



Makale / Research Paper

Farklı Silis Oranlarının Taş Çini Özelliklerine Etkilerinin Araştırılması

Çetin ÖZTÜRK¹

¹ Necmettin Erbakan Üniversitesi, Güzel Sanatlar ve Mimarlık Fakültesi, Geleneksel Türk Sanatları Bölümü, Eski Çini Onarımları Anasanat Dalı, Konya, TÜRKİYE,
cozturk@erbakan.edu.tr

Received/Geliş: 07.06.2021

Accepted/Kabul: 10.11.2021

Öz: Türk İslam Mimarisinde duvar kaplama malzemesi olarak sıklıkla kullanılmış olan yüksek silisli çiniler, özellikle 16 yy. Osmanlısında teknolojik ve sanatsal açıdan ulaşılan gücün adeta bir sembolü olmuş ve 17 yy. sonunda birçok gizemiyle birlikte son bulmuştur. Günümüzde Taş Çini veya İznik Çinisi olarak bilinen bu eşsiz seramikler hâlâ bilim ve sanat camiasının ilgisini çekmektedir. Literatür araştırmalarından taş çinilerdeki silis oranının genellikle % 85 ile 90 aralığında değiştiği anlaşılmaktadır. Bu çalışmada % 85 ve % 90 silis içerikli replika taş çini reçeteleri oluşturulmuş ve silis oranındaki değişimin replika çinilerin teknik özelliklerine olan etkileri araştırılmıştır. Geleneksel üretim yöntemiyle hazırlanan deney numuneleri fiziksel, kimyasal, mineralojik, termal ve mikroyapı analizleri ile karakterize edilmiştir. Elde edilen veriler hem birbiriyle hem de bibliyografik verilerle karşılaştırılmıştır. Çalışma sonucunda % 90 silis içerikli çininin teknik ve estetik özellikler açısından diğerine kıyasla daha üstün özelliklere sahip olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Taş çini, Silis, Karakterizasyon, Dayanım, Parlaklık

Investigating the Effects of Different Silica Proportions on Stonepaste Properties

Abstract: High silica tiles, which were frequently used as wall covering material in Turkish-Islamic Architecture, became a symbol of power reached in terms of technology and art in the 16th century Ottoman and ended with many mysteries at the end of the 17th century. Nowadays, these unique ceramics also known as Stonepaste or Iznik Tiles, still attract the attention of the scientific and artistic community. In the literature studies, it has been determined that the silica ratio in stonepaste generally varies between 85 and 90 %. In this study, replica stone tile recipes with 85 % and 90 % silica content were prepared and the effects of the change in silica ratio on the technical properties of replica tiles were investigated. Test samples prepared by traditional production method were characterized by physical, chemical, mineralogical, thermal and microstructural analysis. The obtained data were compared with each other and with bibliographic data. As a result of the study, it was determined that tile with 90 % SiO₂ content had superior properties compared to the others in terms of technical and aesthetic properties.

Keywords: Stonepaste, Silica, Characterization, Strength, Glossiness

1. Giriş

Batılı araştırmacıların genellikle Stonepaste olarak adlandırdıkları, ülkemizde ise “*Taş Çini*’ veya *İznik Çinisi*’ olarak bilinen, yüksek silisli seramikler, camsı faz ile birbirine bağlanmış, ince taneli kuvars bünyeden oluşur. İlk olarak MS 11. yüzyılda Mısır’da üretilen bu seramikler İslami Yakın Doğu’da yaygın olarak kullanılmış [1] ve Selçuklulardan günümüze kadar uzanan süreçte Türk İslam mimarisinin vazgeçilmez duvar süsleme malzemesi olmuştur. Osmanlının her alanda iyi

Bu makaleye atıf yapmak için

Öztürk, Ç., “Farklı Silis Oranlarının Taş Çini Özelliklerine Etkilerinin Araştırılması” El-Cezeri Fen ve Mühendislik Dergisi 2022, 9(1); 123-132.

How to cite this article

Öztürk, Ç., “Investigation of the Effects of Different Silica Ratios on Stonepaste Properties” El-Cezeri Journal of Science and Engineering, 2022, 9(1); 123-132.

ORCID ID: *0000-0001-8697-0929

olduğu 16. yy. 'da gelişen malzeme bilgisi, ulaşılan fırın teknolojisi ve yeni dekorlama teknikleri bu seramiklere üstün mühendislik ve sanatsal özellikler katmıştır [2,3].

Taş Çini, genellikle yüksek silisli (en az % 85) bünye ile birlikte her biri yine silis içerikli astar, dekor ve sırdan oluşan dört tabakanın uyumlu bir şekilde birleşiminden meydana gelir. Tabakalar arasındaki bu uyumluluk sert, çizilmeye dayanıklı, renkleri canlı ve parlak gösteren, atmosferik etkilere karşı dirençli, uzun servis ömürlü seramik malzeme eldesini sağlar [4,5,6,7]. Bu çinilerin bünyesi yüksek oranda öğütülmüş kuvars, frit ve az oranda plastik beyaz kilden oluşmaktadır. Kuvars çini bünyesinin iskelet yapısını oluşturucu, plastik kil şekillendirici, frit ise taneleri bağlayan matris olarak yapıda yer alır [8-9]. Çini bünyelerinde silis kaynağı olarak kristal kuvars kullanılır. Kristal kuvars çininin mukavemetli ve sert yapıda olmasını sağlar [10]. Frit (Sırça), ince kuvars ve alkali (*Salicornia* ya da *Salsola* gibi çöl bitkilerinin külü veya *Bora* adı verilen bir soda karışımı) ve düşük oranda kurşundan oluşmaktadır. Fritin kullanım miktarı bünyenin pişirim derecesini doğrudan etkileyen bir faktördür [2]. Taş çinide genellikle plastik özellikte ve beyaz pişme renginde kaolen, bentonit veya bentonitik killer kullanılmaktadır [1].

Taş çini üretimi: hammaddelerin öğütülmesi, masse karışımının hazırlanması, şekillendirme, kurutma, pişirim, dekorlama, sırlama ve sırlı mamul pişirim aşamalarından oluşmaktadır [11]. Kurutma ve pişirim aşaması oldukça yavaş ve kontrollüdür [12]. Pişmiş taş çini bünyeleri beyazımsı renkte, gözenekli yapıda ve kuvars parçacıklarını birbirine bağlayan camsı fazdan dolayı oldukça sağlamdır [13]. Gözenekli yapı, şekillendirmenin *tap tap* (çoğunlukla ahşap kalıpta hamurun elle sıkıştırılması) yöntemiyle yapılmasının bir sonucudur [14].

Üretimi 17. yy.'ın sonunda tamamen duran taş çini [15], hakkında günümüze ulaşan tek yazılı kaynak 1301 yılında Ebul Kasım tarafından yazılmış olan "*Mücevherlerin Gelinleri ve Zarif Şeylerin Özleri*" adlı kitaptır. Kitapta çini bünyesi; 10 birim kuvars, 1 birim öğütülmüş frit ve 1 birim beyaz kilden (%80'i montmorillonit olan) oluştuğu belirtilmektedir [8]. Her ne kadar geleneksel taş çini teknolojisi hakkında günümüze ulaşan başka bir yazılı kaynak olmasa da özellikle son yıllarda, taş çini teknolojisinin aydınlatılmasına yönelik eski çini parçaları üzerinde gerçekleştirilen karakterizasyon çalışmaları bu konuda bilim dünyasına önemli ipuçları vermektedir. Öney [15], İznik çini bünyelerinin % 80-90 silis, % 0,5-6 alümina, % 2 alkali ve % 1.8 kurşun oksitten oluştuğunu belirtmektedir. 16. yy.'ın farklı dönemlerine ait 5 taş çini örneği üzerinde Tulun ve arkadaşları [16] tarafından yapılan karakterizasyon çalışmasında çini örneklerinde SiO₂ oranının % 80-85 aralığında değiştiği tespit edilmiştir. 5 çini örneğinin kimyasal analizlerindeki oksitlerin ortalama dağılımları ise SiO₂: 82.7, Al₂O₃: 2.9, FeO: 3.8, MgO: 1.1, CaO: 3.7, Na₂O: 1.9, K₂O: 0.9, TiO₂: 0.5, P₂O₅: 0.8, MnO: 0.1, Cr₂O₃:0.5, P₂O₅:0.8 olarak belirlenmiştir. Amara ve Schvoerer [17], 17yy.' a ait dört farklı İznik çini örnekleri üzerinde gerçekleştirdikleri kimyasal analizde çini bünyelerindeki SiO₂ oranının %90'ın üzerinde olduğunu tespit etmişlerdir. Tatar ve arkadaşları [10] çalışmalarında %72 oranında silis içeren çini bünyelerini 900°C'de 1 saat süreyle pişirdikten sonra elde ettikleri çini örneklerinde % 28 su emme ve 6,5 MPa mukavemet değerlerine ulaşmışlardır. Gün ve arkadaşları [3] tarafından yapılan taş çini örneklerinin mineralojik analizinde 850 °C'de sinterleme sonrası kuvars fazı, 950 °C'de sinterleme sonrası kuvars ile birlikte kristobalit fazı tespit edilmiştir. Okyar [18], İznik'teki bir fırın kazı alanından elde edilen taş çini örneklerine yaptığı mikroyapı analizi sonucunda bünyelerde alkali fritlerle benzer kompozisyona sahip kalıntı sır parçaları tespit etmiş ve bünyenin mikroyapı görüntülerinden sıcaklık etkisi, uzun fırınlama ve yavaş soğutma gibi unsurların tahmin edilebileceğini belirtmiştir.

Türk İslam mimarisinin doğa dostu, dayanaklı duvar kaplama ve süsleme malzemesi olan ve henüz birçok gizemi içinde taşıyan taş çininin karakteristik özelliklerinin tespit edilerek gelecek nesillere aktarımının sağlanması Türk Kültürü açısından oldukça büyük önem arz etmektedir. Yapılan literatür taramalarından arkeolojik kazılarda bulunan taş çini bünyelerindeki silis oranlarının genellikle % 85 ile 90 aralığında olduğu anlaşılmış ve farklı silis oranlarının çininin teknik ve

sanatsal özelliklerine olan etkisinin araştırıldığı bir çalışmaya rastlanılmamıştır. Bu çalışmada silis içeriği % 85 ve 90 olacak şekilde 2 farklı reçete tasarlanmış ve bünyedeki silis oranı değişiminin taş çini özelliklerine olan etkileri araştırılmıştır.

2. Deneysel Çalışma

2.1 Hammaddeler

Çalışmada yüksek saflıkta, ince (0-66 μm) ve iri (100-120 μm) fraksiyonlarda kristal kuvars, ergitici olarak frit (<40 μm) ve bağlayıcı olarak plastik kil (<30 μm) ile bentonit (<30 μm) kullanılmıştır. Frit Konya'da taş çini üretimi yapan *Kaşıgar Çini Atölyesinden* temin edilmiştir. Deneysel çalışmalarda kullanılan hammaddelerin kimyasal analizi Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Replika taş çini üretiminde kullanılan hammaddelerin kimyasal analizi

Hammaddeler (%)	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	Na ₂ O	MgO	K ₂ O	TiO ₂	A.Z.*
Kuvars	99,24	0,46	0,02	0,01	0,01	0,01	0,06	0,05	0,14
Plastik Kil	53,87	31,08	2,22	0,34	-	0,02	1,67	1,04	9,76
Bentonit	62,10	25,00	0,90	0,50	2,80	2,30	0,40	-	6,00
Frit	50	10							$\Sigma\text{RO}+\Sigma\text{R2O}=40$

*A.Z. : Ateş Zayıtı

2.2. Reçete Oluşturma

SiO₂ oranı % 85 ve 90 olacak şekilde oluşturulan replika taş çini reçeteleri 85S kodu (% 85 SiO₂) ve 90S (% 90 SiO₂) kodu ile adlandırılmış ve reçetelerdeki hammadde oranları Tablo 2'de verilmiştir. Reçetelerde kuvars oranındaki artışa karşılık gelecek şekilde plastik kil oranı azaltılmış, frit ve bentonit oranı ise sabit tutulmuştur.

Tablo 2. Replika taş çini bünye reçeteleri.

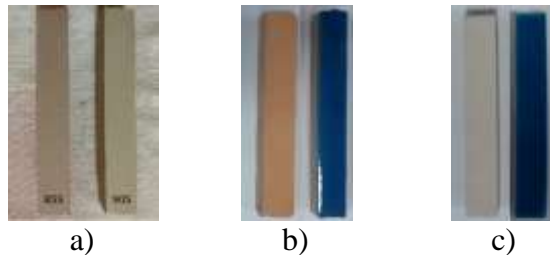
Reçeteler	Kristal Kuvars (%)	Plastik Kil (%)	Frit (%)	Bentonit (%)
85S	70	15	10	5
90S	80	5	10	5

2.3. Şekillendirme

Replika taş çini üretimi için tasarlanan 2 farklı oranda silis içeriğindeki reçetelerden hazırlanan plastik çamurlar 2cm x 2 cm x 15cm ebatlarındaki kalıplara doldurularak tap tap yöntemiyle şekillendirilmiştir. Kalıp içerisinde bekletmeksizin şekil verilen çini örnekleri kalıptan çıkarıldıktan sonra oda sıcaklığında 3 gün bekletilerek kurutulmuştur. Her iki reçete için 8'er adet deney numunesi hazırlanmıştır.

2.4. Pişirim

Bünye pişirimi atölye tipi elektrikli fırında 1 °C/dk ısıtma hızıyla 930 °C'de 30 dakika süreyle bekletilerek gerçekleştirilmiş ve pişirim sonrasında fırın kendi halinde soğumaya bırakılmıştır.



Şekil 1. 85S ve 90S kodlu deney numuneleri

Şekil 1’de 85S ve 90S kodlu deney numunelerine ait ham bünye (Şekil 1a), 85S kodlu pişmiş bünye numunesi (Şekil 1b) ve 90S kodlu sırlı bünye numunesinin (Şekil 1c) görüntüleri verilmiştir.

2.5. Karakterizasyon

Pişmiş sırsız deney numunelerinin su emme (%), görünür porozite (%) ve yığımsal yoğunluk (g/cm^3) değerleri EN ISO 10545.3 standardında belirtilen Arşimet prensibine göre suya daldırma yoluyla gerçekleştirilmiştir. Pişmiş numunelerin boyutları kumpas yardımı ile ölçülerek % pişme küçülme değerleri hesaplanmıştır. Deney numunelerinin üç nokta eğme mukavemeti SHIMADZU CORPORATION marka 1220AJ 100 kN model hidrolik preste, 1mm/dk hızda ölçülmüştür. Numunelerin kimyasal bileşimi, Rigaku marka ZSX Primus II model XRF cihazında, mikroyapısal özellikleri ise HITACHI SU 1510 (Japonya) marka taramalı elektron mikroskopunda (SEM) gerçekleştirilen kimyasal ve mikroyapı analizleri ile belirlenmiştir.

Çinilerin mikroyapılarındaki kristalin fazları belirlemek için, Bruker marka D8 Advance model cihazda $Cu K\alpha=1,54\text{Å}$ dalga boyuna sahip X-ışını kullanılarak $2\theta=5-90^\circ$ arasında 3 derece/dakika tarama hızında XRD cihazı ile mineralojik analiz gerçekleştirilmiştir.

Silis oranındaki artışa bağlı olarak replika çini bünyelerin sinterleme davranışındaki değişimler, Misura HSM 3M (İtalya) ısı mikroskobu cihazında $50^\circ C/dk$ hızla $1300^\circ C$ 'ye ısıtma ile izlenmiştir.

Farklı silis oranlarının parlaklığa olan etkisi test etmek için Kaşigar Çini Atölyesinden temin edilen turkuaz renkli sır ile deney numuneleri daldırma yöntemiyle sırlanıp, aynı fırında $1^\circ C/dk$ ısıtma hızıyla $900^\circ C$ 'de sırlı pişirim yapılmıştır. Sırlı deney numunelerinin parlaklık ölçümü ise Novo - Gloss Trio marka parlaklık ölçüm cihazı ile 60° 'lik açıda ölçülmüştür.

Sırlı test numunelerinin termal şok dayanımları elektrik rezistanslı atölye fırınında ısıtma ve akabinde suda ani soğutma işlemi ile yüzeylerinde çatlak oluşumunun gerçekleştiği sıcaklığın belirlenmesi prensibine (Harkort testine) göre ölçülmüştür. Atölye fırınında ilk olarak $140^\circ C$ 'ye ısıtılan numuneler, yüzeylerinde çatlak oluşumu gözlenmemesi durumuna bağlı olarak fırın sıcaklığı her defasında $20^\circ C$ artırılarak test $200^\circ C$ 'ye kadar sürdürülmüştür. Şoklama işlemi her sıcaklıkta 5 çevrimle tekrarlanmış ve şoklanmış çini örneklerinin yüzeylerine mürekkep sürülerek sırlı yüzeyde çatlak oluşumu kontrol edilmiştir. Harkort'a göre sadece $180^\circ C$ 'ye kadar dayanan numunelerin çatlak oluşumu açısından ömrü 2-3 yıl iken $200^\circ C$ 'ye kadar dayanan numunelerin ömrü sorunsuzdur [19].

3. Bulgular ve Tartışma

3.1. Çini Bünyelerin Kimyasal Analizi

Çini bünyelerinin XRF analizi ile tespit edilen kimyasal bileşikleri Tablo 3’de sunulmuştur. Kimyasal analiz sonuçlarına göre 85S kodlu bünyede SiO_2 oranı % 85.98, 90S kodlu bünyede ise %90,69 olarak tespit edilmiştir. Bu sonuçlar çini bünyeleri için oluşturulan reçetelerde hedeflenen silis içeriğine ulaşıldığını göstermiştir. Çini bünyelerinde silis oranı değişimi yanı sıra 90S kodlu bünyede Al_2O_3 ve Fe_2O_3 oranlarının azaldığı Na_2O oranının ise arttığı görülmüştür. Kimyasal analizdeki bu değişimler 90S kodlu bünyenin 85S kodlu bünyeye göre daha iyi sinterlenebilir özellikte olduğuna dikkat çekmektedir.

Tablo 3. Reçetelerin kimyasal analiz sonuçları

Reçeteler	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	Na_2O	K_2O	TiO_2	A.Z.*
85S (%)	85.98	6.17	1.60	1.71	0.87	2.53	0.35	0.30	0.49
90S (%)	90.69	4.31	0.44	0.95	0.27	2.93	0.29	0.12	0.26

*A.Z.: Ateş Zayıtı

3.2. Çini Bünyelerin Fiziksel Özellikleri

Çini bünyeleri üzerinde gerçekleştirilen testler sonucunda ölçülen fiziksel özellikler Tablo 4' te verilmiştir. Çini bünyelerindeki silis oranı artışı ile birlikte numunelerde pişme küçülmesi değerlerinin % 3.20'den (85S) % 2.88'e (90S) azaldığı, su emme değerinin % 15.16'dan (85S) % 13.17'ye (90S) azaldığı, görünür porozite değerlerinin de % 25.59'dan (85S) % 18.64'e (90S) azaldığı tespit edilmiştir. Çini bünyelerin yığınsal yoğunluk değeri 85S kodlu çini bünyeleri için 1.68, 90S kodlu çini bünyeleri için ise 1.84 olarak ölçülmüş ve bünyedeki silis oranının artışı ile birlikte yığınsal yoğunluk değerinin arttığı görülmüştür. Çini bünyelerin eğme mukavemeti değerlerinin bünyedeki silis oranı artışı ile birlikte 16.67 MPa'dan (85S) 27.16 MPa'a arttığı belirlenmiştir.

Bu sonuçlar bir arada değerlendirildiğinde 90S kodlu çini bünyelerinde sinterleşmenin daha iyi gerçekleştiği anlaşılmaktadır. Mikroyapının yoğunlaşması sinterleme derecesi ile doğrudan ilişkili bir durumdur. Sinterleme derecesi arttıkça büyük gözeneklerin boyutlarının azalarak küçük gözeneklere dönüşmesi ve bazı küçük gözeneklerin tamamen kapanması gibi mikroyapısal gelişimlere bağlı olarak malzeme özelliklerinde iyileşmeler beklenir. Bu perspektifte değerlendirildiğinde, 90S kodlu çini örneklerinde gözeneklilik ve su emme değerlerinde azalma, yığınsal yoğunluk ve eğme mukavemeti değerlerinde ise artışın sinterleme derecesinin 85S kodlu çini örneklerindeki kıyasla daha yüksek olduğu anlaşılmaktadır.

Teknik özelliklerdeki bu olumlu değişimleri sağlayan sinterlenebilirliğin artışında ise 90S kodlu çini bünyelerinde artan SiO₂ oranının yanı sıra, Al₂O₃ oranındaki azalma ile Na₂O oranındaki artışın etkili olduğu düşünülmektedir (Bknz. Tablo 3). Zira yüksek sinterlenme sıcaklığına sahip olan Al₂O₃ oranının azalması ve düşük ergime sıcaklığına ve iyi ergitici özelliğe sahip olan Na₂O'nun oranının artışı ile 90S kodlu çini bünyelerinin sinterlenebilirliği daha da kolaylaşmıştır.

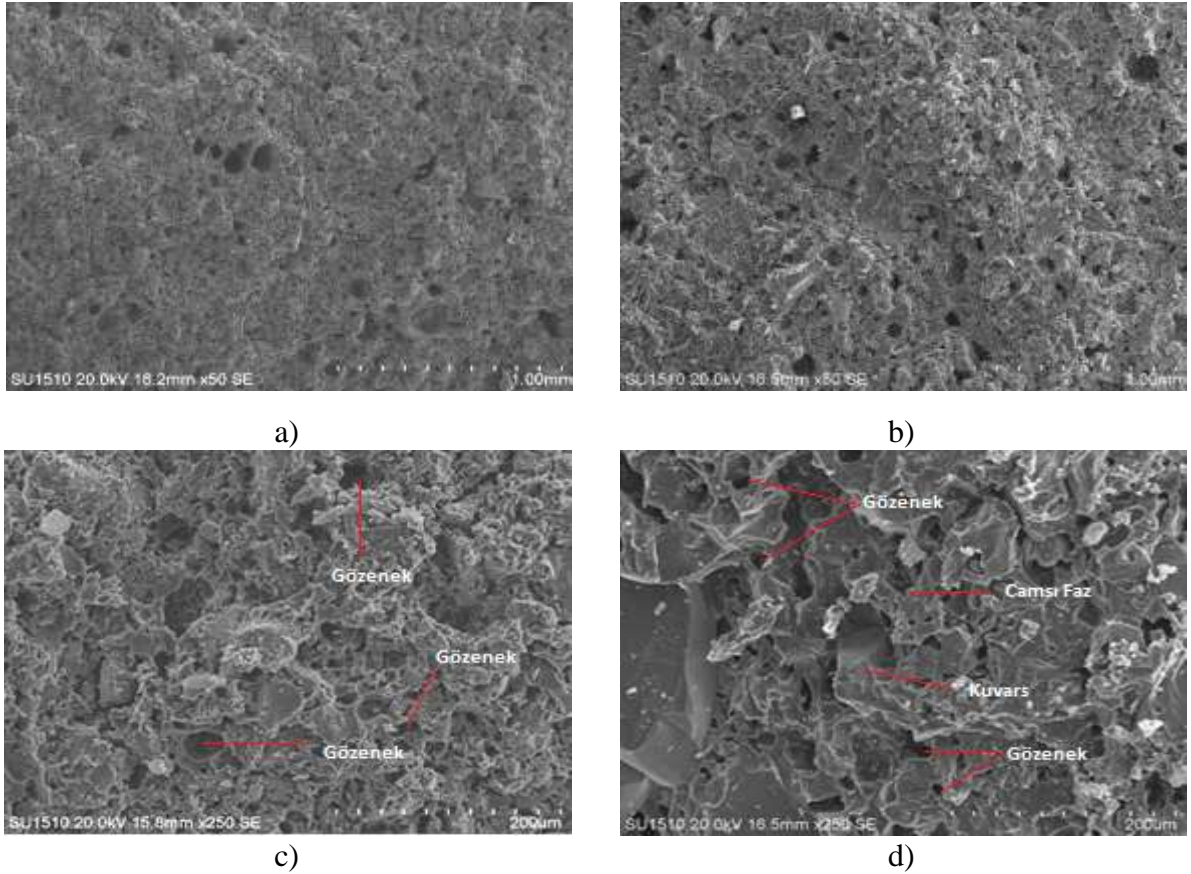
Elde edilen sonuçlar literatürde benzer konuda yapılan ve atık kuvars kullanarak üretilen taş çini bünye özellikleri ile karşılaştırıldığında [16], % 90 atık kuvars içeren ve 950 C'de pişirilen çini bünyelerinde elde edilen su emme (% 24) ve eğme mukavemeti (18 MPa) değerleri kristalin kuvarsın kullanıldığı bu çalışmada elde edilen su emme (% 13.37) ve eğme mukavemeti (27.16 MPa) değerlerinin gerisinde kalmıştır. Her iki çalışmada da aynı oranda (% 90) kuvars kullanılmış olmasına rağmen nihai ürün teknik özellikleri üzerinde bileşimde kullanılan kuvarsın oranı kadar minerolojik bileşiminin de önemli olduğunu göstermiştir.

Tablo 4. Çini bünyelerin fiziksel özellikleri

Fiziksel Özellikler	85S	90S
Pişme Küçülmesi (%)	3.20±0.15	2.88±0.12
Su Emme (%)	15.16±0.22	13.37±0.64
Görünür Porozite (%)	25.59±0.25	18.64±0.89
Yığınsal Yoğunluk (gr/cm ³)	1.68±0.01	1.84±0.03
Eğme Mukavemeti (MPa)	16.67±0.40	27.16±0.58

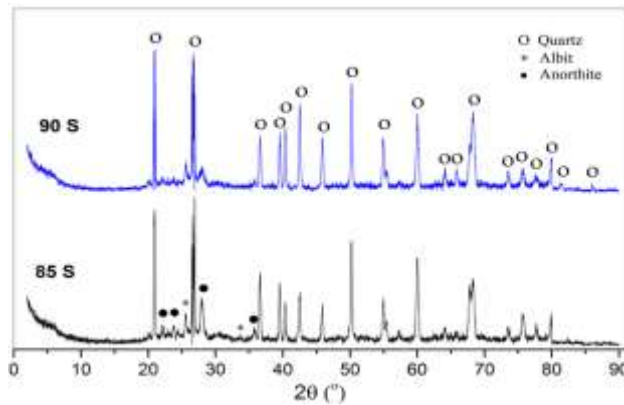
3.3. Çini Bünyelerin Mikroyapı Analizi

Farklı oranda silis içerikli çini örneklerinin taramalı elektron mikroskobu (SEM) analizi için kırık yüzeylerinden alınan ikincil elektron (SE) görüntüleri Şekil 2 a, b, c ve d'de verilmiştir. Şekil 2a ve Şekil 2b'de 85S ve 90S kodlu çini örneklerinin 50X büyütme görüntüleri, 2c ve 2d ise 250X büyütme görüntüleri sunulmuştur.



Şekil 2. 85S ve 90S kodlu çini örneklerinin mikroyapı görüntüleri; a) 85S kodlu numunenin 50X büyütülmüş, b) 90S kodlu numunenin 50 X büyütülmüş, c) 85S kodlu numunenin 250X büyütülmüş, d) 90S kodlu numunenin 250X büyütülmüş.

Görüntülerde köşeli ve prizmatik biçimli görüntüsü ile tane morfolojisi net olarak mikroyapı içerisinde ayırt edilebilen kuvars taneleri camsı faz içerisinde gömülü bir şekilde yer aldığı görülmektedir. Şekil 2c ve 2d'deki görüntüler karşılaştırıldığında 90S kodlu çininin daha yoğun bir matris yapıya sahip olduğu ve bu yoğunluğu sağlayan camsı faz dolayısıyla da daha parlak görünümde olduğu görülmektedir. Bununla birlikte genel yapı tümüyle tarandığında 90S kodlu çinideki gözeneklerin 85S kodlu çiniye göre daha homojen dağılımlı ve daha küresel olduğu görülmektedir.



Şekil 3. Farklı silis içerikli çini bünyelerinin X-ışını kırınım desenlerinin (XRD) karşılaştırması

Taş çini' de su ve nem tahliyesi için homojen dağılımlı ve küçük çaplı gözeneklilik istenmektedir [14]. Bu sonuçlar, % 90 silis içerikli (90S) bünyenin % 85 silis içerikli (85S) bünyeye göre daha sık yapıda olduğunu ve dolayısıyla daha iyi sinterlendiğini göstermektedir.

3.4. Çini Bünyelerin Mineralojik Analizi

Farklı oranda silis içeriğinde hazırlanan çini bünyeleri üzerinde gerçekleştirilen XRD analizi sonucunda elde edilen X-ışınları kırınım desenleri Şekil 3'te karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Şekil 3'e göre her iki bünyenin kuvars, albit ve anortit fazından oluştuğu anlaşılmaktadır. XRD analiz sonucunda, 90S kodlu bünyenin 85S kodlu bünyeye göre ihtiva ettiği kuvars (SiO_2) kristallerine ait pik şiddetlerinde az da olsa bir artış olduğu görülmüştür. Sonuçlar kimyasal bileşim (Bknz. Tablo 3) ile mineralojik bileşimin uyumlu olduğunu göstermektedir.

3.5. Isı Mikroskobu Analizi Sonuçları

Tablo 5'de farklı oranlarda silis içeriğinde hazırlanan çini bünyelerin ısı mikroskobu analiz ile tespit edilen sinterleme sıcaklıkları verilmiştir. Tabloda, çini bünyelerinde silis oranındaki değişim ile birlikte sinterleme sıcaklığı 988 °C' den (85S) 914 °C' ye (90S) azaldığı görülmektedir (Şekil 4). Bu sonucun artan silis oranına paralel olarak Al_2O_3 miktarının azalmasından da kaynaklandığı düşünülmektedir (Bknz. Tablo 3). Çünkü Al_2O_3 'ün ergime sıcaklığı 2050 °C, SiO_2 'nin ergime sıcaklığı ise 1731 °C' dir. Refrakterlik özelliği olan Al_2O_3 'ün azalmasının sinterleme sıcaklığında düşüşe neden olduğu düşünülmektedir [20].

Tablo 5. Reçetelerin ısı mikroskobu analiz ile tespit edilen sinterleme sıcaklıkları.

Reçeteler	Sinterleme Sıcaklığı °C
85 S	988
90 S	914

3.6. Çini Bünyelerin Parlaklık Davranışı

Parlaklık değerleri Tablo 6'da sunulmuştur. Sonuçlar 90S kodlu çini bünyelerinin (100) 85 S kodlu bünyelere (70,7) göre % 29,3 daha fazla parlak olduğunu göstermiştir. Çinilerin teknik özellikleri, pişirme işlemi sonrasında ürünün gözenekliliği ile yakından ilgilidir. Yüksek kırılma mukavemeti, düşük toplam gözenekliliğin bir sonucu iken, su emme görünür yüzey gözenekliliğine bağlıdır, bu da çinilerin su ile teması halinde donma-çözülme döngülerinden lekelenme direncine dayanıma kadar çeşitli özelliklerinde belirleyici etki yapar. Lekelenme direnci gibi bir başka yüzey özelliği olan parlaklık da nihai ürünün yüzey gözeneklilik seviyesine bağlıdır. Estetik yönleri ile daha çok öne çıkan çini, porselen gibi çeşitli seramik ürünlerin kalitesine değer katan önemli bir özellik olan parlaklık derecesi yüzey pürüzlülüğü, açık gözenek boyutu, şekil ve en-boy oranı gibi yüzey özelliklerine bağlı olarak değişmektedir.

Tablo 6. Sırlı çinilerin parlaklık değerleri.

Çini Bünyesi	Parlaklık Değerleri					Ortalama Parlaklık Değeri	Standart Sapma ±
85 S	67, 7	55, 2	76, 3	59, 4	80, 4	70, 7	8, 7
	65, 5	73, 4	72, 1	81, 0	76, 4		
90 S	102, 6	95, 2	105, 4	99, 9	102, 3	100, 0	4, 0
	101, 0	99, 6	97, 5	104, 0	92, 4		



Şekil 4. Çini bünyelerinin 50 °C/dk hızla 1300 °C sıcaklığa kadar ısıtma sırasındaki davranışı.

Yüzey pürüzlülüğü ve açık gözenek boyutlarındaki azalma estetik görünüm açısından değerli seramik ürünlerin parlaklık derecesinde artışa neden olmaktadır [21]. Bu perspektifte değerlendirildiğinde çini örneklerinde silis oranının artışı ile birlikte azalan gözeneklilik miktarı (Tablo 4'te görüldüğü gibi) ve azalan pürüzlülük seviyesi (Şekil 2c ve 2d' deki mikroyapı fotoğraflarının karşılaştırılmasından anlaşılacağı üzere) 90S kodlu çini örneklerinin parlaklık derecesinde artışa neden olmuştur.

3.7. Çini Bünyelerin Termal Şok Özelliği

200°C'ye kadar gerçekleştirilen çevrimler sonucunda 85S ve 90S kodlu sırlı deney numunelerinde sır çatlağı gözlemlenmemiştir. Buradan yola çıkarak her iki deney grubunun da bünye sır uyumunun iyi olduğu anlaşılmaktadır.

4. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada % 85 ve % 90 silis içerikli replika taş çini reçeteleri oluşturulmuş ve silis oranındaki değişimin replika çinilerin teknik özelliklerine olan etkileri araştırılmıştır. Bu amaç doğrultusunda kristalin kuvars, frit, plastik kil ve bentonit kullanılarak hazırlanan ve sırsız halde pişirilen çini bünyelerinde silis oranının artışı ile birlikte pişme küçülmesi, su emme ve görünür porozite değerlerinin azalırken, yığınsal yoğunluk ve eğme mukavemeti değerlerinin arttığı görülmüştür. Bu bulgular silis içeriğinin % 5 oranında artışı ile birlikte çini bünyelerinin daha iyi sinterlendiğini göstermiştir. Sinterlemenin iyileşmesinde çini bünyelerinde artan silis oranı kadar Na_2O oranındaki artış ile birlikte Al_2O_3 oranındaki azalmanın da etkili olduğu düşünülmüştür. % 90 silis içerikli çini bünyelerinin mikroyapı analizinde daha yoğun bir matris yapıya sahip olduğu ve bu yoğunluğu sağlayan camsı faz dolayısıyla da daha parlak görünümde olduğu görülmüştür. Ayrıca, artan silis içeriği çini bünyelerinin mikroyapısındaki gözeneklerin küreselleşmesine ve boyutlarının da azalmasına katkı sağlamıştır. Çini bünyelerindeki mikroyapısal gelişimin ve teknik özelliklerindeki iyileşmenin sinterleme derecesindeki artıştan kaynaklı olduğu değerlendirilmiştir. Mikroyapısal gelişimlere paralel olarak çini bünyelerindeki silis oranındaki artış sinterleme sıcaklığı üzerinde de olumlu etkiye neden olarak çini bünyelerinin sinterleme sıcaklığının 988 °C' den 914 °C' ye azalmasını sağlamıştır. Taş çini örneklerinin yüzeyleri sırlandığında ise bünyesinde daha yüksek

oranda silis içeren çinilerin daha yüksek parlaklık derecesine sahip olduğu görülmüştür. Bu sonuç bünyedeki silis oranının artması ile birlikte azalan gözeneklilik oranı ve pürüzlülük seviyesi sayesinde çini bünyesi üzerine sır uygulandığında çinilerin daha parlak görünümde olmasını sağlamıştır. Sırlı çini örneklerinin 200 °C' ye kadar termal şoka dayanım göstermesi bünye sır uyumu açısından çinilerin sorunsuz olduğunu göstermiştir.

Yazarların Katkıları

ÇO makaledeki analiz ve deney çalışmalarını yürüttü, makale yazımını yaptı. Makalenin son halini okudu ve onayladı.

Çıkar Çatışması

Yazarlar, çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

Kaynaklar

- [1]. Mason, R.B., Tite, M.S., “The beginnings of Islamic stonepaste technology” *Archaeometry*, 1994, 36: 77-91.
- [2]. Atasoy, N., Raby, J., “Iznik Pottery of Ottoman Turkey”, Alexandria Press London, İstanbul, (1989)
- [3]. Gün Y., Işık İ., Çelik F., Uz V., “Taş Çini Üretiminde Atık Kuvars Kullanımının Araştırılması”, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 2019, Özel Sayı: 30-36.
- [4]. İmer C., Günay E., Öveçoğlu M. L., “An investigation of thin lustre layers developed by ion-exchange mechanism on the surface of Iznik tiles” *Ceramics International*, 2015, 41: 11489-11497.
- [5]. Gökçe E., “Iznik Ceramics: History and Present-Day”, *Athens Journal of Humanities & Arts*, 2018, 5 (2): 225-242.
- [6]. Sarıgüzel M., Gunay E., “A New Approach to Iznik Tiles”, *Materials Testing*, 2012, 54: 11-12
- [7]. Sarıgüzel M., Yılmaz Ş., Günay E., “An Investigation of Nanoparticles in Contemporary Lustres on Modern Iznik Tiles”, *Journal of the Australian Ceramic Society*, 2015, 51(1): 34-39
- [8]. Paynter S., Okyar F., Wolf S., Tite M. S., “The Production Technology Of Iznik Pottery - A Reassessment”, *Archaeometry*, 2004, 46 (3): 421–437.
- [9]. Tite, M.S., Wolf, S. Mason R.B., “The Technological Development Of Stonepaste Ceramics From The Islamic Middle East”, *J. Archaeol. Sci.*, 2011, 38: 570–580.
- [10]. Tatar I., Ediz N., Bentli İ., “Diatomit Katkılı Çini Karo Bünye Üretimi”, 5. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, İzmir, Türkiye, 313-317, (2004).
- [11]. Ağıl, A.A., Karasu, B. “Lüster Sırlarının Karakterizasyonuna Genel Bir Bakış” *El-Cezerî Fen ve Mühendislik Dergisi*, 2019, 6(1): 51-79.
- [12]. Kapur S., Sakarya N., Fitzpatrick E. A., Pagliai M., Kelling G., Akça E., Karaman C. ve Sakarya B., “Mineralogy and micromorphology of İznik ceramics” *Anatolian Studies*, 1998, 48: 181 -189.
- [13]. Mason, R.B., “Criteria for petrographic characterization of stonepaste ceramics”, *Archaeometry*, 1995, 37: 307-321.
- [14]. Öztürk Ç., “Mevlana Kubbe-i Hadra (Konya) Dış Duvarının 1912 ve 1965 Yıllarındaki Onarımlarında Kullanılan Çinilerin Karakterizasyonu”, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 2020, 20 (5): 900-907.
- [15]. Öney, G., “Türk çini sanatı”, Yapı ve Kredi Yayınları, İstanbul, (1976).

- [16]. Tulun T., Döner G., Çalışır F., Çini N., Karatepe N., Meriçboyu A., Tekin A., Altun A., Arlı B., Arlı H., “An Archaeometric Study On Ancient Iznik Ceramics”, BAÜ Fen Bil. Enst. Dergisi, 2002 4 (2): 34-44.
- [17]. Amara A. B., Schvoerer M., “An investigation of the ceramic technology of a late Iznik ceramic production (XVIIth century AD)”, 34th International Symposium On Archaeometry, Zaragoza, Spain, 393-398, (2004).
- [18]. Okyar F., “The Technology of Frit Making in Iznik”, Key Engineering Materials, 2004, 264-268, 2391-2394
- [19]. Kartal, A., “Sır ve Sırlama Tekniği”, Çizgi Matbaacılık Ltd. Şti, Ankara (1998).
- [20]. Taçyıldız E., “Alümina - Silis Miktar Ve Oranının Sır Özelliklerine Etkileri”, Yıldız Journal of Art and Design, 2015, 2 (1): 19-25.
- [21]. Suvaci E., Tamsu N., “The role of viscosity on microstructure development and stain resistance in porcelain stoneware tiles“, Journal of the European Ceramic Society, 2010, 30 (15): 3071-3077.