

ÜRETİMİNDEN TİCARİ KULLANIMINA TİTANYUM

M. Bayram YÜCEL *

1. Giriş

Soğuk Savaş döneminde ABD ve SSCB'nin silah teknolojisindeki rekabetinde; askeri uçak ve denizaltılarda etkin kullanımı olan titanyum metali, bu dönemin sona ermesiyle ticari kullanımda da kendine farklı alanlar bulmuştur. Günümüzde metal olarak; ticari yolcu uçaklarında gövde iskeletinden motor ve iniş takımlarına; korozyona ve erozyona karşı direncinden dolayı deniz suyu arıtım tesislerindeki kimyasal proseslerde kullanımından; özellikle insan vücuduyla biyolojik uyumu nedeniyle implant, protez ve kalp kapakçığı gibi biyomedikal uygulamalara, iki ve dört tekerlekli araçlardan günlük yaşamda kullanılan takı ve mutfak gereçlerine farklı kullanım alanları bulmaktadır. TiO_2 pigmentinin mükemmel beyazlık sağlayan özelliği nedeniyle de boya ve kozmetik sektöründen, gıda ve seramik sektörüne geniş bir endüstriyel kullanım yelpazesi bulunmaktadır. Ülkelerin nitelikli alanlarda disiplinler süreçlerle rekabetçi ürünler üretebildiği küresel piyasada, Türkiye'nin sağlık alanında biyomedikal ürünlerle üretim ve rekabetin içerisinde böyle bir süreçle yer alması yüksek katma değer ve markalaşmayı da birlikte getirebilecektir. Madencilikten metalurjiye ve nihai teknolojik ürünlere kadar farklı sektörlerin etkileşimiyle gelişen bu süreçler ekonomik süreklilik olarak önemli etki yapacaktır. İlgililer açısından bir farkındalık olması için bu makale güncel verilerle derlenerek hazırlanmıştır.

2. Tanımı ve Özellikleri

Titanyum, periyodik tablonun 4-B grubunda yer alan, çok sert, gümüş-beyaz renkli, ergime noktası $1668^{\circ}C$, kaynama noktası $3287^{\circ}C$, özgül ağırlığı $4,50 \text{ gr/cm}^3$, atom numarası 22, atom ağırlığı 47,87 olan bir geçiş elementidir. Isı ve elektrik iletkenliği demire oranla düşüktür. Kimyasal maddelere karşı dayanıklıdır (MTA, 2019). Litofil bir element olup oksijene karşı

ilgisi yüksektir. Doğada saf halde bulunmaz. Çelik kadar sağlam olup %45 daha hafiftir (Woodruff vd., 2017). Alüminyumdan iki kat daha dayanıklı olup %60 daha ağırdır (Woodruff ve Bedinger, 2013) (ITA, 2011).

Titanyum; hafif, çok sağlam ve korozyona karşı dayanıklılık özellikleri ile öne çıkar. Alaşımları, yüksek hızlı hava araçlarında kullanılır. 1791 yılında İngiliz kimyacı ve mineralog William Gregor ve ondan bağımsız olarak 1795 yılında Alman kimyacı Martin Heinrich Klaproth tarafından keşfedilmiştir (Encyclopedia Britannica, 2019). Yunan mitolojisindeki Titan tanrı ırkına atfen kimyacı Martin Heinrich Klaproth tarafından isimlendirilmiştir. Yerkabuğunda yaygın ve bol olarak 9. sırada kendine yer bulan bir elementtir. Saf titanyum, 1910 yılında kimyacı Matthew Hunter tarafından elde edilmiştir (Woodruff ve Bedinger, 2013). 1938 yılında William Kroll tarafından geliştirilen Kroll prosesine kadar ticari olarak kullanıma uygun olmamıştır (Woodruff vd., 2017).

3. Titanyum Mineralleri

Ekonomik olarak önemli olan titanyum mineralleri ilmenit (Rusya'da ilk keşfedildiği Ilmenny Dağları'ndan ismini almıştır), rutil (latince rutilus kökenli olup, kırmızı demektir) (Çizelge 1), anatas (yunanca uzantı anlamındadır) ve brokit (mineralog Henry James Brooke'un ismi verilmiştir). Rutil, anatas ve brokit aynı kimyasal kompozisyonda olmasına rağmen farklı kristal yapıları sahiptirler (Woodruff vd., 2017) (Geoscience Australia, 2019).

Çizelge 1- İlmenit ve Rutil Minerallerinin Özellikleri (Geoscience Australia, 2019)

Özellikleri	İlmenit	Rutil
Kimyasal Sembolü	$FeTiO_3$	TiO_2
Rengi	Siyah/Gri	Kahverengimsi kırmızı
Sertliği (Mohs)	5-6	6-6,5
Yoğunluğu (gr/cm^3)	4,7-4,8	4,23

* Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Fizibilite Etütleri Daire Başkanlığı, Ankara.

Birçok titanyum minerali bulunmakla birlikte; ekonomik değer içermeyen ve daha az yaygın olan titanyum mineralleri: psödobrokit (Fe_2TiO_5), perovskit ($CaTiO_3$), geikielite ($(Mg,Fe)TiO_3$), pirofanit ($MnTiO_3$) ve sfen/titanit ($CaTiSiO_5$)'dir (Woodruff vd., 2017).

4. Maden Yatakları

Primer (kayaç yatakları) ve sekonder (plaser yatakları) olarak iki grupta ifade edilebilir:

Primer haldeki TiO_2 zuhurları kontak metamorfik yataklarda ve pegmatitlerde değişik oranlarda bulunur. Anortositik veya gabroik kayalarda önemli ticari büyüklükte yataklar bulunmaktadır. Anortositik yataklar; ilmenit-manyetit, ilmenit-hematit, ilmenit-rutil şeklinde üç tipte bulunabilirler.

Sekonder grupta yer alan karasal ve daha çok denizel plaserler, günümüzde işletilen ekonomik titanyum yataklarını oluşturmaktadırlar. Yüzeyde siyaha yakın koyu renkli kumlar olarak hemen göze çarptığı ifade edilmektedir. Titanyum ve ağır minerallerce zengin kaynak kayalardan taşınan malzeme; akıntı, dalga ve rüzgar etkisiyle sahiller,

kumullar, barlar ve akıntı kumulları boyunca ağır minerallerinin hafif minerallerden ayrılarak depolanması sonucu yataklanır. Bu yataklar titanyumlu mineraller, zirkon, manyetit, kromit, NTE, değerli metaller (altın, platin) ve elmas içerebilirler. Türkiye ve dünyadaki zuhurlar genelde sekonder tip yataklardır (Yaşar, 1993).

4.1. Dünya Titanyum Yatakları

Çizelge 2 verilerine göre Kanada, Norveç, Sierra Leone, Avustralya, Güney Afrika ve ABD'de bulunan yataklar hali hazırda "çok önemli ekonomik" yataklar olarak sınıflandırılmıştır.

Keşfedilmemiş titanyum kaynaklarının ölçülemeyecek kadar çok büyük olduğu düşünülmektedir. Dünyadaki birçok varsayımsal ve spekülatif titanyum kaynakları teknolojik gelişmeleri ve ekonomik koşulları beklemektedir. Dünyanın birçok ülkesinde yer alan sedimanter, volkanik ve magmatik kökenli yataklardaki rutil ve ilmenit minerallerinden oluşan kaynaklar yaklaşık 4,3 milyar ton olup; varsayımsal ve spekülatif kaynakların yanı sıra tanımlanmış olanları da içermektedir (Woodruff vd., 2017).

Çizelge 2- Dünyadaki Bazı Yatakların Jeolojik Durumu ve Oluşum Formları (Woodruff vd., 2017)

Yatak sınıfı	Yatak Tipi	Minerolojisi	Ekonomik Önem Derecesi	Yeri
Magmatik				
I-1	Masif anortozit	Hemo-ilmenit	1	Lac Tio, Quebec; Tellnes, Norveç
I-2	Anortozit-gabro	İlmenit,titanomanyetit	2	Sanford Lake district, Newyork
I-3	Katmanlı mafik geçişli	İlmenit,titanomanyetit	2	Magpie, Quebec; Panzihuia, Çin
I-4	Troktolit/ultramafik	İlmenit,titanomanyetit	3	Longnose, Minnesota
I-5	Albitik/metasomatize	Rutil	3	Kragerø, Norveç; Roseland, Virginia
I-6	Alkali/metasomatize	Perovskite,brookit, rutil	3	Iron Hill, Colorado.; Magnet Cove, Arkansas
I-7	Ayrışmış alkali kayalar	Anatas	2	Catalão, Salitre, and Tapira, Brezilya
I-8	Ayrışmış anortozitik kayalar	İlmenit, rutil	4	Roseland, Virginia
Metamorfik				
M-1	Eklojit içeren	Rutil	2	Engelbøfjellet, Norveç; Piampaludo, İtalya
M-2	Amfibolit içeren	Rutil	3	Daixian, Çin
M-3	Yeşil şist içeren	Rutil	5	Dinning, Maryland
M-4	Anortozit ile kontak metasomatize	İlmenit, rutil	4	Roseland, Virginia
M-5	Metasomatize alüminyum-zengin şist	Rutil	5	Evergreen, Colorado
Hidrotermal				
I/M	Hidrotermal porfiri cevher yatakları	Rutil	3	Bingham, Utah; El Teniente, Şili
Sedimenter				
S-1	Fluvial	Rutil, ilmenit	1	Mogbwemo and Sherbo River, Sierra Leone
S-2	Plaj ve kıyı kumulu	İlmenit, altere ilmenit, rutil, leucoxene	1	Kuzey Stradbroke Adası, Doğu Avustralya; Richards Bay, Güney Afrika; Trail Ridge, Florida
S-3	Taşlaşmış paleo plaserler (fluvial/plaj)	İlmenit, altere ilmenit, rutil, leucoxene	2	Bothaville, Güney Afrika.
S-4	Ayrışmış sedimenter yataklar	Altere ilmenit, leucoxene	1	Trail Ridge, Florida

*(1, halihazırda çok önemli; 2, yakın gelecekte muhtemelen çok önemli; 3, önem derecesi mümkün; 4, önem derecesi ılımlı; 5, önem derecesi küçük.)

4.2. Türkiye Titanyum Yatakları

Ülkemizde yapılan ilk çalışmalarda; Şile civarı Karadeniz kumsalında manyetit ile beraber büyük miktarda titanomanyetit ve zirkon ihtiva eden bir manyetit plaser cevheri varlığı ve ekonomik olmadığına dair jeolojik tetkik Dr.H.Kleinsorge tarafından raporlaştırılmıştır (Kleinsorge, 1940). Bunu müteakip, Küçük ve Büyük Menderes havzaları ve Karadeniz kıyı plaserleri ve diğer potansiyel oluşumlar günümüze değin çalışılmıştır (Yücel, 2018).

MTA Genel Müdürlüğü'nce 1996 yılında başlatılan Türkiye "Titanyum Aramaları Projesi"nde primer (kayaç) ve sekonder (plaser) titanyum yataklarına yönelik çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Primer tip yataklara yönelik çalışmalar, Menderes Masifi, Kazdağları ve Kütahya-Tavşanlı bölgelerinin gabro, metagabro ve amfibol birimlerinde yürütülmüştür. Sekonder tip olanlara yönelik çalışmalar ise kum potansiyellerine sahip ve ağır mineral zenginleşmelerinin görüldüğü Sakarya deltası ile Karasu-Kocaali sahil plaserleri, Yeşilirmak ve Kızılırmak deltaları ile Çarşamba-Ünye sahil plaserleri, Seyhan ve Ceyhan deltaları ile Çukurova bölgesi sahil plaserlerinde yürütülmüştür. Etüt çalışmaları

sonucu Manisa-Alaşehir-Azıtepe gabro kütlelerinin primer yatak (ortalama %6 TiO₂), Sakarya-Karasu ve Samsun-Çarşamba sahil plaserlerinin ise (ortalama %1 TiO₂) sekonder yatak olarak potansiyel oluşturduğu tespit edilmiştir (Kayakıran vd., 2010). Bu tespit edilen yataklardan Sakarya-Karasu ve Samsun-Çarşamba plaserlerine dair müteakip MTA çalışmalarında; tenör, rezerv ve verim açısından mevcut koşullarda ekonomikliğin olmadığı belirtilmiştir (Kuruçelik vd., 2017a, 2017b, 2017c; Kuruçelik ve Doksanbir, 2017)

5. Rezervleri

5.1. Dünya Titanyum Rezervleri

Dünya titanyum rezervleri 880 milyon ton ilmenit, 62 milyon ton rutil olmak üzere toplamda 942 milyon ton'dur (Çizelge 3). Dünya ilmenit, rutil, anatas kaynakları toplamı 2 milyar tondan fazladır. İlmenit, dünya titanyum mineralleri tüketiminde %89'luk bir paya sahiptir (USGS, 2019).

5.2. Türkiye Titanyum Rezervleri

Türkiye'nin görünür bazda titanyum rezervleri çizelge 4'te verilmiştir.

Çizelge 3- Dünya Titanyum Rezervleri (USGS, 2019)

Dünya Titanyum Rezervleri(* 1.000 ton)					
İlmenit	Ülkeler	Rezervler	Rutil	Ülkeler	Rezervler
	ABD	2.000		Avustralya	29.000
Avustralya	250.000	Hindistan	7.400		
Brezilya	43.000	Kenya	13.000		
Kanada	31.000	Mozambik	880		
Çin	230.000	Senegal			
Hindistan	85.000	Sierra Leone	490		
Kenya	54.000	Güney Afrika	8.300		
Madagaskar	40.000	Ukrayna	2.500		
Mozambik	14.000	Diğer Ülkeler	400		
Norveç	37.000	Toplam(II)	62.000		
Senegal					
Güney Afrika	63.000				
Ukrayna	5.900				
Viyetnam	1.600				
Diğer Ülkeler	26.000				
Toplam(I)	880.000				
Dünya Titanyum Rezervleri Toplamı(I+II)=942.000					

Çizelge 4- Türkiye Titanyum Rezervleri (Kartalkanat, 2012)

Yeri	Rezerv (Görünür)	Tenör ve Yatak Tipi
Sakarya-Karasu	161.348.413	%0,87-0,98 TiO ₂ , Plaser Yatak
Manisa-Alaşehir	5.131.969	%4,95 TiO ₂ , Primer Yatak

6. Kullanım Alanları

Titanyum; metal, pigment ve titanyum tetraklorit olarak kullanılmaktadır.

6.1. Titanyum Metali

Titanyum, yüksek sağlamlığı ve hafifliği, paslanmaya karşı dirençliliği, yüksek ergime noktası özellikleriyle hava araçlarının motorlarında, uzay araçlarında, roketlerde, arabalarda, spor ekipmanlarında (yarış yatlarının parçalarında, golf ekipmanlarında, tenis raketlerinde, bisiklet aksamalarında), kol saatlerinde, su altı ekipmanlarında ve genel endüstriyel ekipmanlarda yoğun olarak kullanılmaktadır (Geoscience Australia, 2019).

Korozyona karşı dirençliliği; kimyasal proseslerde, denizcilikte ve mimari uygulamalarda titanyum metalini rekabetçi yapmaktadır. Suudi Arabistan'da bulunan ve 3,5 milyon kişiye su sağlayan Ras Azzour (Ras Al Khair) deniz suyu arıtma tesisi üstün korozyon direncine örnek teşkil etmektedir. Düşük basınçla buharlaştırma (MSF) bölümünün yapımında kullanılan boruların %100'ü titanyumdan imal edilmiştir. Yapımında 6.000 ton titanyum kullanımın olacağı belirtilen tesis 2014 yılında deniz suyu arıtımına başlamıştır. Yine titanyumun oluşturduğu oksit filmi; su altının yanı sıra değişik birçok kimyasalların etkisine karşı; ayrıca aşınmaya, erozyona, korozyona, yüksek hızlı kimyasal proses akışlarına, kavitasyon ve sıkıştırma ataklarına karşı direnç sağlamaktadır. Bakır-nikel alaşımlarına karşı yirmi katın üzerinde erozyon direncine sahiptir (ITA, 2019) (MTS, 2019).

2018 yılında ABD'de üretilen titanyum metalinin %80'inin havacılık uygulamalarında kullanıldığı tahmin edilmektedir (USGS, 2019). Üstün sağlamlığı, hafifliği, dayanıklılığı, korozyona direnci, yüksek sıcaklık dayanımı ile jet motoru parçalarında (fan ve kompresör kanatları, rotorlar, diskler vs.), uçak iskelet ve

iniş sistemlerinde, kanat yapılarında, bağlantı elemanlarında, hidrolik borular ve yaylarda, vb. çeşitli kritik yüksek toleranslı havacılık uygulamalarında tercih edilen bir seçenektir. Gelecek yıllar için endüstriyel tahminler; yeni nesil Boeing 787/777 ve Airbus A350/A380'de titanyum kullanımının artarak devam edeceğini ifade etmektedir. Bunların yanı sıra askeri savunma uygulamalarında da (F-35 silah sistemleri, insansız hava araçları, yeni nesil bombardıman uçakları) titanyum kullanılacaktır (ITA, 2019).

Hava ve deniz araçlarına örnek olarak; soğuk savaş döneminin askeri keşif uçaklarından biri olan Amerika'ya ait SR-71 Blackbird'ün imalatında, ağırlığının %90'ı üzerinde ~67 ton; yine bu rekabet döneminin Sovyet askeri denizaltısı olan K-278 Komsomolets'in imalatında ise 3.000 tonun üzerinde titanyum kullanılmıştır (Housley, 2007). Yine 1960'lardaki Fantom F4'ün %9'unu titanyum oluştururken günümüz F-22'lerinde bu oran %39'un üzerindedir (ITA, 2011).

Titanyum; yüksek dayanıklılığı, hafifliği ve korozyon direnciyle; cerrahi implant ve medikal uygulamalarda ideal seçenek olarak öne çıkmaktadır. Toksik olmaması ve biyolojik uyumu nedeniyle ortopedik protez ve uygulamalarda, diş implantlarında (fixture) yaygın olarak kullanılmaktadır. Ayrıca medikal titanyum alaşımları sağlamlıklarının yanı sıra rakipleri paslanmaz çelik veya kobalt-kromdan hafiftirler (ITA, 2019).

Küresel endüstriyel uygulamalarda; workhorse/Ti6Al-4V (%6 alüminyum, %4 vanadyum, %90 titanyum) olarak tanımlanan titanyum alaşımı yaygın olarak kullanılmaktadır. Titanyumun endüstriyel ilk kullanımı enerji santrallerinde olmuştur. Saf titanyum metali; boru, sac ve çubuklarda; workhorse alaşımı ise türbin kanatlarında kullanılmak üzere üretilir, bakır/nikel bazlı alaşımlardan iyi performans sergiler. Deniz suyu arıtma tesislerine olan ihtiyaçtan dolayı, önümüzdeki yıllar titanyum endüstrisi için küresel olarak önemli bir iş fırsatı olabilecektir. Korozyona karşı direncinden ve çok sağlamlığından dolayı denizcilikte faydalı olduğu birçok uygulama alanı bulunmaktadır. Öyle ki bazı üreticiler, titanyumun sergilediği iyi performanstan dolayı 100 yıla kadar garanti vermektedirler. İnşaat sektöründe ise ilk kez Japonya'da korozyona dayanıklı çatılarda

kullanılmıştır. Titanyum endüstrisi otomotiv uygulamalarının geliştirilmesine önemli katkı sağlayarak havacılıktan daha büyük bir pazar haline gelebilecektir (ITA, 2011).

gökyüzünde yazı oluşturmada kullanılmasını sağlar (Geoscience Australia, 2019).

6.2. Titanyum Dioksit

Beyaz pigment ve yansıtıcı özelliğinden dolayı renklerin zenginleştirilmesinde ve parlaklığında kullanılır ve ayrıca ultraviyole koruması sağlar. Boyalarda, cilalarda, kağıt ve plastiklerde, mürekkeplerde, kauçuk ve tekstil ürünlerinde, kozmetiklerde, güneş koruyucularda, deri ürünlerinde, yiyecek renklendirmede ve seramiklerde kullanılır (Geoscience Australia, 2019).

6.3. Titanyum Tetraklorit

Bu bileşiğin nemli havada yoğun beyaz duman çıkarması, yapay duman ve

7. Üretimi

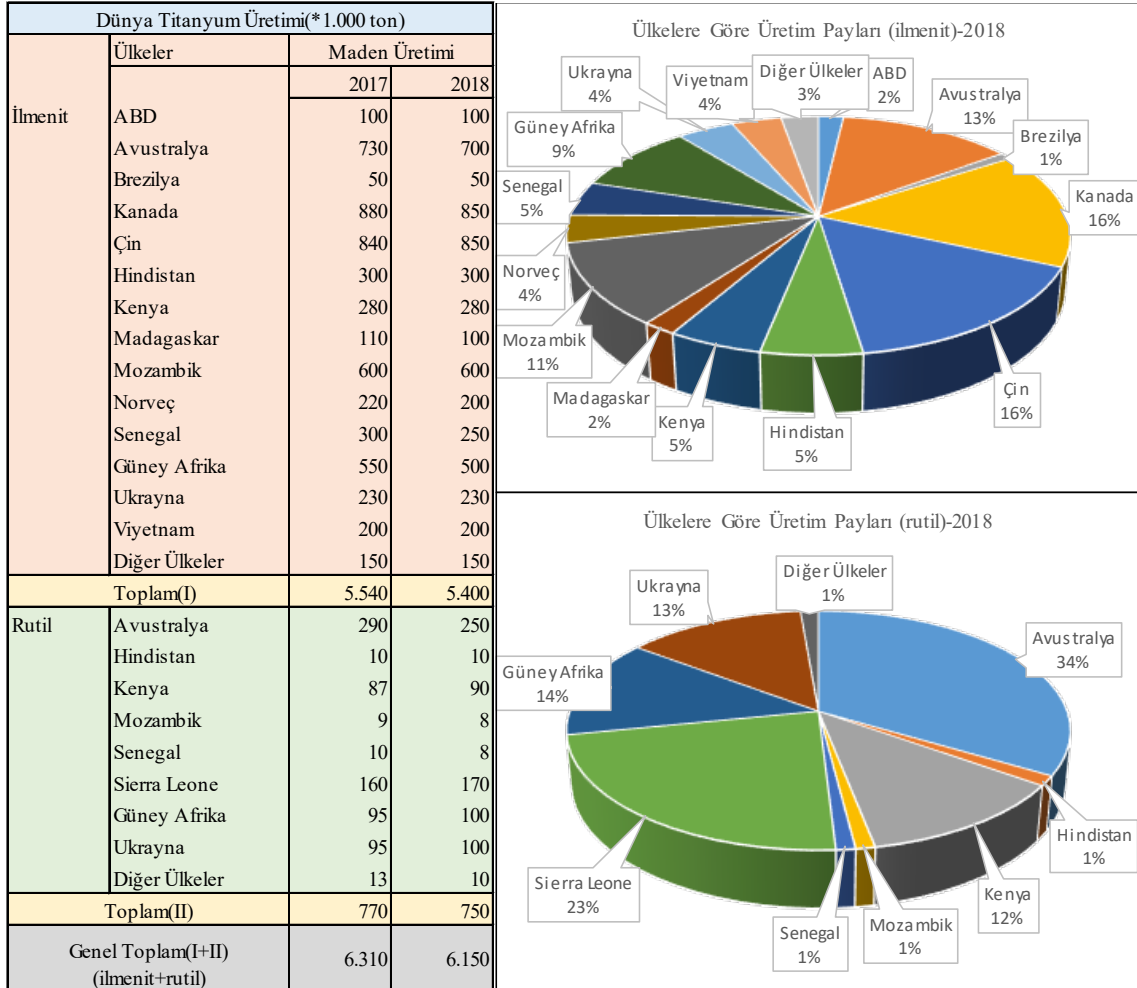
Magmatik titanyum yataklarından üretim yapan dünyanın iki aktif madeni; Norveç'teki Tellness ve Kanada'daki Lac Tio Madeni'dir. Dünya titanyum üretiminin tahmini olarak %32'si bu iki madenden, geri kalan %68'i ise yüksek tenörlü ilmenit yataklarından, rutil içerikli ağır mineral yataklarından ve plaser yataklardan üretilmektedir (Woodruff vd., 2017).

7.1. Dünya Titanyum Üretimi

7.1.1. Titanyum Konsantre Cevher Üretimi

Çizelge 5'te görüleceği üzere, ilmenit minerali içerikli yataklardan üretimde 2018 yılı için: Kanada 850.000 ton, Çin 850.000 ton,

Çizelge 5- Ülkelere Göre Titanyum Konsantre Cevheri Üretimi (USGS, 2019)



Avustralya 700.000 ton ve Mozambik 600.000 ton ile; rutil içerikli yataklarda ise Avustralya 250.000 ton, Sierra Leone 170.000 ton, Güney Afrika 100.000 ton, Ukrayna 100.000 ton ile önde gelmektedir.

İlmenit içerikli yataklarda 2017 yılı için dünya toplam üretimi 5,54 milyon ton, 2018 yılı için ise 5,40 milyon ton olmuştur. Rutil içerikli yataklardan dünya üretim toplamı ise 2017 yılında 770 bin ton, 2018 yılında ise 750 bin ton olarak gerçekleşmiştir. İlmenit ve rutil içerikli yatakların dünya genel toplam üretimi ise 2017 yılında 6,31 milyon ton, 2018 yılında ise 6,15 milyon ton olarak gerçekleşmiştir.

2012-2016 yılları arası titanyum konsantr mineral üretiminin ~7 milyon ton olarak gerçekleştiği ve bunun önemli kısmının (5 milyon ton' dan fazla) gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelere üretildiği bilinmektedir (World Mining Data, 2018). Bu üretim miktarına karşın

942 milyon ton olan dünya toplam rezervleri yeterli gözükmemektedir.

7.1.2. Titanyum Sünger Üretimi

Titanyum sünger (okyanus sünger görünümüne benzerliğinden dolayı ismini almıştır) üretiminin ABD, Çin, Japonya, Hindistan, Rusya, Ukrayna, Kazakistan ve Suudi Arabistan ülkeleriyle sınırlı olduğu çizelge 6'dan görülmektedir. ABD üretim verileri kapalı olup, ABD hariç 2017-2018 yıllarında ~180.000 ton titanyum sünger üretilmiştir. Toplam sünger üretim kapasitesinin yaklaşık %62'si oranında üretim yapılmıştır. Pigment üretim kapasitesi ise 7.660.000 ton gibi yüksek bir miktardadır (Çizelge 6).

7.2. Türkiye Titanyum Üretimi (TiO₂ içerik)

2012-2016 yılları arası 4.750 ton/yıl titanyum üretimi kayıtlarda yer almaktadır. Türkiye, 2016

Çizelge 6- Ülkelere Göre Titanyum Sünger Metal Üretimi ve Kapasiteleri (USGS, 2019)

Dünya Titanyum Sünger Metal Üretimi ve Kapasitesi(ton)				
Ülkeler	Titanyum Sünger Üretimi		Kapasitesi (2018 yıl sonu)	
	2017	2018 ^t	Sünger	Pigment
ABD	k	k	13.100	1.370.000
Avustralya	-	-	-	260.000
Kanada	-	-	-	104.000
Çin ^t	72.000	70.000	110.000	3.250.000
Almanya	-	-	-	472.000
Hindistan	500	500	500	108.000
Japonya ^t	51.000	52.000	68.800	314.000
Kazakistan ^t	9.000	9.000	26.000	1.000
Meksika	-	-	-	300.000
Rusya ^t	40.000	40.000	46.500	55.000
Suudi Arabistan	-	500	15.600	210.000
Ukrayna ^t	8.000	8.000	12.000	120.000
İngiltere	-	-	-	315.000
Diğer Ülkeler	-	-	-	784.000
Dünya Toplamı (yuvarlanmış)	^h181.000	^h180.000	293.000	7.660.000

t: tahmini h: ABD üretimi hariç k: kapalı veri

yılı için 6.877.550 ton olarak verilen dünya üretiminde % 0,07'lik paya sahiptir (World Mining Data, 2018).

Maden ve Petrol İşleri Genel Müdürlüğü'nün istatistiki verilerinin endüstriyel hammaddeler üretim kategorisinde yıllara göre Türkiye rutil üretimi (tüvenan) çizelge 7'de verilmiştir (MAPEG, 2019). Değişik kaynaklardan alınan veriler farklı olsa da yakın değerler içermektedir.

8. Titanyum Üretim Prosesi

Titanyum kaynaklarının %93'ü ilmenit mineralinden, kalanı ise ana olarak rutil ve leucoxene minerallerinden oluşmaktadır. Bu minerallerin proses edilmesiyle titanyumca zengin cüruf veya sentetik rutil eldesi ve bunların da prosesi sonucu pigment ve metal elde edilmektedir (Woodruff vd., 2017).

Titanyum cürufu, %75-86 TiO_2 içeren ilmenitin eritilmesiyle elde edilip, yüksek basınçta asit liçiyile %94,5 TiO_2 'e yükseltgenir. Sentetik rutil ise, ikincil ilmenit beslemesinde demirin uzaklaştırılmasıyla elde edilir ve doğal rutil yerine kullanılabilir. Bu proseste TiO_2 içerik yüzdesi %50-55'ten %90-95'e yükselir. İlmenit ve rutilden, pigment ve metal üretiminde kullanım için saf beyaz TiO_2 eldesinde iki ana endüstriyel proses bulunmaktadır (Woodruff vd., 2017).

8.1. TiO_2 Pigment Üretiminde Kullanılan Sülfat ve Klorit Yöntemleri

Günümüzde pigment eldesinde geleneksel sülfat yöntemi ve modern klorit yöntemi kullanılmaktadır.

Sülfat yönteminde, ya %45-65 TiO_2 içeren ilmenit ya da %70-72'lik TiO_2 'li cüruf kullanılmaktadır. Titanyumlu cüruf genellikle demiri bol ilmenitlerin elektrotermal eritilmesiyle demiri ayrıştırarak elde edilir. Cevher sülfürik asitte çözünerek titanil sülfat ve demir sülfat açığa çıkarılır. Titan hidrolizle çökeltilir. Yıkayıp

filtre edildikten sonra TiO_2 elde etmek için kalsine edilir. Demir sülfat atık olarak çıkar.

Klorit yönteminde, kullanılan cevherin TiO_2 içeriğinin çok yüksek (% 90'ın üzerinde) olması gerekir. Bu da rutil ve sentetik rutildir. Sentetik rutil yüksek kaliteli ilmenitten redüksiyon yoluyla kimyasal olarak TiO_2 dışındaki maddelerin ayrıştırılmasıyla elde edilir. Cevher 850°-950°C'de petrol kokuyla ve klor gazıyla işlenerek titanyum tetraklorür ($TiCl_4$ -tickle) üretilir. Bundan da daha sonra ya atmosferik ortamda ya da oksijenle kalsine edilip TiO_2 elde edilir. Yan ürün olarak klorit asit ve klor çıkar. Bunlar tekrar üretim sürecine sokulabildiği gibi yan ürün olarak da değerlidirler.

Du Pont Firması'nın geliştirdiği klorit esasına dayalı bir yöntemde, daha düşük kaliteli cevherler kullanabiliyorsa da daha fazla atık madde çıkmaktadır. Her iki yöntemde de üretilen TiO_2 pigmenti birbirinin yerine kullanılabilir. Ancak anatase mineralli cevher yalnızca sülfat yönteminde kullanılabilir (Yaşar, 1993).

8.2. Titanyum Süngeri (Metal) Üretim Prosesi

Bu üretim teknolojisi Kroll prosesi temelli olup yüksek kalite titanyum süngeri üretimine imkan tanımaktadır (Şekil 1). Titanyum süngerinden, ticari külçe alaşımları; yüksek saflıkta titanyum külçe ve kütükleri; titanyum tozu üretimleri gerçekleştirilmektedir. Kroll prosesinde titanyum tetra kloritin magnezyum ile indirgenmesi sonucu titanyum metali üretilir (Woodruff vd., 2017).

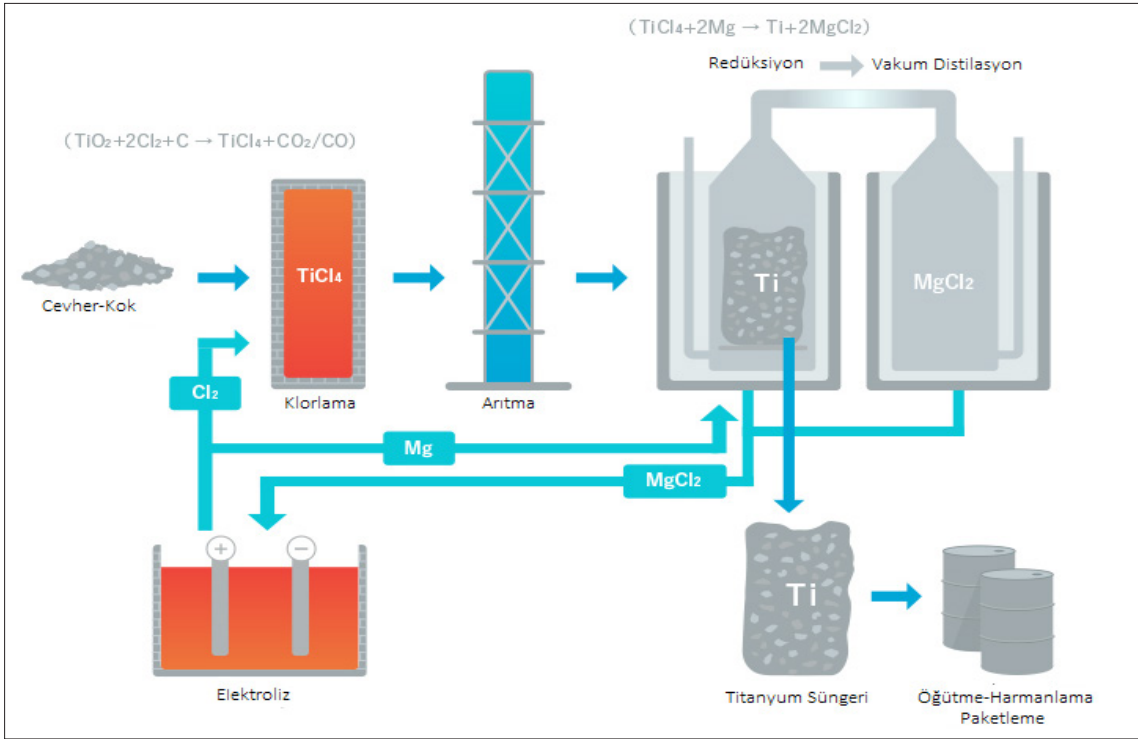
9. Titanyum Dış Ticareti

Gümrük Tarife İstatistik Pozisyonları (GTIP) sınıflamasına göre titanyum içerikli farklı ürün gruplarının ticareti yapılmaktadır. Cevherden metale ve spesifik ürünlere kadar geniş bir ticari yelpaze söz konusudur.

Titanyum ile ilgili ürün tanımlamaları ve tarife numaralarının bir kısmı çizelge 8'de verilmiştir.

Çizelge 7- Yıllara Göre Türkiye Rutil Üretimi (MAPEG,2019)

Yıllar	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Üretim(ton/yıl)	241	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	6.706



Şekil 1- Titanyum Sünger Üretim Prosesi (Toho Titanium Co.,Ltd., 2019)

9.1. Titanyum Cevheri

Titanyum cevherleri ve zenginleştirilmiş titanyum cevherleri kategorisine ait ithalat-ihracat miktarları ve değerleri çizelge 9'da verilmiştir.

Çizelge 9'dan görüleceği üzere, titanyum cevheri ihracat miktarları ve değerleri ithalata görece çok düşüktür. İthalatta ise 2014-2018 yılları ortalaması ~14.000 ton/yıl olup, ortalama ~8 milyon dolar/yıl değere karşılık gelmektedir.

Çizelge 10'da görüleceği üzere 2018 yılı ithalatında 27.304 ton ve ~5,5 milyon dolar değer ile Mısır, 4.658 ton ve ~4,5 milyon dolar değer ile Ukrayna öne çıkmaktadır. Titanyum cevheri 2018 yılı toplam ithalat miktarı 33.668 ton ve değeri ~11,6 milyon dolar olarak gerçekleşmiştir.

9.2. Titan Oksitleri

Saf titan oksitlerinde ihracat, 2014-2018 yılları ortalamalarına göre ~102 ton/yıl karşılığı ~344.000 dolar/yıl olarak gerçekleşmiştir. Aynı

Çizelge 8- Titanyumun Ticari Ürünleri ve Tarife Numaraları (TÜİK, 2019)

Ticari Ürün Tanımı	Tarife Numarası
Titanyum cevherleri ve zenginleştirilmiş titanyum cevherleri	26140000000
Titan oksitleri(saf titan oksitleri)	28230000000
Esası titandioksit olan pigment ve müstahzarlar titandioksit=>%80	32061100000
Esası titandioksit olan pigment ve müstahzarlar titandioksit=<%80	32061900000
Ferro titanyum ve ferro siliko titanyum	72029100000
Titanyumdan çubuklar, profiller ve teller	81089030000
Titanyumdan ince ve kalın borular	81089060000
.....	

Çizelge 9- Yıllara Göre Titanyum Cevheri İthalat-İhracat Miktarları ve Değerleri (TÜİK, 2019)

Yıllar	İhracat (ton)	İthalat (ton)	İhracat (\$)	İthalat (\$)
2014	0,80	9.281,24	4.353	7.809.029
2015	434,28	9.454,76	377.544	7.551.439
2016	73,05	8.468,73	66.201	5.844.147
2017	106,53	8.353,08	84.222	6.365.149
2018	42,24	33.667,67	40.584	11.591.402

Çizelge 10- Ülkelere Göre 2018 Yılı Titanyum Cevheri İthalat-İhracat Miktarları/Değerleri (TÜİK, 2019)

Ülke Adı	İhracat (ton)	İthalat (ton)	İhracat (\$)	İthalat (\$)
Hollanda	0	594	0	689.179
Ukrayna	0	4.658	0	4.453.132
Azerbaycan	3	0	4.488	0
Türkmenistan	25	0	24.245	0
Mısır	8	27.304	4.360	5.457.272
Senegal	0	160	0	84.000
Sierra Leone	0	696	0	672.633
Kenya	7	0	7.491	0
ABD	0	48	0	43.680
Avustralya	0	208	0	191.506
Toplam	42	33.668	40.584	11.591.402

yıl aralıkları baz alındığında ithalat ise ~3.800 ton/yıl karşılığı ~10,5 milyon dolar/yıl olarak gerçekleşmiştir (TÜİK, 2019).

9.3. Esası Titandioksit Olan Pigment ve Ürünler (titandioksit oranı = >%80)

2014-2018 yılları baz alındığında yıllık ortalama 1.639 ton ihracat miktarına karşın ~4,5 milyon dolar ihracat değeri oluşmuştur. Yine aynı yıllar baz alınarak ~125.000 ton/yıl ithalat miktarına karşın ~302 milyon dolar/yıl ithalat değerinin olduğu görülmektedir. 2014-2018 yılları değer bazında ortalama yıllık ihracatın ithalata oranı %1 olup, çok düşük kalmaktadır (TÜİK, 2019).

9.4. Esası Titandioksit Olan Pigment ve Ürünler (titandioksit oranı = <%80)

Bu ürün kategorisinde de 2014-2018 yılları baz alındığında yıllık ortalama 2.900 ton ihracat gerçekleşmiş, değer karşılığı da ortalama 6,9 milyon dolar olmuştur. Aynı yıllar

baz alındığında yıllık ortalama ~19.000 ton/yıl ithalat miktarının karşılığı da ~56 milyon dolar/yıl olmuştur. Bu ürün sınıfında da 2014-2018 yılları değer bazında ortalama yıllık ihracatın ithalata oranı %12 olarak gerçekleşmiştir (TÜİK, 2019).

9.5. Diğer Ürünler

2014-2018 yılları ortalama ithalat değeri, ferro titanyum ve ferro siliko titanyumda 3,7 milyon dolar/yıl iken; titanyumdan çubuklar, profiller ve tellerde 6,3 milyon dolar/yıl; titanyumdan saclar, şeritler ve yapraklarda 4,5 milyon dolar; titanyumdan ince ve kalın borularda 2,4 milyon dolar; titanyumda diğer eşya kategorisinde ise 61,9 milyon dolar olarak gerçekleşmiştir. İhracat değerleri görece olarak oldukça küçük kalmaktadır. Örneğin, "titanyumdan diğer eşya" kategorisinde 2014-2018 yılları ihracat ortalaması 0,67 milyon dolar olarak gerçekleşmiştir (TÜİK, 2019).

10. Fiyat Gelişimi

Titanyum mineral konsantresi ve sünger metalinin fiyatlarının yıllara göre değişimi çizelge 11'de verilmiştir.

2017/11-2018/12 dönemini içeren ilmenit ve rutil bazlı olarak mineral konsantre fiyatlarının gelişimi ise şekil 2,3,4,5'teki grafiklerde verilmiştir. 06.12.2018 tarihi itibarıyla ilmenit konsantre CIF Çin fiyatlarının 164-180 \$/ton aralığında; rutil bulk konsantre %95 TiO₂ CIF Çin fiyatlarının 1000-1100 \$/ton aralığında; rutil Avustralya büyük hacimli pigment konsantre %95 TiO₂ FOB fiyatlarının 1000-1050 \$/ton aralığında; rutil konsantre %95 TiO₂ torbalı Avustralya FOB fiyatlarının ise 1045-1350 \$/ton aralığında gerçekleştiği görülmektedir (Fastmarkets IM, 2018).

TiO₂ pigment, bulk konsantre ürün olarak dünyadaki değişik ticari bölgelere göre fiyat gelişimi şekil 6,7,8,9'daki grafiklerde verilmiştir.

08.11.2018 tarihi itibarıyla TiO₂ pigment/bulk konsantre sınıfında Latin Amerika CIF \$/lb fiyatları 1,3-1,5 aralığında; Kuzey Avrupa için ise CIF \$/ton fiyatları 2.650-3.100 aralığında gerçekleşmiştir. Aynı tarih itibarıyla TiO₂ pigment/bulk konsantre sınıfında ABD CIF \$/ton fiyatları 2.900-3.400 aralığında; Asya CFR \$/ton fiyatları ise TiO₂ pigment/yüksek kalite/bulk konsantre sınıfında 2.400-2.600 aralığında gerçekleşmiştir. Şekil 6,7,8,9 'daki grafiklerde 2016/11-2018/11 dönemini içeren fiyat gelişimi verilmiştir (Fastmarkets IM, 2018).

11. Değerlendirme

Türkiye'nin primer yataklarına yönelik titanyum aramacılığında anortositik kayaçlar ile manyetik anomalilerin çakıştığı yerlerde çalışmalara öncelik verilmesi (Yaşar,1993);

cevher teknolojisine dair çalışmalarda ise; daha önce rezerv tespiti yapılmış olan Manisa-Alaşehir-Azıtepe primer yatağı ile Sakarya-Karasu sahil plaserlerinden pazarlanabilir bazda konsantre cevher kazanımının sağlanması amaçlanmalıdır. İşletmelerin kurulmasını getirecek bu süreçte sanayinin talebi olan hammadde gereksiniminin bir kısmı karşılanabilecek, dolayısıyla üretimde ve teknolojik rekabette süreklilik elde edilecektir.

Primer yataklardan ekonomik üretimde; tenör ve rezerv büyüklüğünün yanı sıra; mineral tane boyu, serbestleşme derecesi ve Fe-Ti oksit minerallerinin eksolüsyon türleri önemli faktörler olarak yer almaktadır. Dünyada %10-75 TiO₂ içerikli primer ilmenit yataklarında üretim yapılmakta ve bu oran %6-9 TiO₂ içeriğine kadar düşebilmektedir. Plaserlerde ise %1 TiO₂ ve üzeri rutil, %5 ve üzeri ilmenit içeren yataklar ekonomik olabilmektedir. Ayrıca plaserlerde yan ürün olarak monazit, zirkon, kalay gibi ağır mineraller de işletilebilmektedir (Sümer, 2009).

Anatas, perovskit ve titanomanyetin gelecekte ekonomik önem oluşturabilecek titanyum mineralleri olduğu belirtilmektedir (Woodruff vd., 2017).

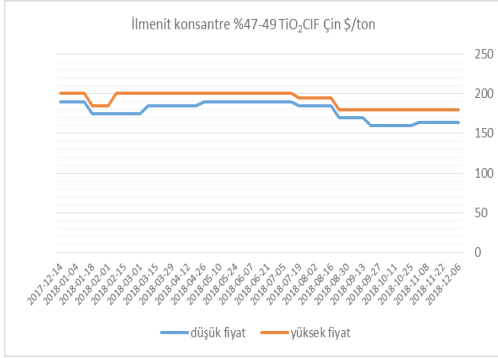
Dünya titanyum talep dengelerine bağlı olarak tenör sınırları da değişmektedir. Ekonomik plaser tipi titan yataklarında üretim için %2-4 ağır mineral içeriği (yoğunluğu 4 gr/cm³'ten büyük ağır mineraller) ve %1 TiO₂ içerikli 1 milyon ton cevher rezervi yeterli görülmektedir (Kayakıran vd., 2010). Ancak elde edilecek rutil konsantresinin en az %95 TiO₂ ve ilmenit konsantresinin %40 TiO₂ içermesi ticari değeri için gereklidir (Açıkalin, 1985).

Titanyum genellikle doğada aktif değildir, titanyum ve titanyum madenciliğinden insan

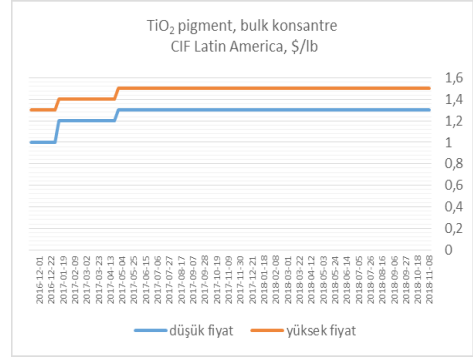
Çizelge 11- Yıllara Göre Titanyum Mineral Konsantre ve Sünger Metali Fiyatları

Titanyum Ürünleri	2014	2015	2016	2017	2018 ^t
*İlmenit, bulk, min. %54 TiO ₂ , FOB Avustralya (\$/ton)	155	110	105	173	
*Rutil,bulk, min. %95 TiO ₂ , FOB Avustralya (\$/ton)	950	840	740	740	990
Titanyum Sünger Metali (\$/kg)	10,00	9,40	9,50	9,70	9,10

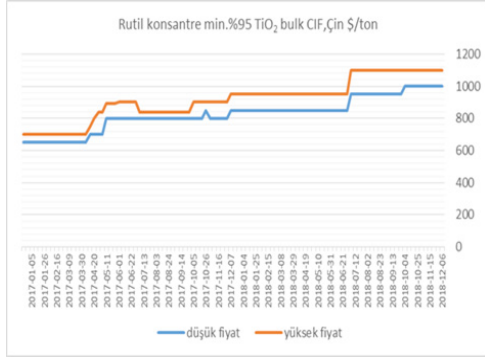
*Yıl sonu düşük ve yüksek fiyat ortalamaları, t: tahmini (Mineral Commodity Summaries , 2019)



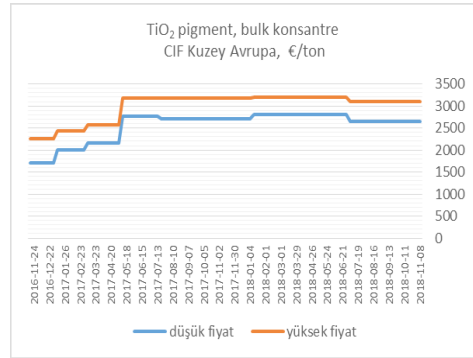
Şekil 2- İlmenit Konsantre Fiyatı



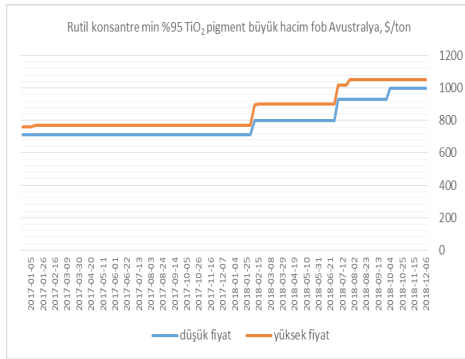
Şekil 6- TiO₂ Pigment Bulk Konsantre Fiyatı



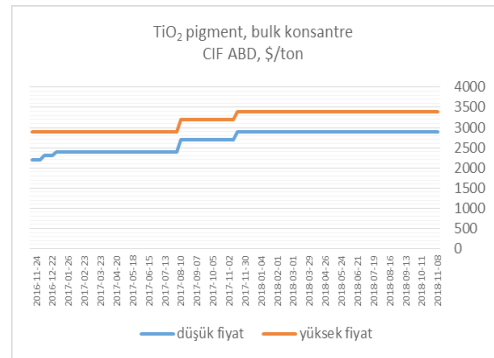
Şekil 3- Rutil Konsantre Fiyatı (%47-49 TiO₂, CIF Çin \$/ton) (min. %95 TiO₂,bulk CIF Çin \$/ton)



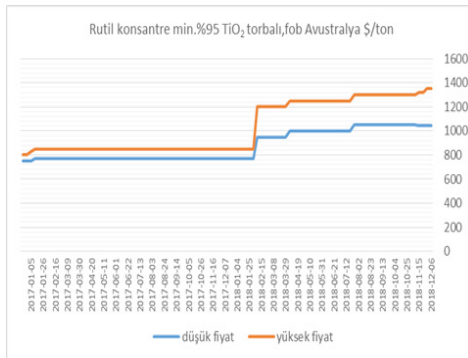
Şekil 7- TiO₂ Pigment Bulk Konsantre Fiyatı (CIF Latin Amerika \$/lb) (CIF Kuzey Avrupa €/ton)



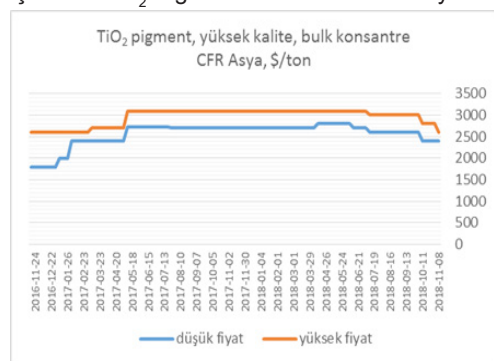
Şekil 4- Rutil Konsantre Fiyatı



Şekil 8- TiO₂ Pigment Bulk Konsantre Fiyatı



Şekil 5- Rutil Konsantre Fiyatı (min. %95 TiO₂ pigment, (min %95 TiO₂, torbalı, FOB Avusturya \$/ton) büyük hacim FOB Avustralya \$/ton)



Şekil 9- TiO₂ Pigment Yüksek Kalite Bulk (CIF ABD \$/ton) KonsantreFiyatı (CFR Asya \$/ton)

sağlığına yönelik riskler minimaldir. Fakat üretim proseslerinde endüstriyel atık oluşabilmektedir (Woodruff vd., 2017).

Özellikle TiO₂ pigment içerikli ürün sınıfında TÜİK verilerine göre ithalat değerlerinin 2014-2018 yılları ortalamasının 360 milyon dolar değere yakın gerçekleştiği göz ardı edilmemelidir. Pigment amaçlı üretime yönelik rezerv ve teknoloji çalışmalarına ağırlık verilerek gerektiğinde yan ürün üretimi de dikkate alınarak yüksek kalite konsantre üretimine yönelik işletmeler hedeflenmelidir.

Titanyum metal; sağlamlığı, hafifliği ve korozyona dirençliği ile öne çıkmaktadır. Yüksek sağlamlık gerektiren uygulamalarda alüminyum, kompozit malzemeler, intermetalikler, çelik ve süper alaşımlar ile rekabet etmektedir. Korozyon direnciyle ilgili uygulamalarda alüminyum, nikel, çelikler ve zirkonyum alaşımları titanyuma alternatif olabilirler. Beyaz pigment özelliğinde ise kalsiyum karbonatlar, kaolin, talk TiO₂'le rekabet etmektedir (USGS, 2019).

Önümüzdeki yıllara ilişkin projeksiyonlara bakıldığında; mineral konsantre tüketiminin 2025 yılına kadar yıllık %4'ün üzerinde büyüyeceği, global TiO₂ pigment tüketiminin de 2025 yılında yıllık %4'ün üzerinde büyüme ile ~9 milyon ton/yıl civarında gerçekleşeceği ve Çin'in 3,6 milyon ton/yıl ile büyük tüketici olacağı tahmin edilmektedir. Boya sektöründe TiO₂ pigment kullanımının liderliğinin devam edeceği beklenmektedir. Havacılık sektöründe titanyum metaline talep sürecektir (Minerals Yearbook, 2015). Havacılıkta sektöründe titanyum kullanımında; ısınma direnci, düşük sıcaklıkta gevrekleşme, yüksek korozyon direnci, düşük termal genleşme ve ağırlığı azaltma faktörleri dikkate alınmaktadır (Inagaki vd., 2014). Örneğin Airbus A320/350 uçuş ağırlığının %12-14'ünü, Boeing-787 ise %15'e yakınına titanyum metal olarak ihtiva etmektedir, daha eski modellerde ise bu oran %4-8'dir (Roskill, 2017) (BOEING, 2019). Önümüzdeki 20 yılda havacılık sektöründeki uçak sayısının iki kat artarak ~43.000'e çıkacağı ve piyasa değerinin de ~6 trilyon dolar olacağı beklenmektedir (ITA, 2018). Dolayısıyla jet motorlarında 2015 yılında 15.000 ton/yıl olan titanyum metal tüketiminin 2022 yılında 18.000 ton/yıl'ın üzerine çıkacağı tahmin edilmektedir.

Titanyum metalinin endüstriyel kullanımının ise 2015'te 23.000 ton/yıl değerinden 2020 yılında 30.000 ton/yıl civarında olacağı beklenmektedir (Minerals Yearbook, 2015).

Küresel titanyum ihtiyacı büyük ölçüde TiO₂ pigment talebine, titanyum metal ihtiyacı ise büyük ölçüde yeni hava araçlarının yapımına bağlı olacaktır. Titanyum mineral konsantre üretiminin yaklaşık %5'i titanyum metaline üretimine yönelik kullanılmaktadır. Küresel ekonomik koşulların gelişmesi titanyum metal ve TiO₂ pigmenti ihtiyacını artıracaktır (Woodruff ve Bedinger, 2013).

Titanyum metalinin kullanıldığı alanlar dikkate alındığında katma değeri yüksek ürün üretimine yönelik teşvikler ve yatırımlar yerinde olacaktır [2018 yılında TÜBİTAK Mühendislik Araştırma Destek Grubu'nun (MAG) havacılık ve uzay sektörüne yönelik yenilikçi imalat teknolojilerinin geliştirilmesine yönelik çağrı programı ki odaklanması istenilen konulardan biri titanyum alaşımlarına yönelik olup dikkat çekicidir]. Yine TÜBİTAK Malzeme Enstitüsü'nün Kritik Metalik Malzemeler Çalışma Grubu'nun çalışma alanlarından biri implant ve motor uygulamalarına yönelik titanyum teknolojileridir. Uzun vadeli planlamalar neticesinde; disiplinli ve sürekliliği olan çalışmaların önemi açıktır. Eğitimsel nitelik, uluslararası sektörel işbirliği bu sürecin vazgeçilmezidir.

Gelişen sanayi ile birlikte, ülkemizin titanyum konsantre ve metal ihtiyacı her geçen gün artmaktadır. Ancak, ihracatın ithalatı karşılama oranları çok yetersiz kalmaktadır. Bu nedenle, titan aramacılığına yönelik çalışmalar ve cevher kazanımına yönelik ARGE yatırımları artırılmalıdır.

Değinilen Belgeler

Açıkalın, İ. 1985. Demirci-Gördes (Benlieli Ovası) Turgutlu-Salihli ve Eşme bölgeleri titan etüt ve aramaları raporu. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Rapor No: 7821, 138 s. Ankara

BOEING (The Boeing Company). https://www.boeing.com/commercial/aeromagazine/articles/qtr_4_06/article_04_2.html. 20 Mayıs 2019.

- Encyclopedia Britannica. <https://www.britannica.com/science/titanium>. 20 Mayıs 2019.
- Fastmarkets IM (Industrial Minerals). <https://www.indmin.com/PricingDatabase.html>. 06 Aralık 2018.
- Gabriele, M.C. (Ed.). 2011. Ti facts. ITA (International Titanium Association) Education Committee, 24 p.
- Geoscience Australia. <http://www.ga.gov.au/education/classroom-resources/minerals-energy/australian-mineralfacts/titanium>. 20 Mayıs 2019.
- Inagaki I., Takechi T, Shirai Y., Ariyasu N. 2014. Application and features of titanium for the aerospace industry. Nippon Steel&Sumitomo Metal Technical Report No: 106, pp.22-27.
- ITA (International Titanium Association). <https://cdn.ymcdn.com/sites/titanium.site-ym.com/resource/resmgr/Docs/DataSheetCorrosion.pdf>. 27 Mayıs 2019.
- ITA (International Titanium Association). <https://cdn.ymaws.com/titanium.org/resource/resmgr/Docs/DataSheetMedical.pdf>. 27 Mayıs 2019.
- ITA (International Titanium Association). <https://cdn.ymaws.com/titanium.org/resource/resmgr/Docs/DataSheetAerospace.pdf>. 20 Mayıs 2019
- ITA (International Titanium Association) https://cdn.ymaws.com/titanium.org/resource/resmgr/02_jens_folder/titanium_usa_2018_executive_.pdf. 20 Mayıs 2019.
- ITA (International Titanium Association). 2011. <https://cdn.ymaws.com/titanium.org/resource/resmgr/Docs/TiFacts.pdf>. 28 Mayıs 2019.
- Kuruçelik, M., Doksanbir, T. 2017. Samsun-Çarşamba ve Terme yöresi titanyum ruhsat sahaları maden jeolojisi raporu. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Rapor No: 13563, 67 s., Ankara (yayımlanmamış).
- Kartalkanat, A. 2012. Anadoluda madencilik tarihi-3 Cumhuriyet dönemi madencilik. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Rapor No: 11587, 71 s., Ankara (yayımlanmamış).
- Kayakıran, S., Çokyaman, S., Kırkoğlu, M. 2010. Türkiye geneli titan arama projesi. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Rapor No: 11410, 63 s., Ankara (yayımlanmamış).
- Kleinsorge, H. 1940. Karadeniz sahilinde Şile havalisinde(İstanbul Vilayeti) bulunan bir cevher kumu hakkında yapılan jeolojik tetkikata ait rapor. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Rapor No: 1050, 19 s. Ankara (yayımlanmamış).
- Kuruçelik, M., Kırkoğlu, M., Doksanbir, T., Erkal, T. 2017a. Sakarya-Kocaali-Kuyumculu AR-723987(ÖİR-9972) nolu titanyum sahası maden jeolojisi raporu. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Rapor No: 13660, 37 s., Ankara (yayımlanmamış).
- Kuruçelik, M., Kırkoğlu, M., Doksanbir, T., Erkal, T. 2017b. Sakarya-Karasu AR-68514 (ÖİR-8880) nolu titanyum sahası maden jeolojisi raporu. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Rapor No: 13661, 177 s., Ankara (yayımlanmamış).
- Kuruçelik, M., Kırkoğlu, M., Doksanbir, T., Erkal, T. 2017c. Sakarya Karasu-Ihsaniye ÖİR-9812 (AR-72386) nolu titanyum sahası maden jeolojisi raporu. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Rapor No: 13664, 128 s. Ankara (yayımlanmamış).
- Housley, K.L. 2007. Black Sand, the history of titanium. Metal Management Aerospace, Inc, 148 p., Hartford, USA.
- MAPEG (Maden ve Petrol İşleri Genel Müdürlüğü). <http://www.mapeg.gov.tr/istatistik.aspx>. 20 Mayıs 2019.
- Mineral Commodity Summaries . 2019. USGS (The United States Geological Survey). <https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs/2019/mcs2019.pdf>
- MTA (Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü). <http://www.mta.gov.tr/v3.0/bilgi-merkezi/mineraller>. 20 Mayıs 2019
- MTS (Hebei Metals Industrial Limited). <http://www.metalspiping.com/titanium-used-for-seawater-desalination.html>. 20 Mayıs 2019
- Roskill. 2017. <https://roskill.com/news/titanium-metal-market-emerges-past-excesses-changes-anticipated/>. 30 Mayıs 2019
- Sümer, D. Ö. 2009. Manisa-Alaşehir-Belenkaya mevki ÖNİR 9713 nolu titanyum aramaları ruhsat sahası etüdü. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Rapor No: 11292, 144 s. Ankara (yayımlanmamış).

- Toho Titanium Co.,Ltd. <http://www.toho-titanium.co.jp/en/products/sponge.html>. 20 Mayıs 2019
- TÜİK (Türkiye İstatistik Kurumu). <https://biruni.tuik.gov.tr/disticaretapp/menu.zul>. 25 Nisan 2019.
- USGS (The United States Geological Survey). 2018. 2015 Minerals yearbook, titanium (advance release). <https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/titanium/myb1-2015-titan.pdf>, 15 p.
- USGS (The United States Geological Survey). National Minerals Information Center, titanium statistics and information. Annual Publications. 2019. <https://www.usgs.gov/centers/nmic/titanium-statistics-and-information>. 31 Mayıs 2019
- USGS (The United States Geological Survey). 2019. Mineral commodity summaries 2019, pp 174-177.
- Woodruff, L. G., Bedinger, G. M. 2013. USGS (The United States Geological Survey). <https://pubs.usgs.gov/fs/2013/3059/pdf/fs2013-3059.pdf>, 2 p.
- Woodruff, L. G., Bedinger, G.M, Piatak, N. M. 2017. USGS (The United States Geological Survey). <https://pubs.usgs.gov/pp/1802/tpp1802t.pdf> . 23 p. Virginia.
- World Mining Data. 2018. <http://www.world-mining-data.info/wmd/downloads/PDF/WMD2018.pdf>, 250 p. Vienna.
- Yaşar, M. 1993. Titanyum oluşumu, jeolojisi, ekonomisi. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Rapor No: 9430, 50 s. Ankara (yayımlanmamış).
- Yücel, M.B. 2018. Dünyada ve Türkiye'de titanyum. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Fizibilite Dairesi Başkanlığı Maden Serisi 9, 5-9.