



# MADEN TETKİK VE ARAMA GENEL MÜDÜRLÜĞÜ

## DÜNYADA VE TÜRKİYE'DE VERMİKÜLİT

### HAZIRLAYAN

Dr. Fehmi ARIKAN  
Jeoloji Yük. Mühendisi

Fizibilite Etütleri Daire Başkanlığı

2021



## İÇİNDEKİLER

1. GİRİŞ .....	1
1.1. Tanımlamalar .....	1
1.2. Dünyada Vermikülit Madenciliğinin Tarihçesi .....	5
1.3. Türkiye’de Vermikülit Madenciliğinin Tarihçesi .....	6
1.4. Vermikülit Madeninın Kullanım Alanları.....	6
2. VERMİKÜLİT MADEN YATAĞININ OLUŞUM TÜRLERİ .....	8
2.1. Vermikülit Madeninın Özellikleri.....	8
2.2. Vermikülit Madeninın Yataklanma Şekilleri.....	8
3. MADEN YATAKLARININ SINIFLANDIRILMASI.....	10
4. REZERV ve KAYNAK DURUMU .....	11
4.1. Dünya Rezervleri ve Kaynakları.....	11
4.2. Türkiye Rezervleri .....	12
5. ÜRETİM DURUMU VE TİCARETİ .....	13
5.1. Dünyada Üretim Kapasitesi/Miktarı ve Değerleri .....	13
5.2. Dünyada Üretim Yapan Şirketler.....	15
5.3. Uluslararası Birlikler (Kuruluşlar).....	16
5.4. Türkiye’de Üretim Kapasitesi/Miktarı ve Değerleri.....	17
5.5. Türkiye’de Vermikülit Madeni Arama Ruhsatları.....	17
5.6. Türkiye’de Vermikülit Madeninın Standartları ve Fiyatları, Pazar/Piyasa Durumu .....	18
5.7. Türkiye İthalat ve İhracat Değerleri.....	19
6. VERMİKÜLİTİN ÜRETİM YÖNTEMİ VE TEKNOLOJİSİ .....	20
6.1 .Vermikülitin Üretim Yöntemleri .....	20
6.2. Cevher Hazırlama ve Zenginleştirme İşlemleri .....	20
6.3. Kullanıldığı Sektörlere Göre Ürün Grupları (Ham, Yarı Ürün, Uç Ürün) .....	20
7. ÇEVRESEL ETKİLERİ.....	22
8. ÜRETİM ve TÜKETİM TRENDLERİ.....	23
9. GELECEK BEKLENTİLERİ/TAHMİNLERİ .....	24
10. SONUÇ VE ÖNERİLER .....	25
11. KAYNAKLAR.....	26

## TABLULAR LİSTESİ

Tablo 1. Vermikülitin Tipik Kimyasal Analizi .....	3
Tablo 2. Ham ve Genleştirilmiş Vermikülitlerin Tane Boyu Dağılımı ve Yoğunluklarına Göre Sınıflandırılması .....	3
Tablo 3. Vermikülit Mineralinin Tane Boyu Dağılımına Göre Sınıflandırılması .....	3
Tablo 4. Genleştirilmiş Vermikülit Mineralinin Fiziksel Özellikleri .....	4
Tablo 5. Ticari Değeri Olan Vermikülit Mineralinin Kimyasal Analizleri .....	5
Tablo 6. Vermikülitin Kullanım Alanları .....	7
Tablo 7. Vermikülitin Tane Boyuna göre Kullanım Alanları .....	7
Tablo 8. Dünyada Vermikülit Rezervleri .....	11
Tablo 9. Dünyada Vermikülit Kaynakları .....	12
Tablo 10. Ülkelere Göre Vermikülit Üretimi (metrik ton) .....	14
Tablo 11. Vermikülit Üretim Miktarı .....	17
Tablo 12. Türkiye’de Üretilen Vermikülitin İhracat ve İthalat Değerleri ve Önceki Yıla Göre Değişimleri .....	19

## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1. Vermikülit mineralinin görünümü .....	1
Şekil 2. Vermikülitin kristal yapısı.....	2
Şekil 3. Ham vermicülit (soldaki tane), 800-1100 °C ısıtılarak elde edilen genişletilmiş vermicülit (sağdaki tane) .....	4
Şekil 4. Ülkelere göre vermicülit üretimi (2020) .....	13
Şekil 5. Güney Afrika Cumhuriyeti vermicülit fiyat değişimi (2007-2017).....	15
Şekil 6. Sivas-Yıldızeli-Karakoç vermicülit sahasındaki cevher yatağı ve açık ocak tasarımı.....	18
Şekil 7. Vermicülit kullanımının sektörlere göre dağılım.....	21



# 1. GİRİŞ

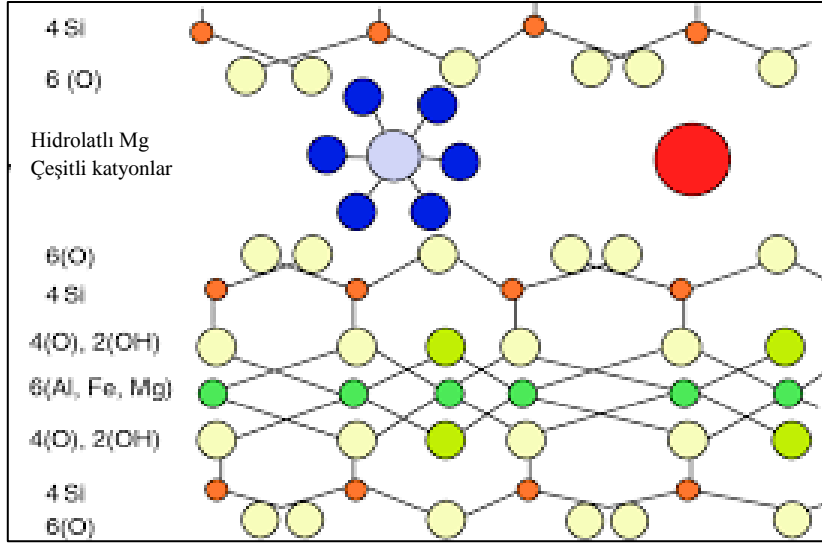
## 1.1. Tanımlamalar

Fillosilikat minerallerinin genellikle bozunması veya hidrotermal alterasyonu sonucunda oluşan vermikülit mineralinin özellikleri, bozunmamış ana mineralin özelliklerine önemli ölçüde benzerlik gösterir. Bu nedenle, vermikülitin kesin bir tanımını yapmak oldukça zordur. Bu minerali; tabakaları arasında Mg, Fe (Fe<sup>3+</sup>) veya Al hidrosit kompleksi içeren, yüksek yükü olan ve genleşebilen bir fillosilikat minerali olarak tanımlamak mümkündür (Velde, 1985; Calle de la Suquet, 1988; Deer ve diğ., 1980). Genellikle (Mg, Fe<sup>2+</sup>, Al)<sub>3</sub> (Al, Si)<sub>4</sub> O<sub>10</sub> (OH)<sub>2</sub> · 4H<sub>2</sub>O şeklindeki yapısal formülü ile ifade edilir (Fleischer and Mandarino, 1991) (Şekil 1).



Şekil 1. Vermikülit mineralinin görünümü

Vermikülitin kristal yapısı, SiO<sub>4</sub>'den oluşmuş iki adet tetrahedral tabaka arasında yer alan Mg ve Fe iyonlarından oluşmuş oktahedral koordinatlı bir tabakadan oluşur. Bu kompozit (karma) tabakalar arasına hidrosit katyonlar yerleşmiştir. Al'nin silisyumun yerine geçişinden kaynaklanan yük farkı, genellikle tabaka arasında bulunan Mg ile dengelenir. Yüzey oksijenleri ve aynı tabakadaki katyonlar birbirlerine H-bağı ile bağlanırken, su moleküllerinin oluşturduğu tabakalar birbirlerine Mg ile bağlanır (Şekil 2).



Şekil 2. Vermikülitin kristal yapısı

Vermikülitin tipik kimyasal analizi ve formülü Tablo 1’de gösterilmektedir. Ham vermiculit tane boyuna göre beş sınıfa ayrılır (Tablo 2). Ham vermiculit endüstrideki kullanım alanı sınırlı olduğu için, daha çok ısıtılma sonucunda elde edilmiş genişletilmiş hali tercih edilir. Vermiculit ani olarak ısıtıldığında yapısında bulunan kristal suyu buharlaşır. Oluşan buhar basıncı nedeniyle, mineral C eksenini boyunca genişterek yapraksı bir yapı kazanır. Kazanılmış bu yapı eksfoliasyon olarak isimlendirilir. Elde edilen genişletilmiş ürün sınıflandırılarak pazarlanır. Ham ve genişletilmiş (eksfoliasyonlu) vermiculitlerin tane boyu dağılımı ve yoğunluklarına göre farklı kaynaklar tarafından önerilmiş sınıflandırma sistemleri Tablo 2 (The Vermiculite Association, 2011) ve Tablo 3’ de (TS 5763) sunulmuştur. Genleşme sonucunda malzemenin yığın yoğunluğu, yaklaşık 10 kat azalarak,  $0,8 \text{ g/cm}^3$  'den  $0,08 \text{ g/cm}^3$ 'e düşmektedir. Yığın yoğunluğundaki bu düşüş, vermiculit kalitesine ve genişletirmenin yapıldığı fırının performansına bağlı olmaktadır. Isıl işlem sonucunda yaklaşık 30 katlık bir genişleme sağlanabilmektedir (Strand and Stewart 1983; Loughbrough, 1991) (Şekil 3).



Tablo 1. Vermikülitin Tipik Kimyasal Analizi

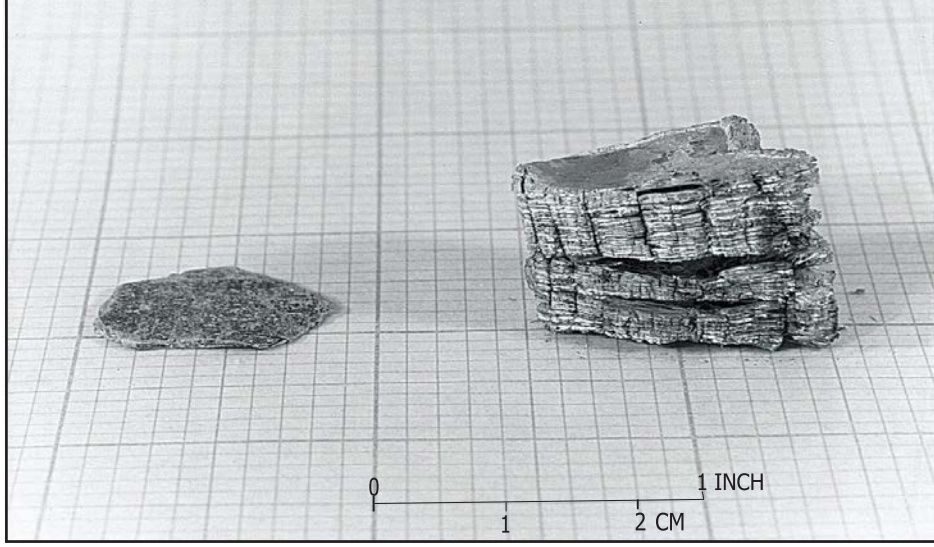
Element	Ağırlıkça (%)
SiO <sub>2</sub>	38-46
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	10-16
MgO	16-35
CaO	1-5
K <sub>2</sub> O	1-6
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6-13
TiO <sub>2</sub>	1-3
H <sub>2</sub> O	8-16
Diğer	0,2-1,2
<b>Tipik Kimyasal Formül: (Mg,Ca,K,Fe<sup>II</sup>)<sub>3</sub>(Si,Al,Fe<sup>III</sup>)<sub>4</sub>O<sub>10</sub>(OH)<sub>2</sub>O4H<sub>2</sub>O</b>	

Tablo 2. Ham ve Genleştirilmiş Vermikülitlerin Tane Boyu Dağılımı ve Yoğunluklarına Göre Sınıflandırılması

Sınıf	Ham Vermikülit		Genleşmiş Vermikülit	
	Tane boyu dağılımı (mm)	Serbest haldeki yoğunluk (kg/m <sup>3</sup> )	Üretilmiş haldeki Yoğunluk (kg/m <sup>3</sup> )	Özgül yüzey Alanı (m <sup>2</sup> /g)
<b>Mikron</b>	0,205-0,710	700-850	90-160	6,4
<b>Çok İnce</b>	0,355-1,000	800-950	80-144	5,4
<b>İnce</b>	0,710-2,000	850-1050	75-112	4,4
<b>Orta</b>	1,40-4,00	850-1050	72-90	4,0
<b>İri</b>	2,80-8,00	850-1050	84-85	3,8

Tablo 3. Vermikülit Mineralinin Tane Boyu Dağılımına Göre Sınıflandırılması

Kare Gözlü Elek Üzerinde Biriken Miktar (Ağırlıkça %)							
Sınıflar	Elek Göz Açıklığı						
	9,50 mm	4,75 mm	2,36 mm	1,18 mm	0,60 mm	0,30 mm	0,15mm
<b>1. Sınıf</b>	30-80		80-100				
<b>2. Sınıf</b>	0-10			90-100			
<b>3. Sınıf</b>		0-10 mm	45-90				
<b>4. Sınıf</b>			0-10		95-100	60-98	90-100
<b>5. Sınıf</b>				0-5	90-100		



Şekil 3. Ham vermikülit (soldaki tane), 800-1100 °C ısıtılarak elde edilen genişletilmiş vermikülit (sağdaki tane)

Genleştirilmiş vermikülit mineralinin fiziksel özellikleri Tablo 4’te, dünyadaki bazı vermikülit işletmelerine ait cevher numunelerinin kimyasal analizleri ise Tablo 5’te sunulmuştur (P. W. Harben, M. Kuzvart, 1996).

Tablo 4. Genleştirilmiş Vermikülit Mineralinin Fiziksel Özellikleri

Renk	Açık – Koyu kahverengi
Şekil	Akordeon – tane şekilli
Yoğunluk (a)	64 -160 kg/m <sup>3</sup> (4-10 lb/ft <sup>3</sup> )
Nem kaybı	110°C (230°F)’ de %4 -10
pH (su içerisinde)	6 - 9
Yanabilirlik	Yanmaz
Mohs Sertliği	1-2
Sinterleme sıcaklığı	1150 - 1250°C (2100 - 2280°F)
Erime noktası	1200 - 1320°C (2200 - 2400°F)
Katyon değişim kapasitesi (b)	50 - 100 meq/100g
Özgül ısı	0,84 – 1,08 kJ/kgK 0,20 – 0,26 kcal/kgK 0,20 – 0,26 Btu/lb F
Su tutma kapasitesi	%20 - 50 (hacimce)
Kristal sistemi	Monoklink kristal sistem
Kristal sınıfı	Prizmatik (2/m)

Tablo 5. Ticari Değeri Olan Vermikülit Mineralinin Kimyasal Analizleri

	ABD (Enoree)	ABD (Virginia)	Güney Afrika	Brezilya	Çin	Rusya (Kovdor)
Li <sub>2</sub> O	-	0,01	0,03	-	-	-
Na <sub>2</sub> O		1,72	0,80	0,10	1,61	0,93
K <sub>2</sub> O	4,42	6,63	2,46	0,50	5,97	2,56
MgO	20,04	16,38	23,37	23,60	24,22	21,39
CaO	0,75	1,12	1,46	3,80	0,93	0,20
BaO	0,12	-	-	0,20	-	0,30
MnO	0,07	0,14	0,30	-	0,05	-
FeO	-	-	1,17	-	1,54	3,56
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17,36	12,85	12,08	10,20	12,68	10,01
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,50	-	-	-	0,23	0,20
Fe <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	8,45	8,80	5,45	5,80	4,60	1,90
TiO <sub>2</sub>	-	1,66	1,25	0,70	1,38	1,00
H <sub>2</sub> O	8,71	10,66	11,20	10,20	5,82	15,70
Toplam	98,61	99,34	98,97	100,00	99,99	99,40

## 1.2. Dünyada Vermikülit Madenciliğinin Tarihçesi

Vermikülit ve onun benzersiz özelliklerinin bilinmesi 1824 yılına dayanmaktadır. 1900’lü yıllara kadar bu mineral üzerinde çeşitli bilimsel araştırmalar gerçekleştirilmiştir. Ticari anlamda ilk madencilik çalışmaları 1915 yılında Colorado’da (Amerika Birleşik Devletleri – ABD) yapılmıştır. Tungsten külü olarak üretilen ilk ürün yeterince satılamadığı için, yatırım başarısız olmuştur. Libby, Montana’da (ABD), 1923 yılında Zonolite şirketi tarafından başlatılan başarılı ilk vermicülit madenciliği 1990 yılına kadar devam etmiştir. Güney Afrika Cumhuriyeti’nde vermicülit madenciliği 1946 yılından günümüze değin kesintisiz olarak yapılmaktadır (Schoeman, 1989). Yeni Güney Galler’de Tout sokulum karmaşığındaki vermicülit yatağı 1991 yılında bulunmuştur. Avustralya’nın kuzeyinde yer alan Kuzey Çöl Bölgesindeki “Çamur Tankı” isimli vermicülit madeni 1994 yılında ortaya çıkarılmıştır. 1996 yılında işletmeye geçen bu madeni 2002 yılında Fransızlar satın alarak üretime devam etmişlerdir. Çin’in en büyük rezervine sahip, dünyada ise ikinci büyüklükte olan Qieganbulake vermicülit madeni 1999 yılında Xinjiang bölgesinde bulunmuştur.

Dünyadaki en büyük vermicülit madeni işletmesi Güney Afrika Cumhuriyeti’nin Phalabowra bölgesindedir. ABD, Çin, Rusya, Brezilya, Japonya, Zimbabve ve Avustralya gibi ülkelerde önemli miktarlarda vermicülit üretimi yapılmaktadır.

1999 yılında Güney Carolina'da (ABD) bulunan iki ayrı maden işletmesinden ve Virginia'da bulunan bir maden işletmesinden ülkenin değişik yerlerinde kurulmuş olan üretim tesislerine konsantre (zenginleştirilmiş) vermikülit cevheri sevk edilmiştir. Çoğunluğu Güney Afrika Cumhuriyeti'nden olmak üzere, ek olarak yaklaşık 77.000,00 ton zenginleştirilmiş vermikülit cevheri bu tesisler tarafından ayrıca ithal edilmiştir.

### **1.3. Türkiye'de Vermikülit Madenciliğinin Tarihçesi**

Türkiye'de vermikülit yataklarının varlığı fazla bilinmemekle birlikte, yürütülen jeoloji çalışmaları sonucunda Sivas-Yıldızeli ve Malatya bölgelerinde vermikülit cevherinin varlığı saptanmıştır (Aras, 1984). Ülkemizde bilinen en büyük ve işletilen tek vermikülit yatağı Sivas ili Yıldızeli ilçesindedir. 1990'lı yıllarda tespit edilen vermikülit yatağı, 2004 yılında başlatılan Ar-Ge çalışmaları sonrasında ülke ekonomisine kazandırılmıştır. Türkiye'de üretimi olmadığı için yakın bir tarihe kadar ithal edilen vermikülit madeni buradan çıkartılıp işlendikten sonra ihraç edilmektedir.

### **1.4. Vermikülit Madenin Kullanım Alanları**

Fırındaki ısıtma süresi, fırın sıcaklığı, fırının kapasitesi gibi nedenlere bağlı olarak, ham vermikülit ısıtıldığında yoğunluğu  $640-1120 \text{ kg/m}^3$ 'den  $64-160 \text{ kg/m}^3$ 'e düşer. Ayrıca, biyotit ve flogopit minerallerinin sahip oldukları alterasyon ve mineralojik özellikleri de vermikülitin yapraklanma derecesini etkiler (Kogel et al. 2006, Justo et al. 1989). Isıtılma işlemi sonucunda yüksek poroziteli (geçirimli), oldukça hafif, kimyasal olarak aktif olmayan, ısıya dayanıklı, ses geçirmeyen bir malzeme ortaya çıkar (Marcos et al. 2009, Muiambo et al. 2010). Yoğunluğu düşük olan vermikülitler daha fazla yapraksı yapıya sahip oldukları için, ham vermikülitlere göre daha çok tercih edilirler (The Vermiculite Association, 2011).

1950'li yıllardan itibaren, vermikülit mineralinin fiziksel ve kimyasal özelliklerinin üzerinde çalışılmaya başlanması ile birlikte, bu mineralin diğer alanlarda da kullanılabilmesi ortaya çıkmıştır. Genleştirilmiş vermikülit, portland çimento ile birlikte hafif yapı malzemelerinin yapımında kullanılmaktadır. Bu malzemeler tavan ve duvar dekoratif süslemelerinde, yüzme havuzu tabanlarında kullanıldığı gibi, hafiflikleri, yalıtım özellikleri, erime özelliklerinin olmaması, kolay uygulanmaları ve ucuz maliyetleri nedeniyle dökümhane ve çelik fabrikalarında ateşe dirençli muhafaza elemanları olarak da kullanılmaktadır. Erimiş malzemeyi paketlemek ve taşımakta kullanıldığı gibi, kimyasalların taşınmasında kullanılan sıcak borular ve buhar borularının yalıtımında da kullanılır (Potter, 1991, 1992). Tarımda da önemli yeri olan vermikülit, bahçelerde, spor

sahalarında, golf sahalarında, parklarda ve daha birçok alanda toprak düzenleyicisi olarak kullanılır ve gübre işlevini görür. Büyük tarımsal alanlarda da kullanılabileceği gibi, bu alanlarda gübre kullanmak daha ekonomik olmaktadır. Kuru iklim bölgelerinde tarımda önemli bir yeri vardır (Evans, 1993; Santos, 1978). Petrol sektöründe, sondaj çamurunun yapımında, kullanıldığı da bilinmektedir (Berker, 1992). Yapı malzemelerinde olduğu gibi, buzdolabı, otomobil ve uçaklarda da yalıtım malzemesi olarak kullanılır. Yangın söndürücülerin, filtrelerin, soğutucu depoların, yer muşambalarının, motor yağlarının, plastik ürünlerin, duvar kağıtlarının, dış cephe boyalarının, ateşe dayanıklı filmlerin yapımlarında vermikülit kullanılmaktadır (Berker, 1992).

Tablo 6. Vermikülitin Kullanım Alanları

SEKTÖR	KULLANIM YERİ	SEKTÖR	KULLANIM YERİ
Endüstri	Paketleme malzemesi	Bahçivanlık	Toprak bloklarındaki karışımlar
	Fren balataları		Organik gübre
	Sondaj çamuru		Tohum çimlenmesi
	Endüstriyel fırınlar		Saksı karışımları
	Yüksek sıcaklığa dayanıklı ürünler		Çömlekçilik
	Boya		Köklerin klonlanması
	Yalıtım		Bitki soğanlarının çoğaltılması
Ziraat	Hayvan yemi	İnşaat	Ses yalıtımı
	Topaklanmayı önleyici malzeme		Havada sertleşen bağlayıcı
	Hacim arttırıcı malzeme		Alçı sıva
	Böcek ilacı		Zemin ve tavan sapı
	Toprak düzenleyicisi		Vermikülit tahtaları
	Gübre		Çatı yalıtımı

Sahip olduğu birçok özellik nedeniyle vermikülit, inşaat sektörü, endüstri, ziraat ve bahçivanlık gibi birçok alanda değişik şekillerde kullanılabilir (Tablo 6) (Chemical Mine World, 2004). Vermikülitin tane boyuna göre kullanım alanları Tablo 7’de sunulmuştur (Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Raporu, 2001).

Tablo 7. Vermikülitin Tane Boyuna göre Kullanım Alanları

TANE BOYU	KULLANIM ALANI
12,5 – 0,74 mm	Konutlarda yalıtım malzemesi, akustik sıvalar, tavan kubbe kaplamaları, boru kaplamaları, tecrit edici çimentolar.
0,74 – 0,37 mm	Buzdolabı, otomobil ve uçaklarda yalıtım malzemesi, yangın söndürücüler, filtreler, soğutucu depolar.
0,37 – 0,12 mm	Yer muşambaları, çatı kaplamaları
0,12 – 0,074 mm	Motor yağları, plastik ürünler.
0,074 – 0,054 mm	Duvar kağıtları, dış cephe boyaları

## **2. VERMİKÜLİT MADEN YATAĞININ OLUŞUM TÜRLERİ**

### **2.1. Vermikülit Madeninin Özellikleri**

Mineralojik olarak tek başına farklı bir grubu temsil eden vermicülit, endüstriyel olarak genişleme özelliğine sahip tüm mika grubu minerallerini de (flogopit, biyotit ve hidrobiyotit) kapsayan genel bir terim olarak kullanılmaktadır (Bush, 1976). Yüzeysel suların (de la Calle and Suquet, 1988; Zhelyaskova-Panayotova et al., 1992,1993; Schoeman, 1989; Toksoy and Köksal et al., 2001, Narasimha et al., 2006, Basset, 1959 ) veya hidrotermal sıvıların (Amin et al., 1954; Hagner, 1944; Harben and Bates, 1984; Morel, 1955), ayrı ayrı ya da birlikte (Clabaough, 1957; Leighton, 1954, Wilson, 1981) etkisiyle, mika türü minerallerin bozunması veya alterasyonu sonucunda vermicülit mineralleri oluşmaktadır. Vermikülit yataklarının oluşumunda yüzeysel koşulların çok daha etkili olduğunu son yıllarda yapılan çalışmalar göstermektedir. Bunun yanında, yüksek sıcaklıklarda oluşmuş mineral ve kayaçlarda vermicülit oluşumlarına rastlanması ve oldukça derinlerde maden yataklarının bulunması, vermicülit yataklarının hidrotermal alterasyon nedeniyle de oluşabileceğini göstermektedir. Kuzey Carolina'nın (ABD) bir bölümünde yapılan çalışmada yüzeysel sıvıların etkileriyle flogopitlerin vermicülitte dönüştükleri belirlenmiştir (Kulp ve Brobst, 1954). Yine Kuzey Carolina'nın farklı bir alanından yapılan bir başka çalışmada, pegmatitlerle kesilen ultramafik ana kayaçlar içerisinde hidrotermal etkiler ile vermicülitlerin oluştuğu saptanmıştır (Hadley, 1949).

Vermikülit yatağının ekonomik potansiyelini belirleyen unsurlardan birisi olan madenin derinliği, oluşum koşullarına bağlıdır. Bu nedenle, yatağın oluştuğu koşulların belirlenmesi oldukça önemlidir. Yüzeysel bozunma sonucunda oluşmuş katman şeklindeki vermicülit yatakları, derinlerde içerisinde fazla miktarda flogopit içeren ana kayaya kadar uzanır. Bu nedenle, bozunma sonucunda oluşmuş vermicülit yatakları yüzeysel 2 km<sup>2</sup> kadar yayılım gösterebilmesine rağmen, yatak derinlikleri yüzeysel 50 m'yi geçmez. Hidrotermal alterasyon sonucunda oluşmuş vermicülit yatakları 70 m'den daha fazla derinlerde bulunabilir.

### **2.2. Vermikülit Madeninin Yataklanma Şekilleri**

Oluşumuna ve bulunduğu ortamlara göre vermicülit; kil, otojenik, metamorfik ve makroskopik olmak üzere dörde ayrılır. Kil vermicülitleri olarak bilinen toprak vermicülitleri dioktahedral ve trioktahedral olabilir. Asidik ve yükseltgen koşullarda K'nın kristal yapıdan ayrılarak yerine Mg ve Ca'nın geçmesi sonucunda oluşur. Fe, Mg ve Si katyonları ile doymuş sıvılardaki katyonların çökmesi ile otojenik vermicülitler

oluşmaktadır. Metamorfik vermikülitler demirce zengin kloritin dönüşümü ile oluşan ve lavsonit içeren metasedimanlarda bulunurlar (Velde, 1978, 1985; McDowell ve Elders, 1980). Metamorfik vermikülitin jeolojik oluşum ortamları, glakofan-lavsonit metamorfizmasından hidrotermal zonlara kadar değişir. Makroskopik vermikülit mikanın hidrasyonu sonucunda oluşur. Büyük levha şeklindeki kristaller halindedir.

### 3. MADEN YATAKLARININ SINIFLANDIRILMASI

Montana, Libby (ABD)'de bulunan Triyas (225 milyon yıl) yaşlı vermikülit yatağının dışındaki ekonomik değerleri olan vermikülit yataklarının tamamı Pre Kambriyen - Arkeen (1,5-3,0 milyar yıl) yaşındadır. Vermikülitlerin jeolojik oluşumları ana kayaç tipine ve kökenine bağlı olarak dört sınıfa ayrılmıştır (Bassett, 1963): (a) ultramafik ve mafik ana kayaçlar; (b) metamorfik ana kayaçlar; (c) karbonat ana kayaçlar; (d) granitik ana kayaçlar.

a) Ana kayaç içerisinde dağınık olarak bulunan vermikülit, biyotit ve flogopit damarlarının hidrotermal alterasyonu sonucunda oluşmuştur. Ekonomik değerleri vardır ve yaygın olarak gözlenirler. Transvaal, Phalabowra (Güney Afrika Cumhuriyeti), West Chester, Tigerville (Kuzey Carolina), Libby, Montana (ABD), Qieganbulake Madeni (Çin) gibi vermikülit yatakları bu kayaçlara bağlı olarak oluşmuşlardır.

b) Gnays ve şist gibi bütün metamorfik kayaçlarda oluşabilir. Ultramafik kayaçlarda olduğu gibi, bu oluşumlarda zonlanma görülmez. Güney Carolina'nın (ABD) Enoree bölgesinde bulunan vermikülit madeni ve Avustralya'nın Kuzey Bölgesindeki Çamur Tankı madeni metamorfik ana kayaçlarına bağlı olarak oluşmuştur.

c) Manyezit, mermer ve kalsit gibi ana kayaçların bozunması sonucunda kayaçların yüzeyinde meydana gelen vermikülitin bileşimini oktahedral tabaka ve tabaka arasını tamamen dolduran Mg oluşturur. Bozunmaya uğramayan ana kayacın iç kısımları flogopit içerir. Phalabowra'da bulunan vermikülit yatakları, Phalabowra karbonatit karmaşığı ve Rusya'nın Murmansk bölgesinde bulunan vermikülit madeni Kovdor karbonatit karmaşığı içerisinde oluşmuştur.

d) Ana kayacın bozunması ile oluşur. Oluşan kristaller çoğunlukla biyotit-vermikülit ara tabakalı olarak gözlenir. Kuzey Carolina'nın Blue Ridge Mountain bölgesindeki vermikülit madeni bu gruba girmektedir.

Ülkemizdeki vermikülit yatakları Malatya-Darende-Kuluncak, Sivas-Yıldızeli-Karakoç, Eskişehir-Sarıcakaya ve Elazığ-Harput-Arduçluk'da bulunmaktadır. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü (MTA) tarafından etüt edilen Malatya-Darende-Kuluncak vermikülit cevherleşmeleri ultra bazik kütleler içinde yer almakta ve oluşumları bu ultra bazik kütleleri kesen alkali intrüziyflere bağlanmaktadır. Sivas-Yıldızeli-Karakoç'da bulunan vermikülit yatağı, Phalabowra vermikülit yatağı gibi, amfibol içeriğinin yüksek olduğu ultramafik kütlelerin alkali damar kayaçlarıyla kesilmesi sonucu meydana gelmiştir. Sivas-Yıldızeli-Karakoç vermikülit yatağında yapılan incelemeler, bu cevherleşmenin de oluşum açısından Kuluncak sahasıyla benzerlik gösterdiğini ortaya koymuştur.



#### 4. REZERV ve KAYNAK DURUMU

##### 4.1. Dünya Rezervleri ve Kaynakları

Dünyadaki önemli vermikülit rezervleri Güney Afrika Cumhuriyeti, ABD, Rusya ve Avustralya'da bulunmaktadır. Bu ülkelerin dışında Arjantin, Brezilya, Çin, Mısır, Hindistan, Meksika, Kanada, Bulgaristan, Şili, Finlandiya, Fransa, Japonya, Kore, Cezayir, İspanya, Sri Lanka, Tanzanya, Kazakistan, Türkiye, Uganda ve Zimbabve gibi ülkeler de önemli vermikülit yataklarına sahiptir.

Rezerv ve kaynak bilgilerinin değişik kaynaklardan gelmesinin yanında, bu bilgiler bazen diğer mineralleri, ana kayaçları ve örtü kayaçları da kapsayacak şekilde verilmektedir. Bu nedenlerden dolayı, rezerv ve kaynak miktarları hakkında detaylı bilgilere ulaşmak mümkün olmamaktadır. Yapılan çalışmalarda dünya vermikülit rezervinin 50 milyon ton (Potter, 1994) ile 60 milyon ton civarında olabileceği (Tanner, 2013) tahmin edilmiştir. Gerçekleştirilen diğer çalışmalarda ise rezervin 200 milyon ton, kaynakların da 300 milyon ton olabileceği belirtilmiştir (Beauredard 1982; Meisinger 1986b, 1987b) (Tablo 9). Crowson (1996) dünya vermikülit rezervinin 200 milyon ton, kaynaklarının ise 600 milyon ton olduğunu bildirmiştir. Dünyanın en büyük rezervi Libby, Montana'da bulunmaktadır. Güney Carolina ve Virginia'da üretim yapan vermikülit madenlerine ilave olarak, Colorado, Nevada, Güney Carolina ve Wyoming'de 2-3 milyon ton civarında vermikülit kaynaklarının olduğu tahmin edilmektedir. Dünyadaki vermikülit rezervlerinin ülkelere göre dağılımı ise Tablo 8'de sunulmuştur (U.S. Geological Survey, Mineral Commodity Summaries, January 2021).

Tablo 8. Dünyada Vermikülit Rezervleri

Bin metrik ton (1 metrik ton = 1000 kg)	
ABD	25.000
Brezilya	6.600
Bulgaristan	Veri Yok
Çin	Veri Yok
Mısır	Veri Yok
Hindistan	1.600
Rusya	Veri Yok
Güney Afrika	14.000
Uganda	Veri yok
Zimbabve	Veri Yok
Diğer ülkeler	Veri Yok
Toplam	Veri Yok

Tablo 9. Dünyada Vermikülit Kaynakları

Short ton (Milyon) (1 Short ton = 907,20 kg)			
	Rezerv	Diğer Kaynaklar	Toplam Kaynaklar
Kuzey Amerika	100	25-100	Büyük
Güney Afrika	80	Büyük	Büyük
Diğer bölgeler	20	Büyük	Büyük
Toplam	200	Büyük	Büyük

Hindistan’da ise 1,63 milyon ton rezerv, 72 milyon ton kaynak olduğu belirlenmiştir (Indian Minerals Year Book, 2019). Rusya, 25 ayrı maden yatağında bulunan toplam rezervi ile dünyada üçüncü sıradadır. Murnas bölgesinde bulunan Kovdorskoe yatağı en büyük rezerve sahiptir. Çin’in vermikülit rezervleri 105 milyon ton civarındadır. Bu rezervin %95’i Qieganbulake madeninde bulunmaktadır (Xinjiang Yuli Xinlong Vermiculite Co., Ltd. www.xinlongvermiculite.com). Brezilya’daki vermikülit rezervlerinin 1,2 milyon ton olduğu tahmin edilmektedir (Brasil Minerios Ltd., 2018). Uganda’da sınırlı jeolojik veri ile belirlenmiş vermikülit kaynakları 55 milyon ton’ dur (Elliot 2012b, ; Gulf Industrials Ltd., 2013).

#### 4.2. Türkiye Rezervleri

Malatya-Darende-Kuluncak vermikülit yatağı 6-7 milyon ton arasında değişen muhtemel rezerve sahiptir (Aras, 1984).

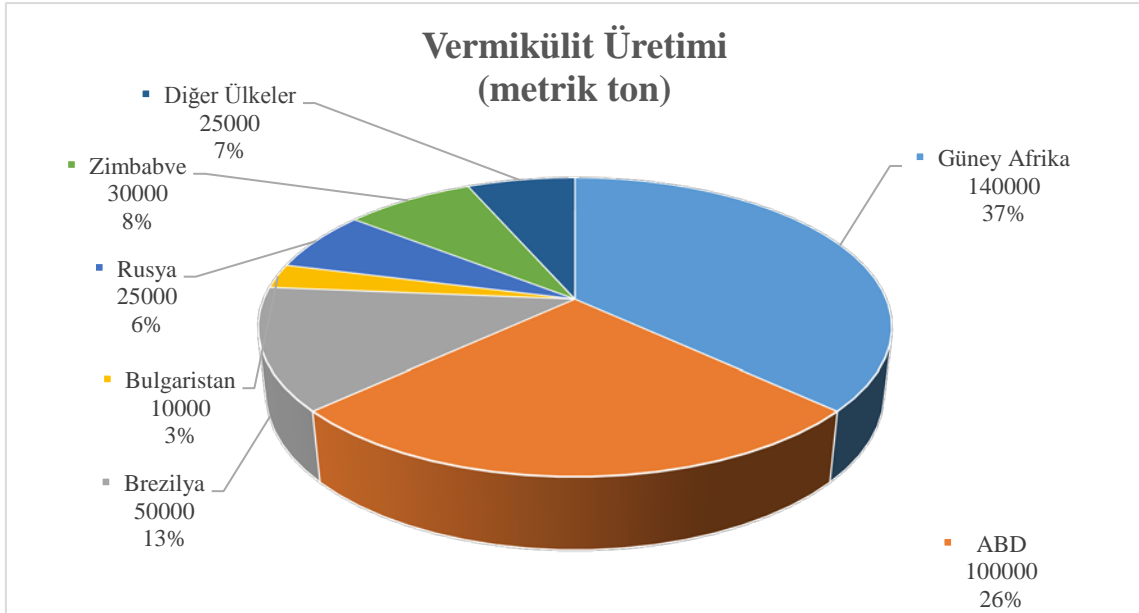
İlk çalışmalara göre, Sivas-Yıldızeli-Karakoç vermikülit yatağında, MTA tarafından yapılan saha gözlemleri ve değerlendirmeler sonucunda genişleme özelliği iyi olan 2.750.000 ton muhtemel rezervli tüvenan (işlenmemiş) vermikülit ile daha düşük kaliteli 2.475.000 ton muhtemel rezervli işlenmemiş vermikülit cevheri olarak, toplam 5.225.000 ton vermikülit cevheri belirlenmiştir. Yapılan teknolojik testlerde genişleme oranının ortam koşullarına göre 13 ile 18 kat arasında olduğu ve elde edilen malzemenin yığın yoğunluğuna göre yapılan sınıflamaya göre 2. sınıf malzeme kalitesinde olduğu belirlenmiştir (Üçgül, 1997).

İşletmeci ruhsat sahiplerinin yaptığı çalışmalarla rezerv genişletilmiş olup, 2020 yılı itibariyle MAPEG’e beyan edilen görünür rezerv miktarı yaklaşık 35 milyon tondur

## 5. ÜRETİM DURUMU VE TİCARETİ

### 5.1. Dünyada Üretim Kapasitesi/Miktarı ve Değerleri

ABD, Güney Afrika Cumhuriyeti, Arjantin, Hindistan, Kenya ve Tanzanya gibi ülkeler, dünya vermikülit üretiminde üst sıralarda yer almaktadır (Kuzvart, 1984). Dünyadaki en önemli vermikülit üreticisi olan Phalabowra Mining Co. Ltd şirketinin 2016 yılında üretimini arttırmasına bağlı olarak, dünyadaki vermikülit üretimi de %6,6 artmıştır. Çin’de önemli miktarlarda vermikülit üretimi yapılmasına rağmen, üretim miktarına ait bilgilere ulaşılammıştır. Uganda Namakera vermikülit madeninden 2016 yılında yeniden çıkartılmaya başlanan vermikülit, Uganda’daki üretim miktarına katkı sağlamıştır. Brezilya, Peru ve Uganda gibi ülkelerde, 2015 ve 2016 yıllarında, özellikle orta-iri taneli vermikülit üretiminde bir artış gözlenmiştir. Virginia Vermiculite LLC şirketi 2017 yılında önemli miktarlarda biyotit (mika) cevherinden 200 mm’den ince tane boyuna sahip vermikülit üretmiştir. 2009 – 2020 yılları arasında ülkelere göre vermikülit üretimi Tablo 10’da sunulmuştur (USGS, Minerals Yearbook, 2009-2020). 2020 yılına ait dünya vermikülit üretiminin ülkelere göre % olarak dağılımı Şekil 4’de verilmiştir (United States Geological Survey, Mineral Commodity Summaries 2021, Vermiculite).

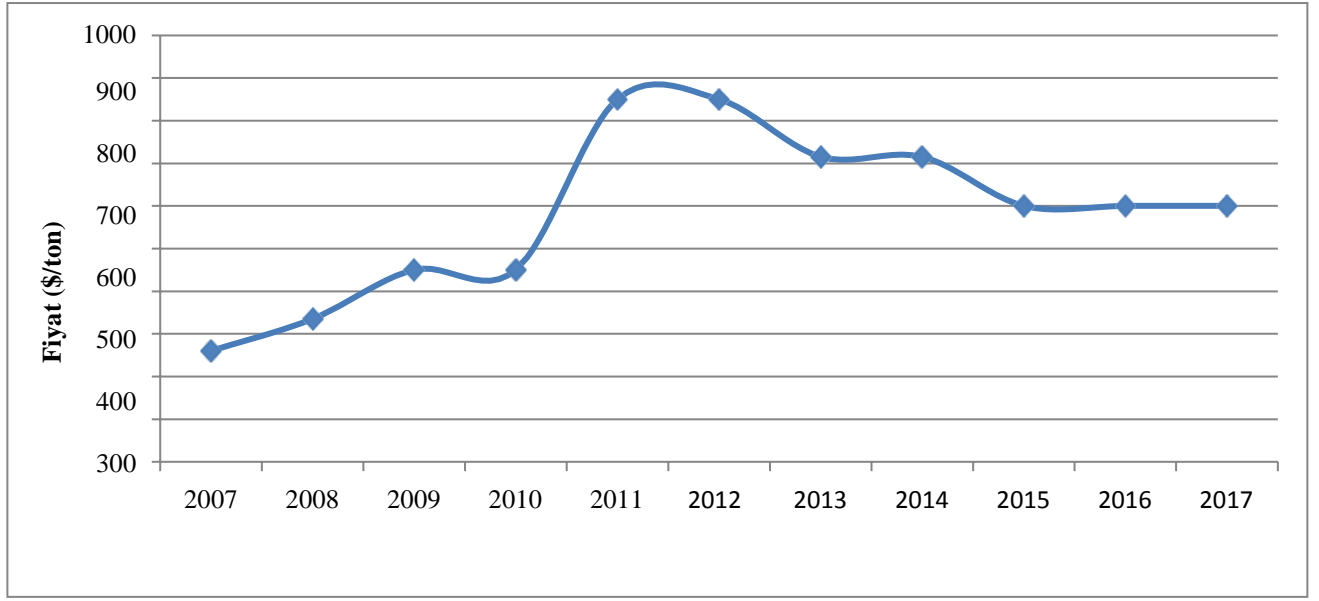


Şekil 4. Ülkelere göre vermikülit üretimi (2020)

Tablo 10. Ülkelere Göre Vermikülit Üretimi (metrik ton)

ÜLKELER	YILLAR											
	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Arjantin	2.150	2.500	1.000	320	1.000	90	90	60	--	--	--	--
Brezilya, Konsantre	20.100	49.976	55.000	51.986	68.014	56.444	70.000	58.000	55.000	50.000	50.000	50.000
Bulgaristan (tahmini)	--	3.000	15.000	18.600	18.600	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	11.000	10.000
Çin (tahmini)	120.000	--	--	--	--	-	-	-	-	-	-	-
Mısır	12.000	--	1.865	3.000	3.000	3.000	8.190	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000
Hindistan	12.000	17.342	12.454	8.315	9.574	16.384	13.250	8.058	5.000	10.000	2.000	2.000
Japonya (tahmini)	6.000	6.000	6.200	6.200	6.200	6.000	-	-	-	-	-	-
Kenya	315	395	515	457	460	440	410	-	-	-	-	-
Rusya (tahmini)	25.000	25.000	25.000	25.000	--	21.000	8.282	12.363	13.000	10.000	25.000	25.000
Güney Afrika	193.334	199.285	170.571	132.886	127.658	143.007	138.290	166.483	176.000	180.000	158.000	140.000
Uganda	3.600	2.475	8.426	11.251	243	2.620	1.118	3.294	5.000	20.000	7.000	7.000
ABD konsantre, satış ve üretici kullanımı (tahmini)	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000
Zimbabve (tahmini)	3.211	21.012	7.228	21.625	28.808	29.767	30.868	29.020	30.000	30.000	30.000	30.000
İran	-	-	-	-	-	1.200	1.000	1.000	1.000	1.000	-	-
Meksika	-	-	-	-	-	226	299	310	-	-	-	-
Türkiye	-	-	-	-	-	716	425	1.050	1.618	18.183	1.370	-
Diğer Ülkeler										9.500	3.000	3.000
Toplam	497.710	426.985	403.259	379.640	363.557	390.894	382.222	397.638	404.000	430.000	394.000	375.000

Kullanım alanı, miktar, kaynak ve diğer etkenler gibi değişen faktörler nedeniyle, yayınlanmış vermikülit fiyatları yalnızca genel bir rehber olarak dikkate alınmalıdır. ABD'deki son yıllarda yayınlanmış vermikülit fiyatları genellikle tane boyuna bağlı olup, 1 tonu 140-575 dolar arasında değişmektedir. İri taneli vermikülit minerallerini elde etmek için fazla ısıl işlem gerektiği için, bu tür mineraller daha pahalıdır. Güney Afrika Cumhuriyeti'nde zenginleştirilmiş vermikülit fiyatı 600 \$/ton olup, 2007-2017 yılları arasındaki fiyat değişimini gösteren grafik Şekil 5'te verilmiştir (Industrial Minerals, 2018).



Şekil 5. Güney Afrika Cumhuriyeti vermikülit fiyat değişimi (2007-2017)

## 5.2. Dünyada Üretim Yapan Şirketler

Dünyada vermikülit üretimi yapan birçok firma bulunmaktadır. Güney Afrika Cumhuriyeti'nin Limpopo bölgesinde bulunan bakır madeninin yakınındaki vermikülit sahasından 50 metre derinden çıkarılan cevher, Phalabowra Mining Company Ltd' nin bir yan kuruluşu olan Phalabowra Copper (Pty) Limited tarafından işlenerek pazara sunulmaktadır. Enoree, WR Grace & Co., ve Virginia Vermiculite Ltd. gibi şirketler, ABD'de farklı ocaklardan vermikülit üretimi yapan önemli şirketlerdir. ABD'de 13 firma 20 adet tesiste faaliyet göstermektedir. Brezilya'da en fazla vermikülit üretimi yapan şirket ise Brasil Minerios Ltd' dir. Sao Luis De Montes Belos madeninden çıkarılan vermikülitin %60'mın; %50'si Kuzey Amerika'ya, %35'i Avrupa'ya, %15'i Asya'ya satılmaktadır. Almanya-Bulgaristan ortak yatırımı olan Wolf&Mullers Minerals Bulgaria OOD şirketi; Belitza'da bulunan açık ocak işletmesinden çıkardığı vermikülit işleyerek satışa sunmaktadır ve işletmenin yıllık 20 ton vermikülit işleme kapasitesi bulunmaktadır. Çin'de en fazla vermikülit üretimi Xlong madeninden yapılmaktadır. Xinjiang Yuli Xinlong Vermiculite Co. Ltd tarafından bu madenden yıllık 120.000 ton vermikülit çıkartılmaktadır. Genellikle işlenerek 0,3- 8 mm boyutlarına getirilen vermikülitin büyük bir bölümü Avustralya, Japonya, ABD ve Avrupa'ya ihraç edilmektedir. Imerys SA (Paris, Fransa)'nın yan kuruluşu olan Samrec Vermiculite (pvt.) Ltd, Zimbabve'de bulunan önemli bir vermikülit üreticisidir. Bu şirket, Sawa açık ocak işletmesinden yıllık 40.000 ton vermikülit çıkarmaktadır. İri plakalar şeklinde çıkarılan

vermikülit işlenerek Avrupa, Orta Doğu, Japonya ve ABD'ye ihraç edilmektedir. Vickbury Investmets Ltd ise Dinhidza madeninden daha küçük ölçekte vermikülit çıkararak ülkenin ziraat alanında ihtiyacı olan vermiküli karşılamaktadır. Uganda'da vermikülit, Black Mountain Resources Ltd. tarafından yıllık üretim kapasitesi 20.000 ton olan Namekara vermikülit madeninden çıkartılmaktadır. Imerys Minerals Australia Pty. Ltd., Avustralya'nın Kuzey Bölgesinde bulunan Mud Tank madeninden yılda 12.000 ton vermikülit üretmektedir. Türkiye'de vermikülit, Organik Madencilik A.Ş. ile Imerys SA'nın (Paris, Fransa) bir yan kuruluşu olan Greek Mining Group S&B tarafından, Karakoç'da (Sivas) bulunan yataktan çıkartılmaktadır. İşletmeden çıkartılan vermikülit ısıtma işlem uygulandıktan sonra, Kanada'dan Avustralya'ya kadar dünyanın birçok ülkesine ihraç edilmektedir.

IPM, Imerys Performance Additives, Bergama Mining, Genper Group, Dicalite Management Group, EP Minerals, Termolita, Showa Denko, Mitsui Mining & Smelting, Blue Pacific Minerals, Palabora Mining Company, Cevahir Holding, Zhongsen, Zhongxin, Zhongnan, Jinhualan, Therm-O-Rock, Virginia Vermiculite, Samrec Vermiculite Zimbabwe, Brasil Minerios, Yuli Xinlong, Mayue, Ausperl, Accımmın gibi şirketler, dünya vermikülit üretiminde önemli payı olan şirketlerdir.

### **5.3. Uluslararası Birlikler (Kuruluşlar)**

Uluslararası vermikülit kuruluşların bazıları aşağıda sunulmuştur.

1) The Vermiculite Association (TVA): 1948 yılında kurulan uluslararası vermikülit ticareti birliğidir. Vermiculite Processors (exfoliators), Producers of Vermiculite Products, Application Specialists, Equipment Suppliers, Technical Consultants, Research and Development Bodies isimli birlikler TVA'nın üyeleridir. Bunların yanında, US Geological Survey Vermiculite web sayfaları, Indian Bureau of Mines Yearbook vermikülit bilgileri içerir. Square Foot Gardening, European Industrial Minerals Association, Industrial Minerals Association North America, Mulch and Soil Council, European Association for Passive Fire Protection, Green Roofs Information Portal, Perlite Institute, Roskill, Industrial Minerals gibi kuruluşlarla bağlantılar vardır.

2) European Vermiculite Association (EVA): Avrupa'da vermikülit hakkındaki standartları oluşturur

3) Industrial Minerals Association (IMA) – Europe: Kalsiyum karbonat (GCC/PCC), Dolomit, Andalusit, Bentonit, Borat, Diyatomit, Feldispat, Kaolin, Kireç, Mika, Plastik killer, Sepiyolit, Silika, Talk, Vermikülit gibi mineralleri ayrı ayrı konu alan Avrupa kuruluşlarını bir araya getiren bir üst birliktir. 28 ülkeden 500’den fazla firmayı temsil etmektedir.

4) <http://www.vermiculite.net/>: Vermikülitin bazı temel teknik özelliklerini tanımlamak için tasarlanmış bir internet sitesidir. Buradan, ilgili yardımcı sitelere ulaşılabileceği gibi, vermicülitin kullanımı, çıkartılması ve işlenmesi hakkındaki bilgilere de ulaşmak mümkündür.

5) <https://www.miningmagazine.com/tag/vermiculite-association>: Maden işletmeciliği ile ilgi konuların tamamı hakkında izleyicilerine elektronik postalar göndermenin yanında, son gelişmeleri, karşılıklı görüşmeleri, aydınlatıcı yayınları iletir.

6) <https://www.miningmagazine.com/webinars>: Vermikülit ve vermicülit endüstrisi hakkındaki haberlerin ve bilgilerin dağıtılmasını amaçlar.

#### 5.4. Türkiye’de Üretim Kapasitesi/Miktarı ve Değerleri

Türkiye’de işletilen Sivas-Karakoç vermicülit sahasındaki vermicülit madeninden, önemli bir bölümü iri ve orta taneli olan yıllık ortalama yaklaşık 20.000 ton tüvenan vermicülit çıkarılmaktadır. Türkiye’de geçmiş yıllara ait vermicülit üretimi ile ilgili veriler Tablo 10’da belirtilmiştir. Maden ve Petrol İşleri Genel Müdürlüğü (MAPEG) verilerine göre vermicülit üretim miktarları aşağıdaki gibidir (Tablo 11).

Tablo 11. Vermikülit Üretim Miktarı

YILLAR	ÜRETİM MİKTARI (tüvenan) (ton)
2018	15.042,40
2019	21.083,52
2020	19.230

(MAPEG verisi)

#### 5.5. Türkiye’de Vermikülit Madeni Arama Ruhsatları

Ülkemizde maden ruhsatları Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Maden ve Petrol İşleri Genel Müdürlüğü tarafından verilmektedir. 3213 sayılı Maden Kanununa göre vermicülit madeni 4. grup madenler arasında bulunmaktadır.

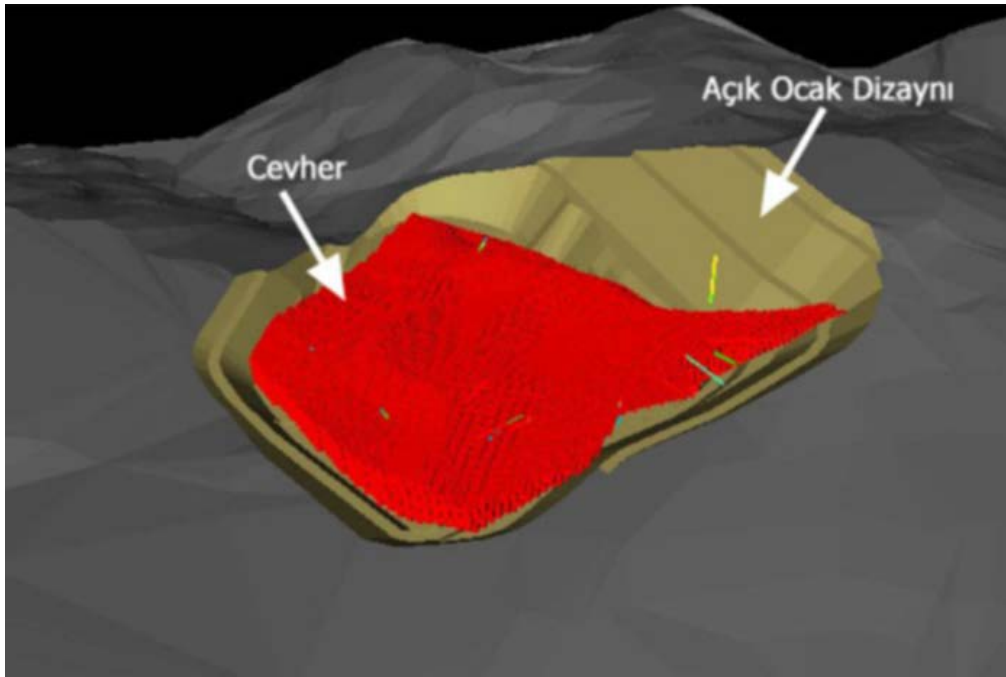
Sivas ili Yıldızeli ilçesi dahilinde 2004 ve 2005 yıllarında 2 adet arama ruhsatı alınmış olup, söz konusu ruhsatlar 2010 yılında işletmeye geçmiştir. Söz konusu ruhsatlar Organik Madencilik A. Ş. ve Mahmut Şahiner tarafından işletilmektedir.

### 5.6. Türkiye’de Vermikülit Madeninın Standartları ve Fiyatları, Pazar/Piyasa Durumu

Malatya-Darende-Kuluncak sahasında bulunan vermikülitlerin genişleme oranları oldukça düşük olduğu için (~2 kat), buradaki cevher ekonomik değere sahip değildir. Eskişehir-Sarıcakaya ve Elazığ-Harput-Arduçluk yatakları da rezerv ve endüstri kullanımı açısından istenilen düzeyde değildir.

Sivas-Yıldızeli-Karakoç vermikülit yatağından alınan örnekler üzerinde gerçekleştirilen teknolojik testler sonucunda, malzemenin yığın yoğunluğuna göre yapılan sınıflamaya göre, örneklerin 2. sınıf malzeme kalitesinde olduğu belirlenmiştir. 5.000 m<sup>2</sup> kapalı alanda yapılmakta olan üretim, 30 ülkeye ihraç edilmektedir.

Yapılan sondaj ve kanal açma verileri değerlendirilerek, Karakoç vermikülit madeni üç boyutlu olarak modellenmiş ve cevher yatağının geometrisi, rezervi ve bu veriler ışığında da maden planlaması yapılarak üretime geçilmiştir (Addison, 2007). Cevher yatağının geometrisi Şekil 6’da verilmiştir.



Şekil 6. Sivas-Yıldızeli-Karakoç vermikülit sahasındaki cevher yatağı ve açık ocak tasarımı



## 5.7. Türkiye İthalat ve İhracat Değerleri

Türkiye vermikülitin ihracat ve ithalat değerleri ve bunların bir önceki yıllara göre değişimi Tablo 12’de verilmiştir. Tablo 12 incelendiğinde vermikülit ihracatında ve ithalatında yıllara göre düzenli bir değişim olmadığı görülmektedir. Son dört yıllık (2016-2019) ihracat ve ithalat miktarları kendilerine ait önceki dört yıllık zaman dilimi (2012-2015) ile karşılaştırıldığında, 2016-2019 yılları arasında gerçekleşen ihracat miktarının 2012-2015 yıllarında yapılan ihracat miktarından fazla, ithalat miktarının ise daha az olduğu görülmektedir. Bu zaman dilimlerinde gerçekleşmiş ihracat ve ithalat miktarlarının ortalama değerleri dikkate alındığında; 2012-2015, 2016-2019 yılları arasındaki ihracatın ithalatı karşılama oranları sırasıyla %4,3 ve %38’dir.

Tablo 12. Türkiye’de Üretilen Vermikülitin İhracat ve İthalat Değerleri ve Önceki Yıla Göre Değişimleri

	İHRACAT		ÖNCEKİ YILA GÖRE DEĞİŞİM (%)		İTHALAT		ÖNCEKİ YILA GÖRE DEĞİŞİM (%)	
	MİKTAR (kg)	DEĞER (\$)	MİKTAR (kg)	DEĞER (\$)	MİKTAR (kg)	DEĞER (\$)	MİKTAR (kg)	DEĞER (\$)
<b>2012</b>	32.257	46.474	-	-	4.274.355	2.318.172	-	-
<b>2013</b>	152.147	56.766	371,67	22,14	5.122.391	2.323.730	19,84	0,23
<b>2014</b>	25.590	25.549	-83,18	-54,99	5.009.001	2.243.643	-2,21	-3,44
<b>2015</b>	668.277	270.426	2511,47	958,46	5.945.453	2.535.313	18,69	12,10
<b>2016</b>	1.869.424	734.403	179,74	171,57	4.065.681	1.623.757	-31,61	-35,95
<b>2017</b>	1.219.691	437.600	-34,75	-40,41	2.402.989	901.313	-40,89	-44,49
<b>2018</b>	978.996	305.910	-19,73	-30,09	2.457.545	910.088	2,27	0,97
<b>2019</b>	1.039.000	326.072	6,12	6,59	4.714.000	1.860.452	91,81	104,43
<b>2020</b>	407.140	91.079	-60,81	-72,06	4.021.104	1.493.338	-14,69	-19,73

MTA, Madencilik Sektörüne Ait Temel Ekonomik Göstergeler (2012-2020)

## **6. VERMİKÜLİTİN ÜRETİM YÖNTEMİ VE TEKNOLOJİSİ**

### **6.1 .Vermikülitin Üretim Yöntemleri**

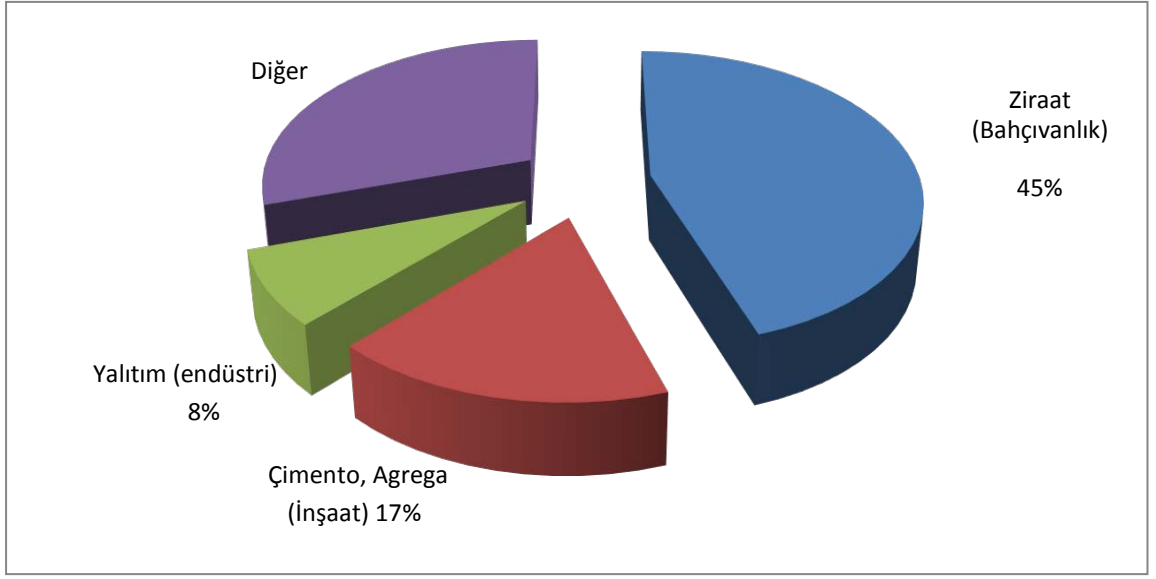
Genellikle mika türü minerallerin bozunması sonucunda oluşan vermikülit yatakları plakalar şeklinde zenginleşerek yüzeyde yayılım gösteren, fakat derinliği fazla olmayan cevher kütleleri şeklindedir. Bu nedenle, vermikülit yataklarında açık ocak işletmeciliği ile üretim gerçekleştirilmektedir.

### **6.2. Cevher Hazırlama ve Zenginleştirme İşlemleri**

Parçalanmış halde elde edilen ham vermikülit, ocaklara en yakın bölgede kurulmuş cevher zenginleştirme ünitesine taşınır. Cevher basınçlı su ile yıkanarak killi malzemeden ayrılır. Kırma işleminden sonra ıslak bulamaç halindeki malzeme taraklı sınıflandırıcıya gönderilerek istenmeyen kısımlar uzaklaştırılır. Daha sonra elde edilen ürün çubuklu değirmenlerde öğütülür ve yaş eleme yoluyla farklı tane boylarına ayrılır. Ortaya çıkan malzemeye genellikle herhangi bir zenginleştirme işlemi yapılmaz. Bazı tane boyundaki malzemelere ise katyonik toplayıcılar kullanılarak flotasyon (yüzdürme) uygulanır (Strand, 1983; Rau, 1985). Kurutma işleminden sonra, farklı tane boylarına ayrılan malzeme genişletilmek üzere fırınlara gönderilir. Genel olarak genişletme işleminde dikey, içi tuğla ile kaplı ve alttan ateşlemeli fırınlar kullanılmaktadır. Besleme yukarıdan yapılmakta, malzeme fırın içindeki plakalardan düşerken alevle karşılaşmaktadır. Genleşen taneler ve tozlar bir fan vasıtasıyla çekilmekte ve daha sonra siklon ile birbirlerinden ayrılmaktadır. Maksimum genişlemeyi elde etmek açısından fırın sıcaklığı 1000°C - 1800°C, fırında bekletilme süresi ise 4 - 8 saniye arasında olmalıdır. Genleştirme işleminden sonra, genişmiş ürün 85 ile 100 dm<sup>3</sup> 'lük kağıt veya plastik torbalarda ambalajlanarak tüketiciye ulaştırılır.

### **6.3. Kullanıldığı Sektörlere Göre Ürün Grupları (Ham, Yarı Ürün, Uç Ürün)**

Isıl işlem uygulanması sonucunda kazanılan özellikler, vermikülitini inşaat sektörü, endüstri ve ziraat gibi birçok alanda kullanılır hale getirir (Tablo 6). Vermikülitin sektörlere göre kullanım dağılımı Şekil 7'de sunulmuştur (USGS Commodity Summaries, 2018).



Şekil 7. Vermikülit kullanımının sektörlere göre dağılım

## 7. ÇEVRESEL ETKİLERİ

Dünyanın birçok yerinde bulunan vermikülit, birçok mineralin yanında kuvars ve asbest gibi mineralleri de içerebilir. Üretim esnasında bu mineraller çalışanların sağlığı açısından tehlikeli olabilir. ABD ve birçok ülkede, sağlığa zararlı olan bu tehlikeleri tanımlayan ve malzemenin güvenli bir şekilde işlenmesi ve atılması hakkında bilgiler veren dokümanlar (Material Safety Data Sheets - MSDS) vardır.

Vermikülitin işlenmesi esnasında çalışanların sağlığını etkileyen en önemli tehdit, kristalin silika olan kuvarstan gelir. Genellikle iri taneler halinde bulunan kuvars, öğütüldüğü zaman toz haline döner. Bu parçacıklar nefes alındığı zaman silikosis adı verilen akciğer hastalığına neden olur. Bu nedenle, malzemenin öğütüldüğü, elendiği ve pakletlendiği yerlerde, toz kontrolüne ve çalışanları korumaya yönelik önlemler alınmalıdır. Tüketim esnasında ortaya çıkan silika tozu çok az olduğu için, tüketicilerin sağlığına zararlı değildir.

Bazı vermikülit yataklarında, önemli miktarlarda değişik yapıda asbest bulunabilir. Malzeme MSDS şartlarına göre işlendiği sürece, önemli işletmeciler tarafından işletilen vermikülit yataklarının hiçbirisi çalışanların sağlığı açısından tehlikeli değildir. ABD Çevre Koruma Ajansı (The United States Environmental Protection Agency - EPA), Ağustos 2000 tarihinde toprak iyileştirmesinde kullanılan vermikülitin satışına yönelik olarak bir rapor hazırlamıştır. Bu raporun özetinde asbestin tüketici sağlığı açısından çok az zararlı olduğu veya herhangi bir risk taşımadığı belirtilmiştir.

## 8. ÜRETİM ve TÜKETİM TRENDLERİ

Dünya vermikülit pazarının, %8,3'lük Bileşik Yıllık Büyüme Oranı (YBBO) dikkate alındığında (Compound Annual Growth Rate-CAGR), 2020 yılında 0,24\$ milyardan, 2021 yılında 0,26\$ milyara artacağı beklenmektedir. Bu pazarın %4'lük YBBO'nunda; 2025 yılında 0,31\$ milyara ulaşacağı tahmin edilmektedir.

Dünya vermikülit pazarı, uygulama ve ürün tipine göre ikiye ayrılır. Uygulamaya göre inşaat, kimyasal paketleme, otomotiv, ziraat gibi değişik alanlarda kullanılan vermikülit madenin satışlarını gerçekleştiren organizasyonlar, işletme sahipleri ve ortaklıklarından oluşur. Bu pazar ürün tipine göre, ham vermikülit ve işlem görmüş vermikülit pazarı olarak ikiye ayrılır. İşlem görmüş vermikülit pazarı ham vermikülit pazarına göre daha yüksek değerdedir. İşlem görmüş vermikülit pazarı da, ince, çok ince taneli vermikülit ve orta taneli vermikülit gibi bölümlere ayrılmıştır.

2020 yılında vermikülit pazarının %27'sini oluşturan "Asya Pasifik" pazarın en büyük bölgesidir. %20'lik bölüm ile Batı Avrupa ikinci büyüklükte vermikülit pazarını oluşturur. Dünyadaki en küçük vermikülit pazarı ise Orta Doğu bölgesidir.

## **9. GELECEK BEKLENTİLERİ/TAHMİNLERİ**

Pazarda yüksek talep olması nedeniyle, orta, iri ve çok iri taneli vermikülitlerin araştırılması ve geliştirilmesine yönelik yapılan çalışmalar muhtemelen devam edecektir. Daha ince tane boyundaki vermikülitlerin üretimi talebin üzerindedir. Bununla beraber daha iri tane boyundaki (5mm'den büyük) vermikülitlerin üretim miktarı piyasadaki talebi karşılayamamaktadır. Üreticiler ellerinde bulunan ince taneli vermikülitlerin kullanımını ve iri taneli malzeme gerektiren kullanım alanlarını artıracak yolları araştırmaya devam etmektedirler. Atık suların temizlenmesi, hava kirliliği ile mücadele ve nükleer atıkların temizlenmesi gibi alanlardaki çalışmalar sürecektir (Mineral Commodity Summaries). Topraksız bitki yetiştirme ve ziraat endüstrisindeki vermikülit kullanımının artışı, vermikülit pazarının canlanmasına yol açacaktır. Çelik yapımı, otomotiv ve inşaat sektörü gibi birçok alanda vermikülitin kullanılıyor olması, vermikülit satışların artmasına neden olacaktır. Ayrıca, yasal mevzuatlara uygun olarak işletildiği sürece insan sağlığı açısından tehlikeli değildir.

## 10. SONUÇ VE ÖNERİLER

Dünya’da ve Türkiye’de vermikülit üretimi yapan önemli şirketlerin üretimlerini artırmaları, dünya çapındaki vermikülit arzı üzerinde olumlu bir etki yaratmıştır. İri taneli vermikülitte olan tüketici talebi sürekli artmaktadır. Gelişen teknolojilerle birlikte, ince taneli vermikülitlerin de kullanıma kazandırılmasıyla, vermikülit eski önemini yeniden kazanabilecektir.

Türkiye'nin bu kapsamda yapması gereken oluşuma yönelik çalışmaları arttırarak, oluşumunu ve rezerv – tenör - kalite gibi parametreleri kesin olarak belirlemektir. Ayrıca, pilot üniteler kurularak mevcut cevherlerin sınıflandırması yapılabilir. Elde edilen sonuçlar ekonomik sınırlar içinde kalırsa yerinde kurulacak tesisler ile ülke ekonomisine yarar sağlanabilir. Ülkemizde üretilen vermikülitin iç piyasada kullanımına yönelik çalışmalar yürütülmelidir. Ürün üretim aşamasında asbest v.b. analizlerinin yapılması gereklidir. Vermikülitin perlit v.b. ikame madenler ile rekabet etmesi için Ar-Ge çalışmalarının artırılması gerekmektedir

## 11. KAYNAKLAR

- Addison J (2007) Sivas-Yıldızeli-Karakoç Detaylı Jeolojik Prospeksiyon Çalışması.
- Amin MS, Afia MS (1954) Antophyllite-Vermiculite deposit of Hafafit, Eastern Desert, Egypt: Econ. Geol. Vol 49, pp 317-327.
- Aras A (1984) Malatya-Darende-Kuluncak-Darılı Vermikülit Zuhuru Jeoloji Raporu. MTA. Rapor No:1725.
- Bassett WA (1963) The Geology of Vermiculite Occurrence. Clays and Clays Minerals 10:61-69.
- Bassett WA (1959) The Origin of Vermiculite Deposit at Libby, Montana. American Mineralogist 44:282-299.
- Beauregard J (1982) The vermiculite industry in North America with an overview of markets in the E.E.C. and a Japan – a market study, Canalex Resources Ltd., Resident Geologist's files, Southern District, Tweed, 40p
- Berker E (1992) DPT VI. Beş Yıllık Kalkınma Planı ÖİK Raporu, Yapı-Endüstri Hammaddeleri 141-157
- Brasil Minerios Ltd. 2018, Brasil Minerios – About us; Goiania Brazil. Brasil Minerios Ltd., (Accessed July, 1, 2018 at <http://brasilminerios.com.br/sobre-nos/>).
- Bush AL (1976) Vermiculite in the United States, *in* Eleventh Industrial Minerals Forum: Montana Bureau of Mines and Geology Special Publication 74:145–155
- Calle de la Suquet (1988) Vermiculite In: Bailey, S.W. (ed.), Hydrous Phyllosilicates (Exclusive of Micas), Mineralogical Society of America Reviews in Mineralogy 19:455-496
- Chemical Mine World (2004) *Uses of Vermiculite* [Online]. Tehran, Iran. Available: <http://biz-chemical.com/contact%20us.htm> [Accessed 20/06/2011].
- Clabaough SE, Barnes, VE (1957) Origin of Texas vermiculite deposits (bbs.). Geol. Soc. Amer. Bull. Vol 68, 1709p
- Crowson P (1996) Vermiculite. In: Minerals Handbook 1996–97. Palgrave Macmillan, London).



- Deer WA, Howie RA, Zussman J (1980) *An Introduction to Rock Forming Minerals*. 12th Ed. Longman, London, 528p.
- Elliott J (2012b) Vermiculite's green shoots: *Industrial Minerals* Vol 539, pp 41–44
- Evans AM (1993) *Ore Geology and Industrial Minerals: An Introduction*. 3rd Ed. Blackwell Scientific Publications, London, Edinburgh, Boston, 390 p
- Fatma TK, Goncuoglu MC, Yalınız KM (2001) Petrology of the Kurançali Phlogopitic Metagabbro: An Island Arc-Type Ophiolitic Sliver in the Central Anatolian Crystalline Complex. *International Geology Review* 43:624-639
- Fleischer M Mandarino A (1991) *Glossary of Mineral Species*, Mineralogical Record; 6th edition (February 1, 1991), 256p
- Gulf Industrials Ltd. (2013) *Gulf Industrials Limited Annual Report 2013*: Sydney, New South Wales, Australia, Gulf Industrials Ltd., September 27, 52 p. (Accessed July 21, 2014, at [http://gulfindustrials.com.au/wp-content/uploads/2014/02/2013\\_gulf\\_industrials\\_annual\\_report.pdf/](http://gulfindustrials.com.au/wp-content/uploads/2014/02/2013_gulf_industrials_annual_report.pdf/).)
- Hadley JBN (1949) Preliminary report on corundum deposits in the Buck creek peridotite, Clay Co., North Carolina: *U.s. Geol. Survey Bull.* 948:103-128
- Hagner AF (1944) Wyoming vermiculite deposits: *Geological Survey of Wyoming Bulletin* 34:26–28
- Harben PW, Bates RL (1984) *Geology of the nonmetallics*. Metal Bulletin Inc., New York, 392p
- <http://vermiculite.net/>
- Industrial Minerals (2018) Vermiculite Rising: Perlite and Vermiculite, June 2018. <http://www.indmin.com/Article/3730509/Growing-gains-Perlite-and-vermiculite.html>
- Indian Minerals Year Book (2019)
- Justo A, Maqueda C, Perez-Rodríguez JL, Morillo E (1989) Expansibility of some vermiculites. *Applied Clay Science* 4:509-519
- Kogel J E, Trivedi NC, Barker JM, Krukowski ST (eds.) (2006) *Industrial minerals and rock: commodities, markets and uses*, Colorado: Society for mining, metallurgy, and exploration

- Kulp JL, Brobst DA (1954) Notes on the Dünite and Geochemistry of Vermiculite at the Day Book Deposit, Yancey County, Nort Carolina, Econ. Geol. 49:211-220
- Kuzvart M (1984) Industrial minerals and rocks. Elsevier, Amsterdam, 454p. Annex 3.
- Leighton FB (1954) Origin of vermiculite deposits, southern Virgin mountains, Nevada (abs). Geol. Soc. Amer. Bull. 65:61-69; Complete thesis on file at Cal.Tech.
- Loughbrough R (1991) Minerald in lightweight Insulatıions, Industrial Minerals, October pp 21-25
- Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Raporu (2001)
- Marcos C, Arango YC, Rodriguez I (2009) X-ray diffraction studies of the thermal behaviour of commercial vermiculites. *Applied Clay Science* 42:368-378
- McDowell SD, Elders WA (1980) Authigenic layer silicate minerals in Borehole Elmore I, Salton Sea geothermal field, California, U.S.A. *Contrib. Mineral. Petr.* 74:293-310
- Meisinger AC (1986b) Vermiculite; in Mineral Commodity Summaries 1986, United States Bureau of Mines, 174p
- Meisinger AC (1987b) Vermiculite; in Mineral Commodity Summaries 1987, United States Bureau of Mines, 176p
- Mineral Commodity Summaries (2021)
- Morel SW (1955) Biotite in the basement complex of Southern Nyasaland. *Geological Magazine*, 92 (3):241-255
- Muiambo H F, Focke WW, Atanasova M, Westhuizen IVD, Tiedt L R (2010) Thermal properties of sodium-exchanged palabora vermiculite. *Applied Clay Science*, 50:51-57
- Narasimha NP, Ramalingaiah H, Melka K, Krishnaveni K, Prasad S R, Krishnaiah C, Jayappa KS, Ganesh AV (2006) Vermiculite mineralization associated with ultramafics in Agasthyapura area, Mysore dist., Karnataka State, India - A mineralogical study, *Acta. Geodyn. Geomater.* 3:19-31.
- P. W. Harben, M. Kuzvart (1996); "Industrial Minerals" Global Geology Ind. Mins. Inf. Ltd. Metal Bulletin, London, 462p
- Potter MJ (1991) Vermiculite. *Ceramic Bulletin*, 70(5):887-888

- Potter MJ (1992). Vermiculite. *Ceramic Bulletin*, 71(5):820-822
- Potter MJ (1993) *American Ceramic Society Bulletin*, 73(6):137-138
- Rau E (1985) *Vermiculite Processing Handbook*, SME, New York, pp 29-21
- Santos PS (1978) Recent Developments in Applied Clay Mineralogy. In Mortland, M.M., and Farmer, V.C. (eds.). *Developments in Sedimentology, International Clay Conference, 1978*, Elsevier/North-Holland Inc., pp 427-436
- Schoeman JJ (1989) Mica and Vermiculite in South Africa. *Journal of South Africa Inst. Miner. Metall.* 89:1-12
- Strand PR, Stewart OF (1983) *Vermiculite: Industrial Rocks and Minerals*, New York, Society of Mining Engineers
- Strand PR (1983) *Vermiculite Industrial Minerals And Rocks*, ed: Lefond SJ, AIME 2:1375-81
- Tanner AO (2013) 2011 Minerals Yearbook: Vermiculite. *In: U.S. Department Of The Interior; & U.S. Geological Survey (ed.). U.S. Geological Survey*
- The Vermiculite Association (2011) *The World of Vermiculite* [Online]. Hampshire, GU35 9LU, United Kingdom. Available:<http://www.vermiculite.org/> [Accessed 20/06/2011 2011]
- TS 5763 (1988) Vermikülit - Isı Yalıtımında Gevşek Dolgu Olarak Kullanımı, 11 s
- U.S. Geological Survey, Mineral Commodity Summaries, January 2021
- United States Geological Survey, Mineral Commodity Summaries, Phosphate Rock, January 2021, <https://www.usgs.gov> (accessed: May 2021)
- USGS, Minerals Yearbook, 2009-2020. National Minerals Information Center, Vermiculite Statistics and Information, Annual Publications, <https://www.usgs.gov/centers/nmic/vermiculite-statistics-and-information#myb>
- Üçgül E (1997) Sivas-Yıldızeli-Karakoç Flogopit Cevherinin Isısal ve Kimyasal Genleşme Özellikleri, H.Ü. Yüksek Mühendislik Tezi, 71s
- Velde B (1985) *Clay Minerals (Physico-Chemical Explanation of their Occurrences)*. *Developments in Sedimentology*, Elsevier, Amsterdam, Oxford, New York, Tokyo, 427 p

- Velde B (1978) High temperature metamorphism vermiculites. *Contr. to Mineral. Petr.* 66:319-323
- Wilson (1981) Lightweight aggregates-vermiculite, perlite, pumicefor insulating concretes; Canmet Report 81-15E, Minerals Research Program, Mineral Sciences Laboratories, Energy, Mines and Resources Canada, 28 p
- Xinjiang Yuli Xinlong Vermiculite Co., Ltd. 2017. About us – Company profile. Korla, China. Xinjiang Yuli Xinlong Vermiculite Co., Ltd. (Accessed May, 29, 2018 at [www.xinlongvermiculite.com/en/about.aspx](http://www.xinlongvermiculite.com/en/about.aspx).)
- Zhelyaskova-Panayotova M, Economou- Eliopoulos M, Petrov, PM, Laskou M, Alexandrova, A (1993) Vermiculite deposits in the Balkan peninsula. *Bulletin of Geological Society of Greece* 28:451-461
- Zhelyaskova-Panayotova M, Laskou M, Economou M, Stefanov D (1992) Vermiculite occurrences from the Vavdos and Gerakini Areas of the W.Chalkidiki peninsula, Greece. *Chemical Erde* 52:41-48