

Makale Gönderim Tarihi: 23.09.2022

Yayına Kabul Tarihi: 27.12.2022

Volkanik Kayaçların Endüstriyel Kullanımı Üzerine Bir Araştırma

*A Research on Industrial Use of Volcanic Rocks*Gencay Sarıışık^{1*}¹ Harran Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü, Şanlıurfa

* Sorumlu Yazar, e-posta: gsariisik@gmail.com

Özet

Bu çalışmada volkanik kayaçların endüstriyel kullanılabilirliği araştırılmıştır. Deneysel çalışmalarda volkanik kayaçların mühendislik özellikleri incelenmiştir. Kayaçların malzeme karakterizasyonu analizlerinden XRD (X-Işımları Difraktometre), SEM (taramalı elektron mikroskop) ve ısı mikroskobu analizleri yapılmıştır. Kayaçların ısıtma işlemi sonrası fiziksel ve mekanik özelliklerinin sıcaklık karşısındaki değişimi incelenmiştir. Çalışmada kullanılan volkanik kayaç örnekleri jeokimyasal analizlere göre trakiandezit ana bileşimleri hemikristalin ve holokristalin olup, aphanitic ve porfiritik dokuludur. Mikro gözenekleri 20-150 µm arasında olup, sanidin, mika ve piroksen mineralleri içermektedir. Kayaçların ısı mikroskobu göre sinterleşme sıcaklığı 1150 °C'dir. Sır reçetesinin sinterleme sıcaklığı 1030 °C olarak belirlenerek, 1055 °C'de sır uygulamaları yapılmıştır. Kayaçların ısıtma işlemi sonrası pişirme sıcaklığı arttıkça fiziksel ve mekanik özelliklerinin ΔP değerleri artmaktadır. Volkanik kayaçların ısıtma işlemi sonrası yüzeyi sırlanmış doğal taş seramiği ürünleri olarak kullanılabilenliği öngörülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Volkanik Kayaç, Isıtma İşlemi, Mühendislik Özellikleri, Sır Uygulaması

Abstract

In this study, the industrial availability of volcanic rocks was investigated. Engineering properties of volcanic rocks were investigated in experimental studies. Among the material characterization analyzes of the rocks, XRD, SEM and heat microscope analyzes were performed. The changes in the physico-mechanical properties of the rocks after the heating process were investigated. According to the geochemical analyzes of the volcanic rock samples used in the study, the main compositions of trachyandesite are hemicrystalline and holocrystalline, with aphanitic and porphyritic textures. Its micropores are between 20-150 µm and contain pyroxene, sanidine and mica minerals. According to the heat microscope, the sintering temperature of the rocks is 1150 °C. The sintering temperature of the glaze recipe was determined as 1030 °C, and glaze applications were made at 1055 °C. As the firing temperature of the rocks increases after the heating process, the ΔP values of the physical and mechanical properties increase. It has been predicted that volcanic rocks can be used as natural stone ceramic products, the surface of which is glazed after the heating process.

Keywords: Volcanic rock, Heating Process, Engineering properties, Glaze application

1. Giriş

Ülkemizde farklı kayaç türleri inşaat sektöründe yapı taşı olarak kullanılmaktadır. Doğal taşlar metamorfik, sedimanter ve magmatik kökenli olarak sınıflandırılmaktadır. Volkanik kayaçlar (andezit, bazalt, trakiandezitler) magmatik kökenli kayaçların alt grubunda yer almaktadır. Anadolu'nun birçok yerinde yaygın olarak görülen volkanitler, her dönemin taş ustalarının ilgisini çekmiştir. Tarihte özellikle Selçuklu ve Osmanlı dönemlerinde bu kayaçlar kale duvarlarında yapı taşı ve süsleme taşı olarak yoğun bir şekilde kullanılmıştır. Amfiteyatros ve Odeonların da ana yapı taşları arasındadırlar (Şentürk vd., 1996; Kulaksız, 2007; Sarıışık, 2010).

Afyon şehri ve kırsalı, geçmişten günümüze Afyon Mermerlerinin üretimi ve işlenmesinde önemli bir yerleri olmuştur. Ancak son zamanlarda doğal taş kaynaklarının kontrolsüz ve yanlış kullanımı rezervlerini azaltmaktadır. Pazardaki farklı ürün talepleri nedeniyle, şimdi mermer alternatif olarak Volkanik kayaçların işlenmesine odaklanılmıştır (Sarıışık, 2010). Volkanik kayaçlardan andezit porfirik dokulu olup, matriks içerisinde feldspat, piroksen, olivin, mika, biyotit ve manyetit mineralleri içermektedir (Williams ve ark., 1982; Aydar vd., 1998; 2003).

Volkanik kayaçlar temel özelliklerine bakıldığında tehlikesiz ve çevreye zarar vermeyen aşınma dayanımı ve yüksek basınca sahiptir. Genel uygulama alanlarında seramik, porselen, karo, sağlık gereçleri, takviye ve cam malzeme üretiminde kullanılmaktadır (Fomichev, vd., 2010; Levitskii, vd., 2013; Vichaphund, vd., 2016).

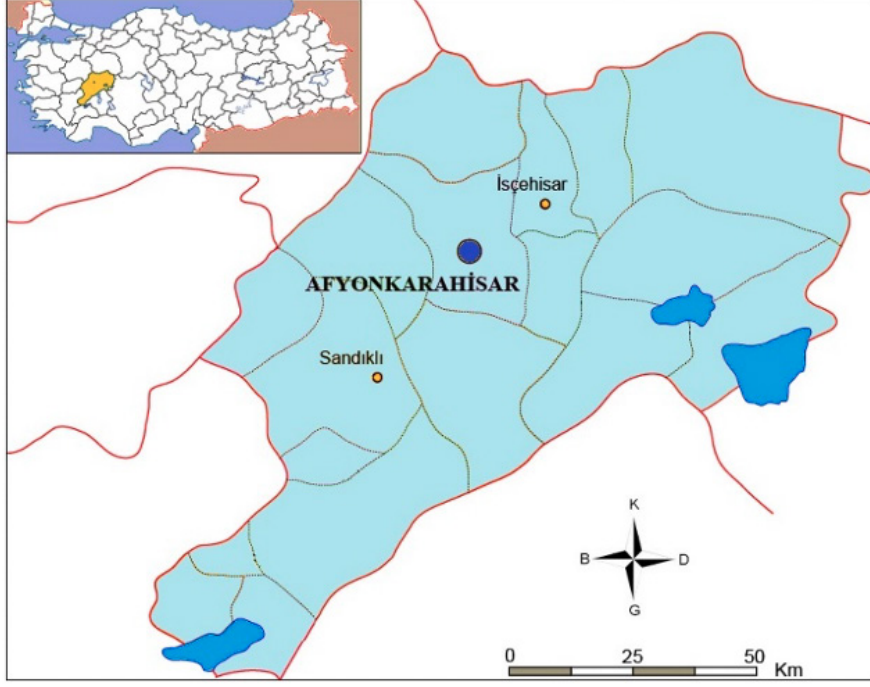
Volkanik kayaçların sır ve bünye bileşimi olarak öğütülerek sır yapımında kullanımı (Prstić, vd., 2007; Andrić vd., 2012; Reben, vd., 2016), cam seramiklerde kullanımı (Cocić, vd., 2010; Ercenk, vd., 2012; Çetin, 2012; Ercenk, vd., 2014; Bayrak ve Yılmaz, 2014; Khater, vd., 2015; Ercenk, vd., 2016) seramik bünyelerinde kullanımı (Fomichev, vd., 2010; Levitskii, vd., 2013; Vichaphund, vd., 2016) kompozitlerde kullanımı (Akıncı, vd., 2011; Çaliskan vd., 2011; Al-Baijat ve Benedetti, 2013; Vannan ve Vizhian, 2014; Cox vd., 2014; Hou, vd., 2015; Gnanapragasam, vd., 2016) ile ilgili bazı çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalardan farklı olarak doğal taş sektöründe özellikle andezitlerin yüzeyi sırlama tekniği kullanılarak yeni ürün uygulamaları yapılmıştır (Sarıışık, 2010; Sarıışık, vd., 2011; Sarıışık, vd., 2013).

Bu çalışmada volkanik kayaçların ısıtma işlemi sonrası fiziksel ve mekanik özelliklerinin sıcaklık karşısındaki değişimi incelenmiştir. Sır uygulamasında, uygun kayaç ve sinterleme sıcaklığı belirlenerek, kayaç yüzeyi ve sır yüzeyi arasındaki uyum araştırılmıştır.

2. Materyal ve Metod

2.1. Materyal

Deneysel çalışmalarda kullanılan kayaçlar Afyonkarahisar/İscehisar ve Sandıklı'da bulunan taş ocağından alınmıştır (Şekil 1). Kayaçların mostradaki rengi kahverengi ve siyah iken kesim sonrası açık pembe ve gridir. Örnekler ince taneli ve makro gözenekli ve masif yapıya sahiptir. Kayaç örneklerini tanıtan özellikler Tablo 1'de verilmiştir. Volkanik kayaç örnekleri kesme makineleri ile istenilen standart boyutlarında hazırlanmıştır.



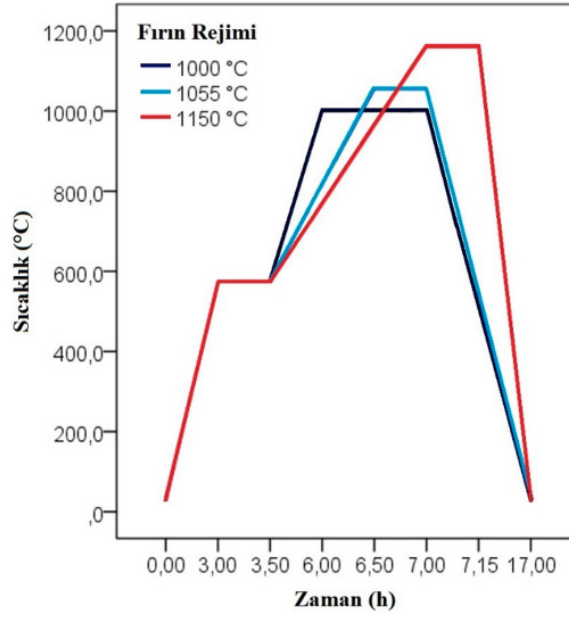
Şekil 1. Afyonkarahisar ili yerleşim yeri haritası

Tablo 1. Denemede kullanılan kayaçların bölgeleri ve petrografik adları

Örnek Kodu	Lokasyon Kodu	Bölge	Petrografik İsim
A1	1	İncehisar	Vokanik Kayaç
A2	2	Sandıklı	Vokanik Kayaç

Volkanik doğaltaş plakaları üzerine üleksit, Na-feldispat, K-feldispat, kaolen, kuvars ve demir oksit renklendirici sır reçetesinin tartımı yapılarak bilyalı değirmenlerde sulu olarak öğütülmüştür. Sırlama işlemi yapılırken laboratuvar ortamında doğal taş plakalar üzerine yaklaşık 20 gr sır oluşturularak viskozitesi 20 l/s, sırnın yoğunluğu 1250 gr/l olmak üzere 8 bar basınçta pistle ile serbest elle yüzeye uygulanmıştır.

Kayaçların ve sır uygulamasının ısıtma işlemi için fırın hacmi 0,5 m³ olan REF-SAN marka elektrikli kamara tipi fırın kullanılmıştır. Kayaçlar ve sırlanmış ürün 1000°C, 1055°C ve 1150°C’de pişirilmiştir. Kayaçlara ve sır uygulamasının ısıtma işleminde rejimi Şeki 2’de verilmiştir.



Şekil 2. Kayaçların ve sır uygulamasının ısıtma işleminde fırın rejimi

2.2. Metod

Kayaç örneklerinin kimyasal özellikleri XRF (ICP-ES) yöntemi ile oksit bileşikleri belirlenmiştir. Kayaç örneklerinin mineral içeriği ve dokusu Nikon marka polarizasyon mikroskopu ile belirlenmiştir. Mineralojik analizleri ise XRD (X-Işınları Difraktometre) cihazı ile yapılmıştır. Kayaçların ve sır uygulamasının taramalı elektron mikroskop (SEM) fotoğrafları Leo-1430 VP marka cihaz ile elde edilmiştir. Volkanik kayaç örnekleri ve sır uygulaması Misura model cihazıyla ısı mikroskopu analizi yapılmıştır.

Volkanik kayaçların ısıtma işlemi öncesi ve sonrası fiziksel ve mekanik özellikleri belirlenmiştir. Fiziksel ve mekanik özellikleri ısıtma işlemi öncesi ve sonrası porozite testi TS EN 1936 standardı, su emme testi TS EN 13755 standardı, ultrasonik hız testi TS EN 14579 standardı, basınç dayanımı testi TS EN 1926, eğilme dayanımı testi TS EN 13161 standardı ve çarpma dayanımı testi TS EN 14158 standardı göre yapılmıştır.

Isıtma işlemi sonrası fiziksel ve mekanik özelliklerinin pişirme sıcaklığı karşısında yüzde cinsinden özellik değişimi hesaplanmıştır. Bu deneylerde yüzde cinsinden özellik değişimi (ΔP) hesaplama denklemi;

$$\Delta P = 100 - \frac{Pc_2}{Pc_1} \times 100 \quad (1)$$

Pc_2 : Isıtma işlemi sonrası özellik değeri

Pc_1 : Isıtma işlemi öncesi özellik değeri

ΔP : Yüzde cinsinden özellik değişimi, %

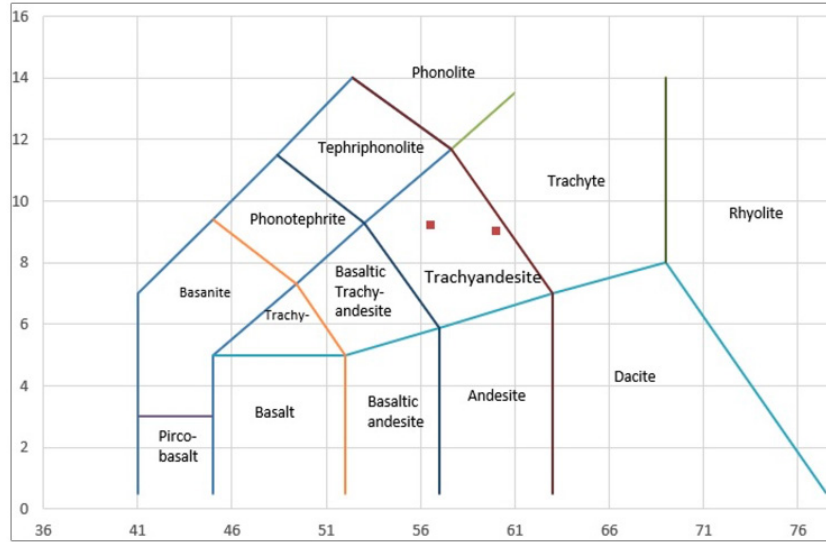
3. Bulgular ve Tartışma

3.1. Mühendislik özelliklerinin sonuçları

Volkanik kayaçlardan alınan örneklerin 4A kimyasal analizine göre örneklerin kimyasal bileşiminde en önemli iki ana bileşen olan SiO_2 ve Al_2O_3 , sırasıyla örneklerin %72,59 ve %74,84'ünü oluşturmaktadır. Kayaç örneklerinde Na_2O bileşikleri %2,95-3,18 arasında, K_2O bileşikleri %6,05-6,09 arasında ve TiO_2 bileşiği %1,02-1,11 arasında bulunmaktadır (Tablo 3). TAS Diagramı incelendiğinde, kayaç örnekleri içerdikleri SiO_2 bileşikleri %56-60 miktarına arasında ve $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ miktarına göre sınıflandırılmıştır. Buna göre kayaç örnekleri alkali silika grubunda yer almıştır. Deneylerde kullanılan kayaç örnekleri %9,04-9,23 oranında $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ ve %56,51-60,01 oranında SiO_2 içermektedir (Şekil 3).

Tablo 3. İnceleme alanındaki volkanik kayaç örneklerinin kimyasal analiz sonuçları

Kayaç Örnek	SiO_2 (%)	Al_2O_3 (%)	Fe_2O_3 (%)	MgO (%)	CaO (%)	Na_2O (%)	K_2O (%)	TiO_2 (%)	P_2O_5 (%)	MnO (%)	LOI (%)
A1	60.01	14.83	4.68	3.69	4.81	2.95	6.09	1.02	0.86	0.07	0.99
A2	56.51	16.08	5.31	2.86	5.82	3.18	6.05	1.11	0.92	0.09	1.09



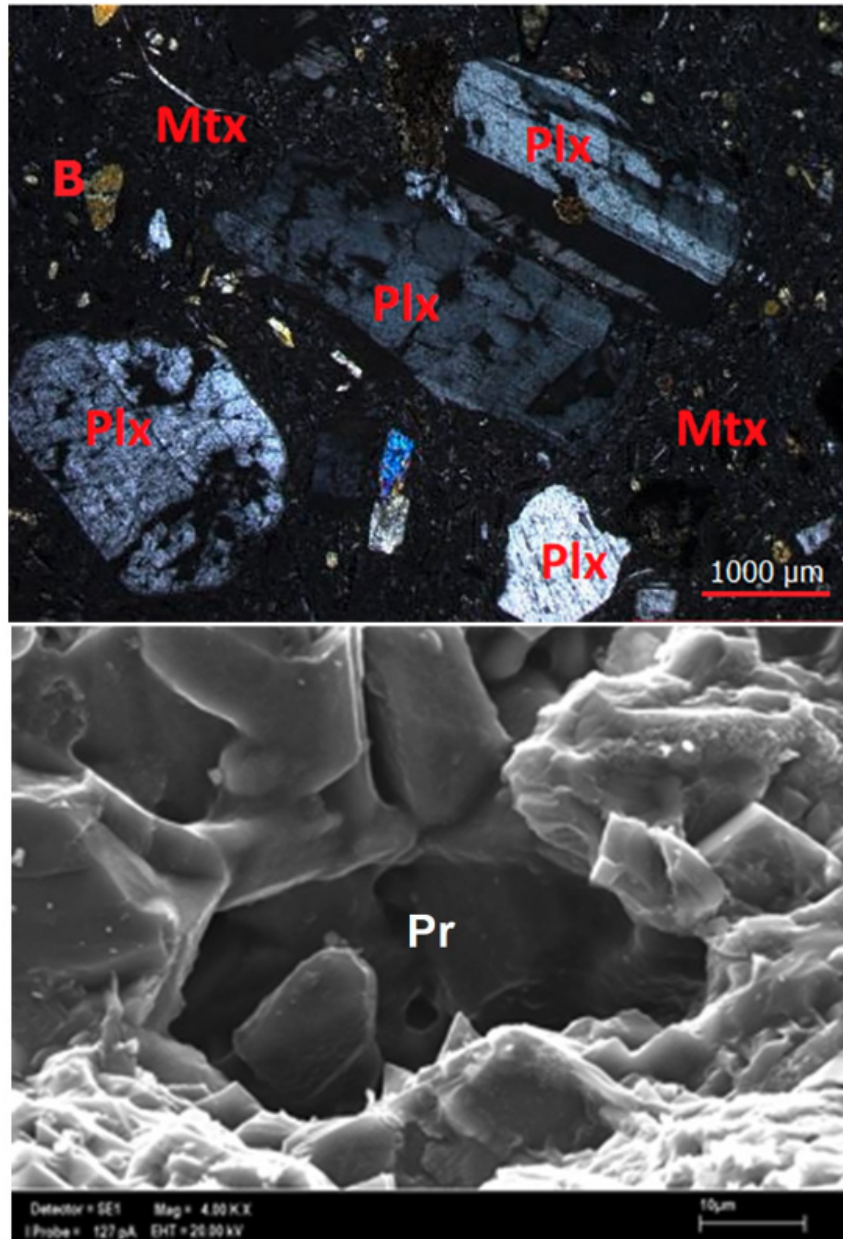
Şekil 3. Kaya örneklerinin TAS diyagramı (Le Bas et al. 1986)

Kayaç örnekleri ana bileşenleri holokristalin ve hemikristalindir. Porfiritik ve aphanitic dokulu olup, akma dokusu da göstermektedir. Kayaçların temel mineralleri fenokristalin halde, plajiyoklaz, biyotit, piroksen, hornblend, olivin ve opak mineralleri içermektedir (Şekil 4a).

Kayaç örneklerinin SEM analizinde 20-150 μm çapında gözeneğe sahip olduğu görülmüştür (Şekil 4b). A1 örneğinin en küçük tane yapısına sahip olduğu görülmüştür. Mineral içerikleri ve örneklerin petrografik incelemesinin sonuçları Tablo 3'de verilmiştir.

Tablo 3. Mineralojik ve petrografik analiz sonuçlarının özeti

Örnek Kodu	A1-A2
Kaya Türü/Adı	Volkanik/Trakiandezit
Dokular	Ana/Holokristal ve Yarı Kristal Özel/Porfirik ve Aphanitik
Parçacık Boyutu	Mikro (<1mm)/Makro (1-2 mm) Kristalin
Mineralojik Bileşim	Plajiyoklaz, Sanidin, Biotit, Hornblend
Alterasyon	Opak, Opakit, Klorit



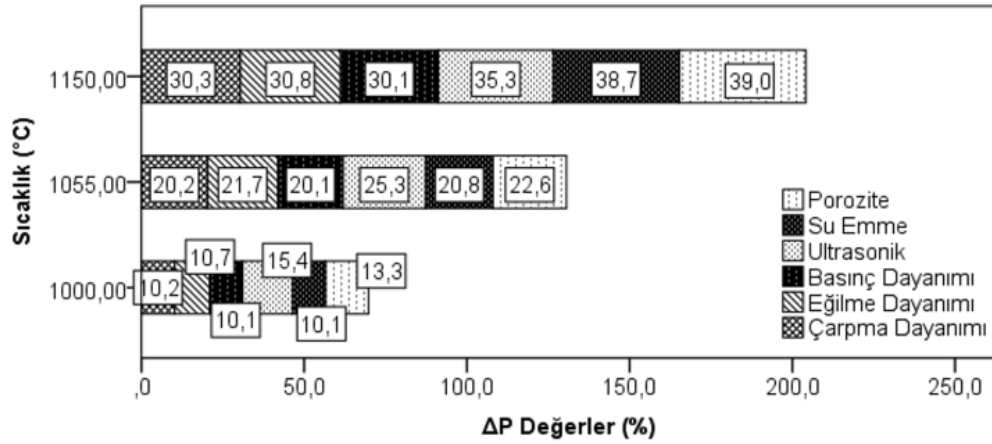
Şekil 4. a) Kayaçta plajiyoklaz (Plx) ve biyotit (B) mineralleri b) Kayaç gözeneklerinin (Pr) SEM görüntüleri

Bu çalışmada kayaçların ısıtma işlemi öncesi ve sonrası fiziksel ve mekanik özellikleri belirlenmiştir. Kayaçların ısıtma işlemi öncesi ve sonrası fiziksel ve mekanik özellikleri Tablo 4’de verilmiştir.

Tablo 4. Kayaç örneklerin ısıtma işlemi öncesi ve sonrası fiziksel ve mekanik özellikler

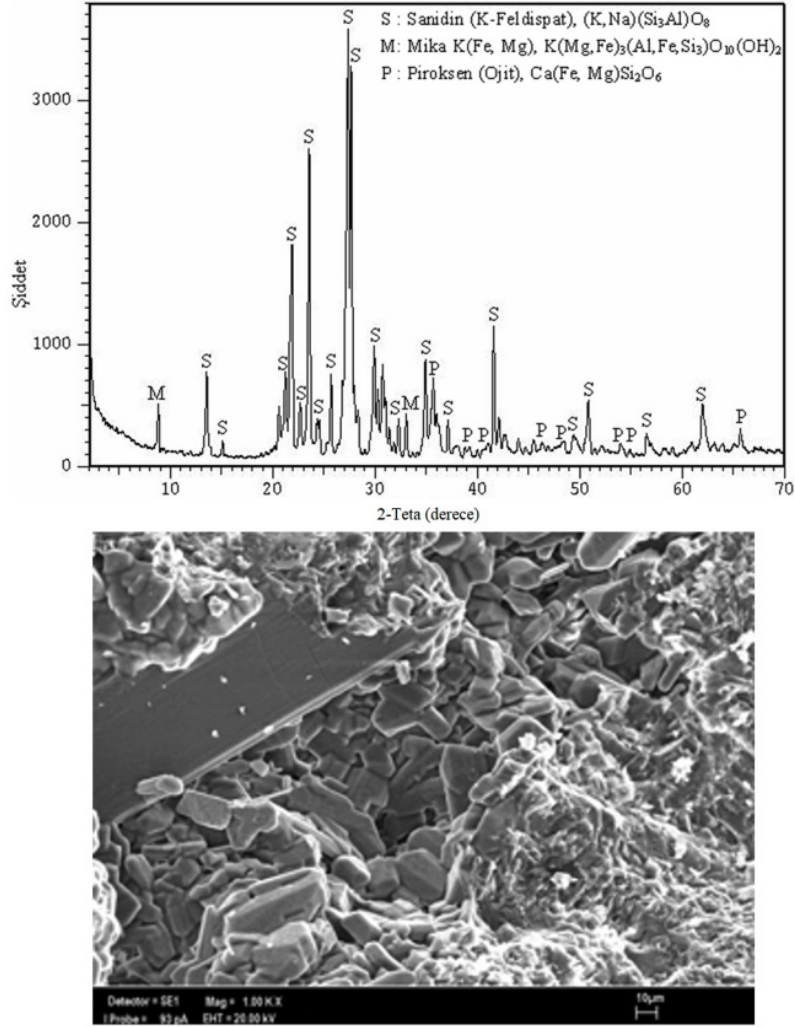
Kayaç Örnek	Sıcaklık (°C)	Porozite (%)	Su Emme (%)	Ultrasonik Hız (m/s)	Basınç Dayanımı (MPa)	Eğilme Dayanımı (MPa)	Çarpma Dayanımı (MPa)
A1	25	15.56	5.85	3070	86.43	10.45	9.98
A2	25	7.45	2.93	4260	101.08	12.78	12.15
A1	1000	13.58	5.31	2610	94.98	11.55	10.99
A2	1000	6.42	2.61	3590	111.54	14.17	13.41
A1	1055	12.23	4.68	2300	103.71	12.68	11.98
A2	1055	5.68	2.30	3170	121.47	15.59	14.63
A1	1150	9.89	3.68	2000	112.36	13.64	12.98
A2	1150	4.35	1.75	2740	131.58	16.75	15.87

Kayaçların ısıtma işlemi sonrası fiziksel ve mekanik özelliklerinin sıcaklığa bağlı ortalama ΔP değerleri Şekil 5’de verilmiştir. Kayaç örneklerinin 1000°C ısıtma işlemi sonrası porozite, su emme, ultrasonik hız, basınç dayanımı, eğilme dayanımı ve çarpma dayanımında ortalama ΔP değerleri %10.1-15.4 arasında, 1055°C’de % 20.1-25.3 arasında, 1150°C’de ise %30.1-39.0 arasındadır. Buna göre kayaçların ısıtma işlemi sonrası pişirme sıcaklığı arttıkça fiziksel ve mekanik özelliklerindeki ortalama ΔP değerleri artmıştır.



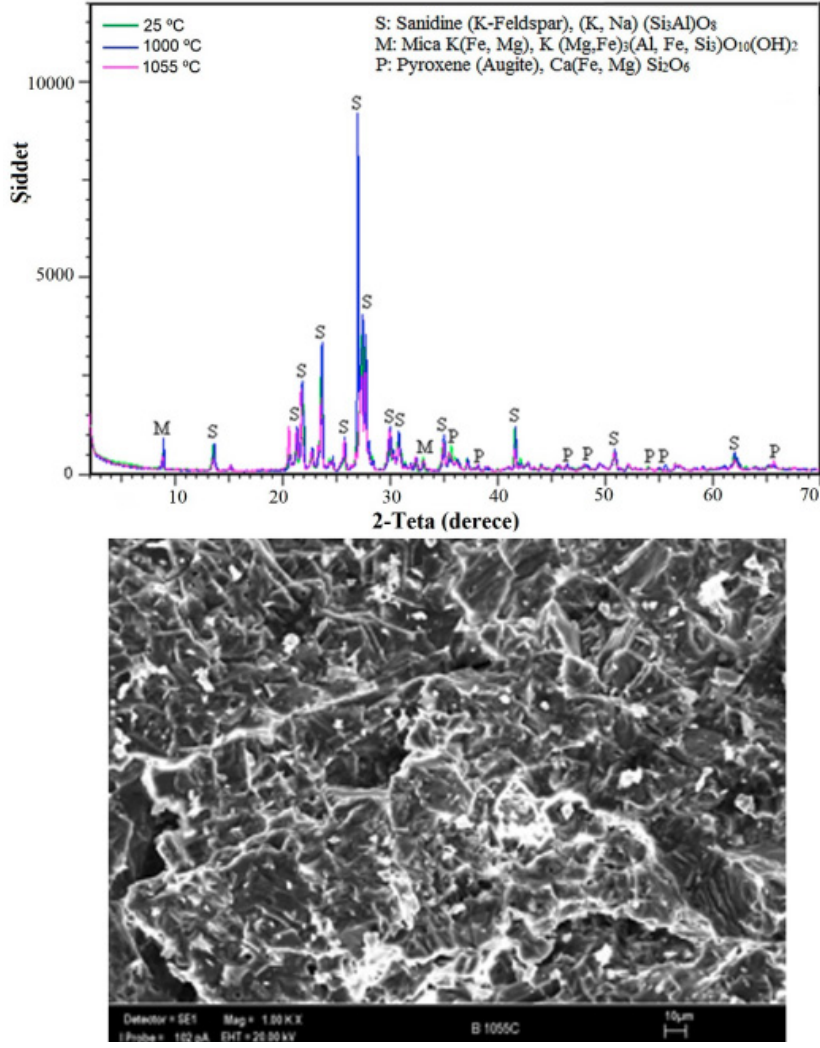
Şekil 5. Kayaçların fiziksel ve mekanik özelliklerinin sıcaklığa bağlı ortalama ΔP değerleri

Kayaçların ısıtma işlemi öncesi XRD ve SEM analizi sonuçları Şekil 6’da verilmiştir. Kayaçların XRD analizi sonucunda, $2\theta=20^\circ$ ile 40° arasında sanidin, $2\theta=8^\circ-35^\circ$ arasında mika ve $2\theta=20^\circ-70^\circ$ arasında piroksen minerali tespit edilmiştir. Kayaçların SEM görüntüsüne göre taneler arasında mikro gözeneklerin 20-150 μm arasında olduğu görülmektedir.



Şekil 6. Isıl işlem öncesi kayaların kırık yüzeyinin XRD paterni ve SEM görüntüsü

Kayaçların 1000°C ve 1055°C’de ısıtma işlemi sonrası XRD ve SEM analizi sonuçları Şekil 7’de verilmiştir.



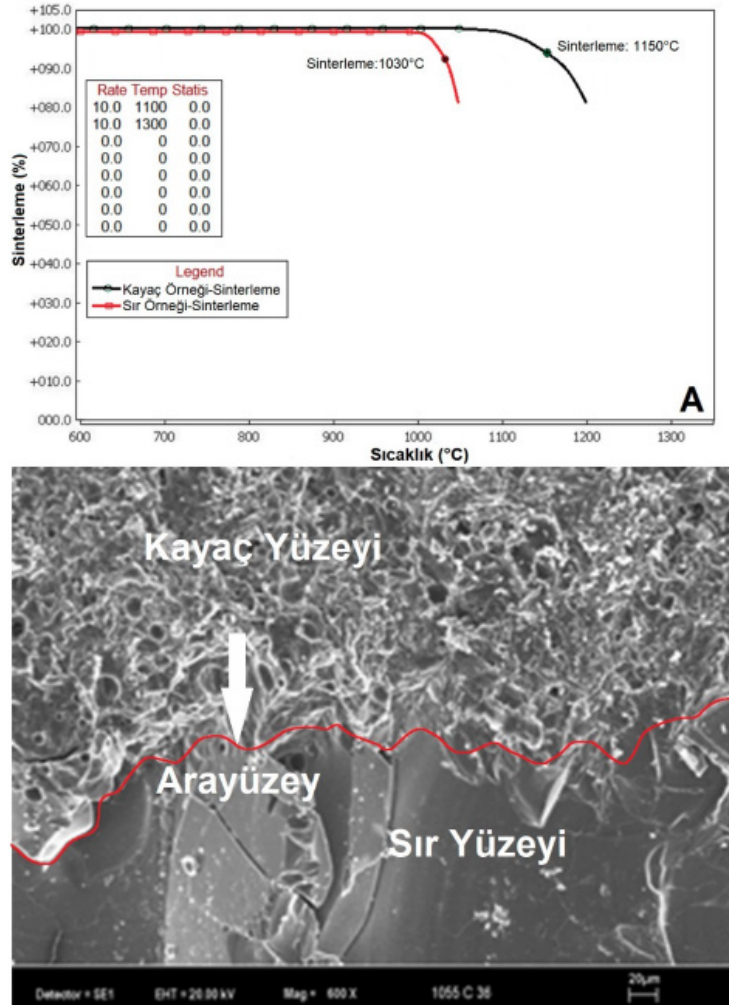
Şekil 7. 1050 °C'de ısıtma işlemi sonrası kayaların kırık yüzeyinin XRD paterni ve SEM görüntüsü

Kayaçların ısıtma işlemi sonrası XRD analizine göre mineralojik olarak faz yapısında çok az değişiklik olduğu görülmüştür. Eritici özelliğine etki eden toplam alkali (Na_2O , K_2O ve LiO_2) içeriği arttıkça, erime noktası düşmektedir. Yüksek sıcaklıkta alkali feldispatlar kolayca vitrifiye olmaktadır (Bernardo ve ark., 2006). XRD analizinde 2-teta değeri 20° ile 40° arasında sanidin mineralinin amorf faz miktarının artması kristallik derecesinde azalmayı göstermektedir. Kayaçların feldspatik yapısındaki ergime göz önüne alındığında, ısıtma sıcaklığının artması sonucunda fiziksel ve mekanik özellikleri değişmektedir. Kayaçların ısıtma işlemi sonrası SEM görüntülerinde sinterleşmenin artması ile tanecikler arasında kütleli bağın arttığı ve por yapısının azaldığı görülmektedir. Volkanik kayaçların ısıtma işlemi sonrası kayaç örneklerinde su emme ve porozite değerleri azalmakta, ΔP değerleri artmaktadır. Isıtma sıcaklığının artmasıyla birlikte sinterleşme artmakta taneler arası gözenekliliğin azaldığı görülmektedir. Vitrifikasyon etkisi ile meydana gelen yoğunlaşma etkisi ile porozite ve su emme değerlerinde azalmakta ΔP değerleri artmaktadır. Volkanik kayaçların 1000 °C, 1055 °C ve 1150 °C'de ısıtma işlemi sonrası kayaç örneklerinin ultrasonik ses hızı, basınç dayanımı, eğilme dayanımı ve çarpma dayanımı değerleri arttığı tespit edilmiştir. Isıtma işlemi sonrası kayaçların tüm deneylerde ΔP değerlerinin artarak, bozulmaya karşı daha dayanıklı hale gelmiştir.

3.2. Kayaç Yüzeyine Sır Uygulaması

Kayaç yüzeyine 1055’de seramik sır uygulanarak, farklı yüzey görünümü kazandırılmıştır. Sır reçetesinin bileşiminde %30 Üleksit, %20 Na-Feldispat, %20 K-Feldispat, %20 Kaolen, % 5 Kuvars bulunmaktadır. %5 oranında demir oksit ile renklendirilen sır 1055 °C’de kayaç bünye ile uyum sağlamıştır. Kayaç yüzeylerine uygulanan sır reçeteleri Tablo 5’de, verilmiştir. 1055 C’de sır uygulamalarının kayaç yüzeyindeki görüntüsü Şekil 8’de verilmiştir.

Sır reçetesinin ısı mikroskobu analizinde sinterleme sıcaklığı 1030 °C olarak belirlenmiştir. Kayaç ve sır yüzeyindeki uyumu görebilmek için 1055 °C’deki sır uygulamasında SEM analizleri yapılmıştır (Şekil 9). Kayaç örneğinin sır reçetesine göre daha yüksek sıcaklıkta sinterleştiği için kayaç yüzeyi ile sır arasında iyi uyum olduğu görülmektedir. Sinterleme sıcaklığı 1055 °C’de kayaç ve sır yüzeyine ait SEM görüntüsüne bakıldığında yüksek düzeyde camlaşma görülmektedir. Kayaç ve sır yüzeyi arasında çok iyi bir kenetlenme olduğu için ara yüzeyde kavlama gözlenmemiştir.



Şekil 9. 1055 °C’de kayaç ve sır yüzeyine ait SEM analizi

4. Sonuçlar ve Öneriler

Volkanik kayaç örneklerinin ısıtma işlemi öncesi ve sonrası mühendislik özellikleri (jeokimyasal analizi, mineralojik ve petrografik, fiziksel ve mekanik) test edilerek, sonuçları karşılaştırılmıştır. Kayaçların fiziksel ve mekanik özelliklerinden porozite, su emme, ultrasonik hız, basınç dayanımı, eğilme dayanımı ve çarpma dayanımı test edilmiştir. Kayaçların XRD (X-Işınları Difraktometre), SEM (taramalı elektron mikroskop) ve ısı mikroskobu analizleri yapılarak, sıradan uygulamalarında uygun kayaç seçimi yapılmıştır. Seçimi yapılan bu kayaç yüzeyine 1055 °C'de sıradan uygulaması yapılmıştır. Isıtma işlemi öncesi ve sonrası kayaçlara yapılan test ve analizler ile sıradan uygulama sonuçları özetlenmiştir;

- Volkanik kayaçlara uygulanacak pişirme sıcaklıkları ısı mikroskobu analize göre 1000, 1055 ve 1150 °C olarak tespit edilmiştir.
- Isıtma işlemi sonrası fiziksel ve mekanik testlere göre ısıtma işlemi sıcaklığı arttıkça porozite, su emme ve ultrasonik hız, basınç dayanımı, eğilme dayanımı ve çarpma dayanımı ΔP değerleri artmaktadır.
- Sıradan reçetesinin ısı mikroskobu analizinde sinterleme sıcaklığı 1030 °C ile kayacın sinterleşme sıcaklığında düşük olduğu için sıradan yüzeyi ile kayaç arasında uyum sağlandığı gözlemlenmiştir.
- 1055 °C'de SEM analizinde sıradan yüzeyi ile kayaç yüzeyi arasındaki bağ oldukça kuvvetli olduğundan, sıradan yüzeyde çatlama ve kavlanmanın olmadığı görülmektedir.

İleride yapılabilecek potansiyel çalışmalarda birçok bölgede bulunan volkanik kayaçların ısıtma işlem özelliklerinden yararlanarak;

- Toplu kullanım mekânlarında ve kent mobilyalarında bir tasarım elemanı olarak katma değeri yüksek yeni ürünlere uygulanması,
- Yüzeyi sıradanlanmış doğal taş seramiği ürünlerin yapılması,
- Endüstriyel seramik ve porselen fırınlarında kordierit fırın raf plakaları yerine alternatif ürün olarak kullanılması,
- Farklı volkanik kayaç türlerinin taş yünü üretiminde kullanılması daha fazla kayaç örneği ile araştırılmalıdır.

Teşekkür

Bu çalışma Tübitak 1001/1002 Projeleri (proje numaraları 108M027/111M390) tarafından desteklenmiştir. Katkılarından dolayı TÜBİTAK'a teşekkür ederim.

Kaynaklar

Al-Baijat, H., Benedetti, A. 2013. "Comparison between Composite Column Using Limestone and Basalt Concrete" Open Journal of Civil Engineering, 3, 1-6.

Akinci, A., Ercenk, E., Yilmaz, S., Ugur, S. 2011. "Slurry erosion behaviors of basalt filled low density polyethylene composites", Materials and Design, 32, 3106-3111.

Andrić, L., Aćimović-Pavlović, Z., Trumić, M., Prstić, A., & Tanasković, Z. (2012). Specific characteristics of coating glazes based on basalt. *Materials & Design*, 39, 9-13.

Aydar, E., Bayhan, H. Gourgaud, A. (1998) Koroglu caldera, mid-west Anatolia, Turkey:volcanological and magmatological evolution. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*. 85, 83–98.

Aydar, E., Bayhan, H. Gourgaud, A. (2003) The lamprophyres of Afyon stratovolcano, western Anatolia, Turkey: description and genesis. *C. R. Geoscience*. 335, 279–288.

Bayrak, G., Yilmaz, S. 2006. “Crystallization Kinetics of Plasma Sprayed Basalt Coatings”, *Ceramics International*, 32, 441-446.

Bernardo, E., Castellan, R., Hreglich, S., Lancellotti, I. (2006) Sintered sanidine glass-ceramics from industrial wastes. *Journal of the European Ceramic Society*. 26, 3335-3341.

Çalışkan, M., Akinci, A., Yilmaz, S., Sen, U. 2011. “Assignment of Mechanical Properties of Basalt-LDPE Composite Materials Using Experimental and Computer Aided Simulation Methods”, *Scientific Research and Essays*, 6 (11), 2315-2324.

Çetin, S. 2012. Deli Halil (Osmaniye) Bazaltik Pomzalarının Cam Seramik Yapımında Kullanım Olanakları ve Karakterizasyonu. Doktora Tezi. Adana: Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Cocić, M., Logar, M., Matović, B., Poharc-Logar, V. 2010. “Glass-Ceramics Obtained by the Crystallization of Basalt”, *Science of Sintering*, 42, 383-388.

Cox, S. B., Lui, D., Wang, X., Gou, J. 2014. “Processing and Characterization of Basalt Fiber Reinforced Ceramic Composites for High Temperature Applications Using Polymer Precursors”, NASA Technical Reports Server (NTRS). https://archive.org/details/NASA_NTRS_Archive_20150000241 Son erişim tarihi: 11 Mart 2017.

Ercenk, E., Sen, U., Yilmaz S. 2012. “The Effect of SiC Addition on the Crystallization Kinetics of Atmospheric Plasma-sprayed Basalt-based Coatings”, *Ceramics International*, 38, 6549-6556.

Ercenk, E., Bayrak, G., Sen, U., Yilmaz, S. 2014. “Bazalt Esaslı Cam ve Cam-Seramik Kaplamaların Mekanik Özellikleri”, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 14, 17-24.

Ercenk, E., Cicekli, A. E., Yilmaz S. 2016. “The Glass-ceramic Sealant Materials Obtained from Basalt for SOFC”, *Journal of Ceramic Processing Research*, 17 (12), 1260-1264.

Fomichev, S. V., Dergacheva, N. P., Steblevskii, A. V., Krenev, V. A. 2010. “Production of Ceramic Materials by the Sintering of Ground Basalt”, *Theoretical Foundations of Chemical Engineering*, 45 (4), 526-529.

Gnanapragasam, A. A., Chitra, G., Ravi, S. R. 2016. “Study on Strengthening of RC Beam Column Joint Using Hybrid FRP Composites”, *Circuits and Systems*, 7, 2846-2856.

Hou, S. N., Xie, J. F., Kuang, Y., Zheng, X. H., Yao, L., Qiu, Y. P. 2015. “Dielectric Characterization of 3D Orthogonal Woven Basalt Reinforced Thermoplastic Polyimide Composites”, *Journal of Textile Science and Technology*, 1, 35-44.

Khater, G. A., Abu Safiah, M. O., Hamzawy, E. M. A. 2015. “Augite-anorthite Glass-ceramics from Residues of Basalt Quarry and Ceramic Wastes”, *Processing and Application of Ceramics*, 9 (2), 117-123.

Kulaksız, S. (2007) Natural stone (marble) mining and processing technologies. TMMOB Chamber of Mining Engineers; Ankara: pp. 634.

Le Bas, M.J., Le Maitre, R.W., Streckeisen, A., Zanettin, B. (1986) A chemical classification of volcanic rocks based on the total alkali-silica diagram. *J Petrol.* 27, 74–750.

Levitskii, I. A., Pozniak, A. I., Baranceva, S. E. 2013. “Effects of the Basaltic Tuff Additions on the Properties, Structure and Phase Composition of the Ceramic Tiles for Interior Wall Facing”, *Procedia Engineering*, 11th International Conference on Modern Building Materials, Structures and Techniques, MBMST 2013, 57, 707-713.

Prstić, A., Aćimović-Pavlović, Z., Pavlović, L., Andrić, L., & Terzić, A. (2007). The application of basalt in the manufacturing of ceramic glazes. *Journal of Mining and Metallurgy A: Mining*, 43(1), 53-60.

Reben, M., Kosmal, M., Pałczyńska, N., Pichniarczyk, P. 2016. “Waste Immobilization and Environmental Sustainability in Glass-ceramics Glazes Development”, *E3S Web of Conferences*, SEED, 10, 1-5.

Sarışık, G. (2010) Investigation of glazability of Afyon–Iscehisar volcanic rocks and glaze materials. Ph.D. Thesis, Selçuk University. Konya: pp. 250.

Sarışık, A., Sarışık, G., Şentürk, A. (2011) Applications of glaze and decor on dimensioned andesites used in construction sector. *Construction and Building Materials*. 25(9), 3694-3702.

Sarışık, G., Sarışık, A., Gökay, M.K. (2013) Investigation the glazability of dimension andesites with glaze coating materials containing boron minerals in construction sector. *Materials and structures*. 46, 1507-1517.

Şentürk, A., Gündüz, L., Tosun, Y., Sarışık, A. (1996) *Marble technology*. Tugra Press, Isparta: pp 242.

TS EN 1936, 2010, Doğal Taşlar-Deney yöntemleri-Gerçek yoğunluk, görünür yoğunluk, toplam ve açık gözeneklilik tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS EN 13755, 2009, Doğal Taşlar-Deney metotları-Atmosfer basıncında su emme tayin Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS EN 14579, 2006, Doğal Taşlar-Deney metotları-Ses hızı ilerlemesinin tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS EN 1926, 2007, Doğal Taşlar- Deney Metotları-Basınç Dayanımı Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS EN 13161, 2009, Doğal Taşlar-Deney Metodları-Sabit Moment Altında Eğilme Dayanımının Tayini Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS EN 14158, 2004, Doğal taş deney metotları- Kopma enerjisinin tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

Vannan, S. E., Vizhian, S. P. 2014. “Microstructure and Mechanical Properties of as Cast Aluminium Alloy 7075/Basalt Dispersed Metal Matrix Composites”, Journal of Minerals and Materials Characterization and Engineering, 2, 182-193.

Vichaphund, S., Somton, K., Wonglom, T., Rodchom, M., Atong, D. 2016. “Utilization of Basalt Fibers as a Raw Material for Clay Ceramic Production”, Ceramics-Silikáty, 60 (2), 72- 76.

Williams, H., Turner, F.J. Gilbert, C.M. (1982) Petrography:An Introduction to the study of Rocks in Thin Sections Freeman, W.H., and Company. New York: pp.137.