

Sert Hammadde Tane Boyutu ve Pişirim Sıcaklığının Duvar Karosu Bünye Özelliklerine Etkisi

Belgin TANIŞAN¹, Gamze KARAKEDİ SAKARYA²

^{1,2}Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği
Bölümü, 26480, Eskişehir, Türkiye

(Alınış / Received: 27.12.2022, Kabul / Accepted: 25.09.2023, Online Yayınlanma / Published Online: 27.04.2024)

Anahtar Kelimeler

Seramik duvar karosu,
Tane boyutu,
Sinterleme,
Fiziksel özellikler

Öz: Seramik karoların teknolojik özelliklerinin bünyede kullanılan hammadde karakteristikleri (tane boyut dağılımı, kimyasal bileşim, mineralojik yapı) ile ilişkili olduğu bilinmektedir. Bu çalışmada, standart duvar karosu bünye reçetesinin yaklaşık %30'unu oluşturan kuvars ve pegmatit sert hammaddeleri 90 dakika öğütme işlemi sonrasında reçetede kullanılmış ve hazırlanan bünyeler farklı sıcaklıklarda (1110, 1120, 1127 ve 1147 °C) pişirilmiştir. Sinterleme sonrası bünyelerin; pişme küçülmesi (%), su emme (%), mukavemet ve L*, a* ve b* renk parametreleri belirlenmiş ve standart bünye ile kıyaslamaları yapılmıştır. Numunelerin içerdiği fazlar ve mikroyapı görüntüleri sırasıyla XRD ve SEM analizleri ile karakterize edilmiştir. Sonuç olarak, sert hammaddelerin öğütülmesiyle standarta göre daha düşük sıcaklıklarda, daha üstün fiziksel ve mekanik özelliklere sahip bünyeler elde edilebileceği görülmüştür.

Effect of Hard Raw Material Particle Size and Sintering Temperature on Properties of the Wall Tile Bodies

Keywords

Ceramic wall tile,
Particle size,
Sintering,
Physical properties

Abstract: It is known that the technological properties of ceramic tiles are related to the raw material characteristics (grain size distribution, chemical composition, mineralogical structure). In this study, quartz and pegmatite hard raw materials, which constitute approximately 30% of the standard wall tile body recipe, were used in the composition after 90 minutes grinding process and the prepared bodies were fired at different temperatures (1110, 1120, 1127 and 1147 °C). After sintering, firing shrinkage (%), water absorption (%), fired strength and L*a*b* color parameters were determined and compared with the standard tile body. The phases and microstructure images of the samples were characterized by XRD and SEM analyses respectively. As a result, it was seen that by grinding the hard raw materials, it is possible to obtain structures with superior physical and mechanical properties at lower temperatures compared to the standard.

1. Giriş

Seramik kaplama malzemeleri (yer ve duvar karosu, porselen karolar) geleneksel seramik ürünlerin önemli bir kısmını oluşturmaktadır. Seramik duvar karoları kaplama malzemeleri içerisinde yüksek su emme ve porozite (≥ 10) özelliği nedeniyle iç mekân uygulamalarında tercih edilmektedir [1]. Duvar karosu üretimlerinde kullanılan hammaddeler plastik özelliğe sahip olanlar ve plastik özelliğe sahip olmayanlar olarak ikiye ayrılmaktadır. Plastik özelliğe

sahip olan hammaddeler kil ve kaolenler, diğerleri ise feldspat ve kuvarstır. Killer, düşük tane boyutuna sahip hammaddeler olup, bünyeye plastiklik kazandırmak, yaş ve kuru mukavemetini arttırmak amacıyla kullanılırlar. Feldspatlar (pegmatit, albit, ortoklas) ise kil ve kuvarsa göre daha düşük sıcaklıklarda camlaşma sağlayarak sinterleme sıcaklıklarını düşürmek için kullanılan alkali oksit içeren ergiticilerdir [2].

Endüstriyel seramik karo üretimi genel olarak beş aşamada gerçekleşmektedir. İlk aşama çamur

*İlgili yazar: btanisan@ogu.edu.tr

hazırlama olup, burada başlangıç hammaddeleri bilyalı değirmenlerde su ve elektrolit ilavesiyle karıştırılır. İkinci aşamada, hazırlanan çamur püskürtmeli kurutucuda sıcak hava yardımıyla kurutularak granül haline getirilir. Üçüncü aşama, hazırlanan tozların basınç yardımıyla nihai karo şeklini aldığı presleme aşamasıdır. Dördüncü aşama karo yüzeyinin sırt tabakası ile kaplanması ve son aşama ise sırlı karoların pişirilmesi. Günümüzde duvar karoları, rulolu fırınlarda hızlı tek pişirim tekniği ile 1120-1155 °C sıcaklıkta 35-55 dakika gibi sürelerde üretilmektedir. Seramik karo üretim maliyetinin önemli bir kısmını pişirme işlemi için harcanan enerji ihtiyacı olduğu göz önüne alındığında, sinterleme süresi ve/veya sıcaklığının düşürülmesi işletmelerin ulusal ve uluslararası pazarda rekabet gücünü arttıracaktır. Ayrıca, düşük pişirim sıcaklığı ile havaya salınan ve çevre kirliliğine neden olan CO₂ gazı emisyonu da azaltılmış olacaktır. Bu nedenle, seramik karoların pişirim sıcaklığını düşürmek günümüzde üzerinde durulan önemli konulardan biri olmuştur. Bu amaçla literatürde ağırlıklı olarak bünyede feldispatlara ilave olarak farklı özellikteki ergiticilerin kullanılmasına yönelik çalışmalar yer almaktadır. Borik asit [3-6] ve çeşitli bor türevleri [7,8] ile vollastonit [9-11], üleksit [12,13] ve spodumen [14] bu ergiticilere örnek olarak verilebilir.

Standart duvar karosu bünye reçetesinin yaklaşık %30'unu sert hammaddeler olarak tanımlanan kuvars ve feldispatik hammaddeler oluşturmaktadır. Sert hammaddelerin tane boyutunun azaltılması ile spesifik yüzey alanı artışı sağlanacağı için hem karıştırma hem de pişirme işlemi sırasındaki etkileşim hızlanacaktır. Yapılan literatür taramasında, kuvars tane boyutunun özellikle sağlık gereçleri ve porselen karoların farklı teknolojik özelliklerine etkisi üzerine çalışmalar yer almaktadır. Örneğin; Ochen vd. [15] kuvars tane boyutunun sağlık gereçleri porseleninin fiziksel ve mekanik özelliklerine etkisini araştırmış ve en yüksek mukavemet değerinin 5-20 µm tane boyutunda kuvars içeren bünyede ulaşıldığını belirtmişlerdir. Bir diğer çalışmada ise, porselen karoların eğilme mukavemeti ve sinterlenme davranışına kuvars tane boyutunun etkisi araştırılmıştır. İnce, orta ve kaba tane boyutuna sahip kuvars ilavesiyle hazırlanan bünyeler aynı sinterleme sıcaklığında pişirilmiş ve çalışma sonucunda kuvars tane boyutunun azaltılması ile bünyelerin su emme değerinin azaldığı ve dolayısıyla da mukavemetlerinin arttığı görülmüştür [16].

Bu çalışmada, literatürden farklı olarak sert hammaddelerden olan kuvars ve pegmatit tane boyutunun duvar karosu bünyelerin sinterlenmesi ve nihai ürün özelliklerine etkisinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla, geleneksel bir duvar karosu bünye reçetesi ve hammadde tane boyut dağılımı standart olarak alınmıştır. Standart (öğütülmemiş) ve 90 dakika süreyle öğütülmüş sert hammadde ilavesiyle hazırlanan duvar karosu reçeteleri farklı

sıcaklıklarda pişirilerek, bünyelerin fiziksel/mechanik özellikleri ile sinterleme sıcaklığı arasındaki ilişki araştırılmıştır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Materyal

Deneylerde kullanılan standart duvar karosu bünyesi ağırlıkça %59 kil harmanı, %12 kuvars, %17 pegmatit ve %12 kalsit bileşimindedir. Reçetede kullanılan hammaddelerden; killer Şile ve Kemerburgaz bölgelerinden, pegmatit Söğüt bölgesinden, kalsit Eskişehir bölgesinden ve kuvars Bilecik bölgesinden temin edilmiştir. Hammaddelerin X-ışınları floresans tekniği (XRF, RIGAKU ZSX Primus) ile belirlenen kimyasal analizleri Tablo 1'de ve standart testler ile ölçülen fiziksel özellikleri ise Tablo 2'de verilmiştir.

2.2. Metot

2.2.1. Sert hammadde karışımının hazırlanması

Sert hammadde karışımı; reçeteye göre ağırlıkça %12 kuvars ve ağırlıkça %17 pegmatit olacak şekilde tartılarak hazırlanmış ve bilyalı değirmende 90 dakika süreyle yaş öğütme işlemine tabi tutulmuştur. Sulu karışım 110 °C sıcaklıkta etüvde kurutma işlemi sonrasında bünyede kullanıma hazır hale gelmiştir. Standart (öğütülmemiş) ve 90 dakika öğütülmüş sert hammadde karışımının lazer difraksiyonlu tane boyut ölçüm cihazı ile belirlenen tane boyut dağılım grafikleri sırasıyla; Şekil 1 (a) ve (b)'de verilmiştir. Bu grafiklerden, standart karışımın ortalama tane boyut değeri (d₅₀) 42.047 µm, 90 dakika öğütülen karışımın ortalama tane boyut değeri (d₅₀) ise 6.81 µm olarak belirlenmiştir. Ayrıca bu grafiklerden, öğütme işlemi uygulanmış karışımın diğerine göre daha dar tane boyut dağılım aralığı sergilediği görülmektedir.

2.2.2. Bünyelerin hazırlanması

Deneysel çalışmalarda, standart (öğütülmemiş) ve 90 dakika süreyle öğütülmüş kuvars ve pegmatit karışımına diğer hammaddelerin (kil ve kalsit) ilavesiyle iki farklı masse reçetesi hazırlanmıştır. Öğütülmemiş sert hammaddelerle hazırlanan masse reçetesi D-STD, 90 dakika öğütülen sert hammaddelerle hazırlanan masse reçetesi ise D-90 olarak kodlanmıştır.

Belirlenen reçetelere göre hazırlanan bünyeler, laboratuvar tipi jet değirmende su ve elektrolit ilavesi ile 30 dakika süreyle karıştırılarak önce çamur haline getirilmiştir. Hazırlanan çamurlar 1 gün süreyle etüvde kurutulduktan sonra, %5-6 nemlendirilip, 1 mm'lik elekten elenerek granül haline getirilmiştir. Elde edilen granül formundaki tozlar, 100mm×200mm×7mm boyutunda laboratuvar tipi presle 266 kg/cm² basınç altında şekillendirilerek deney numuneleri hazırlanmıştır. Etüvde 1 saat

süreyle bekletilerek nemi uzaklaştırılan karolar, son olarak laboratuvar tipi kamaralı fırında 1110-1147 °C

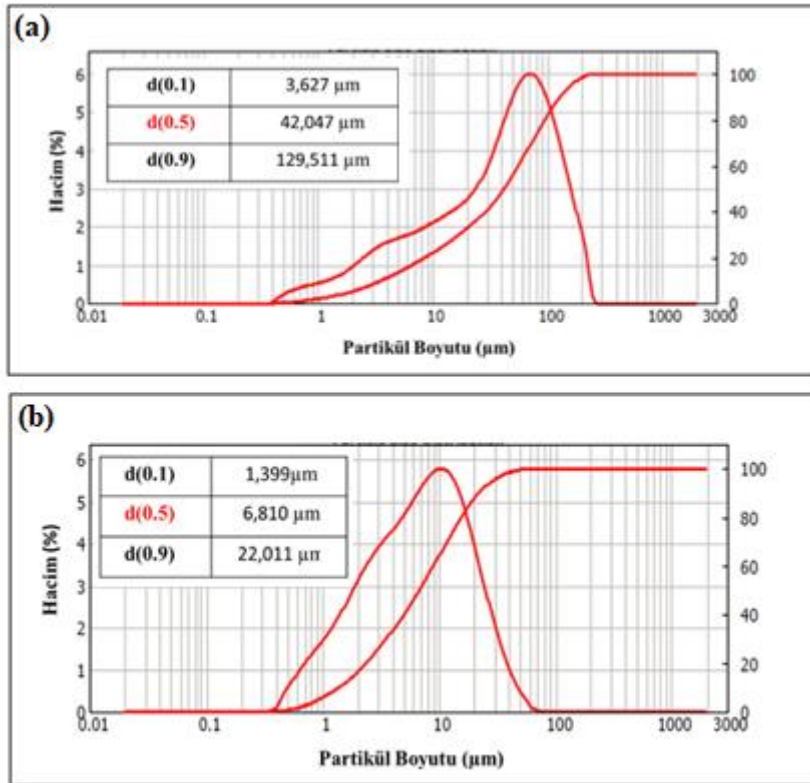
sıcaklık aralığında 20 dakika tepe sıcaklığında bekletilmek suretiyle pişirilmiştir.

Tablo 1. Hammaddelerin kimyasal analizleri (%)

Hammadde	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	K.K
Kil Harmanı	58.4	25.1	3.2	1.5	0.5	0.6	-	0.8	8.9
Pegmatit	71.2	15.9	2.2	0.4	0.5	0.4	3.2	3.4	2.8
Kuvars	91.7	5.2	0.4	0.1	0.2	-	-	1.5	0.9
Kalsit	0.2	-	0.2	-	58.2	-	-	-	41.4

Tablo 2. Hammaddelerin fiziksel özellikleri

Özellik	Kil Harmanı	Pegmatit	Kalsit	Kuvars
Elek Bakiye 63 µm (%)	0.94	0.92	-	-
Rutubet (%)	6.3	7.5	-	-
Ham Dayanım (kg/cm ²)	7.5	1.7	-	-
Kuru Küçülme (%)	0.11	0.03	-	-
Kuru Mukavemet (kg/cm ²)	17.7	11.7	-	-
Pişme Küçülmesi (%)	4.5	5.0	-	-
Pişme Mukavemeti (kg/cm ²)	343	295	-	-
Su Emme (%)	10.2	11.5	-	-
Kızdırma Kaybı-KK (%)	9.3	3.8	-	-
Renk	L*	78.5	59.3	86.5
	a*	4.7	12.1	-0.3
	b*	13.2	12.1	0.7



Şekil 1. (a) Öğütülmemiş ve (b) 90 dakika öğütülen sert hammadde harmanının tane boyut dağılımı

2.3. Karakterizasyon

Deney numunelerine standart teknolojik testler uygulanmış ve her bir test için üç adet numune hazırlanarak ortalama değerleri alınmıştır.

Numunelerin su emme tayini TS EN ISO 1054-5 vakumlu test standardına göre yapılmıştır. Pişirilen karolar 10×10 cm² ebatlarında kesilerek tartılmış ve kuru ağırlıkları (W1) belirlenmiştir. Daha sonra su emme testine tabi tutularak yaş ağırlıkları (W2)

belirlenmiş ve Eşitlik 1 ile su emme miktarı (%) hesaplanmıştır.

$$\% \text{ Su Emme} = [(W_2 - W_1) / W_2] \times 100 \quad (1)$$

Numunelerin lineer pişme küçülmesi değeri (%), 0,01 hassasiyetli kumpas yardımıyla ölçülerek pişmemiş numunenin boyu (L_1) ve pişmiş numunenin boyu (L_2) kullanılarak Eşitlik 2 ile hesaplanmıştır.

$$\% \text{ Pişme Küçülmesi} = [(L_1 - L_2) / L_1] \times 100 \quad (2)$$

Pişirilen numunelerin eğilme mukavemeti değeri ISO 10545-4 standardına göre 3 nokta eğme testi ile belirlenmiştir. Numunelerin $L^*a^*b^*$ renk değerleri Konica Minolta marka CM-2600d model spektrofotometre cihazı ile 60°lik tarama açısı kullanılarak ölçülmüştür. Numunelerin sinterlenme davranışları Misura ODHT HSM 1600-80 marka ısı mikroskobuyla belirlenmiştir.

Pişmiş bünyelerin faz analizi X-ışınları difraktometresi (XRD, Rigaku, Miniflex 600) ile 20-70° tarama aralığında Cu $K\alpha$ ışınımı ($\lambda = 1,54060 \text{ \AA}$) ile belirlenmiştir. Sinterleme sonrası kesilerek kesitleri parlatılmış numunelerin mikroyapı özellikleri taramalı elektron mikroskobunda (SEM, Zeiss SUPRA 50 VP) incelenmiş ve EDS tekniği ile kalitatif kimyasal analizleri gerçekleştirilmiştir.

3. Bulgular

1110, 1120, 1127 ve 1147 °C olmak üzere farklı sıcaklıklarda pişirilen D-STD ve D-90 numunelerine ait fiziksel özellikler Tablo 3'de verilmiştir. Numunelerin %su emme (porozite) değerleri karşılaştırıldığında, D-90 numunesinde pişirim sıcaklığına bağlı olarak su emme değerlerinde değişim daha fazla olmuş ve D-STD numunesine benzer su emme değerlerine daha düşük sıcaklıklarda ulaşılmıştır. 1147 °C de pişirilen numunelerin su emme değerleri incelendiğinde D-90 numunesi ile %15.6 olarak belirlenen en düşük su emme değerine ulaşılmıştır (Tablo 3). Bu durumun, özellikle ergitici olarak kullanılan pegmatitin tane boyutunun azalmasıyla yüksek sıcaklıklarda artan vitrifikasyon sonucunda porların kapanmasından kaynaklandığı düşünülmüştür. Bilindiği üzere feldispatik hammaddeler düşük ergime sıcaklığına sahiptir ve sinterleme esnasında akışkanlaştırıcı rolü üstlenerek sıvı faz miktarını artırıp, porların dolmasını sağlar [17].

Beklenildiği gibi artan sinterleme sıcaklığı ile her iki numunenin de pişme mukavemeti artmıştır. Bu değişim D-90 numunesinde daha fazla olmuştur. Geleneksel duvar karosu pişirim sıcaklığı olan 1147 °C'de, standart bünyenin mukavemeti sert hammaddelerin öğütülmesiyle 188 kg/cm²'den 230 kg/cm² değerine ulaşmıştır (Tablo 3). Ayrıca D-90 numunesi ile 1147 °C'de pişirilen standart numuneye

göre yaklaşık 30 °C daha düşük sıcaklıklarda (1120 ve 1127 °C) daha yüksek mukavemet değerine ulaşılması, sert hammadde tane boyutunun bünyelerin sinterlenmesi üzerinde etkili olduğu söylenebilir.

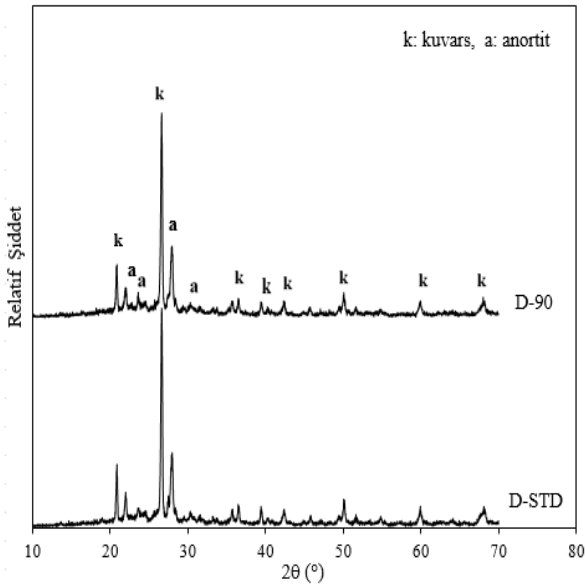
Tane boyutunun azalması tanelerin etkileşimini arttırmakta ve bu da sinterleme işleminin daha kolay gerçekleşmesine olanak sağlamaktadır. Sinterlemenin artması ile por boyut ve miktarı da azalacaktır. Porozite seramik bünyelerin mukavemetine etki eden en önemli parametrelerden biridir. Mikroyapıda porların artması çatlak oluşumu kolaylaştırır ve bu durum da bünyenin kırılma tokluğunu azaltır.

Sert hammadde tane boyutunun azaltılarak kullanıldığı D-90 numunesinde, sıcaklığa bağlı olarak bünyede pişme küçülmesinde azalma olduğu görülmüştür. Buna karşın D-STD numunesinde sıcaklığın azalmasıyla birlikte bünyede büyüme görülmüştür (Tablo 3). Ancak, tüm numunelerin hem % su emme, hem de % pişme küçülmesi değerlerinin endüstriyel standartlarda olduğu tespit edilmiştir [18]. Numunelerin sinterleme sonrası spektrofotometre ile belirlenen L^* (beyazlık), a^* (kırmızılık) ve b^* (sarılık) renk değerleri incelendiğinde, numunelerin artan pişirim sıcaklığı ile özellikle L^* değerinin azaldığı (rengin koyulaştığı) tespit edilmiştir. Hem pişirim sıcaklığı artışı, hem de tane boyutunun küçülmesi ile oluşan camsı faz miktarındaki artış, beyazlık değerinin azalmasına sebep olmuştur [19].

1127 °C' de pişirilen numunelerin XRD paternleri Şekil 2'de verilmiştir. Buradan her iki numunenin de benzer şekilde serbest kuvars ve anortit fazlarını içerdikleri tespit edilmiştir. Sinterleme sırasında reçete bileşiminde CaO kaynağı olarak kullanılan kalsit (CaCO₃), killerin parçalanması sonucunda oluşan alümina-silikat spineli ile reaksiyona girerek anortit (CaO.Al₂O₃.2SiO₂) fazını oluşturmuştur [20]. D-90 numunesinde öğütmenin etkisiyle anortit fazının miktarında artış beklenmektedir. Ancak, numunelerin XRD pik şiddetleri göreceli olarak kıyaslandığında anortit fazının miktarının değişmediği gözlenmiştir. Muhtemelen, sert hammaddelerin tane boyutunun azaltılması ile reaktivitenin artması özellikle sinterleme sıcaklığını düşürmede avantaj olduğunu göstermiştir.

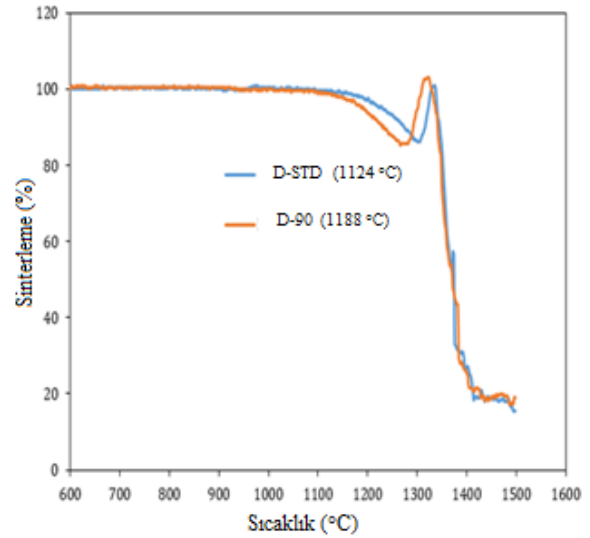
Tablo 3. Numunelerin fiziksel özellikleri

Özellik		D-STD				D-90			
Pişirim Sıcaklığı (°C)		1110	1120	1127	1147	1110	1120	1127	1147
Su Emme (%)		19.5	19.4	18.9	17.8	21.2	19.04	18.03	15.7
Pişme Mukavemeti (kg/cm ²)		143	161	177	188	153	184	217	230
Pişme Küçülmesi (%)		+0.43	+0.32	+0.20	-0.33	+0.15	-0.47	-0.80	-2.2
Renk	L*	74.8	74.2	73.2	70.2	76.1	74.7	73.0	68.5
	a*	8.6	8.6	8.4	8.4	8.5	8.7	8.9	9.1
	b*	17.9	18.3	18.5	19.7	17.2	18.0	18.4	19.3

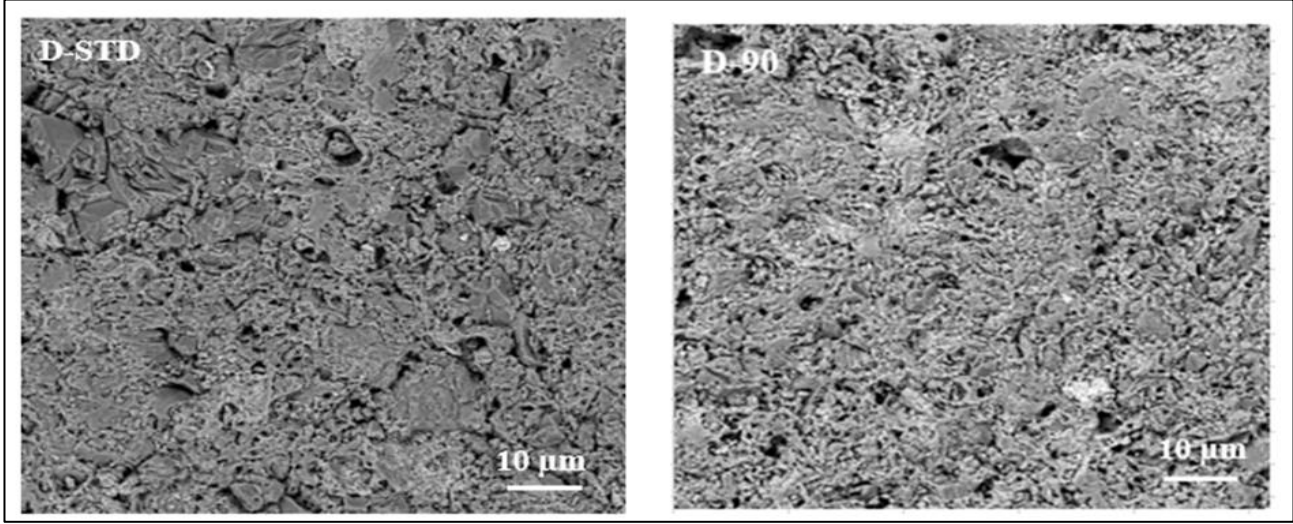
**Şekil 2.** 1127 °C'de pişirilen numunelerin XRD paternleri

Numunelerin ısı mikroskobu ile belirlenen sinterlenme grafiği Şekil 3'de verilmiştir. Burada D-STD ve D-90 numunelerinin sinterlenme sıcaklıkları sırasıyla 1224 ve 1188 °C olarak belirlenmiştir. Sert hammaddelerin tane boyutunun azaltılmasıyla sinterleme sıcaklığında yaklaşık 36 °C'lik bir azalma gerçekleşmiştir.

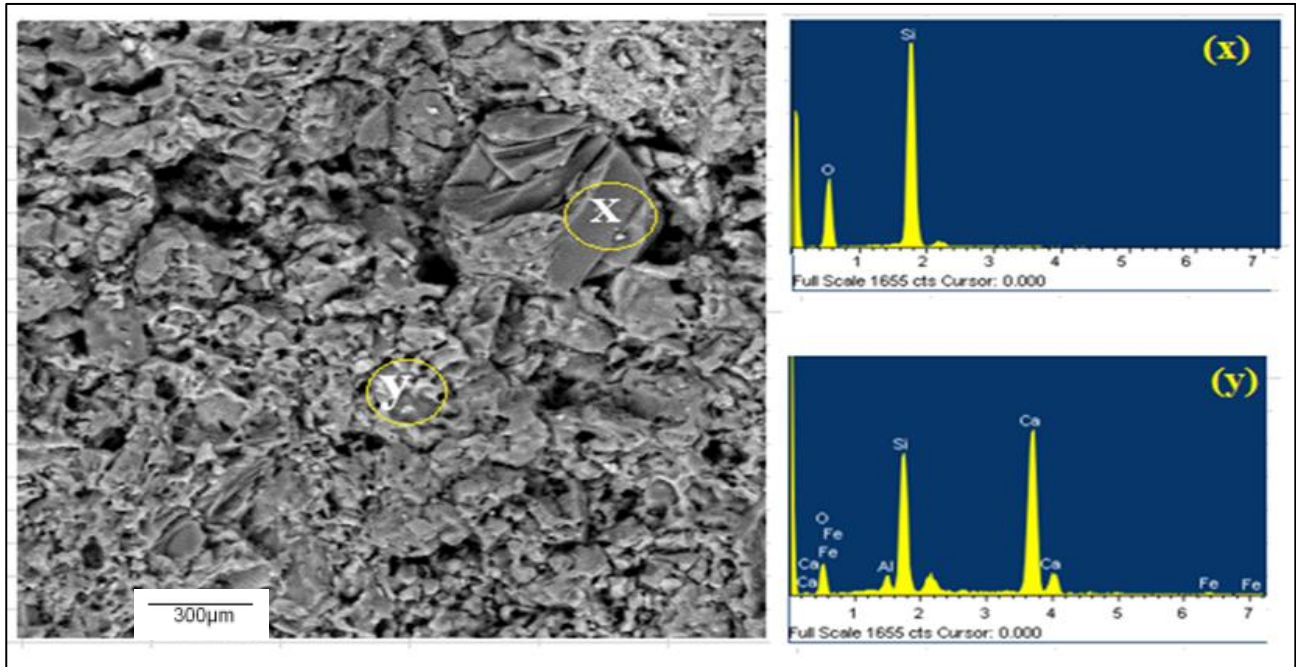
D-STD ve D-90 kodlu numunelerin mikroyapıları taramalı elektron mikroskobu ile incelenmiştir. Genel olarak mikroyapıda yuvarlak ve köşeli taneler görülmektedir. Mikroyapıdaki siyah kısımlar ise gözenekleri göstermektedir (Şekil 4). Mikroyapıdaki kristallerin bileşiminin belirlenmesi için kimyasal dağılama işlemi uygulanan D-90 numunesine EDS analizi yapılmıştır.

**Şekil 3.** Numunelerin ısı mikroskobu grafiği

Burada, köşeli tanelerin (X bölgesi) EDS analizinde sadece silisyum piki (Si) görülmektedir, bu da bu tanelerin kuvars kristalleri olduğunu göstermektedir. Yuvarlak taneler (Y bölgesi) üzerinden alınan EDS analizinde ise; kalsiyum (Ca), alüminyum (Al) ve silisyum (Si) pikleri görülmektedir. Bu kristaller de anortit kristalleridir (Şekil 5). Bu veriler, XRD sonuçlarına benzer şekilde (Şekil 2) mikroyapıların serbest kuvars ve anortit kristalleri içerdiğini desteklemektedir.



Şekil 4. 1127 °C de pişirilen numunelerin SEM görüntüleri (250x)



Şekil 5. 1127 °C'de pişirilen D-90 numunesine ait EDS analizi (1000x)

4. Tartışma ve Sonuç

Bu çalışmada, duvar karosu kompozisyonunda sert hammaddeler olan kuvars ve pegmatit tane boyutunun bünyelerin sinterleme sıcaklığı ve nihai ürün özelliklerine etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla farklı sıcaklıklarda pişirilen numunelerin fiziksel özellikleri incelenmiştir. Sert hammadde tane boyutunun azalması ile standart duvar karosuna kıyasla daha düşük pişirim sıcaklıklarında, daha düşük su emme ve daha yüksek mukavemet değerlerine ulaşılmıştır. Sert hammaddelerin daha fazla öğütülmesi, taneler arasındaki etkileşimi artırarak pişme sırasındaki reaksiyonların hızlanmasına ve dolayısıyla da sinterlemenin daha kolay olmasına katkı sağlamıştır. Günümüzde seramik duvar karolarının yer karolarına kıyasla yüksek porozite ve düşük mukavemet değerlerine sahip olması bu ürünlerin büyük ebatlarda üretilmesini

kısıtlamaktadır. Dolayısıyla yapılan bu çalışma ile duvar karosu reçetesindeki sert hammaddelerin öğütme sürelerinin artırılarak kullanılmasının, kısmen daha büyük ebatlarda ve daha ince karoların üretimine olanak sağlayacağı söylenebilir.

Teşekkür

Laboratuvar çalışmalarının yürütülmesine katkı sağlayan Seranit Seramik Ar-Ge Merkezine teşekkür ederiz.

Kaynakça

- [1] Ozturk, Z.B., Gultekin, E.E. 2014. Determination of the Effect of the Addition of Pumice on the Technological Properties of Wall Tile Using the Factorial Design Method. Advances in Ceramic Science and Engineering (ACSE),3, 1–10.

- [2] Ozturk Z.B. 2017. Effect of addition of Avanos's (Nevşehir) clays on the physical and microstructure properties of ceramic tile. *Journal of the Australian Ceramic Society*, 53101–107.
- [3] Emrulloğlu, Ö.F., Özçelik F. 2002. Etibank Kırka Boraks Atığının Yer Karosu Bünye Özelliklerine Etkisi. 1. Uluslararası Bor Sempozyumu, Kütahya, 213–218.
- [4] Cengiz, Ö., Kara, A. 2009. Tek Pişirim Duvar Karosu Bünyelerinde Borik Asit İlavesinin Sinterleme Davranışına Etkileri. *Afyon Kocatepe Üniv. Fen ve Müh. Bilimleri Dergisi*, 9(3), 29–35.
- [5] Elmas, S., Tarhan, İ. 2019. The Effect of Combination of Boric Acid and Lithium Carbonate on Sintering and Microstructure in Single Firing Wall Tile. *Journal of Scientific Perspectives*, 3(2), 85–98.
- [6] Moreno, A., Garcia-Ten, J., Bou, E., Gozalbo, A. 2000. Using Boron as an Auxiliary Flux in Porcelain Tile Compositions. In proceedings of 4th World Congress on Ceramic Tile Quality-QUALICER, Castellion, 77–91.
- [7] Ediz, N., Yurdakul, A. 2009. Characterization of Porcelain Tile Bodies with Colemanite Waste Added as a New Sintering Agent. *Journal of Ceramic Processing Research*, 10 (4), 414–422.
- [8] Yet, G. 2007. Yer karosu bünyelerinde farklı ergiticilerin çamur reolojisi ve sinterleme üzerine etkileri. *Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, 123s, Eskişehir.
- [9] Turkmen, O., Kucuk, A., Akpınar, S. 2015. Effect of Wollastonite Addition on Sintering of Hard Porcelain. *Ceramics International*, 41, 5505–5512.
- [10] Sánchez-Muñoz, L., Carda, J. B., Cerisuelo, E., Tuduri, F., Plaza, S. 2002. Elaboration of Porcelain Stoneware Tiles at 1170°C by Addition of Wollastonite. *Key Engineering Materials*, 206, 2205–2208.
- [11] Bragança, S. R., Lengler, H. C. M., Bergmann, C. P. 2012. Wollastonite as a Flux for Ceramics Bodies. *Materials Science Forum*, 727, 1016–1021.
- [12] Bayca, S. U. 2009. Effects of the Addition of Ulexite to the Sintering Behavior of a Ceramic Body. *Journal of Ceramic Processing Research*, 10(2), 162–166
- [13] Başaran, N., Tamsü, N. 2021. Üleksit ve Manyezit Karışım Komp. Porselen Karo Sinterlemesi Üzerine Etkisinin İncelenmesi. *Seramik - Journal of the Turkish Ceramics Society*, 1(2) 26–32.
- [14] Gines, A., Orenge, A., Sheth, A., Thiery, D. 2004. Use of Spdumene for Manufacturing Porcelain Tile Bodies of High Whiteness. *Industrie Ceramique*, 996, 50–52.
- [15] Ochen, W., Oruru, B., Dujanga, F. 2019. Effect of Quartz Particle Size on Sintering Behavior and Flexural Strength of Porcelain Tiles Made from Raw Materials in Uganda. *Advances in Materials*, 8(1), 33–40.
- [16] Stathis, G., Ekonomakou, A., Stournaras, C. J., Ftikosa, C. 2004. Effect of Firing Conditions, Filler Grain Size and Quartz Content on Bending Strength and Physical Properties of Sanitaryware Porcelain. *Journal of the European Ceramic Society*, 24, 2357–2366.
- [17] Alves, H.J., Melchiades, F.G., Boschi A.O. 2012. Effect of Feldspar Particle Size on the Porous Microstructure and Stain Resistance of Polished porcelain tiles. *Journal of the Eur. Ceramic Soc.* 32(10), 2095–2102.
- [18] TS EN 14411/Grup BIII, Su Emmesi E> %10 olan Kuru Preslenmiş Seramik Karolar, Mart, 2006.
- [19] Z.Bayer Ozturk, N.Ay, “An investigation of the effect of alkaline oxides on porcelain tiles using factorial design”, *Journal of Ceramic Processing Research*. Vol. 13, No. 5, pp. 635~640 (2012)
- [20] Aydın, T., Tarhan, M., Tarhan, B. 2019. Addition of Cement Kiln Dust in Ceramic Wall Tile Bodies. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 136, 527–533.