon kompleksleri (örneğin; sisplatin, karboplatin, oksaliplatin) çok önemli antitümör ajanlardır. Mesleki olarak genellikle platin koordinasyon komplekslerine maruz kalınır iken, otomobillerdeki katalizörlerden salınan ve maruz kalınan platin me-

9. Tedavisi

Mesleki maruziyet durumunda dekontaminasyon gerekir. Semptomatik ve destekleyici tedavi uygulanmalıdır. Akut böbrek hasarında sıvı replasmanı yapılır. Solunum yoluyla maruziyet durumunda gerekirse bronkodilatörler kullanılır. Aşırı doz sisplatin tedavisinde; böbreklerin korunması ve ilaç eliminasyonunun artırılması son derece önemlidir. Sisplatin toksisitesinde kullanılacak spesifik bir antidot yoktur. Agresif i.v. hidrasyon (osmotik diüretik kullanılarak veya kullanılmadan) yapılmalı, nefrotoksik ilaçlardan kaçınılmalı, sodyum tiyosülfat (serbest platine bağlanarak nontoksik tiyosülfat-sisplatin kompleksi oluşturur ve renal tübüler hasarı önler) ve plazmaferez uygulanmalıdır.

Kaynaklar

1. Klaassen CD. Casarett and Doull's Toxicology. The Basic Science of Poisons. 7th ed. McGraw-Hill;2008.
2. Nordberg GF, Fowler BA, Nordberg M, Friberg LT. Handbook on the Toxicology of Metals. 3rd ed. Elsevier;2007.
3. Environmental Health Criteria 125 Platinum. World Health Organization, Geneva, 1991.
4. Air quality guidelines for Europe. Copenhagen, WHO Regional Office for Europe, 2000 (WHO Regional Publications, European Series, No. 91).
5. Health Council of the Netherlands. Platinum and platinum compounds. Healthbased recommended occupational exposure limit. The Hague: Health Council of the Netherlands, 2008; publication no. 2008/12OSH.



Bölüm 25

SELENYUM

1. Özeti

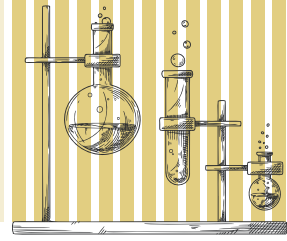
Selenyum (Se) 1817 yılında keşfedilen bir elementtir. Adını Yunancada “Ay” anlamına gelen “Selene” kelimesinden alır. Yer kabuğunda düzensiz bir şekilde dağılmış olup, genellikle tortul kayaç oluşumlarında bulunur. Saf formdaki selenyum metalik gri-siyah kristal görünümündedir. Bu form genellikle elemental Se olarak adlandırılır. Elemental Se genellikle ticari olarak bakır arıtmanın yan ürünü olarak elde edilir. Se doğada genellikle elemental formda bulunmaz, sülfür cevherlerinde gümüş, bakır, kurşun ve nikel ile birlikte bulunur. Teknik olarak bir ametal olmasına rağmen, bazı formları metal benzeri özelliklere sahiptir. İnsanlar ve hayvanlar için temel bir mikro element olup, selenoproteinlerin (glutatyon peroksidaz ailesi, iyodotironin deiyodinazlar, tiyoredoksin redüktazlar olmak üzere 25 kadar selenoprotein) bir bileşeni olarak tanımlanır. Aynı zamanda, selenyum toksiktir ve aşırı miktarda alındığında selenyum zehirlenmesine (selenoz) neden olur. Se bileşiklerinin toksik potansiyelleri; kimyasal formlarına ve en önemlisi çözünürlüklerine bağlıdır. Se doğada ve biyolojik sistemlerde 4 şekilde bulunmaktadır. Bunlar elemental selenyum, selenid, selenit ve selenattır. Gıdalar selenyum için iyi bir kaynaktır. Günlük diyetle selenyum açısından zengin gıdalar arasında deniz ürünleri (özellikle karides), et, süt ürünleri ve tahıllar yer alır. Nehir suyundaki Se seviyeleri; çevresel ve jeolojik faktörlere bağlı olarak değişmektedir. Kömür ve diğer fosil yakıtların yanması sonucu havaya Se salınımı gerçekleşmektedir. Hava-

9. Tedavisi

Dermal maruziyette %10'luk sodyum tiyosülfat solüsyonu ağrıyı azaltabilir. Selenyum hekzaflorür gazına maruz kalan işçilerin etkilenen bölgelerinde kalsiyum glukonat jeli uygulanabilir. Toksik maruziyette eğer mümkünse kaynaktan derhal uzaklaşılması gerekir. Dermal maruz kalanlar derhal yıkanmalıdır. Genel olarak selenöz asit, sodyum selenat ve selenyum dioksit oral maruziyet durumunda sadece destekleyici tedavi önerilmektedir. Selenöz asit kostik olduğundan dolayı gavaj ve kusturma önerilmez. Se toksisitesinde spesifik bir antidot yoktur. Etilendiamintetraasetik asit (EDTA) ve Dimerkaprol (British anti-Lewisite, BAL) Se toksisitesini artırabileceğinden dolayı kullanılmamalıdır.

Kaynaklar

1. Klaassen CD. Casarett and Doull's Toxicology. The Basic Science of Poisons. 7th ed. McGraw-Hill;2008.
2. Nelson LS, Lewin NA, Howland MA, et al. Goldfrank's Toxicologic Emergencies. 9th ed. McGraw-Hill;2011.
3. Hoffman RS, Nelson LS, Howland MA, et al. Goldfrank's Manual of Toxicologic Emergencies. McGraw-Hill;2007.
4. Nordberg GF, Fowler BA, Nordberg M, Friberg LT. Handbook on the Toxicology of Metals. 3rd ed. Elsevier;2007.
5. Olson KR, Anderson IB, Benowitz NL, et al. Poisoning and Drug Overdose. 5th ed. McGraw-Hill;2007.
6. Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). Toxicological Profile for Selenium. Atlanta, GA: U.S. 2003.
7. Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). ToxGuide for Selenium. Atlanta, GA: U.S. 2003.
8. Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). ToxFAQs for Selenium. Atlanta, GA: U.S. 2003.
9. Australian Government. Department of Climate Change, Energy, the Environment and Water. Selenium & compounds.
10. Environmental Health Criteria 58 Selenium. World Health Organization, Geneva, 1986.



Bölüm 26

TALYUM

1. Özeti

Talyum (Tl) en toksik metallerden biridir. Adını Yunancada “yeşil sürgün” anlamına gelen ‘thallos’ kelimesinden alır. 1861 yılında keşfedilmiştir. Yer kabuğunda doğal olarak bulunan bir eser element olup, doğada başlıca monovalan iyon halindedir. Talyum iyonu; yük ve iyon yarıçapı bakımından potasyum iyonuna benzer olup, potasyumun biyolojik fonksiyonlarını engelleyerek toksik etkilerini gösterir. Çevreye salınan talyumun ana kaynakları; çimento üretimi ve kömür yanmasıdır. Talyum; demir, kadmiyum ve çinko üretimi sırasında yan ürün olarak elde edilir. Talyum başlıca yüksek sıcaklık süper iletkenlerinde, kızılötesi optik gereçlerde, erime noktası düşük cam yapımında, fotoelektrik hücrelerde ve gama radyasyon algılama ekipmanında kullanılmaktadır. Talyum-201, koroner arter hastalığının tanısında kullanılan bir radyofarmasötik ajandır. Tl bileşikleri; kemirgenlerin ve böceklerin kontrol altında tutulması amacıyla bir zamanlar pestisit olarak kullanılmış olup, bu amaçla kullanımı 1972’de Çevre Koruma Ajansı (Environmental Protection Agency-EPA) tarafından yasaklanmıştır.

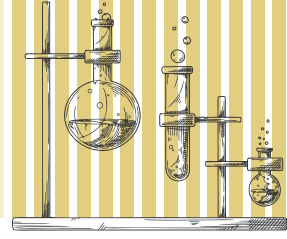
30-40 yıl öncesine ait sınırlı verilere göre ABD’de havadaki Tl seviyesi 0.04 ng/m^3 ’tür. Endüstriyel işlemler sonucu havaya talyum oksit, talyum hidroksit, talyum sülfat veya talyum sülfür salınır. Yeraltı suyundaki Tl seviyeleri, 1 ppb ’nin altındadır. İçme suyundaki talyum konsantrasyonunun 7.2 ppb ’ye kadar yükselebildiği tespit edilmiştir. Tl bileşikleri genellikle suda çözünür. Topraktaki Tl seviyeleri

9. Tedavisi

Prusya mavisi (ferrik ferrosiyanür), akut Tl zehirlenmesinde tercih edilen ilaçtır. Prusya mavisinin kristal örgü şeklindeki yapısı Tl iyonlarını bağlar ve enterohepatik siklusa girmesini engeller. Prusya mavisi (Radiogardase®) 500 mg'lık tabletler halinde piyasada bulunur ve yetişkinler için günde 3 kez oral yolla 3 g dozda verilmesi önerilir (toplam günlük doz 9 gramdır). Önerilen bu dozlarda prusya mavisi toksik etki göstermez. Aktif karbon kolayca bulunabilmekle birlikte in vitro ortamda talyumu bağladığı gösterilmiştir. Talyum enterohepatik siklusa uğradığından dolayı çoklu doz aktif karbon uygulaması tavsiye edilmektedir. Yapılan bir çalışmada aktif karbonun, talyumun elimine edilmesinde prusya mavisine göre daha üstün olduğu görülmüştür. Talyum alındıktan sonraki birkaç dakika içinde ipeka şurubu içirerek kusturmanın faydası olabilir. Yakın zamanda büyük miktarlarda talyum alımı söz konusu ise gastrik lavaj düşünülmelidir.

Kaynaklar

1. Klaassen CD. Casarett and Doull's Toxicology. The Basic Science of Poisons. 7th ed. McGraw-Hill;2008.
2. Hoffman RS, Nelson LS, Howland MA, et al. Goldfrank's Manual of Toxicologic Emergencies. McGraw-Hill;2007.
3. Nordberg GF, Fowler BA, Nordberg M, Friberg LT. Handbook on the Toxicology of Metals. 3rd ed. Elsevier;2007.
4. Olson KR, Anderson IB, Benowitz NL, et al. Poisoning and Drug Overdose. 5th ed. McGraw-Hill;2007.
5. Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). Toxicological Profile for Thallium. Atlanta, GA: U.S. 2024.
6. Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). ToxFAQs for Thallium. Atlanta, GA: U.S. 2024.
7. Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). ToxGuide for Thallium. Atlanta, GA: U.S. 2024.
8. Toxicological Review of Thallium and compounds. U.S. Environmental Protection Agency. Washington, DC. 2009.



Bölüm 27

TELLÜR

1. Özeti

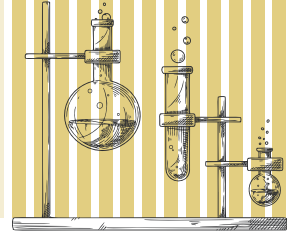
Tellür; Te sembolü ile gösterilir ve yarı metaldir. Kimyasal olarak selenyum ve sülfüre benzer. 1782 yılında Avusturyalı kimyager Franz-Joseph Miller von Reichenstein tarafından keşfedildi. Adını Latince “Dünya” anlamına gelen “Tellus” kelimesinden alır. Yer kabuğunda yaklaşık 0.001 ppm oranında bulunur. Tellür doğada nadiren serbest halde bulunmakla birlikte genellikle kalaverit, krennerit ve silvanit gibi altın tellürür minerallerinde bulunur. Ticari olarak bakırın elektrolitik arıtması sırasında yan ürün olarak elde edilir. Tellür; bakır, çelik ve kurşun alaşımlarına ilave edilerek bu alaşımların mekanik özelliklerini geliştirir ve ayrıca korozyona karşı dirençlerini artırır. Tellür başlıca kadmiyum tellür (CdTe) ince film güneş hücrelerinin üretiminde kullanılır. Bir diğer önemli kullanım alanı ise soğutma ve enerji üretmek amaçlı kullanılan bizmut tellür (BiTe) termoelektrik cihazların üretimidir. Genel popülasyon tellüre en çok gıdalar (örneğin et, süt ürünleri ve tahıllar) yoluyla maruz kalır. Süt ürünleri, sert kabuklu yemişler ve balığın içerdiği tellür konsantrasyonu nispeten yüksektir. Mesleki maruziyet başlıca solunum yoluyla olur. Oral alınan çözünür tetravalan tellüratlar vücutta emilir, tellürürlere indirgenir, kısmen metillenir ve daha sonra dimetil tellürür olarak solunum yoluyla dışarı atılır. Dimetillenmiş form; Te bileşikleriyle zehirlenen kişilerdeki karakteristik sarımsak kokusundan sorumludur. Organik Te bileşikleri az miktarda deriden emilebilir. İnsanlarda Te ve bileşiklerinin solunum yoluyla veya gastrointestinal emilimine dair herhangi bir kantitatif veri yoktur. Hayvan deneylerinde, intestinal emilim oranı

9. Tedavisi

Oral tellür zehirlenmesinin tedavisinde bulamaç halinde aktif karbon (240 mL su/30 g karbon) uygulanabilir (normal doz yetişkinlerde 25–100 g, çocuklarda (1-12 yaş) 25–50 g ve bebeklerde (<1 yaş) 1 g/kg'dır). Solunum yoluyla maruziyet durumunda hasta açık havaya çıkarılmalı, öksürük veya nefes alırken zorlanma var ise hastada solunum yolu irritasyonu, bronşit veya pnömoni gelişip gelişmediği kontrol edilmeli, oksijen desteği ve yardımcı ventilasyon gerekebilir, bronkospazm tedavisinde beta₂ agonistler ve oral ya da parenteral kortikosteroidler kullanılabilir. Gözler maruz kaldıysa en az 15 dakika boyunca bol miktarda oda sıcaklığındaki su ile yıkanmalıdır. Tahriş, ağrı, şiş, göz yaşarması veya fotofobi devam ederse, hasta bir sağlık kuruluşuna gönderilmelidir. Dermal maruziyet durumunda kontamine olmuş giysiler çıkarılmalı ve maruz kalan bölge su ve sabunla iyice yıkanmalıdır.

Kaynaklar

1. Klaassen CD. Casarett and Doull's Toxicology. The Basic Science of Poisons. 7th ed. McGraw-Hill;2008.
2. Nordberg GF, Fowler BA, Nordberg M, Friberg LT. Handbook on the Toxicology of Metals. 3rd ed. Elsevier;2007.
3. Royal Society of Chemistry. Tellurium – Element Information, properties and uses | Periodic Table.
4. JLAB Science Education. It's Elemental – The Element Tellurium.
5. Flanagan DM. U.S. Geological Survey, Mineral Commodity Summaries, January 2024.
6. Kowalik R., Kutyla D., Mech K., Tokarski T., Żabiński P., Electrowinning of tellurium from acidic solutions. Archives of metallurgy and materials. 2015. V. 60. No 2. P.591-596.



Bölüm 28

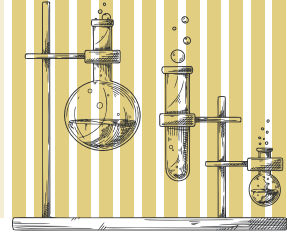
TİTANYUM

1. Özeti

Titanyum (Ti); atom numarası 22 olan kimyasal bir elementtir. 1791 yılında İngiliz kimyager William Gregor tarafından keşfedildi. Adını Yunan mitolojisindeki Titanlardan alır. Titanyumun insanlar ve hayvanlar için esansiyel bir element olduğunu gösteren hiçbir kanıt yoktur. Ti bir geçiş metali olup kimyasal davranışı silika ve zirkonyum ile benzerlik gösterir. Çoğu Ti bileşiği +4 oksidasyon durumundadır, ancak +3 ve +2 oksidasyon durumunda bulunduğu bileşikler de mevcuttur. Titanyum organometalik bileşikler oluşturabilir. Korozyon direnci, kimyasal inertlik ve çekme mukavemeti sayesinde titanyum birçok metalurjik uygulamada yer alır. Uçaklarda, zırh kaplamalarda, donanma gemilerinde, denizaltılarda, uzay araçlarında, füze yapımında, diş implantlarında, kalça ve diz protezlerinde kullanılır. Titanyum dioksit, en yaygın kullanılan titanyum bileşiğidir. Titanyum dioksit; boyalar, kağıtlar, diş macunları ve plastiklerde beyaz pigment olarak, kozmetikte beyazlaştırıcı olarak kullanılır. Gıda sektöründe özellikle şekerleme, sakız, kabartma tozu, beyaz leblebi gibi beyaz olan birçok üründe titanyum dioksit kullanılmaktadır. Titanyum kompleksleri (titanyum diketonat ve budotitan gibi) ve titanosen kompleksleri (titanosen diklorür gibi); kanser kemoterapötikleri olarak klinik çalışmalarda denenmiştir. Titanyum tetraklorür; titanyum metali ve titanyum bileşikler (örneğin titanyum dioksit) üretmek için kullanılır. Titanyum tetraklorüre mesleki maruziyet; toksikolojik açıdan endişe verici sonuçlar doğurabilir.

Kaynaklar

1. Klaassen CD. Casarett and Doull's Toxicology. The Basic Science of Poisons. 7th ed. McGraw-Hill;2008.
2. Nordberg GF, Fowler BA, Nordberg M, Friberg LT. Handbook on the Toxicology of Metals. 3rd ed. Elsevier;2007.
3. Royal Society of Chemistry. Titanium – Element Information, properties and uses | Periodic Table.
4. JLAB Science Education. It's Elemental – The Element Titanium.
5. Environmental Health Criteria 24 Titanium. World Health Organization, Geneva, 1982.
6. Madhavan S, Venugopal V, Johny J. Toxicity of titanium in dental implants – Implications on patient health and clinical practice. The Journal of Dental Panacea. 2023;5(1):21–24.
7. Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). Toxicological Profile for Titanium Tetrachloride. Atlanta, GA: U.S. 1997.



Bölüm 29

TUNGSTEN

1. Özeti

Tungsten veya diğer adıyla volfram (W); atom numarası 74 olan kimyasal bir elementtir. Adını İsveççede “ağır taş” anlamına gelen “tung” ve “sten” kelimelerinin birleşiminden alır. Doğada serbest olarak bulunmaz. Yirmiden fazla tungsten içeren mineral vardır. Tungsten ticari olarak şelit (CaWO_4) ve volframit (Fe,Mn) WO_4 minerallerinden elde edilmektedir. Sağlığına bağlı olarak rengi beyazdan (saf metal için) çelik grisine (içinde safsızlık bulunan metal için) kadar değişim gösterebilmektedir. Tungsten saf metal olarak veya diğer metallerle alaşım halinde kullanılabilir. W alaşımları çok dayanıklıdır, aşınmaya karşı dirençlidir ve elektrigi iyi iletir. W ve alaşımları; akkor lambalardaki tellerde (filamanlarda), x-ışını tüplerinde, yüksek hız takım çeliklerinde, türbin kanatlarında, pikap iğnesinde, kaynak elektrodunda, oltacılıkta kullanılan ağırlıklarda, dart okunda ve zırh delici mermilerde kullanılır. W ayrıca kimyasal reaksiyonları hızlandırmak amacıyla katalizör olarak da kullanılır. Tungsten karbür en sık kullanılan tungsten bileşiği olup kesici takımlar, matkap uçları ve aşınmaya dirençli parçalarda kullanılır.

Hava, gıda ve su yoluyla düşük miktarda tungstene maruz kalınabilir. Şehir havasındaki W konsantrasyonu kırsal alandakinden daha yüksektir. Havadaki ortalama W konsantrasyonu genellikle $<10 \text{ ng/m}^3$ 'dür. Tungsten metale ve tungsten karbüre mesleki maruziyet meydana gelebilir. W içeren sert metallerin kullanıldığı ve bu metallerin işlendiği yerlerde mesleki maruziyet meydana gelir. Tüketici ürünlerinde bulunan tungstenin ise bir tehlike oluşturması beklenmez.

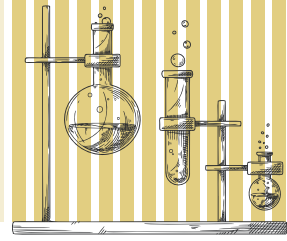
bilir. W veya bileşiklerinin karsinojenik potansiyelini değerlendirmek için yeterli hayvan verisi yoktur. Yapılan bir çalışmada, kas içine implante edilen tungsten alaşımının (%91.1 tungsten, %6.0 nikel ve %2.9 kobalt) sıçanlarda hızla agresif tümörlere neden olduğu gösterilmiştir. Sıçanlarda intramüsküler enjeksiyon sonrasında hem nikel hem de kobaltın tümöre neden olduğu bilinmektedir dolayısıyla tungstenin tek başına karsinojenik rolü belirlenememiştir. Tungsten-kobalt-nikel ve tungsten-nikel-demir gibi tungsten alaşımlarına maruziyet sonucu sinerjistik etki potansiyeli doğabilir.

9. Tedavisi

Tungsten zehirlenmesinde genellikle destekleyici tedavi uygulanır. Magnezyum sülfat gibi katartikler ve gastrik lavaj; oral alınan tungstenin gastrointestinal sistemden geçiş süresini kısaltabilir. Oral tungsten maruziyetinden hemen sonra oral aktif karbon uygulaması; emilimi azaltmada etkili olabilir. Respiratuar semptomlar söz konusu ise oksijen uygulanmalıdır. Nöbet durumunda benzodiazepinler kullanılabilir. Hemodiyaliz; tungsten kleransı üzerinde sınırlı etkiye sahiptir.

Kaynaklar

1. Nordberg GF, Fowler BA, Nordberg M, Friberg LT. Handbook on the Toxicology of Metals. 3rd ed. Elsevier;2007.
2. Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). Toxicological Profile for Tungsten. Atlanta, GA: U.S. 2005.
3. Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). ToxFAQs for Tungsten. Atlanta, GA: U.S. 2005.
4. Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). ToxGuide for Tungsten. Atlanta, GA: U.S. 2005.
5. Technical Fact Sheet – Tungsten. U.S. Environmental Protection Agency. January 2014.
6. JLAB Science Education. It's Elemental – The Element Tungsten.
7. Royal Society of Chemistry. Tungsten – Element Information, properties and uses | Periodic Table.
8. Wasel O, Freeman JL. Comparative Assessment of Tungsten Toxicity in the Absence or Presence of Other Metals. *Toxics*. 2018; 6(4):66.
9. Johnson DR, Ang C, Bednar AJ, Inouye LS. Tungsten effects on phosphate-dependent biochemical pathways are species and liver cell line dependent. *Toxicol Sci*. (2010);116:523–32.
10. National Center for Biotechnology Information (2025). PubChem Compound Summary for CID 23964, Tungsten.



Bölüm 30

URANYUM

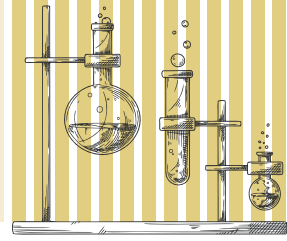
1. Özeti

Uranyum (U), atom numarası 92 olan kimyasal bir elementtir. 1789'da Alman kimyager Martin Heinrich Klaproth, peşblend mineralinde uranyum elementini keşfetmiştir. Adını Uranüs gezegeninden alır. Uranyum neredeyse çelik kadar serttir ve kurşundan çok daha yoğundur. Uranyumun kararlı izotopu yoktur, tüm izotopları radyoaktiftir. Doğada ^{234}U (doğal bolluğu %0.0054), ^{235}U (doğal bolluğu %0.7204) ve ^{238}U (doğal bolluğu %99.2742) şeklinde üç izotopu bulunur. Ancak, toplam doğal uranyumun yaklaşık %99.3'ü ^{238}U 'dür. ^{234}U , ^{235}U ve ^{238}U izotoplarının kimyasal davranışları aynıdır fakat farklı radyoaktif özelliklere sahiptirler. Uranyum izotoplarının yarılanma süreleri çok uzundur. En az radyoaktif izotop olan ^{238}U 'in yarılanma süresi 4.5 milyar yıldır. ^{235}U ; nükleer reaktörler ve nükleer silahlar açısından önemlidir. Dolayısıyla, doğal uranyumdaki ^{235}U oranını %0.72'den daha yüksek oranlara (%2-4) çıkarmak için zenginleştirme işlemi gerekmektedir. Zenginleştirilmiş uranyum, nükleer enerji santrallerinde yakıt olarak kullanılır. Uranyum zenginleştirilmesi sırasında ortaya çıkan yan ürüne zayıflatılmış uranyum (seyreltilmiş uranyum) denir. Zayıflatılmış uranyumun ^{235}U oranı çok düşük olup, doğadaki haline (doğal uranyuma) göre %40 daha az radyoaktiftir, tank zırhlarında ve zırh delici mühimmat yapımında kullanılır. Zayıflatılmış uranyumun kimyasal toksisite potansiyeli doğal uranyumunkiyle aynıdır. Uranyum +2, +3, +4, +5 ve +6 oksidasyon durumlarında bulunabilir. Bunlardan

sonraki 4 saat içinde uygulanması gerekir. En etkilisi ise şelatör ajanların maruziyetten sonraki birkaç dakika içinde uygulanmasıdır.

Kaynaklar

1. Nordberg GF, Fowler BA, Nordberg M, Friberg LT. Handbook on the Toxicology of Metals. 3rd ed. Elsevier;2007.
2. Klaassen CD. Casarett and Doull's Toxicology. The Basic Science of Poisons. 7th ed. McGraw-Hill;2008.
3. Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). Toxicological Profile for Uranium. Atlanta, GA: U.S. 2013.
4. Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). ToxFAQs for Uranium. Atlanta, GA: U.S. 2013.
5. Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). ToxGuide for Uranium. Atlanta, GA: U.S. 2013.
6. National Center for Biotechnology Information (2025). PubChem Compound Summary for CID 24933, Uranyl Nitrate.
7. World Health Organization. (2001). Depleted uranium : sources, exposure and health effects. WHO/SDE/PHE/01.1.



Bölüm 31

VANADYUM

1. Özeti

Vanadyum (V); 1800'lü yıllarda keşfedilen yumuşak, gümüşü gri ve sünek bir geçiş metalidir. Adını İskandinav mitolojisindeki güzellik tanrıçası "Vanadis"ten alır. Vanadyum muhtemelen esansiyel bir eser element olmasına karşın vanadyum eksikliğinden dolayı herhangi bir hastalık insanlarda tespit edilememiştir. Yer kabuğunda ortalama 100 ppm oranında bulunan vanadyum, bolluk açısından 22. sırada yer alır. Doğal olarak oluşan bir element olup, yaklaşık 65 farklı mineralde bulunur. Vanadyum doğada dört oksidasyon durumundan birinde bulunur: +2, +3, +4 ve +5. Organometalik V bileşikleri genellikle kararsızdır. V bileşikleri; çeliğin sertleştirilmesinde, pigment üretiminde, fotoğrafçılıkta ve kimya endüstrisinde katalizör olarak kullanılır. Vanadyum; yüksek hız takım çeliklerinde kullanılır ve önemli bir karbür stabilizatörüdür. Vanadyum pentoksit; sülfürik asit üretiminde katalizör olarak ve seramik imalatında kullanılır. Ayrıca süperiletken müknaıslarda da kullanılır. Vanadil sülfat ve sodyum metavanadat ise gıda takviyelerinde kullanılmaktadır. İnsanlar en çok gıda yoluyla vanadyuma maruz kalmaktadır. Deniz ürünlerinde, mantarlarda, dereotu tohumunda, sütte, ette, tahıllarda ve sebzelerde önemli miktarda vanadyum bulunur. Diyet yoluyla günlük alınan V miktarı yetişkinlerde 0.09-0.34 µg/kg aralığındadır. İçme suyundaki V konsantrasyonları büyük ölçüde coğrafik konuma bağılıdır. Çeşme suyundaki ortalama V konsantrasyonu 0.001 mg/L'dir. Günde yaklaşık 2 L su içildiğini var-

enzimlerinde yükselme görülmüştür. Bahsedilen bu şelatörlerin aksine, askorbik asit; insanlarda vanadyum toksisitesinin tedavisinde çok etkili ve güvenlidir.

Kaynaklar

1. Nordberg GF, Fowler BA, Nordberg M, Friberg LT. Handbook on the Toxicology of Metals. 3rd ed. Elsevier;2007.
2. Klaassen CD. Casarett and Doull's Toxicology. The Basic Science of Poisons. 7th ed. McGraw-Hill;2008.
3. Zwolak I. Protective effects of dietary antioxidants against vanadium-induced toxicity: A review. *Oxid Med Cell Longev*. 2020;1-14.
4. Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). Toxicological Profile for Vanadium. Atlanta, GA: U.S. 2012.
5. Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). ToxFAQs for Vanadium. Atlanta, GA: U.S. 2012.
6. Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). ToxGuide for Vanadium. Atlanta, GA: U.S. 2012.
7. Rattanachaiwong, S.; Singer, P. Diets and Diet Therapy: Trace Elements. In *Encyclopedia of Food Security and Sustainability*; Ferranti, P., Berry, E.M., Anderson, J.R., Eds.; (Food Security, Nutrition and Health); Elsevier: Amsterdam, NL, USA, 2019; Volume 2, pp. 143–160.
8. Royal Society of Chemistry. Vanadium – Element Information, properties and uses | Periodic Table.
9. Environmental Health Criteria 81 Vanadium. World Health Organization, Geneva, 1988.
10. Laupheimer, C.E.; Kolianchuk, Y.; FitzGerald, R.E.; Wilks, M.F.; Jaksch, A. Toxicological evaluation of vanadium and derivation of a parenteral tolerable intake value for medical devices. *Regul. Toxicol. Pharm.* 2024, 105732.