



## Antimonun Çevre ile İnsan Sağlığı Üzerindeki Olası Etkileri ve Gerekli Tedbirler

*Possible Effects of Antimony on Human Health with the Environment and Necessary Precautions*

MUSTAFA GÜRHAN YALÇIN<sup>1</sup> Orcid: 0000-0002-8011-5371

ÖZGE ÖZER ATAKOĞLU<sup>1</sup> Orcid: 0000-0003-2678-1194

<sup>1</sup> Department of Geological Engineering, Akdeniz University, Antalya, Turkey

Geliş (received): 21/02/2024

Kabul (Accepted): 15/03/2024

### ÖZ

Genel olarak gümüş beyazı renğinde bir metal olan antimon, farklı bileşimlere sahiptir. Antimonun bu kimyasal bileşimlerine bağlı olarak, farklı endüstrilerde kullanımı bulunmaktadır. Antimon cevherinin çıkarılmasından endüstride kullanılmasına kadar her bir aşamada, toz, toprak, yiyecek, su, bitkisel ilaç ve kontrolsüz diyet takviyeleri gibi antimon içerikli dış faktörlerden insanların antimon ile dolaylı veya direk teması söz konudur. İnsanların bu metale maruz kalması gözlerde, ciltte, solunum yollarında ve sinir sisteminde hasara neden olabilir. Pnömonkozyza neden olabilir. Kardiyovasküler ve gastrointestinal sistemlerde bazı sağlık sorunlarına neden olabilir. Antimon pentaklorür ( $SbCl_5$ ) en toksik olanıdır. Antimon maruziyetine maruz kalmış kişilerde antimon toksisitesinin belirlenmesinde idrar tahlilleri yapılmalı ve bu kişilere sanitasyon uygulanmalıdır. Özellikle çalışan bireylerin sağlığının korunması için idrar antimon ortalamasının  $0.09 \mu\text{g/L}$  üstüne çıkmamasına dikkat edilmelidir. Ulusal Mesleki Güvenlik ve Sağlık Enstitüsü (NIOSH REL), Mevcut Mesleki Güvenlik ve Sağlık İdaresi (OSHA PEL), 1989 OSHA PEL ve 1993-1994 Amerikan Resmi Endüstriyel Hijyenistler Konferansı (ACGIH TLV) verilerine göre antimonun “Hayata veya Sağlığa Doğrudan Tehlikeli Konsantrasyonlar”ını  $0.5 \text{ mg Sb/m}^3$  8 saatlik zaman ağırlıklı ortalama (TWA) değer olarak verilmiş olup bununla birlikte Orijinal (SCP) IDLH(Immediately Dangerous to Life or Health)  $50 \text{ mg Sb/m}^3$  TWA olarak belirlenmiştir. Antimon varlığı tespit edilen alanlarda klinik toksikoloji, farmasötik ajanlar, işyeri ve yaşadığımız ortamdaki anomali durumları birlikte değerlendirilerek

indeks hesaplamaları ile risk analizleri yapılmalı, varsa insidans kontrol altına alınmalı ve uygun acil eylem planı yapılmalıdır.

**Anahtar kelimeler:** Antimon, antimon sınır değerleri, antimon toksisitesi, antimon maruziyeti

---

Mustafa Gürhan Yalçın [gurhanyalcin@akdeniz.edu.tr](mailto:gurhanyalcin@akdeniz.edu.tr)

## **ABSTRACT**

*Antimony, which is generally a silver-white metal, has different compositions. Depending on these chemical compositions of antimony, it is used in different industries. At every stage, from the extraction of antimony ore to its use in industry, people come into direct or indirect contact with antimony due to external factors containing antimony such as dust, soil, food, water, herbal medicine and uncontrolled dietary supplements. Human exposure to this metal can cause damage to the eyes, skin, respiratory tract and nervous system. It can cause pneumoconiosis. It can cause some health problems in the cardiovascular and gastrointestinal systems. Antimony pentachloride (SbCl<sub>5</sub>) is the most toxic. Urine tests should be performed to determine antimony toxicity in people exposed to antimony, and these people should be sanitized. In order to protect the health of especially working individuals, care should be taken to ensure that the average urine antimony level does not exceed 0.09 µg/L. According to the National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH REL), the current Occupational Safety and Health Administration (OSHA PEL), the 1989 OSHA PEL, and the 1993-1994 American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH TLV), the "Concentrations Immediately Dangerous to Life or Health" of antimony was 0.5 mg Sb/m<sup>3</sup> 8-hour time-weighted average (TWA), while the Original (SCP) IDLH (IDLH: Immediately Dangerous to Life or Health) was 0.50 mg Sb/m<sup>3</sup> TWA. In areas where the presence of antimony is detected, clinical toxicology, pharmaceutical agents, workplace and anomaly situations in the environment we live in should be evaluated together, index calculations and risk analyzes should be made, the incidence, if any, should be taken under control and an appropriate emergency action plan should be made.*

**Keywords:** Antimony, antimony limit values, antimony toxicity, antimony exposure

## **GİRİŞ**

Antimon eş anlamlıları “Antimon metali, Antimon tozu, Stibium” şeklinde sıralanabilir. Yer kabuğunda, 51 numaralı atomlu gümüş renkli beyaz bir metal olan ve “yalnızlığa karşı” anlamındaki “anti monos” sözcüğünden türemiş antimonun (latin Stibium'dan Sb sembolü) genel kullanım alanı endüstriyeldir. Fiziksel özellikleri gümüş-beyazı, parlak, sert, kırılğan, katı, pul benzeri kristaller veya koyu gri, parlak bir toz şeklindedir.

Moleküler ağırlık 121.8, kaynama noktası 2975°F, erime noktası 1166°F, çözünmez, buhar basıncı 0 mmHg (yaklaşık) ve iyonlaşma potansiyeli yoktur. Spesifik yer çekimi 6.69, alevlenme noktası yoktur, üst patlama limiti ve alt patlama limiti yoktur. Yanmaz katı haldedir, ancak alev maruz kaldığında toz halinde orta derecede patlama tehlikesi vardır. Güçlü oksitleyiciler, asitler, halojenli asitler ile uyumsuz olup, tepkime gösterebilir. Özellikle antimon, yeni oluşan (taze oluşmuş) hidrojene maruz kaldığında tepkime oluşur. Solunma, yutma, cilt ve/veya gözle teması ile maruziyet oluşabilir. Maruziyet belirtileri olarak gözlerde, ciltte, burunda, boğazda, ağızda tahriş, öksürük, baş dönmesi, baş ağrısı, mide bulantısı, kusma, ishal, karın krampları, uykusuzluk hastalığı, anoreksiya ve düzgün koku alamamak şeklinde sıralanabilir. Hastalık Kontrol ve Önleme Merkezleri (CDC, bu maruziyete bağlı olarak hedef organları gözler, cilt, solunum sistemi ve kardiyovasküler sistemi olarak vermiştir (CDC, <https://www.cdc.gov/niosh/npg/npgd0036.html>).

Antimonun farklı bileşimleri farklı kullanım alanlarına sahiptir. Antimon, *antimony trioxide* (tek kullanımlık su ve içecek şişelerinde ve yiyecek tepsilerinde yaygın olarak kullanılan gıda ile temas eden plastik olan polietilen tereftalat (PET) üretiminde), antimuan tris (pet üretiminde katalizör olarak), *stibine -antimony hydride* (*Predinastik (hânedanlar öncesi) dönemde eski Mısır'lularda makyaj malzemesi olarak, göz kozmetiği (kohl) olarak*), *antimony trisulfide* (fren balatalarında ve mühimmatlarda astar olarak), *antimony pentoxide* (halojenli alev geciktiricilerde sinerji için), *antimony trichloride* (diğer antimuan maddelerinin üretiminde ara madde olarak), antimuan pentaklorit (PTFE üretiminde katalizör olarak); *antimony pentasulfide*, sodyum antimonat (yüksek teknoloji camlarının üretiminde); sodyum hegzahidroksiantimonat (yüksek teknoloji camlarının üretiminde); potasyum hegzahidroksiantimonat, (havai fişek üretiminde kullanılmaktadır), *metallic antimony vb* olarak gözlenir. Genel olarak akümülatörlerde, elektronik sanayide, plastiklerde, seramik, cam ve diğer sektörlerde kullanılmaktadır (Sundar ve Chakravarty, 2010; Snedeker, 2014; IAA, 2018; IAA, 2021). Ayrıca elemental antimon olarak da farklı kullanım alanları vardır. Bu kullanım alanları yarı iletken, kızılötesi detektör ve diyot üretimi olarak sıralanabilir. Antimonun göreceli esnekliği nedeniyle kullanıldığı alanlarda bulunmaktadır. Özellikle kurşun depolama pili, lehim, sac ve boru metali, rulman, döküm ve kalay vb. İmalatında kullanılarak farklı alaşımlar halinde bulunur. Antimon oksit, yangın geciktirici formülasyonlarda kullanılabilir. Ayrıca, patlayıcı, pigment, antimon tuzları ve yakut

cam üretiminde antimon trisülfid kullanılırken plastikler, kauçuklar, tekstil, kağıt ve boyalarda da kullanılmaktadır (Sundar ve Chakravarty, 2010; Yucel, 2020).

Arsenik (As) ve antimon, “in vitro” (laboratuvar ortamında ya da yapay koşullarda) ve “in vivo” (canlının içinde) olarak, bir “genotoksik” elementdir. Bu nedenle antimon, küresel bir kontaminasyon olarak kabul edilmektedir (Wu vd., 2011). Antimonun madencilik faaliyetleri, çevreye metal (loid) yayabilir ve doğada birikebilir. Bu biriken metal (loid), tüm canlılar ve ekosistemler için risk ve tehlike oluşturabilir (Guo vd., 2017).  $SbH_3$ ,  $SbF_3$ ,  $SbCl_3$ ,  $SbCl_5$ ,  $Sb_2O_3$ ,  $Sb_2O_5$ ,  $Sb_2S_3$ ,  $Sb_2S_5$  gibi inorganik antimon bileşikleri ve metalik antimonun (Sb) canlı üzerinde olumsuz etkileri olabilir (Güven vd., 2004) ve toksik etki gösterebilir. Bitki büyümesi ve nitrifikasyon üzerinde olumsuz etkileri beklenebilir (Uluslararası Kanser Araştırmaları Ajansı: IARC, 1989; Okkenhaug and Mulder, 2017). Kısaca antimon (Sb), doğal olarak ve/veya antropojenik faaliyetlerle doğada anomali oluşturabilir. Antimon (Sb) toksisitesi üzerine yapılan bilimsel çalışmalarındaki yoğun ilgi, her geçen gün artmaktadır.

Antimonun, olumsuz etkileri şu şekilde sıralanabilir. Antimon (III) oksit (inhalasyon) ile yapılan deneylerde, kadın sıçanlarda akciğer kanserine neden olduğu gösterilmiştir (Gebel, 1997). Antimon, memeli hücrelerinde DNA eklentileri, DNA kırıkları, gen mutasyonları, kromozom anormallikleri, klastojenite ve anöploidi gibi sorunları oluşturan genetik toksisite ya da genotoksisite göstermiştir (Asakura vd., 2009). Mesleki maruziyete bağlı; -solunum yolu tahrişi, - akciğerin toz hastalıkları belirtileri, pnömokonyoz gibi doku reaksiyonu, -ciltte antimon lekeleri ve -gastrointestinal (mide-bağırsak) semptomlar gözlenebilir. Solunum yolu rahatsızlıkları arasında kronik bronşit (bronşların iltihaplanması), kronik amfizem (hava kesecikleri hasarı; solunumla alınan oksijenin kana geçtiği yapılar), inaktif tüberküloz (verem), plevral adezyonlar (akciğerleri çevreleyen, iki katlı, ince bir zar tabakasının yapışıklığı ile iki zar arasındaki sıvı miktarının artması) ve solunum tahrişi (*kronik öksürük, hırıltılı solunum ve üst solunum yolu iltihabı ile karakterizedir*) yer alır. Suda çözünürlüğü düşük antimon bileşiklerinden oluşan küçük partiküller içeren aerosoller (*örneğin antimon oksit partikülleri*), yüksek suda çözünürlüğü olan daha büyük partiküller içerenlerden (*örneğin antimon tartrate partikülleri*) daha uzun bir süre akciğerlerde tutulurlar. Antimon trioksit ve/veya pentoksit tozuna ( $8.87 \text{ mg/m}^3$  **veya daha fazla**) maruz kalındığında pnömokonyoza neden olabileceği görülmüştür. Havadaki antimonun, terleme ve yağ bezlerinin yakınındaki gövde ve uzuvlarda “antimon leke” etkileri vardır. Bu dermatit rahatsızlık, daha çok sıcak havalarda ve yüksek sıcaklıklara maruz kalan işçilerde görülür.

Gastrointestinal (yemek borusu, mide ve bağırsaklar gibi sindirim sisteminin tüm ana organları) olarak, havada toz olarak bulunan antimon triklorür, antimon trisülfid veya antimon oksite maruz kalındığında karın ağrısı, ishal, kusma ve ülsere sebep olduğu anlaşılmıştır. Antimon metalürjisi tesislerinde çalışan kadınlarda kontrol grubuna göre kendiliğinden düşük ve menstrüasyon (regl) bozukluğu sıklığı da bildirilmiştir (Sundar ve Chakravarty, 2010). Antimon ve antimon trioksit, metal madenciliğinde, eritme ve rafine işletmelerinde, kömürle çalışan elektrik santrallerinde, çöp yakım alanlarında veya kapalı ateşleme alanlarında çalışan işçilerde sıkça görülür (Sundar ve Chakravarty, 2010; Anderson, 2012).

Havadan 8-9 g/m<sup>3</sup> üzeri antimonoksit solunması durumunda kısa sürede bronşlar ve üst solunum yollarında kasılma ile enfeksiyon görülebilir, akciğer rahatsızlıkları meydana gelebilir. Çalışılan ortamın havasında 2.5 g/m<sup>3</sup> antimonoksit/klorür içermesi , 8(sekiz) ay ve daha yukarı sürelerde çalışılması durumunda kan basıncında aşırı yükselme ve kalp atış ritminin bozulması meydana gelebilir. 2 mg/m<sup>3</sup> – 70 g/m<sup>3</sup> antimonoksit veya antimon-sülfür solunması durumunda, kısa sürede bile sindirim sisteminde ani ağrılar ve kasılmalar, kusma ve kronik ülser vakaları ile karşılaşılabilir. 10 mg/m<sup>3</sup> antimonklorür, antimon-sülfür ve antimonoksitin solunum ile vücuda alınması durumunda sinir sisteminde aşırı zayıflama ve beyinde çınlama hissi gibi problemler ortaya çıkabilir. Antimon kaynaklı insan ölümü sadece küçük bebeklerde görülmektedir (ATSDR, 1992; Baldwin and Marshall, 1999; Güven vd., 2004). Antimon, klastojeniktir, ancak üç değerlikli durumda mutajenik değildir ve kanserojen bir potansiyele sahiptir (Gebel, 1997; Sundar ve Chakravarty, 2010). Kısaca antimon, akut veya kronik oral veya parenteral maruziyet oluşturabilir. Vücutta en yüksek konsantrasyonları ise tiroid, adrenal bezler, karaciğer ve böbrekte bulunur (Tylenda vd., 2015).

Orijinal (SCP) IDLH'nin (Immediately Dangerous to Life or Health) temeli: AIHA (1959), antimon ve bileşiklerine hem akut hem de kronik maruz kalma durumunda tehlike şiddetinin orta ile yüksek olduğunu bildirmiştir. Antimon trisülfüre (0,6 ila 5,5 mg/m<sup>3</sup>) kronik olarak maruz kalan işçilerde kalp anormalliklerinde belirgin bir artış olduğunu kaydetmiş ve deney hayvanlarında kalp hasarı görülmüştür. Seçilen IDLH (Immediately Dangerous to Life or Health), 73 mg/m<sup>3</sup>'e kadar antimon içeren havaya kısa süre maruz kalan işçilerde karın ağrısı ve kalıcı anoreksi dahil hafif gecikmiş gastrointestinal bozuklukların kaydedildiğini bildiren raporuna dayanmaktadır (<https://www.cdc.gov/niosh/npg/npgd0036.html>, 2024).

Çin antimon yatakları özellikle Guangxi (% 34.4), Hunan (% 21.2), Yunnan (% 12.2) ve Guizhou (% 10.2) bölgelerinde yoğunlaşmaktadır. Bölgede yer alan sedimanter kayalardaki antimon, birkaç mg kg<sup>-1</sup> düzeyindedir. Madencilik faaliyetlerine bağlı olarak antimon yataklarının gözlendiği bölge, ciddi antimon kontaminasyonuna uğramıştır; bu anomaliler 0.5-1.5 mg kg<sup>-1</sup> arasında daha düşük konsantrasyon; 1.5-2 mg kg<sup>-1</sup> arasında orta konsantrasyon ve 2 mg kg<sup>-1</sup>'in üzerinde olan yüksek konsantrasyon grupları olarak görülür. Bölgede yer alan nehir sularında, oldukça fazla oranda antimon yoğunlaşmış ve bitkilerde yüksek seviyelere ulaşmıştır (He vd., 2012). Xikuangshan (Guiyang, Hunan, Çin) antimon madeninin etkin olduğu nehirlerin bulunduğu içme suyunda sınır değer 13 kat Çin ve 3 kat Dünya Sağlık Örgütü (WHO, World Health Organization, 1993) yönergesini aşmıştır. Balıklarda, balık solungaçlarında, madenlerin bulunduğu lokal bölgelerdeki insan saçlarında (toksik seviyenin üzerinde) ve alg örneklerinde önemli oranlarda antimon ve arseniğin yayıldığı ve bunların insan sağlığını önemli ölçüde olumsuz olarak etkileyebileceği öngörülmüştür (Guo vd., 2009; Li vd., 2009; Fu vd., 2010; Wu vd., 2011; Wang vd., 2011). Bölgedeki gıda örneklerinde ölçülen antimony değerinin, tolere edilebilir (554 µg/gün) günlük alım miktarını geçilmemesi önemlidir. Ancak buna karşın antimonun baskın besin alım kaynakları pirinç, sebzeler (özellikle yapraklı sebzeler), içme suyu ve et/kümes hayvanları olarak belirlenmiştir. Ayrıca, bu örneklerde arseniğin baskın besin alım kaynakları olarak pirinç verilmiştir. Antimonate (V) sebze, içme suyu ve saçlarda baskın antimon türleridir (Wu vd., 2010). Tayvan, Arjantin, Hindistan ve Bangladeş gibi altın madencilik faaliyetlerinin olduğu yerlerde, su kaynaklarında arsenik ve antimon kontaminasyonuna rastlanmıştır (Serfor-Armah vd., 2006).

Dünyada antimon üretiminin %88 kadarına Çin sahiptir. Ayrıca, Balkan Yarımadası, Bolivya, Cezayir, Çin, Güney Afrika, Meksika ve Peru ülkelerinde de yataklar bulunmaktadır. Ülkemizde (Tokat-Turhal, Niğde-Gümüşler, Kütahya-Simav-Gediz, İzmir-Ödemiş, Balıkesir-İvrindi-Susurluk, Bursa-İnegöl, Bilecik-Söğüt) antimon madenciliği, geçmişten bugüne devam eden bir madenciliktir. Geçmiş dönemlerde işletilmiş olan bazı eski antimon ocakları ve bunların cevher atık sahalarında, artık antimonun varlığı söz konusudur (Göncüoğlu, 1986; Yalçın 1995; Yalçın ve Yaman, 1996; Yalçın and Çopuroğlu, 2001; Yalçın, vd, 2008; Tümüklü ve Tosunbaş, 2021). Antimon tüvenan cevherden rafine antimona kadar her bir aşama, cevher zenginleştirme işlemleri, oksitli, klorürlü, sülfürlü, polisülfürlü bileşenlerin oluşturulması, cevher içerikli tozlu çalışma alanları, döküntü cevher alanları, eski maden ocakları ve bunların atık sahaları, hurda ve

eşya gibi daha bir çok farklı ticari alanlarda antimonun varlığı söz konusudur. Antimonun tüm bu işlemleri sırasında kısa, orta ve uzun süreli zamanlarda, Antimona (Sb) maruz kalan insanların, bu ağır metalin etkisi altında kaldıkları düşünülebilir. Bu etkileşimden dolayı insanlar sağlık sorunları yaşayabilir. Makalenin amacı, antimonun çıkarıldığı doğal ortamlardan üretim yapıldığı alanlara ve hatta ürünlerin bulunduğu ortamlara kadar, insan sağlığı ve çevre üzerine olası etkilerini belirlemek, bu ortamlarda dikkat edilmesi gereken durumları ve gerekli tedbirleri açıklamak şeklindedir.

## **MATERYAL METOD**

### **Antimon seviyeleri**

ABD jeolojik araştırma birimi, antimonun toprak konsantrasyonunu ortalama 0.48 ppm olarak belirtmiş ve konsantrasyonun 1 ila 8.8 ppm aralığından daha az olduğunu belirtmiştir. Topraklardaki Sb oranı genel olarak, 0.049 mg kg<sup>-1</sup> dir (Rodrigues vd., 2010). ABD jeolojik araştırma birimi, genel olarak yiyecek ve sudan ortalama antimon alımını, kabaca 5 µg/gün olarak tahmin etmiştir (Sundar ve Chakravarty, 2010). Bitkisel ilaçlar ve kontrolsüz diyet takviyeleri, antimonlu sıcak su uygulamalarında (therapeutic applications) sağlık sorunları oluşabileceği belirtilmiştir (Heltai vd., 2018). Gıda örneklerinde tolere edilebilir günlük alım miktarı 554 µg/gün şeklindedir (Wu vd., 2011). Arsenik kurşun-antimon atıklarının bulunduğu, eski maden ocak alanlarına ait antimon konsantrasyonları, toprakta (14.1–324 mg kg<sup>-1</sup>) ve tahılda (0.05–0.103 mg kg<sup>-1</sup>) olarak belirlenmiştir. Bu metallerin tarım topraklarında ve tahıllar için belirlenmiş izin verilen sınırların altında kaldığı ve tolere edilebilir seviyelerde olduğunu gösteren örnekler de bulunmaktadır (Álvarez-Ayuso vd., 2012).

İçme suyu yönergelerine göre Dünya Sağlık Örgütü: 20 µg/L; Japonya: 15 µg/L (WHO, 2003); ABD Çevre Koruma Ajansı, Kanada Sağlık ve Ontario Çevre Bakanlığı: 6 µg/L; AB ve Alman Federal Çevre Bakanlığı: 5 µg/L (Shotyk vd., 2006); DSÖ tarafından önerilen TDI, vücut ağırlığının kilogramı başına 6 µg antimondur (WHO 2004). Antimon için IDLH (Immediately Dangerous to Life or Health) değeri 50 mg/m<sup>3</sup>tür (NIOSH, 1985).

Hayata veya sağlığa doğrudan tehlikeli konsantrasyonlar (IDLH: Immediately Dangerous to Life or Health), NIOSH REL: 0.5 mg Sb/m<sup>3</sup> TWA; Mevcut OSHA PEL: 0.5 mg Sb/m<sup>3</sup> TWA; 1989

OSHA PEL: 0.5 mg Sb/m<sup>3</sup> TWA; 1993-1994 ACGIH TLV: 0.5 mg Sb/m<sup>3</sup> TWA; Orijinal (SCP) IDLH: 50 mg Sb/m<sup>3</sup> (NIOSH, 2024).

### Toksisitesinin Belirlenmesi

Antimon ve bileşiklerinin insan ve çevre sağlığı üzerindeki etkileri büyük farklılıklar göstermektedir. Ancak, CDC (*Centers for Disease Control and Prevention*) raporlarında, antimon toksisitesinin belirlenmesi için farklı yöntemler bulunsa da sadece geçerliliği kabul edilmiş yöntemlerin kullanılması gerektiği üzerine dikkat çekilmiştir. Antimon esas olarak idrar yoluyla insan vücudundan atıldığı için, antimon toksisitesinin belirlenmesinde kullanılan idrar testi, vücuttaki antimon seviyelerini ölçmek için en doğru, en güvenilir ve en geçerli test yöntemi olduğu vurgulanmıştır.

Genel idrar antimon ortalamasının 0.09 µg/L (0.09, 0.10) şeklinde olduğu ve yüksek oranlardaki antimonun kalp ve akciğer sorunları oluşturabileceği belirtilmiştir (Frustaci vd., 1999; Wiener and Bhandari, 2020).

CDC, ABD popülasyonunda “idrar antimon seviyeleri” aralıklarını belirlemiş olup bu değerleri 0.120-0.364 µg/gr (2010 yılı için) aralıklarındaki kreatinin olarak açıklamıştır. Antimon toksisitesinin belirlenmesinde kullanılan saç testinin onaylanmış bir yöntem olmadığı ve toksisitesinin belirlenmesinde önerilmediği belirtilmiştir (<http://www.cdc.gov/niosh/fire/spotlight.html>). Ancak bu test yöntemi, bir fikir oluşturması bakımından değerlendirilebilir.

Akut toksisite verileri olarak, ölümcül konsantrasyon verileri Tablo 1 ve Tablo 2’de verilmiştir.

**Table 1.** Akut toksisite ölümcül konsantrasyon verileri

*Table 1. Acute Toxicity Lethal Concentration Data*

Türler	Referans	LC50 (ppm)	LCLo (ppm)	Zaman	0.5 saat LC (CF)	Türetilmiş Değer
Fare	Chekunova ve Minkina, 1987	720 mg/m <sup>3</sup>	-----	?	?	?
Fare	İzmerov vd. 1982	720 mg/m <sup>3</sup>	-----	2 saat	469 mg Sb/m <sup>3</sup>	47 mg Sb/m <sup>3</sup>



**Tablo 2.** Akut toksisite ölümcül konsantrasyon verileri*Table 2. Acute Toxicity Lethal Concentration Data*

Türler	Referans	Rota	LD50 (mg/kg)	LDLo (mg/kg)	Düzeltilmiş LD	Türetilmiş Değer
Fare	Coulston ve Korte, 1975	Oral	7.500	-----	49.000 mg Sb/m <sup>3</sup>	4.900 mg Sb/m <sup>3</sup>
Fare	Smyth ve Carpenter, 1948	Oral	20.000	-----	117.600 mg Sb/m <sup>3</sup>	11.760 mg Sb/m <sup>3</sup>
Fare	Arzamastev, 1964	Oral	1.115	-----	3.179 mg Sb/m <sup>3</sup>	318 mg Sb/m <sup>3</sup>
G. Domuz	Arzamastev, 1964	Oral	900	-----	2.566 mg Sb/m <sup>3</sup>	257 mg Sb/m <sup>3</sup>

İnsan verileri, antimon pentaklorürün (SbCl<sub>5</sub>), antimon klorürler arasında en toksik olduğu kabul edilir (ACGIH, 1994).

## TARTIŞMA

Risk Analizleri: antimonun kendisi, ortamdan taşınması, başka maddelere dönüştürülmesi, çevrede birikimi, vücut tarafından alınabilecek doz miktarı, temas şekli ve süresi, biyolojik olarak etkili olacak doz miktarı, zararlı alışkanlıklar ve ortamda diğer kimyasalların mevcut olup olmadığı, hastalığın erken belirtileri ve hastalığın ortaya çıkması gibi durumlar toksik etki unsuru sayılabilir. Yapılacak çalışmalar klinik toksikoloji, farmasötik ajanlar, işyeri ve yaşadığımız ortamdaki anomali durumları birlikte değerlendirilmelidir. (<https://www.ttb.org.tr/eweb/bergama/5.html>). Antimon için yapılacak ve hesaplanacak risk analizleri, riskin varlığının ya da yokluğunun ortaya konması için doğru sonuçlar verebilir. Bu değerleri bulmak, durum tespiti yapmak, zaman içinde maruziyetin yarattığı sağlık sorunlarının daha iyi tanımlanması, maruziyeti azaltıcı önlemlerin geliştirilmesi, antimonun seviyesinin zararlı olmayacağı eşik değerleri geçmeden sabit tutulması ve özellikle epidemiyolojik çalışmalar için önemlidir.

Antimon toksisitesi verilerinin çoğu, ilkel çalışma koşullarının hüküm sürdüğü ve denetlemelerin yetersiz kaldığı koşullarda gelişmektedir. Çalışma koşullarındaki iyileşmeler, katı kuralların uygulanması, sürekli denetim ve risk analizleri, işyerinde antimon toksisitesi insidansını önemli ölçüde azaltmıştır (Sundar ve Chakravarty, 2010). İnsidansın kontrol altına alınması için antimonun risk analizlerinin ve indeks hesaplamalarının (contamination factors, CFs; integrated pollution indexes, IPIs; enrichment factors, EFs ve geoaccumulation index, Igeo) düzenli olarak yapılması gerektiği belirtilmiştir (Guo vd., 2017).

Antimon içerikli tozlu ortamlarda toz oranları (5 mg/m<sup>3</sup>'e kadar; 12,5 mg/ m<sup>3</sup>'e kadar; 25 mg/ m<sup>3</sup>'e kadar; 50 mg/ m<sup>3</sup>'e kadar) belirlenerek mutlaka bu oranlara uygun solunum cihazları kullanılmalıdır. Ancak, bilinmeyen konsantrasyonlara veya IDLH (Immediately Dangerous to Life or Health) koşullarına uygun acil eylem planı yapılmalı veya planlı giriş programları uygulanmalıdır (<https://www.cdc.gov/niosh/npg/npgd0036.html>).

### **Toprak Katkı Maddeleri ve Bitki Uygulanması**

Antimon (Sb (III)) ve antimonatın (Sb (V)) MO-2 üzerindeki adsorpsiyon özellikleri spontan olarak, ekzotermik ve pH'a bağlı olarak değişiklik gösterebilir. Bunların bolluk seviyeleri, adsorpsiyonun homojen bir yüzey üzerinde ve tek tabakalı olarak gerçekleştiğini varsayan Langmiur izoterm modeli, sözde ikinci dereceden kinetik model ve dış kütle transfer modeli ile açıklanmıştır. Kısmi durum yoğunluğu (PDOS) ve Dubinin-Radushkevich (DR) izoterm modeli analizlerine göre, Sb (III) ve Sb (V)'in MO-2 yüzeyinde kimyasal olarak emildiği doğrulanmıştır (Luo vd., 2017). Aynı şekilde, bilimsel olarak izah edilen antimonun adsorpsiyonu ve uzaklaştırılması ile ilgili güncel bir çok farklı bilimsel çalışmalar da bulunmaktadır (Hasany ve Chaudhary, 1996; Xu vd., 2001; Guo vd., 2009; Liu vd., 2009; Wu vd., 2010; Leng vd., 2012; Salam ve Mohamed 2013; Ungureanu vd., 2015; vdHe vd., 2020; Liu vd., 2020; Pintor vd., 2020; Khalid vd., 2020). Antimon madencilik faaliyetlerinin bulunduğu alanlarda, antimonun bölgeye yayılmaması için toprağa bazı işlemler uygulanmaktadır. Özellikle, kalsiyum fosfat ve linyit (Kemofitostabilizasyon maddeleri) toprağa uygulandığında, mikorizal oluşum gerçekleşmektedir. Bu şekilde, ağır metal immobilizasyonu sağlandığı ve bunun ağır metal süzülümünü (leaching) engellediği belirlenmiştir (Çolak ve Aksoy, 1997; Keskin, 2009; Dartan

ve Toröz, 2013; Kara ve Ertan, 2018). Antimon ile yüksek oranda kontamine olmuş toprağı geri kazanmak için toprak katkı maddesi olan “Na-bentonit” ve “yeşil kompost” ayrı ayrı kullanılmış ve başarı elde edilmiştir. Ayrıca toprak katkı maddelerinin üzerine çim türü olan “Festuca arundinacea” birlikte kullanılmış ve başarılı olmuştur. Bu kemofitostabilizasyon katkı maddeleri (kalsiyum fosfat ve linyit), incelenen topraktaki enzim aktivitesi ve mikrobiyal fonksiyonel kapasitesini çim türlerine göre daha olumlu etkilemiştir (Wasilkowski vd., 2019).

Sierra Minera'da (SE İspanya) yapılan bilimsel çalışmada, toprakta bulunan antimonun su aracılığı ile “Yapışkan Anduz Otu” (Sümenit; *Dittrichia viscosa*) bitki köküne geçtiği, ancak bitki parçalarında antimonun yüksek miktarlarda bulunmadığı ve toprak ıslahında kullanılabileceği belirtilmiştir (Murciego vd., 2007; Pérez-Sirvent vd., 2012). Terk edilmiş San Antonio bölgesi antimon madencilik (Extremadura, İspanya) sahasındaki Bitki Birikim Katsayıları (PAC) üzerindeki yapılan bilimsel çalışmada, “Yapışkan Anduz Otu” (Sümenit; *Dittrichia viscosa*) önemli bir antimon bioakümülyasyon göstermiştir (Murciego vd., 2007). Madencilik faaliyetlerinin terk edildiği sahalar üzerinde yapılan “Biyosolid Toprak Uygulamaları”nın (arıtılmış kanalizasyon çamurunu), bu topraklardaki bitki kombinasyonlarını, toprak verimliliğini ve ilgili parametrelerini önemli ölçüde iyileştirdiği belirtilmiştir. Bu alanlarda, alkalın fosfataz, b-glukosidaz ve üreaz toprak enzimi aktivitelerinde de önemli artışlar ( $p < 0.05$ ) gözlenmiştir. Toprak enzimi faaliyetlerindeki artışların biyosolidlerin ve bitkilerin, sinerjistik etkileri nedeniyle olduğu düşünülmüştür (Cele ve Maboeta, 2016).

### **Çevre Bilinci Geliştirme ve Standartlar**

Madencilik faaliyetlerinden etkilenebilecek bölge halkında çevre bilinci oluşturularak, onların kaygılarını ortadan kaldıracı faaliyetlerde bulunmak, bilimsel çalışmaları baz almak, teknik uygulamaları zamanında ve doğru bir şekilde yapmak, toksisite riskini bertaraf edilebilir (Poudyal vd., 2019). Antimon işçilerinin çalışma konusu, yeri ve alanlarına uygun olarak çalışma sürelerinin güncel mevzuatlara uygun süre ile çalıştırılmasına dikkat edilmelidir. İşveren, işyerinde “sağlık ve güvenlik dokümanı” hazırlamalı ve bunu sürekli güncellenmelidir (Tatar, 2014). İş yeri ve çevresini çevre dostu yapmak, çalışanların ve bölge halkının sağlığı ve güvenliğini korumak, gözetmek ve her zaman dikkate almak, WHO'nun genel prensipleri

doğrultusunda, sürdürülebilir bir işletmenin kurulmasını sağlamak, ulusal yasa ve yönergelere uymak, gerekli tüm zorunlulukları yerine harfiyen yerine getirmek gerekir.

Özellikle hava, yiyecek, su, içme suyu, kan vb gibi hususlarda “antimon için minimum risk seviyeleri”, uluslararası kuruluşlardan WHO (World Health Organization), Birleşik Devletler Çevre Koruma Ajansı (EPA, United States Environmental Protection Agency), OSHA (The Occupational Safety and Health Administration), US Department of Health and Human Services, (ATSDR, Agency for Toxic Substances and Disease Registry, US), CDC (Centers for Disease Control and Prevention) tarafından belirlenmiş olup, bu evrensel değerler dikkate alınmalıdır (ATSDR, 1992; WHO, 1993; Kentner vd., 1995; Gebel 1997; Gebel vd., 1998; Howd vd., 2000; US Department of Health and Human Services, 2002; WHO, 2004; Cooper ve Harrison 2009; Sundar ve Chakravarty, 2010; Year, 2013).

### **İlk Müdahale**

Sağlık tahlillerin sonucunda antimon değerleri yüksek çıkar ise buna karşı gerekli önlemler, acilen alınmalıdır. Bu hastalara, ilk işlemler sırasında hangi oranda maruziyetin oluştuğunu tespit etmek için ve daha sonra da antimonun vücuttan atılımını ve eliminasyonu takip etmek için ilgili teknolojik analizlerin yapılması gerekmektedir. Hastalarda gerekli işlemlerden sonra, klinik durumuna göre yatış ve takip gerekmektedir. “American Association of Poison Control Centers” (AAPCC) kurallarına göre ve “Sağlık Bakanlığının” hazırladığı tedavi rehberlerine göre tedavi yapılması gerekir (<http://tatdtoksikoloji.org/klinik-toksikoloji>). Bununla beraber, antimon işletmelerinin işvereni, ciddi yaralanmalı veya ölümlle sonuçlanan iş kazalarını ve ciddi tehlikeli olayları İSG kanun ve kuralları çerçevesinde yürütmelidir. Her türlü olumsuzluğa karşı B-Planları oluşturulmalı ve gerekli tedbirler hazırlanmalı ve bunları günün koşullarına göre veya her yıl güncellemelidir.

İlk etapta antimon maruziyetinde kalan kişiler, kişisel korumaya alınmalı, sanitasyon (sağlığın korunması ve sağlığın tekrar kazanılması için uygulanan tüm işlemler) uygulanmalı ve ilk yardım esasları belirlenmelidir. Bu hususta bu alanda çalışan bireylere konuya ve sağlık tedbirlerine uygun eğitim verilmelidir. Özellikle ilk maruziyette ciltle ve gözle temas önlemeli, cilt ve gözün kirlenmesi durumunda bu alanlar temizlenmelidir. Gözleri derhal sulayarak temizlemeli ve cildi

derhal sabunla yıkamalıdır. Solunum problemi varsa derhal tıbbi destek alınmalıdır. Kıyafetler ıslanır veya kirlenir ise bunları çıkarıp günlük değişimin yapılması sağlanmalıdır (<https://www.cdc.gov/niosh/npg/npgd0036.html>).

## SONUÇLAR

Farklı madencilik faaliyetlerinde olduğu gibi antimon madenciliğinde de gerekli güvenlik ve sağlık tedbirleri olarak oluşacak riskleri yok etmek önemlidir. Özellikle madencilik faaliyetlerinin yapıldığı alanlarda, bölge halkı için ıslah çalışmalarına duyulan güveni sağlamak, madencilik endüstrisine yönelik doğru tutumlar edinmek ve yerel kurumlara olan güveni artırmak önemlidir. Madencilik faaliyetlerinin çevreyi ve canlı sağlığını bozduğu ile ilgili kötü algının kaldırılması, bir takım evrensel prensiplerin doğru bir şekilde uygulamasından geçer. Daha çevreci bir teknoloji ile çalışma prensibine sahip olmak, ilgili yasal kurallara uyumlu olmak, evrensel etik kuralları dikkate almak, şeffaf olmak, hesap verilebilir olmak ve kırsal alanlarda ekonomik büyüme endişelerini ortadan kaldırmak gibi toplumsal kabul gören işlemler madenciliğin toplum tarafından doğru algılanmasını sağlayabilir.

Antimon madenciliği hakkında sürdürülebilir güven tesisini oluşturmak gerekir. Antimon ve türevleri ile temasta olan bireyler uluslararası “*idrara antimon seviyeleri*” ile kontrol edilerek, gerekli sağlık tedbirleri kontrol altına alınabilir. Düzenli olarak yapılan bu tahlillerde, uluslararası/ulusal güncellemeleri uygulamak gerekir. Bu kapsamda idrar tahlillerini yapmak ve gerek görülürse kan, saç ve tırnak tahlillerini yapmak ve bunların tam teşekkülü “meslek hastalıkları hastanelerinde” yapılmasına dikkat etmek önemlidir. Toplum sağlığı araştırmaları, toksikoloji ve epidemiyoloji çalışmaları antimon madenciliğinde önemli olup, “meslek hastalığı klinik tanısı” koymaya ve bildirim yapmaya yetkili “meslek hastalıkları hastaneleri”ni belirlemek önemlidir. Çalışma koşulları dikkate alınarak, uluslararası/ulusal madencilik kanun ve hükümlerine uygun olarak “*İşci Sağlığı ve Güvenliğinde*” risk analizlerinin düzenli yapılması, gerekli emniyet/sağlık tedbirlerin sürdürülebilir ve denetlenebilir olması, çalışma koşullarının uluslararası nitelikte olmasını da sağlayacak, çalışanlarına güven tesis edecektir.

İşveren, ulusal mevzuatlarda yer alan “*İşverenin Genel Yükümlülükleri*” doğrultusunda hareket etmeli ve “*sağlık ve güvenlik dokümanı*” hazırlanmasını ve güncellenmesini sağlamalıdır. İşverenin kendi yapacaklarının yanı sıra, çalışanlarını da bilinçlendirmesi gerekir. İşveren

tarafından, antimon maruziyetine kalacak her bir bireye, “İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu” hükümlerince günlük yaşamlarında dahi arsenik ve animonitin zararlı etkilerine karşı duyarlı ve bilinçli olması gerektiği öğretilmeli ve bireyler, bu metallerin zararlarından korunma yöntemlerini ve kontaminasyon potansiyeline karşı bilgilendirilmelidir. Risk Değerlendirmesi yapılırken özellikle ulusal/uluslararası “İş Sağlığı ve Güvenliği Risk Değerlendirmesi Yönetmeliği” ile belirlenen hususlar uygulanmalı, yönetmelikte istenen yükümlülükler yerine getirilmelidir.

Antimon madencilik sektöründe ilgili işletmenin sürdürülebilir olması bakımından, çevre mevzuatına uygun olarak işlemlerin yürütülmesi, “Hava (gaz, toz vb), Su (içme, kullanma, yeraltı ve yüzey), Toprak, Flora, Fauna” gibi ortamlardaki süreçlerin eşik değerler ile takip edilmesi, bunlarda düzenli ve sistematik ölçümlerin yapılması, ölçüm ve analizlerin varsa üniversitelerde yaptırılması ve kayıtlarının saklanması, cevher üretimi, cevher işleme ve atık yönetimi ve rehabilitasyon süreçlerine ulusal/uluslararası standart getirilmesi önemlidir.

## **KATKI BELİRTME**

Makalenin gelişmesine katkı sağlayan hakemlere teşekkür ederiz.

## **KAYNAKLAR**

- AIHA (1959). Antimony and its compounds (excepting stibine). In: Hygienic guide series. Am Ind Hyg Assoc Q 20:515-516.
- Álvarez-Ayuso, E., Otones, V., Murciego, A., García-Sánchez, A., & Santa Regina, I. (2012). Antimony, arsenic and lead distribution in soils and plants of an agricultural area impacted by former mining activities. *Science of the Total Environment*, 439, 35-43.
- Anderson, C. G. (2012). The metallurgy of antimony. *Geochemistry*, 72, 3-8.
- Asakura, K; Satoh, H; Chiba, M; Okamoto, M; Serizawa, K; Nakano, M; Omae, K. (2009). Genotoxicity studies of heavy metals: Lead, Bismuth, Indium, Silver and Antimony. *J. Occup. Health*, 51, 498–512.
- Baldwin, D. R., & Marshall, W. J. (1999). Heavy metal poisoning and its laboratory investigation. *Annals of clinical biochemistry*, 36(3), 267-300.

- Cele, E. N., & Maboeta, M. (2016). Response of soil enzyme activities to synergistic effects of biosolids and plants in iron ore mine soils. *International journal of environmental science and technology*, 13(9), 2117-2126.
- Cooper, R. G., & Harrison, A. P. (2009). The exposure to and health effects of antimony. *Indian journal of occupational and environmental medicine*, 13(1), 3.
- Çolak, A. H., & Aksoy, H. (1997). *Rhododendron pontificum* L.(Mor Çiçekli Ormangülü)'nun Silvikültür Özellikleri Üzerine Araştırmalar (Doctoral dissertation, PhD dissertation, İstanbul, Turkey. Institute of Science and Technology, İstanbul University).
- Dartan, G., & Toröz, İ. (2013). Güney Marmara Bölgesinde Tarım Topraklarında Ağır Metal Kirliliğinin Araştırılması. *Marmara Fen Bilimleri Dergisi*, 25(1), 24-40.
- Frustaci, A., Magnavita, N., Chimenti, C., Caldarulo, M., Sabbioni, E., Pietra, R., ... & Maseri, A. (1999). Marked elevation of myocardial trace elements in idiopathic dilated cardiomyopathy compared with secondary cardiac dysfunction. *Journal of the American College of Cardiology*, 33(6), 1578-1583.
- Fu, Z., Wu, F., Amarasiriwardena, D., Mo, C., Liu, B., Zhu, J., ... & Liao, H. (2010). Antimony, arsenic and mercury in the aquatic environment and fish in a large antimony mining area in Hunan, China. *Science of the Total Environment*, 408(16), 3403-3410.
- Gebel T, Claussen K, Dunkelberg H. (1998). Human biomonitoring of antimony. *Int Arch Occup Environ Health*;71(3):221-224
- Gebel, T. (1997). Arsenic and antimony: comparative approach on mechanistic toxicology. *Chemico-biological interactions*, 107(3), 131-144.
- Göncüoğlu, M. C. (1986). Geochronological data from the southern part (Niğde area) of the Central Anatolian Massif. *Mineral Research and Exploration Institute of Turkey (MTA) Bulletin*, 105(106), 111-124.
- Guo, L., Zhao, W., Gu, X., Zhao, X., Chen, J., & Cheng, S. (2017). Risk assessment and source identification of 17 metals and metalloids on soils from the half-century old tungsten mining areas in Lianhuashan, Southern China. *International journal of environmental research and public health*, 14(12), 1475.
- Guo, X., Wu, Z., & He, M. (2009). Removal of antimony (V) and antimony (III) from drinking water by coagulation–flocculation–sedimentation (CFS). *Water research*, 43(17), 4327-4335.

- Güven, A., Kahvecioğlu, Ö., Kartal, G., Timur, S., & Metalurji, İ. T. Ü. (2004). Metallerin çevresel etkileri-III. Metalurji Dergisi, 138, 64-71.
- Hasany, S. M., & Chaudhary, M. H. (1996). Sorption potential of Haro river sand for the removal of antimony from acidic aqueous solution. Applied Radiation and Isotopes, 47(4), 467-471.
- He, M., Wang, X., Wu, F., & Fu, Z. (2012). Antimony pollution in China. Science of the total environment, 421, 41-50.
- He, X., Min, X., Peng, T., Ke, Y., Zhao, F., Sillanpää, M., & Wang, Y. (2020). Enhanced adsorption of antimonate by ball-milled microscale zero valent iron/pyrite composite: adsorption properties and mechanism insight. Environmental Science and Pollution Research, 1-12.
- Heltai, G., Györi, Z., Fekete, I., Halász, G., Kovács, K., Takács, A., ... & Horváth, M. (2018). Longterm study of transformation of potentially toxic element pollution in soil/water/sediment system by means of fractionation with sequential extraction procedures. Microchemical journal, 136, 85-93.
- Howd, R. A., Brown, J. P., Morry, D. W., Wang, Y. Y., Bankowska, J., Budroe, J. D., ... & Lewis, D. (2000). Development of California public health goals (PHGs) for chemicals in drinking water. Journal of Applied Toxicology: An International Journal, 20(5), 365-380.
- Kara, E. E., & Ertan, Kara. (2018). Toprakta Ağır Metal Kirliliğinin İnsan Sağlığına Etkileri ve Çözüm Önerileri. Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi, 11(1), 56-62.
- Kentner, M., Leinemann, M., Schaller, K. H., Weltle, D., & Lehnert, G. (1995). External and internal antimony exposure in starter battery production. International Archives of Occupational and Environmental Health, 67, 119-123.vd
- Keskin, L. (2009). Bazı patlıcan genotiplerinde fide gelişimi ve besin elementi içeriklerine arbuscular mikoriza fungus uygulamalarının etkileri (Doctoral dissertation, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Khalid, N., Ahmad, S., Toheed, A., & Ahmed, J. (2000). Potential of rice husks for antimony removal. Applied Radiation and Isotopes, 52(1), 31-38.
- Leng, Y., Guo, W., Su, S., Yi, C., & Xing, L. (2012). Removal of antimony (III) from aqueous solution by graphene as an adsorbent. Chemical Engineering Journal, 211, 406-411.



- Liu, B. J., Wu, F. C., Deng, Q. J., Mo, C. L., Zhu, J., Zeng, L., ... & Li, W. (2009). Pollution characteristics of antimony, arsenic and mercury in human hair at Xikuangshan antimony mining area and Guiyang City, China. *Huan jing ke xue= Huanjing kexue*, 30(3), 907-912.
- Liu, H., Ying, Q., Li, C., Norra, S., & Lichtfouse, E. (2020). Enhanced Removal of Antimony in Dyeing Wastewater by Mixing Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> with Manganese Sand Filter Material. *Water Environment Research*.
- Luo, J., Hu, C., Meng, X., Crittenden, J., Qu, J., & Peng, P. (2017). Antimony removal from aqueous solution using novel  $\alpha$ -MnO<sub>2</sub> nanofibers: equilibrium, kinetic, and density functional theory studies. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 5(3), 2255-2264.
- Murciego, A. M., Sánchez, A. G., González, M. R., Gil, E. P., Gordillo, C. T., Fernández, J. C., & Triguero, T. B. (2007). Antimony distribution and mobility in topsoils and plants (*Cytisus striatus*, *Cistus ladanifer* and *Dittrichia viscosa*) from polluted Sb-mining areas in Extremadura (Spain). *Environmental Pollution*, 145(1), 15-21.
- Okkenhaug, Gudny and Mulder Oca. (2017). Antimony. *Encyclopedia of Soil Science*, Vols I-Iii, 3rd Edition Pages: 146-149 .
- Pérez-Sirvent, C., Martínez-Sánchez, M. J., Martínez-López, S., Bech, J., & Bolan, N. (2012). Distribution and bioaccumulation of arsenic and antimony in *Dittrichia viscosa* growing in mining-affected semiarid soils in southeast Spain. *Journal of Geochemical Exploration*, 123, 128-135.
- Pintor, A. M., Vieira, B. R., Boaventura, R. A., & Botelho, C. M. (2020). Removal of antimony from water by iron-coated cork granulates. *Separation and Purification Technology*, 233, 116020.
- Poudyal, N. C., Gyawali, B. R., & Simon, M. (2019). Local residents' views of surface mining: Perceived impacts, subjective well-being, and support for regulations in southern Appalachia. *Journal of cleaner production*, 217, 530-540.
- Rodrigues, S. M., Henriques, B., da Silva, E. F., Pereira, M. E., Duarte, A. C., & Römkens, P. F. A. M. (2010). Evaluation of an approach for the characterization of reactive and available pools of twenty potentially toxic elements in soils: Part I—The role of key soil properties in the variation of contaminants' reactivity. *Chemosphere*, 81(11), 1549-1559.

- Salam, M. A., & Mohamed, R. M. (2013). Removal of antimony (III) by multi-walled carbon nanotubes from model solution and environmental samples. *Chemical engineering research and design*, 91(7), 1352-1360.
- Serfor-Armah, Y., Nyarko, B. J. B., Dampare, S. B., & Adomako, D. (2006). Levels of arsenic and antimony in water and sediment from Prestea, a gold mining town in Ghana and its environs. *Water, Air, and Soil Pollution*, 175(1-4), 181.
- Shotyk, W., Krachler, M., & Chen, B. (2006). Contamination of Canadian and European bottled waters with antimony from PET containers. *Journal of environmental monitoring*, 8(2), 288-292.
- Snedeker, S. M. (2014). Antimony in food contact materials and household plastics: uses, exposure, and health risk considerations. In *Toxicants in Food Packaging and Household Plastics* (pp. 205-230). Springer, London. 10.1007/978-1-4471-6500-2\_8
- Sundar, S., & Chakravarty, J. (2010). Antimony toxicity. *International journal of environmental research and public health*, 7(12), 4267-4277.
- Sundar, S., & Chakravarty, J. (2010). Antimony toxicity. *International journal of environmental research and public health*, 7(12), 4267-4277.
- Tatar, Ç. P. (2014). Kurşun Maruziyetinin İş Sağlığı Ve Güvenliği Açısından Değerlendirilmesi (Akü, Maden Ve Metal İşyerlerinde). TC Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı İş Sağlığı ve Güvenliği Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Tümüklü, A., & Tosunbaş, O. (2021). Gümüşler (Niğde) Antimon (Sb) Cevherleşmesinin Mineralojik ve Jeokimyasal Araştırılması. *Gazi University Journal of Science Part A: Engineering and Innovation*, 8(1), 166-188.
- Tylenda, C. A., Sullivan Jr, D. W., & Fowler, B. A. (2015). Antimony. In *Handbook on the Toxicology of Metals* (pp. 565-579). Academic Press.
- Ungureanu, G., Santos, S., Boaventura, R., & Botelho, C. (2015). Arsenic and antimony in water and wastewater: overview of removal techniques with special reference to latest advances in adsorption. *Journal of Environmental Management*, 151, 326-342.
- Wang, X., He, M., Xi, J., & Lu, X. (2011). Antimony distribution and mobility in rivers around the world's largest antimony mine of Xikuangshan, Hunan Province, China. *Microchemical Journal*, 97(1), 4-11.

- Wasilkowski, D., Nowak, A., Michalska, J., & Mroziak, A. (2019). Ecological restoration of heavy metal-contaminated soil using Na-bentonite and green compost coupled with the cultivation of the grass *Festuca arundinacea*. *Ecological Engineering*, 138, 420-433.
- Wiener, R. C., & Bhandari, R. (2020). Association of electronic cigarette use with lead, cadmium, barium, and antimony body burden: NHANES 2015-2016. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 62, 126602.
- Wu, F., Fu, Z., Liu, B., Mo, C., Chen, B., Corns, W., & Liao, H. (2011). Health risk associated with dietary co-exposure to high levels of antimony and arsenic in the world's largest antimony mine area. *Science of the Total Environment*, 409(18), 3344-3351.
- Wu, Z., He, M., Guo, X., & Zhou, R. (2010). Removal of antimony (III) and antimony (V) from drinking water by ferric chloride coagulation: Competing ion effect and the mechanism analysis. *Separation and Purification Technology*, 76(2), 184-190.
- Xu, Y. H., Ohki, A., & Maeda, S. (2001). Adsorption and removal of antimony from aqueous solution by an activated Alumina: 1. Adsorption capacity of adsorbent and effect of process variables. *Toxicological & Environmental Chemistry*, 80(3-4), 133-144.
- Yalcin, M. G. (1995). Gumusler (Nigde) Bolgesi Polimetallik Antimuan—Civa Cevherlesmesinin Mineralojisi ve Jeokimyasal Incelemesi (Doctoral dissertation, Doktora Tezi. Adana, p 165).
- Yalcin, M. G., Narin, I., & Soylak, M. (2008). Multivariate analysis of heavy metal contents of sediments from Gumusler creek, Nigde, Turkey. *Environmental Geology*, 54(6), 1155-1163.
- Yalçın, M. G., & Çopuroğlu, İ. (2001). Niğde Masifi metalik maden yataklarının mineralojisi ve jenezi.
- Yalçın, M. G., & Yaman, S. (1996). Gümüşler (Niğde) antimon-civa cevherleşmesinin mineralojik incelemesi.
- Year, F. (2013). Agency for Toxic Substances and Disease Registry.
- Yucel Muhammet Bayram. (2020). Antik dönemden günümüze bir serüven: Antimuan. *MTA Doğal Kaynaklar ve Ekonomi Bülteni*. 29: 79-100.

- ACGIH, American Conference of Governmental Industrial Hygienists. (1994). Antimony and compounds. In: Documentation of the threshold limit values and biological exposure indices. 6th ed. Cincinnati, OH, pp. 73-75.
- ATSDR, Agency for Toxic Substances and Disease Registry (1992). Toxicological profile for Antimony. US Public Health Service, US Department of Health and Human Services, Atlanta, p. 136.
- CDC, <https://www.cdc.gov/niosh/npg/npgd0036.html>
- <http://tatdtoksikoloji.org/klinik-toksikoloji>
- <http://www.cdc.gov/niosh/fire/spotlight.html> : Niosh Safety and Health Topic: Fire Fighter Fatality Investigation and Prevention Program.
- <https://www.ttb.org.tr/eweb/bergama/5.html>
- IARC, International Agency for Research on Cancer. (1989). Antimony trioxide and antimony trisulfide. In: IARC, editor. IARC Monographs. Lyon (France): IARC;. p. 291.
- IAA, International Antimony Association. (2018). IAA response to rohs pack 15 questionnaire ato, 31 p., Brussels, Belgium.
- IAA, International Antimony Asssocation. (2021). <https://www.antimony.com/antimony-2/>. 20 Şubat 2021.
- NIOSH, The National Institute for Occupational Safety and Health. (1985). NIOSH publications catalog. US Department of Health and Human Services, Public Health Service, Centers for Disease Control, National Institute for Occupational Safety and Health, Division of Standards Development and Technology Transfer.
- US Department of Health and Human Services. (2002). Agency for Toxic Substances and Disease Registry: Atlanta. GA, USA, 1-291.
- WHO, World Health Organization. (1993). Guidelines for drinking-water quality. World Health Organization.
- WHO, World Health Organization. (2003). Meeting on the Introduction of the 3rd Edition of WHO Guidelines for Drinking Water Quality, Kuala Lumpur, Malaysia, 8-11 December 2003: report (No. WP) CWS/ICP/HSE/4.3/001-E). WHO Regional Office for the Western Pacific.
- WHO, World Health Organization. (2004). Guidelines for drinking-water quality (Vol. 1). World Health Organization.