

**YAPI SERAMİKLERİNDE
ULTRASES GEÇİM HIZI İLE MALZEME PARAMETRELERİ
İLİŞKİSİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Erdinç ABİ

**SERAMİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
EYLÜL 2007**

T.C.
AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YAPI SERAMİKLERİNDE
ULTRASES GEÇİM HIZI İLE MALZEME PARAMETRELERİ
İLİŞKİSİNİN İNCELENMESİ

Erdoğan ABİ

DANIŞMAN
Yrd. Doç. Dr. Metin ÖZGÜL

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Seramik Mühendisliği
Anabilim Dalı

AFYONKARAHİSAR

2007

ONAY SAYFASI

Erdiñ Abi 'nin yüksek lisans tezi olarak hazırladığı “Yapı Seramiklerinde Ultrases Geçim Hızı İle Malzeme Parametreleri İlişkisinin İncelenmesi” başlıklı bu çalışma, lisansüstü yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek oy birliği/oy çokluğu ile kabul edilmiştir.

18 / 09 / 2007

Üye (Başkan) : Doç. Dr. Mevlüt Doğan

Üye (Danışman) : Yrd. Doç. Dr. Metin ÖZGÜL

Üye : Yrd. Doç. Dr. AYTEKİN HİTİT

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nunGün
vesayılı kararıyla onaylanmıştır.

Enstitü Müdürü
Doç.Dr. Zehra BOZKURT

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iii
ABSTRACT	iv
TEŞEKKÜR	v
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
RESİMLER DİZİNİ	x
ÇİZELGELER DİZİNİ	xi
1. GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER	4
2.1 Ultrases	4
2.1.1 Ultrasesin Tanımı	4
2.1.2 Ultrasesin Temel Özellikleri	8
2.1.2.1 Akustik Empedans	8
2.1.2.2 Titreşim Özelliği	10
2.1.2.3 Ses Basıncı	11
2.1.3 Ultrasesin Tarihçesi	11
2.1.4 Ultrasonik Test Metotları	14
2.1.4.1 Darbe-Yankı (Puls-Eko) Metodu	14
2.1.4.2 Direk İletim Metodu	15
2.1.4.3 Delta Metodu	16
2.1.5 Ultrasesin Kullanım Alanları	16
2.2 Yapı Seramikleri	20
2.2.1 Yapı Seramiklerinin Tanımı ve Türleri	20
2.2.2 Yapı Seramiklerinin Tarihçesi	20
2.2.3 Yapı Seramikleri Sektörü	24

3. MATERYAL VE METOT	27
3.1 Materyal	27
3.1.1 DeneYlerde Kullanılan Numuneler	27
3.1.2 DeneYlerde Kullanılan Araç ve Cihazlar	31
3.2 Metot	34
4. DENEYSEL BULGULAR	36
4.1 Fiziksel Bulgular	36
4.1.1 Gerçek Yoğunluk	37
4.1.2 Görünür Porozite	38
4.1.3 Bulk Yoğunluğu	38
4.1.4 Görünür Yoğunluk	39
4.1.5 Kapalı Porozite	40
4.1.6 Toplam Porozite	40
4.1.7 Su Absorplama Kapasitesi	41
4.1.8 Su Emme Deney Sonuçları	42
4.2 Mekaniksel Bulgular	43
4.2.1 Gerçek Basma ve Üç Nokta Eğilme Dayanımları	43
4.3 Kalıcılık (Durabilite) Özellikleri	46
4.3.1 Dinamik Elastisite Modülü	46
4.3.2 Dinamik Elastisite Modülü ile Dayanımlar Arasında Bulunan Korelasyon	47
4.2.3 Durabilite (Kalıcılık) Sınıflandırması	51
4.3 Sonuçların Kıyaslanması	54
4.4 Simülasyon Analiz Bulguları	61
5. SONUÇLAR VE TARTIŞMA	65
KAYNAKLAR	67

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

Yapı Seramiklerinde

Ultrases Geçim Hızı İle Malzeme Parametreleri İlişkisinin İncelenmesi

Erdoğan ABİ

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Seramik Mühendisliği A.B.D.

Danışman: Yrd.Doç.Dr. Metin ÖZGÜL

Bu çalışmada, yapı seramiklerinin tahribatsız metotlarla elde edilen dataların mekanik ve fiziksel deneylerden elde edilen datalarla eşleştirilerek sanayide etkin olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır. Yapı seramiklerinin çok geniş bir alan olmasından dolayı ve ultrases incelemesinin kolaylığı açısından pişmiş toprak ürünler, refrakterler ve kiremitler incelenmiştir. Bu amaç doğrultusunda, ilk olarak tüm numunelerin ultrases geçirim hızları bulunmuş ardından su emme, basınç ve eğilme deneyleri yapılmıştır. Her numunenin fiziksel, kimyasal ve mekanik testleri “TS EN 771” ve RILEM (Fransız) standartlarına göre uygulanmıştır. Testler sonrasında elde edilen sonuçlar, istatistiksel olarak düzenlenerek bilgisayar yazılımlarından faydalanılarak bilgisayar simülasyonları hazırlanmıştır. Son olarak, seçilen numunelerden alınan örneklerin XRD analizi ile mineralojik yapıları incelenmiş ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, ultrases geçirim hızı ile yapılacak tahribatsız deney yönteminin sanayide yapı seramiklerinin kalite kontrolünde güvenle kullanılabilmesi belirlenmiştir. Pişmiş toprak ürünlerinin üretim sonrası lazerli ultrases yardımıyla çok kısa sürede kalitesi tespit edilebilmektedir. Bu aşamayı geçebilen ürünler paketlemeye giderken, geçemeyen ürünlerin ise kırıcılar yardımıyla kırılarak tekrar üretime verilmesi sağlanacaktır. Böylece sürekli kaliteli ürün elde edilirken hammadde israfı minimuma indirilecektir.

2007, 72 Sayfa

Anahtar kelimeler: Yapı seramikleri, ultrases, pişmiş toprak ürünler, tuğla, refrakter, kiremit.

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

Investigating The Correlations Between
Material Parameters and Ultrasonic Transmission Velocity in Building Ceramics

Erdiñç ABİ

Afyon Kocatepe University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Ceramic Engineering Department

Advisor : Asst.Prof.Dr. Metin ÖZGÜL

More effective utilization of nondestructive testing in building ceramics industry was aimed in this study by comparing the data obtained from physical, mechanical tests and ultrasonic through transmission velocity measurements. There is a wide range of ceramic products used in the building applications. Taking advantage of the easiness of the ultrasonic evaluation several building ceramics such as fired clay products of tiles and bricks, and also some refractories were tested in this study. In the first step the ultrasound transition velocities of all the samples have been measured. Then water absorption, compressive strength and three point bending strength tests have been carried out. The physical, mineralogical and mechanical properties of the samples have been determined according to the standards of “TS-EN 771” and Réunion Internationale des Laboratoires et Experts des Matériaux (RILEM). The test results have been prepared statistically and then computer simulations have been prepared. Finally, XRD analysis of the samples has been also carried out and the results have been compared with ultrasonic test data. The results from both physical tests and ultrasonic measurements indicate that nondestructive testing is a useful method of evaluation for the final products. As the quality of the fired products is easily evaluated by laser ultrasound, they either go to packaging or return to the raw material processing due to critical defects determined. This will ensure not only production of high quality products but also minimize the raw material cost by reducing the amount of waste.

2007, 72 Pages

Keywords: Building ceramics, ultrasound, fired clay products, brick, refractory, tile.

TEŞEKKÜR

Ultrases gibi önemli ve ilginç konuda tez hazırlamamı sağlayan sayın danışmanım Yrd.Doç.Dr. Metin Özgöl'e tez hazırlamam sırasında gösterdiği yüksek anlayışı, iyi niyeti, teknik açıdan yönlendirmeleri için teşekkür etmeyi bir borç bilirim.

Ayrıca, sayın hocam Prof.Dr. Ömer Faruk Emrullahoğlu'na XRD analizlerinin yorumlanması ve Öğr.Grv. Mustafa Kaval'a laboratuvarlarını sonuna kadar açmasından dolayı teşekkür ederim.

Tabiki çalışmalarım müddetince beni destekleyip büyük sabır gösteren eşim Betül'e de teşekkür etmek isterim.

Erdinç ABİ

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

1. Simgeler

χ	Şekil değiştirme miktarı
A	Numunelerin kesit alanı
b	Prizma kesitinin boyutu
C_p	Kapalı porozite
D	Durabilite
d	Piezoelektrik sabiti
E	Uygulanan elektrik alan
E_D	Geçen enerji yüzdesi
E_{mod}	Elastisite modülü (Young modülü)
E_R	Yayılan enerji yüzdesi
f	Frekans
G	Titreşim genliği
I	Ultrases enerji şiddeti
k	Laplace katsayısı
L	Mesnetler arası mesafe
l	Dalganın katettiği yol
m_{arch}	Numunelerin su içindeki ağırlıkları
m_{kuru}	Numunelerin etüvden çıkarıldıktan sonraki kuru ağırlıkları
$m_{yaş}$	Numunelerin yaş ağırlıkları
P	Polarizasyon
Pa	Basınç
P_p	Görünür porozite
t	Geçiş süresi
T_p	Toplam porozite
UCS	Tek eksenli basma dayanımı (Uniaxial compressive strength)
UCS_{kuru}	Numunenin kuru haldeki tek eksenli basma dayanımı
$UCS_{yaş}$	Numunenin yaş haldeki tek eksenli basma dayanımı
W	Ortamın akustik empedansı
WAC	Su absorplama kapasitesi (Water absorption capacity)
Z	Akustik empedans

α	Gazların sabit basınç altındaki genleşme katsayısı
λ	Dalga boyu
v	Ultrases hızı
ν_{dyn}	Poisson oranı
ρ_{bulk}	Bulk yoğunluğu
ρ_{teo}	Teorik yoğunluk
σ	Numunelerin basınç mukavemeti
ω	Açısal frekans

2. Kısaltmalar

AKÜ	Afyon Kocatepe Üniversitesi
AR-GE	Araştırma-Geliştirme
ASTM	American Society for Testing and Materials
A.Ş.	Anonim Şirketi
DGZfP	Alman Tahribatsız Testler Cemiyeti
DPT	Devlet Planlama Teşkilatı
M.Ö.	Milattan Önce
MPa	Mega Paskal
N	Newton
RILEM	R éunion I nternationale des L aboratoires et E xperts des M atériaux
NDT	Nondestructive Testing (Tahribatsız Muayene)
TS	Türk Standartları
TSE	Türk Standartları Enstitüsü
TUKDER	Tuğla-Kiremit Üreticileri Derneği
XRD	X-Ray Diffraction
μsn	Mikro saniye

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa No	
Şekil 2.1	Ultras es incelemenin temeli	7
Şekil 2.2	İki materyal arasındaki yüzeydeki ultrasonik dalga, A ve C kaplanan tabaka, B.T geçen ışını, R yansıyan ışını gösterir	10
Şekil 2.3	Darbe-Yankı (Puls-Echo) metodu	15
Şekil 2.4	Direk iletim metodu	15
Şekil 2.5	Delta metodu	16
Şekil 2.6	Türkiye’de tuğla ve kiremit üretiminin yoğun olduğu bölgeler	25
Şekil 2.7	Kapasite kullanım oranı (%)	26
Şekil 3.1	Afyon-Çobanlar tuğla toprağının XRD analizi	29
Şekil 3.2	Selko marka ateş tuğlası XRD analizi	29
Şekil 3.3	Işıklar marka taban pres tuğla XRD analizi	29
Şekil 3.4	Başak marka delikli pres tuğla XRD analizi	30
Şekil 3.5	Kral marka 8.5’luk blok tuğla XRD analizi	30
Şekil 3.6	Kral marka izotuğla XRD analizi	30
Şekil 3.7	Özat marka marsilya kiremidi XRD analizi	31
Şekil 3.8	Delikli tuğlalarda ultras es uygulama yönleri	34
Şekil 4.1	Selko marka ateş tuğlalarından elde edilen elastisite modülü ile tek eksenli basma dayanımı ve 3 nokta eğilme mukavemeti arasında geliştirilen korelasyon	48
Şekil 4.2	Işıklar marka taban tuğlalarından elde edilen elastisite modülü ile tek eksenli basma dayanımı ve 3 nokta eğilme mukavemeti arasında geliştirilen korelasyon	48
Şekil 4.3	Başak marka delikli pres tuğlalarından elde edilen elastisite modülü ile tek eksenli basma dayanımı ve 3 nokta eğilme mukavemeti arasında geliştirilen korelasyon	49
Şekil 4.4	Kral marka 8.5’luk blok ve izo tuğlalarından elde edilen elastisite modülü ve tek eksenli basma dayanımı arasında geliştirilen korelasyon	49

Şekil 4.5	Özat marka marsilya kiremitlerinden elde edilen elastisite modülü ve 3 nokta eğilme mukavemeti arasında geliştirilen korelasyon	49
Şekil 4.6	Numunelerin durabilite özelliklerindeki değişim	53
Şekil 4.7	1 nolu ateş tuğlası simülasyon görüntüsü	62
Şekil 4.8	1 nolu ateş tuğlası kırmızı bölge için histogram görüntüsü	63
Şekil 4.9	1 nolu ateş tuğlası yeşil bölge için histogram görüntüsü	63
Şekil 4.10	1 nolu ateş tuğlası mavi bölge için histogram görüntüsü	64

RESİMLER DİZİNİ

		Sayfa No
Resim 3.1	Deneylerde kullanılan tuğla ve kiremit çeşitleri	28
Resim 3.2	Panalytical X-Pert marka XRD cihazı	31
Resim 3.3	Venticell marka etüv	32
Resim 3.4	Sartorius ve Densi marka teraziler	32
Resim 3.5	Deneylerde kullanılan Alfa marka basma ve üç nokta eğilme deney cihazları	33
Resim 3.6	Deneylerde kullanılan dijital göstergeli kumpas	33
Resim 3.7	CONTROLS 58-E0048 marka ultrases cihazı	34
Resim 4.1	Su emme deney düzeneği	37

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa No
Çizelge 2.1 Farklı malzemelere ait ultrasonik hız değerleri	9
Çizelge 2.2 Bazı malzemelerin akustik empedansları ve yoğunlukları	10
Çizelge 2.3 Ortamla etkileşmesinden yararlanılarak malzemeye ilgili yapılan bazı analizler	18
Çizelge 2.4 Türkiye'nin tuğla ve kiremit ithalat ve ihracatı	26
Çizelge 3.1 Deneylerde kullanılan numuneler	27
Çizelge 3.2 Afyon-Çobanlar killi toprağın kimyasal analiz sonuçları	28
Çizelge 4.1 Deneylerde kullanılan numunelerin gerçek yoğunlukları	37
Çizelge 4.2 Numunelerin görünür porozite ortalama değerleri	38
Çizelge 4.3 Numunelerin bulk yoğunluk ortalama değerleri	39
Çizelge 4.4 Numunelerin görünür yoğunluk ortalama değerleri	39
Çizelge 4.5 Numunelerin kapalı porozite ortalama değerleri	40
Çizelge 4.6 Numunelerin toplam porozite ortalama değerleri	41
Çizelge 4.7 Numunelerin su absorplama kapasiteleri	42
Çizelge 4.8 Numunelerin su emme değerleri	42
Çizelge 4.9 Numunelerin gerçek basma dayanımı sonuçları	45
Çizelge 4.10 Numunelerin gerçek üç nokta eğilme dayanımı sonuçları	45
Çizelge 4.11 Numunelerin kuru ve yaş halde elastisite modülü değerleri	47
Çizelge 4.12 Numunelerin kuru ve yaş halde tek eksenli basma dayanımı değerleri	50
Çizelge 4.13 Numunelerin kuru ve yaş halde 3 nokta dayanımı değerleri	50
Çizelge 4.14 Numunelerin durabilite sınıflandırması	51
Çizelge 4.15 Numunelerin durabilite özellikleri	51
Çizelge 4.16 Numunelerin durabilite özelliklerindeki değişim	53
Çizelge 4.17 Ateş tuğlası örneklerinin testlerden elde edilen sonuçları	55
Çizelge 4.18 Taban tuğlası örneklerinin testlerden elde edilen sonuçları	56
Çizelge 4.19 Delikli taban tuğlası örneklerinin testlerden elde edilen sonuçları	57
Çizelge 4.20 8,5'luk blok tuğla örneklerinin testlerden elde edilen sonuçları	58
Çizelge 4.21 İzotuğla örneklerinin testlerden elde edilen sonuçları	59
Çizelge 4.22 Marsilya kiremidi örneklerinin testlerden elde edilen sonuçları	60

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı	Erdoğan ABİ
Doğum Yeri	Afyon
Doğum Tarihi	13.11.1975
Medeni Hali	Evlü
Yabancı Dili	İngilizce
	Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)
Lise	Afyon Lisesi, 1993.
Lisans	Selçuk Üniversitesi, Mühendislik - Mimarlık Fak. İnşaat Müh. Bl., 1999.
Yüksek Lisans	Afyon Kocatepe Üni. Sosyal Bilimler Ens. İşletme Yönetimi, 2003.
	Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl aralığı
Afyon Kocatepe Üni.	2002 – Halen Devam Ediyor.

Yayımları (SCI ve diğer)

- Abi E., Topçu İ.B., Işıkdag B., Tatar Ö., “Depremlerde Hasar Görmüş Betonarme Binaların Ferrocement Panellerle Güçlendirilmesi”, Deprem Sempozyumu, s.166-172, 23-25 Mart 2005, Kocaeli.
- Abi E., Öztürk B., Emrulloğlu Ö.F., “Hematit Katkısı İle Tuğla Özelliklerinin Geliştirilmesi”, 12. Uluslararası Metalürji ve Malzeme Kongresi, 2005, İstanbul.
- Abi E., Geleri M., Emrulloğlu Ö.F. “Volkanik tüf katkısının tuğla özelliklerine etkisinin incelenmesi” VI. Uluslararası Seramik Kongresi, s.103-108, 30 Ekim - 1 Kasım 2006, Sakarya Üniversitesi, Adapazarı.
- Abi E., Türkoğlu B.N., Emrulloğlu Ö.F. “Kuars katkısının tuğla özelliklerine etkisinin incelenmesi” VI. Uluslararası Seramik Kongresi, s.136-141, 30 Ekim - 1 Kasım 2006, Sakarya Üniversitesi, Adapazarı.
- Abi E., Kara E., Emrulloğlu Ö.F. “Hematit ve mermer tozu katkısının tuğla özelliklerine etkisinin incelenmesi” VI. Uluslararası Seramik Kongresi, s.124-129, 30 Ekim - 1 Kasım 2006, Sakarya Üniversitesi, Adapazarı.
- Abi E., Emrulloğlu Ö.F. “Mermer tozu ve öğütmenin tuğla özelliklerine etkisi” 3. Ulusal Yapı Malzemesi Kongresi, s.282-289, 15-17 Kasım 2006, İstanbul.
- Abi E., Emrulloğlu Ö.F. “Peridotit katkısı ile tuğla özelliklerinin geliştirilmesi” 3. Ulusal Yapı Malzemesi Kongresi, s.273-281, 15-17 Kasım 2006, İstanbul.

- Abi E. Türbedar T. Abi C.B., Gürel S.B., Emrulloğlu.Ö.F. “Hematit ve mermer tozu katkısının tuğla özelliklerine etkisi” 6.Endüstriyel Hammaddeler Semp.. 01-03 Şubat 2007, İzmir.
- Abi E. Ezerel A. Abi C.B., Gürel S.B., Emrulloğlu.Ö.F. “Kırmızı çamur katkısının tuğla özelliklerine etkisi” 6.Endüstriyel Hammaddeler Semp.. 01-03 Şubat 2007, İzmir.
- Abi E., Durukan F., Emrulloğlu.Ö.F. “Gözenekli Tuğla Üretimi ve Özelliklerinin İncelenmesi” 13.Ulusal Kil 2007 Semp., 12-14 Eylül 2007, Isparta.
- Abi E., Uyar K., Abi B., Gürel B., Emrulloğlu.Ö.F. “Siderit Katkısı İle Tuğla Özelliklerinin Geliştirilmesi” 13.Ulusal Kil 2007 Semp., 12-14 Eylül 2007, Isparta.

Diğer çalışmalar

Projeler

- Prof. Dr. Eyüp SABAH yürütücülüğündeki “Kil İçerikli Kömür Hazırlama Tesisi Atıklarından Temiz Kömür Üretimi ve Atık Kilin Tuğla Üretiminde Kullanılabilirliğinin Araştırılması” projesinde araştırmacı olarak yer almaktadır. Proje TÜBİTAK/İÇTAG-104I080 tarafından desteklenmektedir.
- Prof. Dr. Yaşar KİBİCİ yürütücülüğündeki “Sarıcakaya (Eskişehir) bölgesindeki mika minerallerinin jeolojisi ve inşaat sanayinde değerlendirilmesi” projesinde araştırmacı olarak yer almaktadır. Proje Afyon Kocatepe Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri tarafından desteklenmiş ve tamamlanmıştır.

Kitap ve Ders Notu

- Kibici Y., Abi E. “Doğaltaş Atlası – Atlas Of The Natural Stones”, Afyonkarahisar, 2006.
- Emrulloğlu Ö.F., Abi E. “Tuğla-Kiremit Üretim Teknolojisi”, Ders Notu, Afyonkarahisar, 2005.

1. GİRİŞ

Tahribatsız deney metotları, malzemelerin gerek yapım kusurlarını, gerekse geometrik ve kompozisyon özelliklerini, yapı elemanına zarar vermeden araştırma işlemi olarak tanımlanabilir.

Günümüzde endüstride kalite tanımı, güvenlikten ödün vermeden, en az maliyetle en çok işi elde etmeye dayanmaktadır. Tahribatsız muayene, kalitenin optimize edilmesinde en önemli araçlardan biridir. (Petro)kimya, gaz, enerji, gıda, inşaat vb. sanayi alanlarında, üretim sırasında tahribatsız muayenenin yer alması gereksiz enerji harcamasını önler ve güvenilir bir kalite sistemi sunar.

Ultrasonik test tekniği, mekanik parametrelerin ve mikro yapının değerlendirilmesinde kullanılan tahribatsız muayene (non-destructive) yöntemlerinden biridir. Ultrasonik ölçüm yöntemi yalnızca kalite kontrol testinde değil aynı zamanda kalınlık ölçülmesi, yüzey düzgünlüğü ve çatlak kontrolü yapmak amacıyla da kullanılmaktadır. Ultrasonik deneyler, yüksek frekanslardaki ses dalgalarının malzemenin içinden geçerken parçacıklar ile etkileşerek sönümlenmesi, saçılması ve yansması olaylarına dayanmaktadır.

Böylece bir madde içinde ilerleyen bir ultrases dalgasının dört özelliğinden geçiş süresi, soğurulma, saçılması ve frekans içeriği bileşenlerinden birindeki ve birden fazlasındaki değişiklik, maddelerin sertliği, elastik katsayısı, yoğunluğu, homojenliği veya tanecik yapısı gibi fiziksel özellikleri hakkında genel bir bilgi vermektedir.

Ultrasonik hız teknikleri; test edilen materyale zarar vermeksizin anizotropi faktörü, doğrusal olmayan parametrelerde, elastik modülü içeren materyalin elastik (Hearmon 1981) ve elastik olmayan (inelastic) parametrelerini anlamamızda büyük fayda sağlar (Petculescu 2004).

Materyalin mikroyapısal karakterizasyonu; birçok uygulamalarda (tıpta) kullanılan, izotrop olmayan materyalde tane boyut, çatlaklarda, eklenilen madde, geometri yapıda

ayrıca bileşiminde bulunan yapının azalma oranında, madde miktarını anlamada ve mekanik özelliklerin tahmin kalitesini sağlamada önemli bir rol oynar (Ihang ve Kim 1999).

Günümüzde ultrases geçim hızının ölçülmesi ile pek çok malzemenin gerek üretim sırasında gerekse nihai üründe kalite ve özellikleri belirlenmektedir.

Seramikler, inorganik maddelerdir ve bir metal veya iki metal ile bir ametal atomun belirli steokiometrik oranlarda yüksek sıcaklıkta birleşmesinden oluşur. Seramik kalitesini etkileyen birçok faktör vardır. Bunlar temel olarak; tane boyutu, pişirilme (sinterleme) sıcaklığı ve bileşimini oluşturan element türüdür (Akman 1990).

Seramikleri yapısal olarak kategorilere ayırırsak bunlar: kristal seramikler, amorf seramikler, cam bağlı seramikler ve çimentolar olmak üzere dört ana başlıkta adlandırılmaktadır (Baradan 2003). Seramik ürünlerde yapı pek çok homojensizlikler içermektedir. Bunlar farklı yoğunluklarda faz oluşumları olabileceği gibi mikro ve makro hatalar, örneğin gözenekler ve çatlaklar da olmaktadır. Bütün bu yapısal hatalar ürün özelliklerini olumsuz yönde etkilemekte ve kullanım ömrünü kısıtlamaktadır. Özellikle yüklenmelere maruz kalan yapı seramikleri için çatlak ve gözenek oluşumu nihai ürün için oldukça kritiktir.

Bu tezin amacı, pişmiş toprak ürünlerinin üretim sonrası lazerli ultrases yardımıyla çok kısa sürede kalitesinin tespit edilmesidir. Bu aşamayı geçebilen ürünler paketlemeye giderken, geçemeyen ürünler ise kırıcılar yardımıyla kırılarak tekrar üretime geri beslenmesi sağlanacaktır. Böylece sürekli kaliteli ürün elde edilirken hammadde israfı da minimuma indirilecektir.

Bu çalışma kapsamında;

Tezin ilk bölümünde ultrasesin tanımı, tarihçesi, temel özellikleri ve ultrasonik teknikler incelenmiştir. Ayrıca yapı seramiklerinin tanımı, türleri, tarihçesi ve sektörün durumu hakkında bilgi verilmiştir.

Tezin ikinci bölümünde deneylerde kullanılan materyaller hakkında bilgi verilmiş ve deneylerde kullanılan cihazlar tanıtılmıştır.

Tezin üçüncü bölümünde çeşitli tip tuğlaların ve kiremitin fiziksel, mineralojik ve mekanik özelliklerinin belirlenmesi, ultrases yöntemi ile bu numunelerin tahribatsız muayeneleri, her bir ürün için ayrı ayrı yapılmış, buradan geliştirilmiş formüller yardımıyla elastisite modülleri hesaplanarak teorik dayanımlara geçilmiştir. Gerçek dayanımlar ile teorik dayanım karşılaştırılmıştır. Buradaki amaç tahribatlı muayene yapmadan ultrases tekniği kullanılarak numunelerin tahribatsız dayanımlarını hesaplamaktır. Ayrıca numunelerin ultrases ölçümü ve elastisite modülleri hesaplamalarından hareketle kuru ve yaş dayanımları bulunmuş buradan da durabilite özellikleri belirlenmiştir. Durabilite özellikleri; mükemmel, iyi, orta ve zayıf olarak sınıflandırılmakta, zayıf sınıfına giren ürünler tesise hammadde olarak geri beslenmektedir. Elde edilen bulgular ışığında fabrika ölçüğünde pişmiş ürünler konveyör bant üzerinde ilerlerken lazerli ultrases yardımı ile ölçülebilmesi için gerekli olan bilgisayar yazılımı hazırlanarak ürün kalite haritaları çıkarılmıştır.

Elde edilen sonuçlara göre, Ultrases geçirim hızı ile yapılacak tahribatsız deney yönteminin sanayide yapı seramiklerinin kalite kontrolünde güvenle kullanılabilceği belirlenmiştir.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. Ultrases

2.1.1. Ultrasesin Tanımı

İnsan kulağının duyarlı olmadığı, frekansı 20 kHz ile 50 MHz arası frekanstaki seslere ultrases denir. Ses dalgaları, elastik olarak ortamda yayılırlar ve titreşim enerjisini iletirler. Ses dalgaları katı ortamlarda hem enine hem de boyuna yayılırken, sıvı ve gaz halindeki maddesel ortamlarda boyuna dalgalar olarak yayılırlar. Dalgalar, dalga kaynağını saran ortamın sıkıştırılarak titreştirilmesine dayanan, herhangi bir mekanizma ile oluştururlar. Enerji titreşimleri sıvı ve katı ortamlarda, uzun mesafeler boyunca sürebilmektedir (Tefek 2006).

Ses boşlukta yayılamaz. Çünkü boşlukta sıkışmaları iletecek bir madde bulunmamaktadır. Ultrasonik enerji gaz ortamlarda hızla zayıflar, havada yayınamaz, bu özellik ultrasonik kontrol için önemli bir avantajdır. Ses, sıvı ve katı ortamlarda, havadakinden daha hızlı ve daha az enerji kaybederek yayılır. Ses genellikle duyulabilen dalgalar olarak kabul edilmekle birlikte, kulağın duyarlı olduğu frekansların çok üzerinde veya çok altında frekanslara da sahip olabilir. Ses, katılar içerisinde,

$$v = \sqrt{\frac{E_{\text{mod}}}{\rho_{\text{teo}}}} \quad (2.1)$$

bağıntısına göre yayılır. Burada ρ_{teo} katı cismin teorik yoğunluğu, E_{mod} ise elastisite (young) modülüdür. Sıvılarda ise, elastisite modülü yerine bulk modülü (sıvının hacim esnekliği modülü) kullanılır. Buna göre sıvılar içerisinde sesin yayılma hızı,

$$v = \sqrt{\frac{E_{\text{mod}}}{\rho}} \quad (2.2)$$

bağıntısı ile hesaplanır. Gazlar içerisindeki sesin yayılma hızı,

$$v = \sqrt{\frac{k.P}{\rho}} \quad (2.3)$$

bağıntısı ile verilir. P gazın basıncı, ρ yoğunluğu, k ise Laplace katsayısıdır. k'nın değeri gaz moleküllerinin kaç atomdan yapılmış olduklarına bağlıdır. Bir gazın basıncı ve yoğunluğu birbiri ile doğru orantılı olarak değiştiği için, gazlarda ses hızı (çok yüksek basınçlar dışında) basınca bağlı değildir. Sesin hızı gazın sıcaklığı (t) ile değişir. Bir gaz içerisinde, 0°C 'deki v hızı,

$$v = v_0 \cdot \sqrt{1 + \alpha \cdot t} \quad (2.4)$$

bağıntısıyla hesaplanır. Burada α gazların sabit basınç altındaki genleşme katsayılarıdır (Tefek 2006).

Ses bir mekanik dalgadır. Ses verebilen herhangi bir sisteme ses kaynağı, ses kaynaklarının ses vermekteyken yaptıkları hareketlere ses titreşimleri, bu hareketlerde bir tam titreşim süresine ses titreşimin periyodu ve saniyedeki devir sayısına sesin frekansı (sıklığı) denir.

Ses dalgalarının hızı ortamın sıkışabilirliği ve yoğunluğuna bağlıdır. Az sıkışabilir madde sesi daha hızlı iletir. Buna göre ses en hızlı katılarda en yavaş gazlar içerisinde iletilir. Havadaki ses hızı, 20°C'de ortalama olarak 331m/s, sudaki ses hızı ~1500 m/s'dir.

Ses dalgaları bütün dalgalar gibi yansıtılabilir ve kırılabilir. Bir engel tarafından geri yollanmış olan dalgalar bir yankı yapabilir. Yankının geri yansıma süresi ölçülerek yansıtıcı engelin mesafesi bulunabilir.

Normal bir insan kulağı yaklaşık olarak frekansı 20 Hz ile 20 kHz arasındaki sesleri duyabilir. Frekansı 20 kHz'den büyük olan seslere ses ötesi (Ultras), 20 kHz'den

küçük olanlara da ses berisi (infrases) denir. Bu iki bölge bazı hayvanlar tarafından algılanabilir.

Frekansı 20 kHz'in üzerindeki sesler iki yoldan üretilebilir. Birinci yol bir kuvars kristalinden yüksek frekanslı alternatif akım geçirerek kristalin titreşmesini sağlamaktır (piezoelektrik yöntemi). İkinci yol, metal bir çubuğun çevresine sarılı bir bobinden geçirilen alternatif akımın yönünü tersine çevirerek ses üstü vurular üretmektir (manyetik büzülme yöntemi) (Kundu 2004).

Piezoelektrik olay basitçe, üzerine mekanik bir basınç uygulanan bazı kristal ve seramik malzemelerde bir elektriksel gerilimin oluşması anlamına gelir. Malzeme genişleyip daralarak titreşir ve ses oluşturur. Buna düz piezoelektrik etki de denilir.

$$P = d \cdot \sigma \quad (2.5)$$

P : Polarizasyon (C/m^2)

d : Piezoelektrik sabiti (C/N)

σ : Mekanik basınç (MPa = N/m^2)

Bu olayın tersi de mümkündür. Yani elektrik uygulanan kristalde de boyutsal değişim olur ki buna da ters piezoelektrik etki denilir. Ters piezoelektrik olayla ultrases elde edilir, sistem verici olarak kullanılır.

$$\chi = d \cdot E \quad (2.6)$$

χ : Şekil değişimi miktarı (m/m)

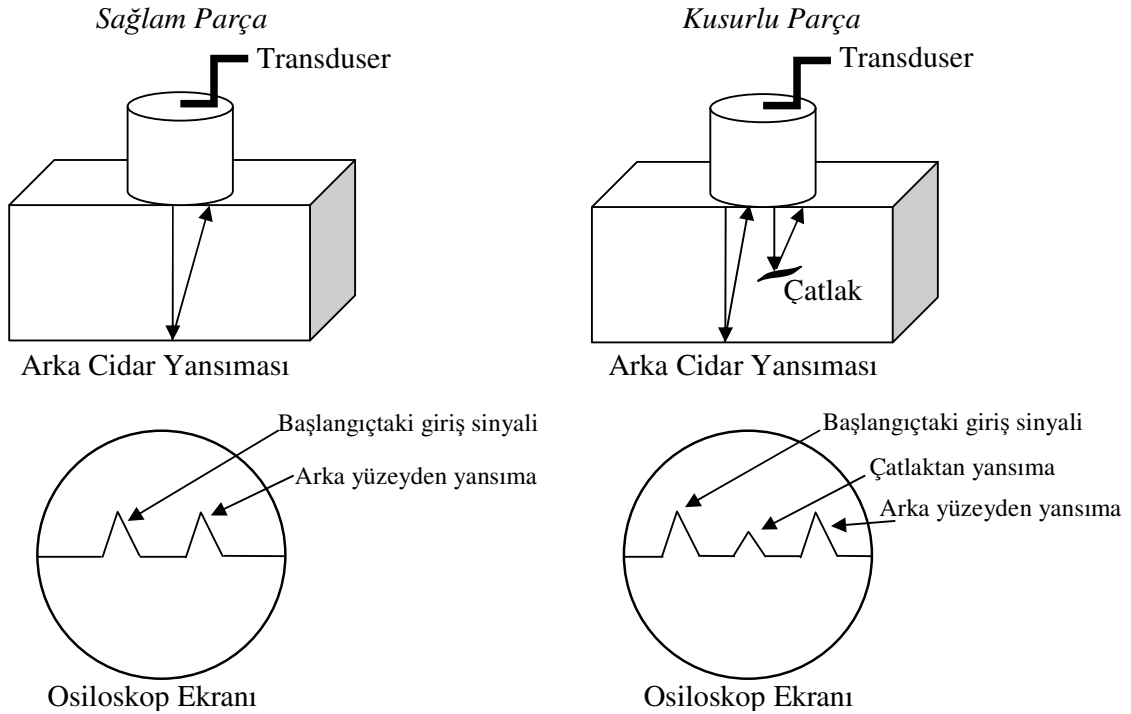
d : Piezoelektrik sabiti (C/N)

E : Uygulanan elektrik alanı (V/m)

Düz piezoelektrik olayla ultrases algılanır, sistem alıcı olarak kullanılır. Elektrik enerjisini mekanik enerjiye, mekanik enerjiyi elektrik enerjisine çeviren aletlere "transduser" denir (Kundu 2004).

Ultrasonik hız metodu, malzeme içerisinde geçen ultrasonik dalganın, geçme hızını ölçmekten ibarettir. Hızın hareket zamanı, elektronik olarak ölçülür. Algılayıcılar arasındaki uzaklık hareket zamanına bölüldüğünde dalga ilerlemesinin ortalama hızı elde edilir.

Ultras ses mekanik bir enerji çeşididir ve ultras sesin oluşturulmasında ve algılanmasında transduser yardımıyla yüksek frekanstaki ses dalgaları numuneye gönderilir. Dalga ortamda ilerlerken ortamda sıkışmalar ve gevşemeler meydana getirir. Bu sıkışma ve gevşemeler ortamda yayılma doğrultusunda ilerler. Dalgalar, çatlakların olduğu bölgede havayla temas geçtiğinden yansıyarak transduser'e geri döner. Yansıyan dalgalar algılanarak osiloskop ekranında görülecek şekilde elektrik pulslarına dönüştürülür. Bu nedenle başlangıçta elde edilen sinyalle arka yüzeyden yansıma sinyali parçanın kalınlığıyla orantılıdır. Hatalı kesimdeki yansıma önden gelen ve arka yüzeyden yansıyan dalga arasında uzanan bir hat ile belirlenir (Blitz 1996).



Şekil 2.1. Ultras ses incelemenin temeli.

Ortamda V_u hızıyla ilerleyen bir ultrases dalgasının λ dalga boyu ile frekansı (f) arasındaki bağıntı

$$V_u = \lambda \cdot f \quad (2.7)$$

ile verilir. Denklem ifadesinden görüldüğü gibi, ortamda yayılan bir dalganın hızının sabit olduğu düşünülürse dalgayı meydana getiren kaynağın frekansını değiştirerek ortamda yayılan dalganın dalga boyu değiştirilebilir. Yüksek frekansla dalga boyu küçülerek geçişi kolaylaşacaktır.

2.1.2. Ultrasesin Temel Özellikleri

2.1.2.1. Akustik Empedans

Her malzeme kendi karakteristiğine uygun olarak ultrasonik enerjinin yayınımına tepki olarak akustik empedans oluşturur. Ultrases dalgası, malzeme içerisinde ses basıncı şeklinde ilerler. Ortamın yoğunluğu ile sesin o ortamdaki yayılma hızının çarpımı akustik empedansı vermektedir.

$$Z = \rho \cdot V \quad (2.8)$$

Çizelge 2.1.'de farklı malzemelere ait ultrasonik hız değerleri verilmektedir.

Çizelge 2.1. Farklı malzemelere ait ultrasonik hız değerleri (Bray et.al. 1992)

Malzeme	Yoğunluk ρ , (gr/cm ³)	Boyuna Dalga Hızı v_{boy} , (m/s)	Enine Dalga Hızı v_{en} , (m/s)
Alumina	2.2	9000	5500
Alüminyum	2.7	6300	3130
Bakır	8.9	4700	2260
Berilyum	1.85	12400	8650
Çelik	7.7	5900	3230
Çinko	7.1	4170	2410
Inconel	8.25	5720	3020
Kadmiyum	8.6	2780	1500
Kurşun	11.4	2160	700
Magnezyum	1.74	5740	3080
Monel	8.83	6020	2720
Nikel	8.8	5630	2960
Polietilen	0.9	1950	540
Titanyum	4.54	6240	3125
Tungsten	19	5460	2620

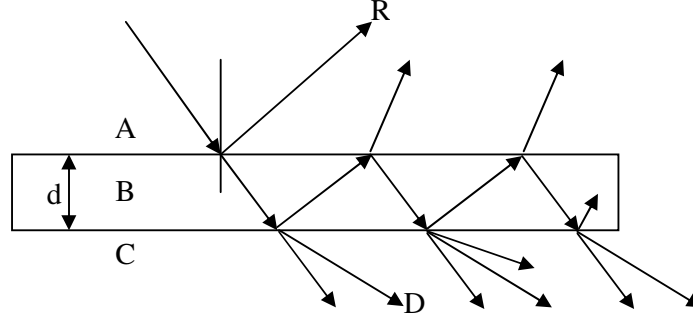
İki farklı ortamın ayırım çizgisine ulaşan bir ultrasonik ses demeti, bu sınırdan görünür ışık gibi farklı kollara kırılarak ayrılmaktadır. Bir miktar ses kırılarak ikinci ortama geçerken, gelen sesin bir kısmı da ara yüzeyden yansyarak birinci ortama geri dönmektedir. Yayılan ses oranları E_R ;

$$E_R = \frac{P_Y}{P_G} \quad \text{ve} \quad E_R = \left(\frac{Z_1 - Z_2}{Z_1 + Z_2} \right)^2 \times 100 \quad (2.9)$$

kırılan ses E_D ;

$$E_D = \frac{P_K}{P_G} \quad \text{ve} \quad E_D = \frac{4 \cdot Z_1 \cdot Z_2}{(Z_1 + Z_2)^2} \times 100 \quad (2.10)$$

Burada; “ P_G ” gelen ses, “ P_K ” kırılarak ikinci ortama geçen ses, “ P_Y ” ise yansyan ses miktarını ifade etmektedir. ρ (kg/m³), ortamın yoğunluğu; V (m/s), sesin ortamdaki yayılma hızıdır. Ayrıca, “ Z_1 ” birinci ortama ilişkin akustik empedans ve “ Z_2 ” ise ikinci ortamın akustik empedansdır. Şekil 2.2’de iki materyal arasındaki yüzeydeki ultrasonik dalga geçişleri gösterilmektedir.



Şekil 2.2. İki materyal arasındaki yüzeydeki ultrasonik dalga, A ve C kaplanan tabaka, D geçen ışını, R yansıyan ışını gösterir (Halmshaw 1991).

Çizelge 2.2.'de bazı malzemelerin akustik empedansları (Z) ve yoğunlukları (ρ) verilmiştir.

Çizelge 2.2. Bazı malzemelerin akustik empedansları ve yoğunlukları (Özden 1981).

Malzemeler	Z (10^6) $\text{kg/m}^2\text{s}$	ρ (10^3) kg/m^3
Dökme Demir	25-40	7,2
Demir (çelik)	46,5	7,85
Bakır	42	8,9
Pirinç	33	8,5
Alüminyum	17	2,7
Porselen	2,40	13-14
Lastik (vulkanize)	2,5-3,7	1,1-1,6
Lastik (yumuşak)	1,9-3,1	1,3-2,1
Su (20 C)	1,5	~1
Motor Yağı	1,1-1,7	0,88-1,02

2.1.2.2. Titreşim Özelliği

Ultras, titreşim hareketinden oluşan sestir. Titreşim hareketi olarak doğar, titreşim hareketi olarak yayılır ve titreşim hareketi olarak algılanır. Ses ötesi dalgalar, atomların veya moleküllerin denge konumları etrafında titreşimi olmasından dolayı mekanik bir enerjidir. Ultras enerjisinin şiddetiyle titreşen atom veya moleküllerin genliği arasındaki bağıntı aşağıda verilmiştir.

$$I = \frac{1}{2} W \cdot w \cdot G^2 \quad (2.11)$$

Burada; I (W/m^2) - Ultrases enerji şiddeti
 G (m) - Titreşim genliği
 W (kg/m^2s) - Ortamın akustik empedansı
 $w = 2\pi f$ (s^{-1}) – Açısız frekansı göstermektedir.

2.1.2.3. Ses Basıncı

Ses, bir titreşim hareketi olduğundan ortam içinde yayılırken geçtiği noktalarda bir basınç oluşur. Buna ses basıncı adı verilir.

$$P = W \cdot w \cdot A \quad (2.12)$$

P (N/m^2), ses basıncı yani alternatif değişen ses basıncının genliğini göstermektedir. Akustik ses şiddeti ile akustik basınç arasında aşağıdaki bağıntı vardır.

$$I = \frac{1}{2} \frac{P^2}{W} \quad (2.13)$$

2.1.3. Ultrasesin Tarihçesi

Pierre Curie ve kardeşi Paul Jacques Curie tarafından 1877 yılında piezoelektrik etkinin keşfi ve 1881’de G. Lipmann tarafından teorik olarak ters piezoelektrik olayının ispatlanması ile kuartz ve diğer materyallerde piezoelektrik olay üzerine yoğun çalışmalar başlatılmıştır. Bu çalışmalar ultrases araştırmalarının temelini oluşturmuştur.

1904 yılında fizik dalında ödül kazanan Lord Rayleigh ultrasonik biliminin kurucusu ve elastik dalga yayılmasının temeli olan akustik ve optik alanında birçok keşfi vardır. Lord Rayleigh’in yazmış olduğu “The Theory of Sound” akustik literatürün en büyük eserlerden biridir (Öktem 2005).

1914'te, Fransız fizikçi Paul Langevin, ultrases dalgalarını kullanarak denize yüksek frekanslı ultrases atmaları gönderen bir araç geliştirmiştir. Ultrases dalgalarının sapmadan doğrusal olarak ilerlediğini ve bir cisme çarptığında yankının geri döndüğünü görmüştür. Başlangıçta akustik alanın yoğunluğu çok zayıftı. Üç yıl sonra ultrasonik alanı arttırmak için piezoelektrik probların rezonans frekansında çalıştırılması gerektiğini buldu. 1918 yılında "Sonar" olarak bilinen bu aygıt denizaltındaki incelemeler için yeni bir buluş olmuştur. Daha sonra bu buluş geliştirilerek, savunma sanayinde ve balıkçılıkta kullanılmıştır (Deniz 2005).

1929 yılında Rus bilim adamı S.J. Skolov imalatı yapılan metallerin incelenmesinde ultrases dalgalarını kullanarak malzeme hatalarını ve çatlak kusurlarını tespit etmiştir. Ultrasonik dalgaların problar yardımıyla malzeme içerisinden geçirilmesinde teknik imkansızlıklardan dolayı Skolovun yüksek frekanslarda çalışmasını engelledi, fakat onun ortaya koyduğu ilkelere göre geliştirilen cihaza Skolov tüpü adı verilmiştir.

1931 yılında ise Mulhaser, iki prob kullanarak ultrases dalgaları ile katı malzemeler içindeki çatlak ve kusurları bulan sistemin patentini almıştır. Bu sistem sadece büyük yapı hatalarını tespit etmekte kullanılmış ve daha sonra Firestone (1940) ve Simons (1945) puls-eko tekniğini geliştirmişlerdir. Ultrasonik dalgaların tıp alanında kullanılması Japon araştırmacılar tarafından gerçekleştirilmiştir. İlk önce A-tarayıcı osiloskop ekranı daha sonra B-tarayıcı iki boyutlu gri skala cihazları geliştirmişlerdir (Deniz 2005).

Ultrases ile malzeme karakterizasyonunda dalga hızı ve azalma (attenuation) ölçümleri ile yapılan çalışma Mason ve McSkimmin tarafından 1947'de başlamıştır. Roderick ve Truell ise azalma (attenuation) metoduyla 1952 yılında ultrases ile tanecik boyutu belirlemiştir. Bu çalışmayı kullanarak, alıcı transduserden gelen bilgileri değerlendirerek tanecik boyutunu belirlemeyi Hilliard (1963) ve Aldrige (1969) geliştirmiş ve daha sonra teorik açıklamasını Papadakis (1965) yapmıştır. Geri yansıma tekniğini kullanarak tanecik boyutunun belirlenmesinin ilk deneysel çalışması Beecham (1966) tarafından yapılmıştır. Bununla ilgili teorik çalışma Fay ve arkadaşları (1976)

tarafından gerçekleştirilmiş, değişik yapılara uygulanması ise Goebbels ve Höller (1976) tarafından yapılmıştır (Sarpün 2004).

1970'lerde teknolojik ilerlemeler sayesinde çok küçük hataların tespit edilmesiyle kırılma mekaniği disiplini meydana çıkarak yük altında çatlağın davranışının tahmini mümkün olmuştur. Hata toleranslı imalat fikri geliştirilerek malzemenin çalışması sırasında mevcut çatlakların ne büyüklüğe ulaşabileceği bilinebildi. Fakat bu yeterli değildi. Çatlak büyüklüğünün çalışan malzeme ömrüne etkisinin de bilinmesi gerekiyordu. Bu durum özellikle nükleer teknolojide çok önemlidir. Ultrases dalgasının içinde bulunduğu son yirmi yılda, ultrases ve uygulamaları hızlı bir şekilde gelişme göstermiştir (Kundu 2004).

Türkiye'de ise tahribatsız testler 1960'lı yılların başlarında ve özellikle Türkiye'de iş yapan yabancı kuruluşların öncülüğünde uygulanmaya başlamıştır. Bu yıllarda özellikle büyük ve yabancı ülkelerle bağlantılı endüstri kuruluşları başta radyografi ve ultrasonik testleri kullanarak tahribatsız muayene uygulamalarını gerçekleştirmişlerdir. 1970'li yıllarda çok hızlı ve etkin bir şekilde gelişmeye başlamış ancak endüstri kuruluşlarının bu hıza ayak uydurmaları zor olmuştur. Zira daha çok içe dönük bir üretim sisteminin var olduğu ve yabancı kuruluşların kontrolünde endüstri ürünlerinin üretildiği yıllarda kontrol kavramının bile anlaşılması zor bir olaydı. Ürünlerin işveren tarafından kontrolü talep ediliyorsa ve herhangi bir standart belirtilmeden sağlam olup olmadığına göre kontrol yapılıyordu.

Türkiye dışı açılarak modern teknoloji kullanmaya başlamasından sonra konunun önemi anlaşılmış ve üretimler standartlara göre gerçekleştirilmeye başlanmıştır. Özellikle 1980'lerin sonlarından itibaren tahribatsız testlerin bütün metotları ayrıntılı bir şekilde ve standartlara göre gerçekleştirilmeye başlanmıştır. Fakat ilk başlarda kurulan hizmet şirketleri ve bazı kuruluşlar tahribatsız test uygulamalarını konunun eğitimi olmayan kişiler ile yürütmeye çalışmışlar ve bu durum bazı sorunları da beraberinde getirmiştir. 1980'li yıllarının sonlarına doğru Birleşmiş Milletlerden alınan proje desteği ile Atom Enerjisi Kurumu ve Türk Standartlar Enstitüsünün öncülüğünde standartlara uygun bir sertifikasyon sisteminin kurulması üzerinde çalışmalar başlamıştır. Ayrıca

yine aynı yıllarda Metalurji Mühendisleri Odası, ODTÜ ve Alman tahribatsız testler cemiyeti (DGZfP) ortak bir eğitim sertifikasyon programı başlatmışlardır. (Bilge 2003)

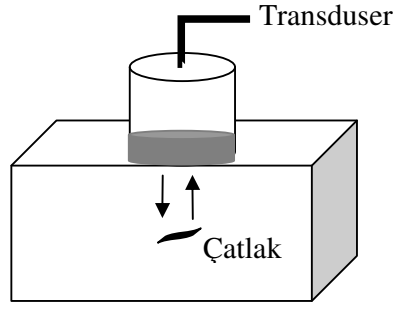
Gerek milli eğitim ve sertifikasyon sisteminin oluşması ve gerekse uygulamaların standartlara göre yapılması gittikçe artan bir hızda gelişmekte olup farklı kuruluşların merkezi bir organizasyon aracılığı ile tüm uygulama ve eğitimi koordine etme çalışmaları devam etmektedir.

2.1.4. Ultrasonik Test Metotları

Farklı akustik dirence sahip iki ortamın oluşturduğu ara kesite varan bir ultrasonik dalga kısmen ikinci ortama geçer. Ultrasonik muayene için üç farklı test yöntemi uygulanabilmektedir.

2.1.4.1. Darbe-Yankı (Puls-Eko) Metodu

Bu metotta hatanın belirlenmesi, ultrasonik dalganın yansıyan kısmının kullanılmasıyla gerçekleştirilir. Burada bir Transduser hem alıcı hem de verici olarak görev yapar (Şekil 2.3). Çok kısa elektrik pulslarının transdusere uygulanmasıyla üretilen ultrasonik dalga malzeme içine gönderilir. Dalga malzeme içinde ilerlerken aynı transduser alıcı olarak çalışmaya başlar. Arka cidardan yansıyan ultrasonik dalga transdusere ulaştığında mekanik titreşimler elektrik pulslarına dönüştürülür. Bu şekilde ultrasonik dalgaların azalan genlikte malzeme içinde yansımalarıyla ekranda bir dizi ardışık arka cidar yankıları elde edilir. Yankılar arasındaki geçen zaman aralığı Katot ışınları tüpü ekranında ölçülebildiğinden, yatay skaladan hatanın yeri, düşey skaladan da hata büyüklüğü ve derinliği hakkında bilgi elde edilebilir.

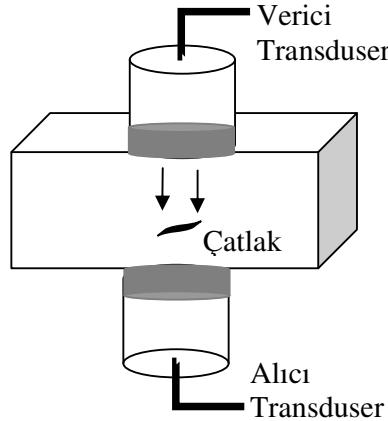


Şekil 2.3. Darbe-Yankı metodu

2.1.4.2. Direk İletim Metodu

Direk iletim yöntemi, test parçasının bir yüzüne verici transduser, diğer yüzüne ise alıcı transduser yerleştirilerek ultrasonik dalgalar malzeme içine gönderilir (Şekil 2.4). Böylece parçayı kat ederek geçen ultrasonik ses miktarı değerlendirilir. Bu yöntemde, yansıyan ultrasonik ses miktarı değerlendirilmez. Hatalar, parçayı kat eden ultrasonik ses miktarının azalması ile belirlenir. Malzemeyi geçen dalga hızının genliği ölçülür. Böylece malzemenin içyapısı hakkında bilgi edinilir. Bu yöntemle hatanın yüzey derinliği tayin edilemez.

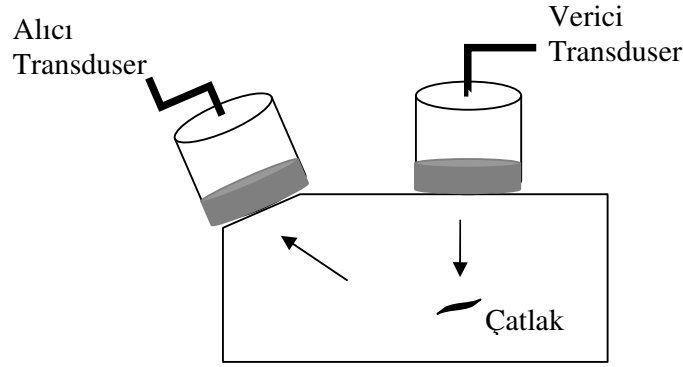
Dezavantajları ise, bazı test elemanlarının arka yüzeyine ulaşılmasının zor olduğu durumlar ve iki yüzeye birden kuplej uygulanma güçlüğünün olmasıdır. Bu çalışmada, direk iletim metodu kullanılmıştır.



Şekil 2.4. Direk iletim metodu

2.1.4.3. Delta Metodu

Ultrasonik ses miktarının hatalardan veya test parçasının arka yüzeyinden, açılı olarak sesin yansıması durumunda tercih edilen bir yöntemdir. İki prob kullanılmaktadır. Problardan biri, enerji gönderirken diğeri, hatalardan açılı olarak yansıyan enerjiyi algılamak üzere, farklı bir noktaya yerleştirilir (Şekil 2.5). Alıcı prob, gönderici probdan biraz daha büyük çaplıdır ve test parçası içinde hatadan dolayı saçılan enerjiyi toplamak amacıyla, odaklama özelliğine sahiptir. Açılı problemlerle test işlemi için uygun bir yöntemdir (Kayrak 2001).



Şekil 2.5. Delta metodu

2.1.5. Ultrasesin Kullanım Alanları

Gelişen teknoloji ile artış gösteren ürün çeşitliliği ve işlevselliği beraberinde kalite, teknik emniyet, dayanıklılık ve kullanım amacına uygunluk gibi ürüne dair koşulsuz güvence arayışını da beraberinde getirmektedir.

Ürünlerin belirlenen kriterlere uygunluğunun azami düzeyde optimum maliyetlerle sağlanmasında vazgeçilmez yeri olan tahribatsız muayene, geçmişte olduğu gibi artan ivme ile bugün de yaşamsal öneme sahiptir.

Bilimsel araştırmalarda, ultrases yardımıyla bir maddenin molekül yapısı ve birçok fiziksel özellikleri bulunabilir. Ses hızının molekül yapısına bağlı olarak değişiminden faydalanarak kompleks oluşumları, bir kimyasal reaksiyonun gidişi ve hızı da bulunabilir (Kundu 2004).

Endüstrideki kullanım alanları;

- Boyut ve yakınlık analizini,
- Çok tabakalı materyaldeki tabakalar halindeki dizimi, mekanik özellikleri ve elastik karakterizasyonunu içerir,
- Metallerde anizotropi ve homojenlik ölçümleri,
- Yüzey profili, kimyasal korozyon, kristallendirme ve polimerizasyon,
- Sıvı ve gaz akış hızı ölçümü,
- Yüzey görüntüsü ve materyalin içyapı özellikleri,
- Sıvı viskozitesi,
- Granül mikro yapısı ve dokusu,
- Uygulanan ve artan zorlanmaları,
- Yüksek sıcaklık değerleri,
- Basınç ve radyasyon çevre uygulamaları,
- Yapısal ve elektronik materyaller, uçak ve uzay, kimyasal ve petrol, plastikler ve kompozitlerin incelenmesinde kullanılmaktadır (Kundu 2004).

Çeşitli tipte malzemelerin ortamlarla etkileşmesinden yararlanılarak yapılan analizler Çizelge 2.3’de verilmiştir.

Çizelge 2.3. Ortamla etkileşmesinden yararlanılarak malzemeyle ilgili yapılan bazı analizler (Bhardwaj 2000).

Ölçüm Kategorisi	Ölçülen Parametreler	Uygulamalar
Zaman Bölgesi	Zamana göre ultrases dalgasının; - Şiddet değişiminin hız ölçümü (Boyuna, enine ve yüzey dalgaları)	Yoğunluk, Kalınlık, Kusurlu Bölge, Elastik ve Mekaniksel Özellikler, Yüzey Analizi, Anizotropi, Homojenlik, Boyut Analizi
Attenuation Bölgesi	Ultrases dalgasının verilen frekanstaki ve ışık boyutundaki geçen ve yansıyan kısımlarındaki dalgalanmaların incelenmesi	Numune Kusurları, Yüzey ve İç Mikroyapıları, İç Yüzey Analizleri
Frekans Bölgesi	Ultrases Attenuation-Frekansa bağlılığı veya Ultrasonik Spektroskopi	Mikroyapı, Tane Boyut, Tane Sınır İlişkileri, Gözeneklilik, Yüzey Karakterizasyonu, Faz Analizleri
Görüntü Bölgesi	Zamana göre şiddet, hız ve attenuation'daki değişimlerin görüntü haline getirilmesi	Yüzey ve Kusurların İç Görüntüleri, Mikroyapı, Yoğunluk, Hız, Mekanik Özellikler, 2-D~3-D Görüntüleme

Şiddetli ses ötesi dalgaların önemli fizyolojik etkileri vardır. 16~30 kHz'lik şiddetli ses dalgaları insanda olumsuz etkiler doğurur. 10 W/cm² şiddetindeki ses ötesi dalgaların beyaz fareleri, sivrisinekleri, bazı böcekleri, sıvılar içerisindeki bakterileri ve diğer canlıları kısa bir süre içerisinde öldürdüğü görülmüştür. Bu özelliğinden yararlanılarak ortamdaki mikropların arındırılmasında yararlanılmaktadır (Ertaş 1995).

Şiddetli ultrases dalgalarının etkisi altında kalan tohumların çimlenme hızının arttığı, yumurtadan eksik organlı civcivlerin çıktığı, hücre ve dokularda değişiklikler meydana geldiği görülmüştür (Ertaş 1995).

Ses ötesi dalgalar böbrek taşlarının ve tümörlerin temizlenmesinde, başta romatizma olmak üzere birçok hastalığın iyileştirilmesinde kullanılmaktadır. Ultrases dalgaları insan etinde ve yumuşak dokularda yol alabilir. Tıp alanında iç organların ve dokuların görüntüsünü elde etmekte kullanılmaktadır. Bu çalışmalar yüksek genlikli, doğrusal olmayan (nonlineer) yayılma karakteristikli uygulamalarıdır (Kak 1978). Sonuçlar dalga distorsiyonuna ve başlangıç frekansına göre harmoniklere bakılarak değerlendirilir. Düşük güçlerdeki ses üstü dalgaların vücut üzerinde etkisi olmaz, bu nedenle hamile kadınlarda çocuğun gelişimini inceleme ve tanıda rahatlıkla kullanılabilir. Tümörlerin ve kandaki pıhtılaşmaların varlığını saptamaya yarayan ve tarayıcı adıyla anılan aygıtlarda da ses üstü dalgalar kullanılır.

Yüksek şiddette ultrases dalgaları, metalleri çok ince toz haline getirmede, çok ince tanecikli fotoğraf emülsiyonları hazırlamada, maddeleri gaz ve sıvılarda süspansiyon haline getirmede, metal alaşımları yapmada, polimer zincirleri daha küçük polimerlere parçalamada, yapay sis meydana getirmede, fabrikaların kirli gaz ve suları içinde süspansiyon halinde bulunan kıymetli maddeleri çökeltmek kurtarmada, fabrika bacalarından çıkan gazları temizlemede, gaz karışımlarından gazları ayırmada, bazı sanayi kollarında (metal kaplama, tekstil) temizleme işlemini yapmada, içindeki katı parçacıkların kabın dibine çökmesini sağlayarak şarabı durulaştırmada, birayı yabani mayalardan arıtmada, şuruplarda enzimleri diğer ürünlere dönüştürmede, sütü mikropardan arındırmada, dökümcülükte erimiş metalleri gazdan arıtmada, kristal büyümesini kontrol etmede, sert maddeleri delmede, hızölçerler yapmada vb. birçok alanda geniş uygulama imkânı bulmuştur (Ertaş 1995).

Teknikte düşük şiddette ultrases dalgaları yardımıyla deniz dibi temas haritalarının çıkarılmasında, denizaltı gemilerinin çevrelerini kontrol etmesinde, modern balıkçılıkta faydalanılmaktadır. Katı, sıvı ve gazların esneklik sabitleri, öbür yüzeyine erişilemeyen bir levhanın veya duvarın kalınlığı basit bir şekilde ölçülebildiği gibi, herhangi bir

makine parçasının iç kısmında bulunan çatlaklar, hava kabarcıkları veya yabancı maddeler kolaylıkla tespit edilebilir.

2.2. Yapı Seramikleri

2.2.1. Yapı Seramiklerinin Tanımı ve Türleri

Yüzyıllar önce çömlekçilik olarak başlayan seramik uygulamaları, günümüzde her zaman her yerde karşılaştığımız, kullanma alanları giderek genişleyen, bu arada kullanma olanakları her gün artan bir malzeme durumundadır.

Seramik malzemelerin mimarlar ve inşaatçılar için anlamı ve önemi daha fazladır. Seramik, yapı malzemesi olarak yapılarda hemen her yerde kullanılmaktadır. Bilhassa taşıyıcı, örtücü, kaplayıcı (bitirici), ısı tutucu vb. birçok amaçla kullanılmaktadır. En çok kullanıldığı alanlar; pişmiş toprak ürünler (tuğla-kiremit), refrakterler (ateş tuğlaları), çimento, camlar ve yer karoları sayılabilir.

2.2.2. Yapı Seramiklerinin Tarihçesi

Kil, insanlar tarafından ilk defa el ile şekillendirildikten sonra kurutulup pişirilerek kap-kacak gibi gereksinmelerinin karşılanmasında kullanılmıştır. Piştikten sonra mukavemetinin arttığına anlaşılması ile de kullanım alanı bir hayli genişlemiştir. İnsanlar yapılarını hazır taşların yanı sıra tuğla da kullanarak yapmaya başlamışlardır. Tuğla ve kiremit kullanımı insanoğlunun oluşumu kadar eskiye dayanmaktadır (DPT 2000).

Tuğla dünya tarihinde imalatı yapılan ilk yapı malzemesidir. Kil ile suyun buluşması ve ateş ile beraberliği tuğlanın doğuşunu oluşturmuştur. Çok eski çağlarda her bina önce bir tuğla üretim tesisi olmuş, üretilen tuğlalar daha sonra bu binanın yapımında kullanılmıştır (DPT 2000).

Artık günümüzde, ilk yerleşim yerlerinin ve kültürlerinin tuğla yapımına da uygun olan alüvyonlu toprakların yer aldığı geniş nehir havzalarında kurulduğu bilinmektedir. Bu bölgelere en güzel örnek Mezopotamya'da yer alan Nil, Euprates/Tigris nehirlerinin aşağı bölgeleridir. Bu bölgelerde yapılan kazılarda en eski bulguların kalıplanmış kil tabletler ve duvar rölyeflerinden oluştuğu gözlenmiştir. Buda gösteriyor ki tuğla üretimi daha bu zamanlarda başlamış ve o zamanlar bile tapınaklar, en zengin yapılar bu tuğla tabletler ile inşa edilmiştir. Kullanılan bu pişmemiş kil tabletler zamanımızda kullanılan tuğlalara benzer boyutlarda ve elle düzeltilerek şekillendirilmiştir. Bu kil tabletlerde (tuğla) yapılan Carbon 14 deneyleri ise M.Ö. 13000 yılını göstermektedir (Tukder 2005).

Bir süre sonra insanlar daha sağlam binalar, daha yüksek kuleler inşa etmek istediler. İşte bu aşamada *pişmiş tuğla* M.Ö. 4. yüzyılda ortaya çıkmıştır. 1877–1917 yılları arasında Alman Arkeolog Robert KOLDWEY tarafından Babil şehrinde yapılan kazı ve araştırmalarda halen modern binalarda günümüzde de kullanılan tuğlalara benzer düzgün şekilli, keskin kenarlı, çok teknik, imal edilmiş tuğlalar bulunmuştur. Tarihçiler bu kulede 85 milyon adet tuğla kullanıldığını hesap etmişlerdir. Bugün bu rakamda tuğlayı ancak 5–6 gelişmiş teknolojiye sahip fabrikanın 1 yıllık çalışmaları ile üretebildiğini düşünürsek, burada yapılan üretimin gerçekten de teknolojik açıdan değer taşıdığını kabul etmek gerekir. Bu nedenle dünyanın 7 harikasından biri olan bu tarihi yapı, pişmiş tuğlanın sistemli ve düzenli ilk kullanıldığı bina olarak kabul edilir (Tukder 2005).

Yapılan arkeolojik kazılarda Nil deltasının çamurlarından çıkarılan en eski tuğla parçalarının M.Ö. 7000 yılına ait olduğu anlaşılmıştır. Pişmiş kilden mamul maddelerin etkin olarak kullanımı ise Mezopotamya'da M.Ö. 3500 yıllarında Asurlular dönemine rastlamaktadır. Ayrıca Kalde'lilere ait Ur Şehrinde ve Mezopotamya Kish şehri saraylarında tuğla kullanıldığı belirlenmiştir. Çin Seddi'nin yapımında kalın iki tuğla duvar arasına taş ve toprak doldurulmuştur.

Amasra Bedesten Harabeleri ise 1000 yıldır iyi fırınlanmış, nem almayan tuğlalarla zamana ve iklime meydan okumaktadır. İran, Roma ve Anadolu Selçuklu uygarlıklarında tuğla yapıların güzel ve ilginç örnekleri vardır.

Bu arada pişmiş tuğlanın kullanılmaya başlanması ile birlikte çatı malzemesi boşluğu yaşandı. Kiremiti ilk üreten kullananların Korintler olduğu kabul edilir. Korintler bugün de kullanılan içbükey kiremitleri, hazırlanan tuğla hamurunu tokmakla dövüp yaygın hale getirerek ve şimdikinden daha kalın ve büyük olarak M.Ö 4. yüzyılda üretmişlerdir. Kiremiti daha sonra Yunanlılar geliştirmiş, onlardan da Romalılar devralmıştır.

Anadolu'da ve Avrupa'da da bu tarihsel gelişime paralel olarak ilerleyen üretim şekilleri Romalıların ilk standartları getirmeleri ve bu işin ticaretini yapmaya başlamaları ile farklı bir boyut kazanmıştır. Daha ileri dönemlerde Anadolu'da Selçuklu ve Osmanlı mimarisinin vazgeçilmez bir parçası olan tuğla ve kiremit Osmanlıların standartları ile Anadolu'ya has bir mimari tarz oluşturmuştur. Kiremitlerin daha küçük, tuğla boyutlarının ise daha büyük tutulduğu Osmanlılar döneminde ilk standartlar uygulanmaya başlanmıştır. O dönemde standart dışı üretim veya bunların inşaatlarda kullanımı yasaklanmış, bu konuda önemli cezalar öngörülmüştür. Hatta inşaatlarda bina katları ve modelleri konusunda bile standart uygulamalar bu dönemde getirilmiştir. Anadolu'da sektörel gelişme dikkate alındığında ise ne yazık ki atölye ve açık ocak imalathaneleri dışında fabrika ve endüstriyel üretim yapan tesis Osmanlıların son dönemine kadar gerçekleşmemiştir.

Kiremit ve tuğlada ilk standartlar Romalılar tarafından geliştirilmiş ve uygulamaya sokulmuştur. Kalınlık nedeni ile oluşan kuruma ve pişirme problemlerini çözmeye çalışmışlar ve böylece ilk araştırma faaliyetleri de onlar sayesinde başlamıştır. Bu çalışmalar sonucunda mümkün olduğunca ince fakat eskisine göre çok daha sağlam malzemeler üretmişlerdir. İspanya, İngiltere, Fransa, Belçika ve Almanya'ya tuğla ve kiremiti tanıtan, kullanımının yaygınlaşmasını sağlayan yine Romalılardır. O zamanlarda bina yapımında çalışan Romalı Lejyonerler günlük kişi başına 120–140 büyük boy, 220–240 adet küçük boy tuğla üretiyorlardı. Bir süre sonra tuğla artık sadece inşaat için imal edilen yapı malzemesi olmaktan çıkmış ve satılmak için imal edilmeye hatta 100 km kadar uzak bölgelere dahi deniz ve nehir yoluyla gönderilmeye başlanmıştır. Bunu da yine Romalılar başarmıştır. Zira tuğla ve kiremiti bir sanayi dalı haline getiren onlardır (Tukder 2005).

Avrupa'da sektörel gelişme çok daha hızlı ilerlemiştir. İlk makinalaşma J. Watt 'ın buhar gücünü kullanması ile başlamıştır. O zamana kadar hayvan gücü ile yapılan toprak hazırlama işlemi makine gücüne dönüştürülerek ön hazırlamaya verimlilik getirilmiştir. 1700 'lü yıllarda sektörde ilk devrim sayılan bu makineleşmenin ardından 1800'lü yıllarda helezonlu şekillendirme preslerinin gelişimi ile delikli ve daha hafif tuğla üretimi gündeme gelmiş, bu da daha az hammadde ve daha az enerji ile daha fazla üretimin yapılmasını sağlamıştır. 1858 'de Hoffman isimli bir Alman ilk defa sürekli çalışabilen ve kendi ismiyle anılan tuğla fırınına yapmıştır. Hoffman ve Tünel tip fırınların devreye girmesi ile de büyük bir atılım yaşanmış, üretimler artmış, tuğla ve kiremit çok daha kolay üretilen ve ucuz bir yapı malzemesi haline gelmiş ve kullanımı giderek yaygınlaşmıştır. 1885 yılında Borie isimli bir Fransız, delikli tuğla kavramını getirmiş ve tuğla sanayinin 'de yeni bir çılgır açılmıştır (DPT 2000).

Bundan sonraki dönemde 18. yüzyıla kadar Tuğla Endüstrisi'nde önemli değişiklikler görülmemiştir. Fakat Rönesans sonrası sanayi devriminin başlaması ile bu endüstri dalı da gelişmeye başlamıştır. Türkiye'de ise Cumhuriyetin ilanından sonra yabancı girişimciler sayesinde Marmara ve Ege bölgelerinde tuğla ve kiremit üretim tesisleri yapılmaya başlanmış, ilerleyen dönemde yerli girişimciler sayesinde sektörde gelişim süreci yakalanmış ve önce ithal makinelerle yapılan tesisler yerini yerli makinelere bırakmıştır. Ancak bu oluşum çok geç gerçekleşmiş olup belki de sektörün Avrupa şartlarına göre daha az modernize olmasının bir nedenidir.

Teknolojinin en son gelişmeleri tuğla ve kiremitte bugün çok yoğun kullanılmaktadır. 20. y.y.'ın ikinci yarısından itibaren yarı-otomatik tesisler geliştirilmiş ve böylece kurutma ile pişirme sistemlerinin otomatize olacağı tünel sistemleri uygulamaya girmiştir. Günümüzde tamamen robotlar ve bilgisayarlarla yönetilen tam otomatik ve tünel fırınlı sistemler, yarı-otomatik olarak makineleşmiş tesisler ile yalnızca hazırlama ve şekillendirmeyi makine ile yaparak daha sonraki işlemleri büyük çapta insan gücüne dayandıran ilkel tesisler mevcuttur.

2.2.3. Yapı Seramikleri Sektörü

Tuğla üretiminde başlangıçta yüksek emniyet, yüksek dayanım, dış etkilere karşı dayanıklılığa büyük önem verilmiş fakat zamanla bu görüş kısmen değişikliğe uğramıştır. Tuğlada yüksek dayanım ve dış şartlara dayanıklılığın yanında ucuzluk, insan sağlığı, konfor da dikkate alınmaya başlanmış daha sonraları ise ısı ve ses yalıtımı özellikleri de aranmaya başlamıştır. Bu özelliklere sahip çok çeşitli yapı tuğlaları üretilmiştir.

Pişmiş kil ve çimento ürünleri sanayinin bir alt kolu olan tuğla ve kiremit sektöründe; hammaddesi kil olan ve yaygın olarak inşaat sektöründe kullanılan malzemeler üretilmektedir. Üretim alanına, çeşitli yapı tuğlaları ve kiremitler girmektedir.

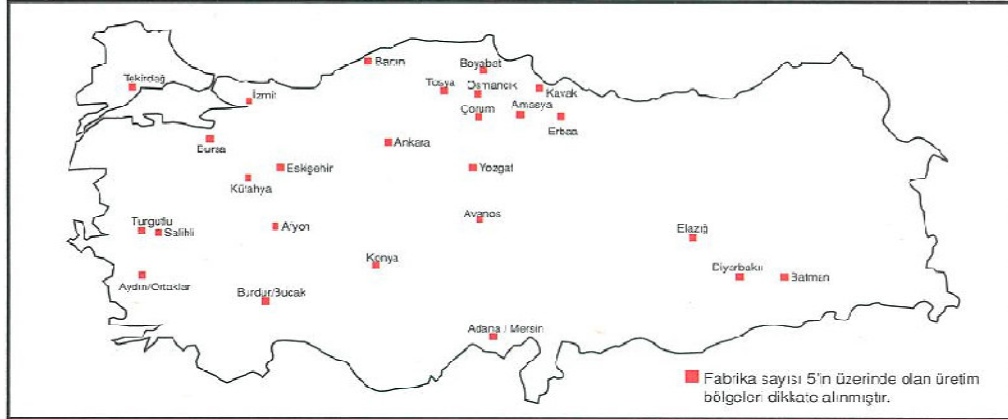
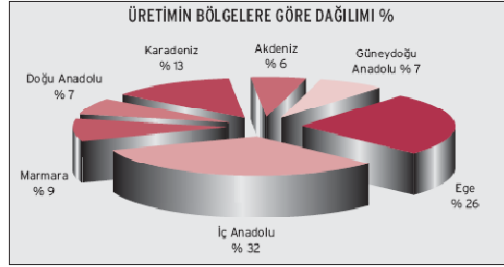
Ülkemizde harman tuğlası üretimi yanında daha sonra fabrika tuğlası üretimine geçilmiştir. Nitekim 1927 yılından sonra kiremit ve 1949 yılından sonra tuğla, fabrikalarda üretilmeye başlanmıştır (DPT 2000).

Türkiye’de tuğla ve kiremit sanayii; üretim yapısı itibariyle ülkenin dört bir yanına dağılmış, çok sayıda üretim birimi olan bir sanayi dalıdır. Üretim hammaddelerinin kolaylıkla temin edildiği bölgelerde küçük yoğunlaşmalar gösteren sektörde 498 adet tuğla ve kiremit fabrikası vardır (TUKDER 2005). Fabrika sayısının bu kadar fazla olması ulaşılan verilerin sağlıklı olmasını engellemektedir.

Türkiye’deki toprak sanayicilerini ortak çıkarlar çerçevesinde bir araya getirmeyi hedefleyerek kurulan Tuğla ve Kiremit Üreticileri Derneği (TUKDER), üyeleri vasıtasıyla bir inceleme yapılmış ve sektörün profili çıkarılmıştır. Elde edilen verilere bakıldığında; gerek bir önceki özel ihtisas komisyonu raporundaki verilere göre, gerekse devletin ilgili kurumlarındaki verilere göre, TUKDER tarafından çıkarılan profilin gerçeğe daha yakın ve daha sağlıklı olduğu düşünülmektedir.

Türkiye’deki tuğla ve kiremit fabrikalarının bölgesel olarak dağılımı gösteren Şekil 2.6 ‘de verilmiştir. Şekil 2.6 ‘den de anlaşılacağı gibi Türkiye geneline dağılımının yanında bölgeler içinde yoğunlaşmalar mevcuttur. Bu yoğunlaşmalar o kentleri “Tuğla

ve Kiremit Üretim Bölgeleri” haline getirmiştir. Tekirdağ, Turgutlu, Salihli, Burdur, Afyon, Çorum, Boyabat, Erbaa, Yozgat, Osmancık, Avanos gibi il ve ilçelerimiz Türkiye’deki önemli ana üretim bölgeleridir. Bu üretim bölgelerinde başka sanayi dallarının ağırlığı yoksa yan sanayilerin oluşumu, nakliye rejimi, ticari hayat tuğla ve kiremit dünyasına bağımlı kalmaktadır. Dolayısıyla bu kentlerin gelişimi, tuğla-kiremit sektörüne bağımlı kalmaktadır.

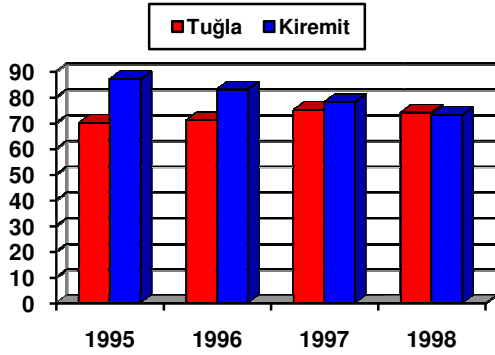


Şekil 2.6. Türkiye’de tuğla ve kiremit üretiminin yoğun olduğu bölgeler (TUKDER 2005).

Türkiye’de Tuğla ve kiremit ana ürünleri bazında çalışan 498 adet tuğla ve kiremit tesisi vardır. Bu tesislerden 70 tanesi kiremit (10 tanesi hem tuğla hem kiremit) geri kalan 418 adet tesiste muhtelif standartta tuğla üretilmektedir.

1980’li yılların ikinci yarısında Türkiye’de başlayan konut seferberliği ile birlikte tuğla-kiremit sanayine verilen teşviklerle sektördeki mevcut kapasite 1987 yılından sonra %50 oranında artmıştır. Sonraki yıllarda daha yavaş bir seyir takip eden kapasite artışı konut sektöründeki hareketliliğe bağlı olarak maksimum seviyeye ulaşmıştır (Şekil 2.7).

Tuğla ve kiremit sektörü üretimini günün koşullarına göre ayarlayabilmektedir. Talebin artmasına paralel olarak bu sektörde fırın, toprak hazırlama, kalıplama ve kurutma için gerekli yatırımlar 8–9 ayda tamamlanabilmektedir. Ekonomik kriz dönemlerinde ise üretimi azaltabilmekte hatta geçici olarak durdurabilmektedir. Çizelge 2.4’deki verilerden ekonomik kriz dönemlerinde fabrikaların üretimlerini durdurdukları veya kapasitelerini düşürdükleri görülmektedir.



Tuğla Üretim Kapasitesi : 7.353.100.000 adet / yıl
 Kiremit Üretim Kapasitesi : 717.500.000 adet / yıl
 Tuğla adet : 3 kg
 Kiremit adet : 2.5 kg
 Tuğla Üretim Kapasitesi : 22.059.300.000 kg/yıl
 Kiremit Üretim Kapasitesi : 1.793.750.000 kg/yıl

Şekil 2.7. Kapasite kullanım oranı (%) (1995-1998 arası)

Yapı seramiklerinde dış ticaretin durumuna bakacak olursak;

Çizelge 2.4. Türkiye'nin tuğla ve kiremit ithalat ve ihracatı (1995-1999 arası)

İthalat / İhracat	1995	1996	1997	1998	1999
Tuğla (ton)	14 / 4220	3 / 7031	67 / 522	219 / 489	265 / 409
Kiremit (ton)	100 / 6901	28 / 230	2 / 782	5 / 1483	6 / 1128
Tuğla(USD)	69.288 / 254.900	108.026 / 685.251	36.076 / 486.500	125.643 / 460.248	213.237 / 294.847
Kiremit(USD)	704.722 / 590.572	35.671 / 642.948	32.790 / 521.466	25.949 / 624.214	7.807 / 721.773

3. MATERYAL VE METOT

Bu çalışma kapsamında yapılan deneylerde kullanılmak üzere aynı zamanda hazırlanmış tuğlalardan ve farklı gruplardan toplam 140 adet numune alınmış, bu numunelerin fiziksel ve mekanik özellikleri belirlenmiş ve ultrases hızlarıyla arasındaki bağıntı ortaya konulmuştur.

3.1. Materyal

3.1.1. Deneylerde Kullanılan Numuneler

Deneylerde kullanılan tuğla ve kiremidin kodları, tipleri, alındığı yerler ve adetleri Çizelge 3.1 'de resimleri de Resim 3.1 'de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Deneylerde kullanılan numuneler

Numune Kodu	Tipi	Nerden Alındı	Adet
AT	Ateş Tuğlası	Selko E-20	25
TT	Taban Tuğlası	Işıklar A.Ş.	25
DPT	Delikli Pres Tuğla	Başak A.Ş.	25
BT	8.5'luk Blok Tuğla	Kral A.Ş.	25
İZT	İzo Tuğla	Kral A.Ş.	20
MK	Marsilya Kiremit	Özat A.Ş.	20
Toplam			140

Kral Tuğla Fabrikası'nda tuğla hammaddesi olarak Afyon Çobanlar yöresi killi toprağı kullanılmıştır. Afyon Çobanlar yöresi killi toprağın kimyasal bileşimi Çizelge 3.2 'de ve XRD analizi sonuçları Şekil 3.1'de verilmiştir. Deneylerde kullanılan diğer numunelerin XRD faz analizleri de Şekil 3.2-3.7 'de sunulmuştur.



Selko Ateş Tuğlası



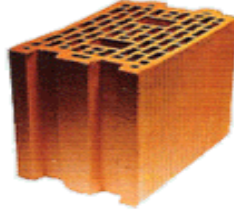
Işıklar Taban Tuğla



Başak Delikli Pres Tuğla



Kral 8.5'luk Blok Tuğla



Kral İzo Tuğla

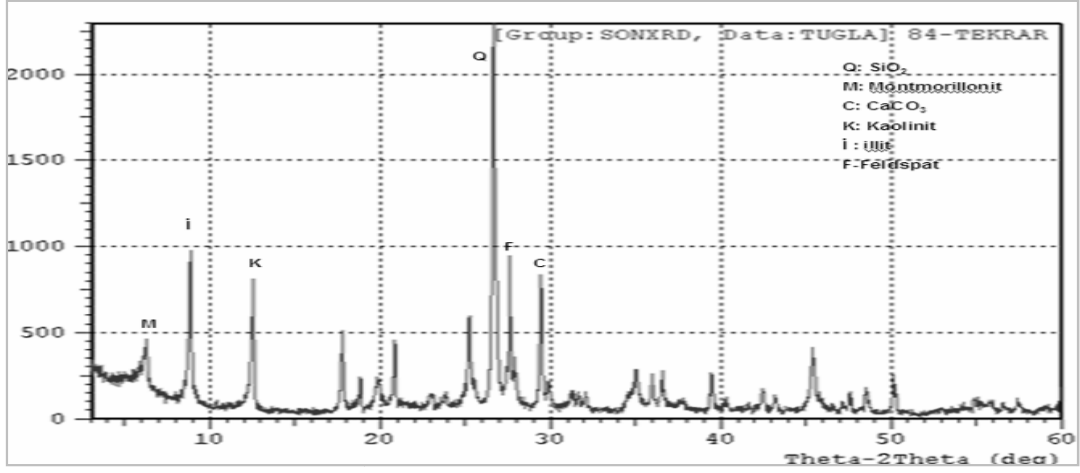


Özat Marsilya Kiremidi

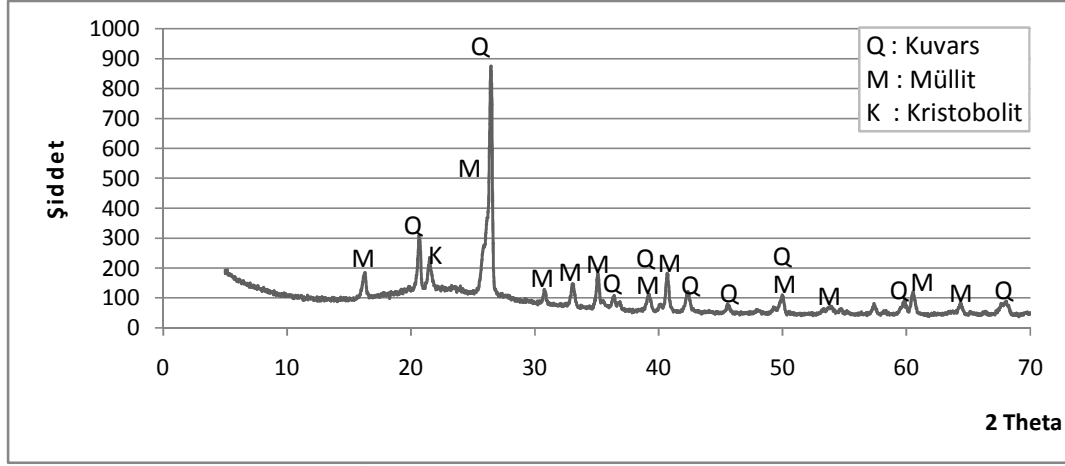
Resim 3.1. Deneylerde kullanılan tuğla ve kiremit çeşitleri

Çizelge 3.2. Afyon-Çobanlar killi toprağın kimyasal analiz sonuçları

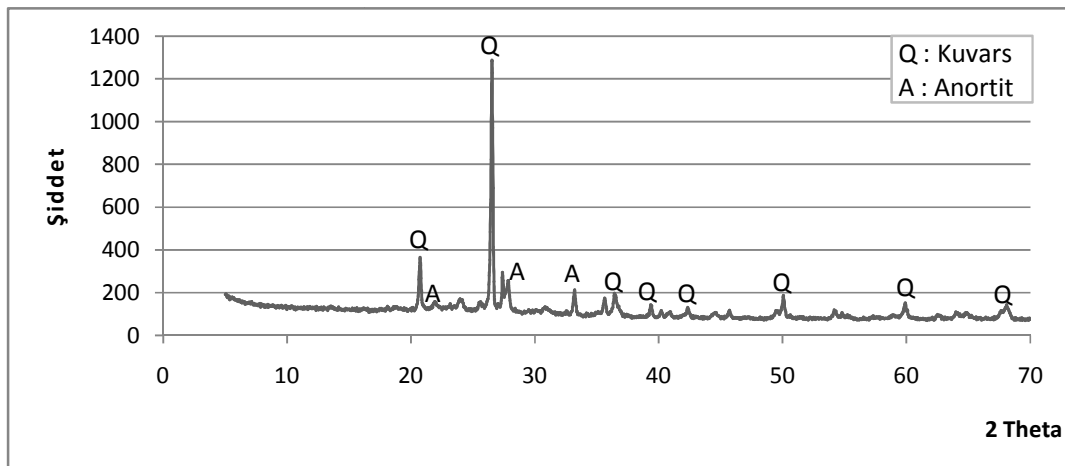
Bileşim	%-M
Na ₂ O	0,76
MgO	3,55
Al ₂ O ₃	25,32
SiO ₂	60,24
P ₂ O ₅	0,25
SO ₃	0,21
K ₂ O	--
CaO	1,20
TiO ₂	0,78
MnO	0,37
Fe ₂ O ₃	5,36
Kızdırma Kaybı	29,99



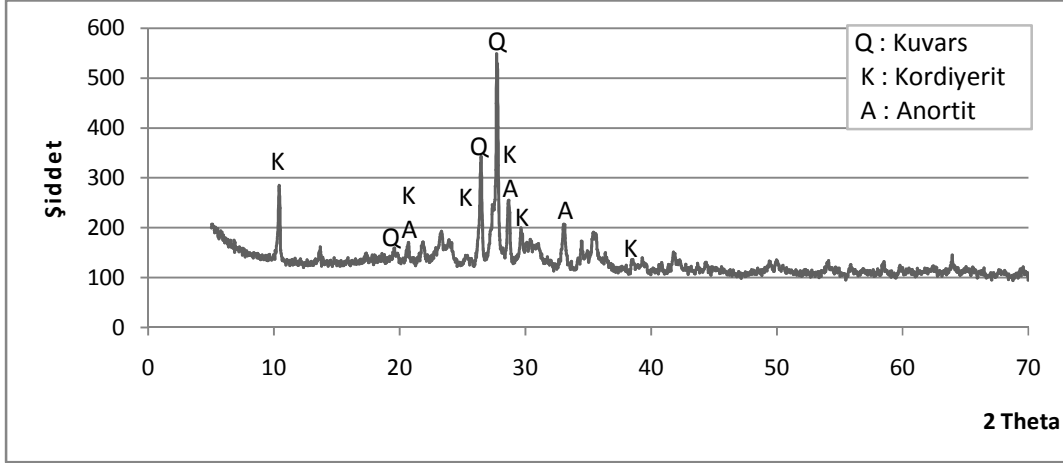
Şekil 3.1. Afyon-Çobanlar tuğla toprağının XRD analizi



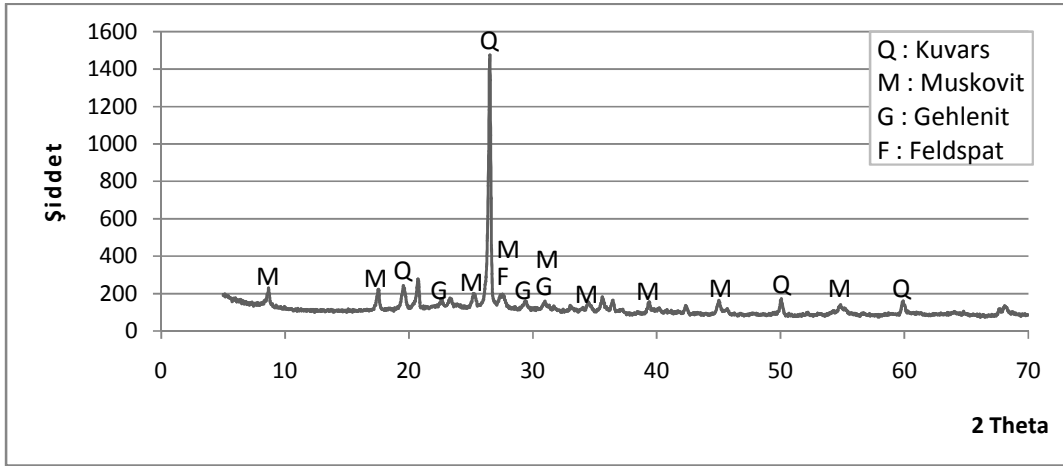
Şekil 3.2. Selko marka ateş tuğlası XRD analizi



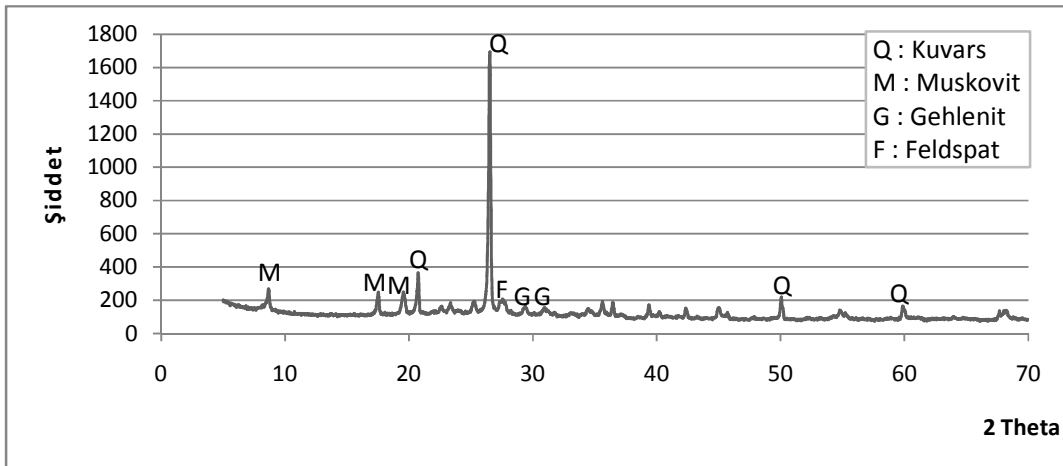
Şekil 3.3. Işıklar marka taban pres tuğla XRD analizi



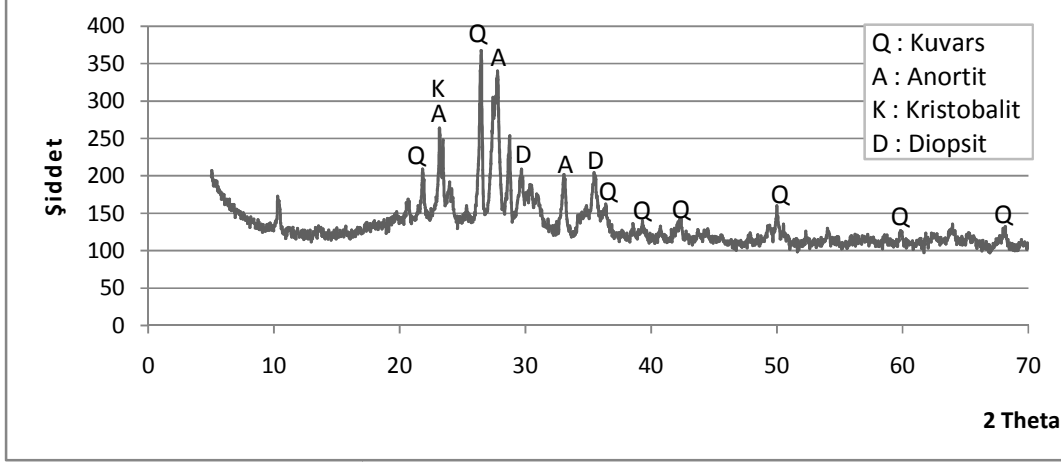
Şekil 3.4. Başak marka delikli pres tuğla XRD analizi



Şekil 3.5. Kral marka 8.5'luk blok tuğla XRD analizi



Şekil 3.6. Kral marka izotuğla XRD analizi



Şekil 3.7. Özat marka marsilya kiremidi XRD analizi

3.1.2. DeneYlerde Kullanılan Araç ve Cihazlar

Çalışma kapsamında yapılan deneylerde kullanılan araç ve cihazlar aşağıda belirtilmiştir.

- Minerolojik analizlerde: İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsünde malzeme araştırma merkezinde bulunan “Panalytical X-Pert” marka XRD cihazı kullanılmıştır.



Resim 3.2. Panalytical X-Pert marka XRD cihazı

- Kurutma işlemlerinde, deney numunelerinin kurutulması işlemlerinde Afyon Kocatepe Üniversitesi Seramik Mühendisliği bölümünde bulunan Venticell marka etüv kullanılmıştır.



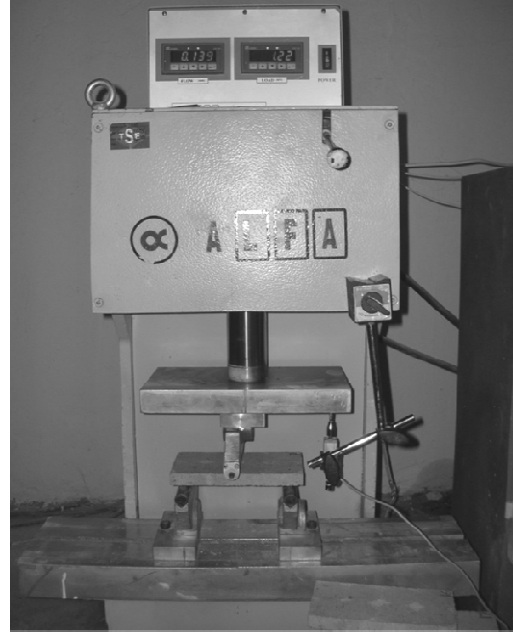
Resim 3.3. Venticell marka etüv

- c) Tartım işlemlerinde: Kaba tartım işlemlerinde Densi marka max 3000 gr kapasiteli 0,1 gr hassasiyetli ve Densi marka max 20 kg kapasiteli 2 gr hassasiyetli dijital göstergeli teraziler kullanılmıştır. Gerçek yoğunluğun bulunmasında hassas tartım işlemlerinde Sartorius marka max 620 gr ve 0,001 gr hassasiyetli dijital göstergeli hassas terazi kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan cihazlar Resim 3.4 'de görülmektedir.



Resim 3.4. Sartorius ve Densi marka teraziler

- d) Basma ve eğilme mukavemeti deneyinde: AKÜ – Afyon meslek yüksek okulu yapı bölümü laboratuvarında, Alfa marka, 20 ton kapasiteli, bilgisayar kontrollü basınç presi kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan cihazlar Resim 3.5 'de görülmektedir.



Resim 3.5. Deneylerde kullanılan Alfa marka basma ve üç nokta eğilme deney cihazları

- e) Boyut ölçüm işlemlerinde dijital göstergeli 0,01 mm hassasiyetli kumpas kullanılmıştır (Resim 3.6).



Resim 3.6. Deneylerde kullanılan dijital göstergeli kumpas

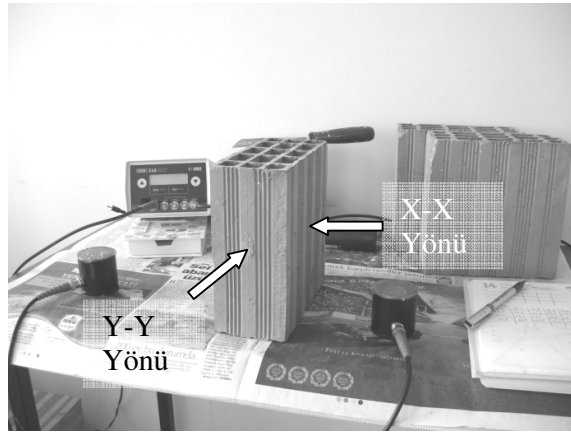
- f) Ultrases ölçümünde, 150 kHz'lik verici ve alıcı probaları ile birlikte pulse üreten bir test ekipmanı CONTROLS 58-E0048 marka ultrases cihazı kullanılmıştır (Resim 3.7). Ultrases cihazında kullanılan probalar her ölçümden önce kalibrasyon çubuğu yardımıyla kalibre edilmiştir.



Resim 3.7. CONTROLS 58-E0048 marka ultrases cihazı

3.2. Metot

Ultrasonik hız ölçümünde kalınlığı daha önceden kumpas yardımıyla ölçülen numunenin bir yüzüne verici prob diğer yüzeyine de alıcı prob yerleştirilerek ölçüm gerçekleştirilir. Ölçümler esnasında propların yüzeye tümüyle temas etmesi sağlanmıştır. X-X ve Y-Y yönlerinde ölçüm yapıp, delikli olan yüzeylerden karşılıklı ölçüm yapılmamıştır (Şekil 3.8). Probu numune yüzeyiyle birleştiği yere kuplaj oluşturmak amacıyla gres yağı uygulanır. Ölçümlerin sağlıklı olması amacıyla ultrasonik dalga hızı bilinen kalibrasyon bloğu yardımıyla kalibre edilmiştir.



Şekil 3.8. Delikli tuğlalarda ultrases uygulama yönleri

Malzeme içinde ilerleyen ses dalgaları ara yüzey oluşturan herhangi bir süreksizlikle (arka duvar, malzeme değişiklikleri, hatalar vb.) karşılaştıklarında malzemenin ve süreksizliğin karakteristik empedanslarına bağlı olarak bir bölümü yansır bir bölümü de diğer ortam içinde kırılarak ilerlemesine devam eder. Ultrasonik muayene tekniği çok çeşitli boyut ve geometrideki parçaların muayene edilebilmesine izin veren bir yöntemdir. Bu yöntem kullanılarak malzeme yüzeyine yakın, malzeme içindeki gizli ve malzeme yüzeyindeki süreksizliklerin tespiti mümkündür.

4. DENEYSEL BULGULAR

Bu çalışmada, fiziksel ve mekanik açıdan tüm numunelerin karakteristik özellikleri ortaya konulmuştur. Numune içerisinde geçen ultrases dalgasının hızı ile numune dayanımı arasında doğrudan bir ilişki yoktur. Ancak, sesüstü dalganın hızı ile malzemenin yoğunluğu arasında belirli bir ilişki bulunmaktadır. Yoğunluğu az olan bir numunede, yani içerisinde daha çok boşluk bulunan bir malzemede, sesüstü dalganın malzemenin bir yüzeyinden diğerine ulaşabilme süresi daha uzundur. Bir başka deyişle, malzemenin içerisindeki boşluk miktarı arttıkça, sesüstü dalganın hızı daha az olmaktadır (Erdoğan 2003).

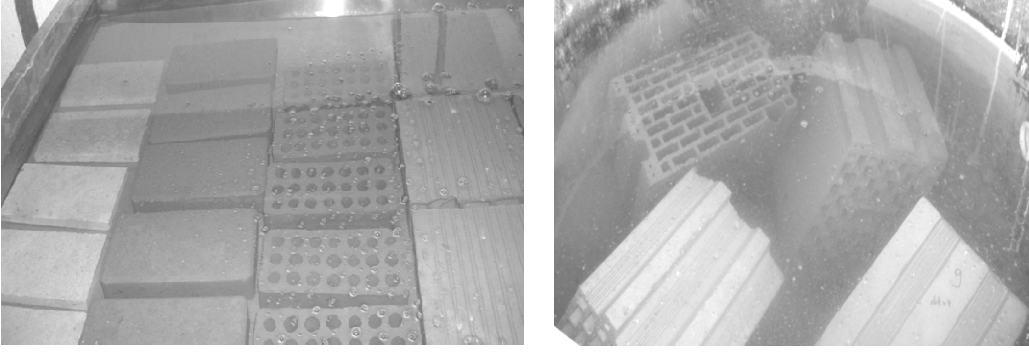
4.1. Fiziksel Bulgular

Fiziksel özellikleri saptanacak numuneler önce 105 °C 'deki etüvde değişmez ağırlığa gelene kadar bekletilmiş, desikatörde soğutulmuş ve kuru ağırlıkları saptanmıştır (m_{kuru}).

Daha sonra numuneler su tankına batırılarak 24 saat süre ile bekletilmiş (Resim 4.1) ve Arşimet Prensibine göre su içindeki tartımları alınmıştır (m_{arch}).

Sudan çıkarılan numunelerin yüzeyleri hafifçe silinerek, bünyesi su doluyken havadaki ağırlıkları ölçülmüştür ($m_{yaş}$).

Bulunan değerler formüllerde yerlerine konularak görünür porozite, bulk yoğunluğu, görünür yoğunluk, kapalı porozite, toplam porozite, su absorplama kapasitesi ve su emme değerleri hesaplanmıştır. Herbir numune için bulunan değerlerin aritmetik ortalamaları alınarak geneli hakkında yoruma ulaşılmaya çalışılmıştır.



Resim 4.1. Su emme deney düzeneği

Arşimet terazisinde bütün halinde ağırlık ölçümleri mümkün olmayan izotuğla ve Marsilya kiremitlerinden bir parça basınç ve eğilme mukavemeti deneylerinden sonrası birer parça koparılarak fiziksel deneyler gerçekleştirilmiştir.

4.1.1. Gerçek Yoğunluk

Bazı formüllerin cevaplarının bulunabilmesi için yoğunluk (ρ) değerinin tespit edilmesi gerekmiştir. Bunun için her bir gruptan alınan 2 gr numune toz haline getirilerek piknometre yardımıyla yoğunlukları ölçülmüş ve sonuçlar Çizelge 4.1 'de sunulmuştur.

Çizelge 4.1. Deneylerde kullanılan numunelerin gerçek yoğunlukları (gr/cm^3)

Numune Kodu	Yoğunluk $\rho, (\text{gr}/\text{cm}^3)$
AT	2,5075
TT	2,5441
DPT	2,5167
BT	2,7213
İZT	2,8282
MK	2,4155

4.1.2. Görünür Porozite

RILEM'e göre (1980), görünür porozite (P_p) görünür porların oluşturduğu hacmin bulk hacmine oranı olarak tanımlanır. Buna göre;

$$P_p (\% \text{ hacimce}) = [(m_{\text{yaş}} - m_{\text{kuru}}) / (m_{\text{yaş}} - m_{\text{arch}})] \times 100 \quad (4.1)$$

$m_{\text{yaş}}$: Yaş Ağırlık (gr)

m_{kuru} : Kuru Ağırlık (gr)

m_{arch} : Su İçindeki Ağırlık (gr)

Formül yardımıyla elde edilen ortalama değerler Çizelge 4.2 'de verilmiştir.

Çizelge 4.2. Numunelerin görünür porozite ortalama değerleri (% hacimce)

Numune Kodu	Görünür Porozite Ortalaması, χ	Standart Sapma S_x	Varyasyon Katsayısı C_{vx}
AT	15,43	± 1,48	% 9,59
TT	21,02	± 2,84	%13,51
DPT	24,92	± 1,23	% 4,94
BT	31,47	± 1,29	% 4,10
İZT	32,88	± 1,60	% 4,87
MK	25,95	± 1,27	% 4,89

4.1.3. Bulk Yoğunluğu

Numunelerin bulk yoğunluğu (ρ_{bulk}) değerlerinin bulunması için ağırlığın bulk hacmine oranı alınmaktadır (RILEM, 1980). Buna göre;

$$\rho_{\text{bulk}} (g/cm^3) = m_{\text{kuru}} / (m_{\text{yaş}} - m_{\text{arch}}) \quad (4.2)$$

$m_{\text{yaş}}$: Yaş Ağırlık (gr)

m_{kuru} : Kuru Ağırlık (gr)

m_{arch} : Su İçindeki Ağırlık (gr)

Formül yardımıyla elde edilen değerler Çizelge 4.3 'de verilmiştir.

Çizelge 4.3. Numunelerin bulk yoğunluk ortalama değerleri (g/cm^3)

Numune Kodu	Bulk Yoğunluğu Ortalaması, χ	Standart Sapma S_x	Varyasyon Katsayısı C_{vx}
AT	2,085	$\pm 0,12$	% 5,75
TT	2,000	$\pm 0,21$	% 10,50
DPT	1,868	$\pm 0,13$	% 6,96
BT	1,827	$\pm 0,19$	% 10,40
İZT	1,834	$\pm 0,38$	% 20,72
MK	2,047	$\pm 0,22$	% 10,75

4.1.4. Görünür Yoğunluk

Alınan numunelerin görünür yoğunluk değerlerinin bulunması için aşağıdaki formülden faydalanılmıştır. Buna göre;

$$\rho_{\text{görünür}} (g/cm^3) = m_{\text{kuru}} / (m_{\text{kuru}} - m_{\text{arch}}) \quad (4.3)$$

$m_{\text{yaş}}$: Yaş Ağırlık (gr)

m_{kuru} : Kuru Ağırlık (gr)

m_{arch} : Su İçindeki Ağırlık (gr)

Formül yardımıyla elde edilen değerler Çizelge 4.4 'de sunulmuştur.

Çizelge 4.4. Numunelerin görünür yoğunluk ortalama değerleri (g/cm^3)

Numune Kodu	Görünür Yoğunluk Ortalaması g/cm^3 , χ	Standart Sapma S_x	Varyasyon Katsayısı C_{vx}
AT	2,466	$\pm 0,23$	% 9,33
TT	2,533	$\pm 0,31$	% 12,24
DPT	2,487	$\pm 0,29$	% 11,66
BT	2,666	$\pm 0,49$	% 18,38
İZT	2,734	$\pm 0,71$	% 25,97
MK	2,765	$\pm 0,18$	% 6,51

4.1.5. Kapalı Porozite

RILEM'e göre (1980), kapalı porozite (C_p) değerlerinin bulunması için görünür hacimden gerçek hacim çıkarılarak bulk hacmine oranlanmasından bulunur. Buna göre;

$$C_p (\% \text{ hacimce}) = [(m_{kuru} - m_{arch}) - (m_{kuru} / \rho)] / (m_{yaş} - m_{arch}) \quad (4.4)$$

$m_{yaş}$: Yaş Ağırlık (gr)

m_{kuru} : Kuru Ağırlık (gr)

m_{arch} : Su İçindeki Ağırlık (gr)

ρ : Yoğunluk (gr/cm^3)

Formül yardımıyla elde edilen değerler Çizelge 4.5 'de görülmektedir.

Çizelge 4.5. Numunelerin kapalı porozite ortalama değerleri (% hacimce)

Numune Kodu	Kapalı Porozite Ortalaması, χ	Standart Sapma S_x	Varyasyon Katsayısı C_{vx}
AT	1,40	$\pm 0,09$	% 6,43
TT	2,57	$\pm 0,59$	% 22,96
DPT	2,41	$\pm 0,47$	% 19,50
BT	1,39	$\pm 0,62$	% 44,60
İZT	2,30	$\pm 0,92$	% 40,00
MK	2,23	$\pm 0,47$	% 21,08

4.1.6. Toplam Porozite

Toplam porozitenin tayini için görünür ve kapalı porozite değerleri toplanarak sonuca ulaşılır. Buna göre;

$$T_p (\% \text{ hacimce}) = P_p + C_p \quad (4.5)$$

T_p : Toplam Porozite

P_p : Görünür Porozite

C_p : Kapalı Porozite

Formül yardımıyla elde edilen değerler Çizelge 4.6 'da verilmiştir.

Çizelge 4.6. Numunelerin toplam porozite ortalama değerleri (% hacimce)

Numune Kodu	Toplam Porozite Ortalaması, χ	Standart Sapma S_x	Varyasyon Katsayısı C_{vx}
AT	16,83	$\pm 0,74$	% 4,39
TT	23,59	$\pm 2,72$	% 11,53
DPT	27,33	$\pm 1,21$	% 4,43
BT	32,86	$\pm 0,72$	% 2,19
İZT	35,19	$\pm 1,56$	% 4,43
MK	27,84	$\pm 1,03$	% 3,70

4.1.7. Su Absorplama Kapasitesi

RILEM'e göre (1980), su absorplama kapasitesi (WAC) değerlerinin bulunması için bulk hacminin su içindeki ağırlığa oranı alınmaktadır. Buna göre;

$$WAC (\% \text{ ağırlıkça}) = [(m_{yaş} - m_{arch}) / m_{arch}] \quad (4.6)$$

$m_{yaş}$: Yaş Ağırlık (gr)

m_{arch} : Su İçindeki Ağırlık (gr)

Formül yardımıyla elde edilen değerler Çizelge 4.7 'de sunulmuştur.

Çizelge 4.7. Numunelerin su absorplama kapasiteleri (% ağırlıkça)

Numune Kodu	Su Absorplama Kapasitesi Ortalaması, χ	Standart Sapma S_x	Varyasyon Katsayısı C_{vx}
AT	0,81	$\pm 0,01$	% 1,23
TT	0,83	$\pm 0,03$	% 3,61
DPT	0,90	$\pm 0,01$	% 1,56
BT	0,88	$\pm 0,02$	% 2,27
İZT	0,86	$\pm 0,03$	% 3,49
MK	0,77	$\pm 0,01$	% 1,29

4.1.8. Su Emme Deney Sonuçları

TS EN 771'e göre (2006), su emme değerlerinin bulunması için görünür porozite hacmi kuru ağırlığa oranı alınmaktadır. Buna göre;

$$Su\ Emme\ (\%) = [(m_{yaş} - m_{kuru}) / m_{kuru}] \quad (4.7)$$

$m_{yaş}$: Yaş Ağırlık (gr)

m_{kuru} : Kuru Ağırlık (gr)

Formül yardımıyla elde edilen değerleri Çizelge 4.8 'de sunulmuştur.

Çizelge 4.8. Numunelerin su emme değerleri (%)

Numune Kodu	Su Emme Değeri Ortalaması, χ	Standart Sapma S_x	Varyasyon Katsayısı C_{vx}
AT	6,81	$\pm 0,75$	% 11,01
TT	9,35	$\pm 1,52$	% 16,26
DPT	12,67	$\pm 0,74$	% 5,84
BT	17,36	$\pm 0,88$	% 5,07
İZT	17,94	$\pm 1,10$	% 6,13
MK	10,72	$\pm 0,99$	% 9,24

4.2. Mekaniksel Bulgular

Dış kuvvetlerin etkisi altında değişik zorlamalar karşısında, malzemede oluşan şekil değişiklikleri ve bu etkiler altında malzemenin gösterdiği dayanma gücü özelliklerinin tespiti amacıyla mekanik özellikler incelenmiştir.

Mekanik özelliklerin saptanmasında, basma ve üç nokta eğilme dayanımı testleri standartlara uygun olarak yapılarak gerçek dayanımlar tespit edilmiştir. Daha sonra ultrases deney sonuçlarından dinamik elastisite modülleri, buradan da teorik basma ve üç nokta eğilme dayanımları elde edilen istatistiksel korelasyon denklemleri yardımı ile hesaplanmıştır.

4.2.1. Gerçek Basma ve Üç Nokta Eğilme Dayanımları

TS-EN 771'de basınç mukavemetinin tayini için basınç uygulanacak yüzeylerinin boyutları kumpasla ölçüldükten sonra deney presinin tablaları arasına ve tam ortaya gelecek şekilde yerleştirilir. Uygulanacak yükün eşit olarak dağıtımını sağlamak için pres tablasına temas eden numune başlarına sert konveyör band plastiği yerleştirilmiştir. Basınç dayanımı σ , kırılma yükü Pa'nın örnek kesit alanına (A) bölünmesi ile elde edilir:

$$\sigma = \frac{Pa}{A} \quad (4.8)$$

Basınç gerilmesi saniyede 2 kgf/cm² (0,2 N/mm²) artacak şekilde numune kırılıncaya kadar devam edilmiştir.

Üç nokta eğilme dayanımında ise;

$$\sigma = \frac{3}{2} \cdot \frac{Pa.L}{b.h^2} \quad (4.9)$$

Pa : Kırılma yükü (kg)

L : Mesnetler arası mesafe (cm)

h : Numune yüksekliği (cm)

b : Numune eni (cm)

Mesnetler arasına yerleştirilerek eğilme dayanımları ölçülmeye uygun olan (ateş tuğlası, taban tuğlası, delikli pres tuğla ve marsilya kiremidi) numuneler saniyede 0,5 kgf/cm² (0,05 N/mm²) artacak şekilde numune kırılıncaya kadar devam edilmiştir.

Deneyler sonunda elde edilen gerçek basma dayanımı sonuçları Çizelge 4.9'da ve gerçek üç nokta eğilme dayanımı sonuçları Çizelge 4.10 'da verilmiştir. Yapısı gereği, marsilya kiremitine basma, 8.5'luk blok ve izo tuğlalara ise eğilme dayanımları ölçülememiştir.

Çizelge 4.9. Numunelerin gerçek basma dayanımı sonuçları (MPa)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
AT	16.86	25.40	25.52	24.22	20.86	—	—	—	—	—	21.59	17.15	18.20	19.88	20.42
TT	1.46	1.41	1.72	3.29	3.63	—	—	—	—	—	2.90	1.92	2.31	2.46	1.99
DPT	2.88	9.34	7.84	6.71	14.87	—	—	—	—	—	17.39	12.51	18.93	14.97	18.27
BT	2.77	3.41	4.34	2.85	3.17	3.71	3.05	3.01	3.66	3.05	3.42	3.37	3.21	2.47	3.44
İZT	1.45	1.12	2.36	1.98	3.33	2.43	3.43	1.28	2.93	2.77	1.32	2.05	2.04	2.57	1.61
MK	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	Aritmetik Ortalama, χ	Standart Sapma, S_x	Varyasyon Katsayısı, C_{vx}
AT	—	—	—	—	—	22.38	23.79	33.58	29.44	18.56	22.52	± 4.65	% 20.65
TT	—	—	—	—	—	2.22	3.22	2.80	1.08	2.71	2.34	± 0.75	% 32.05
DPT	—	—	—	—	—	8.67	7.02	6.93	6.69	4.48	10.50	± 5.22	% 49.71
BT	3.71	3.46	3.40	3.74	3.10	6.24	3.57	1.87	1.78	1.06	3.26	± 0.45	% 13.80
İZT	1.24	3.04	1.33	1.00	3.08	—	—	—	—	—	2.12	± 0.80	% 37.74
MK	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Çizelge 4.10. Numunelerin gerçek üç nokta eğilme dayanımı sonuçları (MPa)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	χ	S_x	C_{vx}
AT	—	—	—	—	—	14.76	14.10	14.10	14.16	16.18	—	—	—	—	—	14.64	13.86	15.90	16.50	15.18	14.94	±0.96	% 6.41
TT	—	—	—	—	—	14.41	15.37	14.11	12.33	17.73	—	—	—	—	—	16.92	14.82	16.88	9.93	18.48	15.10	±2.60	%17.22
DPT	—	—	—	—	—	5.37	5.78	7.67	5.17	6.22	—	—	—	—	—	7.73	6.62	5.15	6.13	7.81	6.37	±1.06	%16.59
BT	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
İZT	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
MK	2.40	4.38	4.24	4.40	4.78	4.24	5.03	5.09	4.59	5.09	3.99	4.11	4.74	4.57	4.40	4.55	4.82	1.31	4.72	3.40	4.24	±0.93	%21.85

4.3. Kalıcılık (Durabilite) Özellikleri

4.3.1. Dinamik Elastisite Modülü

Elastisite modülü (E_{mod}) malzemenin gerilim ve deformasyonuna bağlı olarak çizilen gerilim-gerinim eğrisinin elastik kısmının eğimi olarak belirlenmiştir. Bu, malzemenin deformasyon kapasitesinin bir göstergesidir.

Dinamik elastisite modülü, ultrasonik pulse hızı ölçümleri (ASTM D 2845-90; RILEM 1980) ile belirlenmiştir.

Bu metod, ultrasonik dalgaların test numunesinin kesitini geçmesi için gerekli olan sürenin ölçülmesine dayalıdır. Dalgaların hızı şu formülle (ASTM D 2845-90; RILEM 1980) hesaplanır:

$$V = l / t \quad (4.10)$$

Bu formülde,

V: Ultrases Hızı (mm/s)

l: Dalganın katettiği yol (numunenin içerisinden) (mm)

t: Geçiş süresi (sn)

Daha sonra dinamik elastisite modülü; numunenin bulk yoğunluğu ve ultrasonik hızdan aşağıdaki formülle hesaplanır (RILEM 1980).

$$E_{mod} = \rho_{bulk} * V^2 (1 + \nu_{dyn}) (1 - 2\nu_{dyn}) (1 - \nu_{dyn}) \quad (4.11)$$

Burada,

E_{mod} : Dinamik Elastisite Modülü (N/m²=Pa)

ρ_{bulk} : Bulk Yoğunluğu (kg/m³)

V : Dalga Hızı (m/s) (Ultrasonik hızlar prizma şeklindeki numunelerde her 3 boyutunda delikli tuğlalarda iki boyutunda transduser çapının elverdiği sayıda her noktayı tarıyacak şekilde ölçüm alınmıştır. Sonunda, her bir boyutun kendi içerisinde aritmetik ortalaması alınarak dalga hızı olarak kabul edilmiştir.)

v_{dyn} : Poisson Oranı (Poisson oranı esneme kuvveti yönünde enine büzülme şekil değişiminin boyuna uzama şekil değişimine oranıdır. Literatürde ortak olarak kabul edilen poisson oranı değeri yapı tuğlaları için 0.18 ile 0.25 arasında alınmaktadır. Bu çalışmada birçok kaynakta 0.20 kabul edildiğinden hesaplamalarda bu değer kullanılmıştır (Carpinteri et. al. 2005, Ramos et. al. 2004, Baradan 2003).

Deney, numunelerin hem kuru hem de suya doymuş halleri için yapılmıştır. Çizelge 4.11 ve şekil 4.8 'de sonuçlar verilmiştir.

Çizelge 4.11. Numunelerin kuru ve yaş halde elastisite modülü değerleri (MPa)

Numune Kodu	Elastisite Modülü (MPa)					
	KURU			YAŞ		
	Ortalama \bar{x}	Standart Sapma S_x	Varyasyon Katsayısı C_{vx}	Ortalama \bar{x}	Standart Sapma S_x	Varyasyon Katsayısı C_{vx}
AT	1651	± 160,12	% 9,70	1080	± 172,92	% 16,10
TT	2732	± 303,64	% 11,12	2139	± 245,91	% 11,50
DPT	1265	± 205,23	% 16,22	896	± 290,10	% 33,14
BT	1192	± 28,81	% 18,03	1156	± 36,88	% 31,05
İZT	1006	± 29,96	% 17,16	780	± 22,15	% 16,98
MK	654	± 37,57	% 5,74	457	± 70,00	% 15,31

4.3.2. Dinamik Elastisite Modülü ile Teorik Dayanımlar Arasında Bulunan Korelasyon

Elastisite modülü ve tek eksenli basma dayanımı arasındaki bağıntıyı temsil eden en iyi ikinci dereceden denklem bulunmaya çalışılmıştır. Ersoy (1994) tarafından beton için belirtilen eşitlik:

$$UCS = 2.105 * 10^{-4} (E_{mod})^2 \quad (4.12)$$

E_{mod} : Elastisite Modülü (MPa)

UCS : Tek Eksenli Basma Dayanımı (Uniaxial Compressive Strength) (MPa)

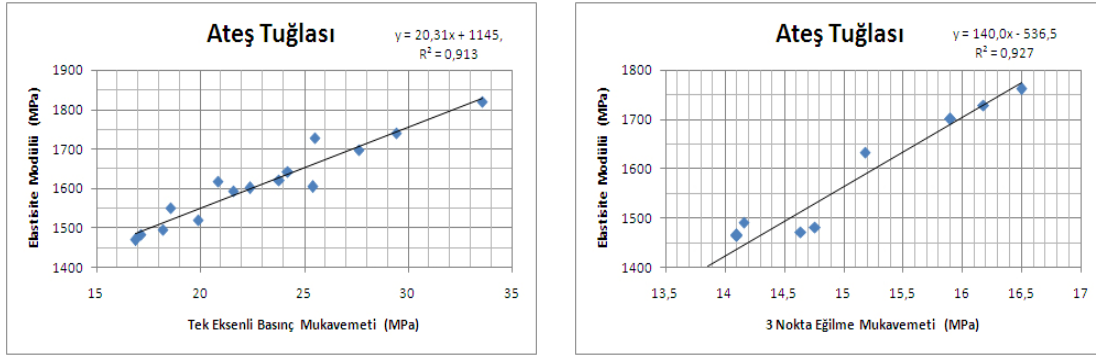
Tuncoku (2001), tarafından tuğlalar için yapılan çalışmada sonuçların korelasyonunu kullanarak elde ettiği tek eksenli basma dayanımı değerleri için geliştirilen eşitlik aşağıda verilmiştir:

$$UCS = -10^{-4}(E_{mod})^2 + 0.0056(E_{mod}) - 0.2953 \quad (4.13)$$

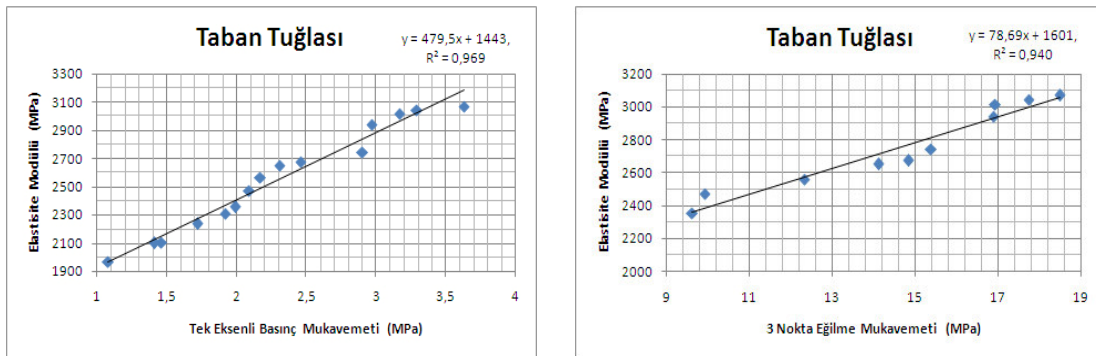
E_{mod} : Elastisite Modülü (MPa)

UCS : Tek Eksenli Basma Dayanımı (Uniaxial Compressive Strength) (MPa)

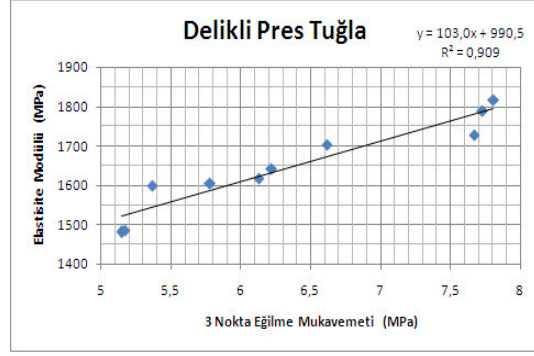
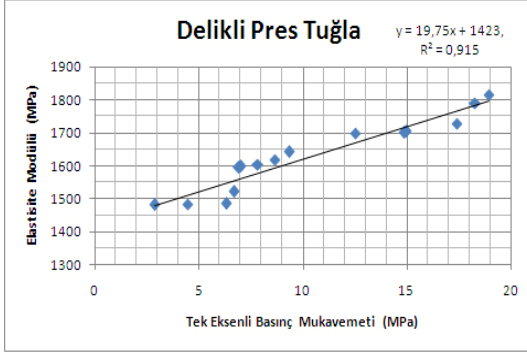
Elde edilen elastisite modülü ile tek eksenli basma dayanımı değerleri arasındaki korelasyon farklı türdeki tuğlalar için araştırılmıştır (Şekil 4.1, 4.2, 4.3, 4.4).



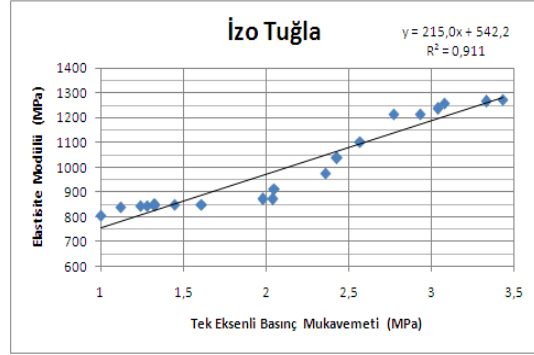
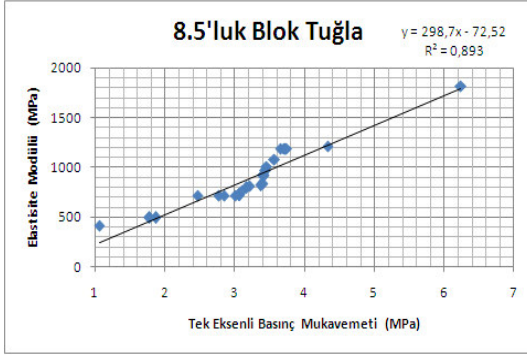
Şekil 4.1. Selko marka ateş tuğlalarından elde edilen elastisite modülü ile tek eksenli basma dayanımı ve 3 nokta eğilme mukavemeti arasında geliştirilen korelasyon



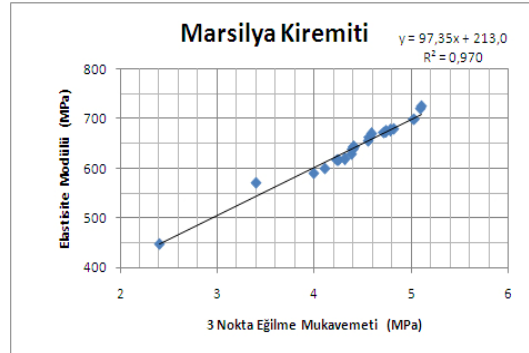
Şekil 4.2. Işıklar marka taban tuğlalarından elde edilen elastisite modülü ile tek eksenli basma dayanımı ve 3 nokta eğilme mukavemeti arasında geliştirilen korelasyon



Şekil 4.3. Başak marka delikli pres tuğlalarından elde edilen elastisite modülü ile tek eksenli basma dayanımı ve 3 nokta eğilme mukavemeti arasında geliştirilen korelasyon



Şekil 4.4. Kral marka 8.5'luk blok ve izo tuğlalarından elde edilen elastisite modülü ve tek eksenli basma dayanımı arasında geliştirilen korelasyon



Şekil 4.5. Özat marka marsilya kiremitlerinden elde edilen elastisite modülü ve 3 nokta eğilme mukavemeti arasında geliştirilen korelasyon

Bu çalışmada her bir çeşit için elde edilen korelasyonlardan hesaplanan tek eksenli basma dayanımı ve 3 nokta eğilme mukavemeti değerleri (önceki analiz sonuçlarını, numunelerin yaş ve kuru elastisite modüllerini kullanarak) Çizelge 4.12, 4.13’de verilmiştir.

Çizelge 4.12. Numunelerin kuru ve yaş halde tek eksenli basma dayanımı değerleri (MPa)

	1	2	3	4	5	11	12	13	14	15	χ	S_x	C_{vx}
AT (Kuru)	4,41	3,37	3,62	3,45	3,40	3,35	3,13	3,57	3,20	3,56	3,51	± 0,35	%10,10
AT (Yaş)	3,09	3,05	3,06	3,06	3,08	3,03	3,01	3,06	3,05	3,01	3,05	± 0,13	% 4,26
TT (Kuru)	1,90	2,71	3,39	2,15	2,52	3,27	3,13	2,56	3,34	2,33	2,73	± 0,53	%19,38
TT (Yaş)	1,71	2,44	3,05	1,94	2,27	2,95	2,82	2,31	3,01	2,10	2,46	± 0,48	%19,36
DPT (Kuru)	2,75	2,87	2,60	2,66	2,84	1,83	2,62	2,71	2,72	2,65	2,63	± 0,29	%11,16
DPT (Yaş)	1,68	1,21	1,52	1,61	1,76	1,59	1,60	1,60	1,61	1,63	1,58	± 0,14	% 9,14
BT (Kuru)	3,78	5,00	5,89	3,58	6,02	4,17	4,78	4,55	4,06	4,54	4,64	± 0,82	%17,69
BT (Yaş)	2,01	3,94	5,49	2,16	4,47	3,38	3,74	3,49	1,95	3,75	3,44	± 1,14	%33,03
İZT (Kuru)	3,77	3,18	4,01	4,59	3,32	4,48	4,41	4,61	4,56	4,41	4,13	± 0,54	%13,02
İZT (Yaş)	2,54	1,94	3,13	3,24	3,02	2,93	3,28	3,34	3,70	3,01	3,01	± 0,48	%16,02

(Aritmetik ortalama: χ , Standart Sapma: S_x , Varyasyon Katsayısı: C_{vx})

Çizelge 4.13. Numunelerin kuru ve yaş halde 3 nokta eğilme dayanımı değerleri (MPa)

	6	7	8	9	10	16	17	18	19	20	χ	S_x	C_{vx}
AT (Kuru)	20,69	23,80	20,74	22,32	24,99	21,74	22,03	22,43	23,11	21,92	22,38	± 1,32	% 5,89
AT (Yaş)	14,95	14,43	12,95	14,80	19,19	13,69	15,02	14,31	14,87	16,21	15,04	± 1,69	%11,25
TT (Kuru)	13,29	10,71	15,53	11,13	13,93	11,92	12,50	13,01	12,21	14,53	12,88	± 1,50	%11,67
TT (Yaş)	9,67	8,83	13,34	9,65	9,91	9,12	10,02	9,59	9,89	10,92	10,09	± 1,27	%12,56
DPT (Kuru)	14,81	15,07	14,72	14,61	13,23	14,54	14,60	13,92	14,39	14,71	14,46	± 0,53	% 3,63
DPT (Yaş)	12,44	10,20	11,96	11,54	10,04	12,15	11,41	12,09	11,82	10,48	11,41	± 0,87	% 7,60
MK (Kuru)	6,64	6,61	6,42	5,77	6,59	6,03	6,41	6,64	5,92	6,37	6,34	± 0,32	% 5,06
MK (Yaş)	4,19	5,36	5,28	4,20	5,59	5,23	5,01	5,22	4,83	4,91	4,98	± 0,47	% 9,43

(Aritmetik ortalama: χ , Standart Sapma: S_x , Varyasyon Katsayısı: C_{vx})

4.2.3. Durabilite (Kalıcılık) Sınıflandırması

Yapı malzemelerinin işlevlerini uzun yıllar boyu bozulmadan yerine getirebilmelerine dayanıklılık, kalıcılık veya durabilite adı verilir (Baradan vd. 2002). Yapay bir malzeme olan yapı seramikleri olumlu özelliklerini sürdürebilmesi kalıcı olmasına bağlıdır.

Numunelerin durabilite özellikleri kayaların durabilitesi hakkında fikir edinmek için geliştirilmiş olan Winkler eşitliği (1986) kullanılarak belirlenmiştir.

$$D = (UCS_{yaş} / UCS_{kuru}) \times 100 \quad (4.14)$$

Burada,

D : Durabilite

$UCS_{yaş}$: Numunenin yaş haldeki tek eksenli basma dayanımı

UCS_{kuru} : Numunenin kuru haldeki tek eksenli basma dayanımı

Bu eşitliğin sonuçlarına dayalı durabilite sınıflandırması Çizelge 4.14’de verilmiştir.

Çizelge 4.14. Numunelerin durabilite sınıflandırması

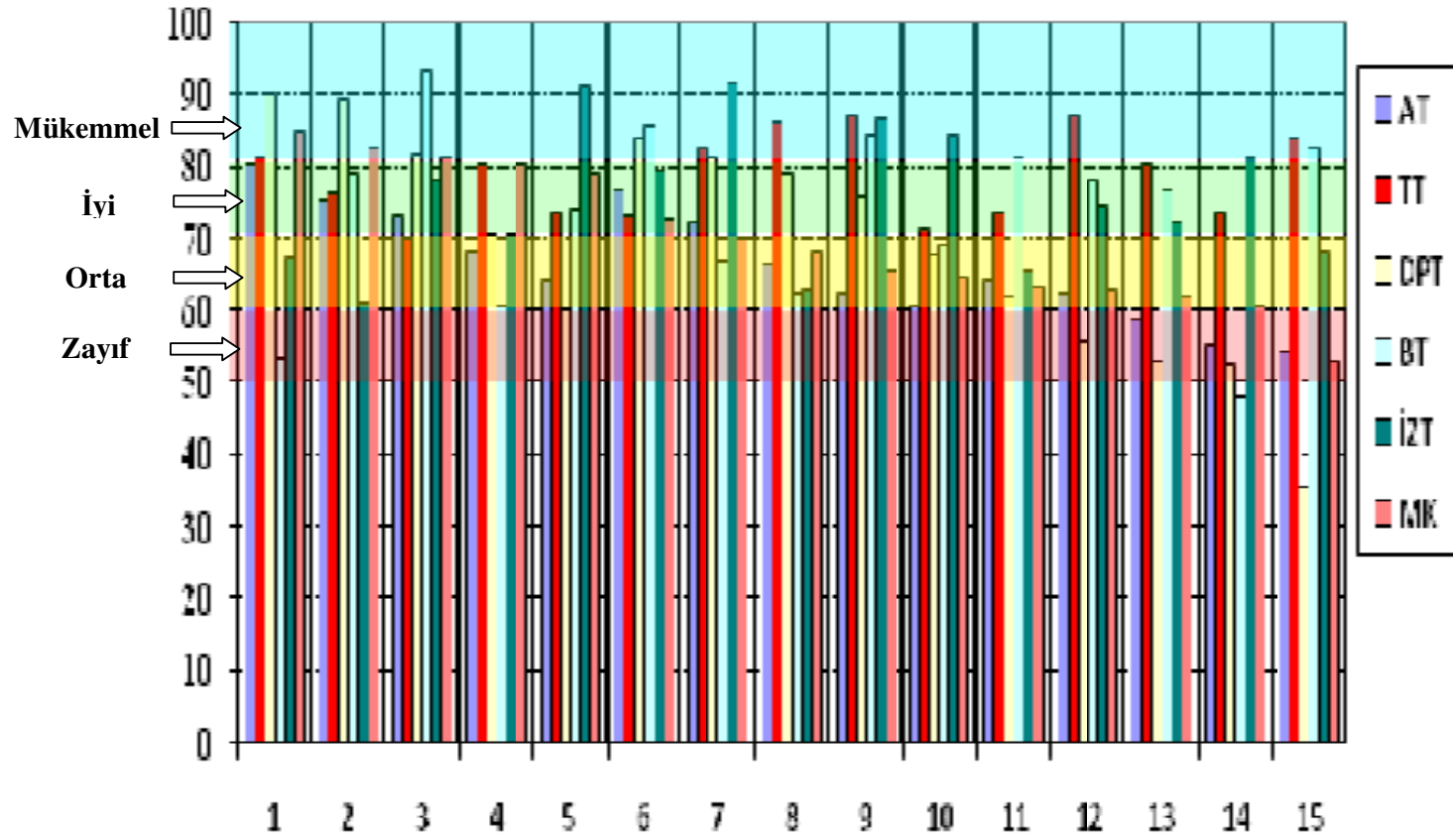
Durabilite Tipi	Aralık
Mükemmel	100~81
İyi	80~71
Orta	70~61
Zayıf	60~50

Sonuçlar Çizelge 4.15 ve şekil 4.16’de verilmiştir.

Çizelge 4.15. Numunelerin durabilite özellikleri

Ürün Tipi	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
AT	80,22	75,13	72,97	68,13	64,24	76,79	72,26	66,31	62,45	60,63	63,89	62,45	58,72	55,32	54,13
TT	81,28	76,04	70,08	80,36	73,33	72,92	82,59	85,98	86,78	71,32	73,68	87,04	80,38	73,38	83,84
DPT	90,21	89,37	81,67	70,42	60,26	84,00	81,24	78,98	75,90	67,66	61,97	55,56	52,86	52,51	35,53
BT	53,16	78,89	93,17	60,36	74,16	85,66	66,71	62,11	84,15	68,89	80,97	78,21	76,59	48,04	82,62
İZT	67,34	61,07	78,09	70,59	90,91	79,46	91,54	62,94	86,74	84,20	65,49	74,49	72,34	81,16	68,30
MK	84,88	82,29	81,16	80,16	78,73	72,71	70,06	68,17	65,59	64,35	63,03	62,66	61,79	60,62	52,96

Çizelge 4.15'deki durabilite sonuçları ışığında kırmızı renkte belirtilmiş numunelerin kullanımı uygun görülmemektedir. Kötü performans sergileyen numunelerin kırılarak tekrar sisteme verilmesi uygun olacaktır.



Şekil 4.16. Numunelerin durabilite özelliklerindeki değişim

4.3. Sonuçların Kıyaslanması

Günümüzde simülasyon amacıyla kullanılan yazılımlar malzemelerin değişik yükler altındaki davranışları hakkında bilgi verebilmektedir. Ancak sonuçların gerçeğe ne kadar yakın olması isteniyorsa malzeme parametrelerinin o derece doğru olarak sisteme girilmesi gerekmektedir. Bu nedenle fiziksel, mekaniksel ve ultrases geçirim hızları özetlenerek test sonuçlarından elde edilen minimum ve maksimum değerler simülasyon datalarının sisteme girilmesinde kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar Çizelge 4.17,18,19,20,21 ve 22’da verilmiştir.

Çizelge 4.17. Ateş tuğlası örneklerinin testlerden elde edilen sonuçları

Ürün No	Toplam Porozite	Bulk Yoğ. (gr/cm ³)	Gör. Yoğ. (gr/cm ³)	Su Emme (%)	Basınç Day. (kg/cm ²)	Eğilme Day. (kg/cm ²)	Ultras es (m/sn)
AT1	–	–	–	–	16,86	–	3326
AT2	–	–	–	–	25,40	–	2914
AT3	–	–	–	–	25,52	–	3019
AT4	–	–	–	–	24,22	–	2943
AT5	–	–	–	–	20,86	–	2913
AT6	15,25	2,125	2,386	5,15	–	14,76	2811
AT7	16,29	2,099	2,430	6,49	–	14,10	2999
AT8	15,98	2,107	2,403	5,85	–	14,10	2950
AT9	16,00	2,106	2,426	6,26	–	14,16	2903
AT10	15,52	2,118	2,455	6,48	–	16,18	3052
AT11	–	–	–	–	21,59	–	2917
AT12	–	–	–	–	17,15	–	2820
AT13	–	–	–	–	18,20	–	2994
AT14	–	–	–	–	19,88	–	2841
AT15	–	–	–	–	27,62	–	3017
AT16	16,92	2,083	2,441	7,04	–	14,64	2898
AT17	16,03	2,105	2,420	6,18	–	13,86	2850
AT18	15,49	2,119	2,456	6,47	–	15,90	2844
AT19	15,96	2,107	2,434	6,37	–	16,50	2936
AT20	14,89	2,134	2,435	5,79	–	15,18	2831
AT21	16,98	2,082	2,476	7,65	22,38	–	2902
AT22	17,36	2,072	2,461	7,63	23,79	–	2842
AT23	15,95	2,107	2,455	6,71	33,58	–	2961
AT24	16,48	2,094	2,463	7,15	29,44	–	2982
AT25	17,37	2,072	2,475	7,86	18,56	–	2830

Ateş tuğlası numunelerine uygulanan fiziksel analizler sonucunda;

- Toplam porozite değerlerinin: min %14,89 – mak %17,37
- Bulk yoğunluğu değerinin : min 2,072 gr/cm³ – mak 2,134 gr/cm³
- Görünür yoğunluk değerlerinin : min 2,386 gr/cm³ – mak 2,476 gr/cm³
- Su Emme değerlerinin : min %5,15–mak %7,86 arasında değiştiği görülmüştür.

Ateş tuğlası numunelerine uygulanan mekaniksel ve tahribatsız ultras es hızı deneyleri sonucunda ise;

- Basma dayanımı değerlerinin: min 16,86 kg/cm² – mak 33,58 kg/cm²
- Üç nokta eğilme dayanımı değerlerinin: min 13,86 kg/cm² – mak 16,50 kg/cm²
- Ultras es hızı değerlerinin : min 2811 m/s - mak 3326 m/s arasında değiştiği görülmüştür.

Çizelge 4.18. Taban tuğlası örneklerinin testlerden elde edilen sonuçları

Ürün No	Toplam Porozite	Bulk Yoğ. (gr/cm ³)	Gör. Yoğ. (gr/cm ³)	Su Emme (%)	Basınç Day. (kg/cm ²)	Eğilme Day. (kg/cm ²)	Ultrases (m/sn)
TT1	-	-	-	-	1,46	-	3602
TT2	-	-	-	-	1,41	-	3855
TT3	-	-	-	-	1,72	-	4060
TT4	-	-	-	-	3,29	-	3674
TT5	-	-	-	-	3,63	-	3803
TT6	20,95	2,016	2,482	9,31	-	9,62	3871
TT7	19,60	2,050	2,463	8,17	-	15,37	3508
TT8	16,56	2,069	2,401	6,67	-	18,48	4165
TT9	20,20	2,035	2,464	8,56	-	9,93	3576
TT10	20,15	2,036	2,446	8,23	-	14,11	3957
TT11	-	-	-	-	2,90	-	4112
TT12	-	-	-	-	1,92	-	4054
TT13	-	-	-	-	2,31	-	3863
TT14	-	-	-	-	2,46	-	4089
TT15	-	-	-	-	1,99	-	3753
TT16	19,47	2,053	2,448	7,85	-	16,92	3987
TT17	21,92	2,014	2,504	9,70	-	16,88	4040
TT18	15,43	2,072	2,391	6,44	-	14,82	3832
TT19	21,93	2,014	2,498	9,62	-	17,73	3874
TT20	17,94	2,060	2,423	7,28	-	12,33	3795
TT21	24,44	1,980	2,552	11,33	2,17	-	3683
TT22	24,10	1,989	2,553	10,81	3,17	-	3792
TT23	24,03	1,990	2,551	11,05	2,97	-	3809
TT24	22,78	2,023	2,509	9,57	1,08	-	3901
TT25	22,59	2,020	2,519	9,80	2,09	-	3884

Taban tuğlası numunelerine uygulanan fiziksel analizler sonucunda;

- Toplam porozite değerlerinin: min %15,43 – mak %24,44
- Bulk yoğunluğu değerinin : min 1,980 gr/cm³ – mak 2,072 gr/cm³
- Görünür yoğunluk değerlerinin : min 2,391 gr/cm³ – mak 2,553 gr/cm³
- Su Emme değerlerinin: min%6,44–mak %11,33 arasında değiştiği görülmüştür.

Taban tuğlası numunelerine uygulanan mekaniksel ve tahribatsız ultrases hızı deneyleri sonucunda ise;

- Basma dayanımı değerlerinin: min 1,08 kg/cm² – mak 3,63 kg/cm²
- Üç nokta eğilme dayanımı değerlerinin: min 9,62 kg/cm² – mak 18,48 kg/cm²
- Ultrases hızı değerlerinin : min 3508 m/s - mak 4165 m/s arasında değiştiği görülmüştür.

Çizelge 4.19. Delikli pres tuğlası örneklerinin testlerden elde edilen sonuçları

Ürün No	Toplam Porozite	Bulk Yoğ. (gr/cm ³)	Gör. Yoğ. (gr/cm ³)	Su Emme (%)	Basınç Day. (kg/cm ²)	Eğilme Day. (kg/cm ²)	Ultras es (m/sn)
DPT1	–	–	–	–	18,93	–	2790
DPT2	–	–	–	–	7,84	–	2852
DPT3	–	–	–	–	17,39	–	2710
DPT4	–	–	–	–	9,34	–	2736
DPT5	–	–	–	–	8,67	–	2823
DPT6	25,25	1,884	2,437	12,04	–	7,81	2902
DPT7	25,17	1,886	2,439	12,04	–	5,78	2920
DPT8	25,42	1,879	2,450	12,39	–	7,67	2878
DPT9	24,89	1,893	2,455	12,10	–	6,22	2881
DPT10	24,39	1,905	2,456	11,77	–	6,13	2749
DPT11	–	–	–	–	2,88	–	2264
DPT12	–	–	–	–	14,97	–	2737
DPT13	–	–	–	–	6,32	–	2788
DPT14	–	–	–	–	7,02	–	2781
DPT15	–	–	–	–	18,27	–	2731
DPT16	25,25	1,884	2,420	11,77	–	5,15	2805
DPT17	24,86	1,894	2,440	11,83	–	6,62	2739
DPT18	24,43	1,904	2,454	11,76	–	5,17	2689
DPT19	25,14	1,886	2,425	11,77	–	5,37	2739
DPT20	25,60	1,875	2,446	12,45	–	7,73	2807
DPT21	27,97	1,851	2,500	14,02	6,93	–	2792
DPT22	27,59	1,861	2,498	13,70	4,48	–	2823
DPT23	27,73	1,857	2,451	13,05	14,87	–	2811
DPT24	27,03	1,875	2,483	13,06	6,71	–	2875
DPT25	26,36	1,893	2,504	12,90	12,51	–	2737

Delikli pres tuğlası numunelerine uygulanan fiziksel analizler sonucunda;

- Toplam porozite değerlerinin: min %24,39 – mak %27,97
- Bulk yoğunluğu değerinin : min 1,851 gr/cm³ – mak 1,905 gr/cm³
- Görünür yoğunluk değerlerinin : min 2,420 gr/cm³ – mak 2,504 gr/cm³
- Su Emme değerlerinin: min%11,76–mak%14,02 arasında değiştiği görülmüştür.

Delikli pres tuğlası numunelerine uygulanan mekaniksel ve tahribatsız ultras es hızı deneyleri sonucunda ise;

- Basma dayanımı değerlerinin: min 2,88 kg/cm² – mak 18,93 kg/cm²
- Üç nokta eğilme dayanımı değerlerinin: min 5,15 kg/cm² – mak 7,81 kg/cm²
- Ultras es hızı değerlerinin : min 2264 m/s – mak 2920 m/s arasında değiştiği görülmüştür.

Çizelge 4.20. 8,5'luk blok tuğla örneklerinin testlerden elde edilen sonuçları

Ürün No	Toplam Porozite	Bulk Yoğ. (gr/cm ³)	Gör. Yoğ. (gr/cm ³)	Su Emme (%)	Basınç Day. (kg/cm ²)	Ultras ses (m/sn)
BT1	–	–	–	–	2,77	2161
BT2	–	–	–	–	3,41	2491
BT3	–	–	–	–	4,34	2681
BT4	–	–	–	–	2,85	2116
BT5	–	–	–	–	3,17	2705
BT6	33,49	1,810	2,694	18,13	3,71	2568
BT7	33,84	1,800	2,714	18,70	3,05	2231
BT8	32,72	1,831	2,621	16,46	3,01	2204
BT9	34,40	1,788	2,678	18,59	3,66	2665
BT10	32,38	1,840	2,651	16,63	3,07	2686
BT11	–	–	–	–	3,42	2270
BT12	–	–	–	–	3,37	2434
BT13	–	–	–	–	3,21	2351
BT14	–	–	–	–	2,47	2227
BT15	–	–	–	–	3,44	2343
BT16	33,43	1,812	2,667	17,70	3,72	1975
BT17	33,76	1,803	2,705	18,50	3,46	2422
BT18	33,35	1,814	2,666	17,63	3,40	2149
BT19	31,96	1,851	2,631	16,00	3,74	2437
BT20	32,73	1,831	2,623	16,50	3,10	1822
BT21	33,51	1,809	2,661	17,69	6,24	2563
BT22	33,71	1,804	2,672	18,00	3,57	2501
BT23	32,36	1,841	2,669	16,86	1,87	2692
BT24	32,68	1,832	2,666	17,08	1,78	2214
BT25	32,05	1,849	2,662	16,51	1,06	2440

8,5'luk blok tuğlası numunelerine uygulanan fiziksel analizler sonucunda;

- Toplam porozite değerlerinin: min %31,96 – mak %34,40
- Bulk yoğunluğu değerinin : min 1,788 gr/cm³ – mak 1,851 gr/cm³
- Görünür yoğunluk değerlerinin : min 2,621 gr/cm³ – mak 2,714 gr/cm³
- Su Emme değerlerinin : min %16,00 – mak %18,70 arasında değiştiği görülmüştür.

8,5'luk blok tuğlası numunelerine uygulanan mekaniksel ve tahribatsız ultras ses hızı deneyleri sonucunda ise;

- Basma dayanımı değerlerinin: min 1,06 kg/cm² – mak 6,24 kg/cm²
- Ultras ses hızı değerlerinin : min 1822 m/s - mak 2705 m/s arasında değiştiği görülmüştür.

Çizelge 4.21. İzotuğla örneklerinin testlerden elde edilen sonuçları

Ürün No	Toplam Porozite	Bulk Yoğ. (gr/cm ³)	Gör. Yoğ. (gr/cm ³)	Su Emme (%)	Basınç Day. (kg/cm ²)	Ultras es (m/sn)
İZT1	–	–	–	–	1,45	801
İZT2	–	–	–	–	1,12	727
İZT3	–	–	–	–	2,36	822
İZT4	–	–	–	–	1,98	877
İZT5	–	–	–	–	3,33	740
İZT6	38,96	1,794	2,841	20,53	2,43	714
İZT7	35,51	1,832	2,739	18,09	3,43	735
İZT8	37,24	1,814	2,787	19,25	1,28	721
İZT9	35,91	1,827	2,751	18,40	2,93	732
İZT10	33,42	1,851	2,690	16,85	2,77	770
İZT11	–	–	–	–	1,32	748
İZT12	–	–	–	–	2,05	834
İZT13	–	–	–	–	2,04	821
İZT14	–	–	–	–	2,57	864
İZT15	–	–	–	–	1,61	769
İZT16	34,12	1,845	2,706	17,25	1,24	741
İZT17	35,28	1,832	2,739	18,08	3,04	738
İZT18	33,38	1,852	2,687	16,77	1,33	766
İZT19	34,03	1,847	2,699	17,09	1,00	749
İZT20	34,04	1,847	2,700	17,11	3,08	752

İzotuğlası numunelerine uygulanan fiziksel analizler sonucunda;

- Toplam porozite değerlerinin: min %33,38 – mak %38,96
- Bulk yoğunluğu değerinin : min 1,794 gr/cm³ – mak 1,852 gr/cm³
- Görünür yoğunluk değerlerinin : min 2,687 gr/cm³ – mak 2,841 gr/cm³
- Su Emme değerlerinin : min %16,77 – mak %20,53 arasında değiştiği görülmüştür.

İzotuğlası numunelerine uygulanan mekaniksel ve tahribatsız ultras es hızı deneyleri sonucunda ise;

- Basma dayanımı değerlerinin: min 1,00 kg/cm² – mak 3,43 kg/cm²
- Ultras es hızı değerlerinin : min 714 m/s – mak 877 m/s arasında değiştiği görülmüştür.

Çizelge 4.22. Marsilya kiremidi örneklerinin testlerden elde edilen sonuçları

Ürün No	Toplam Porozite	Bulk Yoğ. (gr/cm ³)	Gör. Yoğ. (gr/cm ³)	Su Emme (%)	Eğilme Day. (kg/cm ²)	Ultras es (m/sn)
MK1	-	-	-	-	2,40	1796
MK2	-	-	-	-	4,38	1960
MK3	-	-	-	-	4,24	1821
MK4	-	-	-	-	4,40	1781
MK5	-	-	-	-	4,78	1799
MK6	28,61	2,035	2,790	10,89	4,25	1905
MK7	28,55	2,036	2,798	11,09	5,03	1890
MK8	27,59	2,064	2,818	11,89	5,09	1856
MK9	28,50	2,073	2,842	11,87	4,59	1765
MK10	27,48	2,067	2,822	10,75	5,10	1874
MK11	-	-	-	-	3,99	1890
MK12	-	-	-	-	4,11	1886
MK13	-	-	-	-	4,74	1883
MK14	-	-	-	-	4,57	1926
MK15	-	-	-	-	4,41	1857
MK16	24,76	2,107	2,719	11,82	4,55	1923
MK17	27,95	2,017	2,692	11,34	4,82	1910
MK18	28,73	2,067	2,829	8,56	4,31	1842
MK19	28,38	2,005	2,709	10,89	4,72	1868
MK20	27,99	2,016	2,729	8,06	3,40	1889

Marsilya kiremiti numunelerine uygulanan fiziksel analizler sonucunda;

- Toplam porozite değerlerinin: min %24,76 – mak %28,73
- Bulk yoğunluğu değerinin : min 2,005 gr/cm³ – mak 2,107 gr/cm³
- Görünür yoğunluk değerlerinin : min 2,692 gr/cm³ – mak 2,842 gr/cm³
- Su Emme değerlerinin : min %8,06 – mak %11,89 arasında değiştiği

görülmüştür.

Marsilya kiremiti numunelerine uygulanan mekaniksel ve tahribatsız ultras es hızı deneyleri sonucunda ise;

- Üç nokta eğilme dayanımı değerlerinin: min 2,40 kg/cm² – mak 5,10 kg/cm²
- Ultras es hızı değerlerinin : min 1765 m/s – mak 1960 m/s arasında değiştiği

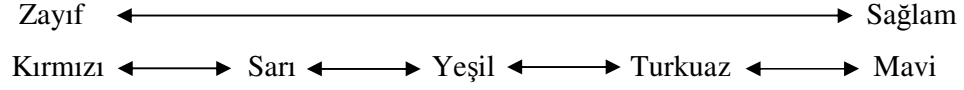
görülmüştür.

4.3. Simülasyon Analiz Bulguları

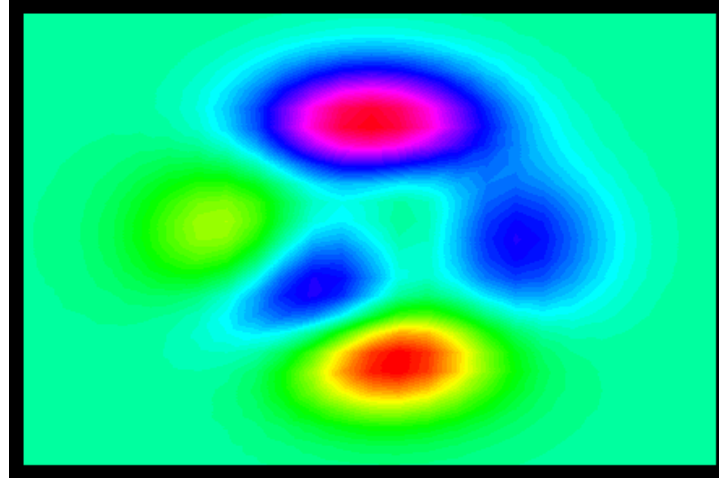
Endüstrinin hemen her alanında yaygın olarak kullanılan tahribatsız muayene (NDT) yöntemlerinin ve prosedürlerinin güvenilirliğinin özellikle son yıllarda yoğun şekilde sorgulanıyor olması NDT simülasyonu araçlarının geliştirilmesini teşvik etmektedir. Ultrasonik muayene yönteminin gerçekçi bir sonlu elemanlar modeli ve bilgisayar simülasyonu, malzeme içindeki ultrasonik dalga yayılımı konusunu daha iyi kavramak için çok faydalı bir araç olacaktır. Bu araç tasarım mühendisine parçanın ultrasonik olarak muayene edilebilirliği konusunda bir fikir verecektir. NDT mühendisine parçanın içindeki olası bir hatanın tespit edilebilirliği ve bir muayene prosedürünün oluşturulması ve uygunluğunun kanıtlanması konusunda yardım edecek, teorik olarak hataların ve problemlerin değerlendirilmesini ve test ve üretim değişkenliklerinin ölçülmesini sağlayacaktır. Bunların bir sonucu olarak maliyeti çok yüksek deneysel çalışmaların önlenmesi ya da en azından sayılarının ve sürelerinin azaltılması mümkün olacaktır. Ayrıca böyle bir araç ultrasonik muayene eğitiminde de önemli bir gelişme sağlayacaktır.

Günümüzde simülasyon amacıyla kullanılan yazılımlar malzemelerin değişik yükler altındaki davranışları hakkında bilgi verebilmektedir. Ancak sonuçların gerçeğe ne kadar yakın olması isteniyorsa malzeme parametrelerinin o derece doğru olarak sisteme girilmesi gerekmektedir. İlk önce malzemenin karakteristik özelliklerinden yoğunluk, elastisite modülü, basma ve eğilme dayanımları sonucunda elde edilmiş gerilme-gerinim eğrileri gerekmektedir. Daha sonra sonucu gerçeğe yaklaştırmak için malzeme hatalarının tanımlanması gerekmektedir. Ultrases hızı verileri bu noktada çok işe yararmaktadır. Ancak simülasyon yazılımlarının ultrasesi tanımlama opsiyonu bulunmamaktadır. Bu yüzden Öktem (2002)'in yaptığı çalışmada ultrasonik mertebede doğal frekanslar elde edebilmek için verici prob sinüs fonksiyonu şeklinde yerdeğiştirme ile modellenmiştir. Alıcı prob ise, piezoelektrik malzeme özelliği nedeni ile ivmelenmesi ile orantılı olarak voltaj üretir (Bentley 1995). Bu nedenle alıcı prob düğüm noktasındaki yerdeğiştirme hareketinin ikinci türevi alınarak değerlendirmeler yapılmıştır.

Çalışma sonucunda elde edilen test sonuçlarından alınan minimum ve maksimum değerler simülasyon datalarının sisteme girilmesinde kullanılmıştır. Ateş tuğlası 1 nolu örnek numunenin x-x yönündeki bilgisayar simülasyonu yapıldığında şekil 4.7'deki görüntü elde edilmiştir. Bu görüntüde;

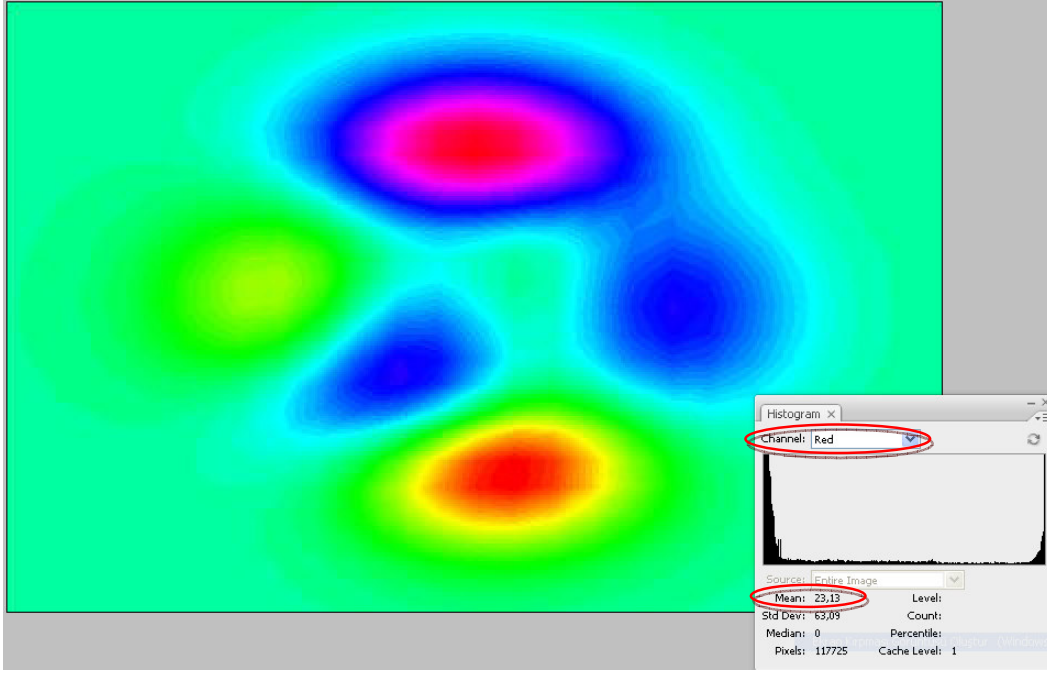


temsil etmektedir. Böylece bilgisayar tarafından elde edilen bu görüntülerde kırmızı, sarı ve yeşil bölgelere negatif puan verilirken turkuaz nötr, mavi bölgelere olumlu puan verilerek tüm alanın hata haritasının puanlamasından ürünün kaliteli olup olmadığı hakkında bilgiye ulaşılmaktadır. Bu sayede aynı durabilite özelliklerinde olduğu gibi ürünler sınıflandırılması mümkün olabilecektir.



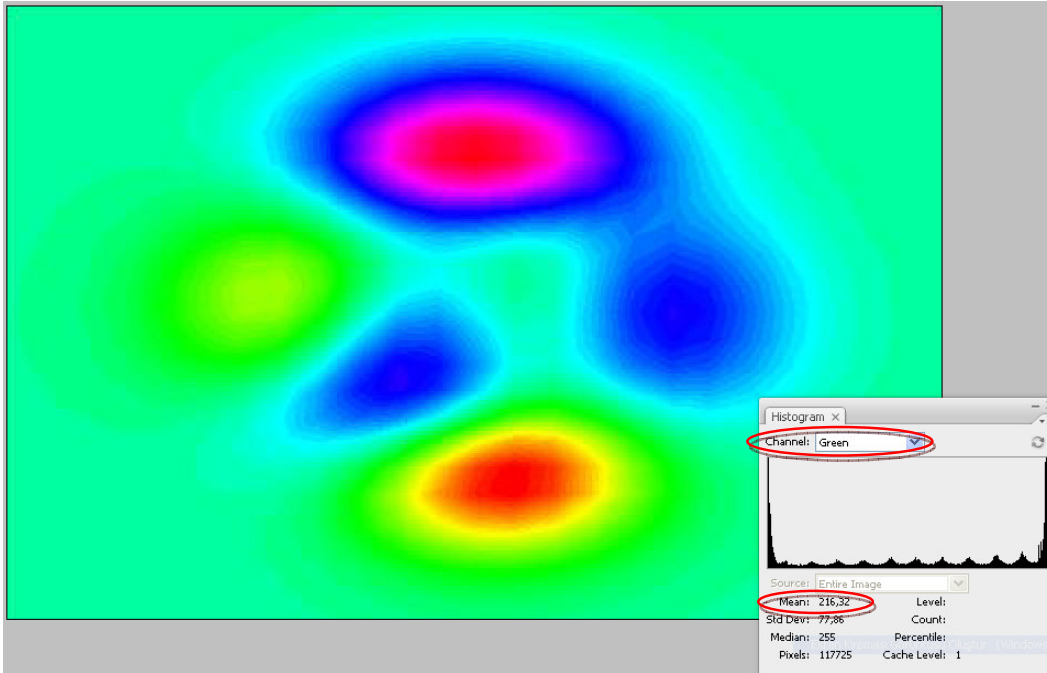
Şekil 4.7. 1 nolu ateş tuğlası simülasyon görüntüsü.

Kırmızı bölge için histogram bilgisi (Şekil 4.8);



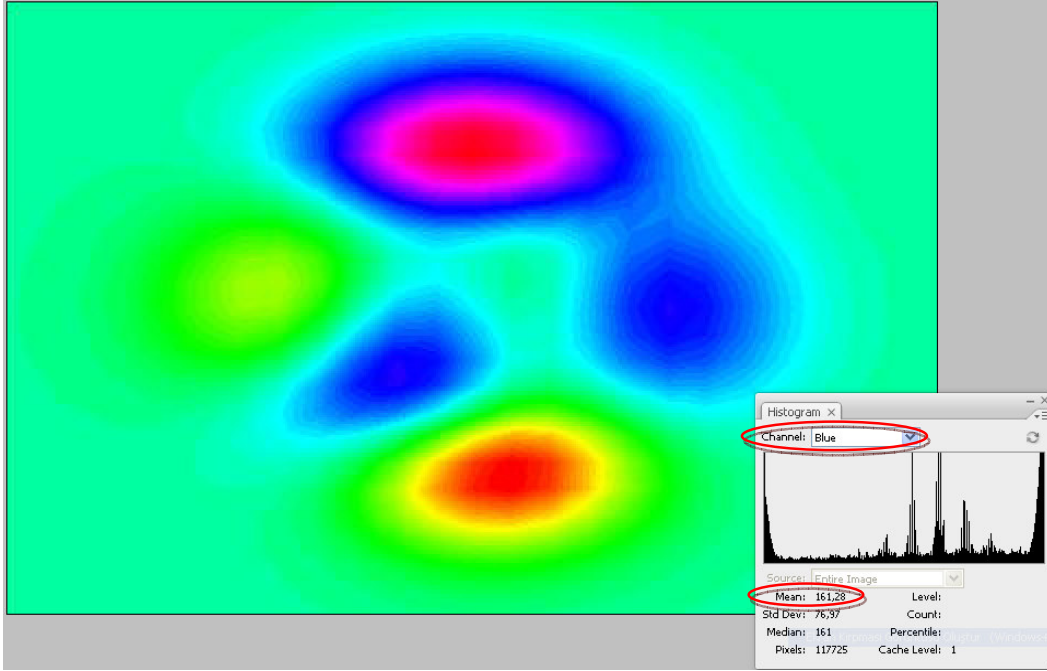
Şekil 4.8. 1 nolu ateş tuğlası kırmızı bölge için histogram görüntüsü.

Yeşil bölge için histogram bilgisi (Şekil 4.9);



Şekil 4.9. 1 nolu ateş tuğlası yeşil bölge için histogram görüntüsü.

Mavi bölge için histogram bilgisi (Şekil 4.10);



Şekil 4.10. 1 nolu ateş tuğlası mavi bölge için histogram görüntüsü.

Sonuç olarak; mavi piksellerin toplamı kırmızı piksellerden fazla olduğundan (161.28>23.13) numune sağlam olduğu kanaatine varılmaktadır. Zaten yapılan fiziksel ve mekaniksel deney sonuçlarında elde edilen durabilite değerleriyle paralellik göstermektedir.

Fabrika ortamında konveyör bantlar üzerine kurulacak lazerli ultrases cihazlarıyla kontrolü yapılan ürünlerin sağlam olanları paketlemeye giderken, zayıf olanları da kırıcılara gönderilerek 0.5 mm altına öğütülerek geri dönüşüm sağlanarak tekrar üretim sistemine dâhil edilebilecektir. Emrulloğlu v.d. (2004) tuğla kırıklarının tekrar kullanılabilirliği üzerine yaptığı çalışmada ikinci bir kez sinterlemeden dolayı olumlu sonuçlar alınmıştır.

4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada ilk olarak çeşitli tiplerde tuğla-kiremit numunelerinin ultrases cihazı yardımıyla darbe-yankı (Puls-eko) metodu kullanılarak bir uçtan diğer uca olan genlikleri her noktada ölçülmüştür. Ancak delikli olan yüzeylerde transduserin tam teması sağlanamadığından bu yüzeylerde ölçüm alınmamıştır. Tuğla ve kiremitlerin yüzeylerindeki küçük girinti çıkıntıları (< 1 mm) yok etmek ve dalga iletimini mümkün kılmak için kuplaj (gres yağı) tabakası oluşturulmuştur.

Çalışmada kullanılan numunelere mineralojik, fiziksel ve mekanik testler uygulanmıştır. Her tip tuğla ve kiremitte ilişkin sonuçlar özetlenecek olursa;

Selko marka ateş tuğlasının kuvars, müllit ve kristobolit fazlarını içerdiği, toplam porozite değerlerinin %14,89–17,37, bulk yoğunluğu değerlerinin 2,072 – 2,134 gr/cm³, görünür yoğunluk değerlerinin 2,386 – 2,476 gr/cm³ ve su emme değerlerinin ise %5,15– 7,86 arasında değiştiği görülmüştür. Ateş tuğlası numunelerine uygulanan mekaniksel ve tahribatsız ultrases hızı deneyleri sonucunda ise; basma dayanımı değerlerinin 16,86– 33,58 kg/cm², üç nokta eğilme dayanımı değerlerinin 13,86– 16,50 kg/cm² ve ultrases hızı değerlerinin ise 2811- 3326 m/s arasında değiştiği görülmüştür.

Başak marka taban pres tuğlasının kuvars ve anortit fazlarını içerdiği, toplam porozite değerlerinin %15,43 – 24,44, bulk yoğunluğu değerlerinin 1,980– 2,072 gr/cm³, görünür yoğunluk değerlerinin 2,391 - 2,553 gr/cm³ ve su emme değerlerinin ise % 6,44–11,33 arasında değiştiği görülmüştür. Taban tuğlası numunelerine uygulanan mekaniksel ve tahribatsız ultrases hızı deneyleri sonucunda ise; basma dayanımı değerlerinin 1,08–3,63 kg/cm², üç nokta eğilme dayanımı değerlerinin 9,62-18,48 kg/cm² ve ultrases hızı değerlerinin ise 3508- 4165 m/s arasında değiştiği görülmüştür.

Başak marka delikli pres tuğlasının kuvars, kordiyerit ve anortit fazlarını içerdiği, toplam porozite değerlerinin %24,39 –27,97, bulk yoğunluğu değerlerinin 1,851– 1,905 gr/cm³, görünür yoğunluk değerlerinin 2,420 – 2,504 gr/cm³ ve su emme değerlerinin ise %11,76-14,02 arasında değiştiği görülmüştür. Delikli pres tuğlası numunelerine

uygulanan mekaniksel ve tahribatsız ultrases hızı deneyleri sonucunda ise; basma dayanımı değerlerinin $2,88 - 18,93 \text{ kg/cm}^2$, üç nokta eğilme dayanımı değerlerinin $5,15 - 7,81 \text{ kg/cm}^2$ ve ultrases hızı değerlerinin ise $2264 - 2920 \text{ m/s}$ arasında değiştiği görülmüştür.

Kral marka 8,5'lük blok tuğlasının kuvars, muskovit, gehlenit ve feldspat fazlarını içerdiği, toplam porozite değerlerinin $\%31,96 - 34,40$, bulk yoğunluğu değerlerinin $1,788-1,851 \text{ gr/cm}^3$, görünür yoğunluk değerlerinin $2,621-2,714 \text{ gr/cm}^3$ ve su emme değerlerinin ise $\%16,00-18,70$ arasında değiştiği görülmüştür. 8,5'lük blok tuğlası numunelerine uygulanan mekaniksel ve tahribatsız ultrases hızı deneyleri sonucunda ise; basma dayanımı değerlerinin: $1,06-6,24 \text{ kg/cm}^2$ ve ultrases hızı değerlerinin ise $1822-2705 \text{ m/s}$ arasında değiştiği görülmüştür.

Kral marka izo tuğlasının kuvars, muskovit, gehlenit ve feldspat fazlarını içerdiği, toplam porozite değerlerinin $\%33,38 - 38,96$, bulk yoğunluğu değerlerinin $1,794-1,852 \text{ gr/cm}^3$, görünür yoğunluk değerlerinin $2,687- 2,841 \text{ gr/cm}^3$ ve su emme değerlerinin ise $\%16,77- 20,53$ arasında değiştiği görülmüştür. İzotuğlası numunelerine uygulanan mekaniksel ve tahribatsız ultrases hızı deneyleri sonucunda ise; basma dayanımı değerlerinin $1,00-3,43 \text{ kg/cm}^2$ ve ultrases hızı değerlerinin ise $714 - 877 \text{ m/s}$ arasında değiştiği görülmüştür.

Özat marka marsilya kiremidinin kuvars, anortit, kristobalit ve diopsit fazlarını içerdiği, toplam porozite değerlerinin $\%24,76-28,73$, bulk yoğunluğu değerlerinin $2,005- 2,107 \text{ gr/cm}^3$, görünür yoğunluk değerlerinin $2,692-2,842 \text{ gr/cm}^3$ ve su emme değerlerinin ise $\%8,06 - 11,89$ arasında değiştiği görülmüştür. Marsilya kiremidi numunelerine uygulanan mekaniksel ve tahribatsız ultrases hızı deneyleri sonucunda ise; üç nokta eğilme dayanımı değerlerinin $2,40- 5,10 \text{ kg/cm}^2$, ultrases hızı değerlerinin $1765-1960 \text{ m/s}$ arasında değiştiği görülmüştür.

Numunelerin durabilite sonuçları ile simülasyon sonuçları karşılaştırıldığında birbiriyle uyumlu olduğu görülmüştür. Bu sonuçtan hareketle istenirse tüm ürünlerin fiziksel ve mekanik testlere yapılmaksızın sadece lazerli ultrases cihazı ve bilgisayar yazılımları

yardımıyla çok kısa sürede kaliteleri belirlenebilecek, sınıflandırılabilir ve bozuk ürünler ayrılabilir. Çeşitli kalitelere ayrılmış ürünler paketlemeye giderken, bozuk ürünlerin kırıcılarda kırıldıktan sonra üretime geri dönüşümü sağlanacaktır.

Tesislerde ürün bantları üzerine monte edilecek lazerli ultrases cihazı ve bilgisayar yazılımları yardımıyla fabrikaların ürün kalite kontrolleri çok hızlı, seri ve doğru bir şekilde yapılması sağlanacak bu sayede firmaların piyasaya sürdüğü ürünlerin kalite güvencesine kavuşacaktır.

Avrupa Birliğine giriş aşamasında olan ülkemizde standartlara uygun ürünlerin üretilmesi, bunu üretenlerin ürünlerini pazara verebilecekleri, standart dışı üretim yapan fabrikaların ürünlerini satamayacakları dikkate alındığında kalite kontrol ve standardizasyon işlemlerinin önemi daha iyi anlaşılacaktır.

KAYNAKLAR

- Aharoni, R., 1999, "Ultrasonic Inspection of Spot Welds", 1. Uluslararası Tahribatsız Muayene Sempozyumu ve Sergisi, Ankara, 29 Eylül - 1 Ekim, 137-143.
- Akman, M.S., 1984, "Betonun istatistiksel değerlendirilmesinde Kavramlar, Kabul-Red Kriterleri, Tahribatsız Denetimin İstatistiksel Yaklaşımında Yeri", Beton Semineri, DSİ Basım, Ankara, 6-10 Şubat, 211-230.
- Akman, M.S., 1990, "Yapı Malzemeleri", İTÜ Kütüphanesi, 2. Baskı, No.1408, İstanbul.
- Aktaş, Y.D., 2006, "Technological Characteristics of A Brick Masonry Structure and Their Relationship With The Structural Behaviour", Yüksek Lisans Tezi, Ortadoğu Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Aygün, H. and Akar, E., 2003, "Ultrasonic Testing of Mechanical Properties of Ceramic and Composite Materials", 2. Uluslararası Tahribatsız Muayene Sempozyumu ve Sergisi, Yeditepe Üniversitesi, İstanbul, 9-11 Ekim.

- Baradan, B., 2002, "Betonarme Yapılarda Kalıcılık (Durabilite)", Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Basım Ünitesi, İzmir.
- Baradan, B., 2003, "İnşaat Mühendisleri İçin Malzeme Bilgisi", Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Basım Ünitesi, İzmir.
- Bengisu, M., 2006, "Seramik Bilimi ve Mühendisliği", Nobel Yayın Dağıtım, 1. Basım, Ankara.
- Bentley, J.P., 1995, "Principles of Measurement Systems", Longman Scientific and Technical, USA.
- Bhardwaj, M.C., 2000, "High transduction Piezoelectric Transducers and Introduction of Non-Contact Analysis", Ultrason Laboratories Inc., USA.
- Bilge, A.N., 2003, "Türkiye'de Tahribatsız Muayene Uygulamaları", 2. Uluslararası Tahribatsız Muayene Sempozyumu ve Sergisi, Yeditepe Üniversitesi, İstanbul, 9-11 Ekim.
- Blitz, J. and Simpson, G., 1996, "Ultrasonic Methods of Non-Destructive Testing", Chapman&Hall, 1. Edition, London, UK.
- Büyükyıldırım, G. and Bilge, A.N., 2003, "Pod Probability of Detection of Discontinuities and Defects in NDT", 2. Uluslararası Tahribatsız Muayene Sempozyumu ve Sergisi, Yeditepe Üniversitesi, İstanbul, 9-11 Ekim.
- Cultrone, G., Sebastian E., Torre, M.J., 2005, "Mineralogical and Physical Behaviour of Solid Bricks With Additives", Construction and Building Materials, Vol.19, 39-48.
- Cultrone, G., Sebastian, E., Cazalla, O., Nechar, M., Romero, R., Bagur, M.G., 2000, "Ultrasound and Mechanical Tests Combined With ANOVA to Evaluate Brick Quality", Ceramics International, Vol.27, 401-406.
- Deniz, A., 2005, "Alümina Seramiklerinde Tanecik Boyutunun Ultrases İle Belirlenmesi", Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyonkarahisar.

- Doğan, M., Deniz, A., Emrullahoğlu, B., 2004, “Alümina Seramiklerinde Tanecik Boyutunun Ultrases İle Belirlenmesi”, Türk Fizik Derneği, 22. Fizik Kongresi, 14-17 Eylül 2004, Bodrum-Muğla.
- DPT, 2000, “Taş ve Toprağa Dayalı Ürünler Sanayii Özel İhtisas Komisyonu Raporu (Tuğla-Kiremit, Prefabrik Yapı Elemanları)”, Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı, Ankara.
- Ekinci, Ş., Yıldırım, A., Sarıçam, S., Ataş, A., 2003, “Characterization of Sintered Metallic Materials Via Ultrasound”, 2. Uluslararası Tahribatsız Muayene Sempozyumu ve Sergisi, Yeditepe Üniversitesi, İstanbul, 9-11 Ekim.
- Erdal, M., 2002, “Beton Basınç Dayanımının Bazı Tahribatsız Test Yöntemleriyle Belirlenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Erdoğan, T.Y., 2003, “Beton”, ODTÜ Geliştirme Vakfı Yayıncılık ve İletişim A.Ş. Yayını, 1.Baskı, Ankara.
- Gülmez, S., 2005, “Antik Yapılarda Kullanılan İnşaat Malzemeleri ve Bu Malzemelerin Özelliklerinin Mineralojik, Petrografik, Kimyasal, Fiziksel, Mekanik ve Tahribatsız Deney Yöntemleri Kullanılarak Saptanması”, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Gür, C.H., 1999, “Tahribatsız Tekniklerin Malzeme Özelliklerinin Belirlenmesindeki Yeri”, 1. Uluslararası Tahribatsız Muayene Sempozyumu ve Sergisi, Ankara, 29 Eylül - 1 Ekim, 357-372.
- Gür, C.H., 1999, “Türkiye’de Tahribatsız Muayenenin Gelişimi ve Metalurji Mühendisleri Odası Tahribatsız Muayene Komisyonu”, 1. Uluslararası Tahribatsız Muayene Sempozyumu ve Sergisi, Ankara, 29 Eylül - 1 Ekim, 3-14.
- Halmshaw, R., 1991, “Non-Destructive Testing”, Hodder Headline PLC, 2. Edition, London, UK.
- Hearmon, R.F.S., 1981, “Temperature dependence of the elastic constants of aluminium”, Solid State Communications, vol.37, 915-918.

- Ihang, K.J, Kim, K.C., 1999, "Evaluation of Material Degradation Using Nonlinear Acoustic Effect", Ultrasonics, vol.37, 39-44.
- Ilıcan, S., 1995, "Ultraseler ile Betonun Bazı Fiziksel Özelliklerinin Tayini", Yüksek Lisans Tezi, Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- Jeppesen, L., Olsen, H.O., Hansen, P.B., 1999, "Applications For Automated Ultrasonic Examination", 1. Uluslararası Tahribatsız Muayene Sempozyumu ve Sergisi, Ankara, 29 Eylül - 1 Ekim, 73-82.
- Kak, A.C., Dines, K.A., 1978, "Signal Processing of Broadband Pulsed Ultrasound: Measurement of Attenuation of Soft Biological Tissues", IEEE Transactions on Biomedical Engineering 25, 321.
- Kayrak, M.A., 2001, "Uçak Bakımında Tahribatsız Kontrol Yöntemleri", Anadolu Üniversitesi, Sivil Havacılık Yüksekokulu Yayınları, Eskişehir.
- Köktürk, U., 1997, "Endüstriyel Hammaddeler", Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Basım Ünitesi, 3. Baskı, İzmir.
- Kundu, T., 2004, "Ultrasonic Nondestructive Evaluation", CRC Press, 1. Edition, Danvers, USA.
- Mahmutyazıcıoğlu, N., 1999, "2000'li Yıllara Girerken Tahribatsız Muayene Faaliyetlerinin Ülkemizde ve Dünyadaki Durumu", 1. Uluslararası Tahribatsız Muayene Sempozyumu ve Sergisi, Ankara, 29 Eylül - 1 Ekim, 15-17.
- Mbumbia, L., Wilmar, A.M., Tirlocq, J., 2000, "Performance Characteristics of Lateritic Soil Bricks Fired at Low Temperatures: A Case Study of Cameroon", Construction and Building Materials, Vol.14, 121-131.
- Öktem, H.F., 2002, "Ultrasonik Tahribatsız Muayene Tekniğinin Sonlu Elemanlar Yöntemi İle İncelenmesi", Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Özdemir, T., 2005, "Bor Karbür Esaslı Seramik Metal Kompozitlerinin Ultraseler Dalga Hız Metodu İle Ortalama Tanecik Boyutlarının Tayini", Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyonkarahisar.

- Petculescu, P., Matei, J., 2004, "Ultrasonics Investigation of n-Si Samples", Journal of Optoelectronics and Advanced Materials, vol.6, 253-260.
- Richerson, D.W., 2006, "Modern Ceramic Engineering: Properties, Processing and Use in Design", Taylor&Francis, Third Edition, New York, USA.
- Sarpün, İ.H., 1998, "Ultras ses ile Mermer Blokların İç Yapısının ve Bazı Fiziksel Özelliklerinin Tayini, Yüksek Lisans Tezi, Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- Sarpün, İ.H., 2004, "Ultras es Yöntemi ile Çeşitli Mermerlerin Ortalama Tanecik Boyutlarının Tayini, Doktora Tezi, Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- Schmerr, L.W., 1998, "Fundamentals of Ultrasonic Nondestructive Evaluation", Plenum Press, 1. Edition, New York, USA.
- Schnitger, D., 1999, "European Federation of NDT (EFNDT)", 1. Uluslararası Tahribatsız Muayene Sempozyumu ve Sergisi, Ankara, 29 Eylül - 1 Ekim, 63-72.
- TS 705, 1985, "Fabrika Tuğlaları-Duvarlar İçin Dolu ve Düşey Delikli", Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 771-1, 2005, "Kâgir Birimler – Özellikler - Bölüm 1: Kil Kâgir Birimler (Tuğlalar)", Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Türkel, E.B., 2002, "Betonda Basınç Dayanımı İle Elastisite Modülü Arasındaki İlişkiler", Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Yaman, C., 1999, "Ultrasonik Hız Ölçme Yöntemiyle Seramik Malzemelerde Özellik Belirlenmesi", 1. Uluslararası Tahribatsız Muayene Sempozyumu ve Sergisi, Ankara, 29 Eylül - 1 Ekim, 381-386.

İnternet Kaynakları;

- 1- <http://www.tukder.org/index.php?Did=18>, TUKDER, “Tuğla ve Kiremit Tarihçesi”, 21.09.2006.
- 2- <http://www.wtndt.metu.edu.tr/NDT2/metot/UT.htm>, ODTÜ, 16.07.2006.
- 3- <http://www.asnt.org>, The American Society for Nondestructive Testing, 16.07.2006.
- 4- <http://www.ansys.com>, ANSYS, 17.07.2006.
- 5- <http://www.matlab.com>, MATLAB, 17.07.2006.
- 6- <http://uzak.mersin.edu.tr/UserFiles/bil/Fiz-118/11.pdf>, Mersin Üniversitesi, Meslek Yüksek Okulu, Fizik Ders Notları, 02.06.2006.