

## Nefelin siyenitlerin seramik sanayinde kullanılma potansiyeli: Buzlukdağ örneği

### The potential usage of nepheline syenite in ceramic industry: Example of Buzlukdag

Kıymet DENİZ<sup>1\*</sup>, Yusuf Kağan KADIOĞLU<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Ankara Üniversitesi, Ankara, Türkiye.  
kdeniz@eng.ankara.edu.tr

<sup>2</sup>Yerbilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi (YEBİM), Ankara Üniversitesi, Ankara, Türkiye.  
kadi@ankara.edu.tr

Geliş Tarihi/Received: 02.05.2017, Kabul Tarihi/Accepted: 18.07.2017

\* Yazışılan yazar/Corresponding author

doi: 10.5505/pajes.2017.80947

Araştırma Makalesi/Research Article

#### Öz

Feldispat ve kil mineralleri cam ve seramik sanayinde yıllardır ham madde olarak kullanılmaktadır. Bunların dışında feldispatoyid (başlıca nefelin) grubu minerallerin seramik sanayinde kullanımının özellikle pişirme sıcaklığını düşürmesi, düşük viskoziteye sahip oluşu, camsı fazın hızlı gelişimine neden olması, kuvarsa karşı yüksek reaktivite göstermesi ile birçok avantaja sahip olduğu görülmüş ve kullanımı giderek yaygınlaşmıştır. Feldispatoyid mineralleri alkali magmatik kayaların, silikaca doymun olmayan siyenit bileşimindeki kayalarının içerisinde fazla oranda bulunmaktadır. İç Anadolu Bölgesi'nde nefelin içerikli siyenitler diğer felsik kayalara göre daha az yayılım göstermektedir. Buzlukdağı nefelin siyeniti İç Anadolu'da Kırşehir'in kuzeybatısındaki en büyük ve en taze alkali intrüzif kütlelerden birini temsil etmektedir. Intrüzif kütle doku özelliklerine ve tane boyutlarına göre üç alt guruba ayrılmıştır. Bunlar iri, orta ve ince kristalen nefelin siyenittir. Bu kayalar farklı renk tonlarında ve farklı mineral oranlarında benzer mineral bileşimine sahiptirler. Çoğunlukla nefelin (%19.1-54.2), K-Feldispat (ortoklaz) (%41.3-69), oligoklaz (%1.2-17.8), piroksen (%0.3-4.9), biyotit (%0.3-2.5), amfibol (%0.6-1.1) ile az oranda melanit (%0.3-11.7), kankrinit, sfen (%0.4-1.2) ve opak minerallerden (%0.1-2.5) meydana gelmektedirler. Buzlukdağ nefelin siyenitlerinin hem Na<sub>2</sub>O/K<sub>2</sub>O oranının %0.38-1.12 (ortalama %0.70) arasında olmasıyla hem de K<sub>2</sub>O/Na<sub>2</sub>O'nun %0.89-2.66 arasında (ortalama %1.53) yer alması seramik ve cam sanayisi için kullanıma elverişli olduğunu göstermektedir. Çalışma alanı dünya siyenitleri ile karşılaştırıldığında nefelin içeriklerinin oldukça yüksek ve opak mineral miktarların buna karşılık çok düşük oluşu, nefelin ve ortoklaz gibi felsik minerallerin içerisinde küçük kristaller halindeki magnetit ve ilmenit mineral kapanımlarını az oranda ve bağımsız kristaller halinde içermesi nedeniyle bu kayaların endüstriyel hammadde kullanılma potansiyelini olumlu yönde etkilemektedir.

**Anahtar kelimeler:** Nefelin siyenit, Ham madde, Seramik, Potasyum, İç Anadolu, Buzlukdağ

#### Abstract

Feldspar and clay minerals have been used in glass and ceramics industry for many years as raw material. Apart from these, feldspathoid (especially nepheline) group minerals are commonly used in ceramic industry because of their advantages such as decreasing firing temperature, lower viscosity, effect on rapid growth of glassy phase and high reactivity against quartz. Feldspathoid minerals are abundant within the alkaline igneous rocks, especially silica unsaturated syenitic rocks. Nepheline bearing syenites give limited outcrops compared to felsic rocks within Central Anatolia. Buzlukdağ nepheline syenite represents one of the largest and unaltered alkaline intrusive body in Central Anatolia and located in the northwest of Kırşehir. Buzlukdağ nepheline syenite is differentiated into three subgroups (coarse, medium and fine crystalline) according to textural features and grain sizes. Both subgroups have similar mineral composition but different colors and mineral proportions. Main mineral composition is nepheline (19.1-54.2%), K-feldspar (orthoclase) (41.3-69%), oligoclase (1.2-17.8%), pyroxene (0.3-4.9%), biotite (0.3-2.5%), amphibole (0.6-1.1%) with lesser amounts of melanite (0.3-11.7%), cancrinite, sphene (0.4-1.2%) and opaque minerals (0.1-2.5%). Buzlukdağ nepheline syenites have K<sub>2</sub>O/Na<sub>2</sub>O and Na<sub>2</sub>O/K<sub>2</sub>O ratios between 0.38-1.12% (mean 0.70%) and 0.89-2.66% (1.53% on average) respectively, thus they are very suitable for ceramic and glass industries. As a result, Buzlukdağ nepheline syenites have great potential in industrial uses with their high nepheline + low opaque mineral content, limited inclusions of magnetite and ilmenite within felsic minerals like orthoclase and nepheline and also presence of individual magnetite and ilmenite crystals compared to syenites around the world.

**Keywords:** Nepheline syenite, Raw material, Ceramic, Potassium, Central Anatolia, Buzlukdağ

## 1 Giriş

Nefelin siyenitler silikaca doymun olmayan alkalin magmalardan türeyen, manto kaynaklı ve diğer felsik intrüzif kayalara nazaran daha az yayılım gösteren, kabuk incelmelerini ifade edebilen karakteristik magmatik kayadır. Bu tür kayalarda nefelin ana minerali oluşturmakta ve bunun yanı sıra K-feldispat, plajiyoklaz, biyotit ve amfibollerde yer alabilmektedir. Nefelin; silikaca doymun olmayan ve kuvarsa ile birliktelik göstermeyen sodyum potasyum alüminyum silikat mineralidir. Bünyesinde %15-22 Na<sub>2</sub>O, %3-12 K<sub>2</sub>O, %30-36 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, %40-43 SiO<sub>2</sub> ihtiva etmesi ve demir (Fe) içermemesi

nedeniyle seramik imalatında kullanılan önemli bir hammaddedir. Nefelin feldispatoyid mineral grubu içerisinde volkanik, damar ve plütonik kayalarda en fazla bulunan minerali oluşturmaktadır. Nefelin siyenit cam ve seramik sanayinde kullanılan önemli ham maddelerden biridir çünkü nefelin siyenitin düşük ergime noktası karışımın ergime sıcaklığını düşürmektedir. Bu durum da hızlı ergimeye neden olmakta, iş verimini arttırmakta ve yakıt tasarrufu yapılmasını sağlamaktadır [1]-[2]. Nefelin; sodyumca zengin olmasından 1118 °C'de tamamen ergiyebilmekte buna karşılık K içeren feldispatlar ise bu ergime sıcaklığı 1150 °C'ye kadar yükselbilmektedir [3]-[5]. Bu sıcaklık aralıklarında lösit

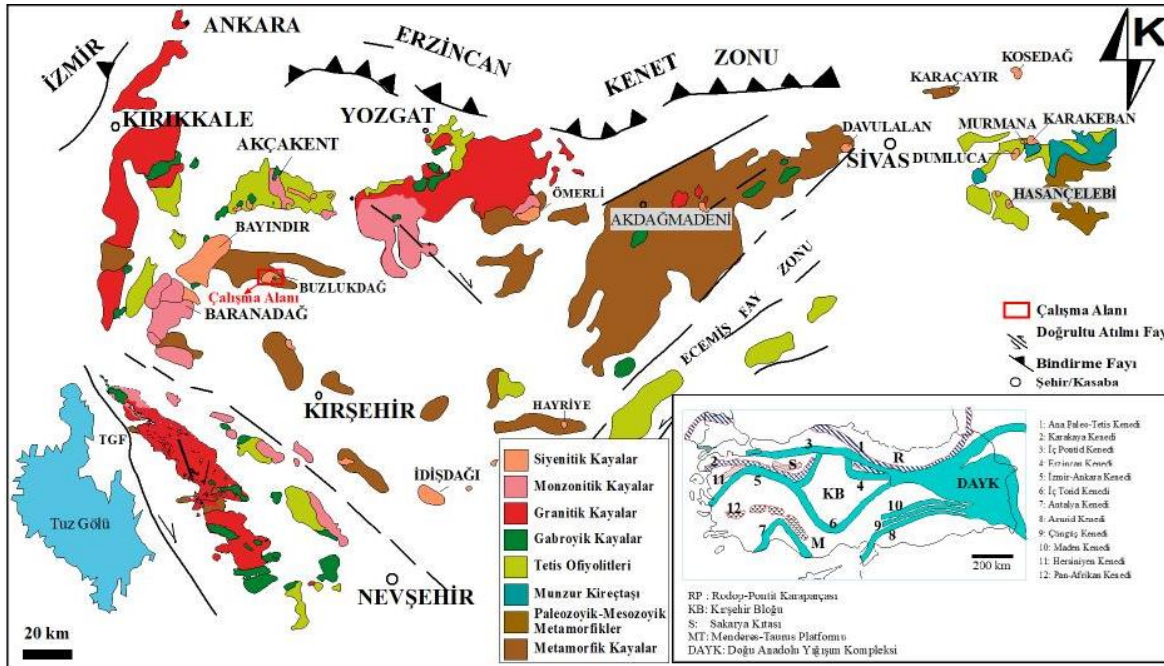
kristallerinin oluşumu gerçekleşebilmekte ve bunun sonucunda ilave silis artışı ortaya çıkarak ergiyiğin viskozitesini artırabilmektedir [3]-[5]. Ergiyiğin viskozitesinin artması sıcaklığın geç düşmesine, seramiğin istenen şekle gelmesi için geçen sürenin uzamasından dolayı arzu edilen şekle gelmeden ürün deforme olabilmektedir. Buna karşılık sıcaklığın uzun süre yavaşça düşmesi daha ince seramiklerin üretilmesine yardımcı olabilmektedir. Düşük ergime sıcaklığı ve yüksek akma kapasitesine sahip olan nefelin siyenitin seramik sanayisinde erken camı fazların üretilmesinde kolaylık sağlamaktadır. Bu durum; seramikte daha düşük eritici madde içeriğine sahip olması, karışımdaki alüminyum içeriğinin artmasına, pişirme sıcaklığının düşmesine ve pişirme zamanının kısalmasına neden olmaktadır [2].

Nefelin siyenitlerin cam ve seramik sanayinde ham madde olarak kullanımına yönelik pek çok çalışma yapılmıştır [5]-[12]. Bu çalışmalardan bir kısmı özellikle nefelin siyenit kayasının içerisindeki istenmeyen minerallerin (demir oksit mineralleri) kabul edilebilir limitlerde nasıl zenginleştirilmesi gerektiği ile ilgilidir [9],[2]. Bu minerallerin kayanın ve/veya feldispat ve nefelin içerisinde nasıl bulunduğu, kristal boyutu, oranı, Fe içeriği oldukça önem arz etmektedir. Abouzeid ve Negm (2014) Mısır'daki nefelin siyenitlerde manyetik ayırma ve ters anyonik flotasyon yaparak kayadaki  $Fe_2O_3$  içeriğini %6.49'dan %0.2'ye düşürmüşler, demir miktarının azalmasıyla seramik içerisinde tehlikeli elementlerden olan uranyum ve toryum miktarını da azaltmışlardır. Farklı mineralojik bileşimindeki nefelin siyenitlerde kuru yüksek alanlı manyetik seperatörler kullanılarak demir içeren kirleticilerin uzaklaştırılmasına yönelik deneysel çalışmalar yapılmıştır. Mısır'daki siyenitlerde yapılan çalışmada iki farklı bileşimdeki nefelin siyenit örneğinde çalışılmış ve %6.0 ve %5.3 olan  $Fe_2O_3$  içerikleri sırasıyla %0.24 ve %0.28 oranına azaltılarak cam, cam elyafı ve seramik sanayisinde hammadde olarak kullanıma uygun hale getirilmiştir [13]. Bayhan ve Girgin [14], Bayındır-Akpınar (Kaman/Kırşehir) nefelin siyenitlerinin zenginleştirilmesine yönelik çalışmalar yapmışlardır. Yazarlar öncelikle boyut küçültme işlemi yapmışlar (0.589 mm) sonrasında iki

bölüntüye ayırdıkları örnekleri yüksek alanlı yaş manyetik ayırıcıdan geçirerek gang minerallerin ayrılma koşullarını araştırmışlardır. Sonuç olarak; pazarlanabilir bir konsantrinin %0.16  $Fe_2O_3$  içeriğinde %72 verimle elde edilebileceğini göstermişlerdir. Özün [15] yapmış olduğu doktora tezinde feldispat cevherindeki (albit ve ortoklaz) biyotit, muskovit, kuvars, rutil istenmeyen minerallerin flotasyon özelliklerini incelemiştir. Feldispatoyid minerallerini içeren kayalardan opak minerallerinin ayrılma olasılığına ilişkin yapılan çalışmalarda ince kristaller şeklinde bulunan opak minerallerin nefelin siyenitlerden ayrımının etkili olmaması nedeniyle kayadaki  $Fe_2O_3$  ve  $TiO_2$  miktarının istenilen değerlere indirilmesinin mümkün olmadığı görülmüştür [16]. Aynı yazarlar ticari olarak işletilecek nefelin siyenitler içerisindeki  $Fe_2O_3$  miktarının %2'den az olması buna karşılık cam üretiminde ise %0.35 istenildiğini belirtmişlerdir.

Konu ile ilgili diğer çalışmalar ise nefelin mineralinin pişirme sıcaklığını düşürmesi üzerine yapılmıştır [12]. Kunderacı ve Aydın [12]; Na-feldispat ve nefelin içeren iki farklı seramik hammadde karışımı kullanarak deneysel çalışmalar yapmışlar ve birinci karışımın 1220 °C değerinin ise 1190 °C'de piştiğini göstermişlerdir. Yazarlar ayrıca karışma nefelin siyenit ilavesinin toplam büzülme ve su emilimini azalttığını, pişirme süresinin azalmasına daha iyi mekanik özelliklerin (kuru ve pişmiş dayanım) elde edilmesine olanak sağladığını belirtmişlerdir.

Nefelin siyenit dünyada birçok yerde (Avustralya, Norveç, Kanada, Amerika, Brezilya, Africa, Rusya, Çek Cumhuriyeti, Fransa, Finlandiya, İskoçya, Hindistan, Türkiye vb.) bulunmaktadır [5]-[7],[9],[10]-[12],[14],[17],[18]. Ülkemizde özellikle İç Anadolu Bölgesi'nde bulunmaktadır. İç Anadolu'da nefelin siyenitler, Kırşehir (Bayındır, Yeniyanan, İshocali, Alishar, Buzlukdağ, Çökellik, Akçakent, Pöhrenk), Yozgat (Ömerli, Akdağmadeni, Cankılı, Tad Dere, Ortaköy, Akçakışla), Nevşehir (Genezin-İdişdağ, Devedamı), Kayseri (Hayriye, Özvatın) ve Sivas (Yaylagözü) illerinin çevresinde yüzlek vermektedir (Şekil 1) [19].



Buzlukdağ bahsi geçen plütonlar içerisinde nefelin içeriği en yüksek ve en taze intrüzif kütleleri temsil etmektedir. Nefelin ve feldispatın seramik ve cam üretiminde kullanıldığı, dünya feldispat arzının %55'nin seramik sanayinde ve %35'nin cam imalatında tüketildiği buna karşılık nefelin siyenitlerin ise %15-20'nin seramik uygulamalarında ve %70'nin cam üretiminde kullanıldığı [20],[21],[5] göz önünde bulundurulduğunda Buzlukdağ nefelin siyenitlerinin endüstriyel hammadde üretiminde dikkat çekici olarak önemli olduğu karşımıza çıkmaktadır.

Bu çalışmanın amacı İç Anadolu Kristalen Karmaşığı (İAKK) [25]-[27] içerisinde yer alan Buzlukdağ nefelin siyenitlerinin endüstriyel hammadde üretiminde kullanılabilirliğinin araştırılmasıdır. Buzlukdağ nefelin siyeniti yüzlek, tazelik, mineral ve potasyum içeriği açısından endüstriyel hammadde olarak değerlendirilme potansiyelinin bulunması nedeniyle çalışma alanı olarak seçilmiştir. Buzlukdağ nefelin siyenitlerinin dünyadan farklı lokasyonlardaki nefelin siyenit, siyenit ve kuvars siyenitlerin mineralojisi, jeokimyası ile karşılaştırılarak seramik sanayinde kullanılma potansiyelinin araştırılması bu çalışmanın ana hedefini oluşturmuştur.

## 2 Materyal ve yöntem

Arazi çalışması sonucunda toplanan örneklerden üstü açık ince kesitler yapılarak ayrıntılı mineralojik ve petrografik incelemeler Leica marka DMLP model polarizan mikroskopta yapılmıştır. İncelemeler neticesinde çalışma alanındaki nefelin siyenitlerin mineralojik bileşimleri, mikroskobik dokusal özellikleri ve bozunma türleri belirlenmiştir. Çalışma alanındaki alkali plütonik kayaların modal mineralojik bileşimlerini ortaya koyabilmek için yaklaşık 45 adet örnekte nokta sayımı yapılmıştır. İncelemesi yapılan temsili örneklerin modal mineralojik bileşimleri Tablo 1'de verilmiştir.

Örneklerin major oksit ve iz element jeokimyasal analizleri için seçilen taze örnekler öncelikle kırma ve öğütme işlemlerinden geçirilmiştir. Numuneler Retsch Marka otomatik taş kırıcıda ufaltılmış, daha sonra FRITSCH marka otomatik öğütücüde Tungsten Karbid değirmene konularak öğütülmüştür. 4 g öğütülmüş örnek 0.9 g bağlayıcı malzeme (Wachs) ile karıştırılıp, hidrolik pres altında sıkıştırılarak pres-pastil halinde analize hazır hale getirilmiştir. Öğütülmüş toz numunelerinin toz pelletleri yapılmış ve örnekler X ışınları Floresans Spektrometresi (XRF) analizi için hazır hale getirilmiştir. Analizler Spectro marka X-LAB 2000 model Polarize Enerji Dispersif X ışınları Floresans Spektrometresi (PEDXRF) cihazında ana element oksit ve iz element analizleri yapılmıştır. XRF analizleri GEO-7220 yöntemiyle yapılmış olup cihazın kalibrasyonu Amerika Birleşik Devletleri Jeoloji Araştırmaları Kurumu (USGS)'nin plütonik kayalar (granit, granodiyorit vb.) için oluşturduğu K02-GSR-09 ve G01-GS-N-Granit standartları kullanılarak yapılmıştır. Bu analizler Ankara Üniversitesi Yerbilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi (YEBİM) laboratuvarlarında yapılmıştır.

Literatür, arazi ve laboratuvar çalışmaları sonucunda elde edilen tüm veri ve bilgiler ile birlikte değerlendirilerek nefelin siyenitlerin seramik sanayisinde kullanımına ilişkin yorumlamalar yapılmıştır.

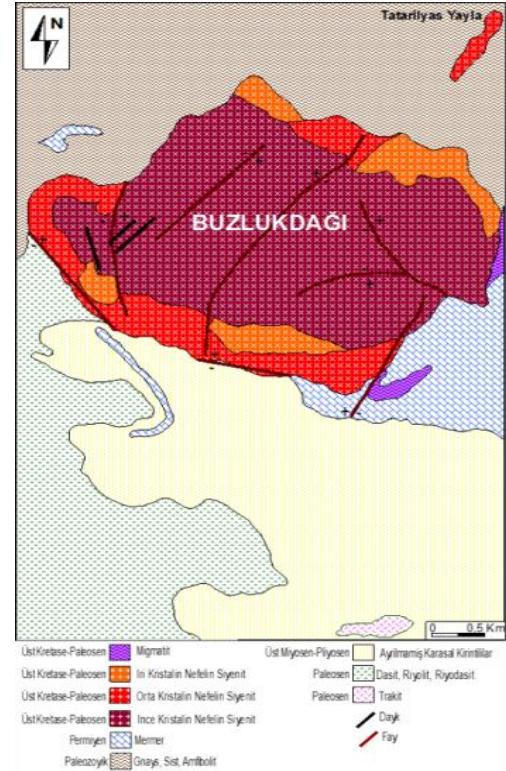
## 3 Bölgesel jeoloji

İnceleme alanı, İç Anadolu Bölgesi'nde Kırşehir ilinin kuzey-kuzeybatısında, Ankara, Sivas ve Niğde yerleşim merkezleri

arasında kalan kabaca üçgen biçimindeki İAKK'nın [25][28] kuzeybatı bölümünde yer almaktadır (Şekil 1). İAKK kuzeyde İAEKZ, batıda Tuz Gölü ve doğuda İç Toros Kenet Zonu (İTKZ) ile sınırlanır. Bu topluluk Kırşehir Masifi [26] veya İç Anadolu masifi [27] adıyla anılmaktadır. Bu ana masif içerisinde de kayaların göstermiş olduğu farklı konum ve litolojik özelliklerine göre Çiçekdağ Masifi, Niğde Masifi, Akdağmadeni Masifi ve Kızılırmak Masifi gibi kısımlara ayrılmıştır. Levha tektoniği terminolojisi açısından ise Kırşehir Masifi, Kırşehir Bloğu [28], Kırşehir Kompleksi [29] veya Kırşehir Mikrolevhası olarak adlandırılmıştır [30]. İAKK'da ana hatlarıyla dört kaya türü bulunmaktadır. İç Anadolu Metamorfitleri (İAM) olarak adlandırılmış metamorfitleer oldukça düzenli bir istif sunmaktadır. Metamorfitleer üzerindeki okyanusal kabuğa ait kayalar İç Anadolu Ofiyolitleri (İAO), metamorfitleer ve ofiyolitleri sıcak dokanak ile kesen farklı kaya türleri içeren felsik intrüzif kayalar ise İç Anadolu Granitoidleri (İAG) olarak adlandırılmıştır. Bu birimlerin haricinde masife sokulum yapan manto kökenli mafik kayalar da bulunmaktadır [31]-[33].

## 4 Çalışma alanının jeolojisi

Buzlukdağ Nefelin Siyeniti, İAKK içerisinde yayılım açısından en küçük intrüzif kütlelerden biri olup alkali plütonik kayalardan oluşmaktadır. Zirkon Pb -Pb yaşlandırmasına göre Santoniyen ( $84.4 \pm 7.5$ ) yaşlı olup apatit füzyon trak (AFT) yaşı  $58.2 \pm 2.1$  ile  $60.1 \pm 2.8$  arasındadır [34],[35]. Bu kayalar daha çok şist bileşimindeki metamorfitleere sokulum yapmışlardır. Tüm birimlerin üzerine gelen örtü birimleri ise daha çok karasal kırıntılılardan meydana gelmektedir. Çalışma alanında yayılım gösteren nefelin siyenit bileşimindeki kayalar arazi gözlemlerinde doku özelliklerine ve tane boyutlarına göre üç alt gruba ayırt edilmiştir. Bunlar iri kristalen nefelin siyenit, orta kristalen nefelin siyenit ve ince kristalen nefelin siyenittir (Şekil 2).



Şekil 2: Buzlukdağ Nefelin Siyenitinin jeoloji haritası [36].

Mafik dayklar ve felsik dayklar neredeyse çalışma alanındaki tüm alt grupları kesmektedir. Buzlukdağ nefelin siyenitini kesen ana fay kırıklarında fluorit içerikli hidrotermal oluşumlar da bulunmaktadır. Fluorit içerikli hidrotermal damarlar özellikle çalışma alanının batı bölümünde yoğunlaşmaktadır. Migmatit, hornfels ve mermer kontakt metamorfizmanın ürünleri olarak dokanıklarda gözlenmektedir. İnceleme alanının güneyinde azda olsa trakit bileşimindeki kayalar gözlenmiştir (Şekil 2), [36],[37].

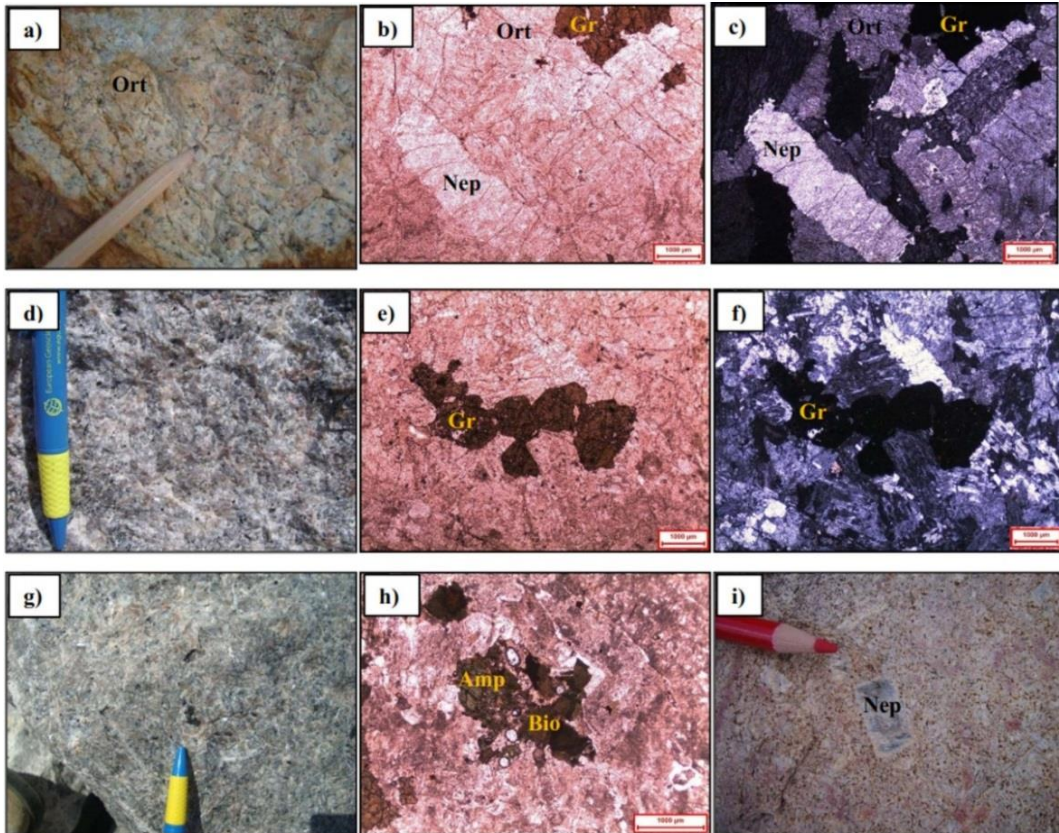
Buzlukdağ'nda 1400 m ve aşağıdaki kotlarda yani intrüziif kütenin etek kısımlarında genellikle iri ve orta kristalen nefelin siyenitler ve 1400m'nin üzerindeki kotlarda ise ince kristalen nefelin siyenitler gözlenmektedir. İri, orta ve ince kristalen nefelin siyenitler sırasıyla pembemsi, pembemsi gri ve gri renkli, faneritik dokuludurlar. İnce kristalen nefelin siyenitler nefelince zengin mafik minerallerce fakirdirler (Şekil 3).

### 5 Buzlukdağ nefelin siyenitinin mineralojisi ve petrografisi

Üç alt gruba ayrılan Buzlukdağ Nefelin Siyenitler benzer mineralojik bileşime ve farklı mineral oranlarına sahiptir. Holokristalen hipidiyomorf taneler doku özelliğinde olan kayalar çoğunlukla nefelin, K-Feldispat, oligoklaz, amfibol, biyotit, piroksen ile az oranda melanit, kankrinit, sfen (titanit) ve opak minerallerden meydana gelmektedir (Şekil 3). Opak mineraller cevher mikroskobu ve Konfokal Raman Spektroskopisi (KRS)'ne göre ilmenit ve magnetit minerallerinden oluşmaktadır.

Çalışma alanındaki nefelin siyenitlerin modal mineralojik bileşimleri Tablo 1'de verilmiştir. Kayaların modal mineralojik bileşimleri ortoklaz ( $KAlSi_3O_8$ ) (ortalama %54.23) ve nefelin ( $NaKAlSi_3O_8$ ) (ortalama %33.30) minerallerinden oluştuğu belirlenmiştir. Bunun yanı sıra ortalama %9.39 plajiyoklaz (oligoklaz-andezin) ve %4.39 melanit (granat) minerallerini içermektedirler. Mafik mineral içeriği ise oldukça düşüktür (piroksen, amfibol ve biyotit mineralleri sırasıyla ortalama %1.98, %0.93 ve %0.80)'dir. Nefelin siyenitler içerisindeki opak mineral oranı ise ortalama %0.96 olarak belirlenmiştir. Mafik ve opak mineraller serbest halde olup ve tane boyutları 0.8 cm'den 0.2 mm'ye kadar değişmektedir.

Dünyanın farklı yerlerindeki nefelin siyenit, siyenit ve kuvars siyenitlerin modal mineralojik bileşimleri araştırılmış ancak doğrudan bir sonuç alınamamıştır. Bu nedenle bu kayaların kimyasal bileşimlerinden yararlanılarak CIPW normlarına göre mineral içerikleri hesaplanmış ve Tablo 2'de verilmiştir. Buna göre nefelin siyenit bileşimindeki kayaların nefelin, ortoklaz, plajiyoklaz ve opak minerallerin (ilmenit) içerikleri sırasıyla %6.0-66.9, %16.0-39.5, %15.4-48.7, %0.4-2.1 arasında değişmektedir. Buzlukdağ nefelin siyenitlerinin nefelin ve ortoklaz içeriklerinin dünyanın farklı yerlerinden nefelin siyenit kayalarındaki oranlarına göre daha yüksek olduğu söylenebilir. Buna karşılık dünyanın farklı yerlerinden nefelin siyenit kayalarındaki plajiyoklaz, mafik ve opak minerallerinin yüzde oranları Buzlukdağ nefelin siyenitlere göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 3: (a): İri Kristalen nefelin siyenit, (b): ve (c): İri Kristalen Nefelin Siyenitin mikro fotoğrafı, (d): Orta Kristalen Nefelin Siyenit, (e) ve (f): Siyenit içerisindeki granat mineralinin mikro fotoğrafı, (g): İnce Kristalen Nefelin Siyenit, (h): Siyenit içerisindeki amfibol ve biyotit minerallerinin mikro fotoğrafı (Nep: nefelin, (i): Siyenit içerisindeki nefelin makro kristalinin makro fotoğrafları. Ort: Ortoklaz, Gr: Granat, Amp: Amfibol, Bio: Biyotit).



Tablo 2: Dünyadaki bazı nefelin siyenit, siyenit ve kuvars siyenitlerin CIPW normları [17].

Mineral	Chinduzi				Mongolowe			Chaone			Chikala	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	Nefelin Siyenit				Nefelin Siyenit			Siyenit	Nefelin Siyenit		Nefelin Siyenit	
Kuvars	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ortoklaz	31.7	32.7	30.8	33.9	33.1	32.8	39.5	32.4	33.7	33.3	31.6	33.5
Albit	44.7	42.7	42.7	24.4	39.1	32.6	41.4	51.2	31.1	43.3	43.2	35.9
Anortit	0.2	-	-	-	-	-	0.5	1.2	-	4.0	5.5	3.1
Nefelin	16.5	8.1	10.2	27.7	18.5	21.6	6.0	4.4	20.9	9.6	7.8	16.3
Akmit	-	4.4	6.2	5.4	3.0	5.5	-	-	4.3	-	-	-
Diyopsit	0.6	6.3	5.2	3.9	2.9	3.6	5.2	2.1	4.5	2.8	3.0	3.2
Hipesartin	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Olivin	-	1.6	2.3	2.9	0.9	1.0	1.4	1.6	1.9	1.8	2.9	3.1
Magnetit	4.5	1.0	1.0	-	1.6	0.5	1.9	2.4	0.2	2.1	2.2	1.7
İlmenit	0.4	1.4	0.6	0.4	0.5	1.4	2.0	1.8	1.4	1.4	1.5	1.5
Apatit	-	0.4	0.1	0.1	-	0.2	0.9	0.4	0.6	0.5	0.7	0.7
Kalsit	-	0.3	-	-	-	0.3	-	0.7	0.3	0.3	0.3	0.5

Mineral	Chikala		Junguni/Afrika						Chilwa Adası/Afrika		Velasco/Brazilya	
	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	
	Siyenit	Kuvars Siyenit	Nefelin Siyenit						Sodalit Siyenit	Nefelin Siyenit		Siyenit
Kuvars	1.1	7.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ortoklaz	27.2	31.9	35.4	27.8	31.0	29.3	16.0	5.5	34.0	34.2	32.41	
Albit	50.8	44.0	26.7	24.8	33.5	27.0	15.4	-	4.1	18.3	28.53	
Anortit	6.7	5.7	-	-	-	-	-	-	3.2	-	-	
Nefelin	-	-	26.8	31.7	23.5	28.1	50.9	66.9	34.0	25.6	23.39	
Akmit	-	-	3.7	6.9	1.7	7.2	3.8	5.5	-	7.1	0.14	
Diyopsit	1.5	1.2	1.5	-	1.8	4.4	-	-	8.2	0.3	8.75	
Hipesartin	3.6	5.7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Olivin	-	-	1.2	-	-	-	0.6	1.0	-	1.4	2.43	
Magnetit	3.4	1.8	0.2	-	1.6	-	-	-	4.9	1.9	2.38	
İlmenit	2.1	1.2	0.8	-	1.0	1.1	0.5	0.5	2.9	0.7	1.19	
Apatit	0.9	0.4	0.1	0.1	0.2	0.3	0.1	0.1	1.5	0.1	0.78	
Kalsit	1.1	0.3	0.6	2.1	-	0.5	0.5	0.4	2.6	5.2	-	

Kuvars siyenitlerin SiO<sub>2</sub> içerikleri (%64.0-67.6) nefelin siyenit ve siyenitlere göre daha yüksektir. K<sub>2</sub>O ve Na<sub>2</sub>O içeriklerinin sırasıyla %5.40-5.65 ve %5.17-5.20 arasında olduğu görülmektedir. Toplam alkali (Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O) miktarı %10.60-10.82 arasında olup diğer kayalara göre daha düşük değerlere sahiptir. FeO miktarı %1.92-3.54 iken Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> miktarı %1.22-2.23 arasında değişmektedir (Tablo 4) [17].

Dünyadaki bazı nefelin siyenit, siyenit ve kuvars siyenitlerin ana element oksit değerleri Buzlukdağ nefelin siyenitlerin jeokimyasal sonuçları ile karşılaştırıldığında; Buzlukdağ nefelin siyenitlerinin K<sub>2</sub>O içeriklerinin oldukça yüksek olduğu buna karşılık Na<sub>2</sub>O'in düşük ve FeO<sub>t</sub> miktarının ise oldukça düşük olduğu söylenebilir (Şekil 4a, b, Şekil 5). Şekil 4b'de verilen FeO<sub>t</sub> karşı K<sub>2</sub>O değişim diyagramına bakıldığında kayalardaki potasyum miktarı (K<sub>2</sub>O) arttıkça demir miktarı (FeO<sub>t</sub>) azalmaktadır. Buna karşılık Na<sub>2</sub>O miktarı arttıkça FeO<sub>t</sub> miktarında da artış gözlenmektedir (Şekil 4a).

## 7 Tartışma ve sonuçlar

Yapılan çalışmalar cam ve seramik üretiminde kullanılacak nefelin siyenitler içerisindeki opak veya demir oksit minerallerinin kaya veya zenginleştirmeden sonraki ürün içerisindeki oranının önemli olduğunu göstermektedir. Ham kaya içerisindeki nefelin oranının artmasıyla opak veya demir

oksit minerallerinin oranı azalmaktadır (Şekil 6). Buzlukdağ nefelin siyenitlerinin yüksek nefelin oranları (%19.1-54.2) buna karşılık düşük opak mineral içeriği (%0.1-2.5) bu kayaları endüstriyel hammadde üretiminde elverişli kılmaktadır. Demir içeriğinin düşük olmasının yanı sıra demir içeren minerallerin feldispat, nefelin gibi minerallerin içerisinde küçük boyutlarda kapanım şeklinde bulunmaları zenginleştirmede sıkıntılara yol açmaktadır. Söz konusu bu durum Buzlukdağ nefelin siyenitlerinde daha az oranda gözlenmektedir. Bununla birlikte demir sıvamaları yok denecek kadar az bulunmaktadır.

Kayanın mineralojik bileşimi ve bu minerallerin içerisinde bulunan elementlerin oranı kayanın toplam kimyasını oluşturmaktadır. Tablo 5'te siyenitler içerisinde bulunan minerallerin major oksit elementleri ile olan ilişkileri verilmiştir. Kayadaki K<sub>2</sub>O miktarının yüksek oluşu özellikle nefelin ve çok az oranda plajiyoklaz, ortoklaz, amfibol, biyotit mineralleri ile ilişkili iken Na<sub>2</sub>O içeriği büyük ölçüde nefelin az oranda plajiyoklaz, piroksen ve amfibol mineralleri ile ilişkilidir.

Toplam demir miktarı da önemli ölçüde magnetit, ve ilmenit mineralleri ve bunların yanı sıra az oranda piroksen, amfibol, biyotit ve melanit minerallerinden kaynaklanmaktadır. Buzlukdağ nefelin siyenitinin yüksek K<sub>2</sub>O içeriği bol miktarda

nefelin ihtiva etmesinden, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> miktarının düşük oluşu da opak mineral oranının düşük oluşundan kaynaklanmaktadır.

Feldispatik hammaddelerin (feldispat, feldispatoyid) cam ve seramik çini üretiminde kullanılabilmesi için Na<sub>2</sub>O içeriğinin

minimum %7, beyaz seramik eşya üretiminde kullanılabilmesi için de minimum K<sub>2</sub>O miktarının %10 olması ve renk yapıcı oksitlerinde (genellikle Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve TiO<sub>2</sub>) en düşük konsantrasyonlarda bulunması gerekmektedir [5].

Tablo 3: Buzlukdağ Nefelin Siyenitlerinin major oksit jeokimyası.

Major Elementler (%)	BUZ-46	BUZ-47	BUZ-48	BUZ-49	BUZ-59	BUZ-62	BUZ-63	BUZ-64	BUZ-65
İnce Kristalen Nefelin Siyenit									
Na <sub>2</sub> O	4.81	5.18	4.33	5.64	4.47	3.56	4.27	3.87	4.11
MgO	0.03	0.17	0.05	0.12	0.19	0.19	0.13	0.03	0.24
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17.19	17.47	17.25	16.44	19.39	19.51	17.55	22.97	17.86
SiO <sub>2</sub>	65.31	65.15	65.39	64.94	63.91	59.91	63.94	60.59	65.16
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.05	0.05	0.10	0.07	0.03	0.06	0.22	0.04	0.13
K <sub>2</sub> O	7.60	7.31	8.44	6.82	7.74	8.28	8.42	8.45	7.70
CaO	1.74	1.53	1.76	1.98	0.69	3.16	1.47	1.00	0.63
TiO <sub>2</sub>	0.14	0.15	0.15	0.10	0.16	0.13	0.18	0.04	0.35
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.01	0.02	0.01	0.02	0.01	0.00	0.01	0.01	0.00
MnO	0.10	0.08	0.08	0.11	0.08	0.09	0.13	0.04	0.01
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.12	1.92	1.79	2.08	1.93	1.85	1.52	0.65	1.95
Na <sub>2</sub> O+K <sub>2</sub> O	12.41	12.49	12.78	12.46	12.21	11.84	12.69	12.32	11.81
Na <sub>2</sub> O/K <sub>2</sub> O	0.63	0.71	0.51	0.83	0.58	0.43	0.51	0.46	0.53
K <sub>2</sub> O/Na <sub>2</sub> O	1.58	1.41	1.95	1.21	1.73	2.33	1.97	2.18	1.87

Major Elementler (%)	BUZ-66	BUZ-67	BUZ-69	BUZ-97	BUZ-99	BUZ-05	BUZ-07	BUZ-110	BUZ-114
İnce Kristalen Nefelin Siyenit					Orta Kristalen Nefelin Siyenit				
Na <sub>2</sub> O	5.80	4.42	3.36	6.95	5.33	5.31	6.39	5.18	4.91
MgO	0.28	0.09	0.16	0.03	0.55	0.24	0.03	0.03	0.11
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	18.21	23.11	21.17	18.75	15.70	17.34	17.10	16.31	25.17
SiO <sub>2</sub>	64.58	60.66	61.38	60.89	65.29	64.83	65.46	64.47	57.79
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.10	0.02	0.04	0.03	0.18	0.08	0.01	0.11	0.12
K <sub>2</sub> O	6.20	7.57	8.94	8.14	7.07	6.71	6.31	7.18	5.94
CaO	0.49	0.32	1.01	1.98	2.09	1.26	1.44	2.34	2.02
TiO <sub>2</sub>	0.27	0.17	0.17	0.08	0.24	0.26	0.15	0.19	0.09
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.02	0.01
MnO	0.01	0.02	0.11	0.05	0.18	0.13	0.10	0.20	0.02
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.59	1.94	1.99	1.12	2.43	2.31	2.05	3.13	1.28
Na <sub>2</sub> O+K <sub>2</sub> O	12.00	11.99	12.31	15.09	12.40	12.02	12.70	12.36	10.85
Na <sub>2</sub> O/K <sub>2</sub> O	0.94	0.58	0.38	0.85	0.75	0.79	1.01	0.72	0.83
K <sub>2</sub> O/Na <sub>2</sub> O	1.07	1.71	2.66	1.17	1.33	1.26	0.99	1.39	1.21

Major Elementler (%)	BUZ-70	BUZ-71	BUZ-12	BUZ-14	BUZ-27	BUZ-45	BUZ-78	BUZ-79
Orta Kristalen Nefelin Siyenit		İri Kristalen Nefelin Siyenit						
Na <sub>2</sub> O	6.05	4.75	5.14	5.47	4.33	4.73	5.31	4.98
MgO	0.15	0.03	0.03	0.03	0.27	0.50	0.33	0.60
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	19.58	24.93	16.19	16.18	21.48	16.60	16.58	17.21
SiO <sub>2</sub>	62.44	59.05	63.46	63.70	57.98	64.84	64.49	64.28
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.02	0.00	0.06	0.09	0.05	0.10	0.19	0.12
K <sub>2</sub> O	5.39	6.64	6.59	6.59	7.08	7.42	6.82	6.98
CaO	2.60	0.91	2.77	2.70	3.19	2.54	2.31	2.29
TiO <sub>2</sub>	0.11	0.06	0.27	0.23	0.24	0.07	0.12	0.13
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.01	0.00	0.01	0.01	0.00	0.02	0.01	0.02
MnO	0.09	0.01	0.17	0.17	0.10	0.08	0.08	0.07
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.53	1.43	3.63	3.80	2.26	2.07	2.33	1.79
Na <sub>2</sub> O+K <sub>2</sub> O	11.44	11.39	11.73	12.05	11.41	12.15	12.14	11.96
Na <sub>2</sub> O/K <sub>2</sub> O	1.12	0.71	0.78	0.83	0.61	0.64	0.78	0.71
K <sub>2</sub> O/Na <sub>2</sub> O	0.89	1.40	1.28	1.21	1.63	1.57	1.28	1.40

Tablo 4: Dünyadaki bazı nefelin siyenit, siyenit ve kuvars siyenitlerin major oksit jeokimyası [17].

Major Oksitler(%)	Chinduzi				Mongolowe			Chaone	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	Nefelin Siyenit				Nefelin Siyenit				Siyeni t
Na <sub>2</sub> O	9.00	7.40	8.10	9.90	9.20	9.30	6.20	7.00	8.80
MgO	0.07	0.66	0.25	0.13	0.10	0.51	1.16	1.00	0.84
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	20.50	17.20	17.60	20.90	20.30	20.10	17.60	17.90	19.70
SiO <sub>2</sub>	58.70	60.00	60.10	56.30	59.40	57.80	60.10	60.30	57.20
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	-	0.18	0.06	0.02	-	0.09	0.36	0.17	0.25
K <sub>2</sub> O	5.36	5.54	5.21	5.73	5.60	5.55	6.68	5.48	5.70
CaO	0.23	1.88	1.27	0.92	0.66	1.14	1.87	1.36	1.60
TiO <sub>2</sub>	0.23	0.76	0.31	0.20	0.25	0.72	1.05	0.95	0.73
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MnO	0.12	0.16	0.22	0.16	0.12	0.20	0.16	0.24	0.20
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.12	2.17	2.81	1.88	2.14	2.23	1.32	1.64	1.59
FeO	1.55	2.84	3.15	3.02	1.91	1.63	2.26	1.77	1.97
Na <sub>2</sub> O+K <sub>2</sub> O	14.36	12.94	13.31	15.63	14.80	14.85	12.88	12.48	14.50
Na <sub>2</sub> O/K <sub>2</sub> O	1.68	1.34	1.55	1.73	1.64	1.68	0.93	1.28	1.54
K <sub>2</sub> O/Na <sub>2</sub> O	0.60	0.75	0.64	0.58	0.61	0.60	1.08	0.78	0.65

Major Oksitler(%)	Chaone	Chikala				Junguni/Afrika			
	10	11	12	13	14	15	16	17	18
	Nefelin Siyenit	Nefelin Siyenit		Siyenit	Kuvars Siyenit	Nefelin Siyenit			
Na <sub>2</sub> O	7.20	6.80	7.80	6.00	5.20	9.50	11.60	9.30	10.30
MgO	0.82	1.05	0.96	1.16	0.60	0.22	0.19	0.33	0.43
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	19.40	19.00	20.10	17.30	16.50	21.90	21.00	21.20	20.70
SiO <sub>2</sub>	59.20	58.40	57.30	59.30	64.00	56.40	53.70	56.70	56.10
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.21	0.28	0.28	0.36	0.17	0.06	0.04	0.07	0.11
K <sub>2</sub> O	5.64	5.35	5.66	4.60	5.40	6.19	4.71	5.24	4.96
CaO	1.93	2.39	2.05	2.81	1.83	0.79	1.21	1.46	1.66
TiO <sub>2</sub>	0.74	0.80	0.78	1.08	0.63	0.44	0.37	0.50	0.58
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MnO	0.13	0.17	0.17	0.19	0.19	0.13	0.14	0.26	0.25
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.46	1.53	1.15	2.36	1.22	1.40	2.40	2.70	2.50
FeO	2.17	2.73	2.89	2.65	3.54	1.33	0.55	0.67	0.87
Na <sub>2</sub> O+K <sub>2</sub> O	12.84	12.15	13.46	10.60	10.60	15.69	16.31	14.54	15.26
Na <sub>2</sub> O/K <sub>2</sub> O	1.28	1.27	1.38	1.30	0.96	1.53	2.46	1.77	2.08
K <sub>2</sub> O/Na <sub>2</sub> O	0.78	0.79	0.73	0.77	1.04	0.65	0.41	0.56	0.48

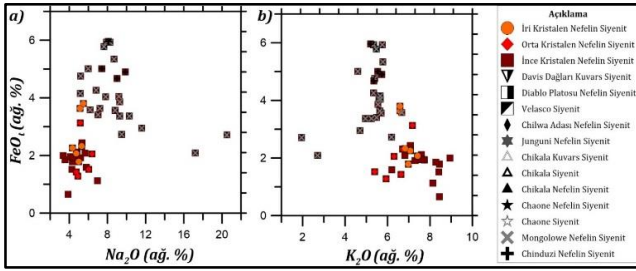
  

Major Oksitler(%)	Junguni/Afrika		Chilwa Adası/Afrika		Velasco/B razilya	Diablo Platosu	Davis Dağları
	19	20	21	22	23	24	25
	Nefelin Siyenit	Sodalit Siyenit	Nefelin Siyenit		Siyenit	Nefelin Siyenit	Kuvars Siyenit
Na <sub>2</sub> O	17.20	20.50	7.90	8.70	8.27	7.65	5.17
MgO	0.01	-	1.47	0.12	0.95	0.30	0.10
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	24.30	26.20	20.40	19.00	19.36	18.54	14.30
SiO <sub>2</sub>	48.80	43.10	46.00	49.80	54.38	58.60	67.60
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.06	0.03	0.62	0.04	0.32	0.11	0.06
K <sub>2</sub> O	2.71	1.95	5.75	5.78	5.34	5.47	5.65
CaO	0.33	0.27	5.86	3.03	2.45	1.62	0.82
TiO <sub>2</sub>	0.28	0.28	1.35	0.39	0.61	0.11	0.49
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-	-	-	-	-	-	-
MnO	0.10	0.15	0.40	0.29	0.21	0.31	0.18
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.30	1.90	3.36	3.79	5.93	3.70	2.23
FeO	0.79	0.81	2.57	1.55	-	2.08	1.92
Na <sub>2</sub> O+K <sub>2</sub> O	19.91	22.45	13.65	14.48	13.61	13.12	10.82
Na <sub>2</sub> O/K <sub>2</sub> O	6.35	10.51	1.37	1.51	1.55	1.40	0.92
K <sub>2</sub> O/Na <sub>2</sub> O	0.16	0.10	0.73	0.66	0.65	0.72	1.09

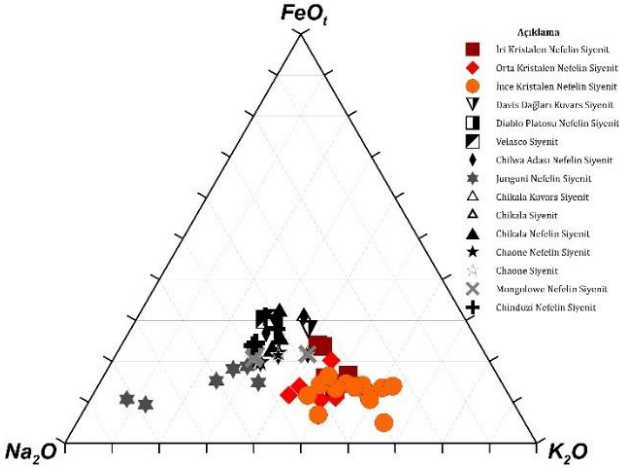


Tablo 5: Nefelin siyenitlerin içerisinde bulunan major elementlerin kaynaklandığı mineraller.

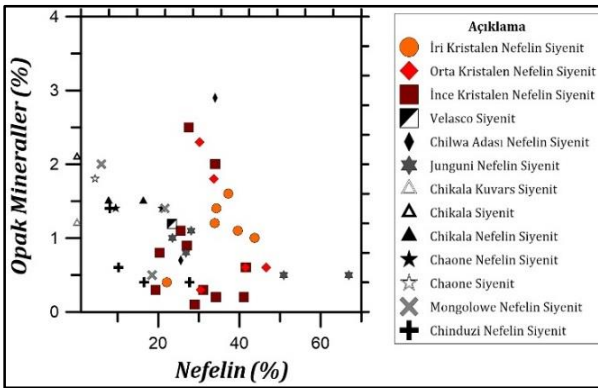
Major Element (%)	Bünyesinde Bulunduğu Mineral
Na <sub>2</sub> O	Nefelin, plajiyoklaz, piroksen, amfibol
MgO	Piroksen, amfibol, biyotit
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Nefelin, plajiyoklaz, ortoklaz, piroksen, amfibol, biyotit
SiO <sub>2</sub>	Nefelin, plajiyoklaz, ortoklaz, piroksen, amfibol, biyotit, melanit, titanit
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Apatit
K <sub>2</sub> O	Nefelin, plajiyoklaz, ortoklaz, amfibol, biyotit
CaO	Plajiyoklaz, melanit, piroksen, amfibol, biyotit, melanit, titanit
TiO <sub>2</sub>	Piroksen, titanite, ilmenit
MnO	Piroksen, amfibol, biyotit
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Piroksen, amfibol, biyotit, melanit, ilmenit, manyetit, hematit



Şekil 4: Buzlukdağ Nefelin Siyenitinin ve diğer nefelin siyenit, siyenit ve kuvars siyenitlerin FeO<sub>t</sub> karşı Na<sub>2</sub>O ve K<sub>2</sub>O değişim diyagramları (Benzer değerlere sahip olan örneklerde çakışma olduğu için simgeler seçilememektedir).



Şekil 5: Buzlukdağ Nefelin Siyenitinin ve diğer nefelin siyenit, siyenit ve kuvars siyenitlerin K<sub>2</sub>O-FeO<sub>t</sub>-Na<sub>2</sub>O üçgen değişim diyagramındaki konumları.



Şekil 6: Siyenit örnekleri içerisindeki nefelin mineralinin opak mineraller ile olan ilişkisinin değişim diyagramı.

Eğer yüksek kalitede porselen ve cam üretilmek isteniyorsa sırasıyla Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve TiO<sub>2</sub> miktarlarının %0.15 ve %0.05'i geçmemelidir, cam için olması gereken ise %0.08 maksimum Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> olmalıdır [5]. Verilen bilgiler ışığında; Buzlukdağ nefelin siyenitlerinin K<sub>2</sub>O içeriklerinin %5.3-8.94, Na<sub>2</sub>O miktarlarının %3.36-6.95 ve Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> miktarlarının %0.65-3.80 arasında olmasıyla seramik ve cam üretiminde kullanılabilir olduğu söylenebilir. Dünyadaki bazı nefelin siyenit, siyenit ve kuvars siyenitlerin içerikleri ile karşılaştırıldığında Buzlukdağ nefelin siyenitlerin seramik ve cam üretimi için kabul edilen değerlere daha yakın olduğu görülmektedir (Tablo3, Tablo 4, Şekil 4).

Modern hızlı pişirme teknolojileri sodyumca zengin feldispat (K<sub>2</sub>O/Na<sub>2</sub>O<1) veya kuvvetli eritken davranışlarından dolayı nefelin siyeniti (Na<sub>2</sub>O/K<sub>2</sub>O≤2) tercih etmektedirler [5]. Buzlukdağ nefelin siyenitlerinin hem Na<sub>2</sub>O/K<sub>2</sub>O içeriklerinin %0.38-1.12 (ortalama %0.70) arasında olmasıyla hem de K<sub>2</sub>O/Na<sub>2</sub>O oranlarının %0.89-2.66 arasında (ortalama %1.53) oluşu seramik ve cam sanayisi için kullanıma elverişli olduğu görülmektedir (Şekil 7).

Dünyadaki bu çalışmada değerlendirmek üzere seçilmiş bazı nefelin siyenitlerin Na<sub>2</sub>O/K<sub>2</sub>O ve K<sub>2</sub>O/Na<sub>2</sub>O oranları sırasıyla %0.93-10.51 (ortalama %2.57) ve %0.10-1.08 (ortalama %0.61) arasındadır (Tablo 4, Şekil 7, Şekil 8). Söz konusu nefelin siyenitlerin Na<sub>2</sub>O/K<sub>2</sub>O oranlarının yaklaşık 2 civarında ve K<sub>2</sub>O/Na<sub>2</sub>O oranlarının birden küçük olması hammadde olarak kullanımını desteklemektedir.

Bu çalışmada değerlendirmek üzere seçilmiş dünyadaki bazı siyenitlerin Na<sub>2</sub>O/K<sub>2</sub>O oranları %1.28-1.55 (ortalama %1.39) arasında iken K<sub>2</sub>O/Na<sub>2</sub>O oranları %0.65-0.78 (ortalama %0.72) arasındadır (Tablo 4, Şekil 7, Şekil 8). K<sub>2</sub>O/Na<sub>2</sub>O oranlarının 1 değerinin altında ve Na<sub>2</sub>O/K<sub>2</sub>O oranının 2 değerine çokta yakın olmaması nedeniyle bu kayaların içerisindeki K-feldispatların hammadde olarak işletilmesi daha uygun görülmektedir.

Bu çalışma için dünyanın çeşitli bölgelerinden seçilmiş bazı kuvars siyenitlerin K<sub>2</sub>O/Na<sub>2</sub>O oranlarının (%1.04-1.09 arasında, ortalama %1.07) 1'in üzerinde ve Na<sub>2</sub>O/K<sub>2</sub>O oranlarının da (%0.92-0.96 arasında, ortalama %0.94) 2 civarında olmaması nedeniyle kuvars içeren siyenitlerin seramik ve cam sanayisinde kullanıma pek uygun olmadığı söylenebilir (Tablo 4, Şekil 7, Şekil 8).

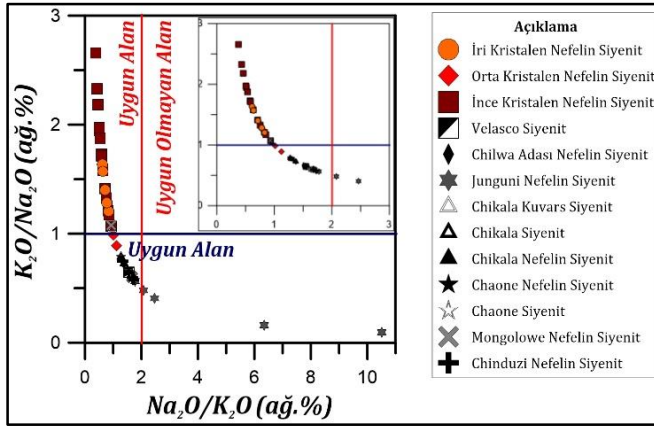
Tüm mineralojik ve jeokimyasal değerlendirmeler ışığında Buzlukdağ nefelin siyeniti dünyadaki bazı diğer siyenitik kayaları ile karşılaştırıldığında hem nefelin hem de K<sub>2</sub>O içeriğinin daha yüksek olması nedeniyle cam ve özellikle seramik üretiminde hammadde olarak kullanıma daha uygun olduğu görülmektedir.

Tablo 6'da da görüldüğü üzere Buzlukdağ nefelin siyenitlerinin kimyasal bileşimi hem cam hem de porselen üretimi için

kullanılan hammadde bileşimleri ile benzerdir. Türkiye'den örnek olarak verilen Çanakkale ve Aydın'daki işletmelerde feldispat (albit) işletildiği için bu hammaddelerin K<sub>2</sub>O miktarları düşüktür. İşletme açısından iri kristalen nefelin siyenitlerin zenginleştirilmesi daha kolay olacağından tercih edilebilirler fakat tane boyutu arttıkça artan çözünme miktarına bağlı olarak minerallerde alterasyon oranında artabilmektedir. Orta ve ince kristalen nefelin siyenitlerde tane boyutuna göre farklı bir zenginleştirme uygulanabilir.

## 8 Teşekkür

Bu çalışma Kalkınma Bakanlığı (2012K120440) projesi ve Ankara Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) (17B0443003) kapsamında desteklenmiştir. Makalenin değerlendirilme aşamasında değerli görüş ve önerilerinden dolayı saygıdeğer hakemlere teşekkürlerimizi sunarız.



Şekil 7: Buzlukdağ Nefelin Siyenitinin ve diğer nefelin siyenit, siyenit ve kuvars siyenitlerin Na<sub>2</sub>O/K<sub>2</sub>O'e karşı K<sub>2</sub>O/Na<sub>2</sub>O değişim diyagramı.

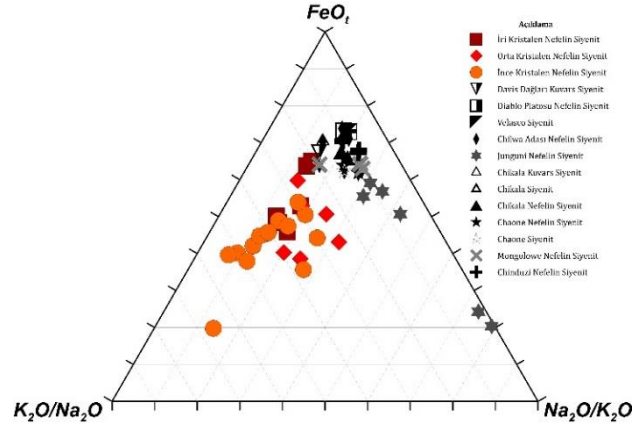
Tablo 6: Bazı işletilen feldispat ve feldispatoyid hammaddelerinin kimyasal özellikleri.

Kimyasal Bileşim (%)	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	CaO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Çek Cumhuriyeti <sup>1</sup>	1.8	9.5	14.7	72.3	0.3	0.20
Norveç <sup>1</sup>	2.9	11.8	18.6	65.9	0.4	0.07
Norveç <sup>2</sup>	7.8	8.8	24.0	56.0	1.6	0.10
Norveç <sup>3</sup>	7.6	2.8	19.0	68.4	1.8	0.10
Çek Cumhuriyeti <sup>4</sup>	4.1	4.5	15.7	73.5	0.4	0.47
Türkiye <sup>4</sup> /Çanakkale/Çan	10.0	0.4	18.5	69.0	0.7	0.14
Türkiye <sup>4</sup> /Aydın/Cine	9.8	0.3	18.5	69.6	0.8	0.13
Türkiye <sup>4</sup>	9.1	0.5	16.4	71.2	0.5	0.12
Finlandiya <sup>3-4</sup>	5.6	6.2	18.6	68.1	0.9	0.09
Türkiye/Buzlukdağ	7.0	9.0	25.2	65.5	3.2	3.8

1: Çoğunlukla porselen üretimi için kullanılan. 2: Cam üretiminde kullanılan nefelin siyenit. 3: Cam üretiminde kullanılan feldispat. 4: Seramik çini üretiminde kullanılan ([5]'ten değiştirilerek alınmıştır).

## 9 Kaynaklar

- [1] Harben PW, Kuzvart M. *Industrial Minerals A Global Geology*. Londyn, Industrial Minerals Information Ltd, 1996.
- [2] Abouzeid AZM, Negm ATA. "Characterization and beneficiation of an Egyptian nepheline syenite ore". *International Journal of Mineralogy*, 1-9, 2014.
- [3] Ehlers EG. *The interpretation of geological phase diagrams*. W.H. Freeman and Co, San Francisco, 1972.
- [4] Levin EM, Robbins CR, McMurdie HF. *Phase diagrams for ceramists*. The Amer. Cer. Soc., Columbus, Ohio, USA, 1974.
- [5] Lewicka E. "Conditions of the feldspathic raw materials supply from domestic and foreign sources in Poland". *Gospodarka Surowcami Mineralnymi*, 26(4), 5-18, 2010.
- [6] Spence HS. *Nepheline syenite: A new ceramic raw material from ontario*. 951, USA, American Institute of Mining and Metallurgical Engineers Technical Publication, 1938.



Şekil 8: Buzlukdağ Nefelin Siyenitinin ve diğer nefelin siyenit, siyenit ve kuvars siyenitlerin K<sub>2</sub>O/Na<sub>2</sub>O-FeOt-Na<sub>2</sub>O/K<sub>2</sub>O üçgen değişim diyagramı.

- [7] Reynolds H J. "Ceramis uses of arkansas nepheline syenite". *Journal of Arkansas Academy of Science*, 6, 63-64, 1953.
- [8] Saller M. "In a state of flux-Feldspar and nepheline syenite reviewed". *Industrial Minerals*, 385, 43-53, 1999.
- [9] Negm AT, Abouzeid AZ, Boulos T, Ahmed H. "Nepheline Syenite Processing for Glass and Ceramic Industries". *Physicochemical Problems of Mineral Processing*, 34, 5-16, 2000.
- [10] Pantshi B, Theart HFJ. "The Red Syenite of the Pilanesberg Complex; a potential raw material source for the South African ceramics and glass industry". *South African Journal of Geology*, 111(1), 27-38, 2008.
- [11] Jimoh MT, Raji IO. "Economic prospects of nepheline syenites occurring around awo, Southwestern. Nigeria". *Journal of Emerging Trends in Engineering and Applied Sciences (JETEAS)*, 2(4), 606-609, 2011.
- [12] Kunduracı N, Aydın T. "The effect of nepheline syenite addition on sanitaryware body". *International Journal of Engineering Research and Development*, 7(2), 16-19, 2015.
- [13] İbrahim SS, Mohamed HA, Boulos TR. "Dry magnetic separation of nepheline syenite ores". *Physicochemical Problems of Mineral Processing*, 36, 173-183, 2002.
- [14] Bayhan H, Girgin İ. "Bayındır-Akpınar (Kaman) nefelin siyenitlerinin zenginleştirilmesi". *Madencilik Dergisi*, 32(2), 19-26, 1993.
- [15] Özün S. Flotation Characteristics of Minerals in Feldspar Ore. PhD Thesis, Middle East Technical University, Ankara, Turkey, 2012.
- [16] Özün S, Atalay Ü, Kadioğlu YK. "Investigation on possibility of opaque minerals removal from foid bearing rock". *Górnictwo i Geoinżynieria*, 33(4), 269-276, 2009.
- [17] Fitton JG, Upton BGJ. *Alkaline Igneous Rocks*. Oxford London, Published for the Geological Society by Blackwell Scientific Publications, 1987.
- [18] Potter MJ. *Feldspar and Nepheline Syenite*. USA, U.S. Geological Survey Publications, 2000.
- [19] Kadioğlu YK, Güleç N. "Types and genesis of the enclaves in Central Anatolian granitoids". *Geological Journal*, 34, 243-256, 1999.
- [20] Bolger RB. "Feldspar and nepheline syenite". *Industrial Minerals*, 332, 25-45, 1995.
- [21] Selzer S. "Keeping the plates spinning-A European tableware focus". *Industrial Minerals*, 397, 77-85, 2000.
- [22] Göncüoğlu MC, Toprak V, Kuşcu İ, Erler A, Olgun E. 1991. "Orta Anadolu Masifinin Batı Bölümünün Jeolojisi, Bölüm 1-Güney Kesim". Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı, Ankara, Türkiye, 2909, 1991 (yayımlanmamış).
- [23] Göncüoğlu MC, Toprak V, Kuşcu İ, Erler A, Olgun E, Rojay B. "Orta Anadolu Masifinin Batı Bölümünün Jeolojisi, Bölüm 2: Orta Kesim". Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı, Ankara, Türkiye, 1992.
- [24] Göncüoğlu MC, Erler A, Toprak V, Olgun E, Yalınz K, Kuşcu İ, Köksal S, Dirik K. "Orta Anadolu Masifinin Orta Bölümünün Jeolojisi, Bölüm 3: Orta Kızılırmak Tersiyer Baseni'nin Jeolojik Evrimi". Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı, 3313, 1993.
- [25] Akıman O, Erler A, Göncüoğlu MC, Güleç N, Güven A, Türeli TK, Kadioğlu YK. "Geochemical characteristics of granitoids along the western margin of the central anatolian crystalline complex and their tectonic implications". *Geological Journal*, 28, 371-382, 1993.
- [26] Seymen İ. Kaman dolayında Kırşehir Masifinin jeolojisi. Doçentlik Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 1982.
- [27] Ketin İ. "Yozgat bölgesinin jeolojisi and Orta Anadolu Masifinin tektonik durumu". *TJK Bülteni*, 6(1), 1-40, 1955.
- [28] Görür N, Oktay FY, Seymen İ, Şengör AMC. *Paleotectonic Evolution of the Tuzgölü Basin Complex. Central Anatolia (Turkey): Sedimentary Record of Neo-Tethyan closure*. Editors: Dixon JE, Robertson AHF. In the geological evolution of the eastern Mediterranean, 467-482. Geological Society of London, Special publications, 17, 1984.
- [29] Lünel AT. "An approach to the naming. origin and age of Baranadağ monzonite of the Kırşehir intrusive suite". *METU Journal of Pure and Applied Sciences*, 18, 385-404, 1985.
- [30] Erler A, Akıman O, Unan C, Dalkılıç B, Geven A, Önen P. "Kaman (Kırşehir) ve Yozgat yörelerinde Kırşehir Masifi magmatik kayalarının petrolojisi ve jeokimyası". *Doğa-Tr Journal of Engineering and Environmental Sciences*, 15, 76-100, 1991.
- [31] Kadioğlu YK, Güleç N. "Mafic Microgranular Enclaves and Interaction Between Felsic and Mafic Magmas in the Ağaçören Intrusive Suite: Evidence from Petrographic Features and Mineral Chemistry". *International Geology Review*, 38, 854-867, 1996.
- [32] Kadioğlu YK, Özsan A. "Sulakyurt granitoidindeki ofitik olmayan gabroların konumunun sondajlarla belirlenmesi". *50. Türkiye Jeoloji Kurultayı*, Ankara, Türkiye, 17-19 Şubat 1997.
- [33] Kadioğlu YK, Dilek Y, Güleç N, Foland, KA. "Tectonomagmatic evolution of bimodal plutons in the Central Anatolian crystalline complex, Turkey". *The Journal of Geology*, 111, 671-690, 2003.
- [34] Boztuğ D, Jonckheere RC. "Apatite fission-track data from Central-Anatolian granitoids (Turkey): constraints on Neo-Tethyan closure". *Tectonics*, 26, TC3011, 2007.
- [35] Boztuğ D, Jonckheere RC, Heizler M, Ratschbacher L, Harlavan Y, Tichomirova M. "Timing of post-obduction granitoids from intrusion through cooling to exhumation in central Anatolia, Turkey". *Tectonophysics*, 473(1-2), 223-233, 2009a.
- [36] Deniz K. Buzlukdağı (Kırşehir) alkali magmatik kayaların jeolojisi. Petrolojisi ve Konfokal Raman Spektrometresi İle İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi Ankara, Türkiye, 2010.
- [37] Deniz K, Kadioğlu YK. "Assimilation and fractional crystallization of foid-bearing alkaline rocks: Buzlukdağı intrusives, Central Anatolia, Turkey". *Turkish Journal of Earth Sciences*, 25, 341-366, 2016.