

MÜHENDİSLİK VE MİMARLIK ARAŞTIRMALARI

TEORİ, UYGULAMA VE YENİ YAKLAŞIMLAR

EDİTÖR

Dr. Öğr. Üyesi Serhan HANER

YAZARLAR

Prof. Dr. Sabahattin AYKAÇ
Doç. Dr. Bengi AYKAÇ
Doç. Dr. Mahir UZUN
Doç. Dr. Soner ÇELEN
Doç. Dr. Yasin DÖNMEZ
Dr. Öğr. Üyesi Ebru ALAKAVUK
Dr. Öğr. Üyesi Eray ÖZBEK
Dr. Öğr. Üyesi Serhan HANER
Duygu ÇINAR UMDU
Mehmet Sinan ÇETİN
Merve DAĞLI
Ömer Lütfü ÇORBACI



IKSAD
Publishing House

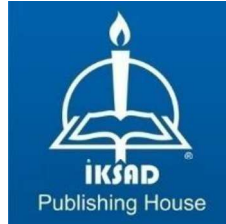
MÜHENDİSLİK VE MİMARLIK ARAŞTIRMALARI TEORİ, UYGULAMA VE YENİ YAKLAŞIMLAR

EDİTÖR

Dr. Öğr. Üyesi Serhan HANER

YAZARLAR

Prof. Dr. Sabahattin AYKAÇ
Doç. Dr. Bengi AYKAÇ
Doç. Dr. Mahir UZUN
Doç. Dr. Soner ÇELEN
Doç. Dr. Yasin DÖNMEZ
Dr. Öğr. Üyesi Ebru ALAKAVUK
Dr. Öğr. Üyesi Eray ÖZBEK
Dr. Öğr. Üyesi Serhan HANER
Duygu ÇINAR UMDU
Mehmet Sinan ÇETİN
Merve DAĞLI
Ömer Lütfü ÇORBACI



Copyright © 2020 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 Publicator: 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 – 2020©

ISBN: 978-625-7139-47-2
Cover Design: İbrahim KAYA
October / 2020
Ankara / Turkey
Size = 16 x 24 cm

BÖLÜM 3

DÜNYA VOLLASTONİT MADENCİLİĞİNDE SON ON YILIN DEĞERLENDİRİLMESİ

Dr. Öğr. Üyesi Serhan HANER⁵

⁵ Afyon Kocatepe Üniversitesi, Dinar Uygulamalı Bilimler Yüksekokulu, Endüstri Ürünleri Tasarımı Bölümü, Afyonkarahisar, Türkiye. serhan.haner@gmail.com
Orcid id: 0000-0002-8579-078X

GİRİŞ

18. yüzyıl sonlarına doğru tabular billur (table spar) adıyla anılan mineral, kristalografi ve mineral analizine katkılarından dolayı İngiliz mineralog ve kimyacı William Hyde Wollaston'a (1766-1828) izafeten "vollastonit" olarak isimlendirilmiştir. Vollastonit, iğnemsî yapıya sahip metalik olmayan bir kalsiyum metasilikattır (CaSiO_3). Vollastonitin ticari olarak kullanılmasındaki en büyük nedenlerden birisi sahip olduğu iğnemsî kristal yapısıdır.

Vollastonit (CASRN 13983-17-0, EINECS 237-772-5) monoklinik ve triklinik türlerdeki kristal sistemlerinde oluşmuş iğnemsî (iğne uçlu) bir kalsiyum silikat (CaSiO_3 , molekül ağırlığı 116.162 g/mol) mineralidir. Vollastonit, kontak metamorfik kireçtaşları ve volkanik kayalarda andradit, granat, diyopsit, tremolit, epidot, apatit, sfen, plajyoklas feldspat, kalsit ve kuvarsla beraber bulunur. Teorik kompozisyonu %48.3 CaO ve %51.7 SiO_2 'den oluşmasına rağmen nadiren saftır. Ticari olarak üretilen bu hammadde içerisinde alüminyum, titanyum, manganez, demir, magnezyum, sodyum ve potasyum içeren diğer oksitler de az miktarda bulunabilmektedir. Vollastonit genellikle beyazdır ancak kompozisyonuna bağlı olarak gri, krem, kahverengi, soluk yeşil ya da kırmızı renklerde olabilir.

Vollastonit, kendine özgü levhamsı veya iğnemsî yapısı sayesinde endüstrinin birçok alanında kullanılmaktadır. Birçok vollastonit ürünün iğnemsî yapısı, malzemelerin boyutsal kararlılık, eğilme modülü ve ısı sapması özelliklerinin geliştirilmesinde kullanılan seramik fiber, cam fiber, çelik fiber ve birkaç organik fiber (aramid,

polietilen, polipropilen, politetrafloroetilen) ile rekabet etmesine olanak sağlamaktadır. Vollaistonit plastik malzemelerin, eğilme mukavemetinin artırılması için ilave edilen kaolin, mika, talk ile ve bir de plastik malzemelere boyutsal kararlılık katan barit, kalsiyum karbonat, jips gibi fibröz olmayan mineral ya da kayalar ile rekabet etmektedir. Seramiklerde, kalsiyum ve silika kaynağı olarak katılan karbonatlar, feldispat, kireç ve silika ile de rekabet etmektedir.

Vollaistonit, seramiklerde, pişirim sırasında küçülme ve gaz oluşumunu azaltır; yaş ve pişmiş mukavemeti artırır; pişirme esnasında parlaklığı korur; hızlı pişirimi sağlar; kırılma, çatlama ve sır hatalarını azaltır.

Metalürjik uygulamalarda, kaynak için ergitici, kalsiyum oksit kaynağı, cüruf koşullandırıcı ve çeliğin sürekli dökümü esnasında ergimiş metalin yüzey koruyucusu olarak kullanılır.

Boyada bir katkı olarak, boya filminin dayanıklılığı geliştirir, pH tamponu olarak davranır, hava koşullarına karşı direnci artırır, parlaklık ve pigment tüketimini azaltır, düzleştirici ve süspansiyon ajanı olarak hareket eder.

Plastiklerde, gerilme ve eğilme mukavemetini geliştirir, reçine tüketimini azaltır ve yüksek sıcaklıklardaki ısıl ve boyutsal kararlılığı geliştirir.

Vollastonit kimyasallara karşı direnç, yüksek sıcaklıklarda kararlılık, yüksek gerilme ve eğilme mukavemeti gibi özellikleri sayesinde yer karosu, sürtünme ürünleri, pano ve panellerin yalıtım malzemesi, boya, plastik ve çatı ürünlerinde asbest yerine kullanılmaktadır.

Stratejik bir mineral olan vollastonitin endüstriyel olarak ilk üretimine 1933 yılında Kaliforniya’da başlanmıştır. Günümüzde ise vollastonit üretimi açık ve kapalı işletme şeklinde Çin, Amerika Birleşik Devletleri, Hindistan, Finlandiya, Meksika, Kanada, İspanya ve Avustralya’da yapılmaktadır. Dünya genelinde 2010 ve 2019 yılları için vollastonit üretim miktarlarına bakıldığında yaklaşık olarak 2 kat artış görülmüştür. Türkiye’de geçmiş yıllarda Balıkesir ilinde işletmeciliği yapılmış olan bu hammaddenin şimdilerde ise Kırşehir ilinde arama ve laboratuvar ortamında zenginleştirme çalışmaları devam etmektedir. Son on yıllık süreç içerisinde Türkiye’de vollastonit üretimi yapılmamıştır. Türkiye’de, maliyetinden ötürü az miktarlarda tüketilen vollastonit, ithalat yoluyla sağlanmaktadır (Haner & Çuhadaroğlu, 2013; LB, 2009).

1. VOLLASTONİTİN ÖZELLİKLERİ

Bir inosilikat minerali olan vollastonit zincir $(Si_3O_9)^{6-}$ bileşiminde kristal yapıya sahiptir. İki dörtyüzlünün aktif oksijenleri bir tarafta, üçüncü dörtyüzlünün aktif oksijeni diğer tarafta yer alır. Bu düzen vollastonitin iğnemsî dokusu, dilinimi ve kristal şekli ile uyum gösterir (Resim 1). Zincirler Ca atomları ile bağlanırlar. Ca atomları çarpık sekizyüzlüsel koordinasyon gösterirler. Vollastonit kristalleri

yassıdır ve b eksenine paralel doğrultulu uzanmıştır. En fazla {001} pinakoidine ve {100} prizma yüzeylerine rastlanır. Genellikle masif, lifsel topluluklar halindedir. Birleşme düzlemi {100} olan ikizler gösterir (Kumbasar, 1977).



Resim 1: Serçeören (Balıkesir) Vollastonitinin 1000 Defa Büyütülmüş Taramalı Elektron Mikroskobu Görüntüsü (Haner & Haner, 2014).

Teorik kompozisyonu, % 48.3 CaO ve % 51.7 SiO₂'den oluşmaktadır. Çok nadir şekilde saf olarak bulunur. Saf wollastonitin (triklinik) birim hücre parametreleri baz alınarak hesaplanan özgül ağırlığı 2.96 g/cm³'tür. Ölçülmüş özgül ağırlığı ise 2.87-3.09 g/cm³ aralığındadır. Özgül ağırlıktaki bu değişim kristal latisi bozan ve kalsiyumun yerini alan, iz ya da az miktardaki alüminyum, demir, manganez, magnezyum, sodyum ve potasyum gibi çeşitli safsızlık iyonlarına

bağlıdır. Bir de ticari vollastonit ürünlerin özgül ağırlıkları kalsit, garnet, diyopsit vs. gibi safsızlıklardan etkilenmektedir. Mineral saf olduğu zaman parlak beyazdır. Fakat iz miktardaki safsızlıklar nedeniyle gri, krem, pembe, kırmızı ve kahverengi olabilir. Bu renk değişimi demir ya da diğer renklendirici iyonların bulunuşuyla ilişkilidir. Renk, kristal yüzeyindeki safsızlıklardan (yeraltı sularının geçişi ile biriken) ya da kristal yapıda bulunan safsızlıklardan etkilenebilir.

Parlaklık camısı-ipeksidir (vitröz-incimsi). Parlaklık plastik, boya ve kaplama gibi uygulamalarda önemlidir. Bazı dolgu ve seramik uygulamalarında vollastonitin kullanılabilmesi için kuru parlaklığının ve beyazlığının uygunluğunun tespit edilmesi önemlidir. Parlaklık, bir standarda dayalı olarak çok iyi bir biçimde öğütülmüş tozun yansıma ölçümleri ile tanımlanır. Baryum sülfat ve magnezyum oksit kullanılan iki standarttır. Kuzey Amerika'da kullanılan bir terim olan G.E. (General Electric) Parlaklığını ölçmek için bir General Electric yansıma ölçere başvurulur. Ticari vollastonit ürünlerin G.E. Parlaklığı genellikle 80-95 arasındaki değerlere sahiptir. Bunun dışında vollastonitin parlaklık ölçümünde Hunter yöntemi de kullanılmaktadır.

Demirin varlığı vollastonitin kırılma indeksi ve optik aksenal açısını arttırır. Genelde, manganezin varlığından kaynaklanan etki ile demirin etkisi birbirlerine benzerdir. Vollastonitin saf polimorfları için tipik optik değerler Tablo 1'de görülmektedir.

Tablo 1: Saf CaO:SiO₂ İçin Optik Özellikler.

Yapı	α	β	γ	δ	$\alpha:z$	B:y	İşaret
α vollastonit - triklinik	1.618	1.630	1.632	0.014	39°	4°	(-)
α paravollastonit - monoklinik	1.618	1.630	1.632	0.014	38°	0°	(-)
B pseudovollastonit	1.610	1.611	1.654	0.044	9°	-	(+)

Saf vollastonitin erime sıcaklığı genellikle 1540°C olarak kabul edilir. Ticari olarak üretilen vollastonitler için akışkan sıcaklığı genellikle bu değerden kısmen daha düşüktür. Erime noktası seramikler, metalürjik ergiticiler ve ısı ya da ateş dayanımının gerektiği alanlarda nihai kullanımlar için önemlidir. Erime noktası konusu bilindiğinin aksine oldukça kapsamlı ve karmaşık bir konudur. Yumuşama noktası, akma noktası, üst plastik deformasyon noktası, füzyon aralığı, erime hızı, vb. gibi konuları kapsamaktadır.

Bazı vollastonit türleri kısa ve uzun dalgalı ultraviyole ışık altında floresans özellik gösterir. Pembe-turuncudan başlayarak yeşil turuncuya ve mavimsi yeşile (çok nadir) kadar renk değiştirirler. Fosforesans özellik gösterenleri de vardır.

Isıl iletkenlik ölçümleri uygulamaya özgüdür. Vollastonit genellikle ısıl iletkenliği düşük olarak nitelendirilir. Bir kaynakta, ısıl iletkenlik katsayısı 2.70 ± 0.07 W/m²K olarak raporlanmıştır. Plastikler için olan fonksiyonel dolgu malzemeleri tipik olarak düşük ısıl iletkenliğe sahiptir. Ancak vollastonit bu uygulamalarda diğer dolgulara göre daha avantajlı olabilir. Elektriksel yalıtım özellikleri bozulmadan

polimer matrisin ısı iletkenliğini arttırabilir. Çeliğın sürekli döküm işleminde, çeliğın tam katılaşacağı esnada kalıp tozunun iyi bir yalıtım özelliğı göstermesi gerekmektedir.

Vollastonitin karakteristik bir özelliğı olan boy/en oranı ile düşük ısı genleşme katsayısı, yüksek ısı şok direnci ve yüksek sıcaklık uygulamalarındaki (ateşe dayanıklı pano ya da refrakter astar gibi) boyutsal kararlılık bütünüştür. Doğrusal genleşme katsayısı genellikle 6.5×10^{-6} mm/mm/°C olarak kabul edilir.

Vollastonitin belirli bir sınırdaki mekanik özellikleri ile ilgili bilgiler Tablo 2’de gösterilmektedir.

Tablo 2: Vollastonitin Sınırlandırılmış Mekanik Özellikleri.

Şekil	Elastik Modül, GPa	Young’s Modülü, 10 ⁹ psi	Çekme Mukavemeti, MPa
Vollastonit fiberler (3-150 µm çapında)	303-530	44-72	2700-4100

Vollastonit elektriksel iletken olmayan ya da yalıtkan olarak değerlendirilebilir. Saf vollastonit için yaygın olarak kabul edilen DC elektriksel iletkenlik değeri 1.5×10^{-11} mho/m’dir. Saf vollastonitin dielektrik geçirgenliğı genel olarak 8.60@1MHz olarak kabul edilir. Kayaç halindeki vollastonitin özel olarak ölçülmüş dielektrik geçirgenliğı değeri Tablo 3’te görülmektedir.

Tablo 3: Göreceli Dielektrik Sabiti İle Kayıp Tanjantı.

Tanım	1 kHz	10 kHz	100 kHz	1 MHz
Vollastonit (Meksika)	6.9 0.0152	6.8 0.0046	6.8 0.0078	6.9 0.0046

Vollastonitin epoksi formülasyonundaki dielektrik değeri 4.6, kayıp faktörü $10\Delta=1.0$ 'dır. Elektriksel seramiklerde, vollastonit kullanım ile düşük kayıplı dielektrik kristalin bir faz sağlanır.

Vollastonitin kendine özgü levhamsı veya iğnemsisi yapısı birçok uygulamada mekanik takviye sağlamaktadır. Ayrıca bu yapı asbest yerine kullanılmasında anahtar bir bileşendir. Bir de vollastonit fiberlerin ısı olarak kararlı olması hem organik reçine hem de çimento ürünlere yüksek sıcaklık kararlılığı katmaktadır.

Genel olarak mar ve çizilmeye karşı direnç, tamamlanmış bir yüzeyin aşınma direnci ile ilişkilidir. Yüzey sertliği doğrudan bir malzemenin aşınma direnci ile ilişkilidir. Vollastonit diğer fonksiyonel dolgularla karşılaştırıldığında daha yüksek Mohs sertliğine (4.5-5.0) sahiptir. Örneğin, talk 1.0-1.5 ve kalsit 3.0 Mohs sertliğine sahiptir. Sonuç olarak vollastonit dolgu uygulamalarında daha üstün mar/çizilme direncine sahiptir.

Vollastonit genellikle kimyasal reaksiyona girmez. Fakat hidroklorik asit veya diğer bazı güçlü inorganik asitlerde bozunabilir. Asetik asit çok az miktarda etkileyebilir (U.S. Geological Survey, 2020; Haner & Çuhadaroğlu, 2013).

2. VOLLASTONİTİN UYGULAMA ALANLARI

Vollastonitin geleneksel uygulama alanları Tablo 4'te verilmiştir. Vollastonit tüketimi başlıca plastik, kauçuk, seramik, metalürji, boya, inşaat, sürtünme ürünleri endüstrilerinde olmaktadır.

Plastik ve kauçuk endüstrisi, vollastonit pazarının en büyük tüketim alanlarından biridir. Plastik dolgu maddesi olarak kullanımının en önemli sebepleri düşük su emme sağlaması, reçine gereksinimini azaltması, bileşiminde az miktarda yabancı madde bulunması, ısıl karakteristikleri gibi özelliklerine bağlıdır. Ayrıca dolgu maddelerinin parlaklık, beyazlık, çarpma, eğilme, aşınma ve çekme gibi özelliklerinin geliştirilmesinde etkilidir. Plastik yüzeyin su emmesini azalttığından dolayı leke direncini arttırmaktadır. Vollastonitin elektrik iletkenliği düşük olduğundan, yalıtkan plastik malzemelerin üretiminde kullanılabilir. Vollastonit içeren termoplastikler ve termosetler mevcuttur. Bunlara örnek olarak, sıvı kristal polimerler, naylon6, poliyester, poliüretanlar, epoksiler ve fenollü kalıp bileşenleri verilebilir. Ancak vollastonitin fiyatının pahalı olması nedeniyle, plastik endüstrisinde daha yaygın olarak cam elyafı (kısa öğütülmüş), talk ve mika gibi dolgu maddeleri kullanılmaktadır.

Vollastonitin seramik endüstrisindeki tüketimi genellikle sağlık gereçleri, karo ve sofraya eşyaları gibi alanlarda olmaktadır. Seramiklere boyutsal kararlılık, hızlı pişirim, düşük su emme, düşük küçülme ve yüksek mukavemet gibi özellikler katmaktadır.

Vollastonit metalürjik uygulamalarda genellikle toz boyutta (75 ya da 45 µm) ya da düşük boy/en oranlı olarak kullanılmaktadır. Metalürjide, cüruf şartlandırıcı olarak kullanılır. Vollastonit, yanma özelliklerini geliştirmek için ya da kıvılcım önleyici kaynak tozu üretimi için kullanılır. Ancak vollastonit metalürjik uygulamalarda düşük miktarlarda tüketilmektedir.

Vollastonitin iğnemsiz özelliği boyanın hava şartlarına karşı dayanımını arttırmakta, küf direnci sağlamakta ve çatlak oluşumunu engellemektedir. Boyada dolgu maddesi olarak kullanıldığında, boyanın beyazlık ve parlaklığını arttırmaktadır. Metal astar boyasında, süspansiyonun bazikliğini yükseltmektedir. Boya yüzeyinin su emmesini azalttığından dolayı, dış cephe boyalarına kendi kendini temizleme özelliğine kazandırır.

Asbestin ortaya çıkardığı sağlık problemlerinden dolayı, bazı ülkelerde asbest yerine vollastonit kullanılmaktadır. Asbestin malzemeye katmış olduğu mukavemet nedeniyle yaygın olarak beton boru üretiminde bileşene katılmaktadır. Beton boru üretiminde asbestin yerini yüksek boy/en oranına sahip vollastonit alabilmektedir. Bunun dışında vollastonit bazı sürtünme ürünlerin, çimentonun ve ateşe dayanıklı duvar levhasının üretiminde kısa lifli asbestin yerini almıştır. İnşaat ve yalıtım levhaları sektöründe yaklaşık 40 bin ton/yıl vollastonit tüketimi vardır. Bazı ülkelerde fren balatası, fren pistonu ve debriyaj üretiminde asbestin yerine vollastonit kullanılmaktadır (Andrews, 1970; Degryse & Elsen, 2003; Fattah, 1994; Haner & Çuhadaroğlu, 2013; International Agency for Research on Cancer,

1997; Springer, 1994).

Tablo 4: Vollaistonitin Geleneksel Uygulama Alanları.

Uygulama Alanı	Kullanım Nedeni
Plastik ve Kauçuk	Fiziksel karakteristikleri artırır (dayanım, sertlik ve boyutsal kararlılık) ve yalıtım özelliğini geliştirir.
Seramik, Cam ve Sır	Parlak beyaz renk sağlar, ergitici özelliği sayesinde sinterleme sıcaklığını düşürür, pişirme ve soğuma süresini azaltır. Genleşmeyi düşürür. İgnemsilik, mukavemet ve kendine özgü fiziksel karakteristikler kazandırır.
Metalürji	Düşük üretim sıcaklığı gerektiğinde ergitici olarak tercih edilir.
Boya	Beyaz parlak renk sağlar. İgnemsi kristaller düzleştirici ajan olarak rol oynar. Kimyasal özelliklerde kararlılık kazandırır.
Asbeste Alternatif	Asbestin kanserojen etkisinden ötürü sıva, çatı bileşenleri, dolgu vs. gibi alanlarda alternatif olarak kullanılır.
Sürtünme ve Aşındırıcı Ürünler	Asbest ve doğal ya da yapay fiberler yerine kullanılır. Fiziksel ve kimyasal performansı geliştirir.

Vollaistonitin geleneksel uygulama alanlarına ek olarak tarım, sağlık ve atık yönetimi gibi dikkat çeken bazı alanlarda da kullanımı yapılmaktadır.

Tarımda vollaistonit, pirinç hastalıklarını bastırmada, ağacın belirli türlerinin biyolojik dayanıklılığını arttırmada ve toprak ıslahında silikon kaynağı olarak kullanılmaktadır (Datnoff & Rodrigues, 2005; Karimi, Taghiyari, & Fattahi, 2013; Maxim, Niebo, Utell, McConnell, LaRosa, & Segrave, 2014).

Sağlık alanında vollastonit, kemik sementi, kemik implantları, kemik greftleri, seramik eklem değiştirme, dental yenileme gibi uygulamalardaki biyoaktif bileşen olarak kullanılmaktadır.

Atık yönetiminde vollastonit, tali atıksulardan fosfor giderimi için kullanılır. İlave olarak, su kirlilik kontrol sisteminde, kirlenmiş sıvı çözeltilerdeki ağır metalleri absorbe eder (Brooks, Rozenwalk, Geohrig, Lio, & Steenhuis, 2000; Maxim, Niebo, Utell, McConnell, LaRosa, & Segrave, 2014).

Son zamanlarda vollastonit, asit yağmurları ile tahrip olan ormanları restore etmek için de kullanılmaktadır (Peters, Blum, Driscoll, & Likens, 2004).

Vollastonitin stratejik önemi, kaliteli yataklarının az olmasından, bu yatakların pazarlara uzak olmasından ve ürünlere kattığı özelliklerden kaynaklanmaktadır. Bu mineralin kullanım alanları her geçen gün artmaya devam edecektir.

3. DÜNYA VOLLASTONİT FAALİYETLERİ

3.1. Üretim

Vollastonitin dünya rezervleri 100 milyon tonu aşmaktadır. Muhtemel rezervleri ise 270 milyon ton civarındadır. Ancak birçok ülkede rezervlerinin tespiti yapılmadığından dolayı kesin miktarı bilinmemektedir. Günümüzde başlıca vollastonit üreticileri Çin, Hindistan, Amerika Birleşik Devletleri, Meksika, Kanada, Finlandiya ve İspanya'da bulunmaktadır. Üretim yapmayan ancak önemli

rezervlere sahip diğer ülkeler Türkiye, Fas, Kenya, Namibya, Şili, Güney Afrika, Kuzey Kore, Sırbistan, Sudan, Pakistan, Tacikistan ve Özbekistan'dır.

Dünya vollastonit üretim miktarı 2010 yılında 615000 ton iken 2019 yılına bakıldığında 1234000 ton olduğu görülmektedir (Tablo 5). Yaklaşık olarak iki katı bir artış gözlenmiştir. Son on yılın en yüksek üretim miktarı 2017 yılında 1439000 ton üretim yapılarak elde edilmiştir. Ancak 2018 ve 2019 yıllarına gelindiğinde üretim miktarlarında düşüş gözlenmiştir. Bu düşüşün iki nedeni olabilir. Birincisi tüketim miktarına bağlıdır. İkincisi ise Çin'in bütün üretim miktarı verilerine ulaşamamış olunmasından kaynaklanabilir. 2019 yılındaki üretimin yaklaşık olarak %84'lük kısmını, Çin ve Hindistan oluşturmaktadır. Dünya vollastonit üretiminin son on yılına bakıldığında, Çin lider konumda olan ülkedir. Onu Hindistan takip etmektedir. Çin'de bulunan vollastonit yataklarının büyük bir kısmı Jiangxi, Yunnan, Jilin, Liaoning ve Qinghai vilayetlerindedir. Çin de yaklaşık olarak 130 milyon ton vollastonit tespit edilmiştir. Dünya genelinde metalürji ve seramik endüstrilerinde tüketilen vollastonitin büyük bir kısmı Çin'den temin edilmektedir.

Meksika'daki vollastonit üretiminin son yıllarda önemli bir miktarda yükseldiğini görmek mümkündür. 2010 yılında 46600 ton üretim miktarıyla dördüncü sırada yer alan Meksika, 2019 yılına gelindiğinde üretimini yaklaşık %100 artırarak 93000 tona çıkarmıştır. Meksika, 2016-2019 yılları arasında, ABD'nin vollastonit üretim miktarlarını geçmiştir.

Tablo 5’te Kanada ve Avustralya’nın sırasıyla 2014 ve 2015 yıllarında vollastonit üretimine başladığı görülmektedir. Ancak bu iki ülkenin yıllık bazdaki toplam üretim miktarları, dünya toplam üretiminin %2’sinden azdır.

Tablo 5: Vollastonit Üreticisi Ülkelerin 2010-2019 Yılları Arasında Üretim Miktarları (x1000 ton).

Ülkeler	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Çin	300	745	750	750	110	100	110	110	870	890
ABD	67	70	70	70	70	70	60	50	70	70
Hindistan	183.3	184.4	148.6	192.7	186.5	175.3	166	153	150	150
Meksika	46.6	47.5	55.2	57.3	54.6	57.5	64	88	84	93
Kanada	0	0	0	0	3	5.6	11	11	15	20
Finlandiya	12.1	11.5	11.5	11.5	10	10	10	10	10	11
İspanya	6	7.4	10.9	16.7	15.3	17.7	13.6	19.1	*m d	*md
Avustralya	0	0	0	0	0	2.4	1.8	1.8	*m d	*md
Toplam (Yuvarlandı)	615	1066	1046	1098	1439	1339	1426	1433	1199	1234

*md=mevcut değil

3.2. Tüketim

Bazı ülkelerin yıllık bazda vollastonit üretim miktarlarında dalgalanma gözükse de, dünya vollastonit tüketimi her geçen yıl artmaktadır. Dünya vollastonit tüketim miktarı 2010 yılında 460-500 ton aralığında iken 2019 yılına bakıldığında 850-900 ton aralığına geldiği görülmektedir (Tablo 6). Yaklaşık olarak 1.8 katı bir artış gözlenmiştir. Son on yılın en yüksek tüketim miktarı 2019 yılında görülmektedir. Dünya vollastonit satışlarının yaklaşık %30-40 kadarı seramik uygulamalarından, yaklaşık %30-35 kadarı polimerlerden (plastik ve kauçuk), yaklaşık %10-15 kadarı ise boya endüstrisinden oluşmaktadır. Vollastonitin ikincil satış alanları yapı, sürtünme ürünleri ve metalürjik uygulamalardır.

Tablo 6: 2010-2019 Yılları Arasında Dünya İşlenmiş Vollastonitin Yaklaşık Tüketim Miktarları (x1000 ton).

2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
460-500	480-520	500-540	510-550	500-540	800-850	*md	825-875	*md	850-900

*md=mevcut değil

3.3. Fiyat

Tablo 7’de 2010-2019 yılları arasında Çin’in Limanda Bordo’ya teslim (FOB) fiyatları görülmektedir. Çin’in FOB fiyatı 2010-2013 yılları arasında 200 mesh için 80-90 \$/ton, 325 mesh için 90-100 \$/ton iken 2014-2019 yılları arasında 200 mesh için 80-100 \$/ton, 325 mesh

için 90-105 \$/ton olarak değişmiştir. Fiyat değişimi az gibi gözükse de çok miktardaki alımları etkileyebilmektedir.

Tablo 7: Vollastonitin 2010-2019 Yılları Arasında Çin'in Limanda Bordo'ya Teslim (FOB) Fiyatları.

Tane Boyutu	2010-2013	2014-2019
200 mesh	80-90 \$/ton	80-100 \$/ton
325 mesh	90-100 \$/ton	90-105 \$/ton

Tablo 8'de 2010-2018 yılları arasında iğnemsiz vollastonitin ABD fabrikada teslim kote edilmiş fiyatları görülmektedir. 2010 yılında 200 mesh için 200-230 \$/ton, 325 mesh için 210-240 \$/ton, iğnemsiz (yüksek boy/en) için 444 \$/ton iken, 2011 yılında 200 mesh için 231-265 \$/ton, 325 mesh için 242-276 \$/ton, iğnemsiz (yüksek boy/en) için 489 \$/ton olarak değişmiştir. 2016 yılına kadar fiyatlardaki bu artış az da olsa devam etmiştir. Ancak 2017 yılından sonra vollastonit fiyatlarında bir düşüş gözlenmiştir.

Tablo 8: Vollastonitin 2010-2018 Yılları Arasında İğnemsiz Vollastonitin ABD Fabrikada Teslim Kote Edilmiş Fiyatları (\$/ton).

Boyut	2010	2011-2012	2013	2014-2016	2017-2018
200 mesh	200-230	231-265	231-265	231-265	210-240
325 mesh	210-240	242-276	243-276	243-276	220-250
İğnemsiz	444	489	489	485-491	440-445

Literatürden elde edilen bu fiyatlar genel bilgi olarak görülmeli ve o şekilde kullanılmalıdır. Gerçek fiyatlar, alıcı ve satıcı arasındaki sözleşme ile belirlenen koşullara göre değişmektedir (U.S. Geological Survey, 2020; Brown, et al., 2017; Indian Bureau of Mines, 2018)

SONUÇ

Dünyadaki en önde gelen vollastonit üretici şirketler Kuzey Amerika, Avrupa ve Asya kıtalarında bulunmaktadır. Bu bilinen kıtaların dışındaki bazı ülkelerde az miktarda vollastonit üretimi yapıldığı bilinmektedir. Ancak küresel vollastonit üretici firmalar ana pazarı her zaman ellerinde tutmaktadırlar. Günümüzde birçok özelliğe sahip vollastonit üretimi yapılmaktadır. Gelecekte vollastonitin farklı kullanım alanlarının keşfedilmesiyle, şüphesiz ürün çeşitliliği daha da artacaktır.

Türkiye'nin Balıkesir ilinde (Serçeören köyü), Çanakkale Seramik Fabrikası A.Ş. tarafından 1979 yılına kadar (yaklaşık 10 yıl) 100000 ton vollastonit üretimi yapılmıştır. Bu bölgedeki vollastonit, sadece elle ayıklama ile karo üretiminde kullanılabilir düzeydedir. Ancak zuhurların dağınık ve çok geniş alana yayılmış olması, sondaj çalışmalarının yapılmamış olması nedenleriyle, bu bölgede son 40 yıldır vollastonit madenciliği yapılmamaktadır. Son zamanlarda Kırşehir ili Tatarilyasyayla bölgesinde bulunmuş olan vollastonitin zenginleştirme çalışmaları devam etmektedir. Ancak bulunduğu bölgede yeterince sondaj çalışması yapılmadığından dolayı kalitesi ve rezerv miktarı konusunda detaylı bir bilgi bulunmamaktadır.

KAYNAKÇA

- Andrews, R. W. (1970). *Wollastonite*. London: Her Majesty's Stationary Office.
- Brooks, A., Rozenwalk, M. N., Geohrig, L. D., Lio, L. W., & Steenhuis, T. (2000). Phosphorus Removal by Wollastonite: a Constructed Wetland Substrate. *Ecological Engineering*, 121-132.
- Brown, T. J., Idoine, N. E., Raycraft, E. R., Shaw, R. A., Deady, E. A., Hobbs, S. F., et al. (2017). *World Mineral Production*. Nottingham: Nerc.
- Datnoff, L. E., & Rodrigues, F. A. (2005). The Role of Silicon in Suppressing Rice Diseases. *American Phytopathological Society*, 28.
- Degryse, P., & Elsen, J. (2003). *Industrial Minerals, Resources, Characteristics and Applications*. Leuven: Leuven University Pres.
- Fattah, H. (1994). Wollastonite-New Aspects Promise Growth. *Industrial Minerals*, 21-43.
- Haner, & Haner, B. (2014). The Features of Wollastonite in Balıkesir and its Use in Ceramic Materials as an Alternative Raw Material. *International Ceramic Review*, 354.
- Haner, S., & Çuhadaroğlu, D. (2013). Wollastonit: Bir Gözden Geçirme. *Jeoloji Mühendisliđi Dergisi*, 63-81.
- Indian Bureau of Mines. (2018). *IBM*. 5 30, 2020 tarihinde IBM: http://ismenvis.nic.in/Database/IBM_6542.aspx adresinden alındı
- International Agency for Research on Cancer. (1997, Ekim 22). *Silica, Some Silicates, Coal Dust and para-Aramid Fibrils*. 5 30, 2020 tarihinde IARC Publications: <https://publications.iarc.fr/Book-And-Report-Series/Iarc-Monographs-On-The-Identification-Of-Carcinogenic-Hazards-To-Humans/Silica-Some-Silicates-Coal-Dust-And-Em-Para-Em--Aramid-Fibrils-1997> adresinden alındı
- Karimi, A., Taghiyari, H. R., & Fattahi, A. (2013). Effects of Wollastonite Nanofibers on Biological Durability of Poplar Wood (*Populus Nigra*) Against *Trametes Versicolor*. *Bioresources*, 34-41.
- Kumbasar, I. (1977). *Silikat Mineralleri*. İstanbul: İTÜ Matbaası.

- LB. (2009, 8 18). *European CHemicals Agency (ECHA) pre-registration*. 5 30, 2020 tarihinde Landolt Börnstein Substance / Property Index: https://lb.chemie.uni-hamburg.de/static/CN/2_C_casio.php?content=law/167/Q2aPqTuV adresinden alındı
- Maxim, L. D., Niebo, R., Utell, M. J., McConnell, E. E., LaRosa, S., & Segrave, A. M. (2014). Wollastonite Toxicity: an Update. *Inhalation Toxicology*, 95-112.
- Peters, S. C., Blum, J. D., Driscoll, C. T., & Likens, G. E. (2004). Dissolution of Wollastonite During the Experimental Manipulation of Hubbard Brook Watershed 1. *Biogeochemistry*, 309-329.
- Springer, J. (1994, 1 12). *Ontario Wollastonite - IMBP017 - Geology Ontario*. 5 30, 2020 tarihinde Ontario: http://www.geologyontario.mndmf.gov.on.ca/mndmaccess/mndm_dir.asp?type=pub&id=IMBP017 adresinden alındı
- U.S. Geological Survey. (2020, 1). *Wollastonite Statistics and Information*. 5 30, 2020 tarihinde USGS: <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2020/mcs2020.pdf> adresinden alındı
- U.S. Geological Survey. (2020). *Wollastonite Statistics and Information*. 5 30, 2020 tarihinde USGS: <https://www.usgs.gov/centers/nmic/wollastonite-statistics-and-information> adresinden alındı