

Mescitli Formasyonu'na (Gümüşhane, Türkiye) ait kumtaşlarının endüstriyel hammadde olarak kullanım potansiyelinin incelenmesi

Investigation of the industrial raw material potential of sandstones from the Mescitli Formation (Gümüşhane, Türkiye)

Serhat DAĞ^{*1} , Mehmet Ali GÜCER¹ , Abdurrahman DOKUZ¹ , Ferkan SİPAHİ¹ 
Halil İbrahim ZEYBEK² , İbrahim ÇAVUŞOĞLU³ , Şener ALİYAZICIOĞLU³ 

¹Gümüşhane Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 29100, Gümüşhane

²Ondokuz Mayıs Üniversitesi, İnsan ve Toplum Bilimleri Fakültesi, Coğrafya Bölümü, 55200, Samsun, Türkiye

³Gümüşhane Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, 29100, Gümüşhane

• Geliş tarihi / Received: 13.05.2025

• Kabul tarihi / Accepted: 01.08.2025

Öz

Doğal zenginliklerin ortaya çıkarılması ve yöresel kayaçların ekonomiye kazandırılarak endüstriyel kullanım alanlarının belirlenmesi günümüzde büyük önem taşımaktadır. Bu çalışmada, Gümüşhane'deki Mescitli Formasyonu kumtaşlarının endüstriyel hammadde olarak kullanım potansiyeli araştırılmıştır. Kumtaşları başlıca monokristalin ve polikristalin kuvars, feldispat, volkanik ve tortul kayaç parçaları, opak mineral, kil matriks ve az oranda bağlayıcı karbonat/silis minerali içermektedir. Grovak (psammit) olarak sınıflandırılan kumtaşlarının kimyasal ayrışma indeksi (CIA) parametresine göre alterasyondan çok fazla etkilenmediği belirlenmiştir. Jeoteknik özellikler açısından, ortalama kuru yoğunluk 2.48 gr/cm³, doymuş yoğunluk 2.54 gr/cm³, gözeneklilik %6.63 boşluk oranı %7.11, ultrasonik P-dalga hızı 4793 m/sn, tek eksenli basınç dayanımı 103.09 MPa ve dolaylı çekme dayanımı 5,86 MPa olarak belirlenmiştir. Donma-çözünme deneyi ile don kaybı %1.19 olarak belirlenmiş, 600-800°C sıcaklıklara kadar ısıtılan kumtaşı numunelerinde ortalama 9.8 gr ve 17.9 gr kütle kaybı gözlenmiştir. Aynı sıcaklık koşullarında kumtaşlarının dayanımının sıra ile %7.64 ve %15.17 oranında azaldığı görülmüştür. Hücre Sitotoksiste analizlerinde toksik etkiye rastlanmamıştır. Sonuçlar, kumtaşlarının günlenmeye maruz kalacak alanlarda kullanım için uygun olmadığı, bina içyapı ve dekoratif amaçlı kaplamalarda kullanılabileceğini göstermiştir. Sıcaklık dayanımı ve hücre sitotoksiste analizleri ise kumtaşlarının ızgara taşı olarak kullanılabileceğini ortaya koymuştur.

Anahtar kelimeler: Endüstri, Gümüşhane, Hammadde, Jeokimya, Jeoteknik, Kumtaşı

Abstract

The identification of natural resources and the evaluation of the local rocks for the industrial applications by the contribution to the economy have gained significant importance today. In this study, the potential use of sandstones from Mescitli Formation (Gümüşhane) as industrial raw material was investigated. The sandstones consist mainly of monocrystalline and polycrystalline quartz, feldspar, volcanic and sedimentary rock fragments, opaque minerals, matrix (clay) and minor amounts of cement (carbonate/silica minerals). The sandstones are classified as graywacke (psammite) and were determined to be minimally affected by alteration based on chemical alteration index (CIA) parameter. The geotechnical properties include average dry density of 2.48 g/cm³, saturated density of 2.54 g/cm³, porosity of 6.63%, void ratio of 7.11%, ultrasonic P-wave velocity of 4793 m/s, uniaxial compressive strength of 103.09 MPa, and indirect tensile strength 5,86 MPa. Frost loss was determined as 1.19% by freeze-thaw test, and an average mass loss of 9.8 g and 17.9 g was observed in sandstone samples heated up to 600-800°C. Under the same temperature conditions, the strength of the sandstones decreased by 7.64% and 15.17%, respectively. No toxic effects were observed in cell cytotoxicity analyses. The results suggest that Mescitli sandstones were not suitable for use in areas exposed to sunlight but could be used in building interiors and decorative coatings. Temperature resistance and cell cytotoxicity analyses indicated that sandstones could be used as grill stones.

Keywords: Industry, Gümüşhane, Raw material, Geochemistry, Geotechnical, Sandstone

*Serhat DAĞ; serhatdag25@gmail.com

1. Giriş

1. Introduction

Kayaçlar, geçmişten günümüze dayanıklılık özellikleri nedeniyle en fazla kullanılan doğal malzemeler arasında yer almakta ve özellikle yapı sektöründe sütun, iç kaplama, ıslak ve kuru zemin döşemeleri ile dış cephe kaplamaları gibi çeşitli amaçlarla yaygın bir şekilde değerlendirilmektedir. Ayrıca yol ve kaldırım döşemelerinde hem işlenmiş parça taş hem de agrega formunda önemli bir kullanım alanı bulmaktadır. Ancak, her kayaç türü her kullanım alanına uygun olmadığından, kayaçların fiziksel, kimyasal ve mekanik özelliklerine bağlı olarak kullanım yerleri ve biçimleri farklılık göstermektedir.

Doğal taş terimi yer kabuğunda değişik türdeki her tür kayaç için kullanılan genel bir tanımlamadır. Endüstriyel anlamdaki doğal taş ise yasal izin ile üretilerek, işlenmeden veya işlenerek, boyutlandırılmadan veya boyutlandırılarak işlem gören kayaçlar için kullanılmaktadır (Kaygısız, 2010). Örneğin yapılarda kaplama olarak kullanılacak kayaçlarda, atmosfer etkilerine karşı dayanım, basınç, eğilme, aşınma dayanımları, işlenebilirlik özelliği ve estetik görünüm aranmaktadır (Yüzer & Angı, 2007). Kayaçların boyutları ile jeokimyasal ve jeoteknik özellikleri kullanım alanlarının belirlenmesinde önemli faktörler arasında yer almakta olup kullanılacağı yere ve amaca göre değişmektedir (Yüzer vd., 2008).

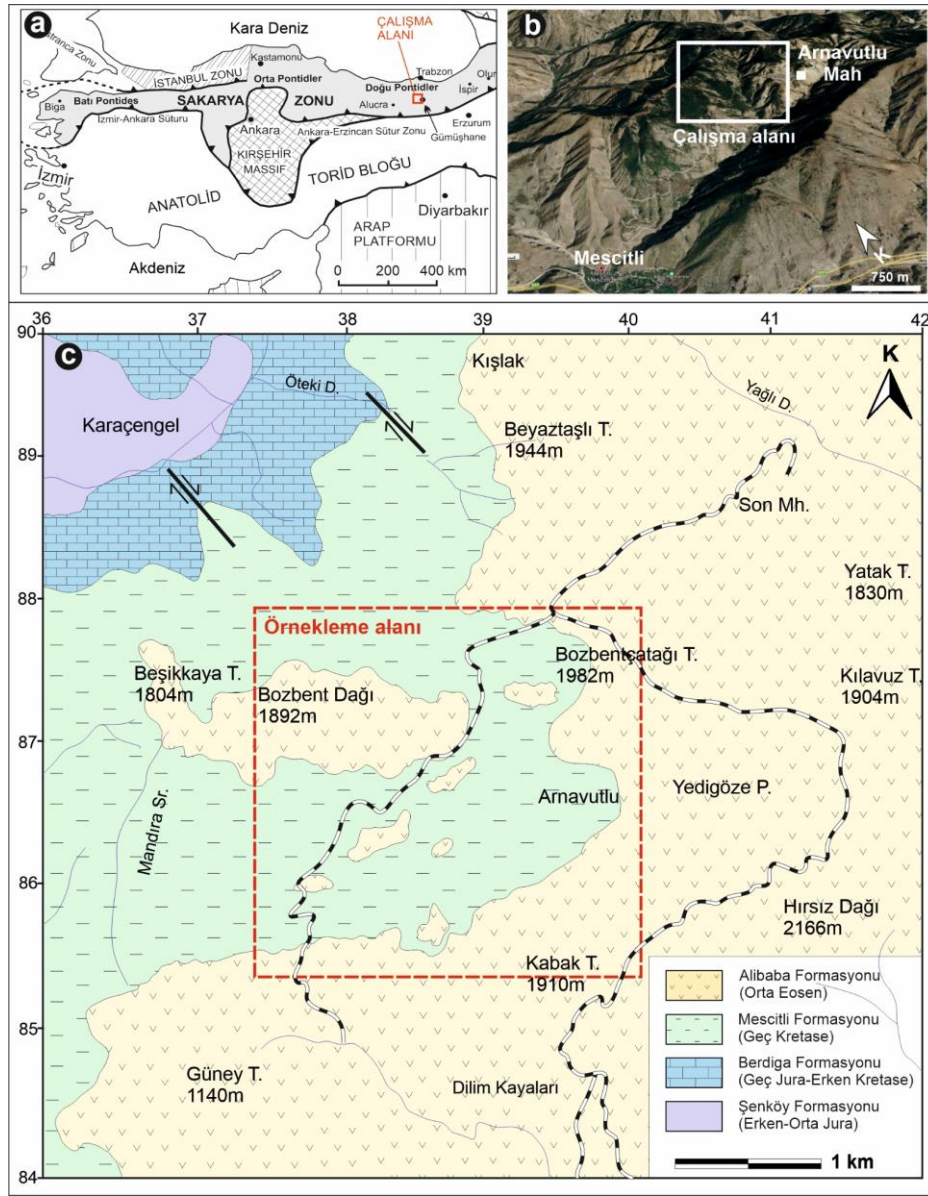
Bir magmatik kayaç türü olan granit, andezit ve bazalt gibi kayaçlar nispeten sert olup, asit ve aşınmaya karşı oldukça dayanıklıdır. Koyu rengi, iyi cila tutması ve kesilebilir gibi özellikleri ile geniş bir kullanım alanına sahiptir (Uz, 1990). Bazalt endüstri alanında en fazla mermer, taş ve parke, dekoratif kaplama, agrega, asfalt malzemesi, izolasyon malzemesi, hafif beton, kaya yünü, balast ve tras gibi kullanım alanlarına sahiptir (Uz, 1990; Kulaksız, 2007; Yüzer vd., 2008; Koçak, 2011; Kuşoğlu vd., 2012; Kılıç vd., 2015; Taşdemir, 2016; Gökalp vd., 2018; Yıldız vd., 2022). Karbonat bileşimli mermer bazalta ve kumtaşıyla kıyasla daha kolay işlenebilmektedir. Kumtaşı ise çeşitli özellikte bağlayıcı (matriks, çimento) içeren sedimanter bir kayaç olup bu özelliği dış görünüm renklerini de etkilemektedir. Kumtaşının bağlayıcısı silis, demir oksit ve karbonattan oluşabilir. Bu durum kumtaşının rengini de belirlemekte olup kullanım alanının belirlenmesinde önemli bir tercih sebebinin oluşturmaktadır. Kırmızı renkli kumtaşları daha çok mimaride, homojen yapıları olanlar ise heykel yapımında kullanılmaktadır (Ulupınar, 2000). Dolayısıyla, endüstriyel alanda çok fazla çalışılmamış olan kumtaşının, endüstrinin birçok farklı alanında yaygın olarak kullanılabilmesi için ayrıntılı çalışılması ve ekonomiye kazandırılması önem arz etmektedir.

Doğal yer altı ve yer üstü kaynaklarının keşfedilip etkin şekilde değerlendirilmesi, ülke ekonomisinin gelişimine ve kalkınmasına önemli katkılar sağlayacaktır. Bu bağlamda, doğal taş madenlerinin bilimsel yöntemlerle incelenmesi ve özelliklerinin anlaşılması, ekonomik katkının artırılmasında kritik bir rol oynamaktadır. Bu çalışma kapsamında, Mescitli Formasyonunda (Güven, 1993; Saydam, 2002) yaygın olarak bulunan kumtaşlarının petrografik, jeokimyasal ve jeoteknik özelliklerinin belirlenmesi ve bu kayaçların endüstriyel kullanım potansiyelinin ortaya konulması amaçlanmıştır. Literatürde endüstriyel hammadde kullanımına yönelik çalışmaların büyük kısmı bazalt, mermer ve tüfit gibi kayaç türlerine odaklanmışken, bu çalışmada farklı olarak Mescitli Formasyonundaki kumtaşları detaylı bir şekilde ele alınarak yeni bir bakış açısı sunulması hedeflenmiştir.

2. Çalışma alanının konumu ve jeolojisi

2. Location and geology of the study area

Çalışma alanı, jeolojik olarak eski bir kıtasal yay konumunda olan Sakarya Zonunun doğu kesiminde yer almakta olup (Şekil 1a; Okay & Tüysüz, 1999) Mescitli Formasyonu'na ait kumtaşları Gümüşhane ili Mescitli Köyü Arnavutlu Mahallesi civarında yüzeyleme vermektedir (Şekil 1b). Jura-Kuvaterner aralığında gelişmiş birimlerin görüldüğü sahada; temeli kırmızı kireçtaşı, killi kireçtaşı, kumtaşı-kiltaşı, andezit-bazalt ve piroklastiklerden oluşmuş volkanotortul karakterli Şenköy Formasyonu (Erken-Orta Jura; Kandemir & Yılmaz, 2009) teşkil etmektedir (Şekil 1c). Bu formasyon, tabanda kömürlü seviyeler içeren konglomera ile başlamakta ve fosilli kırmızı kireçtaşları (*Ammonitico Rosso*) ile devam etmektedir. Üstte doğru volkanik kayaçlar ve piroklastiklerle birlikte volkanijenik çakıltaşı, kumtaşı, silttaşı ve marn ardışımı yer almakta olup andezitler ile son bulunmaktadır.



Şekil 1. a) Türkiye'nin tektonik birlikleri (Okay & Tüysüz, 1999'dan değiştirilerek). b) Çalışma alanının konumu ve c) jeoloji haritası (Şahin, 2014 ve Soysal, 2017'den değiştirilerek alınmıştır).

Figure 1. a) Tectonic units of Turkey (modified from Okay & Tüysüz, 1999); b) Location of the study area; and c) geological map (modified from Şahin, 2014 and Soysal, 2017).

Berdiga Formasyonu (Pelin, 1977), çalışma alanının kuzey batısında yüksek kesimlerde, Şenköy Formasyonu üzerine uyumlu olarak gelmekte ve orta-kalın tabakalı, yer yer masif yapıları birim, tabanda dolomitik kireçtaşları ile başlamaktadır. Üste doğru ise çakıltaşı, kumtaşı ve silttaşı ardışımı ile devam edip, kireçtaşları ile sonlanmaktadır. Alt seviyelere yakın yastık bazaltlar ve kırıntılı kayalar da gözlenmektedir (Dokuz vd., 2017). Şenköy Formasyonu üzerine uyumlu gelen Berdiga Formasyonu, Mescitli Formasyonu (Güven, 1993; Saydam, 2002) altında yer almaktadır.

Mescitli Formasyonu, sahada Berdiga Formasyonu üzerine uyumlu olarak gelmekte olup, ince-orta tabakalı yapısı, açık yeşilimsi rengi ve yumuşak topografyası ile ayırt edilmektedir. Tabanda sarı renkli kumlu kireçtaşları, üzerinde ise kılavuz seviye niteliğindeki kırmızı mikritik kireçtaşları, kırmızı kumtaşı, silttaşı ve marn yer almaktadır. Bunları, tüfit katkılı çakıltaşı, kumtaşı, silttaşı, marn ve kilaşından oluşan türbiditik istif takip etmektedir. Kalınlığı yer yer birkaç yüz metreyi bulan birim, Geç Paleosen-Erken Eosen yaşlı adakitik andezitler tarafından kesilmektedir. Yörede geniş alanlarda mostra veren Orta Eosen yaşlı volkanosedimanter kayalar ise Geç Kretase birimlerini uyumsuz olarak örtmektedir (Güven, 1993; Arslan & Aliyazıcıoğlu, 2001). Orta Eosen yaşlı Alibaba Formasyonu, çalışma alanında Mescitli Formasyonunu uyumsuz olarak üzerlemektedir.

3. Analitik yöntemler

3. Analytical methods

3.1. Arazi çalışmaları ve petrografik tayinler

3.1. Field studies and petrographic determinations

Çalışmanın amacı doğrultusunda Mescitli Formasyonu kumtaşlarından 15 civarında örnekleme yapılmıştır. Ayrıca farklı endüstriyel kullanım alanlarının belirlenmesi açısından yaklaşık 10 yıl ızgara taşı olarak kullanılmış 1 adet ızgara taşı örneği temin edilmiştir. Seçilen taze örneklerden ve ızgara taşı olarak kullanılan kumtaşı örneğinden Gümüşhane Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümünde petrografik tayin amaçlı ince kesitler hazırlanmış ve bunlardan uygun olanları ise jeokimyasal ve jeoteknik analiz amaçlı seçilmiştir. Petrografik kesitlerin incelenmesinde ve görüntülenmesinde LEICA DM-EP polarizan mikroskop ve LEICA DFC295 model kamera kullanılmıştır.

3.2. Tüm-kayaç ana ve iz element analizleri

3.2. Whole-rock major and trace element analyses

Birimi temsilen taze kumtaşlarından ve ızgara taşı olarak kullanılan kumtaşından seçilen 6 adet örnek tüm kayaç jeokimya analizleri SampleSolution Analytical Technology Co., Ltd. (Wuhan, Çin) laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Ana (major) elementler ZSX Primus II marka dalga boyu dağılımlı X-ışını floresans spektrometresi (XRF) yöntemi ile analiz edilmiştir. Test koşulları voltaj: 50kV ve akım: 60mA şeklinde olup analizlerde GBW07101-14 standardı kullanılmıştır. Veriler teorik α katsayısı yöntemiyle düzeltilmiş olup bağıl standart sapma (RSD) %2'den azdır. İz element jeokimya analizleri Agilent 7700e marka İndüktif Eşleşmiş Plazma-Kütle Spektrometresi (ICP-MS) yöntemiyle gerçekleştirilmiştir. Numune hazırlığı için 200 mesh boyutundaki toz örnek 105°C'de 12 saat kurutulmuştur. Kurutulan örnekten 50 mg alınarak üzerine 1 ml HNO₃ ve 1 ml HF eklenmiş, ardından 190°C'de 24 saat bekletilmiştir. Soğutulduktan sonra çözelti buharlaştırılarak kurutulmuş, 1 ml HNO₃ ilave edilip yeniden kurutulmuştur. Daha sonra 1 ml HNO₃, 1 ml saf su ve 1 ml 1 ppm'lik iç standart çözeltisi eklenerek tekrar 190°C'de 12 saat bekletilmiştir. Son olarak elde edilen çözelti %2 HNO₃ ile 100 gr'a seyreltilerek analiz için hazırlanmıştır.

3.3. Jeoteknik analizler

3.3. Geotechnical analyses

Kumtaşlarının fiziksel ve mekanik özellikleri ile sıcaklık sonrası kaya numunelerinin dayanımının nasıl etkilendiğinin belirlemek amacıyla Gümüşhane Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü ile Gümüşhane Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarında çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Kumtaşlarından elde edilen karot numuneler üzerinde fiziksel (su içeriği, yoğunluk, gözeneklilik, boşluk oranı, don kaybı ve ultrasonik p-dalga hızı) ve mekanik özelliklerini belirlemek için (tek eksenli basınç dayanımı ve Brazilian deneyi) çalışmalar gerçekleştirilmiştir.

Jeoteknik özelliklerin belirlenmesine yönelik deneyler için standartlara uygun boyutta ve nitelikte karot örnekleri alınmış ve çeşitli işlem aşamaları ile numunelerin yüzeyleri düzeltilmiştir. Karot alımı ve numunelerin deneye hazır hale getirilmesi işleminde [ISRM \(2007\)](#) tarafından önerilen yöntem dikkate alınmıştır. Sahadan temin edilen kaya bloklardan (Şekil 2) NX tip (karot çapı 54.7 mm) karotiye ile tek eksenli basınç dayanımı testi için L/D oranı (boy/çap) 2.5-3, Brazilian testi için ise T/D oranı (kalınlık/çap) yaklaşık (1/2) olacak şekilde numuneler alınmıştır.

3.4. Hücre Sitotoksiste (XTT) testi

3.4. Cell Cytotoxicity (XTT) test

İn vitro sitotoksiste testleri, canlılarla doğrudan veya dolaylı temas eden malzemelerin toksik etkilerini hücre kültürü ortamında değerlendirmek amacıyla uygulanmaktadır. Hücresel düzeyde morfolojik değişiklikler, hücre lizisi, büyümenin inhibisyonu ve metabolik değişiklikler bu testlerle belirlenebilmektedir. Testler; ekstrakt hazırlama, direkt temas ve indirekt temas yöntemleri olmak üzere üç ana grupta toplanır ([ISO 10993-5, 2009](#)). Ekstraksiyon işlemleri, malzemenin kullanım koşulları dikkate alınarak 37°C'de 24 veya 72 saat ya da 121°C'de 1 saat süreyle gerçekleştirilir. ISO 10993-12'ye uygun olarak hazırlanan ekstraktlar farklı oranlarda seyreltilerek hücre kültürlerine uygulanır. Sitotoksiste;

doğrudan canlı hücre sayımı ya da MTT (Mossman, 1983), XTT (Barltrop vd., 1991) gibi hücre metabolizmasına dayalı indirekt testlerle belirlenir. Bu çalışmada yaygın kullanılan XTT testi tercih edilmiş ve sonuçlar 96 kuyucuklu plakalarda, μ -Quant (BioTek Instruments, Winooski, VT, USA) marka ELISA cihazıyla kantitatif olarak değerlendirilmiştir.

4. Bulgular ve tartışma

4. Results and discussion

4.1. Kumtaşlarının petrografisi

4.1. Petrography of the sandstones

Endüstriyel kullanım potansiyeli için Mescitli Formasyonunda yaygın gözlenen gri-sarımsı gri renkli kumtaşları ve yaklaşık 10 yıl ızgara taşı olarak kullanılmış kumtaşı örnekleri petrografik olarak incelenmiş olup herhangi bir farklılık belirlenmemiştir (Şekil 2a-2b). Kumtaşları petrografik olarak başlıca, monokristalin kuvars (Qm), polikristalin kuvars (Qp), feldispat (alkali feldispat, plajiyoklaz), volkanik ve sedimanter kayaç parçaları (Kp), opak mineral (Opq), tali mineral (olivin, biyotit, muskovit, klorit), matriks ve az oranda çimento (kalsit ve/veya silis) içermektedir (Şekil 2c-2d).

Kuvars mineralleri monokristalin (Qm) ve polikristalin (Qp) olmak üzere iki farklı formda gözlenmektedir. Monokristalin kuvars taneleri çoğunlukla yuvarlak-yarı köşelidir. Kuvars minerallerinin petrografik özellikleri hem volkanik hem de plütonik ve metamorfik kayaç kaynağını işaret etmektedir. Polikristalin kuvars taneleri genellikle köşeli, yarı köşeli ve yarı yuvarlak olup, kristal sınırları süturlu ve düzdür.

Feldispat mineralleri olarak kumtaşlarında alkali feldispat (çoğunlukla ortoklas) ve plajiyoklaz türleri bulunmaktadır. Alkali feldispat mineralleri yarı köşeli-yarı yuvarlak şekillerdedir. Plajiyoklaz mineralleri çoğunlukla albit, nadiren karsbald ikizi sergiler.

Kumtaşlarında yaygın olarak bulunan kayaç parçaları çoğunlukla köşeli-yarı köşeli biçimlerde görülmektedir. Çoğunluğunu volkanik kayaç parçaları oluşturmakla birlikte az oranda sedimanter parçalar da mevcuttur. Sedimanter kayaç parçalarının tamamına yakını kireçtaşları meydana getirmektedir. Sedimanter kayaç parçaları volkanik kayaç parçalarına nispeten daha yuvarlağımsı şekillerdedir.

Kumtaşları içerisinde ağırlıklı olarak amfibol ve mika mineralleri tali mineralleri teşkil etmektedir. Yer yer olivin ve klorit minerallerine de rastlanmaktadır. Genellikle ince taneler halinde ve yuvarlağımsı olan opak mineraller kumtaşları içerisinde dağınık vaziyettedir. İncelenen kumtaşlarında bağlayıcı olarak kil matriks ve çimento (kalsit ve silis) gözlenmekte olup miktarları örnekten örneğe değişiklik sunmaktadır. Ancak kil matriksi genel olarak %30 civarında ve yer yer %40'lara kadar çıkmakta olup çimento bağlayıcı oranı oldukça düşüktür.

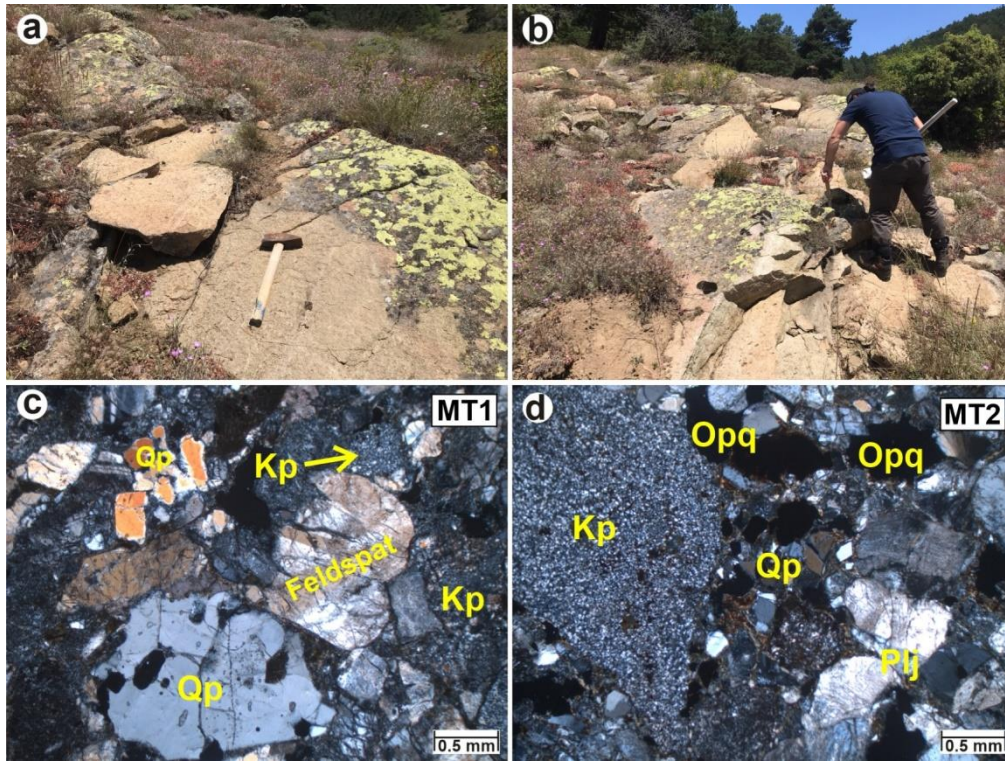
4.2. Kumtaşlarının jeokimyası

4.2. Geochemistry of the sandstones

Kumtaşlarının jeokimyasal bileşimini belirleyebilmek için petrografik çalışmaların yanı sıra tüm kayaç jeokimya analizleri de gerçekleştirilmiş olup sonuçları ve hesaplanan kimyasal alterasyon indeksleri (CIA, CIW, PIA ve Al/Na) Ek Tablo 1'de verilmiştir.

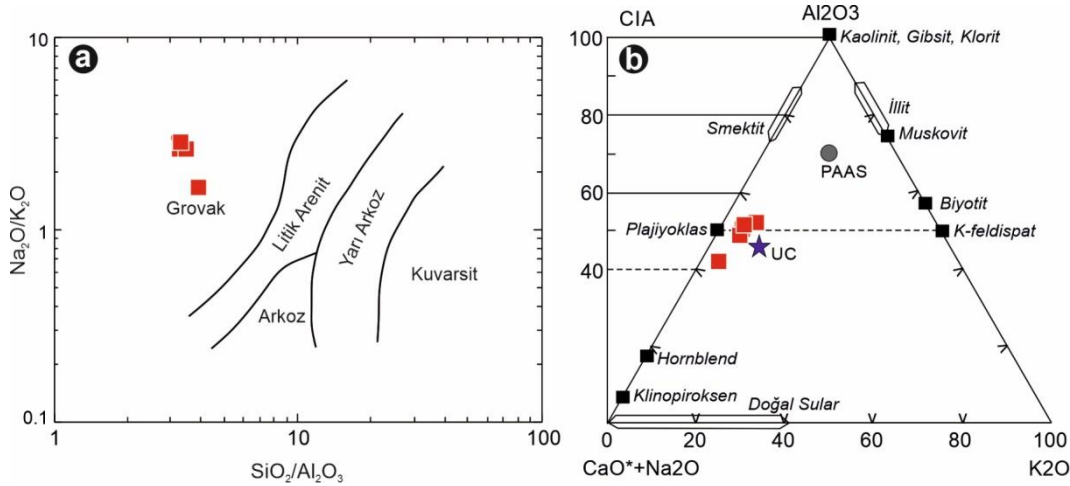
Kayaçların ateşte kayıp (A.K.) değerleri %1.63-5.05 (n=6) arasında değişmektedir. SiO₂ içerikleri (%56.06-64.73) nispeten geniş bir değişim aralığı sergiler. Al₂O₃ ve Fe₂O₃* sırasıyla %16.68-18.49 ve %4.07-5.54 arasında değişmektedir. CaO ve Na₂O içerikleri de nispeten yüksek olup sırasıyla %3.82-8.17 ve %3.72-5.04 arasındadır. Ana oksit içeriklerine göre kumtaşlarının türü grovak (psammit) olarak belirlenmiştir (Şekil 3a).

Kumtaşlarını oluşturan sedimanlar, çökelme havzasına gelmeden önce ve çökelme sonrası kimyasal ayrışmaya maruz kalabilmektedir. Havzaya taşınan kırıntılı sedimanların alkali ve toprak alkali içeriği kaynak alandaki kayaçların alterasyon derecesine bağlı olarak büyük oranda değişmektedir (Nesbitt vd., 1980; Schau & Henderson, 1983; Reimer, 1985). Yüzeysel bozunma ve alterasyon, kırıntılı sedimanter kayaçların petrokimyasalını önemli ölçüde etkileyen sedimanter süreçlerin başında gelmektedir.



Şekil 2. Mescitli Formasyonuna ait kumtaşlarının a-b) saha ve c-d) mikroskopik görünüşleri. Kp: Kayaç parçası, Qp: Polikristalin kuvars, Opq: Opak mineral

Figure 2. a-b) field and c-d) microscopic views of sandstones from Mescitli Formation. Kp: Rock piece, Qp: Polycrystalline quartz, Opq: Opaque mineral



Şekil 3. Mescitli kumtaşlarının sınıflama diyagramları. a) $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$ ve $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ (Pettijohn vd., 1972), b) $\text{Al}_2\text{O}_3 - (\text{CaO}^* + \text{Na}_2\text{O}) - \text{K}_2\text{O}$ (A-CN-K) (Nesbitt & Young, 1984) diyagramları.

Figure 3. Classification diagrams of Mescitli sandstones. a) $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$ vs $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ (Pettijohn et al., 1972), b) $\text{Al}_2\text{O}_3 - (\text{CaO}^* + \text{Na}_2\text{O}) - \text{K}_2\text{O}$ (A-CN-K) (Nesbitt & Young, 1984) diagrams.

Feldspat gibi minerallerde kimyasal ayrışma süreçlerinde Ca^{+2} , K^+ ve Na^+ kaybı yaşanarak bu elementler feldispatların bünyesinden ayrılarak yeni kimyasal koşullarında duraylı minerallere dönüşürler. Bu nedenle de ayrışma ürünlerinde alkali elementlere karşı alümina oranı tipik olarak artar (Nesbitt & Young, 1982; Fedo vd., 1995). Dolayısıyla, ana element bileşimindeki değişimler genellikle kimyasal ayrışma indeksi (CIA) olan $\text{Al}_2\text{O}_3 - (\text{CaO} + \text{Na}_2\text{O}) - \text{K}_2\text{O}$ jeokimyasal sisteminde değerlendirilmektedir (Nesbitt & Young, 1984). Kırıntılı sedimanter kayaçların ayrışma derecesi de en çok kabul gören ayrışma indeksinden biri olan CIA (Chemical Index of Alteration) kimyasal alterasyon indeksi ile belirlenmektedir (Nesbitt & Young, 1982, 1984).

Mescitli kumtaşlarının CIA değerleri 42 ile 52 arasında değişmektedir (Ek Tablo 1). CIA değerleri ile A-CN-K [$Al_2O_3 - (CaO^* + Na_2O) - K_2O$] ana oksit ilişkisi değerlendirildiğinde kumtaşlarındaki plajiyoklazların az da olsa ayrışma gösterdiği belirlenmiştir (Şekil 3b). Bu durum örneklerin düşük dereceli yüzeyel bozunma geçirdikleri desteklemektedir.

4.3. Kumtaşlarının jeoteknik özellikleri

4.3. Geotechnical characteristics of sandstones

4.3.1. Fiziksel özellikler

4.3.1. Physical characteristics

4.3.1.1. Su içeriği, yoğunluk, gözeneklilik ve boşluk oranı

4.3.1.1. Water content, density, porosity and void ratio

Kumtaşlarının fiziksel özelliklerini belirlemek amacıyla, [ISRM \(2007\)](#) tarafından önerilen yöntemler dikkate alınarak su içeriği, yoğunluk, gözeneklilik ve boşluk oranı parametreleri deneysel yöntemlerle belirlenmiştir. Bu kapsamda, 54.7 mm çapında karotiyer ile alınmış karot numuneler suya doygun hale getirilmiş ve ardından etüvde 105 °C’de 24 saat boyunca kurutulmuştur. Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda kumtaşlarının ortalama kuru yoğunluğu 2.48 gr/cm³, ortalama doygun yoğunluğu 2.54 gr/cm³, gözenekliliği %6.63 ve boşluk oranı %7.11 olarak hesaplanmıştır (Tablo 1).

Tablo 1. Kumtaşlarına ait fiziksel özellikler

Table 1. Physical parameters of sandstones

No	Çap (mm)	Boy (mm)	Hacim (cm ³)	Doygun Kütle (gr)	Kuru Kütle (gr)	Doygun Yoğunluk (gr/cm ³)	Kuru Yoğunluk (gr/cm ³)	Gözeneklilik (%)	Boşluk Oranı (%)
1	54	135.5	310.325	797.7	780.2	2.57	2.51	5.64	5.98
2	54	138.5	317.196	790.1	765	2.49	2.41	7.91	8.59
3	54	136.1	311.699	786.4	761.9	2.52	2.44	7.86	8.53
4	54	137	313.76	806.1	787.4	2.57	2.51	5.96	6.34
5	54	138	316.051	808.5	790.3	2.56	2.50	5.76	6.11
Ort.	54	137.02	313.806	797.8	776.9	2.54	2.48	6.63	7.11

4.3.1.2. Donma çözünme (F-T döngüsü)

4.3.1.2. Freeze-thaw (F-T cycle)

TS 699 ve TS EN 12371’ye göre bir doğal taşın don sonrası kütle kaybını belirleyebilmek için donma-çözünme deneyi gerçekleştirilmiştir. Alınan karot numuneler 20°C sıcaklıktaki suda en az 12 saat bekletilerek suya doygun hale getirilmiş ve sudan çıkarılarak soğutma hızı 4 saatte -20 °C’ye ulaşacak şekilde donma-çözünme kabineye yerleştirilmiştir. En az 12 saat bekletilen numuneler alınarak tekrar 20 °C sıcaklıktaki suda erime işlemleri için 12 saat bekletilmiştir. 10 kez tekrarlanan çevrim bir döngü olarak değerlendirilmiştir. Yörenin iklim koşulları dikkate alınarak 25 çevrimin uygun görülmesi ile birlikte, çalışmada numunelere toplam 30 çevrim donma-çözünme işlemi uygulanmıştır ([Dağ vd., 2021](#)). Bu deneysel uygulama sonucunda, Mescitli kumtaşlarının her 10 çevrim sonunda donma sonrası kütle kaybı değerleri belirlenmiştir.

Yapılan çalışmada bir döngü sonrasında donma-çözünme kabininden alınan numunelerin boy, çap ve kütlelerindeki değişimleri ölçülmüştür (Tablo 2). Toplam değişimlerin hesaplanması için numuneler 3 döngüye tabi tutulmuştur. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde başlangıçtaki numunelerin kütle ve boylarında 3. döngü sonrası bir fark oluşmuştur. 1 nolu numunenin başlangıçtaki boy değeri 140.5 mm iken 3. döngü sonunda 139.4 mm şeklinde gerçekleşmiştir. Benzer şekilde aynı numunenin kuru kütlesi 785.4 gr iken 3. döngü sonunda kütlesi 773.8 gr olarak gerçekleşmiştir. Diğer numunelerde de benzer boy ve kütle kayıpları gerçekleşmiştir.

Tablo 2. Donma-çözünme (F-T) deney sonuçları**Table 2.** Freeze-thaw (F-T) test results

	Numune	Boy (mm)	Çap (mm)	Kuru kütle (gr)	Don Kaybı (%)	Ortalama
Başlangıç	1	140.5	54	785.4	-	-
	2	141	54	800.2	-	
	3	142	54	808.9	-	
1. Döngü (10 Çevrim)	1	140	54	778.6	0.86	0.80
	2	140.5	54	793.2	0.87	
	3	141.5	54	803.4	0.68	
2. Döngü (20 Çevrim)	1	139.7	54	777.7	0.98	0.91
	2	140.2	54	792.3	0.98	
	3	141	54	802.6	0.78	
3. Döngü (30 Çevrim)	1	139.4	54	773.8	1.48	1.19
	2	139.8	54	790.9	1.16	
	3	140.7	54	801.3	0.94	

4.3.1.3. Ultrasonik P-dalga hızı**4.3.1.3. Ultrasonic P-wave velocity**

Ultrasonik P- dalga hızı yöntemi ucuz, hasarsız, kolay ve güvenilir olması nedeniyle hem laboratuvar hem de arazi koşullarında beton ve kayaç numunelerinin mekanik (dayanım) özelliklerini değerlendirmek için maden, inşaat ve jeoteknik mühendisliğinde son yıllarda kullanılan en yaygın tekniklerden birisidir. Yöntem; kayaç içerisinden geçirilen ultrasonik dalga boyu hızının ölçülmesi esasına dayanmaktadır (Şekil 4).

**Şekil 4.** Ultrasonik dalga boyu hızının ölçülmesi**Figure 4.** Measurement of ultrasonic wavelength velocity

Deney sonuçlarının güvenilirliği için, karot örneklerinin alt ve üst yüzeyleri pürüzsüz hale getirilmiş, çap (D) ve boy (L) ölçümleri kumpasla dik iki yönde 0.1 mm hassasiyetle yapılmıştır. Numuneler 105 °C’de en az 12 saat kurutulmuş, ardından 30 dakika desikatörde bekletilerek 0.01 g hassasiyetindeki teraziyle kuru kütleleri belirlenmiştir. Deney cihazı, kalibrasyon aparatıyla kalibre edilmiş; gönderici ve alıcılarla tam temas sağlamak için numune tabanlarına ince jel tabakası uygulanmıştır. Ölçümler sonucu cihazdan P-dalgasının geçiş süresi mikrosaniye (µs) cinsinden okunmuş, bu değerler kullanılarak numunelerin P-dalga hızı (Vp) hesaplanmış (1) ve sonuçlar Tablo 3’te sunulmuştur. Yapılan ultrasonik P-dalga hızı deneyinde 5 adet numunenin ortalama geçiş süresi 28.6 µs, UPV değeri ise 4793 m/s olarak belirlenmiştir.

$$V_p = S / t \text{ (m/s)} \quad (1)$$

(S: numune boyu (mm), t: geçiş süresi (µs))

Tablo 3. Ultrasonik deney sonuçları**Table 3.** Ultrasonic test results

No	Geçiş Hızı (μs)	Boy (mm)	UPV (m/s)
1	27.1	135.5	5000
2	30.6	138.5	4526
3	30.4	136.1	4477
4	27.7	137	4946
5	27.5	138	5018
Ortalama	28.6	137.02	4793

4.3.2. Mekanik özellikler

4.3.2. Mechanical characteristics

4.3.2.1. Dolaylı çekme dayanımı (Brazilian) deneyi

4.3.2.1. Indirect tensile strength (Brazilian) test

Numunelerin çekme dayanımlarını belirleyebilmek için [ISRM \(2007\)](#) tarafından önerilen yöntem esas alınarak kalınlıkları yaklaşık olarak yarıçaplarına eşit ($L/D = 1/2$), numune çapları ise en az 54.7 mm (NX) olacak şekilde ayarlanmıştır. Numune yüzeyleri birbirine paralel ve düşey eksene dik, numune alt ve üst yüzeyleri ise 0.25 mm içinde düzgün hale getirilmiştir. Bu örnekler Brazilian test kiti ile deneye tabi tutulmuştur ve deney sonuçları Tablo 4'te verilmiştir.

4.3.2.2. Tek eksenli basınç dayanımı

4.3.2.2. Uniaxial compressive strength

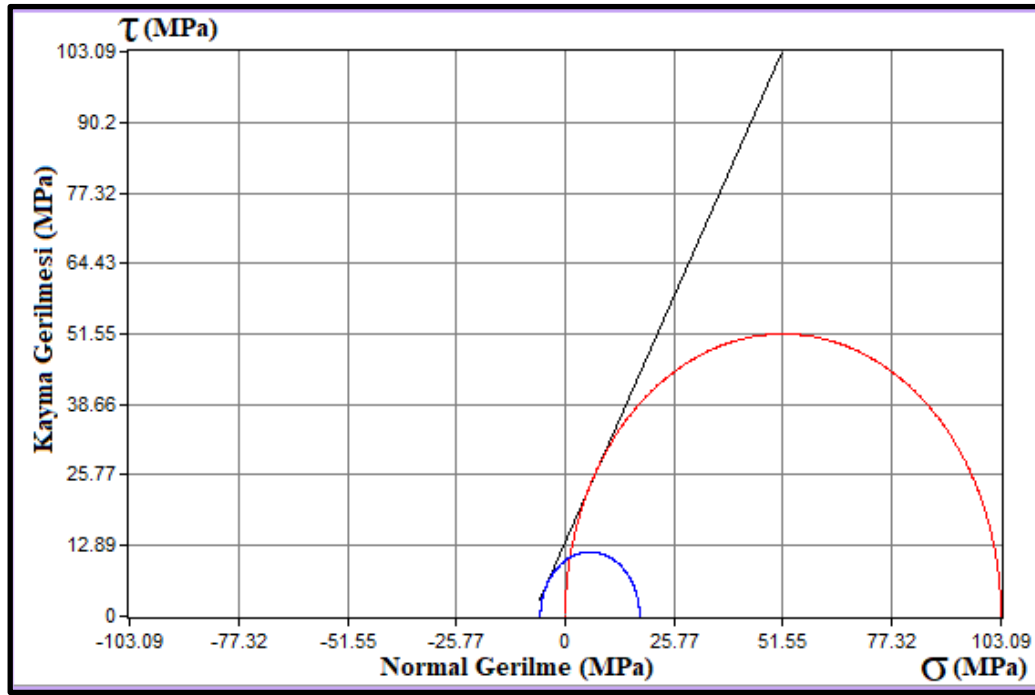
[ISRM \(2007\)](#) tarafından önerilen yöntemde tek eksenli basınç dayanımı deneyi boy/çap (L/D) oranı: 2.5-3.0 olan NX çaplı (54.7 mm) silindirik karot numuneleri üzerinde gerçekleştirilmiştir. Numuneler standartlara uygun kalibre edilmiş pres cihazında deneye tabi tutulmuş ve elde edilen sonuçlar Tablo 4'te sunulmuştur.

Kaya numunelerinin kohezyon ve içsel sürtünme açısı değerleri ise tek eksenli basınç dayanımı ve dolaylı çekme dayanım değerleri yardımıyla Mohr zarfı oluşturularak dolaylı yönden tayin edilmiştir ([Karakul & Ulusay, 2012](#); Tablo 4).

Tablo 4. Tek eksenli basınç dayanımı ve brazilian deney sonuçları ile içsel sürtünme açısı ve kohezyon değerleri**Table 4.** Uniaxial compressive strength and brazilian test results, internal friction angle and cohesion values

No	Çap (mm)	Boy (mm)	Tek eksenli kırılma yükü (kN)	Brazilian kırılma yükü (kN)	Tek eksenli basınç dayanımı (MPa)	Dolaylı çekme dayanımı (MPa)	Kohezyon (MPa)	İçsel sürtünme açısı (derece)
1	54.7	135.5	188.3	14.06	82.219	6.139	11.09	59.12
2	54.7	138.5	220.9	9.52	96.454	4.157	9.14	64.58
3	54.7	136.1	225.1	13.67	98.287	5.967	11.71	61.51
4	54.7	137	278.4	15.27	121.560	6.668	13.57	62.53
5	54.7	138	267.8	14.63	116.932	6.386	13.01	62.57
Ort.	54.7	137.02	236.1	13.42	103.09	5.863	11.7	62.06

Sonuçlar incelendiğinde kumtaşlarının tek eksenli basınç dayanımı ortalama değeri 103.09 MPa, dolaylı çekme dayanımı (Brazilian) ortalama değeri 5.863 MPa olarak belirlenmiş, kohezyon ve içsel sürtünme açıları değerleri ise bu değerlerden hareketle Mohr dairelerinin ortak teğetinden 11.7 MPa ve 62.06° şeklinde tayin edilmiştir (Şekil 5).



Şekil 5. Tek eksenli basınç dayanımı ve brazilian çekme dayanımı ortalama değerlerinden hareketle çizilen Mohr daresi

Figure 5. Mohr circle drawn from the average values of uniaxial compressive strength and Brazilian tensile strength

4.3.3. Isıtılmış numunelerin fiziksel ve mekanik değişimleri

4.3.3. Physical and mechanical changes of heated samples

Mescitli kumtaşlarından alınan 6 ayrı karot örneğinin 3'ü 600°C, diğer 3'ü ise 800°C sıcaklığa ayarlanan kül fırınında 2 saat bekletilerek kütle kaybı ve mekanik değişimleri belirlenmiştir. Ölçümler öncesi ve sonrası kütle değişimleri Tablo 5'te sunulmuştur. Aynı sıcaklıklarda ısıtılan numunelerde farklı kütle kayıpları gözlemlenmiş olup 600°C ısıtılan 3 numunenin ortalama kütle kaybı 9.8 gr, 800°C'de ısıtılan 3 numunenin ortalama kütle kaybı ise 17.9 gr olarak gerçekleşmiştir.

Tablo 5. Isıtma öncesi ve sonrası kütle değişimleri

Table 5. Mass changes before and after heating

Sıcaklık (°C)	Numune No	En (mm)	Boy (mm)	Kuru kütle (gr)	Isıtma Sonrası Kütle (gr)	Kütle kaybı miktarı (gr)	Ortalama kütle kaybı değeri (gr)
600	I-1	54	139.3	780.1	769.8	10.3	9.8
	I-2	54	138	765.3	756	9.3	
	I-3	54	138.9	770.1	760.2	9.9	
800	I-4	54	140.3	779.7	766.1	13.6	17.9
	I-5	54	139.8	782.3	765.9	16.4	
	I-6	54	138	793	769.2	23.8	

Numuneler 105°C sıcaklıkta 24 saat kurutularak ultrasonik hız deneyi yapılmış ve 6 kumtaşı numunesinin başlangıç P dalga hızı değerleri belirlenmiştir. Sonrasında bu numunelerden ilk 3'ü 600°C, sonraki 3'ü 800°C sıcaklığa maruz bırakılmış ve dalga hızı değerleri her bir numune için yeniden belirlenmiştir. Son olarak bu örnekler tek eksenli basınç dayanım deneyine tabi tutularak kırılma yükleri belirlenmiş ve sıcaklık sonrası basınç dayanımları hesaplanmıştır (Tablo 6). Elde edilen sonuçlar, örneklerin kül fırınında ısıtılması sonrası UPV (ultrasonik) değerlerinde belirgin düşüşler yaşandığını göstermiştir. Örneğin 600°C'de ısıtılan ilk 3 numunen başlangıçta ortalama UPV değeri 4674.4 m/s iken ısıtılma sonrası UPV değeri 2964.3 m/s olarak ölçülmüştür. Benzer şekilde 800°C'de ısıtılan diğer 3 numunenin kül fırınında ısıtılmadan önceki ortalama UPV değeri 4765.4 m/s iken ısıtılma sonrası UPV değeri 2129.9 m/s olarak belirlenmiştir. Bu durum ısı değeri arttıkça ultrasonik değerinin önemli oranda düştüğünü göstermiştir. Kül fırınında ısıtılan numunelerin tek eksenli basma dayanımı değerlerinin ise kül fırınında ısıtılmadan önceki ortalama değerden (103.09

MPa) (Tablo 6) düşük olduğu görülmüştür. Dolayısıyla ısıtılan numunelerin dayanım değerlerinde ısıtılma sonrasında bir düşüş gözlemlenmiştir.

Tablo 6. Başlangıç ve ısıtma sonrası UPV ve tek eksenli basınç dayanım değerleri
Table 6. Initial and post-heating UPV and uniaxial compressive strength values

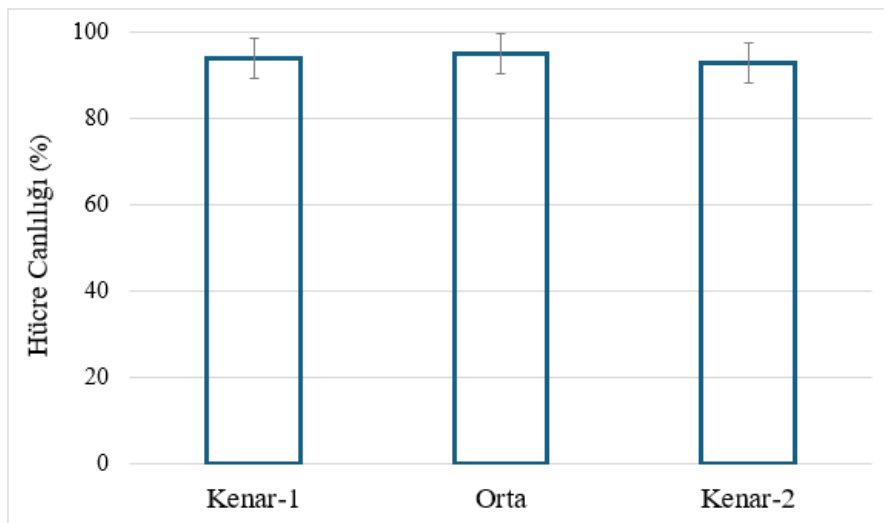
Deney	Başlangıç	600 °C	800 °C
Tek eksenli basınç dayanımı (MPa)	103.09	95.77	89.51
P-dalga hızı (m/s)	4674.4	2964.3	2129.9

4.4. Kumtaşlarının Hücre Sitotoksosite özellikleri

4.4. Cell Cytotoxicity characteristics of sandstones

Hücre Sitotoksosite (XTT) testi öncesinde, her bir kuyucuğa 105 adet L929 fibroblast hücresi içerecek şekilde 12’li plaklara 1000 µl kültür ortamı eklenerek hücre ekimi gerçekleştirilmiştir. Hücrelerin yüzeye tutunmalarını sağlamak amacıyla plaklar, 24 saat boyunca 37°C sıcaklıkta ve %5 CO₂ atmosferinde inkübasyona bırakılmıştır. Bu işlem sayesinde, tripsin enziminin hücre zarındaki yapısal proteinler ve büyüme faktörü reseptörleri üzerindeki olumsuz etkilerinden kaçınılmıştır. Bu moleküllerin yeniden sentezlenebilmesi için yaklaşık bir günlük süre gereklidir (Huang vd., 2010). İnkübasyonun ardından, yaklaşık 10 yıl ızgara olarak kullanılmış olan kumtaşından alınan üç farklı bölge örneği (1. grup sütun kenar-1, 2. grup sütun orta ve 3. grup sütun ise kenar-2) toz haline getirilmiş ve ayrı gruplar oluşturularak hücrelerle temasa geçirilmiştir. Materyaller eklendikten sonra hücreler tekrar 24 saat süreyle inkübe edilmiştir. Test öncesinde eski besi ortamı uzaklaştırılıp her kuyucuğa 1000 µl taze ortam ilave edilmiştir. 72. saatin sonunda XTT çözeltisi uygulanarak, her gruptan 5 tekrar olacak şekilde 12’li plaklar üzerinden ELISA cihazıyla absorbans ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Reaktif karışım, işaretleme ve aktivasyon bileşenlerinin 50:1 oranında birleştirilmesiyle hazırlanmıştır.

Canlı hücrelerde mitokondrideki dehidrogenaz enzimlerinin etkisiyle XTT, suda çözünür formazana dönüşür. Bu reaksiyon sonucunda oluşan turuncu renk, hücrelerin metabolik aktivitesine paralel olarak artar. Ölçüm için elde edilen çözelti, 96 kuyucuklu plaklara alınarak absorbans değerleri 490 nm dalga boyunda ve 630 nm referans filtresi kullanılarak değerlendirilmiştir. Elde edilen optik yoğunluk (OD) verileri, kontrol grubu ile kıyaslanarak yüzde canlılık oranı hesaplanmıştır. Gruplar arası karşılaştırma, Mann-Whitney testi ile yapılmış ve p<0.05 değeri istatistiksel anlamlılık olarak kabul edilmiştir. Tüm deneysel uygulamalar üç kez tekrar edilerek ortalama ± SD biçiminde sunulmuştur. Şekil 6’da, üç farklı materyalin 72 saat sonunda L929 hücrelerinin canlılık düzeyleri üzerindeki etkisi, XTT indirgenme yöntemi ile grafiksel olarak gösterilmiştir. Sonuçlara göre, materyal grupları arasında anlamlı bir sitotoksik etki farkı gözlenmemiştir.



Şekil 6. Materyallerin 72. saat sonunda L929 hücre canlılığına etkisinin XTT redüksiyonu ile değerlendirilmesi

Figure 6. Evaluation of the effect of the materials on L929 cell viability at the end of 72 hours by XTT reduction

5. Sonuçlar ve öneriler

5. Conclusions and recommendations

Mescitli Formasyonuna (Gümüşhane, Türkiye) ait kumtaşının endüstriyel hammadde olarak kullanım potansiyelini belirleyebilmek amacıyla seçilen örneklerin petrografik, jeokimyasal ve jeoteknik verileri ile hücre sitotoksosite değerleri ışığında aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

- Kumtaşlarının başlıca monokristalin kuvars (Qm), polikristalin kuvars (Qp), feldispat (alkali feldispat, plajiyoklaz), volkanik ve sedimanter kayaç parçası (Kp), opak mineral (Opq), tali mineral (olivin, biyotit, muskovit, klorit), matriks (kil) ve çimento (kalsit ve silis) bileşiminde, petrografik ve jeokimyasal özellikleri bakımından grovak (psammit) türünde olup çok az bir kimyasal ayrışma (CIA) gösterdiği tespit edilmiştir.
- Kumtaşlarının ortalama kuru yoğunluğu 2.48 gr/cm^3 , ortalama doymuş yoğunluğu 2.54 gr/cm^3 , gözenekliliği %6.63 ve boşluk oranı %7.11 olarak belirlenmiştir. Mescitli kumtaşı ortalama yoğunluk değerleri TS 2513 ve TS 1910 standartlarında önerilen sınır değerlerinin ($>2.55 \text{ gr/cm}^3$) altında olup ve standartlara uygun değildir. Benzer şekilde kumtaşının gözeneklilik değeri de TS 1910 standartlarında önerilen sınır değerinin (<2) üzerindedir.
- Donma çözünme deneyi ile 30 çevrim sonrasında numunelerde ortalama 1.2 mm'lik boy ve 9.5 gr'lık kütle azalma değişimi gerçekleşmiştir. Don kaybı dikkate alındığında, 30 çevrim sonrasında ortalama don kaybı değeri %1.19 olarak ölçülmüştür. Bu değer TS 2513 ve TS 1910 standartlarında önerilen sınır değerlerinin (<5) altında olup standartlara uygundur.
- Ortalama tek eksenli basınç dayanımı değeri ise 103.09 MPa olarak belirlenmiştir. Bu değer TS 2513 ve TS 1910 standartlarında önerilen sınır değerinin ($>50 \text{ MPa}$) üzerinde olup standartlara uygundur.
- İki farklı sıcaklıkta ($600-800^\circ\text{C}$) kül fırınında 2 saat ısıtılan numunelerin sırasıyla ortalama 9.8 gr ve 17.9 gr kütle kaybı yaşadığı gözlemlenmiştir. $600-800^\circ\text{C}$ sıcaklıklarda kül fırınında 2 saat ısıtılan numunenin dayanım değeri kaybı yaşadığı belirlenmiştir. Belirtilen sıcaklarda ısıtılan numunelerin ısıtma sonrası ortalama dayanım değerleri sırasıyla 95.77 MPa ve 89.51 MPa olarak hesaplanmıştır. Kumtaşı numunelerinin dayanımı her ne kadar azalmış olsa da bu değerlerde ilgili standartlarda belirtilen sınır değerlerinin üzerindedir.
- Izgara olarak kullanılmış kumtaşının canlı hücreler üzerindeki toksik etki oranını ortaya koymak için yapılan çalışmalarda, 72 saat boyunca ve 37°C 'de L929 hücrelerine inkübe edilerek agregasyonu sağlanan 3 grup materyalin hücre canlılığında birbirlerine kıyasla istatistik olarak herhangi bir sitotoksosite tespit edilmemiştir.
- Deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçların TSE standartlarındaki sınır değerleri ile karşılaştırıldığında, tek eksenli basınç dayanımının standartların üstünde olmasına rağmen gözeneklilik değerlerinin yüksek olması nedeniyle, kumtaşının günlenmeye maruz kalacak alanlar için uygun olmayacağı, ancak bina içyapı ve dekoratif amaçlı kaplamalarda kullanılabileceği, sıcaklığa karşı dayanımı ve hücre sitotoksosite analizleri dikkate alındığında ise ızgara taşı olarak kullanılabileceği söylenebilir. Kumtaşlarının heterojen yapısı da göz önünde bulundurulduğunda, gerçekleştirilecek endüstriyel faaliyetin türüne göre kullanılabilir özellikte olduğu ortaya konmuştur.

Teşekkür

Acknowledgement

Bu çalışma Gümüşhane Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (GÜBAP) Koordinatörlüğü tarafından 23.F5114.02.01 proje kodu ile maddi olarak desteklenmiştir. Proje kapsamında, saha çalışmalarındaki yardımları dolayısıyla Kadir SÜNNETÇİ, Jeoloji Yük. Müh. Ekrem SARI, Jeoloji Yük. Müh. Tanju AYDURMUŞ ve Onur KILIÇARSLAN'a teşekkür ederiz. Arazi çalışmalarında endüstriyel hammadde (ızgara taşı) eski işletme alanının belirlenmesi ve örnekleme esnasındaki katkı ve desteklerinden dolayı Ramis BAYIR'a, projenin jeoteknik çalışmaları aşamasındaki katkılarından dolayı Yavuz Selim AKSÜT ve Hücre Sitotoksosite analizinin yapılmasında yardımcı olan Ebru Emine ŞÜKÜROĞLU'na şükranlarımızı sunarız. Ayrıca, makalenin değerlendirme sürecindeki özverili emekleri için editör ve hakemlere de teşekkür ederiz.

Etik beyanı*Declaration of ethical code*

Bu makalenin yazarları, bu çalışmada kullanılan materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel izin gerektirmediğini beyan etmektedir.

Çıkar çatışması beyanı*Conflicts of interest*

Yazarlar herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

Kaynaklar*References*

- Arslan, M., & Aliyazıcıoğlu, İ. (2001). Geochemical and petrological characteristics of the Kale (Gümüşhane) volcanic rocks: Implications for the Eocene evolution of Eastern Pontide arc volcanism, Northeast Turkey. *International Geology Review*, 43, 595-610.
- Barltrop, J. A., Owen, T. C., Cory, A. H., & Cory, J. G. (1991). 5-(3carboxymethoxyphenyl)-2-(4,5-dimethylthiazolyl)-3(4-sulfophenyl) tetrazolium, inner salt (MTS) and related analogs of 3-(4,5-dimethylthiazolyl)-2,5 diphenyltetrazolium bromide (MTT) reducing to purple water-soluble formazans as cell-viability indicators. *Bioorganic & Medicinal Chemistry Letters*, 1(11), 611-614.
- Dağ, S., Alemdağ, S., & Kaya, A. (2021). The effects of freeze-thaw cycles and block size on the use of the Gümüşhane Granitoid Gümüşhane Turkey as building stone. *Arabian Journal of Geosciences*, 14(15), 1-14..
- Dokuz, A., Aydınçakır, E., Kandemir, R., Karslı, O., Siebel, W., Derman, A.S., & Turan, M. (2017). Late Jurassic magmatism and stratigraphy in the Eastern Sakarya Zone, Turkey: Evidence for the slab breakoff of Paleotethyan Oceanic Lithosphere. *The Journal of Geology*, 125, 1-31.
- Fedo, C. M., Nesbitt, H. W., & Young, G. M. (1995). Unravelling the effects of potassium metasomatism in sedimentary rocks and paleosols, with implications for palaeo-weathering conditions and provenance. *Geology*, 23, 921-924.
- Gökalp, İ., Uz, V. E., Saltan, M., & Tutumluer, E. (2018). Technical and environmental evaluation of metallurgical slags as aggregate for sustainable pavement layer applications. *Transportation Geotechnics*, 14, 61-69.
- Güven, İ. H. 1993. Doğu Karadeniz Bölgesi'nin 1/25.000 ölçekli jeolojisi ve komplikasyonu, MTA, Ankara (yayınlanmamış).
- Huang, H. L., Hsing, H. W., Lai, T. C., Chen, Y. W., Lee, T. R., Chan, H. T., Lyu, P. C., Wu, C. L., Lu, Y. C., Lin, S. T., Lin, C. W., Lai, C. H., Chang, H. T., Chou, H. C., & Chan, H. L. (2010). Trypsin-induced proteomealteration during cell subculture in mammalian cells. *Journal of Biomedical Science*, 17, 36.
- ISRM (2007) ISRM, 2007. The Complete ISRM Suggested Methods for Rock Characterization, Testing and Monitoring: 1974-2006. R. Ulusay and J.A. Hudson (eds.), Suggested Methods Prepared by the Commission on Testing Methods, International Society for Rock Mechanics, Compilation Arranged by the ISRM Turkish National Group, Kozan Ofset, Ankara, Turkey, 628 p.
- Kandemir, R., & Yılmaz, C. (2009). Lithostratigraphy, facies, and deposition environment of the lower Jurassic Ammonitico Rosso type sediments (ARTS) in the Gümüşhane area, NE Turkey: Implications for the opening of the northern branch of the Neo-Tethys Ocean. *Journal of Asian Earth Sciences*, 34, 586-598.
- Karakul, H., & Ulusay, R. (2012). Prediction of strength properties of rocks at different saturation conditions from P-wave velocity and sensitivity of P-wave velocity to physical properties. *Hacettepe Earthscience*, 33(3), 239-268 (In Turkish).
- Kaygısız, H. (2010). *Kayseri yöresindeki yapıtaşlarının fiziko-mekanik özelliklerinin belirlenmesi*. Yayınlanmamış yüksek lisans tezi, Çukurova Üniversitesi, Adana.

- Kılıç, A. M., Sakatoğlu S., Kahraman, E., & Yılmaz, M. (2015). Adana ili taş (kalker) işletmelerinde üretilen agreganın il açısından önemi. *TMMOB, Adana Kent Sorunları Sempozyumu-III*, 561-574.
- Koçak, E. (2011). *Kayseri bazaltının yapı taşı olarak kullanım olanaklarının araştırılması*. Yayımlanmamış yüksek lisans tezi, Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, İstanbul.
- Kulaksız, S. (2007). Doğaltaş (Mermer) maden işletmeciliği ve işleme teknolojileri. *TMMOB Maden Mühendisleri Odası*, 1. Baskı, Ankara
- Kuşoğlu, R., Kabakcı, B., & Kadioğlu, Y.K. (2012). Kaya yünü özelliği taşıyan bazaltların jeokimyasal özelliği ve Türkiye'den örnekler. *Uluslararası Katılımlı 5. Jeokimya Sempozyumu*, 209-210.
- Mossman T. (1983). Rapid colorimetric assay for cellular growth and survival: Application to proliferation and cytotoxicity assays. *Journal of Immunological Methods*, 65, 55-63.
- Nesbitt, H. W., & Young, G. M. (1982). Early Proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of lutites. *Nature*, 199, 715-717.
- Nesbitt, H. W., Markovics, G., & Price, R. C. (1980). Chemical processes affecting alkalis and alkaline earths during continental weathering. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 44, 1659-1666.
- Nesbitt, H. W., & Young, G.M. (1984). Prediction of some weathering trends of plutonic and volcanic rocks based on thermodynamic and kinetic considerations. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 48, 1523-1534.
- Okay, A. İ., & Tüysüz, O. (1999). Tethyan sutures of northern Turkey. *Geological Society, London, Special Publications*, 156, 475-515.
- Pelin, S. (1977). *Alucra (Giresun) Güneydogu yöresinin petrol olanakları bakımından jeolojik incelenmesi*, KTÜ Yayınları, 87, 103s, Trabzon.
- Pettijohn, F. J., Potter, P. E., & Siever, R. (1972) Sand and Sandstone. Springer-Verlag, Berlin.
- Reimer, T.O. (1985). Volcanic rocks and weathering in the early Proterozoic Witwatersrand Supergroup, South Africa. *Bulletin of the Geological Society of Finland*, 331, 33-49.
- Saydam, Ç. (2002). *Doğu Pontidler'de Geç Kretase yaşlı kırıntılı çökellerin sedimanter, petrografik ve organik jeokimyasal özellikleri*. Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Schau, M., & Henderson, J.B. (1983). Archean chemical weathering at three localities on the Canadian Shield. *Precambrian Research*, 20, 189-224.
- Soysal, Z. (2017). *Kermutdere formasyonu kumtaşlarının farklı doygunluk ve anizotropi koşullarında fiziksel ve dayanım özelliklerindeki değişimlerin incelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Şahin, K. (2014). *Mescitli (Gümüşhane) ve çevresindeki Eosen yaşlı volkanik kayaçların petrografik, jeokimyasal ve petrolojik özelliklerinin incelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Taşdemir, C. (2016). Agregat tür ve boyutunun betonun dayanımına ve donma - çözülme direncine etkileri. *Agrega Bülteni*, 3, 6-12.
- TS 1910., Kaplama Taşı Olarak Kullanılan Doğal Taşlar Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS 2513., Doğal Yapı Taşları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS 699 (1987). Tabii Yapı Taşları-Muayene ve Deney Metotları, 81 syf, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Ulupınar, Ö. (2000). *Bazı kumtaşı kireçtaşı ve tüflerde kimyasal yöntemlerle sağlamlaştırma üzerine bir araştırma*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi.
- Uz, B. (1990). Ülkemizde sert mermer grubu serpantin- ultrabazikler. *Mermer Dergisi*, 25-27.

- Yıldız, T. D., Gültekin, A. H., & Özdamar, Ş. (2022). Gerede-Kavacık bazaltlarının endüstriyel kullanım alanlarına uygunluğu. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 10, 7-27.
- Yüzer, E., & Angı, S. (2007). Nerede hangi doğaltaş. *Hanlar-Kervansaraylar Geleneksel ve Modern Mimaride Taş Sempozyumu*, 155-164.
- Yüzer, E., Angı, S., & Güngör, Y. (2008). Doğal taş deyince, granitaş taş kültürü yayını, İstanbul.

EKLER
APPENDIX

Ek Tablo 1. Mescitli kumtaşlarının ana (%), iz (ppm) ve nadir toprak element (ppm) içerikleri
Table S1. Major (%), trace (ppm) and rare earth element (ppm) contents of Mescitli sandstones

Örnek	M1-1	M1-2	M1-3	MT-1	MT-2	MT3
SiO ₂	60.19	59.46	59.59	64.73	62.16	56.06
TiO ₂	0.40	0.44	0.43	0.46	0.55	0.43
Al ₂ O ₃	18.28	18.49	18.35	16.68	18.01	17.10
Fe ₂ O ₃ *	4.07	4.64	4.33	4.31	5.54	4.64
MnO	0.09	0.10	0.09	0.07	0.09	0.15
MgO	1.39	1.64	1.48	1.30	1.63	1.68
CaO	4.99	4.50	5.04	3.82	4.49	8.17
Na ₂ O	4.91	5.04	5.01	3.72	4.36	4.44
K ₂ O	1.86	1.79	1.91	2.25	1.66	1.55
P ₂ O ₅	0.10	0.11	0.12	0.11	0.13	0.12
A.K.	2.93	3.40	3.15	2.03	1.63	5.05
Toplam	99.22	99.59	99.50	99.47	100.26	99.39
Li	4.71	3.91	4.61	9.24	6.28	7.71
Be	1.59	1.44	1.76	1.39	1.51	1.47
Sc	10.32	10.20	9.71	13.06	13.11	13.57
V	79.71	88.83	82.70	90.00	115.54	88.82
Cr	7.09	6.12	14.40	17.92	10.44	23.92
Co	12.30	27.08	19.69	14.69	17.65	15.48
Ni	3.65	3.21	7.60	11.59	5.70	12.76
Cu	6.74	7.66	8.23	9.45	9.58	7.76
Zn	54.60	61.18	62.72	53.32	71.26	56.12
Ga	17.75	17.87	17.47	16.63	18.62	17.14
Rb	41.30	40.15	44.94	54.54	35.83	38.23
Sr	388.60	377.64	423.78	270.74	347.21	419.48
Y	14.51	14.16	14.10	16.29	17.82	23.98
Zr	80.62	114.07	112.67	108.69	114.57	99.96
Nb	4.17	4.30	5.32	5.12	4.65	5.51
Sn	0.89	1.00	0.99	1.01	1.07	1.02
Cs	0.74	0.86	1.10	1.11	1.03	1.82
Ba	807.80	644.86	831.76	534.03	936.25	734.35
La	20.52	19.14	33.22	24.51	23.03	29.53
Ce	34.64	32.91	52.10	40.82	34.58	48.61
Pr	3.52	3.35	4.69	4.14	3.89	4.81
Nd	13.35	13.02	15.81	15.37	15.13	17.78
Sm	2.79	2.73	2.83	3.24	3.12	3.67
Eu	1.08	1.05	1.08	1.00	1.10	1.11
Gd	2.66	2.52	2.62	2.90	3.03	3.72
Tb	0.43	0.42	0.44	0.50	0.47	0.59
Dy	2.57	2.58	2.61	2.98	2.94	3.88
Ho	0.53	0.54	0.54	0.63	0.63	0.85
Er	1.58	1.56	1.57	1.75	1.78	2.42
Tm	0.23	0.24	0.22	0.27	0.26	0.36
Yb	1.61	1.68	1.62	1.85	1.76	2.39
Lu	0.25	0.27	0.25	0.29	0.27	0.36

Ek Tablo 1'in devamı
Table S1 continued

Örnek	M1-1	M1-2	M1-3	MT-1	MT-2	MT3
Hf	2.22	2.95	2.95	2.89	2.94	2.65
Ta	0.34	0.42	0.40	0.38	0.35	0.40
Tl	0.31	0.28	0.34	0.38	0.23	0.27
Pb	21.19	21.82	22.02	20.68	20.94	17.80
Th	5.19	4.99	9.11	9.95	4.91	10.74
U	1.72	1.87	2.26	1.82	1.54	1.72
CIA	48.83	50.10	48.51	51.83	51.24	41.77
CIW	51.61	52.88	51.32	56.07	54.00	43.55
PIA	48.69	50.12	48.33	52.16	51.39	41.03
Al/Na	1.62	1.59	1.59	1.95	1.79	1.67

Fe₂O₃*: Fe₂O₃ cinsinden toplam demir. A.K. (Ateşte Kayıp): Toplam uçucu içeriği.

CIA (chemical index of alteration/kimyasal ayrışma indeksi) = molar[(Al₂O₃)/(Al₂O₃+CaO+NaO+K₂O)]x100.

CIW (chemical index of weathering/kimyasal yüzeysel bozunma) = molar[Al₂O₃/(Al₂O₃+CaO+Na₂O)]x100.

PIA (plagioclase index of alteration/plajiyoklaz ayrışma indeksi) = molar[(Al₂O₃-K₂O)/(Al₂O₃+CaO+Na₂O-K₂O)]x100.

Al/Na=molar[(Al₂O₃*0.529251)/(Na₂O*0.741858)].