



Farklı Tane Boyutlarındaki Kuvarsın Elektroporselen Bünyeye Etkisinin İncelenmesi

Investigation of Different Particle Size Quartz on Electroporcelain Body

Aliosman Tiryaki¹ , Ceyda Ayça Avcı¹ , Ceren Karakaya² , Baran Tarhan*² 

¹Ankara Seramik A.Ş., Ar-Ge Merkezi, I. O.S.B. Osmanlı Caddesi No:15, Posta 06930 Sincan, Ankara
²Uşak Üniversitesi, Güzel Sanatlar Fakültesi, Seramik Bölümü, Ankara İzmir Yolu 8. km Bir Eylül Kampüsü, 64200 Uşak

Başvuru/Received: 29/04/2022

Kabul / Accepted: 29/07/2022

Çevrimiçi Basım / Published Online: 31/07/2022

Son Versiyon/Final Version: 31/07/2022

Öz

Porselen, izolatör üretiminde kullanılan en yaygın malzemedir. Porselen izolatörlerin üretiminde, diğer porselen ürünlerine benzer hammaddeler kullanılsa da nihai ürünün sağlaması gereken teknik ve karakteristik özellikler bakımından son derece özel ürünlerdir. Kuvars esaslı porselen izolatörler ise alçak ve yüksek gerilim kademelerinde kullanılmaktadır. Kuvars esaslı porselenlerde ana bileşen olan kuvars bünyenin teknik ve karakteristik özellikleri üzerinde son derece önemli rol oynamaktadır. Bu çalışmada farklı tane boyutlarındaki kuvars hammaddesinin porselen izolatör bünyesindeki etkileri incelenmiştir. Bu amaçla elek üstü bakiyeleri en fazla %1 olan 45µ, 63 µ ve 100 µ tane boyutuna sahip kuvarsla porselen izolatör çamuru hazırlanmıştır. Hazırlanan reçetelerin fiziksel ve termal özellikleri analiz edilmiştir. Kuvars tane boyutu yükseldikçe pişme ve kuru mukavemet değerlerinde gözle görülür bir düşüş belirlenmiştir. Tane boyutunun yükselmesiyle, su emme ve görünür porozite yükselmiş, pişme küçülmesi azalmıştır. Çalışma sonunda kuvars tane boyutu yükseldikçe temel fiziksel özellikler kötüleşmektedir. İdeal çalışılacak tane boyutu 45 mikron olarak belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler

“İzolatör, kuvars, kuvars esaslı porselen, tane boyutu”

Abstract

Porcelain is the most common material used in the manufacture of insulators. Although raw materials similar to other porcelain products are used in the production of porcelain insulators, they are extremely special products in terms of technical and characteristic features that the final product must provide. Quartz-based porcelain insulators are used in low and high voltage levels. Quartz, which is the main component in quartz-based porcelain, plays an extremely important role on the technical and characteristic features of the body. In this study, the effects of quartz raw material in different grain sizes on the porcelain insulator were investigated. For this purpose, porcelain insulator sludge was prepared with quartz with 45µ, 63 µ and 100 µ grain sizes with a maximum 1% residue. The physical and thermal properties of the prepared recipes were analyzed. As the quartz grain size increased, a significant decrease was determined in the firing and dry strength values. With increasing grain size, water absorption and apparent porosity increased, and firing shrinkage decreased. At the end of the study, as the quartz grain size increases, the basic physical properties deteriorate. The ideal grain size to be studied was determined as 45 microns.

Key Words

“Insulator, quartz, quartz based porcelain insulator, particle size”

1. Giriş

İzolator enerji nakil hatlarında kullanılan iletkenlerin direklere tespitine ve iletkenleri hem toprak ile diğer iletkenlere karşı izole etmeye yarayan hem de taşımaya t şebeke malzemelerine izolator denir. İzolatorler yüksek elektrik akımına karşı dirençli ve yüksek sıcaklığa dayanıklı malzemelerden yapılır. Yapıldıkları malzemeye göre porselen silikon, epoksi reçineli ve cam izolator olmak üzere dört çeşit izolator tipi mevcuttur (T.C. Milli Eğitim Bakanlığı 2011). Porselen izolatorler diğer malzeme türlerine göre, sertlik ve mekanik dayanıklılığı olan, yalıtımda yarı iletkenliğe adapte edilebilen, değiştirilebilen elektriksel özellikleri ile kimyasal etkilere, ısı ve hava koşullarına karşı dayanıklılık, yüksek korozyon dayanıklılığı, estetik tasarım gibi üstünlüklerinden dolayı daha avantajlı konumdadır ve 150 yılı aşkın süredir izolator malzemesi olarak kullanılmaktadır. Günümüzde modern toplumunda elektrik enerjisinin önemi nedeniyle artan porselen talebi, porselen izolatorlerin gereksinimleri ve uygulamalarında en iyi özellikleri elde etmek için birçok araştırma projesini motive etmektedir [Jos'e et al.(2005), J. Libermann (2012)].

Porselen izolator üretiminde hammadde olarak diğer porselen üretimine benzer şekilde kil ve kaolenler, feldspatlar, kuvars ve alümina kullanılır. İzolatorler, kullanıldığı hammaddeler ve üretim yöntemleri bakımından diğer porselen sektörlerine benzer olsa da izolator ürünlerinden beklenen performans ve gereksinim çok farklıdır. İzolatorler, sahada kullanıma alınmadan önce, genel olarak kabul edilen IEC tarafından belirtilen 20 standart özellik testlerinde (elektromekanik kırılma yükü testi, flaş testi, güç frekansı delinme testi vb.) geçmelidir. Testler, elektromekanik özellikler ve dış ebatlar gibi izolatorün birçok yönünü içerir. Ayrıca testler güvenliği garanti altına almak için katıdır, aynı zamanda IEC tarafından verilen yeterlilik sertifikasını almanın zor olmasının da nedenidir[A. Ruys (2018)].

Porselen izolatorlerde yaygın olarak kullanılan iki farklı tip porselen türü vardır. Bunlar alümina ve kuvars esaslı izolatorlerdir. İzolatorün karşılamasının beklendiği mekanik ve elektriksel özellikler değerlendirilerek gerekli izolator grubunun seçimi yapılmaktadır (IEC-60672-3 standardında bu alt gruplar sınıflandırılmıştır).

Kuvars esaslı porselenler hammadde içeriği olarak kuvars, kil ve feldspat içermekle birlikte farklı gerilim seviyelerine göre hem alçak hem yüksek gerilim kademelerinde kullanılmaktadır. Mekanik ve elektriksel özellikleri, alümina esaslı porselenler kadar üstün olmasa da kuvars esaslı porselenler standartlarda belirtilen gerekli şartları sağladığı ürün gruplarında tercih edilmektedirler. Bu porselenlerin kullanımının başlıca avantajı maliyetlerinin düşük olmasıdır. Kuvars esaslı porselenlerde, yüksek pişirme sıcaklığı veya uzun pişirme süresi, kuvars tanelerinin erimesi nedeniyle seramik gövdedeki katı kuvars içeriğinin azalmasına neden olur. Öte yandan, kuvars fazı ile çevreleyen sıvı faz arasındaki ısı genleşme farklılıkları, porselende mikro çatlaklar oluşturabilen mekanik strese neden olur. Parça sıcaklığındaki yoğun değişiklikler, mevcut mikro çatlakların artmasına neden olarak yük altında mekanik mukavemetin azalmasına neden olabilir[Jos'e et. Al(2012)].

Ayrıca 3 bileşenli porselenler üzerine yapılan bazı çalışmalarda, kuvarsin ortaya çıkan ürün üzerinde son derece önemli rolü olduğunu ortaya koymaktadır. Porselen karolarda bu rol kuvarsin en baskın faz olduğundan dolayı daha kritiktir. Diğer taraftan, soğuma sırasında kuvarsin ve matrisin termal genleşme katsayıları arasındaki fark çıkan mikroskobik bir artış sıkıştırma gerilimine maruz bıraktığı için bir güçlendirme etkisine sahiptir. Bu mikroskobik gerilimlerin büyüklüğü, kuvars parçacıklarının çevresinde çatlaklar oluşturarak gerilim gevşemesine ve ürünün mekanik davranışını olumsuz yönde etkileyen mikro yapısal hasarın artmasına neden olur[A.De Nori et al.(2009)].

Porselenlerde kullanılan hammaddelerin tane boyutu ve dağılımı, su emme, mukavemet, mikroyapı gibi temel fiziksel özellikler üzerinde etkisi vardır[Tarhan et al. (2022), Tarhan (2019)] . Kompozisyonlarda kullanılan kuvars tane dağılımı ve boyutu düştükçe mukavemeti ve kırılma tokluğu yükselmektedir. Braganca et al.(2006) yaptığı çalışmada 20-30 µm aralığında kullanılan kuvarsin optimum tane boyutu olduğu belirlenmiştir. Bir diğer çalışmada ise seramik sağlık gereçleri(vitrifiye)ürünlerin pişirmeden sonra kristal kalıntı kuvars tanelerinin mukavemet üzerinde önemli etkileri olduğu belirlenmiştir[Tarhan et al. (2022),Turmen O. et al.(2015)].

Bu çalışmada kuvars tane boyutunun, kuvars esaslı porselen izolator çamuru üzerine etkisinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Ayrıca baskın yapı olan kuvarsin farklı tane boyutlarında kullanılmasının, teknik ve karakteristik özellikler üzerine etkileri tespit edilmiştir.

2. Materyal ve Yöntem

2.1. Kullanılan Hammaddeler

Standart izolator bünyesi kil, kaolen, kuvars ve feldspattan oluşmaktadır. Kullanılan kil ve kaolenler; yurtiçi ve yurt dışı tedarikçilerinden olmak üzere farklı yerlerden temin edilmiştir. Çalışmada kullanılan kuvars, üç farklı tane boyutunda;45µ altı, 63µaltı ve 100 µ altı olmak üzere Aydın/Çine bölgesinden tedarik edilmiştir. Kullanılan hammaddelere ait oksit bileşenleri Tablo 1'de verilmiştir. Hammaddelere ait fiziksel özelliklere Tablo 2'de verilmiştir.

Kullanılan kuvarsların tane boyutu ve dağılımları her kuvars için Mastersizer 2000 cihazında üçer ölçüm yapılarak ortalaması alınmıştır. 45 ve 63 mikron elek üstü % elek bakiyeleri de yaş elek analizi yöntemiyle hesaplanmıştır.

Tablo 1. Hazırlanan reçetelerde kullanılan hammaddelerin kimyasal bileşimleri (% ağırlıkça)

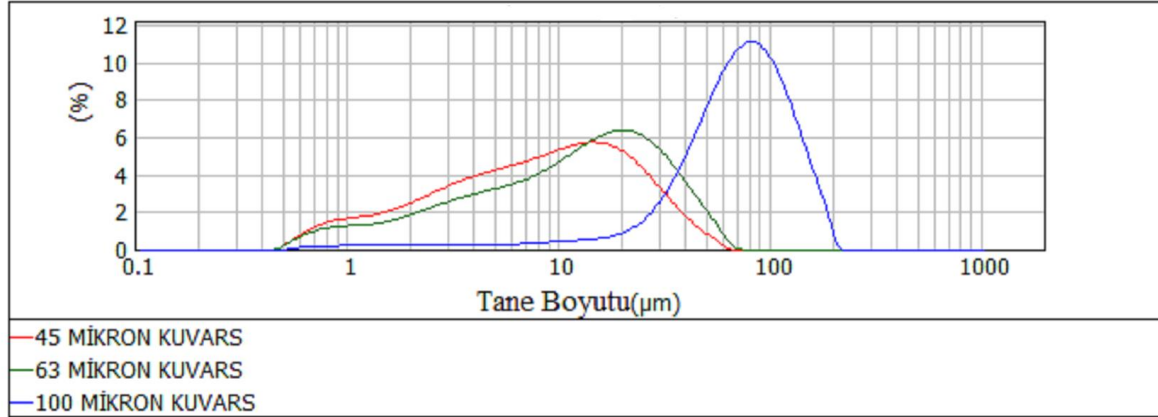
Hammaddeler	SiO ₂ +Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃ +TiO ₂	CaO+MgO	Na ₂ O+K ₂ O	K.K.
Kuvars	99,53	0,02	0,06	0,23	0,16
Feldspat	86,12	0,18	0,45	12,88	0,37
Kil 1	83,63	4,14	0,74	2,15	9,34
Kil 2	82,11	3,57	0,82	2,63	10,87
Kaolen 1	82,31	3,13	0,50	3,25	10,81
Kaolen 2	82,24	3,05	0,49	3,52	10,70
Kaolen 3	84,48	1,93	0,27	0,15	13,17
Kaolen 4	82,96	2,09	0,51	0,47	13,97

K.K. : Kızdırma Kaybı

Tablo2. Kil ve kaolenlerin fiziksel özellikleri (% ağırlıkça)

Hammaddeler	Kuru Mukavemet (kg/cm ²)	Pişme Küçülmesi (%)	Su Emme (%)
Kil 1	40	8,72	15,00
Kil 2	75	9,84	0,35
Kaolen 1	15	7,60	18,00
Kaolen 2	30	6,56	5,00
Kaolen 3	23	8,39	14,48
Kaolen 4	38	9,60	-

Çalışmada kullanılan kuvars özel olarak istenilen tane boyutunda öğütülerek işletme denemesi için hazırlanmıştır. 5'er tonluk partiler halinde hazırlanan kuvars partilerine ait tane boyut dağılımı Şekil 1'de, elek bakiye değerleri Tablo 3'te gösterilmiştir.

**Şekil 1.** Kuvars partilerine ait % Hacim-Tane boyutu(µm) tane boyut analizi grafiği**Tablo 3.** Kuvars hammaddelerine ait % elek üzeri bakiyeleri ve tane boyutları

Kuvars Partileri	45 µ Üzeri Elek Bakiyesi (%)	63 µ Üzeri Elek Bakiyesi (%)	d(50) (µ)	d(max) (µ)
45 µ Altı	1,2	0,0	12,1	69,1
63 µ Altı	4,1	0,3	17,4	79,3
100 µ Altı	64,4	47,1	73,3	208,1

2.2 Bünye Geliştirme Çalışmaları

Ankara Seramik Ar-Ge Merkezi laboratuvarında hazırlanan izolatör çamurları; reçete kompozisyonu değiştirilmeden kuvarsın tane boyutu değiştirilerek; 45 µ altı, 63 µ altı ve 100 µ altı kuvars kullanılarak bünyeler hazırlanmıştır. Hazırlanan elektroporselen bünyeler sırasıyla R1, R2 ve R3 olarak adlandırılmıştır. Hazırlanan reçetelerin oksit oranları Tablo 4’de verilmiştir. 1300 g/lit yoğunluğundaki çamurlar, filter preste 13 bar basınçta yaklaşık % 20 rutubete gelene kadar sıkıştırılarak kekler hazırlanmıştır. Hazırlanan kekler 9 devir/dak. hızla dönen vakum presten geçirilerek homojenleştirilmiştir. Vakum presten çıkan yaklaşık 30 mm çapındaki çubukların rutubeti % 19 ve sıcaklığı 35 °C’ dir. Çubukların kurutma işlemi 110 °C sıcaklıktaki etüvde, nem içeriği %0,1’in altına inene kadar gerçekleştirilmiştir. Çubuklar, 0,3 m³ hacimli doğalgazlı pilot üretim fırında işletme pişirim çevrimi programında maksimum sıcaklığı 1205°C olacak şekilde pişirilmiştir.

Tablo 4. Hazırlanan reçetelerin oksit oranları

Reçeteler (Std,R1,R2,R3)	SiO ₂ +Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃ +TiO ₂	CaO+MgO	Na ₂ O+K ₂ O	K.K.
	88,32	1,36	0,42	5,29	4,61

2.3. Karakterizasyon

2.3.1 Fiziksel ve kimyasal karakterizasyon özellikleri

Test sonuçları, her bir test için üçer adet numune hazırlanarak ve çıkan sonuçların ortalaması alınarak elde edilmiştir. Hazırlanan numunelerin fiziksel özellikleri (Boya nüfus deneyi,% su emme, görünür (açık) gözeneklilik, kuru mukavemet, pişme mukavemeti, % pişme küçülmesi) TS11237 EN 60672-2 standart test serisine göre yapılarak değerlendirilmiştir. Boya nüfus deneyi 1 litre %50 lik alkol ile 1 gram bazik Fuchsine ilave edilerek hazırlanan çözeltiye pişmiş numuneler koyularak Chemisches Laboratorium Tonindustrie marka test cihazıyla 90 MPa’lık basınçla 2 saat süreyle test gerçekleştirilmiştir. Görünür(açık) gözeneklilik ve % su emme deneyleri **Arşimet** prensibine göre yapılarak hesaplanmıştır. Standartta göre alınan deney parçaları 3 saat kaynatıldıktan sonra, su sıcaklığı oda sıcaklığına gelinceye kadar su içinde bekletildikten sonra ölçümler alınmıştır. Oluşturulan reçetelerin deformasyon ölçümleri için hazırlanan izolatör çamurları ile özel şekilli alçı kalıplarda döküm metoduyla tabletler hazırlanmıştır. Hazırlanan numunelerin kimyasal karakterizasyonları X-ışını floresans (XRF) yöntemi ile PANalytical Axios marka cihaz ile yapılmıştır. Pişme ve kuru mukavemet testleri için ekstrüzyonda hazırlanmış olan silindirik numuneler Zwick/Roell marka Z020 model 3 noktalı eğme testi uygulanarak mukavemet değerleri hesaplanmıştır.

2.3.2 Termal karakterizasyon özellikleri

Bünyelerin ısıl genleşme katsayıları Netzch marka 402 PC model dilatometre cihazı ile yapılmıştır. Numunelerin termal şok dayanımları TS11237 EN 60672-2 standart test serisine göre numune ve ortam arasındaki sıcaklık farklı 140,150 ve 160°C olacak şekilde ayarlanarak testler gerçekleştirilmiştir.

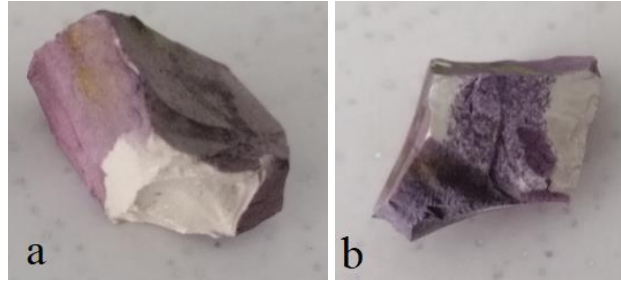
3. Bulgular ve Tartışma

3.1. Fiziksel Özellikler

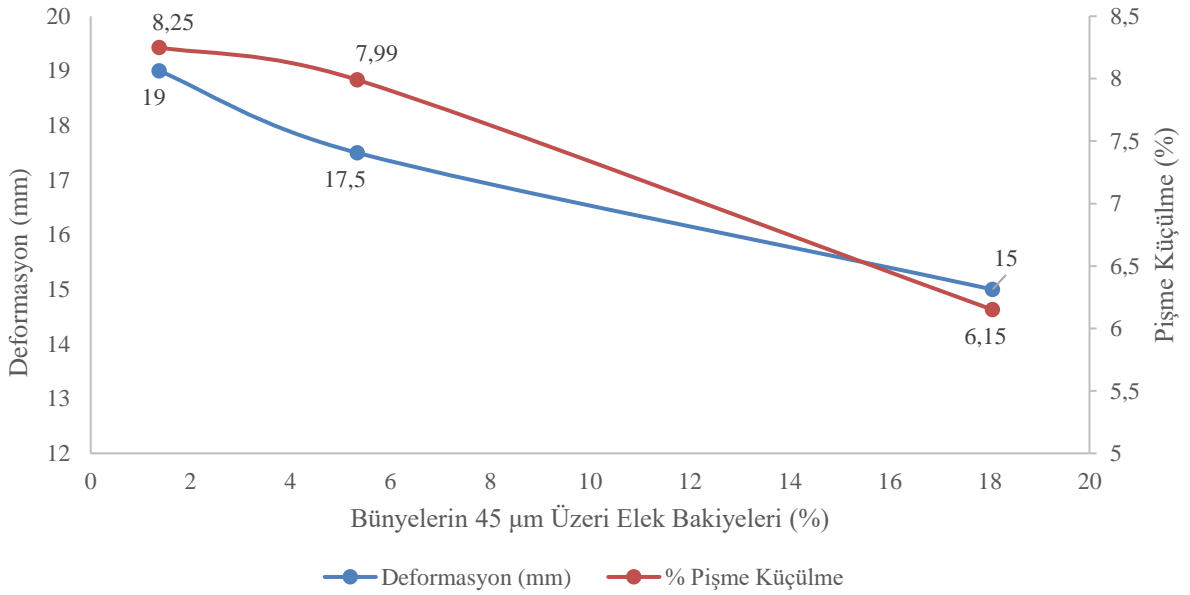
Porselen izolatör bünyesinde kullanılan kuvarsın tane boyutu değişiminin; bünyelerin 45µ, 63µ ve 100µ elek bakiyesi, % pişme küçülmesi, kuru mukavemet, sırlı ve sırsız pişmiş mukavemet değerleri üzerine değişimi Tablo 4’te, R1, R2 ve R3 denemelerinin boya nüfus deneyi sonuçları Şekil 2’de verilmiştir. Boya nüfus deneyi gözeneklerin veya mikro çatlakların varlığını tespit etmek için yapılan izolatör üretiminde sıklıkla kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntem ile servis ömrü ve ürün kullanımı sırasında karşılaşılabilecek çatlama ve kırılma hakkında bilgi veren bir test yöntemidir. Test sonuçlarına göre göre R1 ve R2 deneme reçeteleri boya nüfus testi sonucunda çatlak gözükmezken (olumlu sonuç verirken) R3 deneme reçetesinin olumsuz sonuç vermiştir (Tablo 5). R3 reçetesinde görünür porozite miktarı %1,92 iken R1 ve R2 reçetesinde sırasıyla %0,16 ve %0,22 çıkmıştır. Görünür porozite miktarının fazla olması-boya nüfus deneyinin olumsuz çıkmasına sebep olurken, bünye reçetesinde kullanılan kuvars tane boyutunun yükselmesi sinterleme sonrası kuvars çevresindeki radyal çatlakların artmasına sebep olarak yine boya nüfus deneyinin olumsuz çıkmasına neden olmaktadır [A. De Nori et al(2009), Braganca S.R et al.(2006)]. Bundan dolayı Şekil 2’de görüldüğü gibi hazırlanan boya çözeltisinin hem porozitenin içlerine hem de kuvars çevresinde oluşan çatlakların içlerine nüfuz ettiği değerlendirilmiştir.

Tablo 5.Çalışılan bünyelerin fiziksel özellikleri

Parametre	R1 (45µ Altı Kuvars Kullanılan Bünye)	R2 (63 µ Altı Kuvars Kullanılan Bünye)	R3 (100 µ Altı Kuvars Kullanılan Bünye)
45 µ üzeri elek bakiye (%)	1,37	5,34	18,06
63 µ üzeri elek bakiye (%)	0	0	12,04
Boya nüfuz deneyi	Olumlu	Olumlu	Olumsuz
Su emme (%)	0,07	0,09	0,80
Görünür porozite(%)	0,16	0,22	1,92
Pişme Küçülmesi (%)	8,25	7,99	6,15
Deformasyon (mm)	19	17,5	15
Kuru mukavemet (kg/cm ²)	48,81	41,81	37,58
Sırsız pişme mukavemeti (kg/cm ²)	941	907	481
Sırlı pişme mukavemeti (kg/cm ²)	1187	1150	717

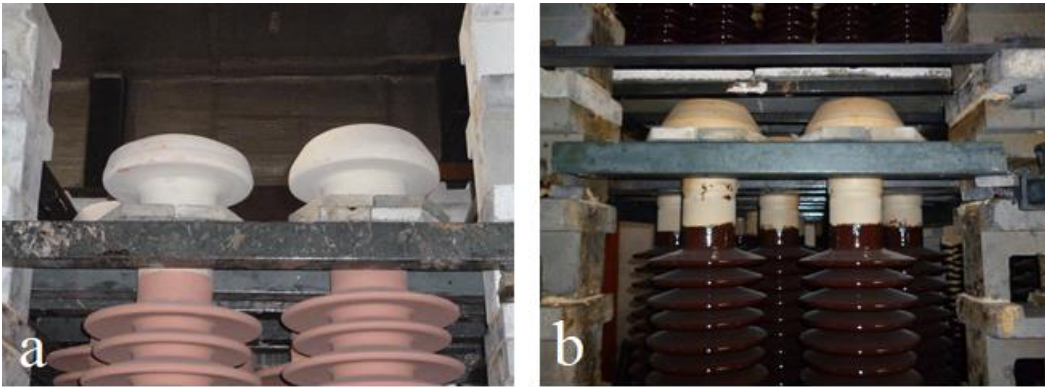
**Şekil 2.** a) R2, olumlu boya nüfusu testi, b) R3, olumsuz boya nüfusu testi

Yapılan su emme deneyi sonrasında R1, R2 ve R3 numuneleri için su emme değerleri sırasıyla % 0,07, % 0,09 ve % 0,8 olarak elde edilmiştir. R1 ve R2 numuneleri için su emme değerinde belirgin bir değişiklik görülmezken, 100 mikronluk kuvars kullanılan R3 kodlu numunenin su emme değeri yükselmiştir. Pişme küçülmesi değerleri analiz edildiğinde de en az küçülmenin (% 6,15) R3 deneme reçetesinde ve en fazla küçülmenin (%8,25) R1 deneme reçetesinde olduğu görülmüştür. Seramik bünyelerde termodinamik olarak tane boyutu ile sinterlenme derecesi arasında bir bağlantı vardır. Su emme ve porozite, pişme derecesine ve yapısal camsı faz oluşumuna bağlı olarak birbirleri ile doğrudan ilişkilidirler[Tarhan M.(2019),Tarhan M. et al.(2019)]. Tane boyutunun düşmesiyle(yüzey alanının artması) bağlı olarak tanelerin reaktivitesi artar. Bu sebeple sinterlenme prosesi etkin bir şekilde gerçekleşmektedir. Tane boyutu küçük olduğunda temas noktasının artmasıyla sinterleme de hızlanmaktadır[B.Tütmez et al.(1999), Kivitz E. et al.(2009), German R.M. et al.(2009)]. Su emme ve pişme küçülme değerleri beraber değerlendirildiğinde kuvars tane boyutunun 100 mikron olarak kullanılmasıyla numunelerin daha az sinterlendiği belirlenmiştir. Bununla beraber küçülme plakalarında ölçülen pişme küçülmesindeki farklılığın, R3 reçetesinde kullanılan 100 mikronluk kuvars sebebiyle bünyenin paketlenme kinetiğini olumsuz etkileyerek sinterleme sonrasında daha yüksek porozite oluşmasına neden olduğu değerlendirilmiştir.



Şekil 3. R1, R2 ve R3 bünyelerine ait 45 µm üzeri elek bakiyelerine göre deformasyon ve pişme küçülme grafiği

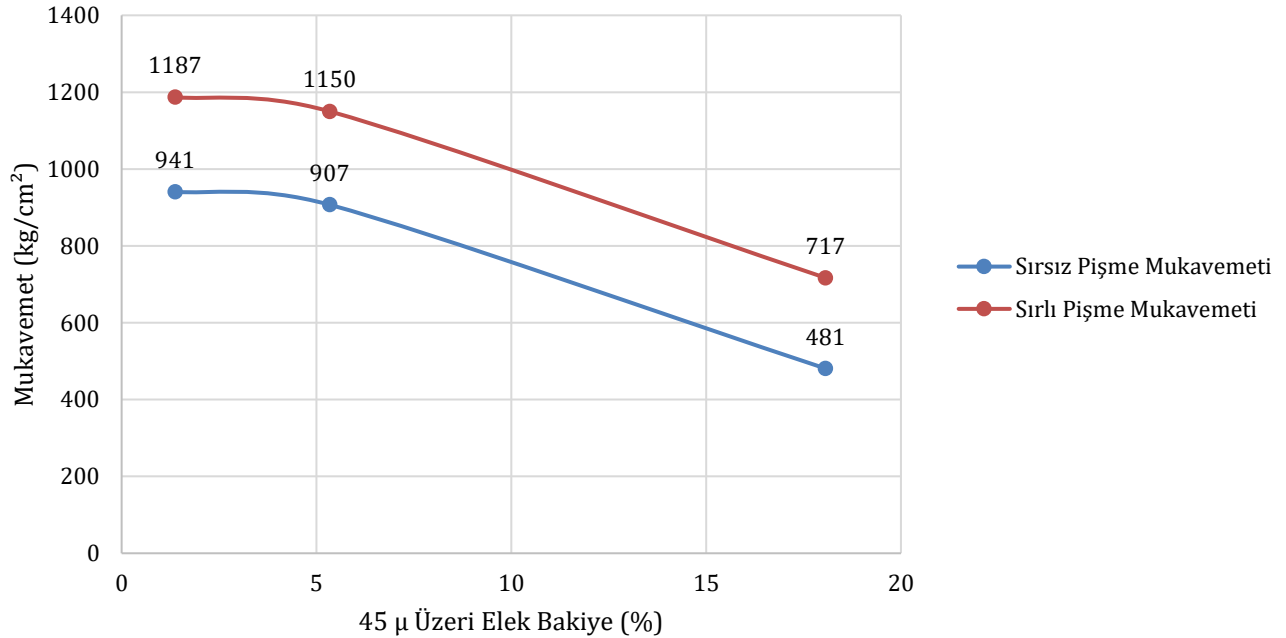
Bünyelere ait deformasyon ölçüm sonuçları Şekil 3'te verilmiştir. Bünyelerde artan kuvars tane boyutuna bağlı olarak deformasyon değerleri sırasıyla R1 reçetesi için 19 mm, R2 reçetesi için 17,5 mm ve R3 reçetesi için 15 mm olarak ölçülmüştür. Piroplastik deformasyon yüksek sıcaklıkta sinterleme sürecinde oluşan camsı fazın miktarı ve vizkozitesine bağlı olarak değişmektedir. Artan camsı faz miktarı ve azalan vizkoziteyle deformasyon artmaktadır. Sinterleme, partiküllerin yüzey enerjisini azaltmaya yönelik olan atomal hareketlenmenin bir sonucudur. Partiküllerin yüzey enerjisi partikül boyutuyla ters orantılıdır. Bundan dolayı daha fazla enerjiye sahip olan küçük partiküller büyük partiküllere göre daha hızlı sinterlenmektedir [German R.M. et al.(2009), Tarhan, B. et al. (2022), Tarhan B. et al. (2019)]. Bundan dolayı bünyelerde kuvars tane boyutundaki artışın sinterleme ve camsı faz gelişimini azaltarak bünyelerin deformasyon değerinin azalmasına neden olduğu düşünülmektedir. Deformasyon izolatör üretiminde önemli bir parametredir. Şekil 4a ve 4b de gösterildiği gibi izolatörlerin kendini sinterlenme sonrası şekil bozukluğu gerçekleşmeden askıya alınmış olması beklenir. Özellikle askıda pişirilen malzemelerde yüksek deformasyon ürün gövdesinde deformasyonlara(sünmelere) sebep olabilmektedir. Bir başka etkisi özellikle büyük kütleli yüksek gerilim izolatörlerinin, pişme esnasında kendi ağırlıklarına dayanamamaları sonucu şekil bozukluklarına sebebiyet vererek ürünlerin ıskartaya ayrılmasına sebep olmaktadır. Bu nedenle porselen izolatör bünyelerinde kullanılan kuvars tane boyutu nihai ürün özelliklerini doğrudan etkilemektedir.





Şekil 4. a)Sinterlenme öncesi izolatörlerin dizilme şekli, b)Sinterlenme sonrası izolatörlerin kendini askıya almış hali

Sırlı ve sırsız bünyelere ait kuru mukavemet değerleri Şekil 4 'de gösterilmiştir. Bünyelerde kuvars tane boyutu en düşük olan reçeteden, en yüksek olana doğru kuru mukavemet değerlerinde düşüş göstermektedir. Porselen bünyelerin mukavemetini etkileyen ana faktörden biri de kuvarın tane boyutu olarak kabul edilir [Kane, S. C. et al. (1951), Braganca, S. R. et al. (2003)]. Kuvars termal ve boyutsal stabiliteyi artırır, böylece deformasyonu önler. Bununla birlikte, porselen gibi camsı malzemeler için eğilme mukavemetini etkileyen temel faktör kuvars tane boyutudur [Turkmen O et al.(2012), Kane, S. C. et al. (1951), Braganca, S. R. et al. (2003), Boussouf L. et al. (2018)] Porselen bünyelerde kullanılan kuvarın tane boyutu küçüldükçe camsı fazda çözünen kuvars miktarı artacağından, camsı yapı oluşumunu kuvvetlendirir ve daha az sayıda kapalı porozite oluşumuna neden olur [Stathis G. et al.(2004)]. Ayrıca; kuvars partiküllerinin küçük olması mikro çatlakların da küçük ve daha az yoğun olmasına neden olur bu da eğilme mukavemetini arttıran bir durum olarak gösterilebilir[Braganca, S. R. et al. (2003), Boussouf L. et al. (2018), Tarhan, B. et al. (2017)]. Eğilme mukavemeti, 10-30 μm aralığında kuvars partikül büyüklüğü ile artar [Stathis G. et al.(2004), Tarhan, B. et al. (2017), W.D. Kingery, et al. (1976)].

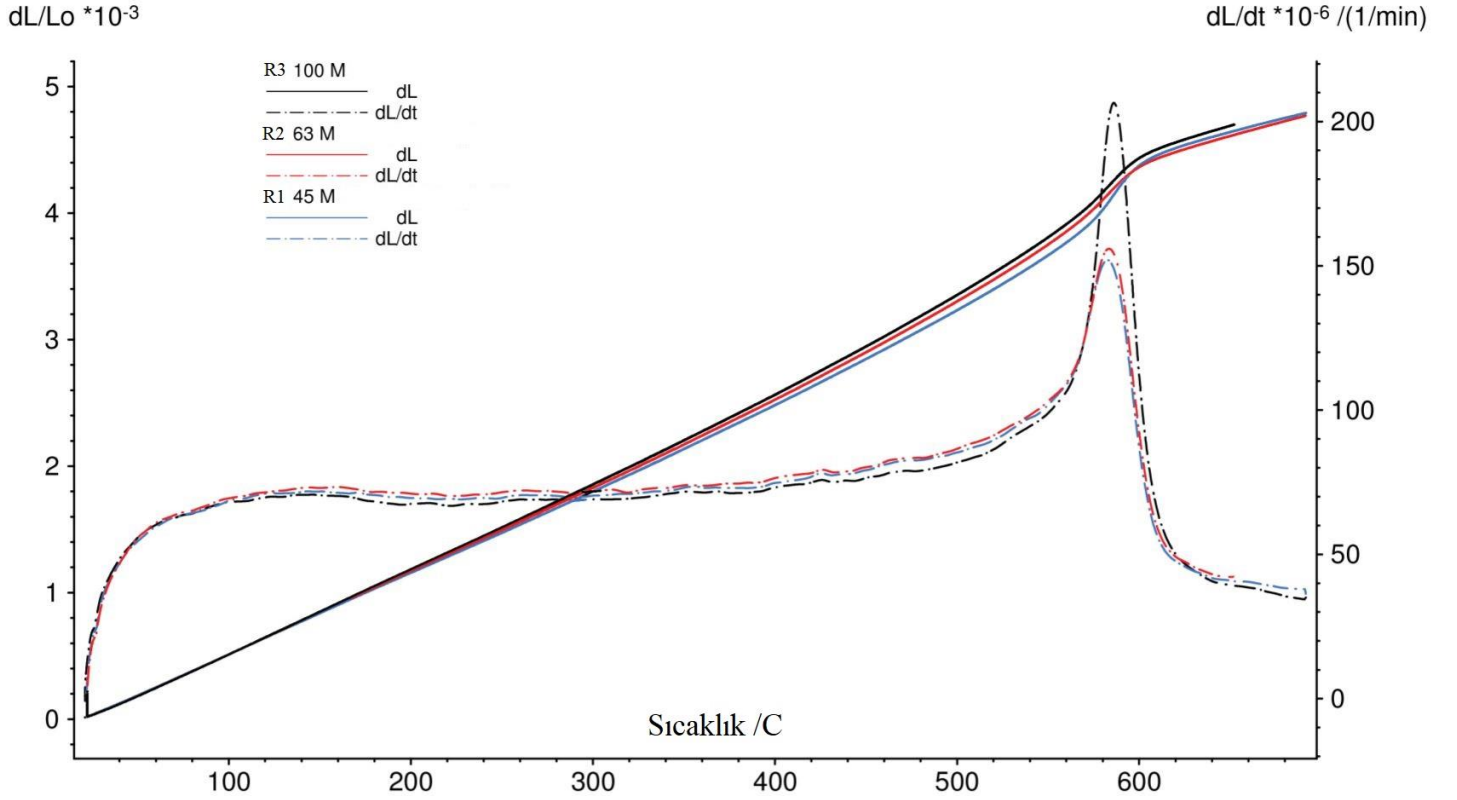


Şekil 4. R1, R2 ve R3 bünyelerine ait 45 μm üzeri elek bakiyelerine göre sırlı-sırsız pişme mukavemeti grafiği

3.2 Termal Özellikler

Farklı kuvars tane boyutunda hazırlanan reçetelere ait termal genleşme katsayısı ölçümleri Şekil 5'de verilmiştir. Kil bazlı seramik bünyelerde sinterleme sonrası bünyede kalan serbest kristal kuvars, termal genleşme katsayısını yükseltir. Temel olarak kristal kuvars fazı polimorfik dönüşümü genleşme katsayısını önemli ölçüde artırır[Tarhan, M. et al. (2016), Tarhan M. et al. (2019)]. Reçeteler hazırlanırken kullanılan kuvars tane boyutu düştükçe termal genleşme katsayısı azalmaktadır (Tablo 6). Bu davranış kalıntı kuvars miktarı ile açıklanabilir. Şekil 5'de 560-640°C aralığının birincil türevi incelendiğinde R3 reçetesinin bu aralıktaki pik yüksekliğinin fazla olması sistemdeki kristal kuvars miktarının fazla olduğunu göstermektedir. R1 ve R2 kompozisyonlarındaki kalıntı kuvars miktarı birbirine benzer olmakla birlikte 45 mikron altı kuvars boyutunda hazırlanan reçetede en düşük kristal kuvars miktarına sahip olduğu belirlenmiştir. Kuvars tane boyutunun düşmesiyle daha fazla kuvars çözünerek amorf faz oluşumunu arttırmakta ve su emme

değeri de düşmektedir. Termal genişleme katsayıları Tablo 5'te verilmiştir. Kuvars tane boyutu yükseldikçe termal genişleme katsayısı da yükselmektedir.



Şekil 5. Farklı kuvars tane boyutu kullanılarak hazırlanan reçetelere ait termal genişleme katsayısı ölçümleri grafiği

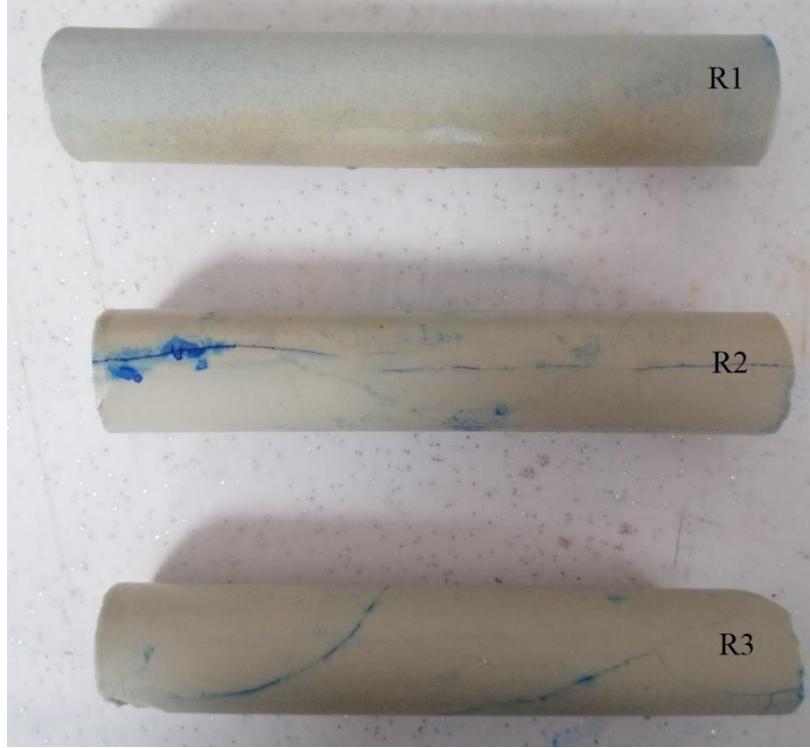
Tablo 6. Reçeteler ait termal genişleme katsayıları

Reçete Kodları	$\alpha 300 \times 10^{-7}$	$\alpha 400 \times 10^{-7}$	$\alpha 500 \times 10^{-7}$	$\alpha 600 \times 10^{-7}$
R1	64,3	65,3	67,4	75,6
R2	65,3	66,5	68,9	75,4
R3	66,4	67,6	70,0	76,7

Termal şok dayanımlarının belirlenmesi için sırasıyla 140, 150 ve 160 °C sıcaklık farkı olacak biçimde etüvde ısıtılarak sabit sıcaklığa getirilen ekstrüzyonda hazırlanmış numuneler oda sıcaklığındaki suya atılarak test edilmişlerdir. Yapılan test sonucunda R3 kodlu numune 150 °C'de çatlamaya başlarken 160 °C sıcaklığa dayanan R1 kodlu numune olmuştur. Numune aniden soğuk su içine atıldığında, numunenin içi ve dışı arasında bir sıcaklık farkı oluşur. Bu da numunede gerilmelere neden olur. Numunelerin bünyesinde bulunan mevcut çatlakların ilerlemesi nedeniyle kırılmayı kolaylaştırır ve şok kırılması meydana gelir [Tarhan, B. et al. (2017)]. Özellikle kuvars çevresinde var olan ya da termal şok testi sırasında oluşan ya da ilerleyen çatlaklar numunenin mukavemetini ve servis ömrünü etkilemektedir. Yapılan test sonucunda ΔT sıcaklık farkı sonucu olan çatlaklar bütün kompozisyonlar için işletme sınırları içindedir.

Tablo 7. Termal şok analiz sonuçları

ΔT (°C)	R1	R2	R3
140	Çatlak Yok	Çatlak Yok	Çatlak Yok
150	Çatlak Yok	Çatlak Yok	Çatlak Var
160	Çatlak Yok	Çatlak Var	Çatlak Var

**Şekil 6.** $\Delta T=160^{\circ}\text{C}$ 'de bünyelere yapılan termal şok testi sonucu

4.Genel Sonuçlar

Bu çalışmada 3 farklı tane boyutuna sahip kuvars kullanılarak hazırlanan porselen izolatör bünyelerinin teknolojik özellikleri incelenmiştir. Çalışma sonucunda kuvars tane boyutu düştükçe porozite ve su emme değerleri azalmaktadır. Pişme küçülme değeri yükselmiştir. Bu da bünyelerde kuvars tane boyutunun düşmesiyle bünye sinterlenme özelliklerinin geliştiğini göstermektedir. Deformasyon değeri de kuvars tane boyutunun düşmesiyle artmıştır ancak buna rağmen elde edilen deformasyon değeri üretim standartları içindedir. Ürün kalitesini ve elektrik santrallerindeki bağlanma noktalarını etkileyen bu değer değeri işletme standartları içindedir. Tane boyutunun düşmesiyle Mukavemet hem sırlı hem de sırsız değerlerinde gözle görülür bir artış belirlenmiştir. Kuvars tane boyutu arttıkça termal genişleme katsayısı da bir miktar yükselmiştir. Tane boyutu yükseldikçe termal sok dayanımları azalmıştır. Yapılan çalışma sonucunda kuvars tane 45 mikronun altında olması teknolojik özellikleri iyileştirdiği belirlenmiştir.

Referanslar

Agenor De Noni Junior, Dachamir Hotza, Vicente Cantavella Soler, Enrique Sanchez Vilches 'Effect of quartz particle size on the mechanical behaviour of porcelain tile subjected to different cooling rates' Journal of the European Ceramic Society Volume 29, Issue 6, April 2009, Pages 1039-1046

Andrew Ruys, "Alumina Ceramics Biomedical and Clinical Applications", 1st Edition, - October 20, 2018.

B. Tütmez, O. Bayat, 'Karolarda Su Emmenin İstatistiksel Kontrolü', 1999

Boussouf L, Zehani F, Khenioui Y, Boutaoui N (2018) Effect of Amount and Size of Quartz on Mechanical and Dielectric Properties of Electrical Porcelain. Trans Indian Ceram Soc 77: 132-137

- Braganc,a, S. R. and Bergmann, C. P., A view of whitewares mechanical strength and microstructure. *Ceram. Int.*, 2003, 29, 801–806
- Bragança, S.R., Bergmann, C.P., Hübner, H., “Effect of quartz particle size on the strength of triaxial porcelain”, *J. Eur. Ceram. Soc.*,26, 3761–3768, 2006
- German, R.M., Suri, P., and Park, S.J., “Review liquid phase sintering”, *J. Mater. Sci*, 44, 1-39,2009
- Johannes Liebermann, ' High-voltage Insulators: Basics and Trends for Producers, Users, and Students', 2012.
- Jos´e M. Amig, Francisco J. Serrano, Marek A. Kojdecki, Joaqu´ın Bastida, Vicente Esteve, Maria Mercedes Reventos, Francisco Marti, ' X-ray diffraction microstructure analysis of mullite, quartz and corundum in porcelain insulators', *Journal of the European Ceramic Society*, 25, (2005), 1479–1486.
- Kane, S. C. and Cook, R. L., Effect of grinding and firing treatment on the crystalline and glass content and physical properties of whitewares bodies. *J. Am. Ceram. Soc.*, 1951, 34, 145–151
- Kivitz, E., Palm, B., Heinrich, J.G., Blumm, J., Kolb, G., “Reduction of the porcelain firing temperature by preparation of the raw materials”, *J.Eur.Ceram. Soc.*, 29, 2691-2696, 2009
- Stathis G, Ekonomakou A, Stournaras CJ, Ftikos C (2004) Effect of firing conditions, filler grain size and quartz content on bending strength and physical properties of sanitaryware porcelain. *J Eur Ceram Soc* 24: 2357-2366
- T.C. Millî Eğitim Bakanlığı, İzolatörler, Elektrik-Elektronik Teknolojisi, 2011.
- Tarhan B. ve Tarhan M. , "Çanakale bölgesi alkali kaynağının seramik sağlık gereçleri bünyesi ısıl ve mikroyapı özellikleri üzerine etkisi", *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, c. 10, sayı. 2, ss. 675-687, Haz. 2019, doi:10.24012/dumf.504331
- Tarhan, B., Tarhan, M. Utilization of perlite as an alternative raw material in the production of ceramic sanitaryware. *J Therm Anal Calorim* 147, 3509–3518 (2022). <https://doi.org/10.1007/s10973-021-10784-5>
- Tarhan, B., Tarhan, M., & Aydın, T., (2017), Reusing sanitaryware waste products in glazed porcelain tile production. *Ceramics International*, 43(3), 3107-3112.
- Tarhan, M. & Tarhan, B. (2019). Sırlı Porselen Karo Üretimi için Alternatif Hammadde Olarak Eşme/Uşak Feldispatı . *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 19 (2) , 429-438. Retrieved from <https://dergipark.org.tr/tr/pub/akufemubid/issue/48783/523365>
- Tarhan, M. (2019). Porselen Karo Üretimlerinde Konya Kili Kullanımı. *International Journal of Engineering Research and Development*, 11 (2) , 705-712. DOI: 10.29137/umagd.556840
- Tarhan, M. Whiteness improvement of porcelain tiles incorporated with anorthite and diopside phases. *J Therm Anal Calorim* 138, 929–936 (2019). <https://doi.org/10.1007/s10973-019-08268-8>
- Tarhan, M., Tarhan, B. (2019). Afyon Kilinin Porselen Karo Bünyelerinde Kullanımının Araştırılması. *International Journal of Engineering Research and Development*, 11 (1) , 275-281 . DOI: 10.29137/umagd.433307
- Tarhan, M., Tarhan, B., & Aydın, T., (2016)., The effect of fine fire clay sanitaryware wastes on ceramic wall tiles. *Ceramics International*, 42(15), 17110-17115.
- Turkmen O, Kucuk A, Akpinar S (2015) Effect of wollastonite addition on sintering of hard porcelain. *Ceram Int* 41: 5505-5512
- W.D. Kingery, H.K. Bowen, D.R. Uhlmann, *Introduction to Ceramics*, second ed., John Wiley & Sons Inc., New York, 1976, pp. 816-819