

Antik dönemden günümüze bir serüven: Antimuan

Muhammed Bayram YÜCEL¹

1. Giriş

İnsanlık tarihinde yaşamın farklı alanlarında; kullanım gereksinimlerinden kaynaklanan arayışlarla kimi madenlerin keşfinin ve kullanımının erken gerçekleştiği söylenebilir. Bu madenlerden birisi de antimuan (Sb). Antimuanın doğadaki en yaygın mineral oluşumu olan stibnitin toz hali, “Mısır, Sümer, Akad” gibi eski medeniyetlerde; dini, tıbbi ve kozmetik amaçlı ürün olarak kullanılmış; metale dönüştürülmüş halinin bir örneği ise MÖ 4000’lerde imal edildiği tahmin edilen ve Güney Irak’taki Tello antik kentinde keşfedilen vazo ile vücut bulmuştur (RACI, 2011) (Encyclopedia Britannica, 2020).

2. Tarihsel Kullanımı ve Etimolojisi

Eski Mısır’da, stibnit minerali “mes-demt/ meştem-t” olarak adlandırılmış ve “baş ağrısı, konjunktivit, trahom, proktit, abse” gibi tıbbi tedavi gerektiren sağlık sorunlarında kullanılmıştır (Kamal vd., 1926; Budge, 1920). Yine bu mineralin Eski Mısır’da kozmetik ürünü (maskara) olarak kullanımı MÖ 3100’lere kadar uzanmaktadır (Seal vd., 2017). Etimolojik kökenine baktığımızda, Arapçada kullanılan itmid kelimesinin “sdm/msdmt” kökünden geldiği ve antimuan sülfür içerikli stibnit minerali için kullanıldığı bilinmektedir (Şekil 1) (Pyramid Textoline, 2020; Murube, 2013).

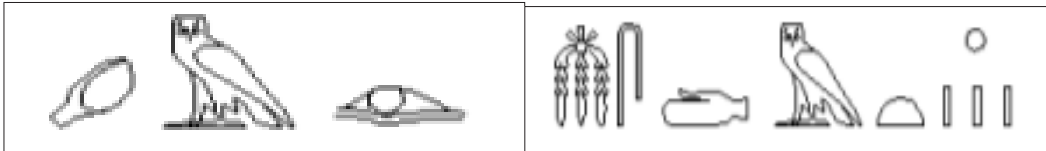
Öte yandan, yakın coğrafyamızdaki kadim medeniyetlerin dillerinden Sümercede “igi-hulu” (evel eye) nazar; Akadcada “egû/eqû/şimbizidû” antimuan pastası (kohl); “guhlu” göz boyası (Copeland, 2018) (Sumerian Dictionary, 2006); Aramcada “kwhl, (khol, ku/ehlā)” kohl/stibnit (Comprehensive Aramaic Lexicon Project, 2019) anlamlarında kullanılmıştır. Yine benzer şekilde aynı kökten türemiş olarak, Arapçada kuhl; İbranicede kâhâl kelimeleri kullanılmıştır. İslami dönemde simyacı hekimler tarafından stibnit toz halinin al-kuhl olarak adlandırılması sonucu günümüzde

kullanımı olan alcohol (alkol) kelimesinin türemiş olduğu iddiasına karşın; bazı Arap bilim insanları tarafından alcohol kelimesinin kökeninin Arapça al-ghol (zihni değiştirebilecek ruh) olduğu iddiası vardır (Murube, 2013). Antimuan veya benzeri bir kozmetik pasta ile Eski Ahit’te önemli bir karakter olarak geçen Jezebel’in de göz makyajı yaptığı ifade edilmektedir (Bible Hub, 2020).

Ortaçağ Latincesinde "antimonium" olan isimlendirme, geç dönem Yunancasında "antimony" olarak yer almıştır. Popüler etimolojide halen destek bulan "anti-monachos/antimoine" kelimesi ise keşiş öldüren anlamındadır. Diğer popüler kullanım olarak bilinen antimonos ise yalnızlık karşıtı olarak ifade edilmektedir. Antimuan ve stibnit kelimelerinin etimolojik kökenleri ve türemiş halleriyle ilgili değişik kaynaklarda geçen açıklamaları takiben bu madenin kimyasal/fiziksel özelliklerine aşağıdaki başlık altında değinilmiştir.

3. Tanımı ve Özellikleri

Antimuan, metalik bir element olup periyodik çizelgenin nitrojen grubunda (5A Grubunda) yer almakta ve farklı allotropik formlarda bulunabilmektedir. Parlak, gümüş ve mavimsi beyaz renkli, kırılmalı ve tabakalı bir yapıdadır (Encyclopedia Britannica, 2020). Genellikle metalik olarak tanımlanmasına rağmen, metal ve metal olmayan özellikleri beraber barındırdığı için yarı metal veya metaloid olarak tanımlanır (Butterman ve Carlin, 2004). Antimuan; $SbCl_3$, SbF_3 , Sb_2O_3 , Sb_4O_{10} ve Sb_2S_3 gibi çeşitli kimyasal kompozisyonlarda bulunabilir (Houston, 2016). Metal formunun Mohs ölçeğinde sertliği 3-3,5 arasındadır. Diğer metallerle karşılaştırıldığında elektrik ve ısı iletkenliği zayıftır. Metal olarak kolayca kırılabilir, fakat alaşımlara sağlamlık, sertlik ve korozyon direnci özellikleri katar. En yaygın cevher minerali stibnit (Sb_2S_3) olup, yüzden fazla mineral formu bulunmaktadır. Yerkabuğunda 0,2 ppm (0,2 gr/ton) oranında yer almaktadır. Tarihsel olarak, küçük ve yüksek tenörlü (%35-70 Sb içerik) antimuan yatakları işletilmiştir (Seal vd.,



Şekil 1- Antik Mısır dilinde “sdm/msdmt” {göz boyası/stibnit (siyah göz boyası)} kelime örnekleri (Pyramid Textoline, 2020).

¹ Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Fizibilite Etütleri Dairesi Başkanlığı Ankara.

2017). Antimuanın “Sb” sembolü ise, elementin Yunanca orijinal ismi olan stibiumun kısaltmasıdır (<https://mmta.co.uk>, 2020). Aşağıda bulunan şematik gösterimde antimuanın temel özellikleri belirtilmiştir (Şekil 2).

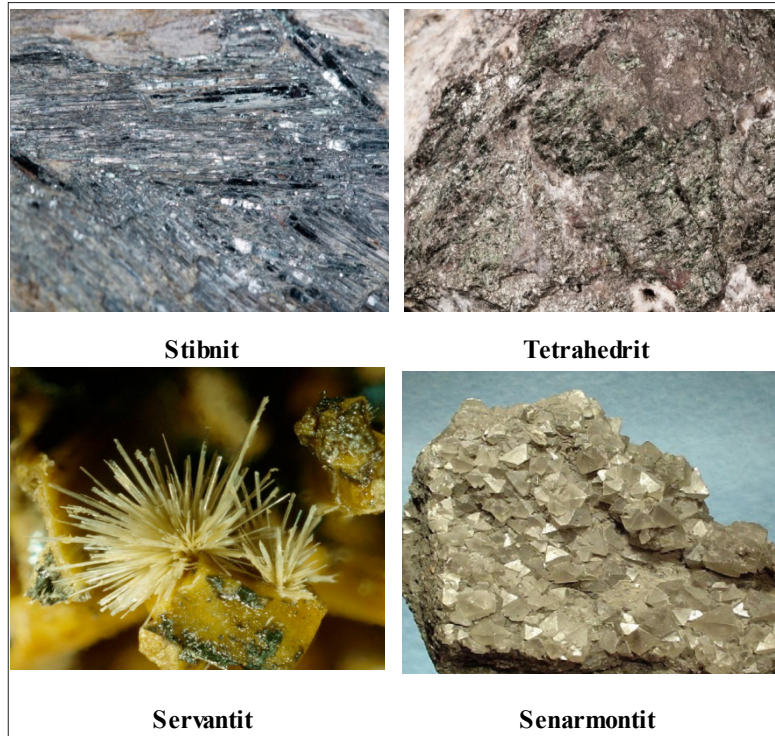
4. Mineralleri

Antimuanın 100’ün üzerinde minerali bilinmesine rağmen, metal üretiminde ve hammadde olarak kullanımında başlıca stibnit (Sb_2S_3), senarmontit

(Sb_2O_3), valentinit (Sb_2O_3), servanit (Sb_2O_4) ve kermezt ($2Sb_2S_3 \cdot Sb_2O_3$) öne çıkmaktadır (Şekil 3, Çizelge 1). Antimuanın kükürde olan afinitesi; bakır, kurşun, gümüş ile bileşik yapabildiğini sağlar. Ender olarak saf halde bulunur, tipik olarak cıva, gümüş ve altın gibi elementlerle birlikte oluşur. Etimolojisinde bahsedildiği gibi Yunanca kökenli anti (karşıt) ve monos (yalnızlık) kelimelerinin birleşik anlamını da bir anlamda yansıtan bir elementtir.

Atom Numarası	51	Atom ağırlığı	121,75
Kaynama noktası, °C	1380	Yükseltgenme basamakları	-3,+3,+5
Ergime Noktası, °C	630,5	Sembölü	Sb
Yoğunluğu (g/cm^3)	6,691	Elektron dizilimi	$[Kr]4d^{10}5s^25p^3$
	Antimuan	Elementin adı	

Şekil 2- Antimuan elementinin özellikleri.



Şekil 3- Antimuan mineralleri.

Çizelge 1- Bazı antimuan mineralleri (Seal vd., 2017).

Mineral Adı	Formülü	Mineral Adı	Formülü
Andorite	AgPbSb ₃ S ₆	Meneghite	Pb ₄ Sb ₂ S ₇
Annivite	Cu ₁₂ (Sb,Bi,As) ₄ S ₁₃	Nadorite	PbSbO ₂ Cl
Arite	Ni(As,Sb)	Native antimony	Sb
Aurostibite	AuSb ₂	Polybasite	(Ag,Cu) ₁₆ Sb ₂ S ₁₁
Bertiyerit	FeSb ₂ S ₄	Pyrrargyrite	Ag ₃ SbS ₃
Berthonite	Cu ₇ Pb ₂ Sb ₅ S ₁₃	Ramdohrite	Ag ₂ Pb ₃ Sb ₃ S ₉
Bindheimite	Pb ₂ Sb ₂ O ₆ (O,OH)	Romeite	(Ca,Fe,Mn,Na) ₂ (Sb,Ti) ₂ O ₆ (O,OH,F)
Bolivianite	Ag ₂ Sb ₁₂ S ₁₉	Senarmontit	Sb ₂ O ₃
Bolangerite	Pb ₅ Sb ₄ S ₁₁	Stenhuggarite	CaFeSbAs ₂ O ₇
Burmonit	PbCuSbS ₃	Stephanite	Ag ₃ SbS ₄
Breithauptite	NiSb	Stibikonit	Sb ₃ O ₆ (OH)
Servantit	Sb ₂ O ₄	Stibiobismuthinite	(Bi,Sb) ₄ S ₇
Cylindrite	Pb ₃ Sn ₄ Sb ₂ S ₁₄	Stibiocolumbite	SbNbO ₄
Dyscrasite	Ag ₃ Sb	Stibiodomeykite	Cu ₃ (As,Sb)
Falkmanite	Pb ₃ Sb ₂ S ₆	Stibioluzonite	Cu ₃ (Sb,As) ₄ S ₄
Famatinit	Cu ₃ SbS ₄	Stibiotantalite	SbTaO ₄
Franckeite	Pb ₅ Sn ₃ Sb ₂ S ₁₄	Stibnit	Sb ₂ S ₃
Freibergite	(Cu,Ag) ₁₂ Sb ₄ S ₁₃	Sulfo-antimonite	Ag ₂ Pb ₇ Sb ₈ S ₂₀
Geocronite	Pb ₅ (As,Sb) ₁₂ S ₈	Tellurobismuthite	(BiSb) ₂ Te ₃
Gudmundit	FeSbS	Tetrahedrit	Cu ₁₂ Sb ₄ S ₁₃
Horsfordite	Cu ₆ Sb	Ullmannite	NiSbS
Jamesonit	Pb ₄ FeSb ₆ S ₁₄	Valentinit	Sb ₂ O ₃
Kermezit	Sb ₂ S ₂ O	Zinckenite	PbSb ₂ S ₄
Livingstonit	HgSb ₄ S ₇		

5. Maden Rezervleri

Antimuan; epitermal yataklarda, pegmatitlerde, ornatma ve sıcak su çıkışları sonucu çökelim yapan yataklarda oluşur. Antimuanın, doğrudan veya yan ürün kazanımı şeklinde madenciligi yapılmaktadır. Son dönemlerdeki maden üretimlerinin çoğu kuvarslı stibnit ve ornatma yataklarında gerçekleşmektedir. Altın, porfiri ve polimetalik yataklar gibi hidrotermal sistemin farklı tiplerinde ve ayrıca başka mineral oluşumlarının içinde olmadan da oluşabilirler. Önemli kuvarslı stibnit yatakları Bolivya, Kanada, Çin, Rusya ve Güney Afrika'da yer almaktadır (Şekil 4). Antimuan yatakları; değişik yaş ve tenörde oluşmasına rağmen yaygın değildir, ekonomik madenciligi yapılabilen stibnit yatakları genellikle küçük ve düzensizdir (Seal vd., 2017).

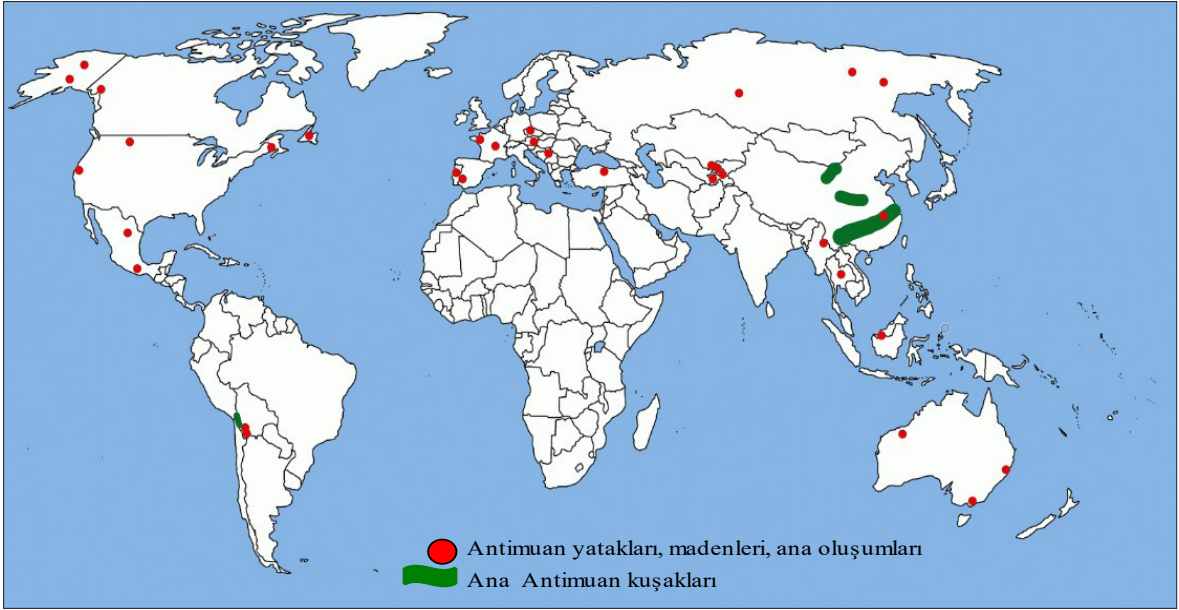
5.1. Dünya Antimuan Rezervleri

Şekil 4'teki haritada Dünya'daki yatak, maden ve oluşumları harita üzerinde kırmızı nokta ile Bolivya'da ve Çin'de yer alan antimuan kuşakları ise yeşil renk ile sembolik ve ölçeksiz olarak gösterilmiştir. Çin'in

Hunan Eyaleti'nde bulunan Xikuangshan yatakları ortalama %4 Sb tenör ve tahmini 2 milyon ton antimuan içeriğiyle dünyanın en büyüğüdür (Seal vd., 2017).

Dünya antimuan arzının %80'i, başlıca karbonatlı ornatma ve epitermal yataklardan (altın-antimuan) sağlanmaktadır. Dünya antimuan yataklarının %60'ını oluşturan karbonatlı ornatma yatakları ticari tüketimin kaynağını teşkil etmektedir. Karbonatlı kayaçlarda (kireçtaşları vb.) damarlanan stibnit çok yaygın bir antimuan mineralidir. Epitermal yataklar ise dünya antimuan yataklarının %20'sini teşkil etmekte, bu yatakların damar cevherleşmesi karbonatlı ornatma yataklarından daha düşük konsantrasyonlarda oluşmaktadır. Cevherleşme şeyli, kireçtaşı, kuvars, kalsiyum-silikat kayaçları ve çeşitli volkanik kayaçlarda oluşmaktadır. Geri kalan %20'lik kısmı ise magmatik polimetalik ve ılıca tip yataklar oluşturmaktadır (Wintzer ve Guberman, 2015).

USGS 2020 yılı raporlanmış rezerv verileri baz alındığında Çin, Rusya ve Bolivya'nın öne çıktığı,



Şekil 4- Dünyadaki antimuan yataklarının, madenlerinin ve ana oluşumlarının dağılımı.

Türkiye rezervlerinin ~100.000 ton (Sb içerik) ile azımsanmayacak miktarda olduğu görülmektedir. Burma, Ekvator, Guatemala, Honduras, İran, Kazakistan, Kırgızistan, Laos, Vietnam ülkelerinde ise antimuan üretimi gerçekleştirmekte fakat rezerv verileri raporlanmadığı için gösterilememiştir (Çizelge 2).

Çizelge 2- Dünya antimuan rezervleri (USGS, 2020; * :veri yok).

Ülkeler	Rezervler(ton)
ABD	60.000
Avustralya	140.000
Bolivya	310.000
Burma	*
Çin	480.000
Ekvator	*
Guatemala	*
Honduras	*
İran	*
Kazakistan	*
Kırgızistan	*
Laos	*
Meksika	18.000
Pakistan	26.000
Rusya	350.000
Tacikistan	50.000
Türkiye	100.000
Vietnam	*
Toplam	1.508.000

5.2. Türkiye Antimuan Rezervleri

Çizelge 2’de verilen dünya toplam rezervleri içerisinde 100.000 ton ile yer alan Türkiye’nin en eski antimuan kaynaklarının Batı Anadolu’da olduğu bilinmektedir. İzmir/Ödemiş/Cinli Kaya’da bulunan “Emirli Antimonit Ocağı”nın, 1800’lü yılların sonlarına doğru yabancı girişimciler tarafından işletilmeye başlandığı bilinmektedir (Stuyengger, 1896; Thalenhorst, 1965). Antimuan ile ilgili, MTA derleme arşivinde yüz yılı aşkın bir süreyi kapsayan etüt ve envanter çalışmalarına dair literatür bulunmaktadır. Özellikle Tokat/Turhal bölgesi ve Küçük Menderes Havzası’ndaki çalışmalar öne çıkmaktadır. Tokat/Turhal’da bulunan sahalarla ilgili birçok etüt çalışması yapılmış olup, bu bölgede 1930’lu yıllarda üretim yapıldığı bilinmektedir. Küçük Menderes Havzası’nda ise 1970-1971 yıllarında yürütülen MTA-BM (Birleşmiş Milletler) Menderes Masifi Projesi’nin prospeksiyon ve jeokimyasal sonuçlarındaki anomali ve mostralara yönelik detaylı çalışmalar yapılmıştır (Yıldırım ve Önal, 1978).

Ülkemizde; Balıkesir, Hatay, İzmir, Kütahya, Manisa, Niğde, Tokat illerinde antimuan rezervleri bulunmaktadır. Dokuzuncu Kalkınma Planında belirtilen maden rezervlerinin zenginlik sınıflamasında “zengin sınıfta” yer alan Türkiye antimuan rezervleri, MTA 2018 yılı verilerinde görünür+muhtemel bazda 99.306 ton metal içerik olarak belirtilmiştir (Şahiner, 2019).

3213 sayılı Maden Kanunu’nun 2. maddesine göre 4. Grup madenler sınıfında ruhsatlandırılan antimuanın, çizelge 3’te yer alan illerde bulunan

ruhsat sahalarında, tenörü %1-15 Sb aralığında değişen 15.559.268 ton görünür rezervi mevcuttur.

Çizelge 3- Ruhsat sahaları bazında antimuan rezervleri (MAPEG, 2018).

İli	Görünür Rezervi (ton)
Balıkesir	10.015.264
Kütahya	4.902.196
Tokat	281.007
İzmir	196.113
Hatay	138.837
Manisa	18.238
Niğde	7.614
Toplam	15.559.269

6. Kullanım Alanları

Antimuan ve bileşiklerinin farklı tarihi dönemlerde (Eski Mısır, Chaldean, Babil, Erken Hint) kullanıldığı bilinmektedir. Yine Chaldean (Güney Irak) medeniyetinde MÖ 6. ve 7. yy'larda pigment olarak; ortaçağ dönemlerinde ise kurşunu sertleştirmede ve tıbbi laksatif olarak yaygın kullanımı olmuştur (<https://www.rsc.org>, 2020).

Geçmiş medeniyetlerde oküler (göz) kozmetiklerin, "dini, tıbbi ve kozmetik" amaçlı temel kullanım alanlarının olduğu ifade edilebilir. Dinsel olarak insanları kötü ruhlardan korumak; tıbbi olarak konjunktivit, korneal ülser gibi tedavi gerektiren sağlık sorunlarını gidermek; makyaj malzemesi olarak da gençliği, güzelliği ve sosyal gücü öne çıkarmak için kullanılmıştır. Eski Mısır dönemine ait hiyeroglif ve fonetik alfabenin geliştirilmesiyle konuyla ilgili bilgi kayıtlarına ulaşılmaktadır. MÖ 16. yy Mısır papirüslerinde maskara olarak kullanılan stibnitten bahsedilmektedir (<https://www.rsc.org>, 2020). Eski Mısır ilaç kitaplarında; sıvı ve pasta göz ilaçlarının bitkisel, hayvansal ve mineral kaynaklardan elde edildiği bilinmektedir. Mineral kaynaklardan birisi de stibnit (antimuan sülfid)'tir. Göz için kullanılan siyah pasta mesdemet olarak isimlendirilmektedir. Göz kapaklarının altına ve üstüne, kaşlara uygulanarak kullanılmıştır. Eski Mısırdaki antimuan pastanın, kurşun bazlı olanlara karşın çok pahalı olduğu ve Mısır dışından tüccarlar vasıtasıyla getirildiği bilinmektedir. Geleneksel kullanımdaki yaygınlığı da bilinen göz sürmesi kullanımında; İslam dininin peygamberi Hz. Muhammed'in tavsiye ettiği itmid, stibnitin bir türünü ihtiva etmektedir. Antimuan trisülfid içeren "İtimid" in, göz kapaklarının iç kısmını ve gözlerin beyaz kısmını kaplayan, ince ve şeffaf bir

zar olan konjonktivaya olumsuz etkisi olmadığı ifade edilmektedir (Murube, 2013).

1615 yılında Alman fizikçi Andreas Libavius, sülfidi demirle indirgeyerek metalik antimuanı tanımlamıştır (Encyclopedia Britannica, 2020). Antimuanın 19.yy'ın sonlarında metal ve alaşımlarının sınırlı olarak, bu yüzyılın ortalarında ise kurşun-asit akümülatörlerin geliştirilmesiyle etkin bir kullanımı olmuştur. Kurşun alaşımlara %10-13 oranında katılan antimuanın sertlik sağlayan özelliği şarapnel olarak Birinci Dünya Savaşı'nda kullanımına ve 1915-1918 yılları arası ortalama 53.000 ton/yıl antimuan üretiminin gerçekleşmesine neden olmuştur. İkinci Dünya Savaşı'nda da antimuan olan talep zirve yapmış olup, askeri amaçlı akümülatörler ve alev geciktirici ürün katkılarında çok miktarda kullanılmıştır. Antimuanın İkinci Dünya Savaşı'ndan bu yana plastiklerde alev geciktirici olarak kullanımında hızlı bir artış olmuş olup (Şekil 5); yine son çeyrek yüzyılda kurşun-asit akümülatörlerin tasarımındaki değişiklikler nedeniyle, akümülatör sektöründeki büyümeye rağmen akümülatör alaşımlarında kullanımı azalmıştır (Butterman ve Carlin, 2004).

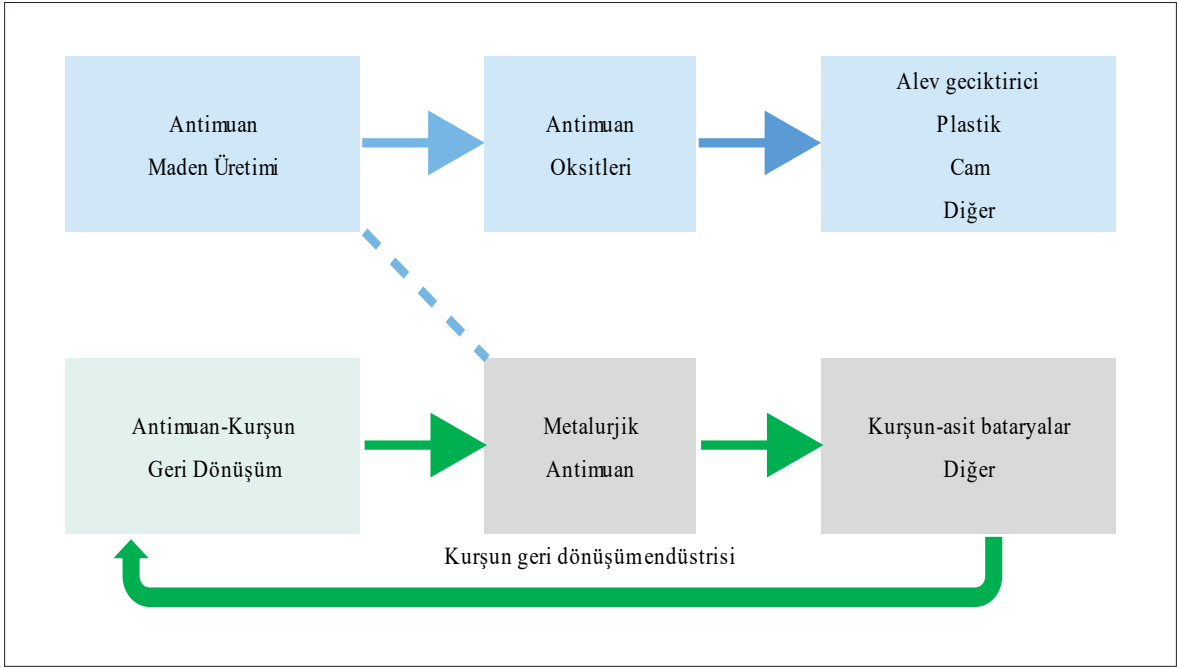
Günümüzde ise metal ve oksit formunda; alev geciktiricilerde, kurşun-asit akümülatörlerde, kimyasallarda, seramiklerde, camlarda, ısı stabilizatörleri ve plastiklerde kullanılmaktadır (Şekil 6).

6.1. Metal Olarak Kullanımı

Antimuan metali genellikle otomobillerde bulunan kurşun-asit akümülatörlerde korozyon direnci nedeniyle, %4-6 oranında kurşun ile alaşım halinde kullanılmaktadır. Metal antimuanın 2/3'ü akümülatörlerde kullanılmakta ve çoğunluğu da dönüşümsel atıklardan elde edilmektedir. Yüksek saflıktaki (%99,999+) antimuan metali ise yarı iletken endüstrisinde; kızılötesi dedektörlerde, diotlarda, diğer cihaz ve uygulamalarda kullanılmaktadır (Seal vd., 2017).

6.2. ATO ve Kimyasallarının Kullanımı

ATO'nun uygulama alanları çizelge 4'te sınıflandırılmış olup; elektrik/elektronik ekipmanlarında; akrilonitril bütadien stiren (telefon ahizesi, klavye, monitör, bilgisayar gövdesi), poliamid (mutfak robotları, adaptörler, üretim nakliyatı, otomotiv elektronik uygulamaları), polikarbonat (telefonlar), polietilen (kablo/tel yalıtımı), polimetil penten (kablo/tel yalıtımı, elektronik kartlar, mikrodalga fırınlar), polipropilen (kablo/tel yalıtımı, su ısıtıcı), polivinil klorit (kablo/tel yalıtımı,



Şekil 5- Kullanım alanlarının akış şeması (Roskill, 2018).

Çizelge 4- Kullanım alanlarına göre antimon trioksit (ATO)'in sınıflandırılması (i2a, 2018).

	Ürün ve Uygulama Alanları	Açıklamalar
1.	PET (film, fiber, reçine)	Üretimde katalizör olarak kullanılır.
2.	Alev geciktirici (plastik, reçine, kauçuk)	Cl ve Br gibi halojenlerle sinerji oluşturur
3.	Alev geciktirici (tekstil, ahşap, esnek sızdırmazlık materyalleri)	
4.	Cam, emaye, seramik, yarı iletken	Camda bulanıklığı ve kabarcıkları giderici. Seramikte opaklaştırıcı. Yarı iletkenlerde alaşım, kaplama reçinelerinde alev geciktirici olarak.
5.	Pigment, boya, kaplama ürünleri, fren balataları, kimyasallar	

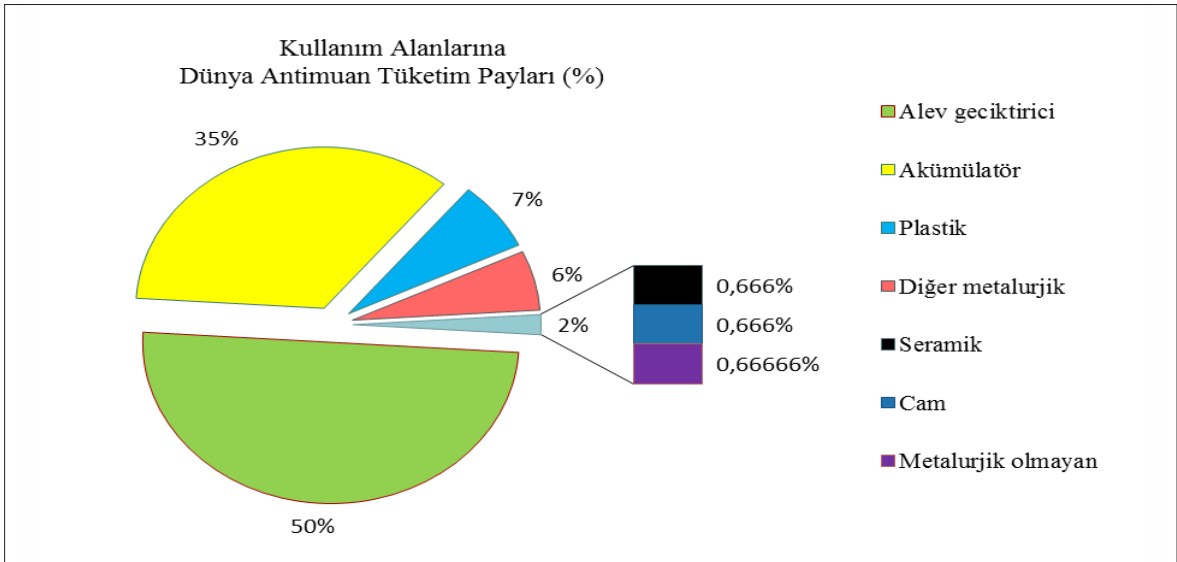
kablo kanalı) plastiklerinde kullanılabilir. Alev geciktirici plastiklerde %2-8 oranında, brom ve klor halojenleriyle ise 1/3 ve 1/4 oranlarında kullanılmaktadır (i2a, 2018).

Bunların yanı sıra çeşitli antimon kimyasallarından antimon trisülfid, fren balatalarında ve mühimmatlarda astar olarak; antimon tris, pet üretiminde katalizör olarak; antimon triklorit, diğer antimon maddelerinin üretiminde ara madde olarak; antimon pentaoksit, halojenli alev geciktiricilerde sinerji için; sodyum antimonat, yüksek teknoloji camlarının üretiminde; antimon pentaklorit, PTFE üretiminde katalizör olarak; sodyum hegzahidroksiantimonat, yüksek

teknoloji camlarının üretiminde; potasyum hegzahidroksiantimonat, havai fişek üretiminde kullanılmaktadır (i2a, 2019).

6.3. Kullanım Alanlarına Göre Tüketim Oranları

2014 yılı Roskill verilerine göre küresel tüketimde, antimonun %50'si alev geciktiricilerde; %35'i akümülatörlerde; %7'si plastiklerde; %6'sı diğer metalurjik uygulamalarda; seramik, cam ve diğer sektörlerde de %2'si kullanılmaktadır. Tüketimde, ağırlıklı sektörlerinin alev geciktiriciler ve akümülatörler olduğu pay oranlarından açıkça görülmektedir (Şekil 6) (i2a, 2020). ABD, Japonya ve Batı Avrupa dünya antimon tüketiminin %70'ine



Şekil 6- Dünya antimuan tüketim payları (%) (i2a, 2020).

sahiptir (Anderson, 2012), dolayısıyla gelişmiş ülkelerin nihai pazar olduğu açıktır.

6.4. Alternatif Ürünler

Endüstriyel ürün üretiminde ticari rekabete dayalı olarak alternatif hammadde kaynaklarının da önem derecesi yadsınamaz. Antimuanın temin zorluğunda; krom, kalay, titanyum, çinko ve zirkonyum bileşiklerinin boya, pigment ve emaye sektörlerinde alternatif ürün olarak kullanımı mümkündür. Kalsiyum, bakır, selenyum, stronsiyum, sülfür ve kalay, kurşun-asit akümülatörlerde kurşunun sertleştirilmesinde; organik bileşikler ise alev geciktiricilerde alternatif ürünler olarak kullanılabilir (Seal vd., 2017). Fakat antimuana alternatif ürünler daha az etkili olup maliyetleri daha yüksektir (Wintzer ve Guberman, 2015). Avrupa Birliği, OECD gibi birliklerin raporlamalarında kritik bir hammadde kabul edilen antimuanın dünyada yirmiye yakın ülke tarafından madenciliği yapılmaktadır.

7. Üretimi

7.1. Dünya Antimuan Üretimi

Çizelge 5 ve şekil 7’den görüleceği üzere 2018’de ~90.000 ton ve 2019’da ~100.000 ton miktar ile Çin ana üretici durumundadır. 2019 yılı için üretimdeki payı %63 olan Çin’i, 30.000 ton/yıl üretim miktarı ve %19’luk pay ile Rusya; 16.000 ton/yıl üretim ve %10’luk pay ile Tacikistan takip etmektedir. Türkiye ise 2.000 ton/yıl üretimle %2’lik bir paya sahiptir. ABD, üretimde rol oynamakta fakat verileri açık değildir.

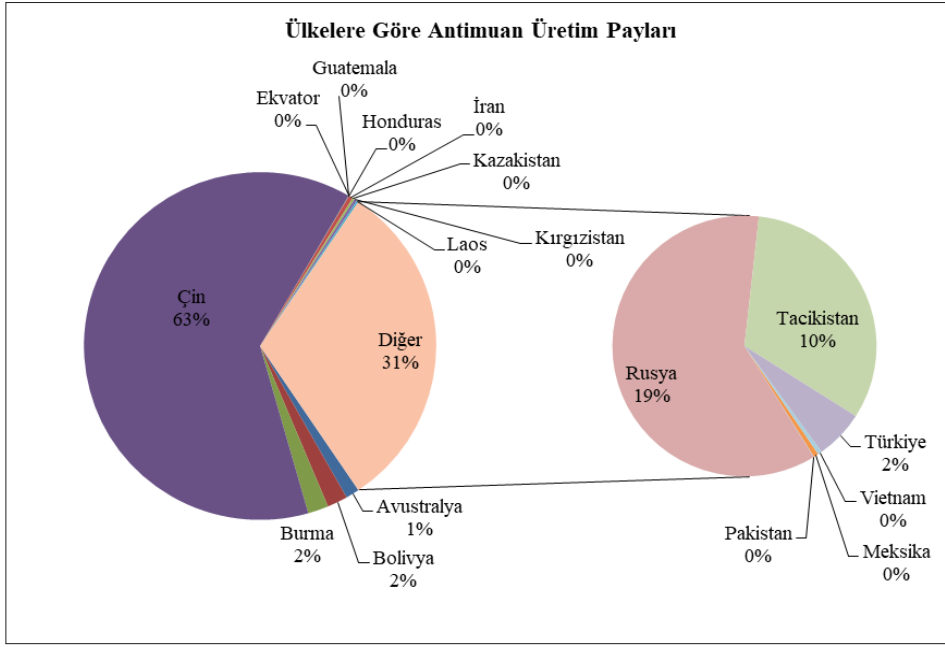
1900’lü yılların başında ~8.000 ton/yıl olan dünya maden üretimi 20 katın üzerinde bir artış ile 2019 yılında 160.000 ton’a ulaşmıştır. 2009-2019 yılları arası ortalama üretim miktarının ~160.000 ton civarında gerçekleştiği ve üretimde önemli miktarının gelişmekte olan ülkelere sağlandığı bilinmektedir. I. Dünya Savaşı ve II. Dünya Savaşı dönemlerinde; soğuk savaş döneminin başlangıç yıllarında gerçekleşen üretimdeki zirve seviyeler grafikten gözlenmektedir. 1994 yılından itibaren yıllık 100.000 tonun üzerinde üretimler gerçekleşmiştir. 1996 ve 2001 yıllarında ~155.000 ton; 2008’de 185.000 ton üretim gerçekleşmiş; 2011 yılında ise 187.000 ton üretim ile tarihi zirve değeri oluşmuştur. Gerçekleşen üretim miktarları dikkate alındığında 1.508.000 ton olan toplam dünya rezervleri yeterli değildir. Kıt kaynaklar sınıfında yer alan antimuanın, yeni kaynaklar geliştirilmezse yakın dönemde (2050’den önce) tükenmesi beklenmektedir (Henckens vd., 2016). Aynı zamanda alternatif ürünlere yönelimin de artması muhtemeldir (Şekil 8).

7.2. Türkiye Antimuan Üretimi

Dünya üretiminde %2’lik bir payı olan Türkiye’nin verilerinde, yıllara göre tüvenan cevher üretimi düzensizdir (Şekil 9).

Özel sektör şirketlerine ait ruhsat sahaları ve tesislerinde yapılan üretimine dair bilgiler alt başlıkta özetlenmiştir:

- Kütahya-Uşak bölgesinde cevher üretimi yapılan ruhsat sahalarından “antimuan metali (Şekil 10) ve antimuan trioksit” üretim ve satışı yapılmaktadır

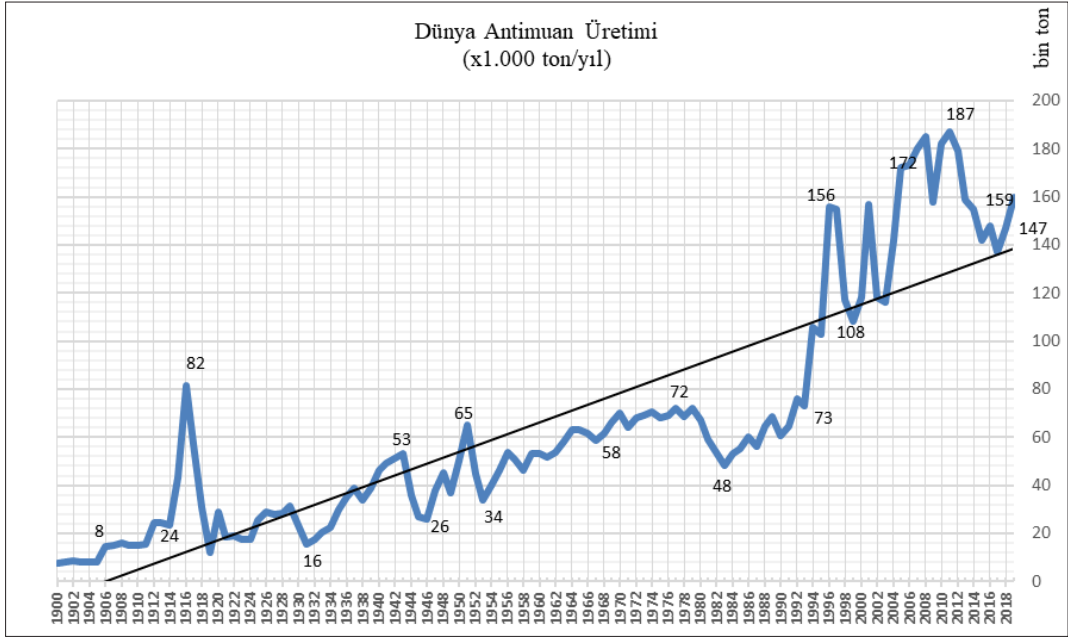


Şekil 7- Ülkelere göre antimuan üretim payları (2019 Yılı, %).

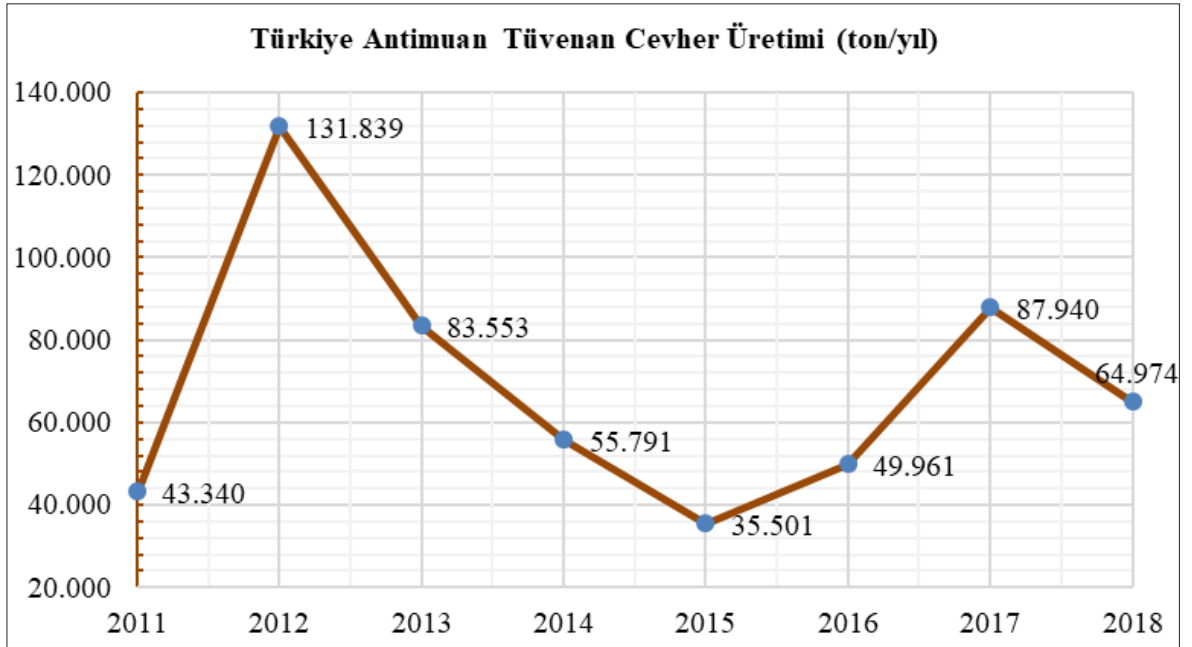
Çizelge 5- Ülkelere göre antimuan üretimi (metal içerik) (USGS, 2020).

Ülkeler	Maden Üretimi (ton)	
	2018	2019
ABD	-	-
Avustralya	2.170	2.000
Bolivya	3.110	3.000
Burma	2.640	3.000
Çin	89.600	100.000
Ekvator	50	50
Guatemala	25	25
Honduras	12	10
İran	600	600
Kazakistan	300	300
Kırgızistan	370	400
Laos	300	300
Meksika	260	300
Pakistan	28	30
Rusya	30.000	30.000
Tacikistan	15.200	16.000
Türkiye	2.400	3.000
Vietnam	240	240
Toplam	*147.000	*160.000

*Rakamlar yuvarlanmıştır.



Şekil 8- Dünya antimuan madeni üretimi (metal içerik) (USGS, 2017; 2018; 2019; 2020).



Şekil 9- Türkiye antimuan tüvenan cevheri üretimi (ton/yıl) (MAPEG,2019).



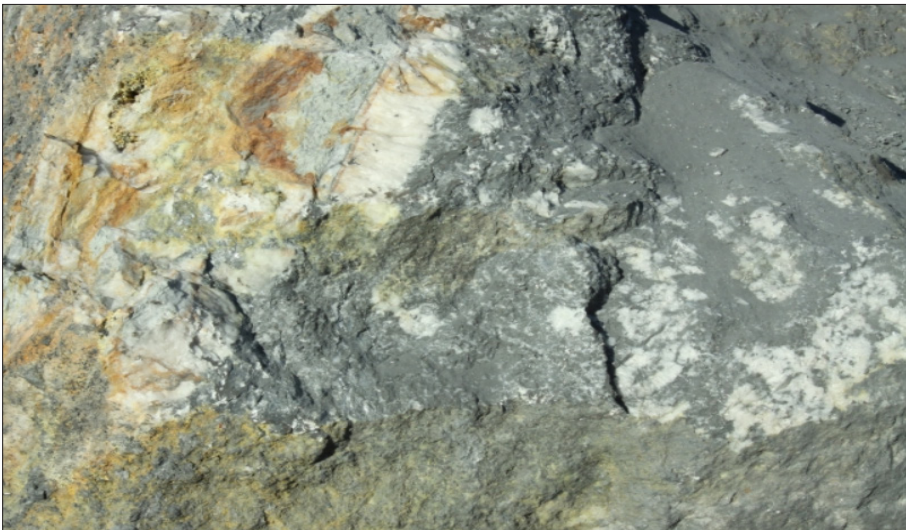
Şekil 10- Türkiye'de üretilmiş metal antimuan.

(ODAŞ A.Ş., 2019). Üretim sahalarının tenörleri %0,9-1,35 aralığında olup, tüvenan cevher ve %99,8 Sb içerikli metal üretilmektedir (MAPEG, 2018).

- İzmir-Ödemiş-Emirli'de ara katlı kazı yönteminin uygulandığı yeraltı işletmesinde üretilen cevherin tenörü ortalama %4,43 olup; Beydağ-Halıköy'de bulunan 1.200 ton/yıl kapasiteye sahip flotasyon tesisinde üretilen konsantre (%69 Sb içerik) antimuanın analiz değerleri çizelge 6'da verilmiştir (Etibakır, 2020) (MAPEG, 2018).
- Tokat-Turhal-Elalınış'ta yer alan başka bir maden işletmesinde cevher üretim faaliyetleri (Şekil 11) kapalı işletme (oda-topuk) yöntemiyle sürdürülmektedir. 60.000 ton/yıl olan flotasyon tesisi kapasitesi mevcut olup, konsantre üretimi (%69,75 Sb içerik) devam etmektedir; daha önce metal üretiminin yapıldığı izabe tesislerinde üretim faaliyetleri sonlandırılmıştır (www.antimuan.com,2020) (MAPEG, 2018).
- Kütahya-Gediz-Göynük'te yer alan ruhsat sahasından çıkarılan cevherin (Şekil 12) tenörü

Çizelge 6- Halıköy Tesisi antimuan konsantresi analiz değerleri (%) (etibakir.com.tr, 2020).

Sb	S	Fe	SiO ₂	Pb	Al	As	Sn
69,00	28	1	0,95	0,15	0,1	0,075	0,125



Şekil 11- Tokat/Turhal antimuan cevheri.



Şekil 12- Kütahya/Gediz antimuan cevheri.

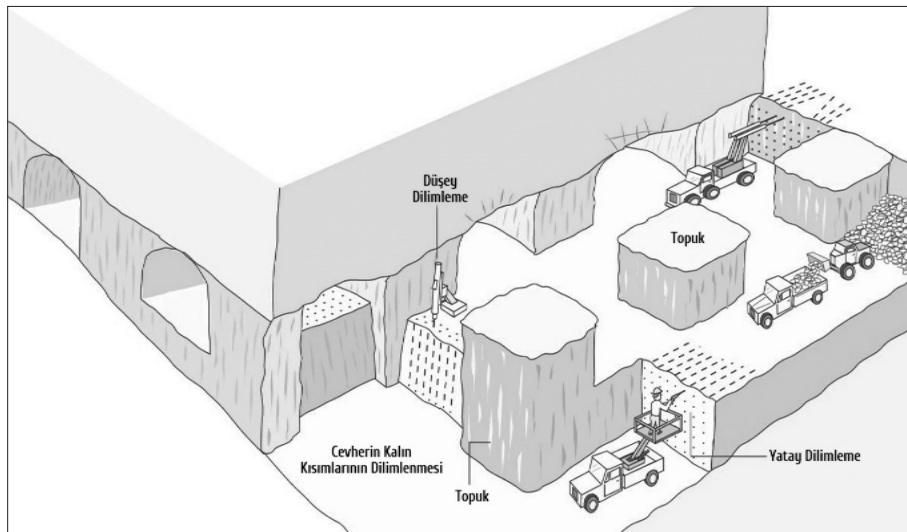
%2,5 Sb olup, %29,3 Sb içerikli ürün elde edilmektedir (<https://ucyildizantimon.com>; MAPEG, 2018).

8. Madenciligi ve Prosesi

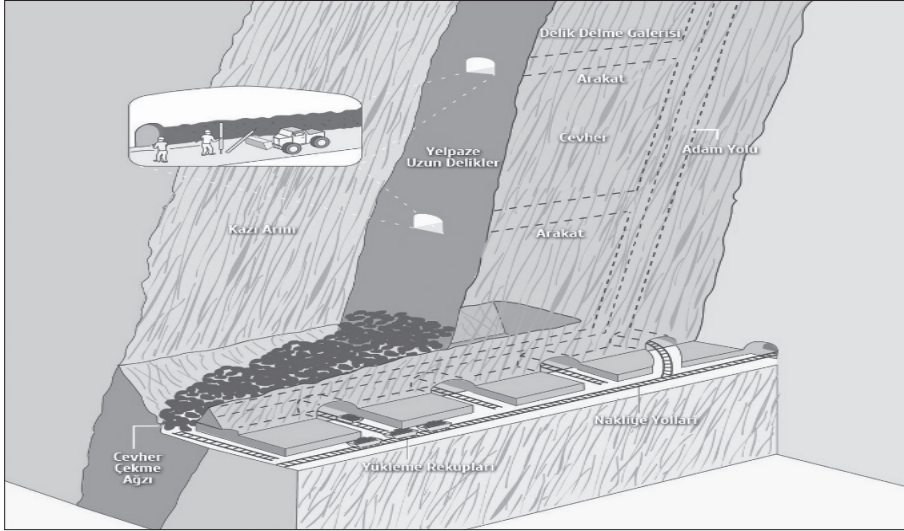
Antimuan madenciliginde üretim; öncelikli olarak stibnit içeren yataklardan, altın ve baz metal madenciliginde ise yan ürün kazanımı şeklinde yapılmaktadır. İşletme yöntemi büyük oranda yatak tipine bağlıdır; yüzeye yakın olan cevherleşmelerde açık işletme yöntemleri, derinlerde ise yeraltı üretim yöntemleri uygulanmaktadır (European Commission, 2017). Ülkemizde de açık, kapalı, açık+kapalı kombinasyonu şeklinde işletme yöntemleri uygulanmaktadır. Türkiye'nin 2018 yılı üretiminin %83'lük kısmı, Tokat/Turhal ve İzmir/Ödemiş'te bulunan kapalı işletmelerden sağlanmıştır.

Bu işletmelerde “Oda-Topuk” ve “Ara Katlı Kazı” yöntemleri ile üretim yapılmaktadır (Şekil 13,14). Açık ve kapalı işletme yöntemleri uygulanarak üretilen cevherlerde; sırasıyla kırma, öğütme, gravimetrik ayırma ve flotasyon işlemleri uygulanır. Genel olarak pirometalurjik yöntemler kullanılarak rafine metal elde edilir. Meksika-Madero'da üretilmiş olan metal antimuan (ingot) şekil 15'te görülmektedir (USAC, 2014).

Cevherin oksitli, sülfürlü, kompleks oluşuna ve tenörüne (%1,5-60>) göre değişik prosesler kullanılır. Sülfürlü cevherler/konsantreler flotasyona tabi tutulur, %1,5-25 tenörlü konsantre kavrularak %25-45 tenörlü oksitlere dönüştürülür ve bunlar yüksek fırında ergitilerek crude metale dönüştürülür. %45-60 tenörlü konsantreler sıvılaştırılır, ısıtılarak antimuan sülfid indirgenir, gangdan ayrılıp katılaştığında crude



Şekil 13- Oda topuk yöntemi (<http://www.iloencyclopaedia.org>).



Şekil 14- Ara katlı kazı yöntemi (<http://www.iloencyclopaedia.org>).



Şekil 15- Meksika Modero'da üretilmiş metal antimuan (USAC, 2014).

antimuana dönüşür. Zengin sülfütlü cevherlerde bazen çöktürme prosesi uygulanır. Oksitli cevherler (%30 tenörlü) ise yüksek fırın redüksiyonu ile crude metale dönüştürülür. Zengin cevherler (%50 tenörlü) reverber fırınlarda redüksiyon ve rafinasyon ile ticari metale dönüştürülür. Oksitli ve sülfürlü karışık cevherler genellikle yüksek fırında ergitilir. Kompleks cevherlerde de bazen liç ve elektroliz yöntemleri ile metal elde edilir (Butterman ve Carlin, 2004).

8.1. Pirometalurjik Yöntem

Genel olarak %5-25 Sb içerikli düşük tenörlü sülfürlü cevher antimuan trioksit eldesi için buharlaştırılır; %25-40 içerikli cevherler yüksek fırında ergitilir; %45-60 içerikli cevherlere sıvılaştırma veya demir çöktürme uygulanır. İşlemler ve kimyasal formülleri aşağıda verilmiştir (Anderson, 2012).

Oksit buharlaştırmasında; sülfür yaklaşık 1000 °C'de gaz atık olarak uzaklaştırılır ($2Sb_2S_3 + 9O_2 \rightarrow 2Sb_2O_3 + 6SO_2$; $2Sb + 1.5O_2 \rightarrow Sb_2O_3$).

Sıvılaştırmada; antimuan sülfid, tuğla ocaklarında 550-600 °C'de ısıtılarak eriyik sülfid elde edilir. Elde edilen sıvı antimuan sülfid reverber fırınlarda demir çöktürme veya kavurmayla indirgenerek metalik antimuana dönüştürülebilir ($Sb_2S_{3(K)} \rightarrow Sb_2S_{3(S)}$).

Oksit indirgemesinde; 1200 °C'de reverber fırınlarda kömür ile yakılarak indirgenir ve metal elde edilir ($Sb_2O_3 + 3CO \rightarrow 2Sb + 3CO_2$; $CO_2 + 3C \rightarrow 6CO$).

Demir çöktürmede; zengin sülfütlü cevher veya sıvı antimuan sülfid indirgenir ($Sb_2S_3 + 3Fe \rightarrow 2Sb + 3FeS$).

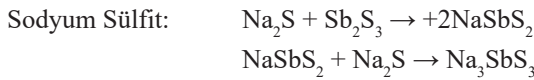
Yüksek fırında ergitmede; orta derece tenörlü oksitli, sülfürlü veya karışık tip cevherler, sıvı eriyik

atıklar, matlar, zengin külçeler, cevher ve akışkan tozları su gömleklili yüksek fırınlarda 1300-1400 °C’de proses edilir ($Sb_2S_3 + 9O_2 \rightarrow 2Sb_2O_3 + 6SO_2$; $2Sb_2O_3 + Sb_2S_3 \rightarrow 6Sb + 3SO_2$).

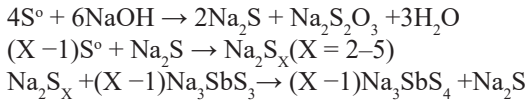
8.2. Hidrometalurjik Yöntem

Alkalın sülfid sistem ve asidik klorit sistem uygulanmaktadır. Alkalın sülfid sistem daha baskındır. Alkalın sülfid sistem endüstriyel olarak Rusya, Çin, Avustralya ve ABD’de uygulanmıştır (Anderson, 2012).

Alkalın Sülfid Sistem:

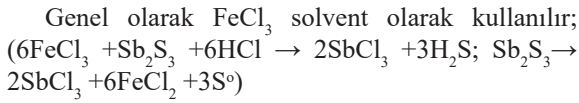


Sodyum Hidroksit:



Elektroliz sonucu elde edilen metal yıkandıktan sonra %99,5> içeriklidir.

Asidik Klorit Sistem:



Okside olmuş antimuan $FeCl_3$ olmaksızın doğrudan da liç edilebilir ($Sb_2O_3 + 6HCl \rightarrow 2SbCl_3 + 3H_2O$).

İki yöntemde de nihai proses aşamalarında elektroliz uygulanır. Alkalın sülfid ve asidik klorit sistemhidrometalurjidebaskınolarakullanılmaktadır. Antimuan seçiciliği ve düşük korozyon etkisi ve tüm kapasitelere kolay uygunluğu nedeniyle alkalın sülfid sistem daha fazla kullanılmaktadır. Fakat daha fazla başarı gerektiren ve güvenli durumlarda asidik klorit sistem uygulanır (Anderson, 2012).

8.3. Ürün Kalitesi

Genellikle sülfürlü cevherlerden pirometalurjik yöntemle üretilen antimuanda istenmeyen empürüteler demir ve arseniktir. Satılabilir ürün ve metal olarak kullanılabilirliğinin olabilmesi için %99,6-99,8 saflığa ulaştırılması; Fe’in %0,005-0,01 ve As’in %0,05-0,1 oranlarına indirilmesi gerekmektedir (Açma, 1987). Çizelge 7’de standart kalite ATO’nun özellikleri verilmiştir.

ASTM (American Society for Testing and Materials)’ye göre metal antimuan normu aşağıdaki tiplerde tanımlanmıştır:

Grade A metal : min. %99,8 Sb; As max. %0,05; S max. %0,10; Pb max. %0,15; diğer elementler max. %0,05.

Grade B metal : min. %99,5 Sb; As max. %0,10; S max. %0,10; Pb max. %0,20; diğer elementler max. %0,10.

Elektronikte kullanılan yarı iletkenlerde metal antimuan saflığı %99,999 ve üzeri olmalıdır (Butterman ve Carlin, 2004). Ticari metal normları Minor Metals Trade Association (MMA)’ya göre çizelge 8’de özetlenerek verilmiştir.

8.4. Geri Dönüşümden Üretim

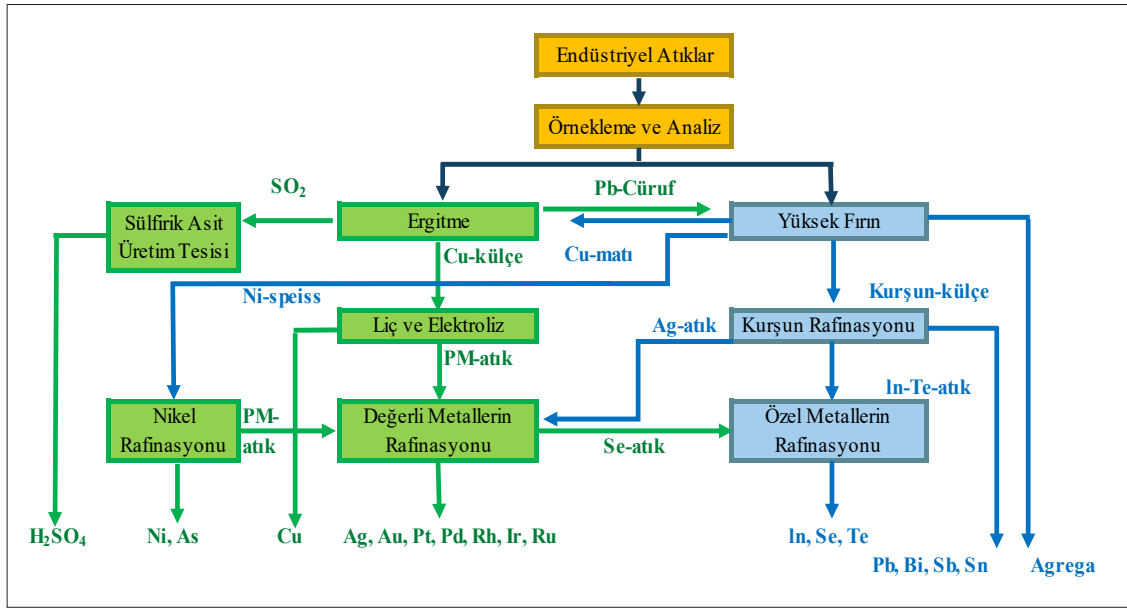
İkinci Dünya Savaşı süreci antimuana olan ihtiyacı artırmış ve bunun sonucu olarak geri dönüşüm ana temin kaynağı olmuştur (Seal vd., 2017). Elde edilebileceği ikincil (geri dönüşüm) kaynakları; plastiklerden ATO, demir dışı metallere ATO ve metal antimuandır. Tarama ve sınıflandırma metodlarıyla yüksek antimuan içerikli plastikler geri kazanılır. XRF, X-ray ve LIBS teknikleri kullanılmaktadır. Plastik atıklardan metal antimuan eldesine yönelik Umicore firmasının uygulamış olduğu prosesin akış şeması şekil 16’da verilmiştir.

Çizelge 7- Standart kalite antimuan trioksinin içeriği (Anderson, 2012).

Sb ₂ O ₃ içerik (%)	As (%)	Pb (%)	Fe (%)	-325 mesh (%)
99,5	<0,03	<0,08	<0,01	99,99

Çizelge 8- Ticari antimuan metal normları (<https://mmta.co.uk>, 2020).

Ürün Adı	Ürün Formu	(%) Sb max.	(%) As max.	(%) Se max.	(%) S max.	(%) Fe max.
Antimuan (Rusya)	İngot (regulus)	99,60	0,05		0,1-0,00005	0,2-0,0002
Antimuan Grade II (Çin)	İngot (regulus)	99,65	0,15	0,005	0,06	
Antimuan Trioksin	İngot (regulus)	99,65	0,15	0,005	0,06	0,02



Şekil 16- Plastik atıklardan antimuan kazanım prosesinin akış şeması (i2a, 2018).

9. Dış Ticareti

Antimuanın piyasada %Sb içeriğine göre tanımlamaları vardır. Tüvenan cevherden rafine antimuana doğru Sb içeriği çizelge 9'da verilmiştir (8.Beş Yıllık Kalkınma Planı ÖİK, 2001).

Gümrük Tarife İstatistik Pozisyonları (GTIP) sınıflamasına göre antimuan/antimon içerikli farklı ürün gruplarının ticareti yapılmaktadır. Antimuan ile

ilgili ürün tanımlamaları ve tarife numaralarının bir kısmı çizelge 10'da verilmiştir.

9.1. Dünya Antimuan Ticareti

Dünya ticaretindeki değerlendirmeler; International Trade Centre (ITC) bünyesindeki Trade Map (Trade statistics for international business development)'te yer alan "antimuan cevherleri ve konsantreleri", "antimuan oksitleri", "işlenmemiş

Çizelge 9- Antimuanın ticari tanımlamaları.

%Sb tenörü	Ticari İsmi
1-8	Tüvenan cevher
50-65	Konsantre
70	Ham antimuan (crudum)
99-99,8	Regulus
99,8>	Rafine antimuan

Çizelge 10- Antimuan ticari ürünleri ve tarife numaraları (TÜİK, 2020).

Ticari Ürün Tanımı	Tarife Numarası
Antimuan cevherleri ve zenginleştirilmiş antimuan cevheri	26171000000
Antimuan oksitleri	28258000000
Antimon klorür	282739853000
Kalsiyum ve antimuan sülfürler	283090112000
Kalsiyum, antimuan polisülfür	283090852000
Antimonatlar	284190851000
Antimuan; işlenmemiş	81101000011
Antimuan tozları	81101000012
Antimuan döküntüleri	81102000011
Antimuan hurdaları	81102000012
Antimuanndan diğer eşya	81109000000

antimuan ve antimuan tozları”, “antimuandan eşya”, “antimuan atık ve hurdaları” ticari ürün kategorilerine ait 2018 yılı verileri baz alınarak yapılmıştır (Trade Map, 2020). Değerlendirmeye esas bu beş ticari ürün kategorisinde 2018 yılı dünya ithalat ve ihracat toplam değeri 2,2 milyar dolar’dır (Şekil 17).

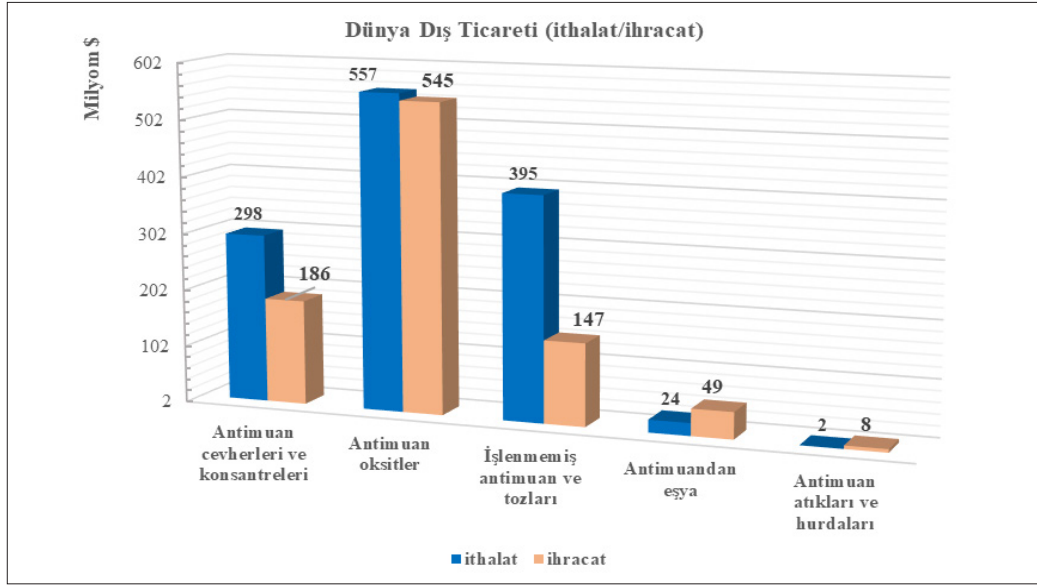
9.1.1. Antimuan Cevherleri ve Konsantreleri

İthalatta; 2018 yılı için 297,8 milyon dolarlık bir küresel ticaret gerçekleşmiştir. Ana ithalatçı Çin olup 213,2 milyon dolar ile %72’lik bir paya sahiptir, Çin’i %14 ile Vietnam, %8 ile Hindistan, %4 ile İtalya takip etmektedir.

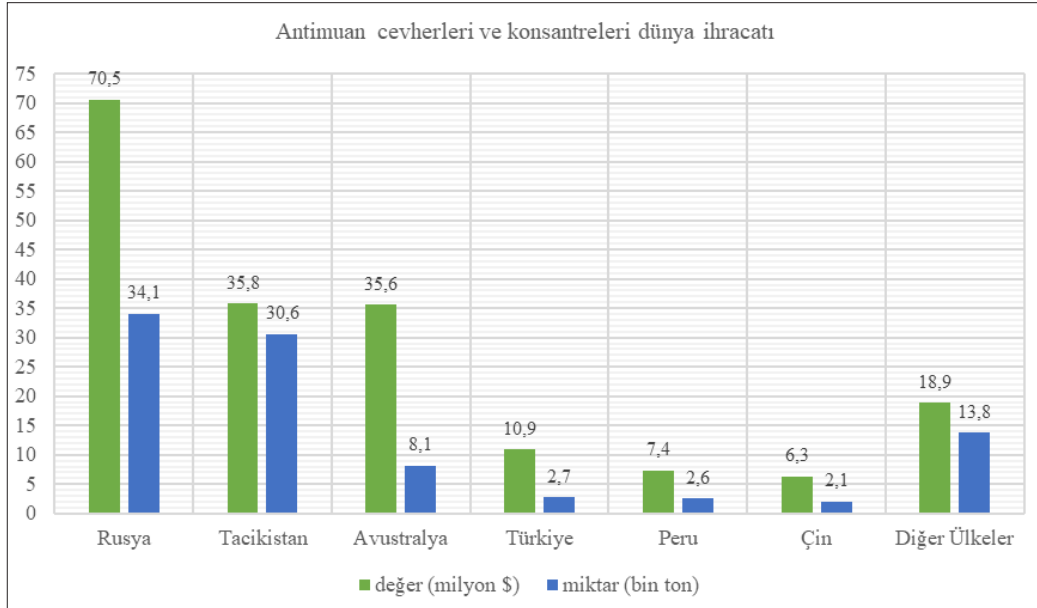
İhracatta; 2018 yılı için 185,5 milyon dolar değer ve ~94.000 ton miktar ticaret gerçekleşmiştir. Şekil 18’de görüleceği üzere değer (\$) bazında %38’lik pay ile Rusya ilk sırada yer almaktadır. Rusya’yı %19’luk paylarla Tacikistan ve Avustralya, %6 ile Türkiye, %4 ile Peru ve %3 ile Çin takip etmektedir. Miktar (ton) bazında ise %36 ile Rusya’yı, %33 ile Tacikistan, %9 ile Avustralya ve %3’lük paylar ile Türkiye ve Peru takip etmektedir.

9.1.2. Antimuan Oksitler

İthalatta; 2018 yılı için 80 bin ton miktar ve 557 milyon dolar olarak gerçekleşen küresel ticarete,



Şekil 17- Antimuan dünya ticareti.



Şekil 18- Antimuan cevherleri ve konsantreleri dünya ihracatı.

bu kez değer bazında ABD 144,6 milyon dolar ve %26'lık bir payla ilk sırada yer almaktadır. ABD'yi %7 ile Almanya; %6 ile Taipei; %5 ile Japonya, İtalya, Tayland; %4 ile Hindistan ve Güney Kore takip etmektedir.

İhracatta; 2018 yılı için 76,4 bin ton miktar ve 544,5 milyon dolar olarak gerçekleşen küresel ticarete, değer bazında 282,5 milyon dolar ve %52'lik pay ile Çin'i, 85,9 milyon dolar ve %16'lık pay ile Belçika, 50,5 milyon dolar ve %9'luk pay ile Fransa, 19,8 milyon dolar ve %4'lük pay ile ABD takip etmektedir.

9.1.3. İşlenmemiş Antimuan ve Antimuan Tozları, Antimuandan Eşya, Antimuan Atık ve Hurdaları

Bu başlıkta yer alan ürünlerin küresel ithalatında, 2018 yılı için 421,4 milyon dolarlık bir ticaret gerçekleşmiş olup; bunun 394,9 milyon dolarlık kısmını işlenmemiş antimuan ve antimuan tozları; 24,3 milyon dolarlık kısmını antimuandan diğer eşya; 2,2 milyon dolarlık kısmını ise antimuan atık ve hurdaları oluşturmaktadır. Dünya ticaretinde değer bazında, antimuan oksitlerden sonra yer alan "işlenmemiş antimuan ve antimuan tozları"nın önemli ithalatçıları 78,4 milyon dolar ve %20'lik payla Belçika, 66 milyon dolar ve %17 ile Fransa, 53,8 milyon dolar ve %14 ile Japonya, 49,3 milyon dolar ve %12 ile Güney Kore, 48,5 milyon dolar ve %12 ile ABD'dir. 2018 yılı için toplam dünya ithalat miktarı 50,2 bin ton olarak gerçekleşmiştir.

İhracatta ise 203,8 milyon dolar toplam dünya ticaretin, 146,8 milyon dolarlık kısmını işlenmemiş

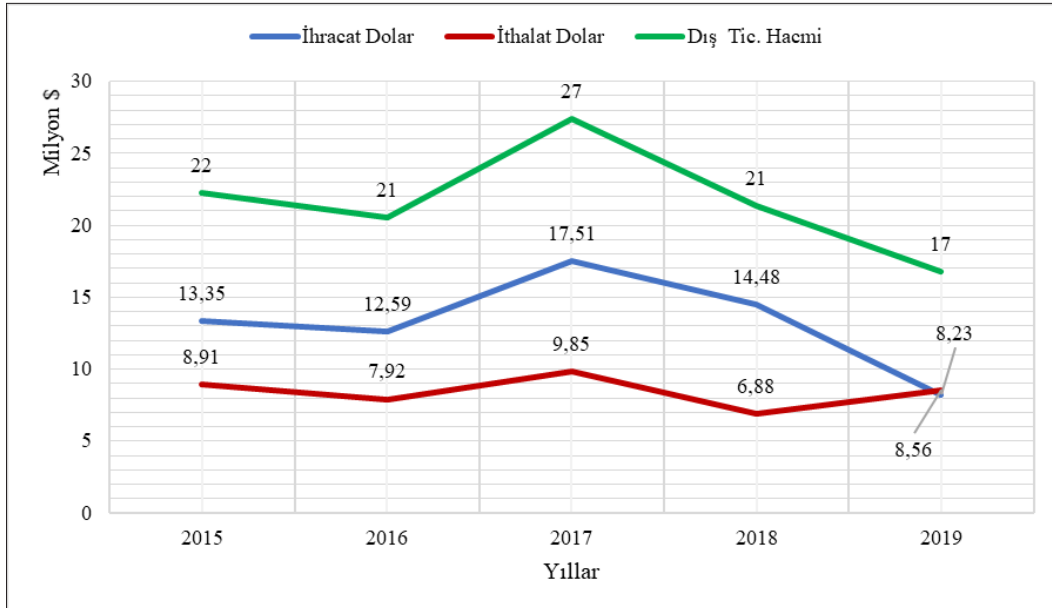
antimuan ve antimuan tozları; 49 milyon dolarlık kısmını antimuandan eşya; 7,9 milyon dolarlık kısmını ise antimuan atık ve hurdaları oluşturmaktadır. İşlenmemiş antimuan ve antimuan tozlarının önemli ihracatçıları 43,6 milyon dolar değer ve %30'luk payla Çin, 18 milyon dolar değer ve %12 ile Hindistan, 17 milyon dolar değer ve %12 ile Singapur, 12,2 milyon dolar ve %8 ile Güney Kore, 10,7 milyon dolar ve %7 ile Tayland'dır.

9.2. Türkiye Antimuan Dış Ticareti

Son yıllardaki Türkiye dış ticaretinin değer (\$) bazında seyri, şekil 19'de bulunan grafikten görülmektedir. Grafik verileri için GTIP numaralarına göre; "antimuan cevherleri ve zenginleştirilmiş antimuan cevherleri", "antimuan oksitleri", "işlenmemiş antimuan", "antimuan tozları", "antimuandan diğer eşya" olarak isimlendirilen ticari ürün kategorileri değerlendirilmiştir. 2015-2019 yılları arasında değer bazında ortalama ~13 milyon dolar/yıl ihracata karşın, ~8,5 milyon dolar/yıl ithalat yapılmıştır. Aynı yıllar aralığındaki ortalama ticaret hacmi de (ithalat+ihracat) ~22 milyon dolar olarak gerçekleşmiştir. Yukarıda bahsedilen bu ürünlere ait ticaret verileri aşağıda alt başlıklar altında detaylandırılmıştır.

9.2.1. Antimuan Cevherleri ve Zenginleştirilmiş Antimuan Cevherleri

"Antimuan cevherleri ve zenginleştirilmiş antimuan cevherleri" kategorisine ait ithalat-ihracat miktarları ve değerleri çizelge 11'de verilmiştir. Görüldüğü üzere, antimuan cevheri ithalat miktarları



Şekil 19- Türkiye antimuan dış ticaretinin gelişimi.

Çizelge 11- Antimuan cevherleri ithalat-ihracat miktarları ve değerleri (TÜİK, 2020).

Yıllar	İhracat Miktarı (ton)	İthalat Miktarı (ton)	İhracat Değeri (\$)	İthalat Değeri (\$)
2015	2.684,36	1,05	12.236.048	13.413
2016	2.551,81	44,00	10.809.555	81.576
2017	2.602,43	682,00	13.196.081	1.346.981
2018	2.703,38	131,54	10.921.902	250.251
2019	1.778,07	70,56	6.227.462	55.194

ve değerleri oldukça düşüktür. İhracatta ise 2015-2019 yılları ortalaması 2.464 ton olup, ortalama 10,7 milyon dolar/yıl değere karşılık gelmektedir.

Çizelge 12'ten görüleceği üzere ise, ihracatta 716 ton ve ~3,3 milyon dolar değer ile İtalya, 610 ton ve ~2,7 milyon dolar değer ile Avustralya öne çıkmaktadır. Antimuan cevherinde 2019 yılı için toplam ihracat miktarı 1.778 ton, değeri ise 6,2 milyon dolar olarak; toplam ithalat miktarı ise 70,56 ton ve değeri 55.194 dolar olarak gerçekleşmiştir.

9.2.2. Antimuan Oksitleri

“Antimuan oksitleri”nde ihracat, 2015-2019 yılları ortalamalarına göre yıllık ~73 ton karşılığı ~552.000 dolar olarak gerçekleşmiştir. Aynı yıl aralıkları baz alındığında ortalama ithalat ise 913 ton karşılığı 6,6 milyon dolar olarak gerçekleşmiştir (TÜİK, 2020).

9.2.3. İşlenmemiş Antimuan, Antimuan Tozları, Antimuandan Diğer Eşya

Bu üç ürünün toplam ihracatı, 2015-2019 yılları ortalamalarına göre yıllık ~513 ton karşılığı ~2 milyon dolar olarak gerçekleşmiştir. Aynı yıl aralıkları baz alındığında ortalama ithalat ise ~208 ton karşılığı ~1.5 milyon dolar olarak gerçekleşmiştir. Bu başlık altında önde gelen ticari ürün kategorisi

“işlenmemiş antimuan”dır. İhracat, 2015-2019 yılları ortalamalarına göre yıllık 347 ton miktara karşın 1,7 milyon dolar değer; ithalat ise 198 ton miktara karşın 1,38 milyon dolar değer olarak gerçekleşmiştir (TÜİK, 2020).

10. Fiyat Gelişimi

10.1. Tarihsel Fiyat Gelişimi

Şekil 20'de verilen nominal fiyat hareketleri, tarihsel krizleri ve olayları çok belirgin göstermemektedir. Gerçekçi bir değerlendirme açısından dönüştürülmüş reel fiyatların grafiği şekil 21'de verilmiştir.

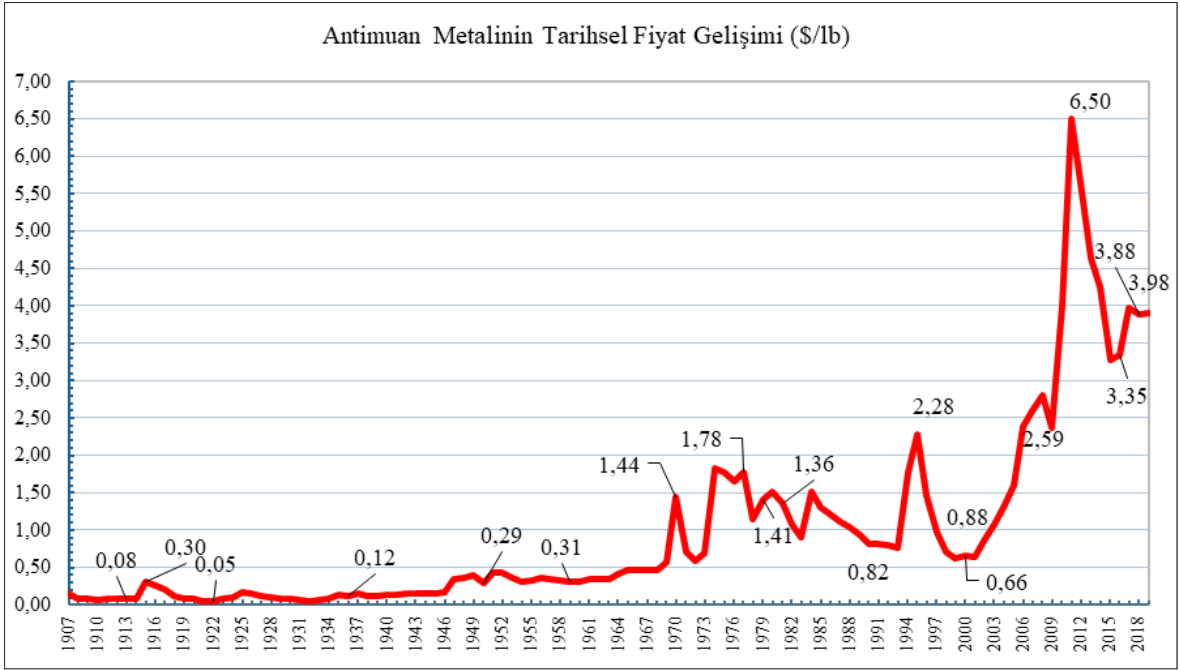
Şekil 20'de; 1970, 1974, 1995, 2011 yıllarının fiyatlarında oluşan zirve seviyeler açıkça görülmektedir. Şekil 21'de ise dönüştürülmüş reel fiyatların zirve seviyeleri; I. Dünya Savaşı dönemini, 1960'ların sonunda plastik ürünlerde talep artışını, 1975'lerde ATO'ya olan talebe rağmen Çin'in arzı kısmasını, 2010'lu yıllarda ise Çin'in ülke içi illegal üretimleri sonlandırarak ihracatı kontrol altına almasını açıklayabilmektedir.

10.2. Güncel Fiyatlar

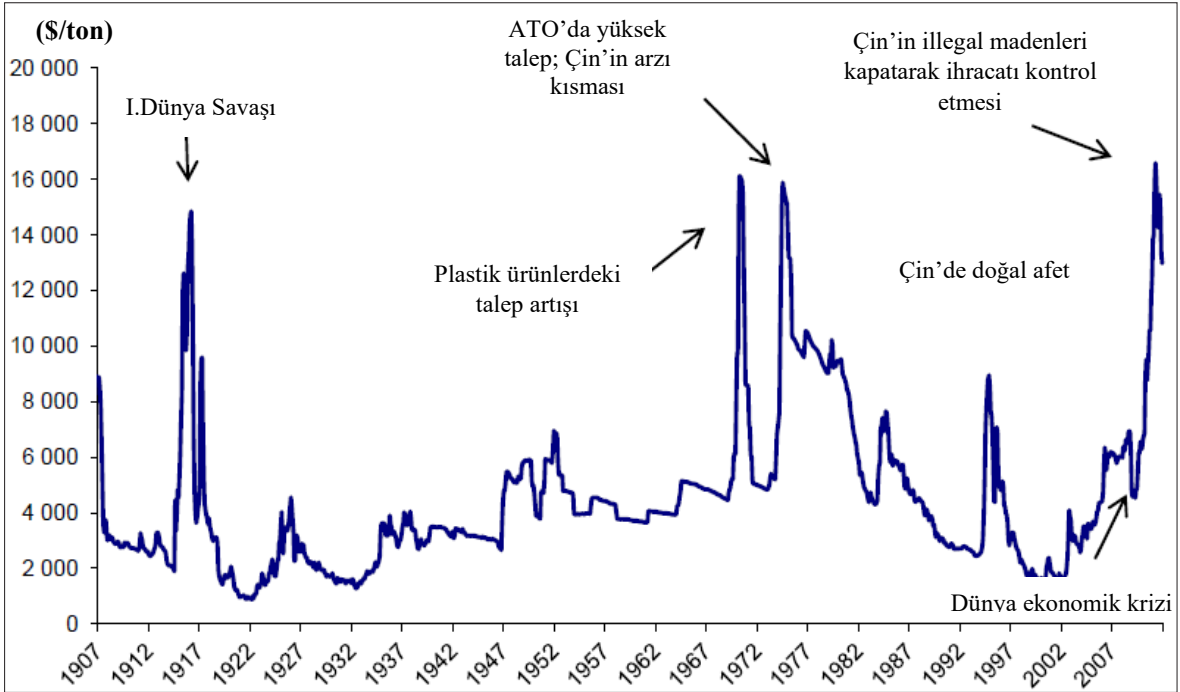
Tenör, empürite, miktar ve teslimat şartlarına göre fiyatlar değişim göstermektedir. Metal antimuanda

Çizelge 12- Ülkelere göre 2019 yılı antimuan cevherleri ithalat-ihracat miktarları/değerleri (TÜİK, 2020).

Ülkeler	İhracat Miktarı (ton)	İthalat Miktarı (ton)	İhracat Değeri (\$)	İthalat Değeri (\$)
İtalya	716,00	0,00	3.309.414	0
Avusturya	610,00	0,00	2.746.465	0
Kırgızistan	0,00	22,00	0	43.054
Fas	0,00	48,56	0	12.140
Suriye	4,00	0,00	3.551	0
Vietnam	448,07	0,00	168.032	0
Toplam	1.778,07	70,56	6.227.462	55.194



Şekil 20- Metal antimuan fiyatının tarihsel gelişimi (USAC, 2019; USGS, 2020).



Şekil 21- Metal antimuanın dönüştürülmüş reel fiyatları (2011=100) (EU, 2014).

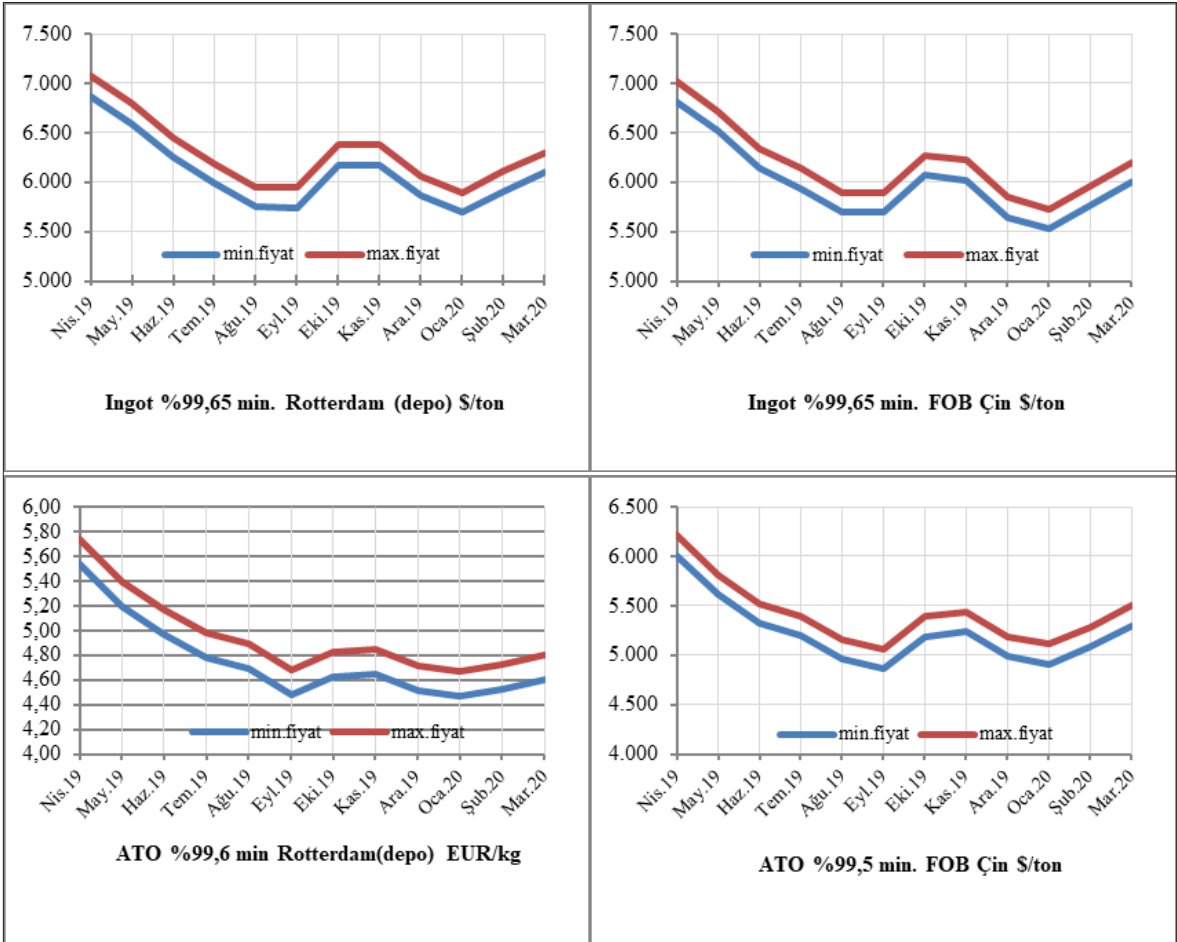
Rotterdam ve Çin fiyatlarının grafikleri son bir yılda çok benzer seyretmiştir. Ortalama fiyatlarda, 2019-Nisan döneminde ~7000 dolar/ton iken 2020 Mart döneminde Çin fiyatları 6.100 dolar/ton, Rotterdam fiyatları ise 6200 dolar/ton olarak gerçekleşmiştir. ATO'da da benzer fiyatlamalar gerçekleşmiştir (Şekil 22). Arz-talep ve ana üreticilerden Çin'in pozisyonu fiyatlamada en etken bir faktör olarak karşımıza çıkmaktadır.

Antimuan oksit fiyatlarının yıllara göre genel seyri ise, ABD ve Rotterdam CIF yıllık ortalamaları olarak şekil 23'te verilmiştir.

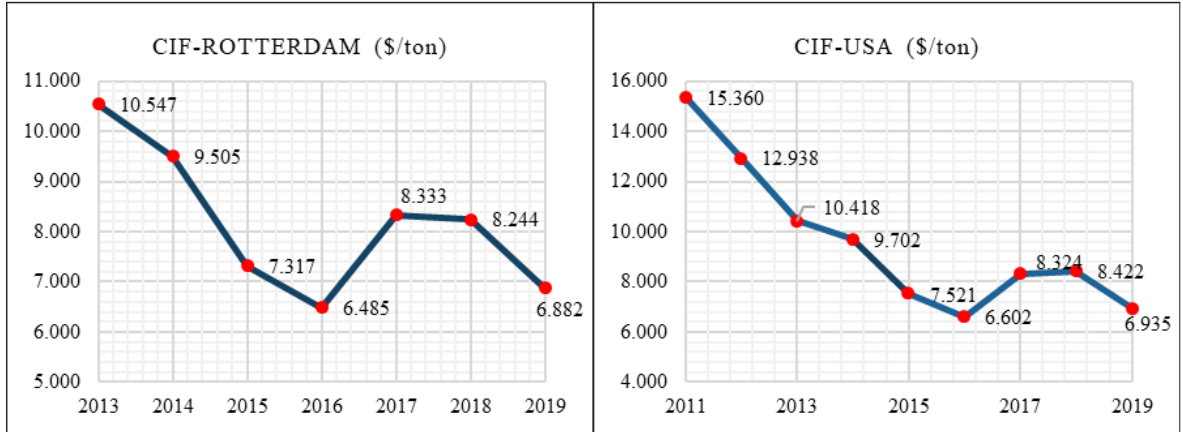
11. Değerlendirme

11.1. Rezerv ve Kaynaklar

Tanımlanmış dünya kaynaklarının 4-6 milyon ton antimuan içerdiği tahmin edilmektedir (Butterman ve



Şekil 22- Metal (ingot) antimon ve antimon trioksit (ATO) fiyatları (Asian Metal, 2020).



Şekil 23- Antimon Oksit Rotterdam ve ABD fiyatları (%83,1 Sb \$/ton) (USAC, 2019).

Carlin, 2004). USGS verilerine göre mevcut dünya antimon rezervleri 1,5 milyon tondur. Rezervlerin geliştirilmesi için keşfedilmiş/tahmini kaynaklara yönelik çalışmalar artırılmalı, henüz keşfedilmemiş kaynaklara yönelik araştırmalar yapılmalıdır. Aksi takdirde dünyada kıt kaynaklar sınıfında yer alan antimon üretiminde sürekliliği sağlamak mümkün olmayacaktır.

11.2. Kritik Hammadde

Antimon; ABD, Japonya, Avustralya ülkeleri ve Avrupa Birliği'nce kritik bir maden olarak tanımlanmaktadır (i2a, 2019; Hayes ve McCullough, 2018; USGS, 2019).

OECD ülkeleri baz alınarak yapılan bir çalışmada, ekonomik önem derecesi ve arz riskinin yüksekliğine

göre kritik bir maden olarak tanımlanmıştır. Arz riski hesaplanmasında 51 mineral içinde 7. sırada yer almıştır. Gelecek tahmini modellemelerine göre, antımuanın 2030 yılında da ekonomik önem derecesi 2014 yılı ile benzer olmaktadır. Rezerv/ üretim karşılaştırması yaklaşımına göre ise arz riski en yüksek mineraller içerisinde ve 50 yıldan daha önce tükenen kısıtlı kaynaklar sınıfında yer almıştır (Coulomb vd., 2015).

Antimuan, Avrupa Birliği Komisyonunca da kritik bir hammadde olarak tanımlanmıştır. Avrupa ekonomisindeki anahtar konumu, yüksek ekonomik önemi, arz riskinin yüksekliği, mevcut ve gelecekteki uygulamalarda eşsiz ve güvenilir özellikleri nedeniyle ikamesinin bulunmayışı ile bu tanımlamaya girmiştir (i2a, 2018). British Geological Survey'in çalışmasında da elementlerin ekonomik değerine göre hesaplanan risk indeksinde "Nadir Toprak Elementleri"nden sonra 2. sırada çok yüksek risk pozisyonunda yer almıştır (Çizelge 13).

11.3. Üretim ve Kullanım

USGS 2019 yılı verilerine göre metal içerik olarak, toplam 160.000 ton/yıl olan dünya üretiminin ana oyuncusu %63'lük (100.000 ton/yıl) pay ile Çin olup; Türkiye %2'lik (2.000 ton/yıl) bir payla pozisyon almaktadır. Dünyada yirmi civarında ülkede üretimi yapılan antimuanın çoğunluğu gelişmekte olan ülkelere sağlanmaktadır. 2019 yılı baz alındığında; antimuan cevher ve konsantrelerinde gelişmekte olan ekonomilerden Rusya ve Tacikistan ihracatçı, Çin ise ithalatçıdır. Buna karşın maden üretiminde (metal içerik) ana üretici Çin olup en fazla cevher ve konsantre ihracatını Rusya yapmaktadır. Diğer yandan gelişmiş ülkeler antimuan oksitlerde ithalatçı, Çin ise ihracatçı pozisyonundadır.

Askeri uygulamalar ve alev geciktiricilerde kullanımı artmaktadır (Hayes ve McCullough, 2018). Metal olarak en önemli kullanım alanı olan

bataryalarda kurşunu sertleştirmek için, farklı alaşım uygulamalarında da kendine yer bulmaktadır; ATO ise çocuk elbise ve oyuncaklarının yanı sıra uçak ve otomobil koltuk kaplamalarında alev geciktirici olarak kullanılmaktadır (USGS, 2020).

11.4. Ticaret

"Antimuan cevherleri ve konsantreleri", "antimuan oksitler", "işlenmemiş antimuan", "antimuan tozları", "antimuan eşya", "antimuan atık ve hurdaları" ticari ürün kategorilerinde, 2018 yılı için küresel ithalat 1,3 milyar dolar, ihracat ise 0,9 milyar dolar olup; ithalat ve ihracat toplam değeri 2,2 milyar dolar olarak gerçekleşmiştir.

Doğrudan antimuan ticari ürün kategorilerinde yer almayan "ağırlıkça birincil element olarak antimuan içeriği yüksek kurşun"un da 2018 yılı için dünya ithalat ve ihracat toplam değeri 1,6 milyar dolar, Türkiye'nin ise ~13 milyon dolar olmuştur. Bu değerler görece yüksek olup, antimuanın teknolojik açıdan üretimlerinde kullanıldığı ürün kategorilerinin de ticari potansiyelini etkilediğini göstermektedir.

Ülkemiz açısından ise, antimuanın birçok ticareti yapılan GTIP numaralı ürünü mevcut olup; 9. bölümde Türkiye dış ticaret başlığı altında verilen beş kalem ürün kategorisine ait 2015-2019 yılları arasındaki ortalama ihracat ~13,2 milyon dolar, ortalama ithalat ise ~8,4 milyon dolar olarak gerçekleşmiş, ithalat ve ihracat toplamı ~21,7 milyon dolar/yıl olmuştur.

Antimuan cevherlerinde; 2019 yılı için toplam ihracat miktarı ve değeri ~1.778 ton ve ~6,2 milyon dolar olmuş; bunun da 6 milyon dolar değer karşılığında 1.326 tonluk miktarı Avusturya ve İtalya'ya gerçekleşmiştir. Bu iki ülkeye yapılan ihracat; değer bazında toplam ihracatın ~%97'sini temsil etmekte ve geçmiş yıllarda da bu ülkelerin ihracatta öne çıktığı bilinmektedir.

Çizelge 13- Elementlerin ekonomik değerine göre risk indeksi (British Geological Survey, 2015).

Element	Sembolü	Arz Risk İndeksi	Ana Üretici	Ana Rezervler
Nadir Toprak Elementleri	NTE	9,5	Çin	Çin
Antimuan	Sb	9	Çin	Çin
Bizmut	Bi	8,8	Çin	Çin
Germanyum	Ge	8,6	Çin	
Vanadyum	V	8,6	Çin	Çin
Galyum	Ga	8,6	Çin	Çin
Stronsiyum	Sr	8,3	Çin	Çin
Tungsten	W	8,1	Çin	Çin

11.5. Teknolojik Gelişmeler

Dünya enerji ihtiyacının karşılanması için çok sayıda alternatif teknolojik çalışmalar yapılmaktadır. Dünya atmosferine salınan zararlı emisyonların azaltılmasına yönelik çalışmalar uluslararası sözleşme ve taahhütlerle sürdürülmektedir. Bu kapsamda yenilenebilir ve depolanabilir enerji üretimine yönelik değişimler yaşanmaktadır. Güneş ve rüzgâr gibi enerjilerden faydalanma kapasiteleri artırılmakta, zararlı emisyonlar açısından depolanabilir enerji (elektrik) ile çalışan sistemler ve motorlar yaygınlaştırılmakta ve bu uygulamalar teşvik edilmektedir. Son yıllarda bu konuyla ilgili, ilginç ve belki de umut vaat eden çalışmalardan birisi de Prof. Dr. Donald Sadoway ve ekiplerince önce çıkarılan magnezyum-antimuan sıvı metal akümülatörlerdir. (Bradwell vd., 2012). Bu akümülatörler; rüzgâr, güneş, hidrolik gibi yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilen elektrik enerjisinin üretiminde; gerek teknik gerekse mali istikrarın sağlanması için elektrik güç şebekesinde büyük ölçekli enerji depolaması şeklinde kullanılabilir ve dünya enerji ihtiyacının önemli bir kısmını karşılayabilir. Sonuçta, sistemdeki arz fazlası elektrik enerjisi depolanabilir ve talep edildiğinde kullanılabilir. Konuyla ilgili araştırmaya dair bir makalede (Bradwell vd., 2012); Mg ve Sb sıvı elektrotlara sahip tamamen sıvı bir akümülatörün performans yeteneği vurgulanmakta; Sb'nin pozitif elektrot olarak kullanılması ve sıvı bileşenlerin kendi kendine doğal ayrışabilen yapısının düşük maliyetli bir enerji depolama çözümü sağlayabileceği ifade edilmektedir.

12. Sonuç

On Birinci Kalkınma Planında (2019-2023); madencilik sektöründe temel ve kritik madenlerin belirlenmesi, arama ve rezerv raporlarının uluslararası standartlara uygun şekilde hazırlanmasına yönelik çalışmaların yürütülmesi, üretim altyapısının ve güvenli teminine yönelik yol haritasının oluşturulması şeklinde politika ve tedbirler belirlenmiştir. Yine bu madenlere ilişkin stratejik rezerv, stok, ihracat kısıtlaması konularında düzenleme yapılacağı ifade edilmiştir (11. Kalkınma Planı, 2019).

Hali hazırda, pazarı ve kullanım etkinliği olan ATO ve metal antimuanndan faydalanma stratejisi Türkiye için de geçerlidir. Antimuan; kullanım teknolojisi ve ekonomisi nedeniyle Türkiye için de stratejik ve kritik olarak kabul edilebilir. Jeolojik yataklanma ve oluşumuna dair yeni çalışmalar yapılmalı, rezervlere yönelik potansiyel kaynaklar artırılmalıdır. İhtiyacın karşılanmasında geri dönüşümden kazanımın da etkili olduğu göz ardı edilmemelidir. Muhtemel uzun

vade kullanımın/tüketimin ve teknolojik gelişmelerin olabileceği bir süreçte Ar-Ge faaliyetleri ile beraber katma değeri yüksek ürünlerle de küresel rekabet ortamında bulunulması arzulan bir sonuçtur.

Değinilen Belgeler

- Açma, E. 1987. Antimonun Ateşle Rafinasyonda Demir ve Arseniğin Davranışı. İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, 129 s. İstanbul.
- Anderson, C.G. 2012. The metallurgy of antimony. Elsevier, 8, Colorado, USA.
- Asian Metal. <http://www.asianmetal.com/>. 6 Mart 2020.
- Bradwell, D.J., Kim, H., Sirk, A.H.C, Sadoway, D.R. 2012. Magnesium-Antimony Liquid Metal Battery for Stationary Energy Storage. JACS, 1895-1897 pp.
- British Geological Survey. Risk List 2015. <https://www.bgs.ac.uk/mineralsUK/statistics/riskList.html>. 22 Ekim 2019.
- Bible Hub https://biblehub.com/commentaries/2_kings/9-30.html. 27 Mart 2020.
- Budge E. A. W. 1920. Egyptian Hieroglyphic Dictionary. Vol 1, London.
- Butterman, W.C., Carlin, J. 2004. Mineral Commodity Profiles Antimony. USGS. <https://pubs.usgs.gov/of/2003/of03-019/>
- Copeland, M. 2018. Akkadian-English Dictionary. <http://www.maravot.com/Akkadian.dictionary.html>. 23 Nisan 2020.
- Comprehensive Aramaic Lexion Project. <http://cal.huc.edu/oneentry.php?lemma=kwxl+N&cits=all>. 27 Mart 2020.
- Coulomb, R., Dietz, S., Godunova, M., Nielsen, T.B. 2015. Critical minerals today and in 2030. An analysis for OECD countries. 45.
- Etibakır A.Ş, <http://etibakir.com.tr>. 28 Mart 2020.
- Encyclopedia Britannica. <https://www.britannica.com/science/antimony>. 28 Mart 2020.
- European Commission, 2014. Report on critical raw materials for the EU-Critical raw materials profiles.
- European Commission, 2017. Study on the review of the list of Critical Raw Materials, Critical Raw Materials Factsheet, 10-22.
- Henckens, M.L.C.M, Van Lerland, E.C, Driessen, P.P.J., Worrell, E. 2016. Mineral resources: Geological scarcity, market price trends, and, future generations. Elsevier, 10 p.
- Hayes, S.M., McCullough, E.A. 2018. Critical minerals: A review of elemental trends in comprehensive criticality studies. USA. Elsevier, 8.

- Houston, J.R. 2016. Antimony. California State University, 2, Sacramento, USA.
- ILO, <http://www.iloencyclopaedia.org/part-xi-36283/mining-and-quarrying/74/techniques-in-underground-mining.22> Ekim 2019.
- i2a (International Antimony Assosiation). 2018. i2a response to rohs pack 15 questionnaire ato, 31 p., Brussels, Belgium.
- i2a (International Antimony Assosiation).2019. <https://www.antimony.com/antimony-2/>. 21 Ekim 2019.
- Kamal, H.,M.B.,B.S.,M.R.C.S..Antimony in Ancient Egyptian Medicine.The British Medical Journal.10 Nisan 1926. p.669. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2524163/pdf/brmedj08332-0030d.pdf.25.05.2020>
- MAPEG (Maden ve Petrol İşleri Genel Müdürlüğü). 2018.
- MAPEG (Maden ve Petrol İşleri Genel Müdürlüğü). <http://www.mapeg.gov.tr/istatistik.aspx>. 29 Mart 2020.
- Mindat.org.<https://www.mindat.org/min-262.html>. 21 Ekim 2019.
- MMTA (Minor Metals Trade Association). <https://mmta.co.uk/metal-norms/>. 22 Ekim 2019.
- Murube, J.2013. Ocular Cosmetics in Ancient Times. https://ancient-world-project.nes.lsa.umich.edu/tltc/wp-content/uploads/2016/08/Murube-2013_Ocular-Cosmetics-.pdf .26 Nisan 2020.
- ODAŞ. <https://www.odasenerji.com.tr>. 22 Ekim 2019.
- On Birinci Kalkınma Planı (2019-2023). Temmuz 2019. Türkiye Cumhuriyeti Cumhurbaşkanlığı, Strateji ve Bütçe Başkanlığı. Ankara, 121-123.
- Özdemir Antimuan Madenleri AŞ, <http://antimuan.com>. 22 Ekim 2019.
- Roskill. 2018. Antimony: Global Industry, Markets and Outlook to 2028, 13th edition.
- Royal Australian Chemical Institute (RACI), <https://www.raci.org.au/document/item/394>. 2011.
- Royal Society of Chemistry. <https://www.rsc.org/periodic-table/element/51/antimony>. 21 Ekim 2019.
- Pyramid Text Online. <https://www.pyramidtextsonline.com/MarkVygusDictionary.pdf>. 25.Mart 2020.
- Seal, R.R, Schulz, K.J., DeYoung, J.H. 2017. Antimony. Critical Mineral Resource of the United States-Economic and Enviromental Geology and Prospects for Future Supply. 30 p.
- Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı ÖİK:640 (Özel İhtisas Komisyon Raporu), Metal Madenler Alt Komisyonu Diğer Madenler Çalışma Grubu, 2001. http://www.sbb.gov.tr/wpcontent/uploads/2018/11/08_Madencilik_MetalMadenler_DigerMetalMadenler.pdf
- Stuyengger, U. 1896. Cinlikaya Sulfürlü Antimuan Madeni Hakkında Rapor. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Rapor No: 520, Ankara (yayımlanmamış).
- Şahiner, M. 2019. Madencilik Sektörüne Ait Temel Ekonomik Göstergeler 2018, 90 s., Ankara.
- Thalenhordst, H. 1965. Emirli (Batı Türkiye) Antimonit Cevher Yatakları ve Jeolojik Çerçevesi. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Rapor No: 12269, Ankara (yayımlanmamış).
- The Pennsylvania Sumerian Dictionary. <http://psd.museum.upenn.edu/nepstd-frame.html>. 2006.13 Mart 2020.
- TRADE MAP (Trade statistics for international business development). <https://www.trademap.org/>. 1 Kasım 2019.
- TÜİK (Türkiye İstatistik Kurumu). <https://biruni.tuik.gov.tr>. 28 Mart 2020.
- USAC (United States Antimony Corporation). <http://usantimony.com/pricing.htm>. 22 Ekim 2019.
- USGS (The United States Geological Survey). Historical Statistics for Mineral and Material Commodities in the United States,2017. <https://www.usgs.gov/centers/nmic/historical-statistics-mineral-and-material-commodities-united-states#antimony>. 21 Ekim 2019.
- USGS (The United States Geological Survey). <https://www.usgs.gov/science-explorer-results?es=antimony&classification=image>. 21 Ekim 2019.
- USGS (The United States Geological Survey). National Minerals Information Center, antimony statistics and information. Annual Publications. 2018, 2019. <https://www.usgs.gov/centers/nmic/antimony-statistics-and-information>. 21 Ekim 2019.
- USGS (The United States Geological Survey). <https://www.usgs.gov/centers/nmic/antimony-statistics-and-information.25.04.2020>
- Üçyıldız Antimon Madencilik AŞ, <https://ucyildizantimon.com/>. 22 Ekim 2019.
- Wintzer, N.E, Guberman, D.E. 2015. USGS. <https://pubs.usgs.gov/fs/2015/3021/pdf/fs2015-3021.pdf> .Antimony-A Flame Fighter. 2 p.
- Yıldırım, K., Önal, R. 1978. Küçük Menderes Havzası Jeokimya ve Prospeksiyon Raporu. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Rapor No: 13398, İzmir (yayımlanmamış).