

YAPI SEKTÖRÜNDE ENDÜSTRİYEL HAMMADDELER

EDİTÖR

Dr. Öğr. Üyesi Serhan HANER

YAZARLAR

Prof .Dr. Bülent YILMAZ

Dr. Öğr. Üyesi Bülent HANER

Dr. Öğr. Üyesi Deniz AKBAY

Dr. Öğr. Üyesi Gökhan EKİNCİOĞLU

Dr. Öğr. Üyesi Serhan HANER

Dr. Ebru BAŞPINAR TUNCAY

Dr. Hilal ÖZER TOKLU

Öğr .Gör. Murat SERT

Öğr .Gör. Serdar KORKMAZ



İKSAD

Publishing House

YAPI SEKTÖRÜNDE ENDÜSTRİYEL HAMMADDELER

EDİTÖR

Dr. Öğr. Üyesi Serhan HANER

YAZARLAR

Prof .Dr. Bülent YILMAZ

Dr. Öğr. Üyesi Bülent HANER

Dr. Öğr. Üyesi Deniz AKBAY

Dr. Öğr. Üyesi Gökhan EKİNCİOĞLU

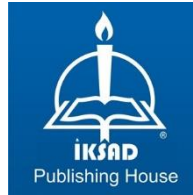
Dr. Öğr. Üyesi Serhan HANER

Dr. Ebru BAŞPINAR TUNCAY

Dr. Hilal ÖZER TOKLU

Öğr .Gör. Murat SERT

Öğr .Gör. Serdar KORKMAZ



Copyright © 2022 by iksad publishing house
All rights reserved. No part of this publication may be reproduced,
distributed or transmitted in any form or by
any means, including photocopying, recording or other electronic or
mechanical methods, without the prior written permission of the publisher,
except in the case of
brief quotations embodied in critical reviews and certain other
noncommercial uses permitted by copyright law. Institution of Economic
Development and Social
Researches Publications®
(The Licence Number of Publisher: 2014/31220)
TURKEY TR: +90 342 606 06 75
USA: +1 631 685 0 853
E mail: iksadyayinevi@gmail.com
www.iksadyayinevi.com

It is responsibility of the author to abide by the publishing ethics rules.
Iksad Publications – 2022©

ISBN: 978-625-8377-88-0
Cover Design: İbrahim KAYA
June / 2022
Ankara / Turkey
Size = 16x24 cm

BÖLÜM 4

TOPRAK SANAYİ HAMMADDELERİ: PİROFİLLİT VE TALK

Dr. Öğr. Üyesi Serhan HANER¹

¹ Afyon Kocatepe Üniversitesi, Dinar Uygulamalı Bilimler Yüksekokulu, Endüstriyel Tasarım Bölümü, Afyonkarahisar, Türkiye. shaner@aku.edu.tr, ORCID ID: 0000-0002-8579-078X

GİRİŞ

Yapı sektöründe farklı özelliklere sahip çok sayıda endüstriyel hammadde kullanılmaktadır. Endüstriyel hammaddelerin yapı sektörü içerisindeki kullanım alanlarını belirlemek için en genel sınıflandırma şekli mineral taş ve toprak ürünleri, kimyasal ürünler ve yalıtım malzemeleri olarak yapılabilir. Gümrük Tarife İstatistik Pozisyonu (GTİP) sınıflandırmasına göre taş ve toprağa dayalı sanayi sektörünün ürünleri çimento-klinker, kireç, alçı, cam, seramik kaplama malzemeleri, seramik sağlık gereçleri, teknik seramik, sofa ve süs eşyası, refrakterler, tuğla-kiremit, hazır beton, prefabrik yapı elemanları olarak sınırlandırılmaktadır (Devlet Planlama Teşkilatı, 2008). Toprağa dayalı sanayi sektörü içerisinde kullanılan hammaddelerden ilk akla gelenleri seramik killeri, kaolen, feldispat, nefelinli siyenit, talk, pirofillit, vollastonit, kuvars kumu, kuvars, kuvarsit, marn, kalker, şamot, şiferton ve dolomittir. Çalışmaya konu olan pirofillit (özellikle yaprağımsı olan) ve talk benzer fiziksel özellikler göstermektedir ve seramik karo gibi ürünlerde birlikte kullanılabilir. Ancak tamamen farklı alanlarda da kullanılırlar.

Hans Rudolph Hermann pirofillit ismini 19. yüzyılın ikinci çeyreğinde, ateş ve yaprak anlamlarına gelen “pyros” ve “phyllos” kelimelerinin birleşiminden türetmiştir. Pirofillit yaprağımsı morfolojinin yanı sıra, küçük kristallerin masif agregaları ve büyük iğnemsiz kristaller olarak doğada oluşmuş olan sulu alüminyum silikattır ($Al_2Si_4O_{10}(OH)_2$). Saf veya safa yakın formdaki pirofillit, doğada oluşumu itibarıyla veya ticari ürün olarak nadir bulunur. Pirofillit (CASRN 12269-78-2, EINECS 602-803-7) monoklinik ve triklinik türdeki kristal sistemlerinde oluşmuş teorik molekül ağırlığı 360.31 g/mol olan bir fillosilikattır. Ticari pirofillit yaygın olarak kuvars, mika, kaolinit, klorit, smektit, illit, epidot, apatit, rutil, pirit, topaz, hematit, diaspor, andaluzit, disten ve manyetit gibi minerallerle ilişkilidir. Teorik kompozisyonu ağırlıkça %66.7 SiO_2 , %28.3 Al_2O_3 ve %5 H_2O 'den oluşmasına rağmen çok nadir saf olarak bulunur. Beyaz, sarı, soluk mavi, grimsi veya kahverengimsi yeşil renklerde olabilir. İnci parlaklığına sahiptir ve ince kesitte renksizdir. Saf olduğunda sahip olduğu kendine özgü özellikleri nedeniyle birçok endüstride tercih edilir. Refrakter, seramik, çimento, yapı malzemesi, fiberglas, plastik, kâğıt, boya, kauçuk, tarım ilacı, gübre ve farmasötik endüstrilerinde pirofillitin tercih edilmesinin sebepleri sahip olduğu kimyasal inertlik, düşük genleşme katsayısı, düşük yığın yoğunluğu, düşük elektrik iletkenliği, düşük ısı iletkenliği, düşük ısı yük deformasyonu, yüksek refraktif davranışı, yüksek ergime noktası, yüksek dielektrik gücü, yüksek korozyon direnci gibi özelliklerinden kaynaklanmaktadır. Ayrıca pirofillit kile göre daha düşük genleşme katsayısına ve termal iletkenliğe sahip olduğu için refrakter uygulamalar için uygundur. Pirofillit bir kil minerali gibi seramik, çömlek ve dolgu malzemesi gibi birçok endüstriyel uygulamada kaolinit mineral grubu yerini alabilir. Çünkü kaolinit mineral grubu oldukça pahalı ve hızlı bir şekilde

tükenmektedir. Buna ek olarak pirofillit, asbest gibi toksik minerallerden bağımsız ve güvenli olduğu için özellikle farmasotik ve medikal uygulamalarda dolgu malzemesi olarak talk yerine kullanılabilir (Ciullo, 1996; Deer ve ark., 2013; Devlet Planlama Teşkilatı, 2001; European Chemicals Agency, 2021a; Hermann, 1829; Maaz ve ark., 2021; Mineralogical Society of America, 2001a; Tomalino, 2021; Virta, 1996).

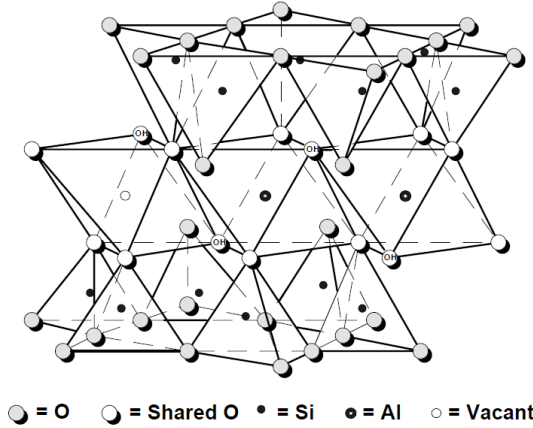
Georgius Agricola (Georg Bauer) bir rivayete göre talk ismini 16. yüzyılın ikinci çeyreğinde, tozunun rengine isnat etmek için Arapça saf anlamına gelen “talq” kelimesinden türetmiştir. Talk partikülleri karakteristik olarak yaprağımsı morfolojiye sahip sulu magnezyum silikattır. Talk (CASRN 14807-96-6, EINECS 238-877-9) pirofillit gibi monoklinik ve triklinik türdeki kristal sistemlerinde oluşmuş teorik molekül ağırlığı 379.27 g/mol olan bir fillosilikattır. Ticari talk yatakları klorit, serpantin, prizmatik tremolit, antofillit, manyezit, kalsit, kuvars, dolomit, pirit, mika ve diyopsit gibi mineraller içerebilmektedir. Teorik kompozisyonu ağırlıkça %63.36 SiO₂, %31.89 MgO ve %4.75 H₂O olmasına rağmen ticari talkların içerdiği safsızlıklar nedeniyle bu değerler farklılık göstermektedir. Açığtan koyu yeşile, kahverengi, beyaz renklerde olabilir. İnci parlaklığına sahiptir ve ince kesitte renksizdir. Talk içeren masif bir kayaca steatit denir. Saf olmayan masif çeşidi ise sabuntaşı olarak adlandırılır. Talkın sanayinin birçok alanında ticari olarak kullanılmasının nedenleri yumuşaklığı, saflığı, koku tutması, beyazlığı, parlaklığı, nem içeriği, yağ ve gres adsorpsiyonu, kimyasal inertliği, düşük elektrik iletkenliği, yüksek dielektrik gücü ve yüksek termal iletkenliği gibi özelliklerinden dolayı olmaktadır. Talkın ana tüketim alanları, seramik, boya, plastik ve kâğıt sanayileridir (Ciullo, 1996; Deer ve ark., 1966; Devlet Planlama Teşkilatı, 1991; Devlet Planlama Teşkilatı, 2001; European Chemicals Agency, 2021b; Mineralogical Society of America, 2001b; Virta, 1996; Zazenski ve ark., 1995).

1. OLUŞUM VE ÖZELLİKLER

1.1. Pirofillit

Pirofillit, mikalar gibi oktahedral düzendeki bir Al iyonu tabakasının iki SiO₄ tetrahedra tabakaları arasına sıkıştırılması ile oluşan tabakalı bir yapıdır. Mevcut oktahedral bölgelerin üçte ikisi Al tarafından doldurulur. Geriye kalan kısımlar boş olarak kalırlar. Bu şekilde oluşan katmanlar elektriksel olarak nötr olduğundan dolayı aralarına ilave katyonlar yerleşemezler. Tabakalar arasındaki zayıf van der Waals bağları çok düşük sertlik ve belirsiz bir kristal yapıya yol açmaktadır. Ayrıca istiflenmede de düzensizlik sergilemektedir. En yaygın politipi çift tabakalı olup, monoklinik (2M₁) sistemde kristalleşir. Fakat tek tabakalı triklinik (1T_c) yapı da oluşur. Ancak saf triklinik politipi doğada nadir olarak bulunur. Pirofillitler ideal kimyasal formüllerinden çok az sapma gösterirler. Az miktarda Al ile Si ve Mg, Fe²⁺, Fe³⁺ ile Al yer değiştirebilir. Küçük miktarlarda Ca, Na ve K mevcut olabilir. Pirofillitin

bazal aralığı yaklaşık olarak 9.3 Å olup, triklinik ve monoklinik politiplerinin tabakalararası mesafesi sırasıyla 4.3 Å ve 4.0 Å'dur. Pirofillitin ferrik demir analogu ferripirofillit ($\text{Fe}_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH}_2)$) olarak raporlanmıştır (Chukhrov ve ark., 1979; Hita ve Kitagawa, 2006; Gelest, 2016). Pirofillitin kristal yapısı Şekil 1'de görülmektedir.



Şekil 1: Pirofillitin kristal yapısı (Ciullo, 1996)

Pirofillit yataklarının şekilleri kabaca masif, levha, mercek ve damar olarak ayrılabilir. Masif maden yatakları en geniş ve en yaygın olanıdır. Pirofillit genel olarak hidrotermal alterasyon ile oluşur. Birincil kökeni şu şekilde oluşur: Birinci olarak, granitlerle beraber bulunan riyolit, dasit, andezit ve tüfler gibi volkanik kayaların hidrotermal alterasyonu ısı kaynağı varsayılır. İkinci olarak, ısı kaynağı gibi davranan kuvars porfir gibi intrüzif kütlelerinin üst kısımları hidrotermal alterasyondan etkilenir. Üçüncü olarak, metalik cevher yataklarının alterasyon bölgesidir (Hita ve Kitagawa, 2006).

Pirofillit pazarına seramik ve refrakter kullanımları hâkimdir. Bu nedenle mevcut ürünler, mineraloji ve ortaya çıkan pazara uygunluğu açısından karakterize edilir. Pirofillitin refrakter kalitesi, seramik kalitesi, tarımsal kalite ve dolgu kalitesi gibi çeşitleri bulunmaktadır.

Refrakter kalitesindeki pirofillit düşük alkali içeriğine (%1'den az) sahip olmalıdır. Ayrıca mika içeriğinin düşük olması da gerekir. Alkaliler pirofillitin ergime derecesini düşürür. Ergitici (Fe_2O_3 , FeO , TiO_2) içeriği %1'den düşük olmalıdır.

Seramik kalitesi için yüksek alkali içeriği tercih edilir. Yani refrakterlerde kullanımının aksine pirofillitin yüksek mika içermesi burada bir avantaj sağlar. Yüksek alkali içeriği sayesinde düşük ergime sıcaklığı sağlanır. Eğer sağlık gereçleri gibi renk değerlerinin önemli olduğu alanlarda kullanılacaksa, renk veren oksitlerin düşük seviyelerde olması istenir.

Tarımsal kalitedeki pirofillit, tarım ilacı tozunda etken maddeler için taşıyıcı olarak kullanılmaktadır. Pirofillitin nötr pH değeri, inertliği ve su

sevmez özellikleri tarımsal kullanım için önemli olan doğal niteliklerindedir. Bunun ötesinde, pirofillitin incelik ve şişme değerleri gibi performans özellikleri bu pazara kabulünü etkilemektedir.

Dolgu kalitesi için, pirofillit ve mika bileşenlerinin ince levhamsı yapısı sayesinde kaolin ya da talka benzer şekilde fiziksel özelliklere katkıda bulunması beklenebilmektedir. Buna rağmen polimerlerde kuvarsın sebep olduğu aşınma nedeniyle ABD’de pirofillitin kullanımı sınırlıdır. Boyalarda pigment uzatma için ince öğütme ve iyi renk değerleri gereklidir. Nispeten daha kaba bir öğütme ile yüksek yapılı kaplamaların güçlendirilmesinde kullanılabilir. Duvar panosu ek yeri yapıştırıcısı uygulamalarında öğütme, renk ve su absorpsiyonu anahtar özelliklerdir (Ciullo, 1996).

Pirofillitin kendine özgü kimyasal ve fiziksel özellikleri birçok endüstriyel uygulamada talk ve kaolinit gibi çeşitli hammaddelerin yerine kullanılabilmesini sağlamaktadır. Yüksek saflık değerlerine sahip pirofillit nadir olarak bulunur. Yüksek saflıktaki pirofillite örnek olarak Tablo 1’de görülen Güney Kore ve Rusya’daki bazı yataklar verilebilir.

Tablo 1: Güney Kore ve Rusya’daki bazı pirofillit yataklarının kimyasal kompozisyonu

Kimyasal Kompozisyon %	Güney Kore		Rusya	
	Gussi	Nohawado	Chistugor	Polar Urol
SiO ₂	66.2	67.6	67	66.9
Al ₂ O ₃	28.7	28.9	28.2	27.7
FeO	0.1	0.3	*md	0.3
K ₂ O	*md	0.1	0.1	*md
Na ₂ O	0.2	0.2	*md	*md

*md=mevcut değil

Pirofillitin kimyasal olarak inertliği, elektriksel olarak nötrlüğü, asit ve alkalilere karşı çok yüksek direnç göstermesi endüstriyel uygulamalar için en önemli kimyasal özelliklerindedir. Pirofillit kristalleri yaprağımsı ya da lifli (asbest gibi) olabilir. Öğütüldüğü zaman bu kristaller plakalar/pullar veya lifler şeklinde ayrılırlar. Her bir pul veya yaprakta jipsit [Al(OH)₃] tabakaları tarafından sıkıştırılan iki silikat tabakasından oluşmuş levha gibi bir yapı vardır. Pirofillit özellikle boya endüstrisinde dolgu olarak kullanılacağı zaman yaprağımsı yapısı arzu edilir. Pirofillit levhaların silikat tabakalarından kaynaklanan bu yaprağımsı biçim tabakaların çatlak direncini artırır, kurumasına yardımcı olur ve iyi dağılımı destekler.

Pirofillit Mohs sertlik skalasına göre 1-2 sertliğine sahiptir. Bu nedenle pirofillit çok yumuşaktır. Pirofillitin farmasötik endüstrisi gibi birçok endüstriyel uygulamada kullanılabilmesi, sabunumsu ve pürüzsüz bir yüzeye sahip olması sayesinde olmaktadır. Yüksek bir özgül ağırlık değerine sahiptir. Oda sıcaklığındaki özgül ağırlığı 2.90 gr/cm³ değerine kadar çıkabilmektedir.

Pirofillitin içerisindeki demir oksit gibi safsızlıklara bağlı olarak beyaz renkten kahverengimsi yeşil renge kadar birçok farklı renklerde olabilir. Ayrıca yaprağımsı çeşitleri inci gibi parlaklığa sahiptir. Kırılma endeksi 1.55-1.60 aralığında değişmektedir. İyi mekaniksel özelliklere sahip olduğu için dayanıklı yapıların üretilmesi sağlanır. Buna ek olarak kötü bir iletken ve yüksek dielektrik gücüne sahiptir. Önemli özelliklerinden bir diğeri de doğal hidrofobik olmasıdır. Pirofillitin hidrofobik özelliği çok sayıda farklı çatı kaplama levhalarının üretiminde sızdırmazlık ve su geçirmezlik sağlar. Ek olarak, özellikle lifsi tipteki öğütülmüş pirofillit yüksek yağ absorpsiyon kabiliyetine sahiptir. Bu özelliği pirofillitin boya endüstrisinde dolgu pigmenti olarak kullanılmasına olanak verir.

Termal özellikler pirofillitin en önemli niteliğidir. Hem suyun hem de minerallerin termal özelliklerinin avantajlarını birleştirir. Suya benzer şekilde pirofillitte (metalin aksine) ısıyı uzun süre korur ve uzun bir süre boyunca yavaşça yayar. Ancak metaller gibi çabuk ısınır. Pirofillitin bu davranışı zayıf termal iletkenlik ile yüksek özgül ısıyı birleştirmesinden kaynaklanır. Zayıf termal iletkenlik, pirofillit tarafından absorbe edilen ısının hızlı akmadığı anlamına gelir. Yüksek özgül ısı ise bir ünitenin sıcaklığı yükselirse, bir pirofillit kütlesinin büyük miktarda ısıyı absorbe edebileceği anlamına gelir. Bu özellikler pirofillit kullanılan refrakter ürünlerin dayanımını artırır.

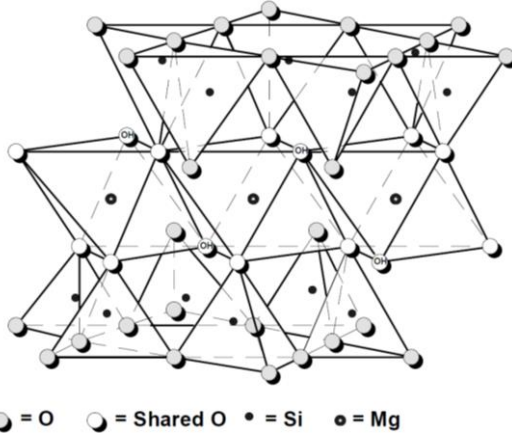
Pirofillit, farklı sıcaklıklarda ısıtıldığında birkaç termal dönüşüm aşamasından geçer. 450°C'nin altındaki sıcaklıklarda yüzeydeki, gözeneklerdeki ve/veya adsorbe olmuş su uzaklaşır. Mineral bünyesindeki bileşik suyun hidroksil bağının kopması sonucu uzaklaşması yani dehidroksilasyon işlemi 780°C-1100°C arasında gerçekleşir. Amorf SiO₂'nin oluşumu 950°C-1100°C arasında, amorf SiO₂'den kristobalitin kristalleşmesi ve mullit fazının oluşumu ise 1200°C'nin üzerindeki sıcaklıklarda olmaktadır. Oluşan bu mullit fazı düşük genleşme katsayısı, düşük termal iletkenlik ve erimiş metallerden kaynaklanan korozyona karşı direnç gibi kendisine özgü teknik özellikler içerir. Bu yüzden mullit refrakter malzeme olarak ve yer ve duvar karoları gibi seramik uygulamalarında feldispat ile silikanın yerine kullanılır (Maaz ve ark., 2021).

Suda çözünmez. Pirofillitin 20°C'deki buhar basıncı <0.01 mm Hg, kırılma endeksi 1.55-1.60, parlaklığı 66-92 olarak belirlenmiştir. Optik açısı (2V açısı) 53°-62° arasındadır (Mineralogical Society of America 2001a; George, 2016; Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, 2021a).

1.2. Talk

Talk, ideal kimyasal kompozisyonu Mg₃Si₄O₁₀(OH)₂ olan beyaz, gri veya soluk yeşil renklerdeki ve sabun gibi hissettiren yumuşak kristalin, yaprağımsı ya da kompakt yapıya sahip olarak bulunan bir sulu magnezyum silikat mineralidir.

Talkın yapısı pirofillit gibidir. Fakat karışık tabakalardaki oktahedral bölgeler alüminyumun yerine magnezyum ile bağlanmıştır. Eğer silika halkalarının bir tabakası krizotilin magnezya yönüne bağlıysa, oktahedral tabakanın her iki yanındaki eğilme yönelimleri birbirlerini boşa çıkartır. Mineral yapı düzlemsel kalır ve pirofillite benzer tabakalı trioktahedral bir yapı ortaya çıkar. Pirofillite olduğu gibi, bireysel talk tabakaları zayıf van der Waals kuvvetleri ile bir arada tutulur. Pirofillite nazaran talk, kaygan ve tabakalı yapısı sayesinde kendine özgü yumuşak ve kayganlık hissi vermektedir. Talk ve pirofillitin X-ışını kırınımı analizi sonuçları birbirlerine benzerdir. Ancak talkın *d* değerleri daha büyüktür. d_{060} , talk için 1.52 Å iken pirofillitte 1.495 Å değerindedir. Yapısal katmanlar arasında değiştirilebilir kationlar ve su molekülleri bulunmadığından, temel boşluklar organik sıvılardan veya 700°C'ye kadar ısıtmadan etkilenmez (Ciullo, 1996; Deer ve ark., 1966). Talkın kristal yapısı Şekil 2'de görülmektedir.

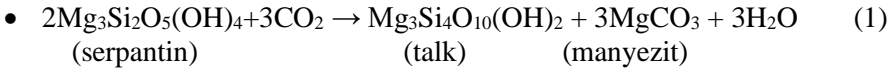


Şekil 2: Talkın kristal yapısı (Ciullo, 1996)

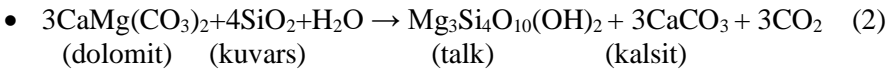
Talk oluşumu için en uygun alanlar magmatik kayalar ile sedimanter kayaç kontaktları, fay ve makaslama zonlarıdır (Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, 2021b). Talkın iki yaygın parajenezi ultrabazik kayaların hidrotermal alterasyonu ve silisli dolomitlerin düşük dereceli termal metamorfizması ile ilgilidir. Ultrabazik kayalarda talk yaygın olarak mercek şekilli damarlar olarak ve fay ve makaslama düzlemleri boyunca oluşur. Bazı durumlarda hidrotermal çözeltiler orijinal ultrabazik bünyeden ayrılabilir. Fakat diğerlerinde dış bir kaynak gösterilir. Steatitleşme (ultrabazik kayaların hidrotermal alterasyon sonucu en az %90 talk (steatit) içeren bir kayaca dönüşmesi) yaygındır. Fakat serpantinleşme (olivin piroksen gibi ultramafik minerallerin ve/veya bu minerallerce zengin ultramafik kayaların hidrotermal alterasyona uğrayarak bozunma veya başkalaşması sonucu serpantin grubu minerallere veya serpantinite dönüşmesiyle sonuçlanan bir süreç) ile her zaman ilişkili değildir (Zazenski ve ark., 1995;

McCarthy ve ark., 2006; Sankur, 2022). Farklı şekillerde oluşum gösteren talk serpantin, antofillit ve tremolit ile de yakından ilişkilidir. Serpantin karbonatlaşması ile talk, dolomit veya manyezitin çözülmüş silisli ortamda bozuşması ile veya serpantin ya da kuvarsitin uygun ortamlarda dönüşümü sonucunda oluşmaktadır. Talkın farklı oluşum şekilleri kısaca Eşitlik 1-3'de verilen denklemlerle tanımlanabilir.

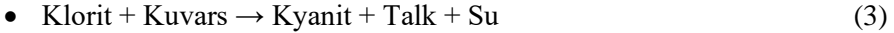
Serpantin talk dönüşümü magnezyanın ayrılması ve silikanın ilavesiyle ya da CO₂ ilavesiyle olabilir:



Talk, dolomit veya manyezitin çözülmüş silisli ortamda bozuşmasıyla oluşumu:



Serpantin ya da kuvarsitin uygun ortamlarda dönüşümüyle oluşumu:



Talk yataklarında kalsit, dolomit, diyopsit, kuvars, magnetit, serpantin, manyezit, limonit, tremolit-aktinolit, pirit, olivin, mika, amfibol, piroksen, nikel ve biyotit gibi mineraller bulunabilmektedir. Talk yatakları masif talk yatakları, sert yapılı talk yatakları, yumuşak levha yapıdaki talk yatakları ve karışık talk yatakları olarak dört gruba ayrılabilir. Masif talk yatakları, masif, kriptokristalin, kesilebilir, oyulabilir ve işlenebilir özelliklere sahiptir. Bu tür talk minerali 6 saat boyunca 980°C sıcaklıkta pişirilirse lava olarak adlandırılan klinoenstatit kristaline dönüşür. Sert yapılı talk yatakları, farklı oranlarda antofillit, kalsit, dolomit, tremolit ve serpantin içeren tabakalı veya masif şekilde oluşmuş kayaç halindedir. Karakteristik olarak %6-10 arasında değişen oranlarda CaO içermektedir. Yumuşak levha yapıdaki talk yatakları, taşınıp yığılarak oluşmuş magnezyum karbonat kayaçlarının değişime uğraması sonucunda oluşmuşlardır. Karışık talk yatakları, levhamsı talk, kalsit, dolomit, serpantin ve farklı mineraller içeren kırılğan (gevrek) özelliktedir. Beyaz şisti kayaçlardan oluşmuştur (Yıldız, 2014).

Talklar mineraloji, morfoloji ve coğrafi kaynağa göre sınıflandırılır. Talk ürünler kullanılacağı uygulama alanlarının ihtiyaçları doğrultusunda ham cevherin kalitesine ve özelliklerine bağlı olarak kuru öğütme, havalı ayırma ve flotasyonun çeşitli kombinasyonları kullanılarak zenginleştirilir. Talkın yaprağımsı talk, steatit, sabuntaşı, tremolitik talk, New york talkı, Vermont talkı, Montana talkı, Teksas talkı, Kanada talkı, İtalya talkı, Çin talkı gibi çeşitleri bulunmaktadır.

Yaprağımsı talk, tipik olarak %90'dan fazla saflıkta, belirgin şekilde katmanlı, yumuşak talktır. Doğal haliyle ya da zenginleştirilmiş olarak farmasötik, kozmetik veya takviye edici ürünlerde kullanılmaktadır.

Steatit, saf talk için kullanılan mineralojik bir isimdir. Günümüzde, yüksek saflıkta, yoğun ve çok ince taneli talkı ifade etmek için kullanılır.

İşlenebilmektedir. Steatit, pişirildiği zaman iyi elektriksel yalıtım özelliklerine sahip olduğu için porselen elektrik izolatörlerin üretiminde kullanılmaktadır.

Sabuntaşı, tipik olarak steatitin düşük saflıktaki formuna verilen isimdir. Oyulabilir, kesilebilir, delinebilir veya işlenebilir. Sabuntaşının kimyasal direnci, yoğun yapısı ve refrakter özelliği sayesinde lavabo ve ısıtıcı gibi şekil verilmiş ürünler üretilebilir.

Tremolitik talk, %50'den daha az miktarda talk içeren ince taneli "sert" talktır. Sert bir yapıya sahip olan tremolitik talk, büyük oranda ince prizmatik tremolit ve yaprağımsı serpantin içermektedir. Az miktarda prizmatik antofillit ve eser miktarda kuvars ve karbonatlar içerir. Talkın karakteristik özellikleri olan tabakalar, yumuşaklık ve hidrofobik özellikler görülmemektedir. Bu nedenle bazı geleneksel talk uygulamalarından hariç tutulur. Tremolitik talkın tipik olmayan özellikleri, seramik ve boya ürünlerinde çeşitli faydalar sağlamaktadır. New york talkı ise tremolitik talk için anlatılan özelliklere sahiptir. Tremolitik talk ve New york talk eşanlamlı olarak kabul edilir.

Çoğu ham Vermont talkın önemli bir karakteristik özelliği %20-30 oranında manyezit içeriyor olmasıdır. Ham cevher çeşitli miktarlarda kalıntı manyezit ve bazen diğer karbonatları içeren ürünler üretmek için zenginleştirilir. Bu ürünler ana olarak dolgu uygulamalarında tercih edilmektedir.

Montana talkının doğada bulunuş şekliyle yüksek saflığa ve parlaklığa sahip olması bilinen özelliklerindedir. İçerdiği başlıca safsızlıklar az miktarlardaki klorit, dolomit ve manyezittir. Yüksek saflığa sahip olduğundan dolayı basit bir zenginleştirme işlemi ile ya da hiç zenginleştirmeye yapmaksızın geniş bir kullanım alanına sahip ürünlerin üretilmesini mümkün kılmaktadır.

Ham Teksas talkı genellikle içerisindeki organik maddelere bağlı olarak gri ya da siyah renklere sahiptir. Kuvars ve dolomit gibi safsızlıkları içerebilir. İşlendiği zaman dolgu malzemesinde kabul edilebilir parlaklığa sahip olabilir. Fakat esas kullanım alanı seramik malzemelerdir. Seramik ürünlerde pişirme rengi kabul edilebilir. Hızlı pişirim bünyelerde kullanıma uygundur.

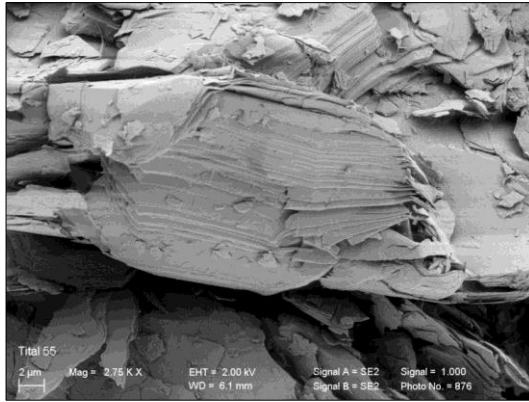
Kanada talkı her yatakta farklı özellikler göstermektedir. Geniş bir aralıkta saflık ve renk değerlerine sahiptir. Yüksek parlaklıkta olan talkların büyük kısmı dolgu ve zift adsorpsiyon uygulamaları için Amerika Birleşik Devletleri (ABD) tarafından ithal edilmektedir.

İtalya talkı, dünyanın en saf talkı olarak ün kazanmıştır. İtalya talkının neredeyse tamamı ABD tarafından ithal edilmektedir. ABD özellikle yüksek saflıkta, yumuşak, kozmetik ve farmasötik kalitede olanları tercih etmektedir.

Çin talkının ana üretim yeri Liaoning şehrinin Haicheng bölgesindedir. Bazen ABD, Çin talkını ithal etmektedir. Çin'in değişik bölgelerindeki farklı madenlerden çok çeşitli kalitelere talk ithal edilmesine rağmen bütün bu talklar genel olarak Haicheng talkı olarak adlandırılmaktadır. Çin talkı,

yüksek saflığı ve parlaklığı ile bilinir. ABD'nin tüketiminin çoğunu dolgu kullanımları oluşturur (Ciullo, 1996).

Talk genellikle masif yapraksı veya lifli kümelerde ya da küresel yıldız gruplarında meydana gelir. Ancak daha nadir olarak {001} diliniminde kusursuz yassı kristaller gösterir. Esnek ince elastik tabakalar verir. Sibelco şirketine ait ticari bir talk numunesinin taramalı elektron mikroskobu görüntüsü Şekil 3'de görülmektedir. Talkın tamamına yakını kayganlık hissi verir ve inci gibi parlak bir görüntüye sahiptir. Çizgi rengi beyazdır. Mohs sertlik skalasına yer alan sertlik standartlarından biridir. Mohs'a göre 1 sertliğine sahiptir, turnakla çizilebilir ve en yumuşak mineraldir. Talk örneklerinin optik özelliklerinde küçük miktarlardaki iyon (Ti, Mn, vd.) değişimlerinden veya adsorbe olmuş sudan kaynaklanan varyasyonlar görülür. Tek nikolde, düşükten ortaya değişen pozitif rölyefe sahiptir. İnce kesitte renksizdir. Pleokroizma gözlenmez. Çift nikolde, çift optik eksenli (biaks) ve negatiftir. Optik açısı (2V açısı) 0-30° arasındadır. Yüksek üçüncü diziyeye kadar girişim renklerine sahiptir (Deer ve ark., 1966; Türkiye Bilimler Akademisi, 2005).



Şekil 3: Sibelco Tital55 talkının 2750 defa büyütülmüş taramalı elektron mikroskobu görüntüsü (SIBELCO, 2022)

Talk, 20°C ve 1013 kPa'da beyaz kokusuz bir tozdur. 900°C'nin üzerindeki sıcaklıklarda, hidroksil gruplarını aşamalı olarak kaybetmektedir. 1050°C'nin üzerindeki sıcaklıklarda, enstatitin farklı formlarına (susuz magnezyum silikat) yeniden kristalleşir. Talkın erime noktası 1500°C'dir. Oda sıcaklığındaki özgül ağırlığı 2.58-2.83 gr/cm³ arasında değişmektedir. 25°C sıcaklıkta suda çözünmez (<0.1 mg/L). Bir QSAR metodu (nicel yapı-aktivite ilişkisi) ile talkın 25°C'deki buhar basıncının 1.48E-020 Pa olabileceği tahmin edilmektedir. Güvenilir bir QSAR yöntemi (Kowwin v1.68) ile talk için ayrılma katsayısı (logK_{ow}) değeri -9.40 olarak tahmin edilmiştir. Talkın ısıl iletkenlik katsayısı 2.09 W/m²K, özgül ısı 0.82 kJ/kgK, ısıl genleşme katsayısı 8x10⁻⁶/K, su bazlı süspansiyonundaki pH

değeri 8.7-10.6, kırılma endeksi 1.57-1.59, parlaklık 69-96, beyazlık 70-94, dielektrik sabiti 7.5, yağ absorplama değeri 22-68 g/100 g olarak belirlenmiştir (European Chemicals Agency, 2021b; Deer ve ark., 1966; Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, 2021b).

2. TOPRAK SANAYİSİNDEKİ UYGULAMA ALANLARI

Pirofillit ve talk, sanayinin birçok dalında kullanılmaktadır. Ancak bu çalışmada pirofillit ve talkın yapı sektörünün toprak sanayisinde hangi amaçla kullanıldığına değinilmiştir. Yapı sektörü içerisinde yer alan taş ve toprağa dayalı sanayiler ana olarak çimento, alçı, kireç, hazır beton, cam, seramik, refrakter, tuğla ve kiremit sanayilerinden oluşmaktadır. Bu sanayi dalları içerisinde pirofillitin kullanıldığı toprak sanayi dalları seramik, refrakter ve çimento endüstrileridir. Talkın kullanıldığı toprak sanayi dalı ise seramik endüstrisidir.

Pirofillit pişirme sıcaklıkları altında mullit fazına dönüşerek faydalı teknik özellikler sağladığı için karo, sağlık gereçleri, beyaz pişen ürünler, elektrik parçaları (izolatörler, vakum contaları, rezistanslar, güç çeviriciler) gibi bazı seramik ürünlerde bir bileşen olarak kullanılır. Pirofillit seramik endüstrisinde mekanik özellikleri, yarı saydamlığı, kimyasal direnci ve termal şok direncini geliştirdiği için tercih edilir. Ayrıca yüksek dielektrik dayanımı sağlar. Son ürünlerde sırlardaki çatlak oluşumunu engeller. Bunların dışında, seramik hammadde karışımlarında silika tamamlayıcısıdır. Dahası, pirofillitin hızlı ısınma yeteneği ve 1100°C gibi düşük sayılabilecek bir sıcaklıkta mullite dönüşmesi benzer malzemelerden daha hızlı pişirme çevrimine olanak verir. Seramiklerin endüstriyel şartnamelerine göre demir oksit, titanyum oksit ve alkaliler gibi safsızlıkların oranı, seramik ürünlerdeki zararlı etkilerinden dolayı belirli bir oranın içerisinde kalmalıdır. Demir ve titanyum son ürünlerde istenmeyen renk oluşumlarına neden olmaktadır. Ayrıca titanyum ve demir oksit seramik yapıda düşük erime noktasına sahip demir-titanat camı oluşturur. Bu demir-titanat camı kabarcık oluşumu yoluyla son üründe gözenekliliğin artışına sebep olur. Alkaliler de zararlıdır. Çünkü karbonat biçimindeki zararlı alkaliler pişirme sıcaklıkları altında oluşan suda çözünen silikat yapılarındaki silika ile birleşir. Ek olarak, alkali iyonları elektriksel olarak iletkendir. Seramik endüstrisi için pirofillitte aranan özellikler Tablo 2’de görülmektedir.

Çimento sektöründe kullanılacak pirofillitin, düşük demir ve alkali içeriğine sahip olması gereklidir. Ayrıca kalsinasyondan sonra yüksek derecede beyazlığa sahip olmalıdır. Çimento endüstrisi için pirofillitte aranan özellikler de yine Tablo 2’de görülmektedir.

Refrakter malzemeler yüksek sıcaklıklara karşı dirençlidir ve erime sıcaklığı 1580°C’den daha düşük değildir. Pirofillit bu özellikleri sağlamaktadır. Pirofillit mullite dönüşebildiği için nispeten düşük maliyetli refrakter malzemelerin üretimi için uygundur. Mullit 1810°C sıcaklığa kadar

direnç gösterebilmektedir. Buna ek olarak, pirofillit birçok silikat ve gaz oksit saldırılarına karşı çok iyi kimyasal direnç gösterir. Ayrıca çatlak, aşınma ve termal şok direnci vardır. Pirofillit yüksek elektriksel direnç, basınç dayanımı, çekme dayanımı ve çarpma dayanımı sağlar. Bu nedenle, pirofillit tabanlı refrakter malzemeler demir ve çelik fırınlarında astar amaçlı kullanılırlar. Pirofillit tabanlı refrakter yapmanın birçok yolu vardır. Örneğin, (1) pirofillit öğütülür, sodyum silikat bağlanır, tuğla haline getirilir ve pişirilir. (2) Az miktardaki pirofillit, ateş kili, zirkonyum dioksit ve boksit birleşimiyle yüksek alüminalı refrakter yapılabilir. Pirofillitten yapılan refrakter ürünler refrakter karo, çimento pişmiş tuğla, pişmiş tuğla-çatı kiremitleri ve özel refrakterler gibi ürünleri içerir. Refrakter endüstrisi için pirofillitte aranan özellikler Tablo 2’de görülmektedir.

Tablo 2: Seramik, refrakter ve çimento endüstrileri için pirofillitin özellikleri (Maaz ve ark., 2021; Yıldız, 2014).

Endüstri	Seramik	Refrakter	Çimento
SiO ₂ , %	64±2	< 60	> 65
Silis modülü	-	-	5-6.5
Al ₂ O ₃ , %	15-19	18-21	9-18
Fe ₂ O ₃ , %	< 1	< 1	< 0.4
TiO ₂ , %	< 1	< 1	< 0.5
Alkaliler, %	< 1	< 1	< 1
CaO, %	< 0.5	< 0.5	-
MgO, %	< 0.5	< 0.5	-
Cr ₂ O ₃ , %	-	-	< 80 ppm
SO ₃ , %	-	-	< 0.8
*K.K. , %	4.5±1	4	< 10
Gerekli tane boyutu, mm	0.044	> 150 (özel refrakter) > 15 (refrakter karo) > 5 (çimento tuğla)	5-50
Yoğunluk	-	2.8-2.9 g/cm ³	-
Pirometrik koni eşdeğeri (PCE)	-	%28-30	-

*K.K.=Kızdırma Kaybı

Talkın seramik endüstrisinde kullanılabilmesi için kimyasal ve fiziksel açıdan homojen olması gerekmektedir. Seramik uygulamalarında kullanılacak talk, çok düşük demir, manganez ve karbonat içermeli ve standart bir kimyasal kompozisyonda olmalıdır. Al₂O₃, Fe₂O₃, CaO ve alkali değerleri sırasıyla %4, %1.5, %0.5 ve %0.4’ten az olmalıdır. Ayrıca en az %60 SiO₂ ve %30 MgO içermeli, tane boyutunun %95’inin 45 µm’nin altında olması gerekmektedir. Arzu edilen pişme küçülmesi, sertlik ve ince tane boyutu değerleri için tane boyut dağılımı kontrol edilmelidir. Pişirim rengi beyaz ya

da beyaza yakın olmalıdır. Talkın yüksek erime derecesi ve eritici (flaks) davranışı düşük pişirim sıcaklıklarına olanak verir. Ayrıca hızlı pişirim programlarına imkân sağladığı için duvar karosunun, seramik sağlık gereçlerinin, vitrifiye ürünlerin (vitreous china) ve kordiyerit bünyelerin (katalitik konvertör parçalar ve elektrik izolatörleri) üretiminde kullanılır. Tremolitik talk duvar karosu üretiminde tercih edilmektedir. Çünkü tremolitik talk içeren bünyeler tabakasız kuru preslenebilir. Ayrıca üniform termal genişmesi ve düşük rutubet genişmesi sayesinde sırlı ürünlerdeki sır çatlağı oluşumunun engellenmesine katkı sağlar (Maaz ve ark., 2021; Ciullo, 1996; Devlet Planlama Teşkilatı, 2001).

3. DÜNYA FAALİYETLERİ

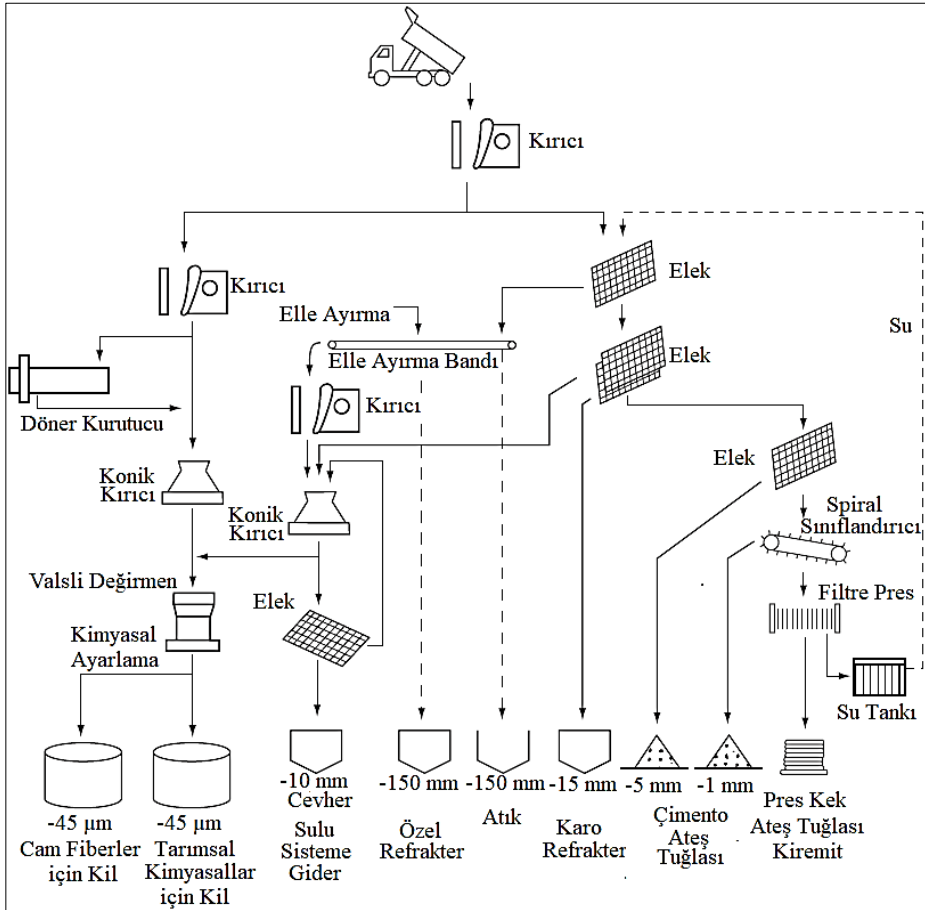
2019 yılı sonlarında başladığı tespit edilen COVID-19 salgını nedeniyle bazı ülkelerin madencilik faaliyetlerinde yavaşlamalar olduğu görülmektedir. Ayrıca ülkelerin 2021 yılı için hammadde üretimi ile ilgili sayısal rakamlarına ulaşamamıştır.

3.1. Pirofillitin Üretimi

Pirofillitin dünya rezervleri tahmini olarak 1.3 milyar ton civarındadır (United States Bureau of Mines, 1985). Bu rezerv değeri mümkün, muhtemel ve görünür kaynakların toplam miktarı olarak verilmiştir. Birçok ülkede pirofillite ait rezerv tespit çalışmaları yapılmadığı için görünür rezerv miktarının verilebilmesi mümkün değildir.

Saf pirofillit yumuşak olduğu için kolay kırılabilir. Ancak içerisindeki demir oksit, alkaliler ve silisyum oksit miktarı arttıkça sertliği artmakta, dolayısıyla kırma ve öğütme işlemleri daha zorlaşmaktadır.

Pirofillitin zenginleştirilmesinde hem kuru hem de yaş yöntemler kullanılmaktadır. Şekil 4'de, Japonya'daki ana pirofillit tozu üretici olan Shokozan Mining Co. Ltd. şirketi tarafından uygulanan yöntem görülmektedir. Burada işletilen pirofillitin yumuşak ve büyük miktarda kil boyutlu malzeme içermesi sebebiyle uygulanan sistem etkilidir. Öncelikle cevher kuru bir sistemde 60 cm'den daha küçük bir parçacık boyutuna kadar kırılır. Daha sonra hammadde çeneli veya konik kırıcı ile 30 mm altına indirilir. 40-150 mm tane boyutundaki malzeme toplanır ve korundum içeren pirofillit ile atık cevher el ile ayrılır. Bazı refrakter ve cam endüstrilerinde kullanılmak üzere değerlendirilir. 40 mm'den küçük malzeme karo ve refrakter üretimi için gereken tane boyutuna elenir. Sulu sistemde spiral sınıflandırıcı ve filtre pres ile elde edilen 1 mm'den küçük kil taneleri tuğla, çimento ve kiremit imalatında kullanılır. Filtre presten açığa çıkan su, eleklerle gönderilerek geri kazanımı sağlanmaktadır.



Şekil 4: Pirofillitin zenginleştirilmesi için örnek bir yöntem (Hida ve Kitagawa, 2006)

2020 yılı verilerine göre başlıca pirofillit üreticisi ülkeler üretim miktarları göz önüne alındığında Güney Kore, Japonya, Türkiye, Güney Afrika, Suudi Arabistan, Hindistan, Tayland, Peru olarak sıralanabilir. Dünya pirofillit üretim miktarı 2016 yılında 1325566 ton iken 2020 yılına bakıldığında 834995 ton olduğu görülmektedir (Tablo 3). Yaklaşık olarak 490000 ton kadar bir düşüş gözlenmiştir. En yüksek üretim miktarı 2017 yılında 1466626 ton üretim yapılarak elde edilmiştir. Sonraki yıllarda üretim miktarlarında düşüş olmuştur. Üretim miktarındaki bu düşüşün sebebi tüketim miktarına bağlı olabilir. Diğer taraftan dünyadaki bütün üretim miktarları verilerine ulaşılamamış olunmasından da kaynaklanabilir. 2020 yılındaki pirofillit üretiminin yaklaşık olarak %72'lik kısmını Güney Kore, Japonya ve Türkiye oluşturmaktadır. Dünya pirofillit üretimine bakıldığında, Güney Kore lider konumda olan ülkedir. Onu Japonya takip etmektedir. Güney Kore'de bulunan pirofillit yataklarının büyük bir kısmı Güney Jeolla (Chollanam-Do),

Kuzey Chungcheong (Chungcheongbuk-do), Güney Gyeongsang (Gyeongsangnam-Do) ve Kuzey Gyeongsang (Gyeongsangbuk-Do) vilayetlerindedir. Bu illerdeki pirofillitin görünür rezervi 1.96 milyon ton, muhtemel rezervi 49.68 milyon ton, toplam rezerv miktarı ise 51.64 milyon ton olarak hesaplanmıştır (Hida ve Kitagawa, 2006).

2016 yılından 2019 yılına kadar olan süreçte Türkiye, Güney Kore, Japonya ve Tayland'da pirofillit üretim miktarlarının düştüğü, Güney Afrika, Suudi Arabistan, Hindistan ve Peru'da ise pirofillit üretim miktarlarının arttığı söylenebilir. 2019 ve 2020 yılları kıyaslandığında ise Türkiye ve Tayland'ın pirofillit üretim miktarlarının arttığı gözlenmiştir.

Tablo 3: Ülkelerin 2016-2020 Yılları Arasındaki Pirofillit Üretimi (ton). (British Geological Survey, 2022; Department of Primary Industries and Mines, 2021; Maden ve Petrol İşleri Genel Müdürlüğü, 2022a)

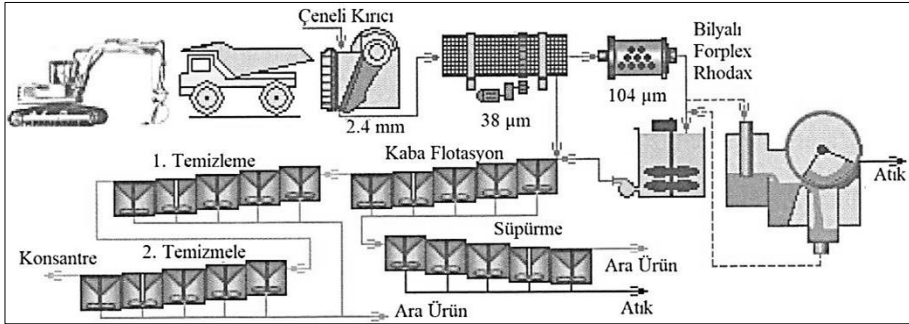
Ülkeler	2016	2017	2018	2019	2020
Türkiye	194655	470600	266111	88335	129290
Güney Kore	590000	431458	346761	327624	314346
Japonya	350000	350000	160000	160000	160000
Güney Afrika	19114	55048	98245	134451	92318
Suudi Arabistan	42000	44000	46000	48000	48000
Hindistan	15125	38760	39000	39000	39000
Peru	17872	22760	26675	25039	20519
Tayland	96800	54000	50920	6500	31522
Toplam	1325566	1466626	1033712	826949	834995

3.2. Talkın Üretimi

Talkın dünya rezervleri tahmini olarak en az 330 milyon ton civarındadır (United States Bureau of Mines, 1985).

Talk cevherinin açık ya da kapalı işletmelerle üretimi yapılmaktadır. Talkın yapısına bağlı olmakla birlikte içerdiği safsızlıklar elle ya da optik ayırıcılarla temizlenebilmektedir. Boyut küçültme işlemi öncelikle birincil kırıcılarda (çeneli, konili) başlamaktadır. Daha sonra öğütme işlemi için çekiçli, jet, rulolu ve bilyalı değirmenler kullanılabilir. Boyutlandırma işlemi ise siklonlar ve havalı ayırıcılar ile yapılmaktadır. Eğer talkın içerisinde organik safsızlıklar bulunuyor ise, bu tür safsızlıkların uzaklaştırılması için, uygun bir boyuta kadar indirilen talk cevherine kalsinasyon işlemi uygulanmaktadır. Talkın zenginleştirilmesinde manyetik ayırma, yerçekimi, çöktürme ve flotasyon gibi yöntemler uygulanmaktadır. Şekil 5'de talk cevherinin flotasyon ile zenginleştirilmesini gösteren örnek bir akım şeması görülmektedir. Talk, flotasyon işlemi öncesinde pülp içeriğine göre manyetik

ayırıcıdan geçirilmektedir. Tabaka şeklinde oluşmuş talk yumuşak olup, dolomit ve kuvars gibi mineralleri içermesi durumunda aşındırıcı olmaktadır. Genellikle talk mikronize boyuta öğütülerek kullanılmaktadır. Çakıllı veya bilyalı değirmenlerde 45-150 μm , rulolu değirmenlerde 63-20 μm ve jet değirmenlerde ise 1 μm tane boyutuna kadar olan öğütme işlemleri uygulanmaktadır (Yıldız, 2014).



Şekil 5: Talkın zenginleştirilmesi için örnek bir yöntem (Yıldız, 2014)

2020 yılı verilerine göre başlıca talk üreticisi ülkeler üretim miktarları göz önüne alındığında Hindistan, Çin, Brezilya, ABD, Fransa, Finlandiya, Kanada, İtalya, Pakistan, Rusya, Avustralya, Avusturya, Slovakya, İran, Peru, Mısır, Türkiye, Arjantin, Japonya ve Portekiz olarak sıralanabilir. 2020 yılı içinde daha düşük miktarlarda talk üretimi yapan diğer ülkeler Meksika, Tayland, Guatemala, İspanya, Nepal, Güney Kore, Sudan, İngiltere, Butan, Kolombiya ve Uruguay olarak sıralanabilir. Dünya talk üretim miktarı 2016 yılında 6004223 ton iken 2020 yılına bakıldığında 6044889 ton olduğu görülmektedir (Tablo 4). En yüksek üretim miktarı 2018 yılında 6236916 ton üretim yapılarak elde edilmiştir. Sonraki yılda üretim miktarlarında bir miktar düşüş olmuştur. 2020 yılındaki üretimin yaklaşık olarak %49'luk kısmını, Hindistan ve Çin oluşturmaktadır. Dünya talk üretimine bakıldığında, Hindistan lider konumda olan ülkedir. Onu Çin takip etmektedir. Hindistan'ın talk yataklarının yaklaşık %80'i Rajasthan ve Uttarakhand vilayetlerinde bulunmaktadır. Hindistan'daki talk ve sabuntaşı rezervlerinin toplamının 269 milyon ton olduğu tahmin ediliyor. Coğrafi dağılım açısından, Rajasthan Hindistan'ın talkının %49'una sahipken, Uttarkand %29'unu içeriyor. Kaynakların geri kalan %22'si Andhra Pradesh, Bihar, Chhattisgarh, Gujarat, Jharkhand, Karnataka, Kerala, Maharashtra, Madhya Pradesh, Odisha, Sikkim ve Tamil Nadu vilayetlerinde yer almaktadır (Fastmarkets, 2015a).

2016 yılında Afganistan'ın 400000 ton talk üretimi gerçekleştirdiği verisine ulaşılmıştır (Fastmarkets, 2015b). Ancak Afganistan'ın sonraki yıllarda hangi miktarda üretim yaptığı belirlenemediği için tabloya eklenmemiştir. 2020 yılında Türkiye, Hindistan, Fransa, Slovakya ve Arjantin'de talk üretim miktarlarında artış olduğu görülmüştür. Ayrıca 2020

yılında Meksika ve Tayland'da sırasıyla 7000 ve 6624 ton talk üretimi yapılmıştır (British Geological Survey, 2022).

Tablo 4: Ülkelerin 2016-2020 Yılları Arasındaki Talk Üretimi (ton). (British Geological Survey, 2022; Department of Primary Industries and Mines, 2021; Maden ve Petrol İşleri Genel Müdürlüğü, 2022a; United States Bureau of Mines, 1985; Ministry of Mines Indian Bureau of Mines, 2021; U.S. Geological Survey, 2021; U.S. Geological Survey, 2022)

Ülkeler	2016	2017	2018	2019	2020
Türkiye	8559	3882	18105	3742	14178
Hindistan	1277768	1613607	1567055	1595353	1600000
Çin	1642000	1276000	1400000	1400000	1300000
Brezilya	657000	850000	660000	650000	650000
ABD	578000	610000	648000	578000	490000
Fransa	370000	370000	350000	350000	450000
Finlandiya	345739	354819	374398	329891	278331
Kanada	217000	217000	289000	255000	230000
İtalya	165000	165000	170000	170000	165000
Pakistan	125985	152279	141504	167148	160000
Avustralya	111000	119000	153000	167000	131000
Rusya	150000	150000	150000	150000	150000
Avusturya	123040	123558	127866	128000	123000
Slovakya	700	13988	43000	70000	91670
İran	118960	82095	48750	48500	45000
Peru	11507	19363	20634	18935	17418
Mısır	14300	15000	15000	15000	15000
Arjantin	11262	8335	11728	11700	12000
Japonya	25000	25000	10000	10000	10000
Portekiz	11699	13600	10144	12901	9751
Diğer	39704	50198	58732	52220	32541
Toplam	6004223	6232724	6236916	6183390	6044889

3.3. Tüketim

Her geçen yıl endüstriyel uygulamalar için düşük safsızlıklara sahip yüksek kaliteli pirofillit cevherlerine olan talep artmıştır. Artan bu talep kaliteli rezervlerin kıtlığına yol açmıştır. Düşük kaliteli pirofillit cevherinin büyük miktarlardaki varlığına rağmen içermekte oldukları safsızlıklar nedeniyle endüstriyel uygulamalarda kullanılabilmesini kısıtlamaktadır. Bu nedenle, bu düşük dereceli cevherlerin saflığını iyileştirmek için yeni tekniklere zorunlu bir ihtiyaç vardır. Pirofillit refrakter, boya ve seramik sektöründe tüketilmektedir. ABD'de üretilen pirofillitin yaklaşık %75'i seramik ve refrakter endüstrilerinde tüketilmektedir.

ABD’de üretilen talkın %23’ü seramik (otomobil katalitik konvertörleri), %18’i kağıt, %17’si boya, %11’i plastik, %6’sı kauçuk, %4’ü çatı kaplama ve %1’i kozmetik sektörleri tarafından tüketilmektedir. Geriye kalan %20’lik kısım ise ihracat, tarım sektörü, insektisitler ve diğer farklı kullanımları içermektedir. ABD’deki üreticilerin 2021 yılındaki toplam talk satışı yaklaşık olarak 490000 ton olmuştur. Bu satıştan 130 milyon dolar elde edilmiştir (U.S. Geological Survey, 2022).

Talk, uluslararası tanımlamada, “Tabii steatit (sabun taşı) ve talk, ezilmemiş, toz haline getirilmemiş (harmonized system code: 252610)” ve “Tabii steatit (sabun taşı) ve talk, ezilmiş veya toz haline getirilmiş (harmonized system code: 252620)” adları altında sınıflandırılmaktadır. 2018-2021 yılları için Türkiye’nin bu iki sınıflandırma kapsamındaki toplam talk ihracat ve ithalat rakamları Tablo 5’de yer almaktadır. Tablo 5’de ağırlık ve fiyat olarak ithal edilen talkın ihraç edilenden fazla olduğu görülmektedir. Türkiye 2021 yılı verilerine göre talk ihtiyacının yaklaşık olarak 28460 tonunu ithalat yolu ile karşılamış ve yaklaşık olarak 95 milyon TL ödemiştir. Türkiye 2021 yılında talk ihracatından yaklaşık olarak 19 milyon TL kazanmıştır.

Tablo 5: Türkiye talkının dış ticaret rakamları. (Türkiye İstatistik Kurumu, 2022)

	2018	2019	2020	2021
İthalat/kg	30443456	27471427	33605733	28460001
İthalat/TL	44692063	50358208	70775706	95206269
İhracat/kg	4420019	5055632	5377420	6678252
İhracat/TL	8029473	9833545	12699544	19040082

3.4. Fiyat

Türkiye’de, yer kabuğunda ve su kaynaklarında doğal olarak bulunan, ekonomik ve ticari değeri olan petrol, doğal gaz, jeotermal ve su kaynakları dışında kalan her türlü madde, 5177 sayılı kanuna göre madendir. T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tarafından Maden Kanununda IV.Grup (a) bendi madenler grubunda ruhsatlandırılan pirofillit ve talk için, 2021 yılı KDV ve nakliye hariç ocak başı satış fiyatları sırasıyla 38 TL/ton ve 650 TL/ton olarak belirlenmiştir.

Talkın, 2021 yılı Çin FOT (belirtilen noktada kamyon üzerinde teslim) UK normal 200 mesh fiyatı 275-300£, Çin FOT UK normal 350 mesh fiyatı 275-300£, boya/sabun A-kalitesi FOB (limanda bordoya teslim) Durban 500-585\$, Güney Afrika ilaç sanayi 700-850\$ ve kozmetik sanayi 660-745\$’dır (Maden ve Petrol İşleri Genel Müdürlüğü, 2022b; Yılmaz, 2021).

4. SONUÇLAR

Dünyadaki pirofillit üreticisi şirketler Asya ile Afrika kıtalarında ve talk üreticisi şirketler ise Asya, Güney Amerika, Kuzey Amerika ile Avrupa kıtalarında yer almaktadır. Bu kıtalarda ana üretici olan veya düşük miktarlarda üretim yapan şirketler bulunmaktadır. Ancak küresel pirofillit ve talk üreticisi olan firmalar her zaman ana pazarı ellerinde tutmaktadırlar. Günümüzde farklı sanayi dallarının talepleri doğrultusunda üretilmiş olan farklı özelliklere sahip çok sayıda pirofillit ve talk ürünler bulunmaktadır. Gelecekte pirofillitin veya talkın farklı kullanım alanlarının keşfedilmesiyle, ürün çeşitliliği de artış gösterebilir.

Türkiye'deki pirofillitin görünür rezervi yaklaşık olarak 7 milyon ton ve talkın toplam rezervi (görünür+muhtemel+mümkün) ise yaklaşık olarak 1.1 milyon ton seviyelerindedir. Pirofillit ve talk Türkiye'nin sahip olduğu önemli endüstriyel hammadde kaynaklarıdır. Ancak talk için üretim rakamlarının çok düşük seviyelerde olduğu, buna karşın 2021 yılında yaklaşık olarak 6678 ton ihracatının gerçekleştiği görülmüştür. Talkın ihracat rakamları, ithalat rakamlarından aşağı seviyededir. Pirofillitin ise yıllık bazdaki üretim değerlerinin yüksek seviyelerde olmasına rağmen TÜİK verilerinde dış ticaret rakamlarına dair ayrı bir bilginin olmaması dikkat çekicidir. Hâlbuki pirofillit refrakter ve seramik sanayi için önemli bir hammadde kaynağıdır. Özellikle bünyede düşük sıcaklıklarda mullit fazını oluşturuyor olması çok önemli bir özelliğidir. Ancak demir-çelik sektöründe bazik tuğlaların kullanılmaya başlanması pirofillitin refrakter sanayisinde önemini kaybetmesi ile sonuçlanmıştır.

KAYNAKÇA

- British Geological Survey. (2022). World Mineral Production 2016-2020. <https://www2.bgs.ac.uk/mineralsuk/statistics/worldStatistics.html>
- Chukhrov, F. V., Zvyagin, B. B., Drits, V. A., Gorshkov, A. I., Ermilova, L. P., Goilo, E. A. ve Rudnitskaya, E. S. (1979). The ferric analogue of pyrophyllite and related phases. *Developments in Sedimentology*, 27, 55-64. [https://doi.org/10.1016/S0070-4571\(08\)70701-5](https://doi.org/10.1016/S0070-4571(08)70701-5)
- Ciullo, P. A. (1996). *Industrial Minerals and Their Uses*. Noyes Publication.
- Deer, W. A., Howie, R. A. ve Zussman, J. (1966). *An introduction to the rock forming minerals*. Longmans, Green and Co. Ltd.
- Deer, W. A., Howie, R. A. ve Zussman, J. (2013). *An introduction to the rock-forming minerals*. Berforts Information Pr.
- Department of Primary Industries and Mines. (2021). Mineral Statistics of Thailand 2016 – 2020 (ICTC 1/2021.). <https://www1.dpim.go.th//dt/pper/000001637539743.pdf>.
- Devlet Planlama Teşkilatı (1991). *Madencilik sektörü sanayi hammaddeleri özel ihtisas komisyonu raporu seramik ve cam alt komisyonu raporu*. https://www.sbb.gov.tr/wp-content/uploads/2018/11/6-SeramikveCam_OIK395-.pdf
- Devlet Planlama Teşkilatı (2001). *Madencilik özel ihtisas komisyonu raporu endüstriyel hammaddeler alt komisyonu toprak sanayii hammaddeleri (seramik killeri-kaolen-feldspat-pirofillit-wollastonit-talk) çalışma grubu raporu*. <https://www.maden.org.tr/meslegimiz/oik622.pdf>
- Devlet Planlama Teşkilatı (2008). *Taş ve toprağa dayalı sanayiler özel ihtisas komisyonu raporu cilt 1*. https://www.sbb.gov.tr/wp-content/uploads/2018/11/09_Ta%C5%9FveTopra%C4%9FaDayal%C4%B1Sanayiler_c1.pdf
- European Chemicals Agency. (2021a). Pyrophyllite. European Union. https://echa.europa.eu/substance-information/-/substanceinfo/100.118.877?_disssubinfo_WAR_disssubinfoportlet_backURL=https%3A%2F%2Fecha.europa.eu%2Finformation-on-chemicals%3Fp_p_id%3Ddisssimplesearchhomepage_WAR_dissearchportlet%26p_p_lifecycle%3D0%26p_p_state%3Dnormal%26p_p_mode%3Dview%26_disssimplesearchhomepage_WAR_dissearchportlet_sessionCriteriaId%3D
- European Chemicals Agency. (2021b). Talc ($Mg_3H_2(SiO_3)_4$). European Union. https://echa.europa.eu/substance-information/-/substanceinfo/100.035.328?_disssubinfo_WAR_disssubinfoportlet_backURL=https%3A%2F%2Fecha.europa.eu%2Finformation-on-chemicals%3Fp_p_id%3Ddisssimplesearchhomepage_WAR_dissearchportlet%26p_p_lifecycle%3D0%26p_p_state%3Dnormal%26p_p_mode%3Dview%26_di

- sssimplesearchhomepage_WAR_dissearchportlet_sessionCriteriaId%3D
- Fastmarkets. (2015a). Indian Talc: Moving up the Value Chain. <https://www.indmin.com/Article/3499916/Indian-talc-Moving-up-the-value-chain.html>
- Fastmarkets. (2015b). Whiter than white? Global talc developments. <https://www.indmin.com/Article/3788436/Talc/Whiter-than-white-Global-talc-developments.html>
- Gelest (2016). Pyrophyllite. <https://web.faa.illinois.edu/app/uploads/sites/6/2021/05/Pyrophyllite-.pdf> adresinden 27 Nisan 2022 tarihinde alınmıştır.
- George, W. (2016). Fillers – Origin, Chemical Composition, Properties, and Morphology. In *Handbook of fillers* (4th ed., pp. 13-266). ChemTec.
- Hermann, R. (1829). *Zerlegung des pyrophyllits, eines neuen minerals. Annalen der Physik und Chemie*. Leipzig.
- Hida, T. ve Kitagawa, R. (2006). J. E. Kogel, N. C. Trivedi, J. M. Barker ve S. T. Krukowski (Ed), *Industrial minerals & rocks 7th edition* (s. 755-767) içinde. Published by Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc.
- Maaz, A. A., Hussin, A. M. A., Haitham, M. A. ve Mohammed, H. (2021). Pyrophyllite: an economic mineral for different industrial applications. *Applied Sciences*, 11, 1-18. <https://doi.org/10.3390/app112311357>
- Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü. (2021a). Profillit. <https://www.mta.gov.tr/v3.0/bilgi-merkezi/profillit> adresinden 05 Mayıs 2022 tarihinde alınmıştır.
- Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü. (2021b). Talk. <https://www.mta.gov.tr/v3.0/bilgi-merkezi/talk> adresinden 05 Mayıs 2022 tarihinde alınmıştır.
- Maden ve Petrol İşleri Genel Müdürlüğü. (2022a). Maden istatistikleri. <https://www.mapeg.gov.tr/Custom/Madenistatistik>.
- Maden ve Petrol İşleri Genel Müdürlüğü. (2022b). 2021 yılı ocak başı satış fiyatları. <https://mapeg.gov.tr/Home/Announcement/745>.
- McCarthy, E., F., Genco, N. A. ve Reade Jr. E. H. (2006). J. E. Kogel, N. C. Trivedi, J. M. Barker ve S. T. Krukowski (Ed), *Industrial minerals & rocks 7th edition* (s. 971-986) içinde. Published by Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc.
- Mineralogical Society of America. (2001a). Pyrophyllite. Retrieved April 24, 2022 from <http://www.handbookofmineralogy.org/pdfs/pyrophyllite.pdf>
- Mineralogical Society of America. (2001b). Talc. Retrieved April 24, 2022 from <http://www.handbookofmineralogy.org/pdfs/talc.pdf>
- Ministry of Mines Indian Bureau of Mines. (2021). Minor Minerals 30.22 Talc, Soapstone and Steatite.

- <https://ibm.gov.in/writereaddata/files/07132021132729Talc%20Soapstone%20Steatite%202020.pdf>.
- Sankur, B. (2022). Yerbilim mühendisliği terimleri. <https://academics.boun.edu.tr/bulent.sankur/sites/bulent.sankur/files/inline-files/YERB%C4%B0L%C4%B0M%20M%C3%BChendisli%C4%9Fi%20Terimleri.pdf> adresinden 05 Mayıs 2022 tarihinde alınmıştır.
- SIBELCO. (2022). Talc. Retrieved May 5, 2022 from <https://coatings.sibecotools.com/mineral/talc/>
- Tomalino, M. U. (2021). Mineralogy and properties of raw materials and crystalline phases of ceramics and glass-ceramics. In F. Baino, M. Tomalino ve T. Tulyaganov (Ed.), *Ceramics, glass and glass-ceramics from early manufacturing steps towards modern frontiers* (pp. 47-73). Springer, Cham.
- Türkiye Bilimler Akademisi (2005, 15 Eylül). Fillosilikatlar (veya levha silikatları). <https://acikders.tuba.gov.tr/file.php/35/Labs/lab2.3.pdf> adresinden 05 Mayıs 2022 tarihinde alınmıştır.
- Türkiye İstatistik Kurumu. (2022). Dış ticaret istatistikleri. [https://iz.tuik.gov.tr/#/showcase/SC-2851FY777F34D2R/db-3dy3w51uv130f9g?filters=18792%3D2016%2618792%3D2017%2618792%3D2018%2618792%3D2019%2618792%3D2020%2618792%3D2021%2619324%3D252610000000%20-%20Tabii%20steatit%20\(sabun%20ta%C5%9F%C4%B1\)%20ve%20talk%252C%20ezilmemi%C5%9F%252C%20toz%20haline%20getirilmemi%C5%9F%20-%20\(KG\)%2619324%3D252620000000%20-%20Tabii%20steatit%20\(sabun%20ta%C5%9F%C4%B1\)%20ve%20talk%252C%20ezilmi%C5%9F%20veya%20toz%20haline%20getirilmi%C5%9F%20-%20\(KG\)&token=8d79727fff862a891ce574d27220bfebbf66fed](https://iz.tuik.gov.tr/#/showcase/SC-2851FY777F34D2R/db-3dy3w51uv130f9g?filters=18792%3D2016%2618792%3D2017%2618792%3D2018%2618792%3D2019%2618792%3D2020%2618792%3D2021%2619324%3D252610000000%20-%20Tabii%20steatit%20(sabun%20ta%C5%9F%C4%B1)%20ve%20talk%252C%20ezilmemi%C5%9F%252C%20toz%20haline%20getirilmemi%C5%9F%20-%20(KG)%2619324%3D252620000000%20-%20Tabii%20steatit%20(sabun%20ta%C5%9F%C4%B1)%20ve%20talk%252C%20ezilmi%C5%9F%20veya%20toz%20haline%20getirilmi%C5%9F%20-%20(KG)&token=8d79727fff862a891ce574d27220bfebbf66fed)
- United States Bureau of Mines. (1985). Mineral Facts and Problems: 1985 Edition (Bulletin 675.). United States. Government Printing Office.
- U.S. Geological Survey. (2021). Mineral Commodity Summaries 2021: Talc and Pyrophyllite. <https://pubs.er.usgs.gov/publication/mcs2021>.
- U.S. Geological Survey. (2022). Mineral Commodity Summaries 2022: Talc and Pyrophyllite. <https://pubs.er.usgs.gov/publication/mcs2022>.
- Virta, R. L. (1996). Talc and pyrophyllite. Retrieved April 24, 2022 from <https://s3-us-west-2.amazonaws.com/prd-wret/assets/palladium/production/mineral-pubs/talc/650496.pdf>
- Yılmaz, H. (2021). Maden fiyatları. *Madencilik Bülteni*, (139): 101-102.
- Yıldız, N. (2014). *Cevher Hazırlama ve Zenginleştirme*. Ertem Basım.
- Zazenski, R., Ashton, W. H., Briggs, D., Chudkowski, M., Kelse, J. W., Maceachern, L., Mccarthy, E. F., Nordhauser, M. A., Roddy, M. T., Teetsel, N. M., Wells, A. B. ve Gettings, S. D. (1995). *Talc:*

occurrence, characterization, and consumer applications. Regulatory toxicology and pharmacology, 21, 218-229.