



Mermer, Granit ve Kompozit Kuvars Mutfak Tezgâhlarının Teknik Özelliklerinin Karşılaştırılması

Comparative Analysis of the Technical Properties of Marble, Granite and Composite Quartz Kitchen Countertops

Aylin Özodabaş^{1*}, Betül Yıldız², Aslı Tayçu³

¹İnşaat Mühendisliği, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, 11100 Bilecik, TÜRKİYE.

²Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, 11100 Bilecik, TÜRKİYE.

³Belenco, 4. Kısım Keçiliköy Organize Sanayi Bölgesi Mah., Ahmet Nazif Zorlu Bulvarı, No:22, Manisa, TÜRKİYE.

Başyuru/Received: 04/04/2024 **Kabul/Accepted:** 24/05/2024 **Çevrimiçi Basım/Published Online:** 30/06/2024

Son Versiyon/Final Version:30/06/2024

Öz

Mutfak tezgâhları, mutfak mekanındaki sabit donatı elemanlarından biri olarak kabul edilmektedir. Mutfak tezgâhlarında mermer, granit gibi doğal taşlar; lake gibi ahşap ürünler ve kuvars ile doymamış polyeester reçine karışımı ile hazırlanan kuvars kompozit tezgâhlar (KKT) gibi mühendislik malzemeleri de yaygın olarak kullanılmaktadır. Gerçekleştirilen çalışmada mutfak tezgâhlarında sıklıkla kullanılan granit, mermer ve KKT numunelerinden üçer adet ürün seçilmiş ve teknik özellikleri karşılaştırılmıştır. Mermer numuneleri olarak, Marmara Bej; Söğüt Bej, Bilecik Bej; granit numuneleri olarak Ankara Füme, Aksaray Yaylak ve Hisar Gri temin edilmiştir. KKT numuneleri için ise üç farklı markanın mutfak tezgâhları ile çalışılmıştır. Tezgâh numunelerinin mineralojik faz analizleri XRD ile; mikroyapı analizleri SEM ile gerçekleştirilmiştir. Numunelerin porozite, su emme ve yoğunluk değerleri Arşimet prensibine göre ölçülmüş; darbe dayanımı TS-EN 14617-9 standardına göre; kimyasal dayanımları ise EN 14617-10 standardına göre belirlenmiştir. Sonuçlar; mermer numunelerin en düşük darbe ve kimyasal dayanımı; KKT numunelerin ise en yüksek darbe ve kimyasal dayanımı sergilediğini göstermiştir. Çalışmada en düşük yığınsal yoğunluğu ve en düşük su emme ve porozite değerlerini Q-3 kodlu KKT sergilemiştir. Genel olarak en yüksek su emme ve görünür porozite değerleri granit numunelerde saptanmıştır.

Anahtar Kelimeler

“Mutfak tezgâhları, mermer, granit, kuvars, teknik özellikler”

Abstract

Kitchen countertops are considered as essential fixtures within kitchen spaces. Natural stones such as marble and granite, as well as engineered materials like quartz composite countertops, are commonly utilized in kitchen countertops. In the conducted study, three samples each of frequently used granite, marble, and quartz composite countertops were selected and their technical specifications were compared. Marble samples included Marmara Beige, Söğüt Beige, and Bilecik Beige; granite samples comprised Ankara Fume, Aksaray Yaylak, and Hisar Gray; while quartz composite countertop samples were obtained from three different brands. Mineralogical phase analyses of countertop samples were performed using XRD, and microstructure analyses were conducted through SEM. Porosity, water absorption, and density values were measured according to the Archimedes principle; impact resistance was evaluated based on TS-EN 14617-9 standard; and chemical resistances were determined in compliance with EN 14617-10 standard. Results indicated that marble exhibited the lowest impact and chemical resistance, while composite quartz showcased the highest impact and chemical resistance. Among the countertop samples, the Q-3 coded quartz composite countertop displayed the lowest bulk density, water absorption, and porosity values. Generally, granite samples exhibited the highest water absorption and apparent porosity values.

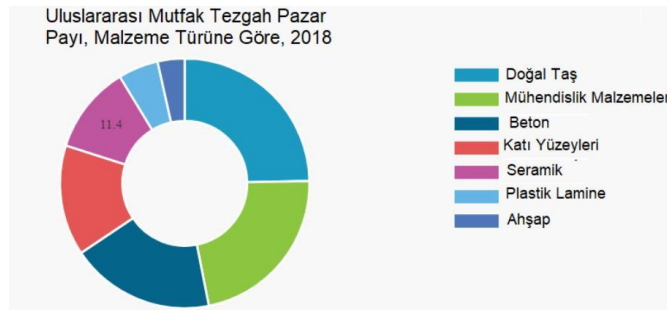
Key Words

“Kitchen countertops, marble, granite, quartz, technical properties”

1. Giriş

Mutfak, yaşadığımız mekânların önemli noktalarından biri olarak kabul edilen, asıl işlevi olan yemek yapmak ve yemenin dışında yaşam tarzına ve mekânın özelliklerine göre çok çeşitli amaçlarla da kullanılabilen, değişik eşyalara ev sahipliği yapan bir mekândır. Bir mutfak tasarımında kullanıcının fizyolojik-psikolojik ihtiyaçları ve alışkanlıklarının yanında, kullanıcı memnuniyeti ve kullanılan malzemelerin özellikleri de önem verilmesi gereken konular arasındadır. Bir mutfak mekânındaki sabit donatı elemanlarında kullanılan malzemelerin özellikleri kullanıcının konforu açısından önemlidir. Bu sabit donatı elemanlarından biri olan tezgâh, mutfakta yer alan eylemlerin birçoğunda etkin olarak kullanılmaktadır. Buna bağlı olarak yanlış malzeme seçiminden doğan kullanım zorluğu ve ortaya çıkan zaman kaybı, kullanıcının aleyhine yaşanan bir durumdur. Ayrıca seçilen malzemenin kalitesi, malzeme ömrünü etkileyen bir faktördür. Tezgâh malzemelerinin ısıya, neme, fiziksel darbelere ve kimyasal maddelere karşı dayanımı kullanışlılığını belirleyen unsurlardır (Tavşan & Küçük, 2013).

Mutfak tezgâhında; ahşap doğrama, paslanmaz çelik, laminant, werzalit, granit, mermer, mermerit, seramik karo, kuvars esaslı kompoze taş ve akrilik esaslı yüzey gibi çok farklı malzemeler kullanılmaktadır (Tavşan & Küçük, 2013). Şekil 1’de uluslararası mutfak tezgâhlarındaki malzeme tüketim esaslı pazar payları paylaşılmıştır. Tezgâh pazarında en büyük payı doğal taş alırken bunu mühendislik malzemeleri takip etmektedir (www.fortunebusinessinsights.com).



Şekil 1. Dünya genelinde tezgâhların çeşitli malzemeler ile kullanılmasının oranları (www.fortunebusinessinsights.com)

Doğal ve yapay taşlar, dayanıklılıkları ve estetik özelliklerinden dolayı döşeme, kaplama ve dekorasyon malzemesi olarak dünya çapında ve ülkemizde yaygın olarak kullanılmaktadır. Mermer, farklı renk ve doku özellikleri, yüksek potansiyeli ve ucuzluğu nedeniyle ıslak zeminlerde ve mutfak tezgâhlarında kaplama malzemesi olarak diğer doğal taşlara göre daha yaygın olarak kullanılmaktadır (Ferreira et al., 2021). Mutfak tezgâhlarında ve yapı elemanlarında kaplama malzemesi olarak kullanılan bu taşların kullanım ömrü boyunca fiziksel, mekanik ve kimyasal etkilere karşı dayanıklı olması gerekmektedir (Çelik & İbrahimoglu, 2021; Akbulut, 2022). Yapay taşlar, taş bileşenleri olarak yaklaşık %90-94 oranında doğal kuvars ve diğer mineralleri içeren polimerik matris kompozitlerdir (Lam Dos Santos et al., 2011). Yapay taşlar arasında en yaygın olarak kullanılanı polyeester bazlı yapay taşlardır, dolgu olarak mikronize kuvars tozu, bağlayıcı olarak da doymamış polyeester reçine kullanılır. Kuvars tezgâhları yüksek sertliği ve kimyasal dayanıklılığı, bulunabilirliği ve çekiciliği nedeniyle tercih edilmektedir (Santos et al., 2019). Doğal taşın farklı tane, tasarım, renk ve doku türlerini ve farklı teknikler kullanılarak üretilir. Genellikler mermer ve granitlerin damar ve dokusu taklit edilir (Leal Da Cruz Silva et al., 2023).

Mermer; kristalize kireçtaşlarının yüksek sıcaklık ve basınç altında değişmesi sonucu oluşan kireçtaşı türüdür (Martin, Schumann, & Dharmapriya, 2022). Doğal taşlar grubunda mermerden sonra gelen önemli doğal taş granittir. Magmatik kökenli bir kayaç olan granit, düşük matris gözenekliliği ve heterojen mineralojisi ile yüksek mekanik mukavemet özelliği gösteren, aynı zamanda sıcaklığın etkilerine karşı da oldukça hassas olan bir malzemedir (Sousa et al., 2005; Pan et al., 2023; Chaki et al., 2008). 400 dereceden sonra ısı işlem uygulanan granit taşının üzerinde üç boyutlu dijital görüntü tekniği ve diğer teknikler ile yapılan analizlere göre yüzeylerde çatlaklar gözlenmiştir (Li et al., 2021; Wu et al., 2020; Ding et al., 2016; Junique et al., 2021). Yüksek sıcaklık uygulaması doğal kayaların mikro ölçekli gözenek yapısını değiştirir ve termal stres yeni mikro çatlakların oluşmasına ve mineralojik değişikliklere yol açar (Ding et al., 2021; Hasan & Reza, 2018; Delle Piane et al., 2015; Junique et al., 2021; Sengun, 2014; Zhang et al., 2017). Granit içeriğindeki tane boyut dağılımının farklılığı da termal etkileri değiştirmektedir (Zhao et al., 2018).

Piyasadaki ticari ürünler incelendiğinde ürün fiyatlarının genelde yüksekten düşüğe doğru KKT, granit ve mermer şeklinde azaldığı görülmektedir. Granit doğal bir malzeme olmasına karşın tercih edilmeme sebebi özellikle renk skalasının kısıtlı olmasıdır. Mermer ise en ekonomik tezgâh malzemesi olmasına karşın en düşük teknik özellikler sergileyen ürünler içerisinde yer almaktadır. Bu durumda kullanıcılar daha dekoratif ürünleri tercih etmektedirler. Ülkemizde hazır kuvars içerikli tezgâh ve kaplama malzemelerinin kullanıcılar tarafından tercih edilmesinden dolayı gündün güne artmaktadır. Granit ve mermer gibi doğal taşlara, yapı malzemesi ve dekorasyon elemanı olarak alternatif olan kompoze taşlar; kuvars yüzeyler, mühendislik taşları ve yapay mermer ya da taş gibi ticari isimler alabilmektedir. Bu tür karma malzemelerin üretimi İtalya kökenli olup, 1960’lı yıllara dayanmaktadır. Özellikle 1990’lı yıllarda Kuzey Amerika’da popüler hale gelmeye başlamıştır (Arıcı et al., 2019). Mutfak tezgâhları üzerine yapılan bilimsel çalışmalar incelendiğinde çalışmaların daha çok mimarlık alanında olduğu gözlenmiştir; kullanıcı tercihlerinin sebeplerinin bu çalışmalarda irdelendiği saptanmıştır. İçmimarlık alanında yapılan çalışmalarda da genel

olarak farklı şehirlerde farklı sosyoekonomik, farklı yaş grubu ve farklı kültürel düzeylerde son kullanıcıların tezgâh malzemelerin teknik özelliklerini karşılaştırmalı olarak nasıl algıladıkları incelenmiştir (Tavşan & Küçük, 2013; Yildirim et al., 2018). Bunların dışında birçok mimari internet sitesinde de mutfak tezgâhları genel olarak birbirleri ile karşılaştırılmakta ancak matematiksel teknik verilere yer verilmemektedir. Literatürde tezgâhların teknik ve estetik özelliklerinin mühendislik anlayışı ile karşılaştırıldığı birkaç tez çalışmasına ulaşılmıştır. Bunlardan Dellaloğlu yaptığı çalışmada laminat, mermerit, mermer ve granit mutfak tezgâhlarının yüzey aşınmasına, kaynar suya daldırmaya, kuru sıcaklığa, çizilmeye, lekelenmeye karşı dayanıklılıkları karşılaştırmıştır. Tez çalışmasında en iyi sonuçlara sahip malzemeler sırasıyla granit, laminat, mermerit, mermer olarak tespit edilmiştir. İlgili tezde kuvars tezgâh çalışmalarına dahil edilmemiştir (Dellaloğlu, 2002; Söğütü, 1998). Mutfak tezgâhında yapılan bir diğer tez çalışmasında ise tamamen ahşap esaslı malzemeler mutfak tezgâh tablalarında kullanılan işlemsiz ve vernikli, MDF, wersalit ve laminat malzemelerin teknik özellikleri karşılaştırılmıştır (Söğütü, 1998).

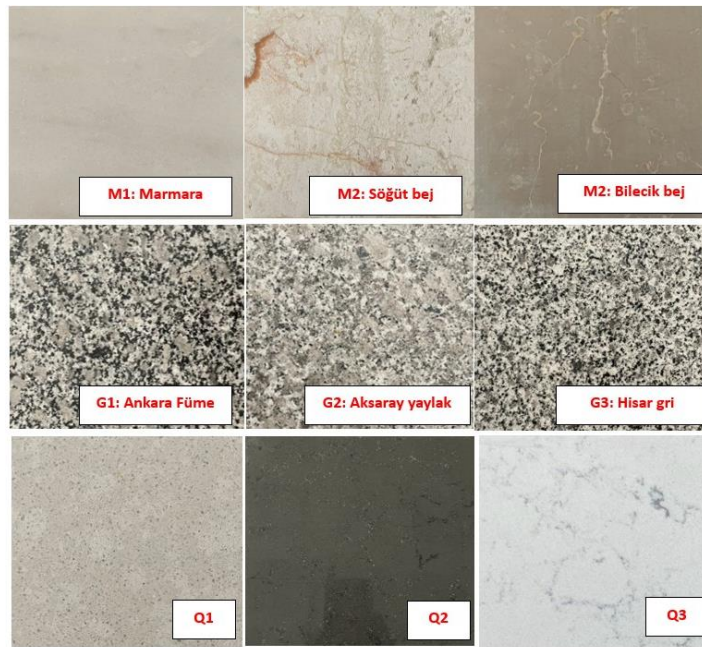
Bu kapsamda gerçekleştirilen çalışma ile araştırmalarımıza göre literatürde ilk defa piyasada mutfak tezgâhı olarak kullanılan mermer, granit ve kuvars kompozit tezgâhları karşılaştırmalı olarak analiz edilmiş ve teknik özellikleri incelenmiştir.

2. Materyal ve Yöntem

Çalışmalar kapsamında mutfak tezgâhında kullanılan üç farklı mermer (Marmara Mermer, Söğüt Bej ve Bilecik Bej), üç farklı granit (Ankara Füme, Aksaray Yaylak, Hisar Gri) ve üç farklı KKT farklı ticari markalardan temin edilmiştir. Gerçekleştirilen çalışmada ilgili numuneler Tablo 1'deki gibi kodlanmıştır. Numunelere dair fotoğraflar Şekil 2'de verilmiştir.

Tablo 1. Çalışılan numuneler ve kodları

Numune Kodları	Açıklama
M-1	Marmara Mermer
M-2	Söğüt Bej
M-3	Bilecik Bej
G-1	Ankara Füme
G-2	Aksaray Yaylak
G-3	Hisar Gri
Q-1	Piyasadan temin edilen 1. markaya ait KKT numunesi
Q-2	Piyasadan temin edilen 2. markaya ait KKT numunesi
Q-3	Piyasadan temin edilen 3. markaya ait KKT numunesi



Şekil 2. Numunelerin fotoğrafları ve kodları

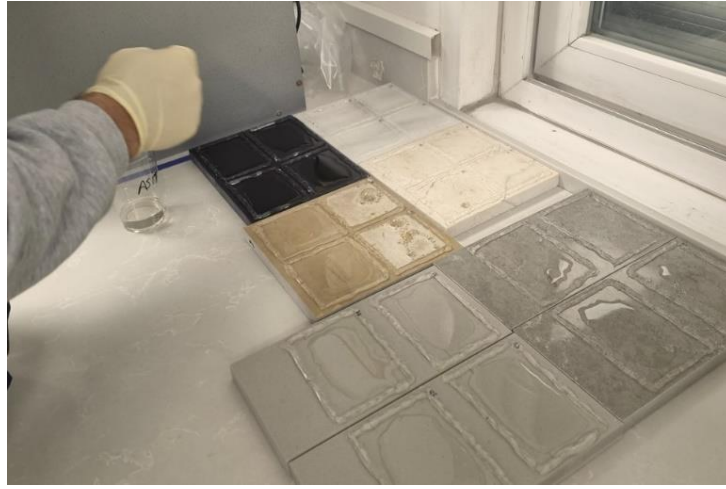
Numunelerin açık porozitesi, yığınsal yoğunluğu ve %su emme değerleri Arşimet ile yoğunluk ölçümü prensibine göre hesaplanmıştır. Kuru ağırlığı ölçülen numuneler (W1) 48 saat oda sıcaklığındaki su içerisinde bekletilmiş ve sudan çıkartılan numunelerin su içerisinde askıdaki ağırlıkları ölçülmüştür (W2). Sonrasında sıvı sızdırılmış haldeki ağırlıkları (W3) ölçülerek aşağıdaki denkleme göre yığınsal yoğunluk hesaplamaları yapılmıştır (ρ_{su} : suyun özkütlesi).

$$\text{Yığınsal yoğunluk} = [W1/(W3-W2)] \times \rho_{su}$$

$$\text{Su emme(\%)} = (W3-W1)/W1 \times 100$$

$$\text{\%Görünür porozite} = [(W3-W1)/(W3-W2)] \times 100$$

numune yüzeylerinin kimyasal dayanımı EN 14617-10 standardına göre– “Aglomera taşlar – Deney metotları – Bölüm 10: Kimyasal direnç tayini” belirlenmiştir. Deneyde kimyasal madde olarak hacimce (V/V) %50 oranında, 1N’lik sodyum hidroksit (NaOH) ve su çözeltisi ve hacimce (V/V) %50 oranında, %37’lik hidroklorik asit (HCl) ve su çözeltisi kullanılmıştır. 300mm x 300mm boyutlarında, parlak yüzeye sahip dört taş numunesi ile testler gerçekleştirilmiştir. Numunelerin ilk parlaklıkları ölçülmeden önce üzerleri aseton ile temizlenmiştir. Her numunenin beş farklı noktasından parlaklık ölçümü alınmış ve ortalaması kaydedilmiştir. Parlaklıkları ölçülen numunelerin yüzeylerinde, kimyasala dayanıklı silikon ile 100 mm. çapında birer adet halka oluşturulmuştur. Hazırlanan dört adet numunenin iki tanesi asit, diğer iki tanesi ise baz çözeltisi ile test edilmiştir. Her numune için 12 ml. Kimyasal çözelti kullanılmıştır (Şekil 3). Asit ve baz çözeltileri, numunenin üzerinde oluşturulan silikon halkaların içerisine pipet yardımı ile uygulanmış ve çözeltiler döküldükten sonra numunelerin üzerleri saat camı ile kapatılmıştır. 1 saat sonunda üzerlerine asit ve baz çözeltisi uygulanan birer numune seçilmiş ve üzerlerindeki çözelti yıkanmıştır. 8 saatin sonunda kalan diğer numunelerin üzerlerindeki çözeltiler yıkanmıştır. Yıkanan numunelerin silikon halkaları çıkartıldıktan sonra numuneler kurutulmuştur. Yıkayıp kurutulan numunelerin 5 farklı noktasından parlaklık ölçümü alınmış ve ortalaması kaydedilmiştir. Referans parlaklıklarla kimyasal maruziyeti sonrası parlaklıklar karşılaştırılmıştır.



Şekil 3. Numunelere asit ve baz çözeltilerinin uygulanması

Gerçekleştirilen çalışmada TS-EN 14617-9 standardına göre darbe dayanımı tespit edilmiştir. Numuneler, test düzeneği içerisinde bulunan kum yüzeyi düzeltildikten sonra çelik topun hizasında merkeze doğru yerleştirilmiştir. Numunenin kalınlığı kuma gömülmüş ve yüzeyinde kum olmamasına dikkat edilmiştir. 6 cm’den çelik top elektro mıknatısa tutturulmuş ve anahtar açılarak topun numunenin üzerine düşmesi sağlanmıştır. Numune kırılana kadar topun yüksekliği 5’er cm arttırılarak teste devam edilmiştir (Şekil 4). Numunenin kırıldığı yükseklik kullanılarak aşağıdaki formülden darbe dayanımı hesaplanmıştır.

L, darbe dayanım - M x g x h, joule

M: Topun kütlesi, 1 kg

g: Yer çekimi ivmesi 9,086 m/s²

h: Topun bırakıldığı yükseklik, m



Şekil 4. Darbe dayanım testinin yapımı

Numunelerin mineralojik faz analizleri Panalytical EMPYREAN marka XRD cihazında 2°/dk tarama hızında 10° ile 90° arasında gerçekleştirilmiştir. Mikroyapı analizi için tüm numuneler bakalite alınarak parlatılmıştır. Bütün numuneler yüzey iletkenliği sağlamak amacıyla LEICA EM ACE600 & POLARON SC7620 marka kaplama cihazında altın/paladyum (Au/Pd) veya karbon (C) ile kaplama işlemine tabi tutulmuştur. Numunelerin mikroyapı analizleri Hitachi Regulus 8230 marka/model taramalı elektron mikroskobu ve ile gerçekleştirilmiştir ve analiz için ikincil elektron görüntüsü (SE) yöntemi kullanılmıştır.

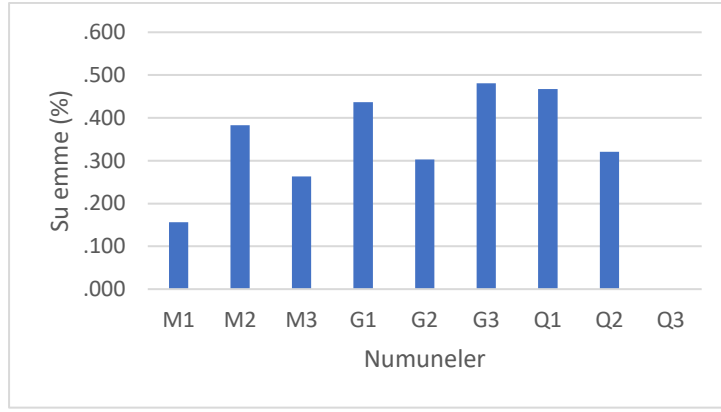
3. Bulgular ve Tartışma

3.1. Arşimet ile yoğunluk ölçümü sonuçlarının irdelenmesi

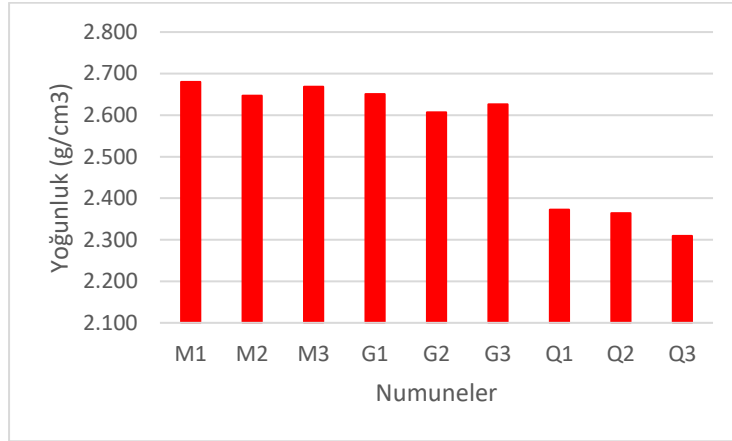
Numunelerin Arşimet ile yoğunluk ölçümü prensibinden faydalanılarak %su emme, yığınsal yoğunluk ve %görünür porozite değerleri Şekil 5-8'de karşılaştırmalı olarak paylaşılmıştır. Gerçekleştirilen çalışmada numunelerin tamamında su emme %0,5'in altında tespit edilmiştir (Şekil 5). Çalışmada elde edilen su emme değerleri mermer numuneler için %0.16 ile 0.38 arasında, granit numuneler için %0.3 ile 0.48 arasında, KKT numuneler için ise %0 ile 0.47 arasında elde edilmiştir. En yüksek % görünür porozite değerlerini ve su emme değerlerini granit numuneleri sergilemiştir. Gerçekleştirilen çalışmada granitlerin su emme değerleri mermer numunelerinden ve KKT numunelerinden daha yüksek tespit edilmiştir. Yığınsal yoğunluk ortalamaları en yüksekte en düşüğe mermer, granit ve KKT numunelerinde gözlenmiştir (Şekil 6). Elde edilen veriler literatürdeki çalışmalar ile karşılaştırıldığında çalışmada elde edilen sonuçların literatür ile uyumlu olduğu görülmektedir. Uşak ili farklı mermer ocaklarından alınan numuneler ile yapılan bir çalışmada mermer numunelerin su emme değerleri %0.17-0.35 arasında bulunmuştur (Alperen, Çelik, & Bağcı, 2023, 2022). Granit ile ilgili yapılan bir diğer çalışmada ise su emme değerleri %0.36-0.45 arasında değişiklik göstermiştir (Bozdağ, 2020) Mermer ve granitler üzerine yapılan bir diğer çalışmada Uşak Beyaz ve Afyon Beyaz mermerlerinin su emme değerlerinin %0,235 ile %0,274 olduğu; Nero Zimbabwe ve Raw Silk granitlerinin su emme değerlerinin ise %0,239 ile %0,341 olduğu belirlenmiştir (Türkmenoğlu, 2007).

Çalışmada numunelerin % görünür porozite değerleri 0 ile 1,2 arasında değişim göstermiştir (Şekil 7). Numuneler kendi grubu içerisinde karşılaştırıldığında su emme ve % görünür porozite değerleri en yüksek değerden en düşük değere, mermer numuneler için sırası ile M-2, M-3 ve M-1; granit numuneler için sırası ile G-3, G-1 ve G-2; KKT numuneleri için sırası ile Q-1, Q-2 ve Q-3 olarak saptanmıştır. Mermerlerde porozite değerleri %0,42-1.01 arasında, granitlerde %0.79-1.26 arasında, KKT numunelerinde ise %0.01-1.11 arasında değişim göstermiştir. Sonuç olarak granitlerin mermerlerden daha porozlu bir yapıya sahip olduğu anlaşılmıştır. Yapılan bir çalışmada mermerlerin porozite değerleri %0.59-0.64 arasında tespit edilmiştir (Alperen, Çelik, & Bağcı, 2023, 2022). Yapılan bir diğer çalışmada ise granitlerin porozite değerleri %0.94-1.56 arasında elde edilmiştir (Bozdağ, 2020). Mermer ve granitler üzerine gerçekleştirilen bir diğer çalışmada Uşak Beyaz ve Afyon Beyaz mermerlerinin; porozitelerinin %0,852 ile %0,746, olduğu; Nero Zimbabwe ve Raw Silk granitlerinin ise; porozitelerinin %1,649 ile %2,641 olduğu belirlenmiştir (Türkmenoğlu, 2007).

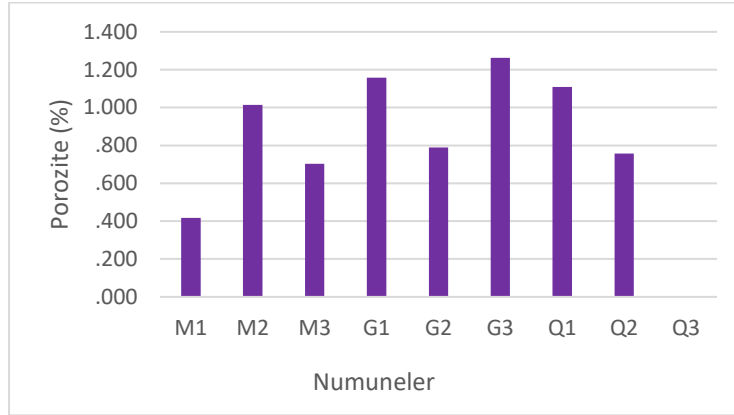
Şekil 8'de mermer, granit ve KKT numunelerine ait %su emme %görünür porozite regresyon grafiği çizilmiştir. Beklenildiği üzere iki veri arasında lineer bir ilişki saptanmıştır.



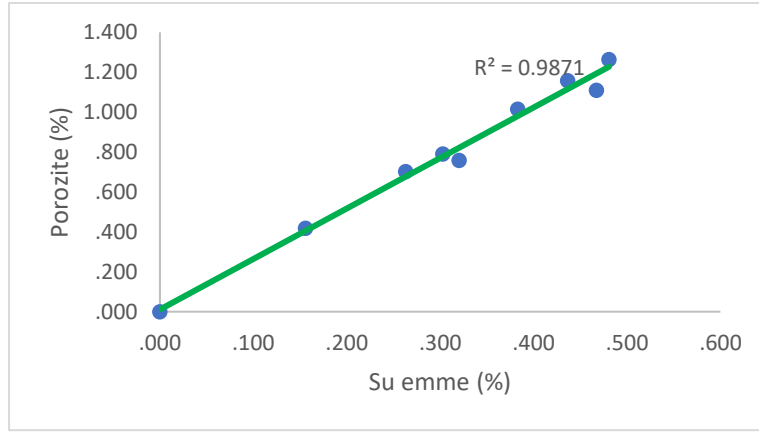
Şekil 5. Numunelere ait % su emme değerleri



Şekil 6. Numunelere ait yığınsal yoğunluk değerleri



Şekil 7. Numunelere ait %görünür porozite değerleri



Şekil 8. %Görünür porozite ve %su emme değerlerinin regresyon analizi

3.2. Kimyasal dayanım test sonuçlarının irdelenmesi

Tezgâh numunelerinin kimyasal dayanım test sonuçları Tablo 2’de verilmiştir. Numune yüzeylerine asit veya baz uygulamadan önce ölçülen parlaklık değerleri ile asit veya baz uygulandıktan sonraki ölçülen parlaklık değerleri arasındaki fark arttıkça (%parlaklık değişimi arttıkça) numunelerin asit/baz dayanımı düşmektedir. Şekil 9’da ise kimyasal dayanım testi sonucunda malzeme yüzeylerindeki değişimlerin görselleri paylaşılmıştır.

Numuneler kendi içerisinde karşılaştırıldığında bazlarda ve asitlerde en yüksek ortalama kimyasal dayanımı büyükten küçüğe KKT, granit ve mermer numuneleri sergilemiştir. Asit uygulamada 8 saat sonunda KKT numunelerindeki %parlaklık değişim 5,8 ile 11,2 aralığında; granit numunelerindeki %parlaklık değişim %14,2 ile 26,8 aralığında; mermer numunelerindeki %parlaklık değişim ise %76,1 ile 92,8 aralığında ölçülmüştür. Baz uygulamada 8 saat sonunda KKT numunelerindeki %parlaklık değişim %15 ile 24 aralığında; granit numunelerindeki %parlaklık değişim %20,4-42,8 aralığında; mermer numunelerindeki %parlaklık değişim ise %20,9-89,8 aralığında ölçülmüştür.

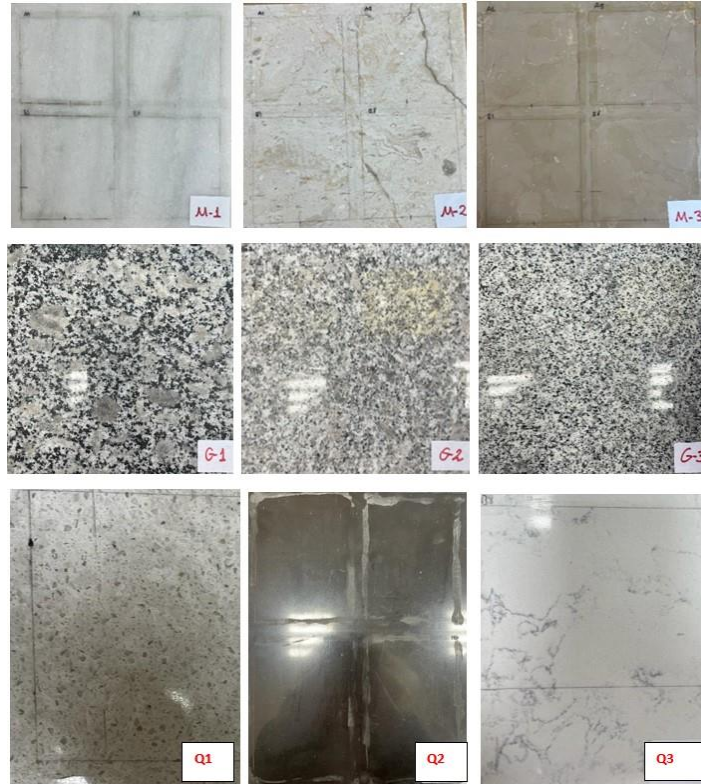
Mermer numunelerin, granit numunelerden daha düşük asit dayanımı göstermesi literatürde yapılan çalışmalar ile örtüşmektedir. Yapılan bir çalışmada asit ve sıcaklık etkisinde en çok hasar alan taşlar sırasıyla; mermer, kumtaşı ve granit olarak belirtilmiştir (Huang et al., 2021). Kimyasal aşındırmanın, mermerin mikro yapısında ve mekanik özelliklerinde önemli değişikliklere neden olduğunu ve döngüsel yükler altında, mikro yapısını değiştirerek makro-mekanik özelliklerinde bozulmalara neden olduğu gösterilmiştir (Hao Li et al., 2018, 2018; Liyuan Yu et al., 2020). Benzer durumda asidik kimyasal çözeltilere maruz kalan granitin ve kumtaşının yapısal bütünlüklerinin bozulduğu gözlenmiştir (Miao et al., 2016; Li et al., 2018; Ning et al., 2003; Li et al., 2019).

Mermer numunelerde sekiz saatte en yüksek asit ve baz dayanımını M-2 sergilerken; en düşük asit ve baz dayanımını M-3 sergilemiştir. Granit numunelerde en yüksek asit ve baz dayanımlarını sırası ile G3, G2 ve G1 sergilemiştir. KKT numunelerinde sekiz saate en yüksek asit dayanımını Q-2 sergilerken; en yüksek baz dayanımını Q-1 ve Q-2 sergilemiştir.

Numunelerdeki görünür porozite ile kimyasal dayanımları arasında lineer bir ilişki tespit edilmemiştir. Diğer dikkat çekici bir nokta ise, KKT numuneler, granit numunelere benzer porozite ve %su emme değerlerini göstermelerine karşın granit numunelerinden çok daha iyi kimyasal dayanım sergilemişlerdir. Dolayısı ile malzemelerin mineralojik yapısının kimyasal dayanımı belirlemede ön planda olduğu belirtilebilir.

Tablo 2. Numunelerin kimyasal dayanım test sonuçları

Süre	Parlaklık Kaybı			
	ASİT		BAZ	
	1 Saat	8 Saat	1 Saat	8 Saat
M-1	88,0	87,7	25,5	35,4
M-2	68,1	76,1	15,7	20,9
M-3	84,1	92,8	85,6	89,8
Mermer Ortalama	80,06	85,53	42,26	48,7
G-1	20,8	18,1	22,0	42,8
G-2	7,0	14,2	18,0	31,2
G-3	6,2	26,8	16,1	20,4
Granit Ortalama	11,33	19,7	18,7	31,46
Q-1	6,5	6,4	12,0	15,0
Q-2	4,2	5,8	8,0	15,0
Q-3	6,0	11,2	15,1	24,0
KKT Ortalama	5,56	7,8	11,7	18

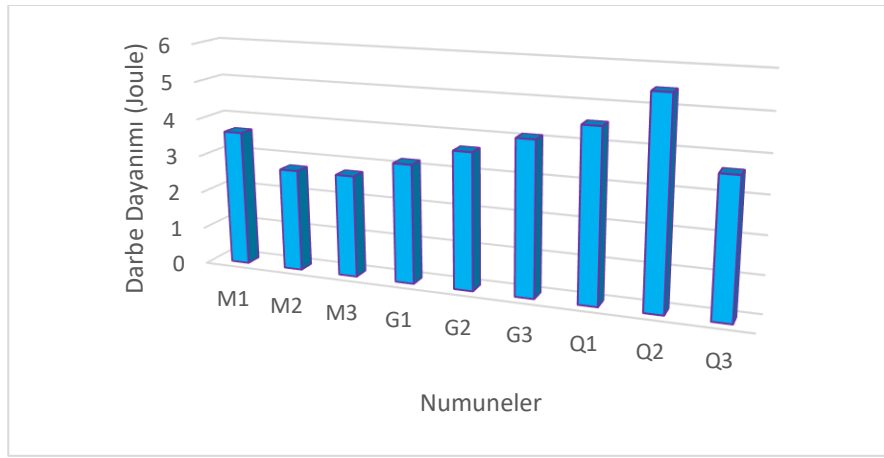
**Şekil 9.** Numunelere asit ve baz uygulaması sonucu yüzeylerdeki görünüm

3.3. Darbe dayanım test sonuçlarının irdelenmesi

Numunelerin darbe dayanım test sonuçları Şekil 10'da verilmiştir. Numuneler kendi aralarında kıyaslandığında en yüksekten en düşüğe darbe dayanımı gösteren numuneler KKT, granit ve mermer numuneleri olarak sıralanmıştır. KKT numunelerde darbe dayanımı 3,64-5,45 Joule aralığında; granit numunelerde darbe dayanımı 3,18-4,09 Joule aralığında; mermer numunelerde darbe dayanımı 2,73-3,63 Joule aralığında ölçülmüştür.

Mermer numuneler içerisinde en iyi darbe dayanımını M-1 numunesi (3,63 Joule); granit numuneler içerisinde en iyi darbe dayanımını G-3 numunesi (4,09 Joule); KKT numuneleri içerisinde ise en iyi darbe dayanımını Q-2 numunesi (5,45 Joule) sergilemiştir. Numunelerin ortalama darbe dayanımları karşılaştırıldığında darbe dayanımlarının en yüksekten en düşüğe sırası ile KKT, granit ve mermer numuneler olarak sıralandığı görülmektedir.

Farklı kuvars yüzeylerinin mekanik özelliklerinin araştırıldığı bir çalışmada darbe dayanım değerleri 7,53 ile 10 Joule arasında ölçülmüştür (Arıcı et al., 2019). Sarıışık ve ark.'nın yaptığı bir diğer çalışmada (Sarıışık et al., 2016). Farklı mermer türlerinin darbe dayanımı araştırılmış ve mermerlerin darbe dayanımı ile fiziksel ve mekaniksel karakterleri arasında lineer bir ilişki bulunmuştur. Porozite ve su emme oranlarının azalması ile darbe dayanımının arttığı belirtilmiştir. Gerçekleştirilen çalışmada da benzer bir ilişki elde edilmiştir. Mermer numuneler içerisinde en düşük su emme ve en düşük porozite değerini sergileyen M1 numunesi, mermer numuneler içerisinde en yüksek darbe dayanımını sergilemiştir.



Şekil 10. Numunelere uygulanan darbe dayanım değerleri

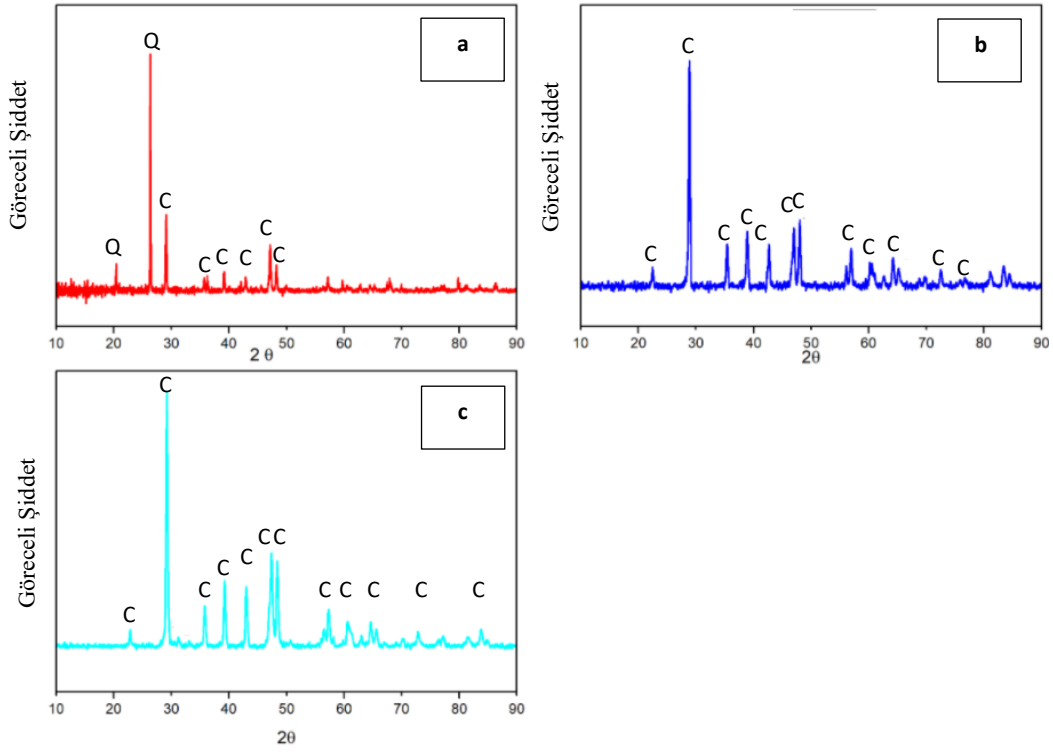
3.4. Mineralojik ve mikroyapı analizlerinin irdelenmesi

Şekil 11-13'de numunelere dair XRD analizleri paylaşılmıştır. Mermer numunelerinde kalsit (CaCO_3) ve kuvars (SiO_2) tespit edilmiştir. Granit numunelerinde kuvars (SiO_2) ve albit ($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$) tespit edilmiştir. KKT numunelerinde sadece kuvars (SiO_2) tespit edilmiştir.

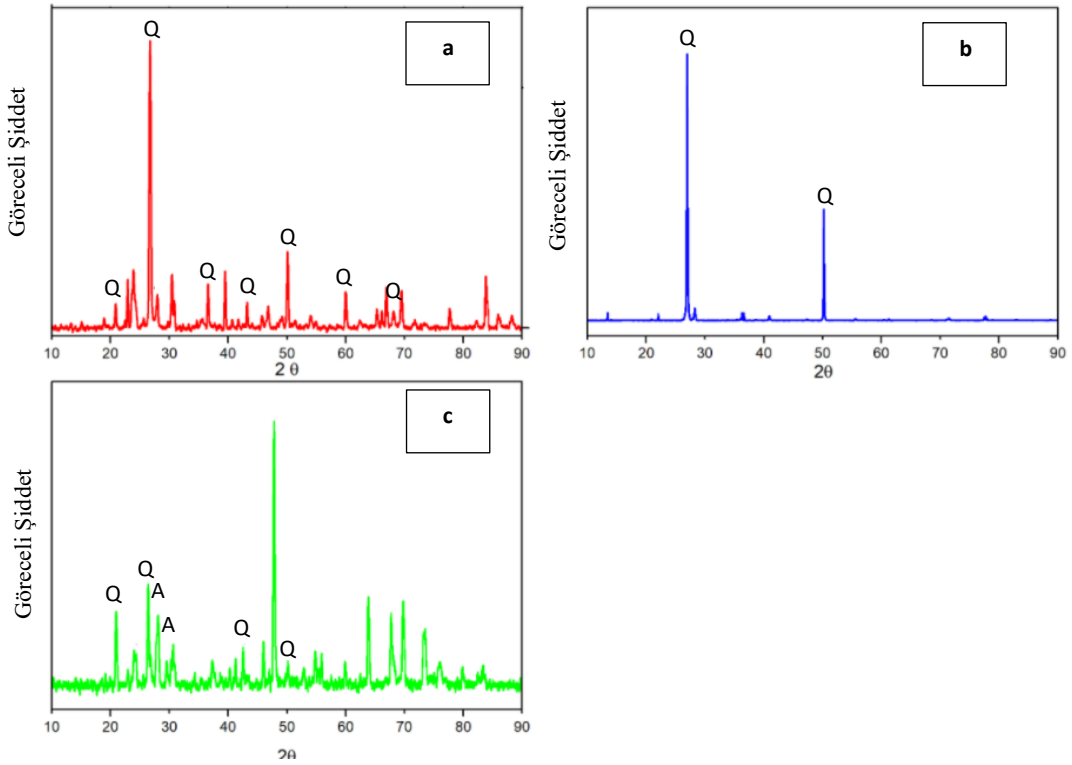
Numunelerden 100, 500 ve 1000 büyütmede alınan taramalı elektron mikroskobu görüntüleri Şekil 14-22 arasında verilmiştir. Şekil 14-16'daki mermer mikroyapıları karşılaştırıldığında en büyük por boyutuna M-2 numunesinin sahip olduğu görülmüştür. M-2 numunesindeki porların boyutunun 20-30 μm arasında değişim gösterdiği tespit edilmiştir. M-3 numunesindeki por yapısı M-2 kadar büyük boyutlara ulaşmamış; porozite boyutu 1-3 μm arasında değişim göstermiştir. M-1 numunesinde ise M-2 ve M-3 numuneleri gibi belirgin bir porozite gözlenmemiştir. SEM görüntüleri ile numunelerin ölçülen %görünür porozite değerleri uyum göstermiştir. % görünür porozite yüksekten düşüğe M-2, M-3 ve M-1 numunelerinde ölçülmüştür (Şekil 7).

Granit numunelerinde mermer numunelerinde olduğu gibi çok poroz bir yapı tespit edilmemiştir. Yapılarda az da olsa porozitelere rastlanmıştır. Boyutları yaklaşık 5-10 μm aralığındadır (Şekil 17-19). Bazı bölgelerde porlar çizgisel olarak bir araya gelerek çatlak görünüm oluşturmuştur. Bu çizgisel görünümlü porların boyutu 100 μm . 'a kadar ulaşmıştır (Şekil 18, 19).

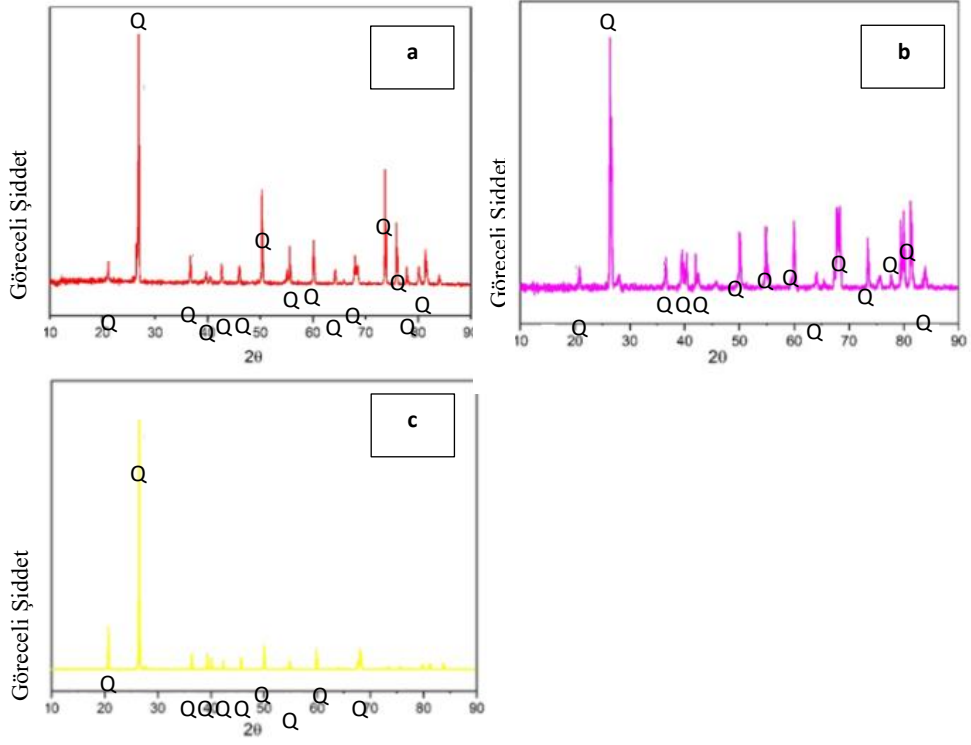
KKT numunelerine dair taramalı elektron mikroskobu görüntüleri incelendiğinde, epoksi içerisine homojen bir şekilde dağılmış farklı tane boyut dağılımlarına sahip kuvars kristalleri görülmektedir (Şekil 20-22). Yapıdaki en büyük kuvars kristalleri Q-1 ve Q-2 numunelerinde görülmüştür. İlgili numunelerdeki kuvars kristal tane boyutu 500 μm . 'a kadar ulaşmaktadır. Q-3 numunesindeki en büyük kuvars kristal tane boyutunun ise 400 μm . 'a kadar ulaşmaktadır.



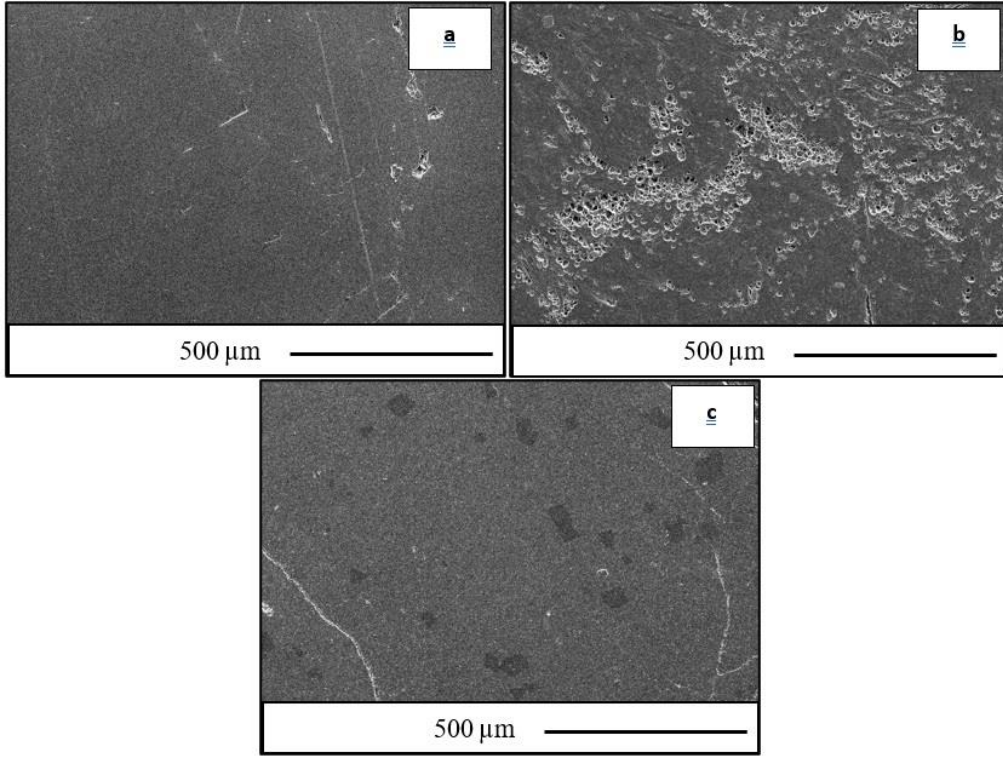
Şekil 11. Mermer numunelere ait XRD analizlerinin sonuçları, (a) M-1; (b) M-2; (c) M-3; Q (Kuars); C (Kalsit)



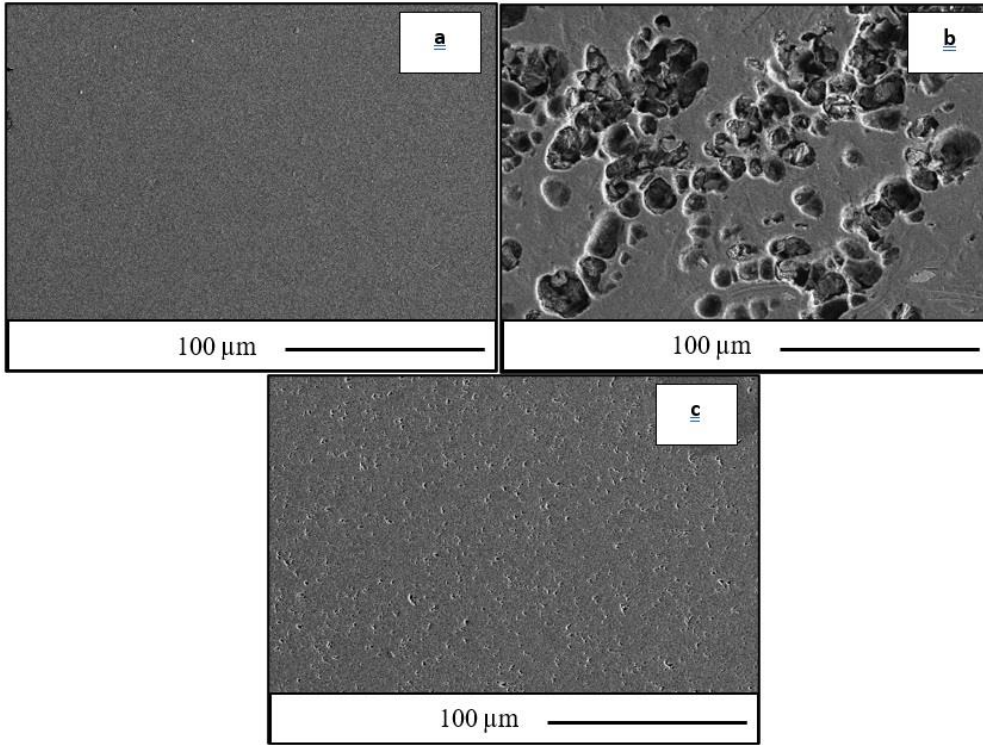
Şekil 12. Granit numunelerine ait XRD analizlerinin sonuçları; (a) G-1; (b) G-2; (c) G-3; Q (Kuars) ; A (Albit)



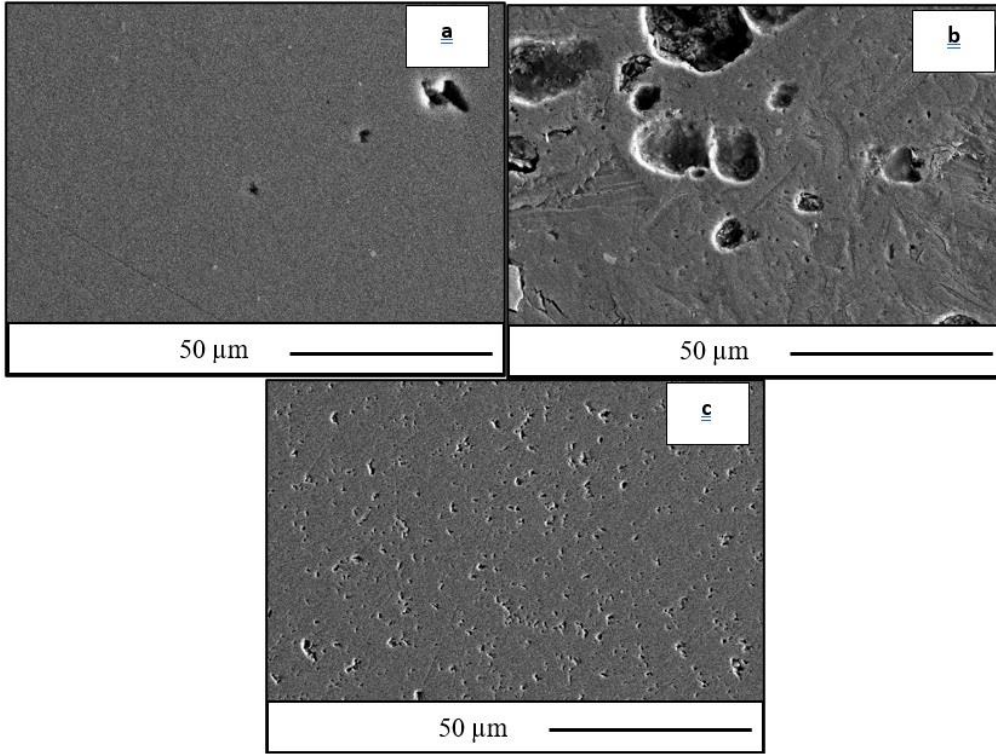
Şekil 13. Kuvars kompozit numunelerine ait XRD analizlerinin sonuçları; (a) K-1; (b) K-2; (c) K-3; Q (Kuvars)



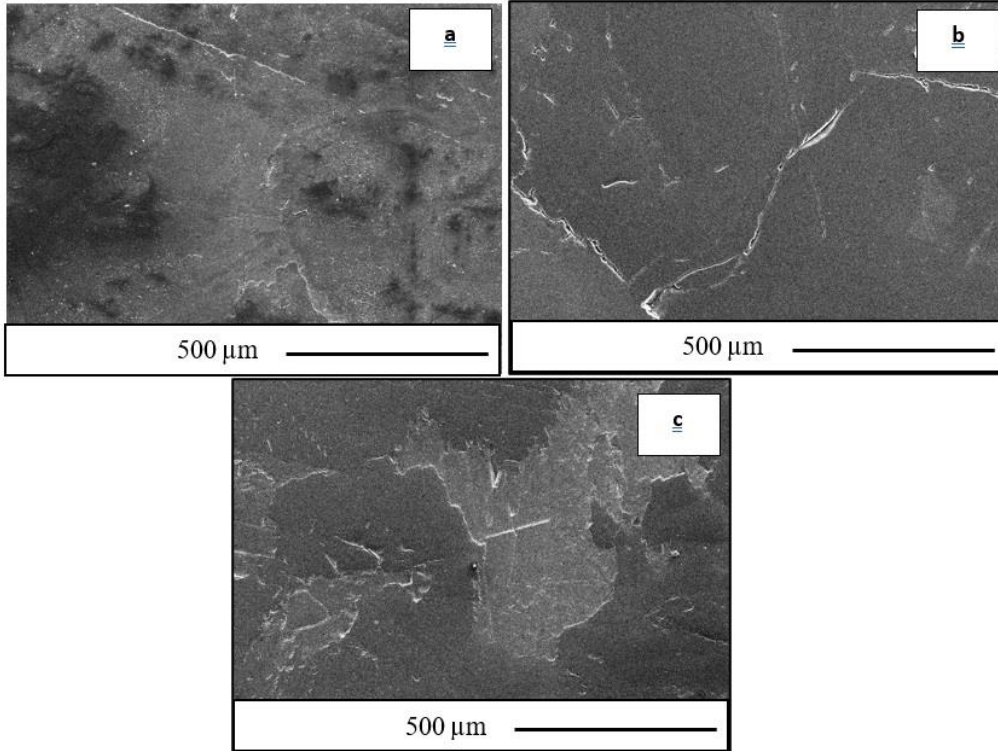
Şekil 14. Mermer numunelerin kesit yüzeylerinden alınan 100 büyütmedeki ikincil elektron detektörü ile alınmış taramalı elektron mikroskobu görüntüleri, (a) M-1; (b) M-2; (c) M-3



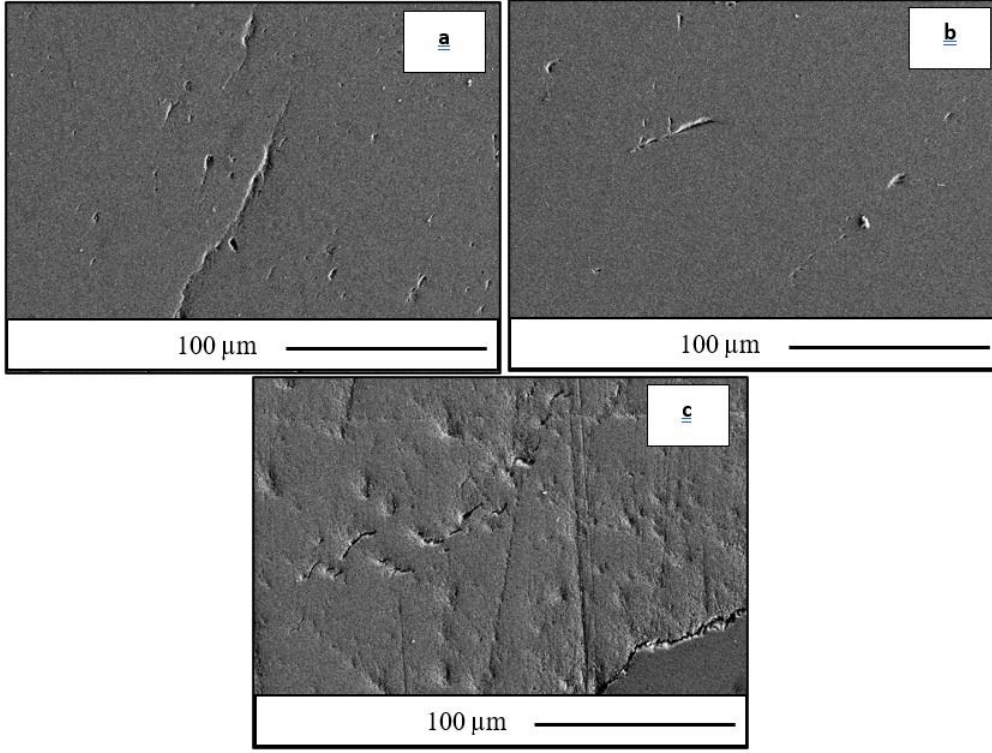
Şekil 15. Mermer numunelerin kesit yüzeylerinden alınan 500 büyütmedeki ikincil elektron detektörü ile alınmış taramalı elektron mikroskobu görüntüleri, (a) M-1; (b) M-2; (c) M-3



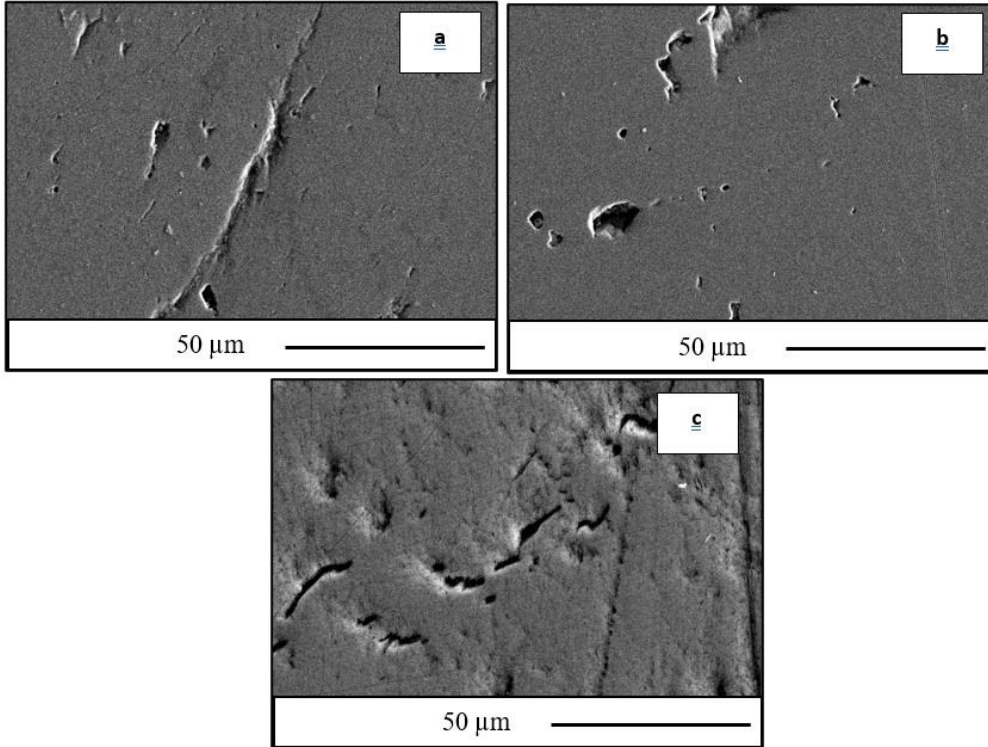
Şekil 16. Mermer numunelerin kesit yüzeylerinden alınan 1000 büyütmedeki ikincil elektron detektörü ile alınmış taramalı elektron mikroskobu görüntüleri, (a) M-1; (b) M-2; (c) M-3



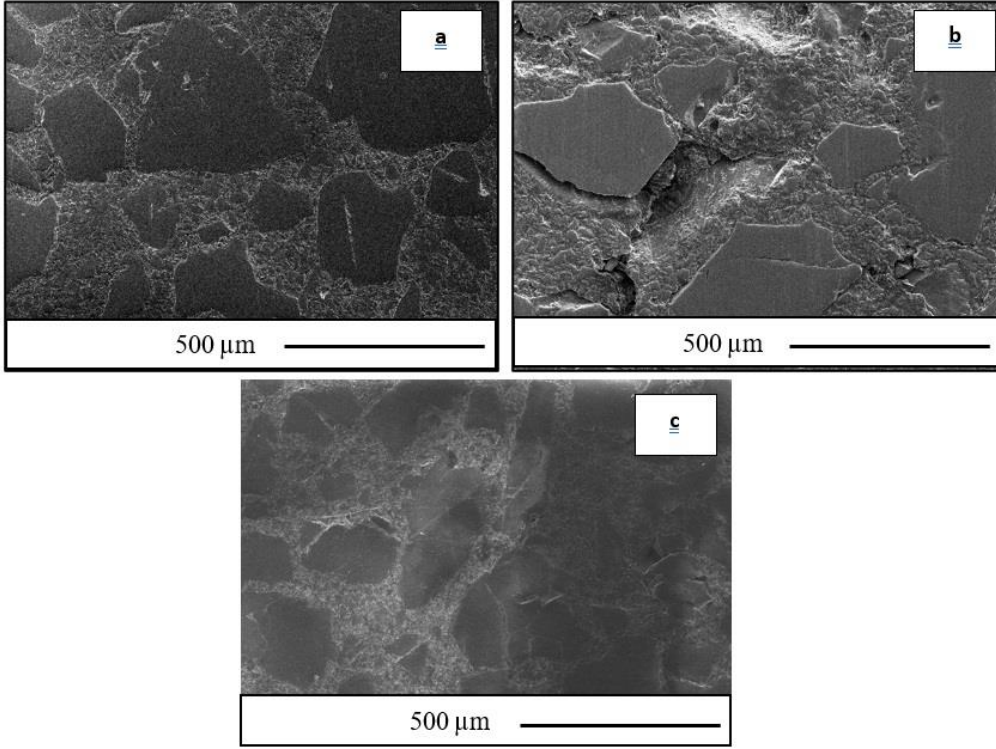
Şekil 17. Granit numunelerin kesit yüzeylerinden alınan 100 büyütmedeki ikincil elektron detektörü ile alınmış taramalı elektron mikroskobu görüntüleri, (a) G-1; (b) G-2; (c) G-3



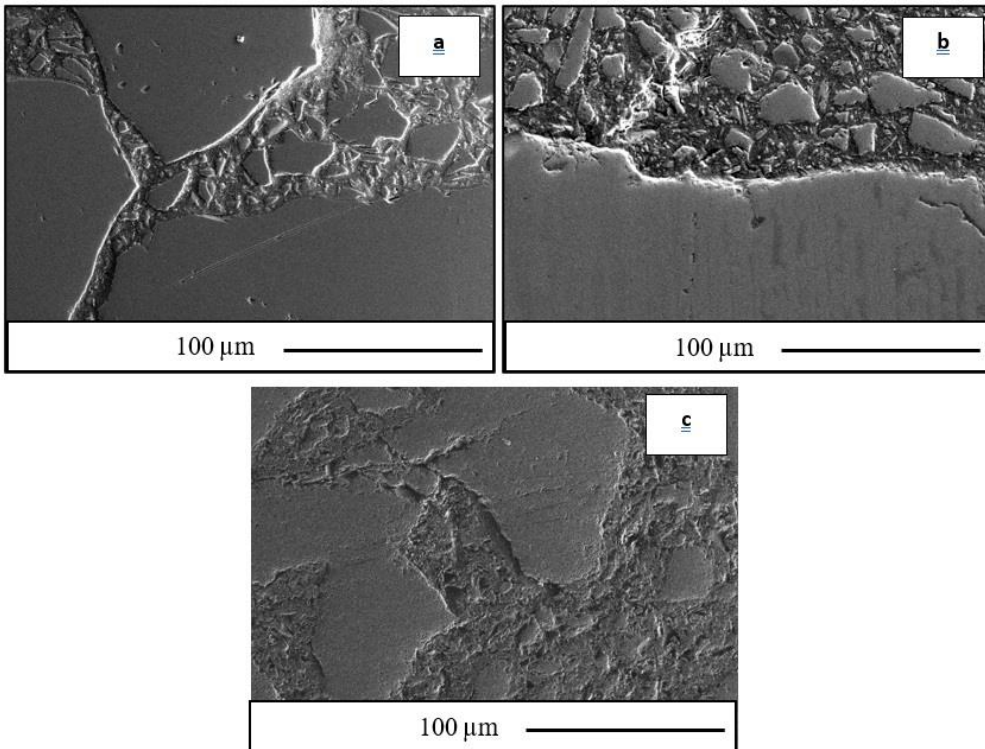
Şekil 18. Granit numunelerin kesit yüzeylerinden alınan 500 büyütmedeki ikincil elektron detektörü ile taramalı elektron mikroskobu görüntüleri, (a) G-1; (b) G-2; (c) G-3



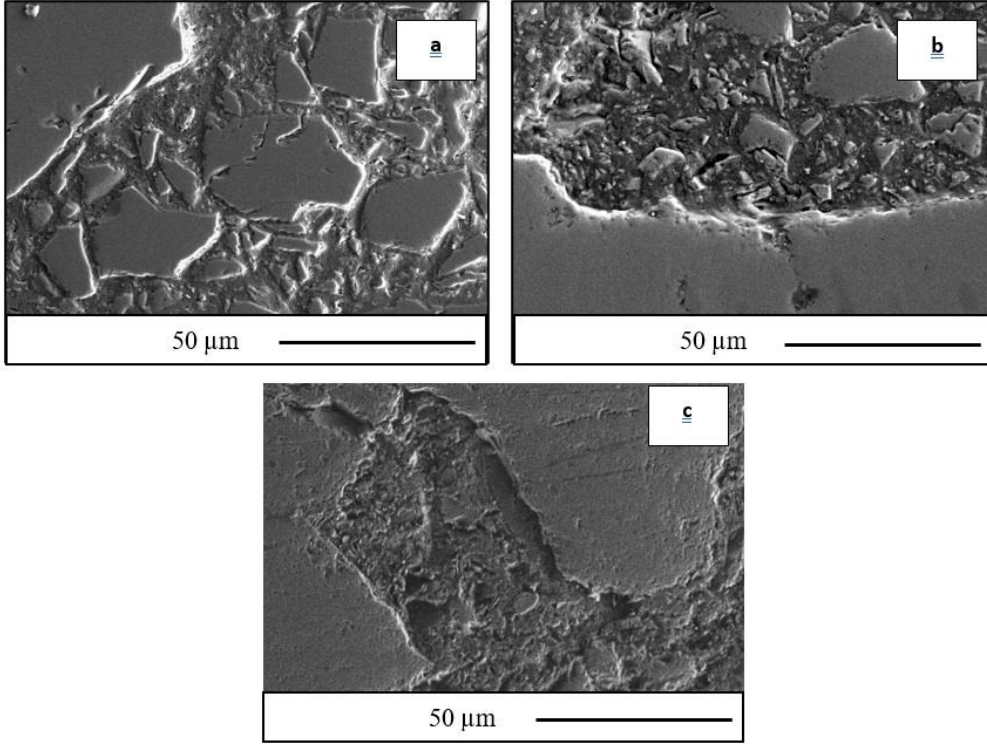
Şekil 19. Granit numunelerin kesit yüzeylerinden alınan 1000 büyütmedeki ikincil elektron detektörü ile alınmış taramalı elektron mikroskobu görüntüleri, (a) M-1; (b) M-2; (c) M-3



Şekil 20. Kuvars numunelerin kesit yüzeylerinden alınan 100 büyütmedeki ikincil elektron detektörü ile alınmış taramalı elektron mikroskobu görüntüleri, (a) K-1; (b) K-2; (c) K-3



Şekil 21. Kuvars numunelerin kesit yüzeylerinden alınan 500 büyütmedeki ikincil elektron detektörü ile alınmış taramalı elektron mikroskobu görüntüleri, (a) K-1; (b) K-2; (c) K-3



Şekil 22. Kuvars numunelerin kesit yüzeylerinden alınan 1000 büyütmedeki ikincil elektron detektörü ile alınmış taramalı elektron mikroskobu görüntüleri, (a) K-1; (b) K-2; (c) K-3

4. Sonuçlar

Gerçekleştirilen çalışmada mutfak tezgahlarında sıklıkla kullanılan mermer, granit ve KKT numunelerin teknik özellikleri ve yapısal özellikleri karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Yapılan çalışmalar sonucunda;

- En düşük %görünür porozite ortalaması KKT numunelerden (%0,62); en yüksek % görünür porozite ortalamaları granit numunelerden (%1,06) elde edilmiştir.
- En düşük yığınsal yoğunluk ortalaması KKT numunelerden ($2,34 \text{ g/cm}^3$); en yüksek yığınsal yoğunluk ortalaması mermer numunelerden ($2,67 \text{ g/cm}^3$) elde edilmiştir.
- En yüksek % su emme ortalaması granit numunelerinden (%0,40); en düşük % su emme ortalamaları ise mermer ve KKT numunelerinden elde edilmiştir (%0,26).
- Bazlarda ve asitlerde en yüksek ortalama kimyasal dayanımı büyükten küçüğe KKT numuneleri, granit numuneleri ve mermer numuneleri sergilemiştir. Asit uygulamada 8 saat sonunda KKT numunelerindeki %parlaklık değişim ortalaması %7,8; granit numunelerindeki %parlaklık değişim ortalaması %19,7; mermer numunelerindeki %parlaklık değişim ortalaması ise %85,53 ölçülmüştür. Baz uygulamada 8 saat sonunda KKT numunelerindeki %parlaklık değişim ortalaması %18; granit numunelerindeki %parlaklık değişim ortalaması %31,46; mermer numunelerindeki %parlaklık değişim ortalaması ise %48,7 ölçülmüştür.
- En yüksek darbe dayanımları büyükten küçüğe KKT numunelerinde, granit numunelerinde ve mermer numunelerinde ölçülmüştür. KKT numunelerindeki ortalama darbe dayanımı 4,54 Joule; granit numunelerindeki ortalama darbe dayanımı 3,63 Joule; mermer numunelerindeki ortalama darbe dayanımı 3,03 Joule ölçülmüştür.
- Mutfak alanlarında yoğun bir şekilde kullanılan tezgahlarda darbe dayanımı ve kimyasal dayanım ön planda tutulduğunda en iyi sonuçların KKT numunelerinden alındığı saptanmıştır. Düşük yığınsal yoğunluk sergileyen KKT aynı zamanda taşıma içinde avantaj sağlamaktadır.
- SEM analizi sonucunda mermer numunelerde özellikle M-2 ve M-3 numunelerinde küresel porlar saptanmıştır. Elde edilen görüntüler ile numunelerin ölçülen %görünür porozite değerleri uyum göstermiştir. Granit numunelerde $100 \mu\text{m}$ 'a kadar ulaşan uzun ince çatlaklar saptanmış; KKT numunelerinde ise epoksi matris içerisine dağılmış $500 \mu\text{m}$ 'a kadar ulaşan farklı tane boyutlarda kuvars taneleri tespit edilmiştir.

Bilgilendirme

Bu çalışma, Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) tarafından 123M722 Numaralı proje ile desteklenmiştir. Projeye verdiği destekten ötürü TÜBİTAK'a teşekkürlerimizi sunarız.

Referanslar

Alperen, A. N., Çelik, H., Bağcı, M. (2022). Uşak-Karahallı Mermerlerinin Fiziko-Mekanik Özelliklerinin Mineralojik-Petrografik Özellikleri ile Birlikte Değerlendirilmesi. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 22(045801), 911–924

Alperen, A. N., Çelik, H., Bağcı, M. (2023). Sivaslı (Uşak) Yöresi Mermerlerinin Mühendislik Özelliklerinin Araştırılması. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 2023, 1293–1306

Akbulut, Z. F. (2022). Experimental investigation of the surface properties of accidental stained carbonate natural stones. *Case Studies in Construction Materials*, 17. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2022.e01626>

Arıcı, E., Ölmez, D., Özkan, M., Topçu, N., Çapraz, F., Deniz, G., Altınyay, A. (2019). Kuvars yüzeylerde mekanik dayanım ve yüzey özelliklerinin iyileştirilmesi. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 19, 326–332

Bozdağ, A. (2020). Doğal yapı taşlarının fiziko mekanik özellikleriyle böhme aşınma direncinin tahmini. 8(4), 1062–1071

Çelik, M. Y., & İbrahimoglu, A. (2021). Characterization of travertine stones from Turkey and assessment of their durability to salt crystallization. *Journal of Building Engineering*, 43. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2021.102592>

Chaki, S., Takarli, M., Agbodjan, W. P. (2008). Influence of thermal damage on physical properties of a granite rock: Porosity, permeability and ultrasonic wave evolutions. *Construction and Building Materials*, 22, 1456–1461. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2007.04.002>

Cruz Silva, T. L. D., Carvalho, E. A. S., Barreto, S. G. N., Perim da Silva, T. B., Demartini, T. J. C., et al. (2023). Characterization of artificial stone developed with granite waste and glass waste in epoxy matrix. *Journal of Materials Research and Technology*, 26, 2528–2538. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2023.08.045>

Delle Piane, C., Arena, A., Sarout, J., Esteban, L., Cazes, E. (2015). Micro-crack enhanced permeability in tight rocks: An experimental and microstructural study. *Tectonophysics*, 665, 149–156. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2015.10.001>

Ding, Q.-L., Ju, F., Song, S.-B., Yu, B.-Y., Ma, D. (2016). An experimental study of fractured sandstone permeability after high-temperature treatment under different confining pressures. *Journal of Natural Gas Science and Engineering*, 34, 55–63. <https://doi.org/10.1016/j.jngse.2016.06.034>

Ding, Q.-L., Wang, P., Cheng, Z. (2021). Permeability evolution of fractured granite after exposure to different high-temperature treatments. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 208, 109632. <https://doi.org/10.1016/j.petrol.2021.109632>

Dellaloğlu, B. (2002). Konut mutfaklarında kullanılan tezgâhların fiziksel, mekaniksel ve teknolojik özelliklerinin belirlenmesi (Yüksek Lisans Tezi). Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ağaç İşleri Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı.

Fortune Business Insights. (n.d.). Countertop Market. <https://www.fortunebusinessinsights.com/industry-reports/countertop-market-101539>

Ferreira, C., Silva, A., de Brito, J., Dias, I. S., Flores-Colen, I. (2021). Definition of a condition-based model for natural stone claddings. *Journal of Building Engineering*, 33. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2020.101643>

Hasan, R., & Reza, M. T. (2018). Hydrothermal deformation of Marcellus shale: Effects of subcritical water temperature and holding time on shale porosity and surface morphology. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 172, 383–390. <https://doi.org/10.1016/j.petrol.2018.09.078>

Huang, Z., Zeng, W., Gu, Q., Wu, Y., Zhong, W., Zhao, K. (2021). Investigations of variations in physical and mechanical properties of granite, sandstone, and marble after temperature and acid solution treatments. *Construction and Building Materials*, 307, 124943. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.124943>

Jinwen Wu, Jingwu Gao, Zijun Feng, Shuping Chen, Taoyi Nie. (2020). Investigation of fracture process zone properties of mode I fracture in heat-treated granite through digital image correlation. *Engineering Fracture Mechanics*, 235, 107192. <https://doi.org/10.1016/j.engfracmech.2020.107192>

Junique, T., Vázquez, P., Géraud, Y., Thomachot-Schneider, C., Sidibé, H. (2021). Microstructural evolution of granitic stones exposed to different thermal regimes analysed by infrared thermography. *Engineering Geology*, 286, 106057. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2021.106057>

- Junique, T., Vazquez, P., Benavente, D., Thomachot-Schneider, C., Géraud, Y. (2021). Experimental investigation of the effect of quenching cycles on the physico-chemical properties of granites. *Geothermics*, 97, 102235. <https://doi.org/10.1016/j.geothermics.2021.102235>
- Li, D., Ma, J., Wan, Q., Zhu, Q., Han, Z. (2021). Effect of thermal treatment on the fracture toughness and subcritical crack growth of granite in double-torsion test. *Engineering Fracture Mechanics*, 253. <https://doi.org/10.1016/j.engfracmech.2021.107903>
- Li, H., Yang, D., Zhong, Z., Sheng, Y., Liu, X. (2018). Micro damage evolution and macro-mechanical property degradation of limestone due to chemical effects. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 110, 257–265. <https://doi.org/10.1016/j.ijrmms.2018.07.011>
- Li, H., Zhu, Z., Liu, X., Sheng, Y., Yang, D. (2018). Experimental investigation on the micro damage evolution of chemical corroded limestone subjected to cyclic loads. *International Journal of Fatigue*, 113, 23–32
- Li, S., Huo, R., Wang, B., Ren, Z., Ding, Y., Qian, M., Qiu, T. (2018). Experimental study on physicomaterial properties of sandstone under acidic environment. *Advances in Civil Engineering*, 2018. <https://doi.org/10.1155/2018/5784831>
- Li, J., Kaunda, R. B., Zhu, L., Zhou, K., Gao, F. (2019). Experimental study of the pore structure deterioration of sandstones under freeze-thaw cycles and chemical erosion. *Advances in Civil Engineering*. <https://doi.org/10.1155/2019/9687843>
- Li, N., Zhang, Z., Su, B., Gunter, S. (2003). A chemical damage model of sandstone in acid solution. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 40, 243–249. [https://doi.org/10.1016/S1365-1609\(02\)00132-6](https://doi.org/10.1016/S1365-1609(02)00132-6)
- Lam Dos Santos, J. P., Rosa, L. G., Amaral, P. M. (2011). Temperature effects on mechanical behaviour of engineered stones. *Constr Build Mater*, 25(1), 171–174. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2010.06.042>
- Martin, R. F., Schumann, D., Dharmapriya, P. L. (2022). Dolomitic Marble in a Context of UHT Metamorphism: Possible Signs of Melting, Lenadora Quarry, Sri Lanka. *Journal of Petrology*, 63(7), egac057
- Miao, S., Cai, M., Guo, Q., Wang, P., Liang, M. (2016). Damage effects and mechanisms in granite treated with acidic chemical solutions. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 88, 77–86. <https://doi.org/10.1016/j.ijrmms.2016.07.002>
- Pan, J., Feng, Z., Zhang, Y., Xi, X., Miao, S., Cai, M. (2023). Experimental study on evaluation of porosity, thermal conductivity, UCS, and elastic modulus of granite after thermal and chemical treatments by using P-wave velocity. *Geoenergy Science and Engineering*, 230, 212184. <https://doi.org/10.1016/j.geoen.2023.212184>
- Rifat Hasan, M., Toufiq Reza, M. (2018). Hydrothermal deformation of Marcellus shale: Effects of subcritical water temperature and holding time on shale porosity and surface morphology. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 172, 383-390. <https://doi.org/10.1016/j.petrol.2018.09.078>
- Santos, G. G., Crovace, M. C., Zannotto, E. D. (2019). New engineered stones: Development and characterization of mineral-glass composites. *Compos B Eng*, 167, 556–565. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2019.03.010>
- Sarıışık, G., Özkan E., Kundak E., Akdaş H. (2016). Classification of parameters affecting impact resistance of natural stones, *Journal of Testing and Evaluation*, 44, 1650-1660. <https://doi.org/10.1520/JTE20140276>
- Sengun, N. (2014). Influence of thermal damage on the physical and mechanical properties of carbonate rocks. *Arabian Journal of Geosciences*, 7, 5543–5551. <https://doi.org/10.1007/s12517-013-1177-x>
- Sousa, L. M. O., Suárez del Río, L. M., Calleja, L., Ruiz de Argandoña, V. G., Rodríguez Rey, A. (2005). Influence of microfractures and porosity on the physico-mechanical properties and weathering of ornamental granites. *Engineering Geology*, 77, 153–168. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2004.10.001>
- Tavşan, F., & Küçük, P. (2013). Mutfak Mekânında Kullanılan Tezgâh Malzemelerinin Kullanıcı Tercihleri Açısından İncelenmesi. *Artvin Çoruh Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 14(1), 57–69. <https://ofd.artvin.edu.tr/tr/download/article-file/25816>
- Türkmenoğlu, Z. F. (2007). Yapı Taşı Olarak Kullanılan Bazı Kayaçların Fiziko-Mekanik Özelliklerinin Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Adana.
- Wu, J., Gao, J., Feng, Z., Chen, S., Nie, T. (2020). Investigation of fracture process zone properties of mode I fracture in heat-

treated granite through digital image correlation. *Engineering Fracture Mechanics*, 235, 107192. <https://doi.org/10.1016/j.engfracmech.2020.107192>

Yıldırım, N., Karaman, A., Ertekin, S., Karaman, A., Uslu, E. (2018). Mutfak mekânında kullanılan tezgâh malzemelerine yönelik kullanıcı tercihleri üzerine bir araştırma: Ağrı ili örneği. *Journal of Academic Social Science*, 193–206

Yu, L., Zhang, Z., Wu, J., Liu, R., Qin, H., Fan, P. (2020). Experimental study on the dynamic fracture mechanical properties of limestone after chemical corrosion. *Theoretical and Applied Fracture Mechanics*, 108, 102620. <https://doi.org/10.1016/j.tafmec.2020.102620>

Zhao, Z., Liu, Z., Pu, H., Li, X. (2018). Effect of thermal treatment on brazilian tensile strength of granites with different grain size distributions. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 51, 1293–1303. <https://doi.org/10.1007/s00603-018-1404-6>

Zhang, W., Sun, Q., Zhu, S., Wang, B. (2017). Experimental study on mechanical and porous characteristics of limestone affected by high temperature. *Applied Thermal Engineering*, 110, 356–362. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2016.08.194>