

## Flogopitin Isısal Genleşme Özelliklerinin Belirlenmesi

E. Uçgul  
Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara.

I Girgin  
Hacettepe Üniversitesi, Ankara

**ÖZET:** Ana minerali flogopit olan Sivas-Yıldızeli-Karakoç cevher yatağından alınan temsili numuneler üzerinde bek alevi ve elektrikli fırın ortamında ısısal genleştirme deneyleri yapılmıştır. Bek alevinde yapılan deneylerde; alev karakteri (indirgen veya yükseltgen), alevle doğrudan temas, sıcaklık, yakıt/hava oranı ve alıkonma süresinin genleşme üzerindeki etkilen incelenmiştir. Elektrikli fırın ortamında yapılan ısısal genleştirme deneylerinde ise sıcaklık ve alıkonma süresi optimize edilmiştir. Sonuçta bek alevinde alevle doğrudan temas olan koşullarda en yüksek olarak 13.2 kat, elektrikli fırın ortamında ise en yüksek 18 katlık genleşme oranı değerlerine ulaşılmıştır. Isısal genleştirme sonucunda elde edilen genleşmiş ürün üzerinde kimyasal ve mineralojik analizler yapılarak genleşme mekanizması aydınlatılmaya çalışılmış, ayrıca genleşmiş ürünün tane boyu, yoğunluk ve yığın yoğunluğu gibi fiziksel özellikleri belirlenerek endüstrinin talep ettiği niteliklere uygunluğu belirlenmiştir.

**ABSTRACT:** Thermal expansion experiments were performed in flame and in electrical furnace conditions on representative samples taken from Sivas-Yıldızeli-Karakoç ore body which contains phlogopite as the main mineral. In Flame experiments the effect of flame characteristics (reductive or oxidative), direct contact with flame, temperature, fuel/air ratio and retention time on expansion were investigated. Also, retention time and temperature were optimized in thermal expansion experiments performed in electrical furnace conditions. As a result, the maximum ratio of expansion was found to be 13.2 for direct contact with flame and 18 for electrical furnace conditions. Chemical and mineralogical analyses of expanded product were made so as to explain the mechanism of thermal expansion and in addition, physical properties such as size, density and bulk density were determined to show if the expanded product was favorable for requirements of the industry.

### 1. GİRİŞ

Mika grubu mineraller; plakamsı yapı ve mükemmel dilimlenme özelliği gösteren tabakalı atomik yapıda sulu alüminyum silikat bileşikleridir. Mika grubu mineraller ve benzer yapıdaki tabakalı silikatlara ilişkin çeşitli sınıflandırmalar yapılmıştır (Bailey, 1984; Calle ve Suquet, 1988). Farklı sınıflandırmaların yapılmasının nedeni, kimyasal bileşimlerin ve buna bağlı olarak da fiziksel özelliklerin çok değişik olabilmelerinden kaynaklanmaktadır. Çizelge-1'de, mika grubu mineralleri de içeren, tabakalı yapıya sahip silikatlara ilişkin genel bir sınıflandırma verilmektedir (Grim, 1968).

Mika grubu minerallerini diğer silikatlardan ayıran en önemli özellik yapraklarının hem bükülebilir hem de elastik olmasıdır. Bu gruptaki minerallerin bir kısmı ısı işleme tabi tutulduğunda genleşme özelliği göstermekte ve malzemenin yığın yoğunluğu yaklaşık on kat azalarak ısı ve ses izolasyon özellikleri son derece yüksek, hafif, ateşe dayanıklı bir özellik kazanmaktadır. Bu grupta içerisinde ekonomik öneme sahip mineraller olarak muskovit, flogopit ve lepidolitten söz etmek mümkündür. Ticari anlamda yapılan sınıflandırmada ise mikalar; blok mika, yaprak mika ve ince zar mika olarak üç kısma ayrılmaktadır (TS 558, TS 3965).

Çizelge-1. Tabakalı Yapıya Sahip Silikatların Sınıflandırması

Tabaka Tipi	Grup (x=tabaka yükü)	Alt Grup	Tür
2:1	Pirofillit-Talk x=0	Pirofillitler	Pirofillit
		Talklar	Talk
	Smektit veya Montmorillonit x=0.5-1	Dioktahedral Smektit veya Montmorillonit	Montmorillonit, Bedelit, Nontronit
		Trioktahedral Smektitler veya Saponitler	Saponit, Hektorit
	Vermikülit x=,1-1.5	Dioktahedral Vermikülit	Dioktahedral Vermikülit
		Trioktahedral Vermikülit	Trioktahedral Vermikülit
	Mika x=2	Dioktahedral Mikalar	Muşkovit, Paragonit
		Trioktahedral Mikalar	Biotit, Flogopit, Lepidolit
	Gevrek Mika x=4	Dioktahedral Gevrek Mikalar	Margarit
		Trioktahedral Gevrek Mikalar	Seybertit, Ksantofillit, Brandisit
2:1:1	Klorit x değişken	Dioktahedral Kloritler	
		Trioktahedral Kloritler	Penin, Klinoklor, Pröklorit
1:1	Kaolinit-Serpantin x=0 *	Kaolinitler	Kaolinit, Halloysk
		Serpantinler	Krizotil, Lizardit, Antigorit

Mineralojik anlamda tek başına farklı bir gurubu temsil eden vermikülitin kimyasal bileşimi de mika gurubu minerallere oldukça benzemektedir. Zaten; flogopit ve biotit minerallerini bir arada içeren kayaçların hidrotermal sular ile tepkimeye girmesi sonucu bir miktar  $K^+$  yapıdan uzaklaşmakta ve yerine  $H_3O^+$  almakta, oksidasyon yoluyla  $Fe^{2+}$ 'nin  $Fe^{3+}$ 'e yükseltgenmesini takiben yapıya  $Mg^{+2}$ 'nin de girmesiyle vermikülitlenme sürecinin tamamlandığı ifade edilmektedir (Philips ve Griffen, 1981; Khaglı ve Minkinen, 1989). Endüstriyel anlamda "vermikülit", genişleme özelliği on planda tutularak, genişleme özelliği olan tüm mika gurubu minerallerini kapsayan bir terim olarak kullanılmaktadır.

Ülkemizde, izolasyon amaçlı çok hafif yapı malzemeleri son derece az miktarlarda tüketilmekte ve sektörde yalnızca perlit tanınmaktadır. Ülkemizdeki perlit genişleme kapasitesi 300 000 m<sup>3</sup>/yıl olmakla birlikte, talep azlığı ve malzemenin yeterince kullanılmamasından ötürü üretim değeri 100.000 m<sup>3</sup>/yıl dolaylarında gerçekleşmektedir (Kaypakoğlu, 1996). Ülkemizde henüz bir üretimi bulunmayan vermikülit ise yalnızca bu malzemenin önemini kavramış olan kişi ve kuruluşlar tarafından yılda bir kaç yuz ile bir kaç ton arasında ithal edilerek kullanılmaktadır (Şahin, 1996)

Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü tarafından "Akdağ " Masifi Maden Aramaları Projesi" çerçevesinde yapılan çalışmalarda Sivas-Yıldızeli-Karakoç dolaylarında mika gurubu mineralleri içeren 2.750.000 ton muhtemel rezerve sahip bir yatak belirlenmiştir (Şahin, 1996). Bu çalışma kapsamında, ana minerali flogopit olan Karakoç cevherinin ısısal genişleme özellikleri belirlenmiştir.

## 2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

### 2.1. Numunenin Fiziksel, Kimyasal ve Mineralojik Özelliklerinin Belirlenmesi

Karakoç cevheri, ortalama tane- boyu yaklaşık 3 cm civarında olan, tabaka yapısına sahip ve koyu siyah renktedir. Dikdörtgen şeklindeki tanelerin en küçüğü 0.1 cm, en büyüğü ise 0.5 cm tabaka kalınlığına sahiptir. Yapılan analizler sonucunda mineralin yoğunluğunun 2.75 g/cm<sup>3</sup>, yığın yoğunluğunun ise yaklaşık 0.85 g/cm<sup>3</sup> olduğu belirlenmiştir.

Mineralin tabakalara paralel olarak dilinimlenmesi mükemmeldir. Ayrılan plakalar normal gün ışığı altında koyu kahverengi rengindedir. Plakalar el ile kolaylıkla bükülebilmekte fakat, bükülen plakalar uygulanan basınç kaldırıldığında tam olarak eski orijinal hallerine dönmemektedir.

Numunenin kimyasal bileşimi x-ışını floresans analiz yöntemi ile belirlenmiş ve bu amaçla Philips PW 1480 x-ışını spektrometresi kullanılmıştır. Karakoç cevherinin kimyasal bileşimi ve bir karşılaştırma yapmak amacıyla flogopit cevherinin ideal kimyasal bileşimi Çizelge-2'de verilmektedir.

Çizelge-2. Karakoç Cevherinin ve Flogopitin ideal Kimyasal Bileşimleri

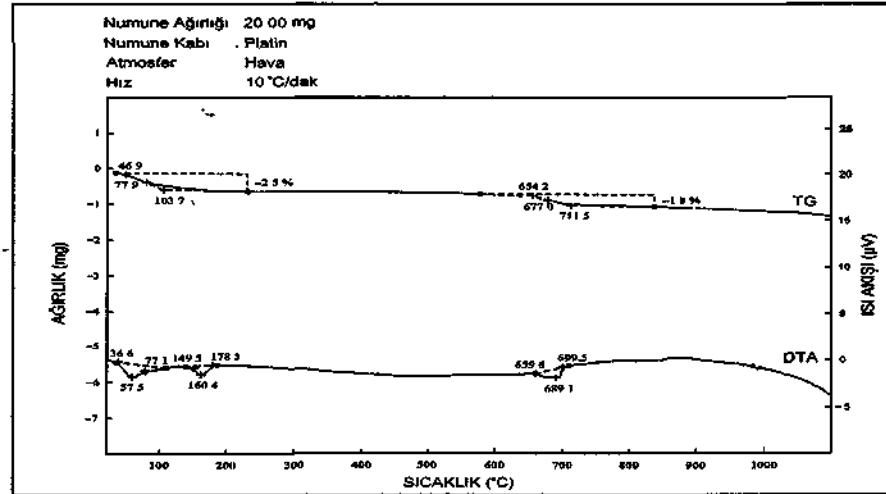
Kimyasal Bileşim (%)	Flogopit	Karakoç Cevheri
SiO <sub>2</sub>	40.0	36.28
MgO	26.0	16.99
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17.0	16.37
K <sub>2</sub> O	10.0	7.98
FeO	2.8	6.63
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.2	4.69
TiO <sub>2</sub>	Eser	2.90
CaO	Eser	1.68
Na <sub>2</sub> O	0.5	0.38
Minör	0.5	0.19
H <sub>2</sub> O	3.0	4.29
Toplam	100.0	98.38

Çizelge-2'de verilen değerler kıyaslandığında Karakoç cevherinin silis, alüminyum, potasyum ve sodyum içeriklerinin ideal flogopit bileşimine oldukça yakın olduğu görülmektedir. Numune magnezyum, demir, titan, kalsiyum ve su içerikleri bakımından farklılık göstermekte, magnezyum

içeriğinin daha az, buna karşılık demir içeriğinin daha fazla olduğu görülmektedir. Zaten, numunenin siyaha kaçan rengi de demir içeriğinin yüksek olduğunun bir göstergesidir. Demir, magnezyum, titan, kalsiyum ve su içeriklerinde gözlenen farklılıklar cevherin bir dereceye kadar alterasyona uğradığını ifade etmektedir.

Cevherin mineralojik bileşiminin tayini amacıyla Philips PW3710 tipi XRD cihazı kullanılarak XRD analizi yapılmıştır. Elde edilen desendeki piklerin ASTM Kart No: 16-352'deki flogopitle ilgili verilerle uyumlu olduğu görülmüş ve desende başka bir minerale ait herhangi bir pik gözlenmemiştir. Kimyasal analiz sonuçları (Çizelge-2) dikkate alınarak Karakoç flogopit numunesinin mineralojik bileşimi  $(\text{Na}^+_{0.5}\text{Ca}^{2+}_{0.5}\text{Mg}^{2+}_{1.5}\text{Fe}^{2+}_{0.5}\text{Fe}^{3+}_{0.5}\text{Ti}^{4+}_{0.5})\text{Si}_2\text{O}_{10}(\text{OH})_2$  olarak belirlenmiştir.

Numunenin hangi sıcaklıklarda suyunu kaybettiğini ve/veya faz değişikliğine uğradığını belirlemek amacıyla termogravimetrik (TGA) ve differansiyel termal analiz (DTA) yöntemleri kullanılmıştır. Bu analizlerin yapılmasında Rigaku (Model No: 2.22E2) termal analizör kullanılarak 25 °C ile 1100 °C arasında TGA ve DTA desenleri elde edilmiştir. Bu desenler birlikte değerlendirildiğinde sırasıyla 57.5°C, 160.4°C ve 689°C sıcaklıklarda numuneden nem, kristal suyu ve hidroksil suyunun uzaklaştığı ve toplam su kaybının % 4.30 olduğu anlaşılmaktadır. Şekil-1'de numunenin DTA ve TG analiz sonucu görülmektedir.



Şekil-1. Karakoç Cevherinin DTA ve TG Analiz Sonuçları



## 2.2.1 Alevde Yapılan Genleştirme Deneyleri

Şekil-2'de gösterilen ve alevin belirlenen konumlarına yerleştirilen bir amyant tel üzerinde alevle doğrudan temas olmayacak şekilde genişleme deneyleri yapılmıştır. Bu deneylerde amyant tel üzerindeki sıcaklıklar termociftle belirlenmiş ve farklı yakıfhava oranlarında elde edilen genişleme sonuçları Çizelgede verilmiştir.

Çizelge-4 Alevle Temas Olmadan Gerçekleştirilen Genleştirme Deneyi Sonuçları

Alev Konumu	Hava Ayarı	Sıcaklık (°C)	Alınma Süresi (sn)	Genleştirme Oranı (kat)
A	Kapalı	250	75	5,5
B	Kapalı	380	59	7,5
C	Kapalı	360	64	6,2
A	Yarı Açık	357	65	6,0
B	Yarı Açık	400	57	7,8
C	Yarı Açık	435	52	9,5
D	Yarı Açık	420	55	8,5
A	Tam Açık	370	60	6,5
B	Tam Açık	440	50	9,8
C	Tam Açık	468	45	10,5
D	Tam Açık	450	48	10,0

Çizelgede verilen değerlerden anlaşılacağı gibi hava ayarının tamamen kapalı olması durumunda sıcaklık 250 ile 380 °C arasında değişmekte ve en yüksek sıcaklık B konumunda elde edilmektedir. Genleştirme oranı sıcaklık yükselmesi ile artmakta ve en fazla 7.5 katlık bir genişleme sağlanabilmektedir. Hava ayarı yarı açık konumda olduğu zaman en yüksek sıcaklık (C konumu) 435 °C olmakta ve genişleme oranı da 9.5 kate yükselmektedir. Hava ayarının tamamen açık

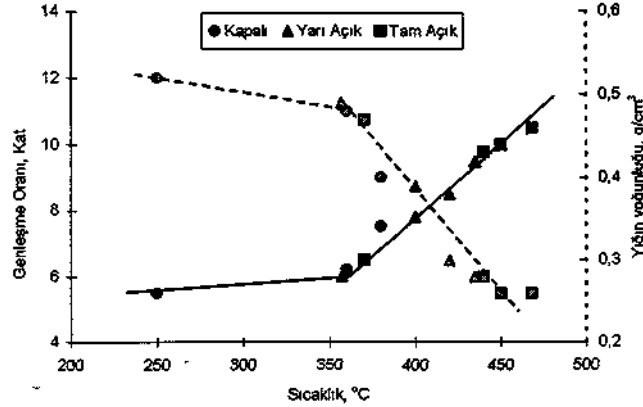
olması durumunda ise en yüksek sıcaklık değerine (468 °C) yine C konumunda ulaşılmakta ve genişleme oranı 10.5 değerine çıkmaktadır.

Alevle doğrudan temasın olmadığı deneylerde genişleme oranı sıcaklığa bağlı olarak artmakta (Şekil-3) ve en yüksek sıcaklık değerine de yakıt/hava karışımının minimum olduğu, indirgen alevin üst noktası olan C konumunda ulaşılmaktadır. Bu koşullarda 10.5 kat genişleyen malzemenin yığın yoğunluğu 3.3 kat azalarak 0.26 g/cm<sup>3</sup> değerine düşmektedir. Bu nitelikte bir malzemenin elde edilmesi için 45 saniyelik bir alınma süresi yeterli olmakta ve malzeme ise gümüş renkte olmaktadır.

Benzer deneyler numunelerin alevle temas edeceği şekilde tekrarlandığında ise Çizelge-5'de verilen değerler elde edilmiştir.

Çizelge-5 Alevle Temas Olacak Şekilde Gerçekleştirilen Genleştirme Deneyi Sonuçları

Alev Konumu	Hava Ayarı	Sıcaklık (°C)	Alınma Süresi (sn)	Genleştirme Oranı (kat)
A	Kapalı	700	30	6,4
B	Kapalı	820	24	11,3
C	Kapalı	745	27	8,9
A	Yarı Açık	725	18	7,5
B	Yarı Açık	990	16	10,7
C	Yarı Açık	1017	15	12,5
D	Yarı Açık	1000	15	11,0
A	Tam Açık	845	20	10,0
B	Tam Açık	1040	14	10,9
C	Tam Açık	1075	13	13,2
D	Tam Açık	1050	14	11,2



Şekil-3 Alevle Doğrudan Temasın Olmadığı Ortamda Genleştirme Oranı ve Yığın Yoğunluğunun Sıcaklıkla Değişimi

Çizelge-5 incelendiğinde alev konumlarındaki sıcaklık eğilimlerinin benzer ancak daha yüksek olduğu ve B konumunda 820 °C sıcaklıkta genişmiş ürünün 113 katlık bir genişlemeye 24 saniyelik bir alıkonma süresi sonucunda ulaşılabileceği anlaşılmaktadır. Benzer şekilde hava ayan yarı ve tam açık olması durumlarında yine C konumlarında, sırasıyla 1017 ve 1075 °C sıcaklıklarda, 15 ve 13 saniyelik alıkonma sürelerinde, genişleme oranlarında 12.5 ve 13.2 katlık bir artış sağlanabileceği anlaşılmıştır

Hava ayan tamamen açık iken yükseltgen alevin C konumunda elde edilen sıcaklık değeri (1040 °C), hava ayan yan açık iken indirgen alevin jist noktasında elde edilen sıcaklık değerinden (1017 °C) daha yüksek olmasına rağmen birinci durumda elde edilen 10.7 katlık genişleme, ikinci durumda elde edilen 12.5 katlık genişmeden daha az olmaktadır. Başka bir ifade ile, sıcaklık yanında alev karakteri de genişlemede önemli olmaktadır.

Alevle doğrudan temas olacak şekilde yapılan deneylerde genişleme oranı ve yağın yoğunluğunun sıcaklığa bağlılığı, Şekil-4'de verilmektedir. Bu şekilde 10.5 ile < 12 katlık genişleme oranlarında görünen düzensizlikler alev karakterinin etkisinden kaynaklanmaktadır. 1075 °C sıcaklıkta en yüksek genişleme oranına (132 kat) 13 saniye alıkonma süresinde ulaşılmakta ve yağın yoğunluğu 0.172 g/cm<sup>3</sup> olan yine metalik gri renkli bir ürün elde edilmektedir, indirgen alevin doğrudan temas ettiği kısımlar ise

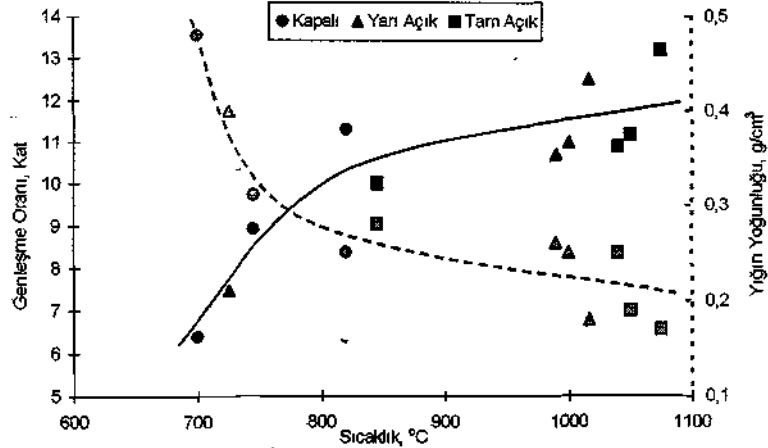
metalik parlaklıkta koyu sarı bir renk almaktadır.

### 2.2.2. Elektrikli Fırın Ortamında Yapılan Genişleme Deneyleri

Alevsiz bir ortamda genişleme eğilimini belirlemek amacıyla elektrikli fırında farklı sıcaklıklarda deneyler tekrarlanmıştır. Bu deneylerde; genişleme oranı, alıkonma süresi ve yağın yoğunluğu değerleri yanında numunelerde genişleme sırasında gözlenen ağırlık azalmaları da belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar Çizelge-6'da verilmektedir.

Çizelge-6 Elektrikli Fırın Ortamında Yapılan Isısal Genişleme Deneyi Sonuçları

Sıcaklık (°C)	Alıkonma Süresi (sn)	Genişleme Oranı (kat)	Yağın Yoğunluğu (g/cm <sup>3</sup> )	Ağırlık Kaybı (%)
500	40	8.5	0.31	2.61
600	25	9.3	0.26	2.79
700	21	11.5	0.20	2.84
800	18	13.8	0.16	3.06
900	12	14.5	0.15	3.07
1000	10	15.8	0.14	3.45
1100	8	17.0	0.12	3.48
1200	4	18.0	0.11	3.71



Şekil-4 Alevle Doğrudan Temasin Olduğu Ortamda Genişleme Oranı ve Yağın Yoğunluğunun Sıcaklıkla Değişimi

Çizelge-6'da verilen değerler incelendiğinde genleşme oranının sıcaklıkla arttığı ve alıkonma süresinin de oldukça azaldığı görülmektedir. Bu durumda en fazla genleşme oranına (18 kat) 1200°C sıcaklıkta ulaşılmakta ve 0.105 g/cm<sup>3</sup> yığın yoğunluğunda ürün 4 saniye alıkonma süresinde elde edilmektedir. Sıcaklığın 1100 °C'den 1200 °C'ye yükseltilmesi ile genleşme oranında yalnızca 1 katlık bir artış sağlanırken alıkonma süresi yarı yarıya düşmektedir. Elektrikli fırın ortamında elde edilen genleşmiş numuneler bronz renkte olmaktadır. Fırında gerçekleştirilen genleşme deneyleri dikkate alındığında sıcaklık, genleşme oranı, yığın yoğunluğu ve ağırlık azalması ilişkisi Şekil-5'de verilmektedir. Buna göre sıcaklık artışına bağlı olarak genleşme oranındaki artış ile " numunede gözlenen ağırlık azalması değerleri arasında bir paralellik gözlenmektedir, genleşme oranı ile yığın yoğunluğu arasındaki ilişki de alevde yapılan genleştirmeye benzer bir eğilim sergilemektedir.

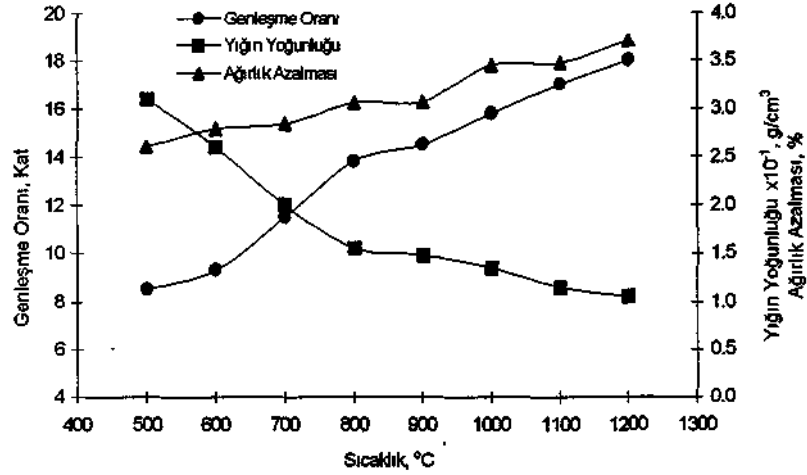
### 2.2.3. Isısal Genleştirme Sonucunda Numunede ~ Meydana Gelen Değişiklikler

Isısal genleştirme sonucunda numunede meydana gelen değişikliklerin ve genleşme mekanizmasının kısmen aydınlatılması amacıyla elektrikli fırın ortamında genleştirilen numunelerin kimyasal ve

mineralojik analizleri yapılmıştır. Bu amaçla 500°C'dan itibaren 1200°C'ye kadar olan sıcaklıklarda genleştirilen numunelere XRF, XRD, DTA ve TGA analizleri yapılmış ve numunede su kaybından başka herhangi bir değişim olup olmadığı araştırılmıştır.

Yapılan XRF analizleri sonucunda numunenin kimyasal içeriğinde genleşme öncesi ve genleşme sonrası çok büyük farklılıkların meydana gelmediğini anlaşılmaktadır (Çizelge-7). Kimyasal içerikte meydana gelen en büyük değişim 1000°C ve üzerindeki sıcaklıklarda genleştirilen malzemenin Fe(H) ve Fe(ni) miktarlarında olmaktadır. 900°C'ye kadar olan sıcaklıklarda Fe(II) ve Fe(DI) içeriklerinde önemli bir değişim olmamakla birlikte 1000°C sıcaklığın üzerinde Fe(m) oranında bir artış gözlenmektedir.

Genleştirmiş malzemede herhangi bir faz değişimi olup olmadığını belirlemek amacıyla 1200 °C'de 4 saniye süreyle genleştirilmiş numune üzerinde XRD, DTA ve TGA analizleri yapılmış ve orijinal numune sonuçları ile kıyaslanmıştır. Sonuçta, genleştirme sonucunda herhangi bir faz değişimi olmadığı, genleşme sırasında meydana gelen - ağırlık azalmasının da su kaybından olduğu sonucuna varılmıştır.



Şekil-5 Elektrikli Fırın Ortamında Genleşme Oranı, Yığın Yoğunluğu ve Ağırlık Azalmasının Sıcaklıkla Değişimi

Çizelge-7 Elektrikli Finn Ortamında Genleştirilen Numunelerin Kimyasal Bileşimleri

Numune	Kimyasal Bileşim (%)											
	SiO <sub>2</sub>	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	CaO	MnO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Na <sub>2</sub> O	FeA	FeO	*Y.K
Orjinal Numune	36.2	17.3	15.9	8.50	3.00	1.50	0.10	0.10	0.10	4.76	6.74	4.78
500°C	36.6	17.3	16.3	8.50	3.00	1.50	0.10	0.10	0.20	5.39	6.21	5.40
600°C	36.1	17.4	16.0	8.70	3.00	0.90	0.10	0.100	0.10	4.94	6.86	4.45
700°C	36.7	17.9	16.2	8.70	3.10	0.90	0.10	0.10	0.10	5.27	6.13	3.97
800°C	36.2	17.3	16.0	8.10	3.00	1.60	0.10	0.10	0.20	5.50	6.30	4.57
900°C	36.4	18.0	16.1	8.40	3.00	1.00	0.10	0.10	0.10	4.37	7.03	4.26
1000°C	36.5	17.8	16.2	8.70	3.10	1.10	0.10	0.10	0.10	5.84	5.76	3.94
1100°C	36.9	18.0	16.3	8.00	3.10	1.20	0.10	0.10	0.10	6.80	4.90	3.62
1200°C	36.6	18.1	16.1	8.50	3.00	1.10	0.10	0.10	0.10	7.71	3.39	3.99

\* Yanma Kaybı

### 3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Yapılan ısıl genleştirme deneyleri sonucunda alev karakterinin indirgen veya yükseltgen karakterli olmasının genleştirme oranını fazla etkilemediği, asıl etkisinin genleştirilmiş malzemenin rengi üzerinde olduğu belirlenmiştir. İndirgen alevde yapılan deneyler sonucunda genleştirilmiş ürünün rengi koyu sarı, bronz bir renk olurken, yükseltgen alevde bu renk metalik gri, gümüş rengi olmaktadır. Sıcaklık değerleri yaklaşık aynı olan, yükseltgen alevin orta noktası (B) ile indirgen alevin orta noktasında (D) elde edilen genleştirme oranları (Çizelge-5) hemen hemen aynıdır. Bu durum yakıt/hava oranının farklı olduğu diğer koşullarda da değişmemektedir. Alevle direkt temasın kesildiği durumda ise alev karakterinin genleştirme üzerindeki etkisi ortadan kalkmakta, genleştirme olayı sadece sıcaklığa bağlı olarak değişmektedir.

Bek alevinde elde edilen en yüksek sıcaklık değeri 1075 °C'dir (Çizelge-5). Alevle temasın olduğu durumda yapılan tüm deneyler içinde en yüksek genleştirme (13.2 kat) ve en düşük yığın yoğunluğu (0.17 g/cm<sup>3</sup>) değerleri de bu sıcaklık değerinde elde edilmiştir. Bek alevinde en iyi sonuçların alındığı koşullarda malzemenin, genleştirme işleminin tamamlanması için 13 ile 15 saniye arası bir süre yeterli olmaktadır. Alınma süresinden daha uzun

bir süre genleştirme ortamında kalan numuneler son derece gevrek ve kırılabilir bir yapı kazanmakta, bu durum fazladan ince tane oluşmasına neden olmaktadır. Sıcaklığın artması ile genleştirme olayı daha hızlı geliştiğinden alınma süresi azalmaktadır.

Elektrikli finn ortamında gerçekleştirilen deneyler sonucunda 1200°C sıcaklıkta 4 saniyelik alınma süresi sonucunda genleştirilmiş malzemede endüstrinin taleplerini karşılayabilecek 18 katlık genleştirme ve 0.11 g/cm<sup>3</sup> lük yığın yoğunluğu elde edilmiştir. Finn ortamında aynı sıcaklık değerlerinde alevle direkt temasın olduğu koşullardan daha yüksek genleştirme oranlarının elde edilmesinin başlıca nedeni, sıcaklığın ortam içersinde düzenli olarak dağılmasıdır. Karakoç flogopit cevherinin elektrikli finn ortamında 1200°C sıcaklıkta elde edilen yığın yoğunluğu değeri (0.11 g/cm<sup>3</sup>) genleştirilmiş malzeme için yapılan sınıflandırmaya göre 2 sınıf malzeme niteliği taşımaktadır.

Elektrikli finn ortamında yapılan deneyler sırasında belirlenen ağırlık azalmaları (Çizelge-6), genleştirme sırasında yapıdan buharlaşan toplam kristal ve hidroksil suyu miktarlarını göstermektedir. Sıcaklığa bağlı olarak numunede meydana gelen ağırlık kaybı ile genleştirme oranı arasında paralel bir değişim söz konusudur (Şekil-5). Yani diğer bir deyişle, sıcaklığın



artması ile toplam buharlaşan su miktarı artmakta ve oluşan anı buhar basıncı fazlalaştığından daha yüksek genleşme değerlerine ulaşılmaktadır. Genleşmiş malzemeye yapılan kimyasal ve mineralojik analizler genleşme sırasında mineralin yapısında bulunan kristal suyunun tamamını, hidroksil suyunun ise üçte ikisini kaybettiğini göstermektedir. Yapılan analizler sonucunda mineralin kimyasal bileşiminde herhangi bir değişimin olmadığı, yalnızca yapıda bulunan demirin 1000 °C'in üzerindeki sıcaklıklarda yükseltgenme eğiliminde olduğu anlaşılmaktadır.

Sonuç olarak;

- Karakoç flogopit mineralinin ısısal ve kimyasal yöntem kullanılarak endüstrinin talep ettiği oranlarda geliştirilebileceği,
- Isısal olarak elektrikli fırında 1200°C ortam sıcaklığında ve 4 saniyelik alıkonma süresi sonucunda 18 katlık bir genleşme ve 0.11 g/cm<sup>3</sup> yığın yoğunluğu sağlanabileceği,
- Genleştirme ortamının indirgen veya yükseltgen karakterli olmasının genleştirme işleminden çok genleşmiş malzemenin fiziksel özellikleri (renk, kırılgenlik, basınca karşı dayanım) üzerinde etkisi olduğu,
- Isısal genleştirmede genleşme için gerekli olan alıkonma süresinden fazla genleştirme ortamında kalan malzemenin özelliklerini yitirerek yapısal bozunmaya uğradığı ve bu durumun ince tane boyuna sahip malzeme miktarını artırdığı,
- Isısal genleşme mekanizmasının belirlenmesi açısından son derece önemli olan mineralin içerdiği su miktarı ile genleşme oram arasında yakın bir ilişki olduğu, ortaya konmuş ve söz konusu yatağın kolaylıkla değerlendirilerek ekonomiye kazandırılabilir nitelikte olduğu anlaşılmıştır

#### 4. KAYNAKLAR

- Bailey, S. W., 1984, Micas, ed: Ribbe P. H., Mineralogical Society of America, Washington, Vol: 13, 584 p.
- Calle, C, Suquet H., 1988, Vermiculite, Hydrous Phyllosilicates, ed: Bailey W.S., Mineralogical Society of America, Washington, Vol: 19, 455-92.
- Grim, R. E., 1968, Clay Mineralogy-Second Edition, McGraw-Hill Book Company, USA, 596 p.

Gündüz, T., 1973, Yan Mikro Kalitatif Analiz, Ankara Üniversitesi Fen Fakültesi Yayınları, Ankara, 253 s.

Kaypakoğlu, K., 1996, Perlit, Çimento Hammaddeleri ve Yapı Malzemeleri, DPT Yedinci Beş Yıllık Kalkınma Planı Özel İktisat Komisyonu Raporu, Cilt: 2, 53-92.

Khalighi, M., Minkinen P., 1989, The Evaporation of Potassium from Phlogopite, Journal of Thermal Analysis, Vol. 35, 379-390.

Philips, Wm. R., Griffen D. T., 1981, Micas, Optical Mineralogy The Nonopaque Minerals, 677 p.

Şahin, B., 1996, Vermikülit, Çimento Hammaddeleri ve Yapı Malzemeleri, DPT Yedinci Beş Yıllık Kalkınma Planı Özel İktisat Komisyonu Raporu, Cilt: 2, 169-183.

TS-558, 1967, Flogopit Mika Blok, Yaprak ve ince Zarlarının Boyutlara Göre Kalite Ayrımı, 4 sayfa

TS-3681, 1982, Genleştirilmiş Perlit Agregası, 7 sayfa.

TS-3965, 1983, Flogopit Mika Yaprakları - Sıcaklığa Karşı Dayanımına Göre Sınıflandırma, 1 sayfa.