

SERAMİK SAĞLIK GEREÇLERİNİN SİNERLEME SICAKLIĞININ FİZİKSEL ÖZELLİKLERE VE TAHRİBATSIZ MUAYENE YÖNTEMİNE ETKİSİ

Elif EREN GÜLTEKİN^{1,*}, Hasan SARI², Semra KURAMA³

¹ Nevşehir Hacıbektaş Veli Üniversitesi, Güzel Sanatlar Fakültesi, Seramik ve Cam Bölümü, Hacıbektaş/ Nevşehir

² Seramiksan, Organize Sanayi Bölgesi, Turgutlu, Manisa

³ Anadolu Üniversitesi, Havacılık ve Uzay Bilimleri Fakültesi, Eskişehir

ÖZET

Bu çalışmada, inşaat malzemeleri içinde sınıflandırılan seramik sağlık gereçlerinin, sıcaklığa bağlı olarak fiziksel özelliklerinin ve ultrasonik hızlarının değişiminin incelenmesi hedeflenmiştir. Bu amaçla, laboratuvar şartlarında hazırlanan seramik sağlık gereçleri bünyeleri yapısında farklı sinterleme sıcaklıkları uygulanarak görünür porozite oluşturulmuş ve bu parametreye bağlı olarak su emme özelliklerindeki değişim incelenmiştir. Farklı fiziksel özelliklere sahip olan bu numuneler, tahribatsız muayene yöntemlerinden ultrasonik (darbe-yankı) test yöntemiyle incelenmiştir. Elde edilen ultrasonik hız değerleri ile kalibrasyon eğrileri tasarlanmış ve sinterleme sıcaklığına bağlı su emme ile görünür porozite gibi fiziksel özelliklerin tahmininde kullanımının uygun olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Sağlık gereçleri, Sıcaklık, Görünür porozite, Su emme, Ultrasonik, Tahribatsız muayene

THE EFFECT OF SINTERING TEMPERATURE OF SANITARY-WARES ON PHYSICAL PROPERTIES AND NON-DESTRUCTIVE TEST METHOD

ABSTRACT

In this study, it was aimed to analyze the physical properties and ultrasonic velocity variation of the ceramic sanitary ware classified in the building materials, depending on the temperature. For this purpose, applying different sintering temperature to the structure of the ceramic sanitary ware bodies prepared under laboratory conditions, apparent porosity was created and changes in water absorption characteristics depending on this parameter were examined. These samples with different physical properties were investigated by ultrasonic (pulse-echo) test method of the non-destructive testing methods. Calibration curves were designed with obtained ultrasonic velocity values and use of the curves in the estimation physical properties such as water absorption and apparent porosity, depending on the sintering temperature were determined to be suitable.

Keywords: Sanitary-wares, Temperature, Apparent porosity, Water absorption, Ultrasonic, Non-destructive testing

1. GİRİŞ

Günümüzde, güvenli, sağlam ve uzun yıllar boyunca ayakta kalabilecek yapılar inşa edilmeye çalışılmaktadır. Güvenli, uzun ömürlü, çevre dostu yapılar ise kaliteli malzemelerle inşa edilebilecektir [1]. İnşaat sektöründeki malzeme seçimi, inşaat malzemeleri sektörüne doğrudan yansımaktadır. İnşaat malzemeleri sektör grupları arasında, seramik sağlık gereçleri sektörü de yer almaktadır. İnşaat Malzemesi Sanayicileri Derneği (İMSAD) tarafından açıklanan, Türkiye İstatistik Kurumu kaynaklı son verilerde, 2014 yılının Ocak-Ekim ayları arasında inşaat malzemeleri ihracatı 17.771,6 milyon dolar olarak gerçekleşmiştir ve seramik sağlık gereçleri sektörü de bu ihracat içinde % 1,05 paya sahip bulunmaktadır. 2013 yılı Ocak-Ekim ayları arasında 167,9 milyon dolar olan seramik sağlık gereçleri ihracatı 2014 yılının aynı döneminde 187,6 milyona ulaşarak bu sektörde gerçekleşen ihracatta % 11,7'lik bir artış gerçekleşmiştir [2].

* Sorumlu Yazar: eeeren@nevsehir.edu.tr

Geleneksel seramik ürünleri içerisinde yer alan seramik sağlık gereçleri; kil, feldispat ve kuvars kullanılarak hazırlanan vitrifiye bünyelerdir ve vitrifikasyon, yüksek oranda ergimeye bağlıdır. Seramik sağlık gereçleri, düşük porozite ($< \% 0,5$) ve yüksek cam içeriği ($> \% 40$) nedeniyle üç bileşenli bünyeler olarak adlandırılırlar [3].

Sağlık gereçleri üreten kuruluşlar, zaman içerisinde çeşitli proseslerde değişik oranlarda emek gücü, enerji, verimlilik, kalite ve maliyet konularında olumlu aşamalar kaydetmişlerdir ve ulaştıkları kalite, fiyat, estetik değerler ve standartlar ile ülkemizde saygınlık kazanırken, özellikle, başta Avrupa Topluluğu Ülkeleri olmak üzere dış dünyada da giderek artan talep yaratabilmişlerdir [4]. Sektörde yer alan firmalar yönünden, marka yaratma ve yeni gelişmelere ayak uydurma, rekabet güçlerini koruyabilmek açısından önem teşkil etmektedir. Seramik sağlık gereçleri üretimi, emek yoğun bir süreç olduğu için işçilik maliyetlerinin yüksek olması firmaları teknoloji kullanmaya yönlendirmiştir. Son dönemlerde, alçı kalıplarda batarya döküm sistemlerinin geliştirilmesi, reçine kalıpların kullanılmasıyla basınçlı döküm sistemine geçilmesi, sırlamada robot ve elektrostatik yöntemlerin kullanılması hem şekillendirme öncesi hem de şekillendirme sonrası işçiliği azaltmaya ve verimliliği arttırmaya yönelik atılan olumlu adımlar arasında gösterilebilir [5]. Bütün bu olumlu gelişmelere karşın seramik sektörünün, pişirme sistemleri, kalite kontrol yöntemleri ve enerji maliyetleri gibi önemli sorunları da vardır [6].

Yaygın olarak sağlık alanında kullanılan ultrasonik analiz yöntemi, endüstriyel alanda kalite kontrol yöntemi olarak tahribatsız muayene (TM) amacıyla kullanılmaktadır. Endüstriyel alanda ultrasonik test yöntemi, dalga-malzeme etkileşimleri ile malzemelerin elastik ve inelastik karakteristik özelliklerine dayalı tanımlanabilir tepkiler üretmesi esasını temel almaktadır. Bu metot, malzemelerin zamana bağlı olarak kullanım süreçlerindeki performanslarını belirleyerek, malzemelerin fiziksel özelliklerine bağlı değişen malzeme özelliklerini kontrol etmede ve mikroyapıda oluşan hataları tespit etmede önemli avantajlar sağlamaktadır. Boyuna ve enine olmak üzere farklı ilerleme şekillerinde dalga hareketini ihtiva eden tahribatsız analiz metodu, ses dalgalarını kullanarak uygulanan diğer test yöntemlerine göre örnek hazırlama gerektirmemesi, tehlikeli olmaması, dalga ilerleme süresi ve dalga pik şiddetlerinin ölçülmesi, görüntü alanlarının geniş ve potansiyel uygulamaları kapsamaması gibi belirgin avantajlara sahiptir [7-10]. Seramik karolarda ultrasonik yöntem kullanılarak, dalga ilerleme süresi ölçümüne bağlı olarak fiziksel ve mekanik özelliklerin değişiminin belirlenmesi, hataların tespiti ve ultrasonik sinyal ölçümü gibi uygulamalar yapılmıştır [11-24]. Eren ve arkadaşları [23], hatalara ve gözenekliliğe bağlı olarak karolar içinde boyuna ultrasonik dalga ilerleme süreleri ve hızları ile boyuna ultrasonik dalgaların karonun içinde ilerleyip geri dönmesi ile elde edilen ultrasonik geri yansıyan eko pik şiddetlerini incelemişlerdir. Bu çalışmada farklı yöntemlerle karolarda hata oluşumu sağlanmıştır. Kağıt ve alüminyum folyo hatalarını içeren karolar 1200°C 'de, hata içermeyen ve daha gözenekli olması istenen karo ise 1140°C 'de sinterlenmiştir. Tasarlanan bu hata ebatları ultrasonik inceleme amaçlı kullanılan probun çapından küçük olduğu için boyuna ultrasonik dalga ilerleme sürelerinde, süreye bağlı olarak da boyuna ultrasonik hızlarında karoların hatasız bölgelerine göre bir değişiklik olmamakla birlikte toplanan sinyaller incelendiğinde ise ultrasonik hata pikleri tespit edilmiş ve hata içeren bölgeden alınan geri yansıyan eko pik şiddetinde düşüş tespit edilmiştir. Sonuçlar, 1140°C 'de sinterlenen karoda boyuna ultrasonik dalgaların ilerleme süresinin 1200°C 'de sinterlenen karolarla kıyaslandığında içerdiği gözenek miktarının daha fazla olması sebebiyle daha uzun sürdüğünü, boyuna dalgaların ilerleme hızlarının ise daha düşük olduğunu göstermiştir. Eren ve arkadaşlarının diğer bir çalışmasında [15] ise aynı sıcaklıkta farklı kalınlardaki karoların boyuna ultrasonik hızın değişimi incelenmiştir. Gözenek miktarı ve ortalama por boyutu yaklaşık olarak aynı olan farklı kalınlıkta karolarda camsı faz miktarı fazla olan karoların boyuna ultrasonik dalga hızının daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Literatürde halen geleneksel seramik sektöründe henüz çok yeni olan ultrasonik yöntemin kullanımı endüstriyel olarak yaygın olmamakla beraber en çok kullanılan seramik ürünlerden olan "seramik sağlık gereçleri" üzerinde bu metodun kullanımına ilişkin bir çalışma bulunmamaktadır.

Bu çalışmada, sağlık gereçlerinin üretiminden sonra görünür porozitelerinin ve su emmelerinin belirlenmesi aşamasında tahribatsız muayene yöntemlerinden biri olan ultrasonik test metodu kullanılarak, sağlık gereçlerinin kalite kontrolünde yaşanan sorunların çözümlenmesi hedeflenmiştir. Reçeteye bağlı hazırlanan kalibrasyon eğrileri, fırından yeni çıkan ürünlerin su emmesinin ve görünür porozitesinin ürün kırılmadan belirlenmesini sağlamaktadır. Bu yöntemle, ürünlerin tahribatsız şekilde su emmesinin ve görünür porozitesinin belirlenmesi; *ürünlerin kalite kontrol maliyetini ve kalite kontrol için harcanacak süreyi azaltacaktır*. Ayrıca, sağlık gereçleri üzerinde ultrasonik karakterizasyon yönteminin uygulanması ile sistemde atık ürün oluşmayacaktır ve bu sayede *hem ürün maliyeti düşürülmüş, hem de çevre korumasına katkı sağlanmış olacaktır*.

2. MATERYAL ve YÖNTEM

Seramik sağlık gereçleri bünye reçetelerinin hazırlanmasında (Serel Seramik Sanayi ve Ticaret A.Ş.'den temin edilerek) kullanılan hammaddelerin Rigaku ZSX Primus marka X-ışınları floresans spektrometresi ile yapılan kimyasal analizleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Hammaddelerin XRF sonuçları

	Na-feldispat	Silis Kumu	CC31	San 90	K-feldispat	Eskişehir Kili	K2
SiO ₂	68,72	90,71	47,23	57,91	66,62	9,42	49,31
Al ₂ O ₃	18,38	6,06	36,08	25,48	17,58	1,58	35,47
Fe ₂ O ₃	0,11	0,29	0,87	1,16	0,13	0,62	0,84
TiO ₂	0,22	0,19	0,07	1,55	0,02	0,06	0,28
CaO	0,59	0,03	0,06	0,15	0,23	2,16	0,19
MgO	0,08	0,04	0,32	0,34	0,03	41,81	0,15
Na ₂ O	11,01	0,1	0,59	0,33	3,11	0,42	0,1
K ₂ O	0,29	0,25	2,81	2,29	11,98	0,18	0,81
K.K.*	0,38	2,37	11,92	10,67	0,29	43,45	12,79

K.K.*: Kızdırma Kaybı

Yapılan bünye çalışmalarında, sağlık gereçleri üretim aşamaları izlenmiştir. Standart bir Seger formülüne göre hazırlanan reçetede özgül hammadde değirmende istenilen tane boyutuna gelinceye kadar sulu olarak 45 dakika öğütülmüştür. Hazırlanan çamurun tane boyutu ölçümleri Malvern Hydro 2000G marka lazerli tane boyut dağılımı cihazı ile yapılmıştır. Değirmen çıkışı ve döküm çamuru için kullanılan standart değerler Tablo 2'de verilmiştir.

Hazırlanan bünyenin Seger formülü:

- ✓ $2 < \text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O} < 2,5$
- ✓ $0,6 < \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} < 0,8$
- ✓ $4,5 < \text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3 < 6$
- ✓ $\text{CaO}/\text{MgO} \sim 0,2$
- ✓ $0,2 < \text{CaO} + \text{MgO} < 0,4$

Tablo 2. Özgül hammaddelerin ve döküm çamurunun tane boyut dağılımı (μm)

	$d_{(10)}$	$d_{(50)}$	$d_{(90)}$
Değirmen Çıkışı	1,820	14,680	46,617
Döküm Çamuru	1,663	10,059	42,160

Değirmende sulu olarak öğütülen özgül hammadde, değirmen çıkışında, plastik özlü hammadde ve deflokulant ile karıştırılmıştır. Bir gece yaşlanma için dinlendirilen döküm çamuru, elenerek Tablo 3'te belirtilen özelliklere ulaşması için gerekli işlemlere tabi tutulmuştur. Hazırlanan çamur, 10 mm X 4 mm X 260 mm ebatlarında alçı kalıplara dökülerek deformasyon çubukları şekillendirilmiştir.

Dökümle şekillendirilen deformasyon çubukları bir gün atmosfer şartlarında bekletildikten sonra 110°C’de etüvde kurutulmuştur. Kuru numuneler Nabertherm N20/HR fırınında iki ayaklı mesnet üzerine yerleştirilerek tepe sıcaklığına (1130, 1140 ve 1160°C) kadar 5°C/dk. ısıtma hızı ile çıkılmış ve bu sıcaklıkta 15 dakika sinterlenmiştir (Şekil 1). Bu test işlemi her sıcaklık için iki kere tekrarlanmıştır.

Tablo 3. Hazırlanan çamurun litre ağırlığı, viskozite ve tiksotropi değerleri

<i>Litre Ağırlığı (gr/lt)</i>	1800-1805
<i>1.Viskozite (°)</i>	300-320
<i>2.Viskozite (°)</i>	200-215
<i>Tiksotropi (°)</i>	100-105

Sinterleme işleminden sonra, ultrasonik boyuna ve enine dalgaların deformasyon çubuklarının kenar kısımlarındaki ilerleme süreleri (Şekil 2-4), dalgaları görüntülemeyi sağlayan Tektronix TDS 1012 iki kanallı dijital osiloskop ve dalgaları numuneye iletip numuneden gelen dalgaları toplayan Olympus Panametrics-NDT Model 5800 bilgisayar kontrollü ultrasonik cihaz kullanılarak ölçülmüştür. Bu analizler, tüm sinterleme sıcaklıklarında ikişer adet deformasyon çubuğu için yapılarak, dalgaların (boyuna ve enine) ilerleme süreleri, dalgaları gönderen ve toplayan probun aynı olduğu darbe-yankı yöntemiyle temaslı olarak ölçülmüştür. Kullanılan problemlerin merkez frekansları, boyuna dalgalar için 5 MHz, enine dalgalar için 2,25 MHz’dir. Dalga ilerleme süreleri ± 40 nsn. hassasiyette ölçülürken numune kalınlıkları 0,01 mm hassasiyette ölçüm imkânı sağlayan Mitutoyo M110-25 DS mikrometre ile belirlenmiştir. Kalınlık boyunca ultrasonik dalgaların ilerleme hızı Eşitlik 1’de verilmektedir [25];

$$V = \frac{2 \times d}{t} \quad (1)$$

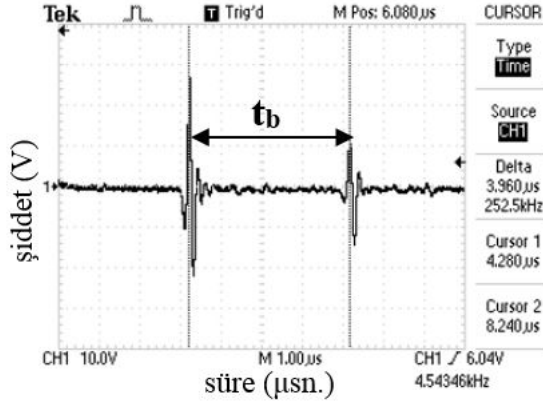
V: Ultrasonik dalga hızı (m/sn.)

d: Numune kalınlığı (m)

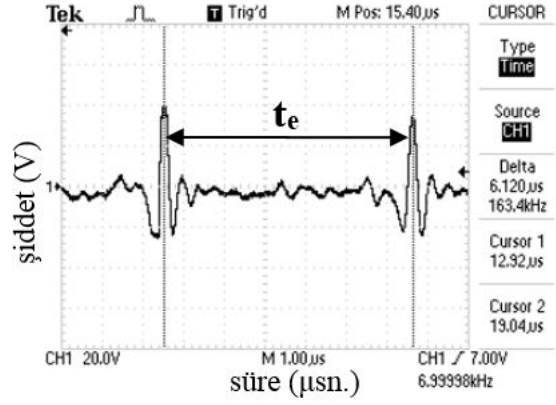
t: Ultrasonik dalgaların ilerleme süresi (sn.).



Şekil 1. Deformasyon test düzeneği

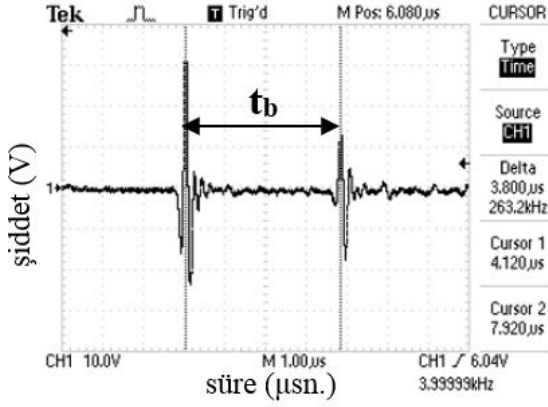


(a)

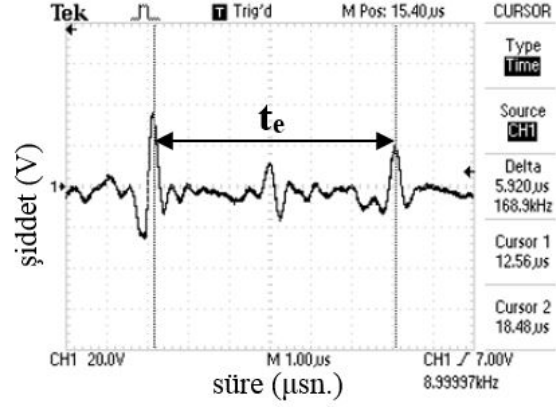


(b)

Şekil 2. 1130°C’de sinterlenen sağlık gereçleri (DI-1) için (a) boyuna, (b) enine dalga ilerleme süreleri

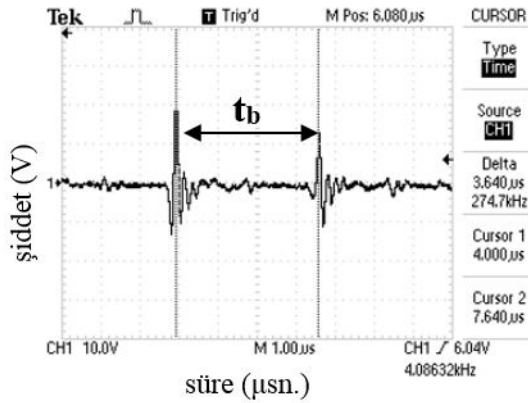


(a)

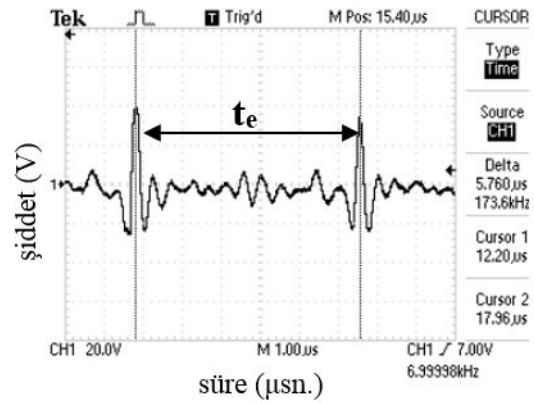


(b)

Şekil 3. 1140°C’de sinterlenen sağlık gereçleri (DI-3) için (a) boyuna, (b) enine dalga ilerleme süreleri



(a)



(b)

Şekil 4. 1160°C’de sinterlenen sağlık gereçleri (DI-5) için (a) boyuna, (b) enine dalga ilerleme süreleri

Numunelerden kesilen küçük parçaların su emmeleri TS EN 997; 2013 standartına göre, görünür poroziteleri ise Arşimet Prensibi'ne göre belirlenmiştir. Test edilecek olan kuru parçalar tartıldıktan (m_1) sonra su emme kazanına yerleştirilmiştir. Su emme kazanındaki numunelerin yüzeyinde 2 cm'den fazla su olacak şekilde kazan su ile doldurularak 4 saat kaynatılmıştır. Kaynama süresinin bitiminden sonra da 20 saat süre ile numuneler kazan içinde soğumaya bırakılmıştır. Süre bitiminde kazandan çıkartılan numune parçalarının yüzeyindeki su temiz ve nemli bir bez ile kurularak numuneler tartılmıştır (m_2). Numunelerin su emme değeri Eşitlik 2'de verilen formüle göre hesaplanarak, görünür porozite için numunelerin su içindeki askıda ağırlıkları tartılmıştır (m_3) ve hesaplamalar Eşitlik 3'e göre yapılmıştır.

$$\text{Su emme (\%)} = \frac{m_2 - m_1}{m_1} \times 100 \quad (2)$$

$$\text{Görünür porozite (\%)} = \frac{m_2 - m_1}{m_2 - m_3} \times 100 \quad (3)$$

3. BULGULAR ve TARTIŞMA

Sağlık gereçleri numunelerinin görünür porozite ve su emme değerleri ölçülerek, ultrasonik temaslı probalar ile boyuna ve enine dalga ilerleme süreleri belirlenmiştir (Şekil 2-4). Mikrometre ile kalınlıkları ölçülen numunelerin boyuna ve enine dalga ilerleme hızları hesaplanmıştır. Sıcaklığa bağlı olarak ortaya çıkan numunelerin fiziksel ve ultrasonik özellikleri Tablo 4'te verilmektedir. Sonuçlardan görüldüğü üzere sıcaklık artışı yoğunlaşmayı arttırmakta ve numunelerin açık gözenek miktarı azalmaktadır. Malzemelerin su emmesi, açık gözeneklere dolan su miktarını belirlediğinden, malzemelerdeki açık gözenek miktarı arttıkça, su emmesi de artmaktadır. Görünür porozite ise, açık gözenek miktarını ifade etmek olup, görünür porozite ve su emme birbirleriyle doğru orantılı olarak değişmektedir. Böylece, görünür porozite % değeri arttıkça, açık gözeneklere dolan su miktarı da artmakta ve numunenin su emme % değerinde de artış görülmektedir. Diğer yandan, gözenek miktarındaki artış ultrasonik dalgaların ilerlemesini zorlaştırmakta, ilerleme sürelerini arttırmakta ve böylece ultrasonik dalgaların hızlarını yavaşlatmaktadır. Sonuç olarak, 1130°C sıcaklıkta sinterlenen **DI-1** ve **DI-2** numuneler ve 1140°C sıcaklıkta sinterlenen **DI-3** ve **DI-4** numuneler, diğer numuneler ile (1160°C sıcaklıkta sinterlenen) kıyaslandığında, sinterleme sıcaklıklarının düşük olmasının daha fazla görünür porozite miktarlarının oluşmasını sağladığı gözlemlenmiştir. Bu nedenle, su emmeleri de daha fazla olan bu numunelerde kalınlık boyunca ultrasonik dalgalar daha zor ilerlemekte ve hem boyuna hem de enine dalgaların ilerleme hızları düşük olmaktadır. Boyuna dalgalarda malzeme içindeki taneler dalganın ilerleme yönünde titreşirken enine dalgalarda taneler dalga ilerleme yönüne göre dik yönde titreşime sahiptirler. Titreşim yönlerinin, dalga ilerleme yönünden farklı olması nedeniyle enine dalgaların aynı numunede ilerlemeleri boyuna dalgalara göre daha uzun sürmekte ve hızları da boyuna dalgalara göre daha yavaş olmaktadır [26]. Yaptığımız analizlerde, daha önceki analizlerle de paralel olarak tüm numuneler için enine dalga ilerleme süreleri, boyuna dalga ilerleme sürelerinden daha fazla (Şekil 2-4); enine dalga ilerleme hızları da boyuna dalga ilerleme hızlarından daha düşük olarak tespit edilmiştir. Su emme ve görünür porozite miktarlarının ultrasonik dalga hızlarıyla değişimi benzerlik göstermektedir. Sinterleme sıcaklığının düşük sıcaklıklarda olması, numunelerin su emme ve görünür porozite miktarlarını arttırmaktadır. Su emme ve görünür porozite miktarlarının artışı ise, numunelerdeki açık gözenek miktarlarının artmasına bağlı olarak gerçekleşmekte, bu gözenekler de dalgaların ilerlemesini zorlaştırmaktadır ve ultrasonik dalga hızlarında düşüş görülmektedir.

Tablo 4. Sıcaklığa bağlı olarak fiziksel ve ultrasonik özelliklerin değişimi

Özellik	1130		1140		1160	
	<i>D1-1</i>	<i>D1-2</i>	<i>D1-3</i>	<i>D1-4</i>	<i>D1-5</i>	<i>D1-6</i>
Numune						
Su emme (%)	0,35	0,37	0,10	0,05	0,00	0,00
Görünür porozite (%)	0,84	0,88	0,25	0,13	0,00	0,00
Kalınlık (mm)	10,13	9,86	9,95	10,49	10,16	10,00
Ultrasonik boyuna ilerleme süresi (nsn.)	3960	3840	3800	4000	3640	3560
Ultrasonik enine ilerleme süresi (nsn.)	6120	5960	5920	6160	5760	5640
Ultrasonik boyuna ilerleme hızı (m/sn.)	5116	5135	5237	5245	5582	5618
Ultrasonik enine ilerleme hızı (m/sn.)	3310	3309	3361	3406	3528	3546

Genel olarak seramik malzemelerin mekanik ve fiziksel özelliklerinde önemli bir parametre olan gözeneklilik; sinterleme sırasında suyun buharlaşması ile oluşmaktadır. Pişmemiş üründe su içeriği % 9 olduğunda ultrasonik dalga hızı 800 ms^{-1} 'nin altındadır. Ürün 1000°C 'de pişirildiğinde ise, su tamamen buharlaşarak yerini gözeneklere bırakmaktadır. Ultrasonik dalga hızı, malzemenin yapısının kristal şekle dönüşmesi nedeniyle, belirgin bir şekilde 2000 ms^{-1} 'lere çıkmaktadır. Bu durumda ürün ısıtılmaya devam edilirse, sinterleme sıcaklığına bağlı olarak gözenekler, feldispat ile kısmi olarak doldurulmakta ve yaklaşık 1380°C 'de minimum gözenek miktarı elde edilmektedir. Ultrasonik hız bu sıcaklıkta en yüksek değere ulaşmaktadır [27].

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada, inşaat malzemeleri içinde sınıflandırılan seramik sağlık gereçleri numunelerinde, sıcaklığa bağlı olarak değişen fiziksel özelliklerden su emme ve görünür porozite ile ultrasonik özellikler incelenmiştir. Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda, sıcaklık artışına bağlı olarak su emme ve görünür porozitenin yüzdesel miktarlarında düşüş, ultrasonik hız değerlerinde ise artış tespit edilmiştir.

Kalınlığın sabit tutulduğu sistemlerde, gözenek miktarındaki artışa bağlı olarak dalga ilerleme süresinin arttığı gözlenmektedir. Yaklaşık olarak aynı kalınlıkta olan, 1130°C ve 1160°C sıcaklıklarda sinterlenen *D1-1* ve *D1-5* numunelerinin görünür porozite miktarları incelendiğinde *D1-1* numunesinde, görünür porozite miktarının % 0,84 olduğu, *D1-5* numunesinde ise, görünür porozite bulunmadığı görülmektedir. Kalınlık boyunca ultrasonik boyuna dalgaların *D1-1* numunesinde ilerlemesi 3960 nsn. sürerken *D1-5* numunesinde bu süre 3640 nsn. olarak ölçülmüştür. Sonuç olarak, görünür porozitedeki % 1'den düşük azalma, boyuna dalga ilerleme süresini 320 nsn. azaltmakta ve ilerleme hızını ise % 9,11 arttırmaktadır. Enine dalgaların *D1-5* numunesindeki ilerleme süresi de *D1-1* numunesine göre 360 nsn. daha kısa sürmekte iken enine dalga ilerleme hızında % 6,58 oranında artış meydana gelmektedir.

Yapılan bu çalışma, ultrasonik test ölçüm yönteminin kullanılması ile üretici koşullarına göre özel olarak oluşturulacak kalibrasyon eğrilerinin, su emme ve görünür porozite ölçümleri yönünden işletmelerin sağlık gereçleri üretimine *ekonomi, zaman kazanımı ve çevre* açısından büyük katkı sağlayacağını göstermektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Dalga E. “Malzemenin de akıllısı mı olurmuş?” demeyin!.. Türkiye İMSAD Dergi 2015; 21: 4.
- [2] http://imsad.org/docs/dtr_2014_12.pdf (Son erişim tarihi: 14.08.2015)
- [3] Dağ P. Sağlık gereçlerinde kompozisyon değişimlerinin sinterleme üzerine etkileri. Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir, Türkiye, 2009.
- [4] Güner Y. Seramik sağlık gereçleri sanayimizin yapısı ve gelişimi. Sanayi Kongresi Tartışmalar. Ankara, Türkiye: Makine Mühendisleri Odası Yayını, 1989.
- [5] Seramik Sağlık Gereçleri Sektörü Dokuzuncu Kalkınma Planı 2007-2013, Devlet Planlama Teşkilatı Müsteşarlığı, Ankara, Türkiye.
- [6] Ermiş A. Türk seramik sektörünün rekabet gücü. Yüksek Lisans Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Zonguldak, Türkiye, 2005.
- [7] Djordjevic BB. Remote non-contact ultrasonic testing of composite materials. In: Proceedings of 15th World Conference on Non-Destructive Testing; 15-21 October 2000; Roma, Italy. (<http://www.ndt.net/article/wcndt00/papers/idn358/idn358.htm>)
- [8] Vun RY, Eiseheid T, Bhardwaj MC. Quantitative non-contact ultrasound testing and analysis of materials for process and quality control. In: ECNDT 2006; Th.3.7.2. (<http://www.ndt.net/article/ecndt2006/doc/Th.3.7.2.pdf>)
- [9] Rajendran V, Palanivelu N, Chaudhuri BK. Elastic properties of the lead containing bismuth tellurite glasses-an ultrasonic study. In: Proceedings of 15th World Conference on Non-Destructive Testing; 15-21 October 2000; Roma, Italy. (<http://www.ndt.net/article/wcndt00/papers/idn338/idn338.htm>)
- [10] Yadav RR, Singh D. Ultrasonic characterization of intermetallics. In: Proceedings of 15th World Conference on Non-Destructive Testing; 15-21 October 2000; Roma, Italy. (<http://www.ndt.net/article/wcndt00/papers/idn386/idn386.htm>)
- [11] Paone N, Revel GM, De Andrede RM. Non-contact sensor in the ceramic industry. Ceram World Rev 35: 136-141. 2000.
- [12] Pietroni P, Revel GM. Laser ultrasonics for quality control in the ceramic industry. In: Xth World Congress on Ceramic Tile Quality; Castellón, Spain. p.bc 345-358, 2008.
- [13] Revel GM. Measurement of the apparent density of green ceramic tiles by a non-contact ultrasonic method. Exp Mech 47: 637-648, 2007.
- [14] Romagnoli M, Burani M, Tari G, Ferreira JMF. A non-destructive method to asses delamination of ceramic tiles. J Eur Ceram Soc 27: 1631-1636, 2007.
- [15] Gültekin EE, Bayer Ozturk Z, Kurama S. The effect of porosity and glassy phase amount of porcelain tiles on ultrasonic velocity. J Aust Cer Soc 51(1): 120-124, 2015.
- [16] Kurama S, Eren Gültekin E. Characterization of silicate ceramics using ultrasonic test method. In: Advances in Science and Technology. Switzerland: Trans. Tech. Publications, 92, pp. 194-202, 2014.
- [17] Eren E, Bayer Ozturk Z, Kurama S. Image analyses for porosity characterization of porcelain tiles with different thickness. Afyon Kocatepe University Journal of Science and Engineering 14: 147-151, 2014.

- [18] Bayer Öztürk Z, Eren E. Pomza ilaveli duvar karolarının ultrasonik karakterizasyonunun faktöriyel tasarım ile incelenmesi. *Nevşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi* 2(2): 135-145, 2013.
- [19] Eren E, Kurama S. Defect detection in porcelain tiles using ultrasound. In: Büyüköztürk O, Taşdemir MA, Güneş O, Akkaya Y, editors. *Nondestructive Testing of Materials and Structures*. RILEM Book Series, 6, pp. 381-386, 2013.
- [20] Eren E, Kurama S, Janssen R. Ultrasonic characterization of defective porcelain tiles. *Bol Soc Esp Ceram V*; 51(4): 211-216, 2012
- [21] Eren E, Kurama S, Solodov I. Characterization of porosity and defect imaging in ceramic tile using ultrasonic inspections. *Ceram Int* 2012; 38(3): 2145-2151.
- [22] Eren E, Kurama S. Characterization of mechanical properties of porcelain tile using ultrasonics. *Gazi University Journal of Science* 2012; 25(3): 761-768.
- [23] Eren E, Kurama S, Görgülü S. Ultrasonik görüntü işleme tekniği ile hatalı porselen karoların incelenmesi. *Osmangazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi* 2011; 24(2): 133-143.
- [24] Eren E, Kurama S, Cifci M. Porosity characterization of porcelain bodies. In: *ASNT Fall Conference and Quality Testing Show 2008*. Charleston, SC, USA: The American Society for Nondestructive Testing, Inc. pp. 118-122.
- [25] Medding JA. *Nondestructive evaluation of zirconium phosphate bonded silicon radomes*. MSc, Virginia Polytechnic Institute and State University, Virginia, USA, 1996.
- [26] *Encyclopedia of Applied Physics, Testing Equipment-Mechanical to Topological Phase Effects*. Wiley-VCH Verlag GmbH, 1997.
- [27] Blitz J, Simpson G. *Ultrasonic Methods of Non-destructive Testing*. Cambridge, UK: Chapman&Hall, 1996.