

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**SERAMİKLERDE POROZİTE ORANININ VE
GÖBEKLENMENİN ULTRASONİK HIZA OLAN
ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

Metalurji Mühendisi Aytuğ HACIOĞLU

**F.B.E. Metalurji Mühendisliği Anabilim Dalı Üretim Programında
Hazırlanan**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

106348

Tez Danışmanı: Doç.Dr.Cemalettin YAMAN

Doç.Dr. Cemalettin Yaman *[Signature]*

Prof. Dr. Sabriye Pişkin *[Signature]*

prof Dr. Ahmet Topuz *[Signature]*

İSTANBUL, 2001

**T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
TEZ YÖNETİMİ**

İÇİNDEKİLER

Sayfa

SİMGE LİSTESİ.....	i
ŞEKİL LİSTESİ.....	ii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	iii
ÖNSÖZ.....	iv
ÖZET.....	v
ABSTRACT.....	vi
1. GİRİŞ.....	1
2. HAMMADDELER.....	2
2.1 Kaolin.....	2
2.1.1 Tanım ve sınıflandırma.....	2
2.1.2 Kaolinde kaliteyi belirleyen faktörler.....	3
2.1.2.1 Demir oksitin etkisi.....	3
2.1.2.2 Alkaliler ve alümina.....	3
2.1.2.3 Kükürt trioksit etkisi.....	3
2.1.2.4 Pritin etkisi.....	4
2.1.3 Kil ve kaolin sınıflaması.....	4
2.1.4 Kaolin tüketimi.....	5
2.1.4.1 Tüketim alanları.....	5
2.1.5 Kaolin üretimi.....	6
2.1.5.1 Üretim yöntemi ve teknolojisi.....	6
2.1.6 Ürün standardı.....	6
2.2 Killer.....	7
2.2.1 Killerin sınıflandırılması.....	8
2.2.2 Killerin tüketim alanları.....	9
2.2.3 Killerin üretim teknolojisi.....	11
2.2.4 Killerin ürün standartları.....	12
2.2.5 Tuğla kiremit killeri.....	13
2.2.6 Bağlama killeri.....	14
2.2.6.1 Gri bağlama kili.....	14
2.2.6.2 Kahverengi bağlama kili.....	14
2.2.7 Ateş (şamot, refrakter) killerin oluşumu ve bulunuş şekilleri.....	15
2.2.8 Yüksek alüminalı killer.....	17
2.2.9 Refrakter hammaddelere uygulanan işlemler.....	17
2.2.10 Killerin talep miktarları.....	17
2.2.11 Killerin kullanım yerleri.....	18

	Sayfa
2.3	Yüksek Alüminalı Çimentolar.....19
3.	GÖBEKLENME (SİYAH ÇEKİRDEKLENME).....22
3.1	Göbeklenmenin Oluşumu.....23
3.1.1	Göbeklenmenin kaynağı.....23
3.1.2	Göbeklenme reaksiyonları.....24
3.2	Göbeklenme Oluşumuna Etki Eden Faktörler.....25
3.2.1	Pişmeden önceki faktörler.....25
3.2.1.1	Tane dağılımı.....25
3.2.1.2	Şekillendirme.....25
3.2.1.3	Kalınlık.....27
3.2.1.4	Kurutma.....27
3.2.2	Pişme işlemindeki faktörler.....28
3.2.2.1	Pişme süresi.....28
3.2.2.2	Pişme eğrisi.....28
3.2.2.3	Fırın atmosferi.....29
3.2.2.4	Pişme şekli.....29
3.2.2.5	Fırın iç basıncı.....30
4.	ULTRASONİK MUAYENE.....31
4.1	Ultrasonik Muayenenin Tanımı ve Tercih Nedenleri.....31
4.2	Ultrasonik Dalgaların Özellikleri.....32
4.2.1	Ultrasonik dalganın yayılma çeşitleri.....32
4.2.1.1	Boyuna dalga.....32
4.2.1.2	Enine dalga.....33
4.2.1.3	Yüzeysel dalgalar.....33
4.3	Ultrasonik Ses Dalgalarının Oluşumu.....35
4.3.1	Baryum titanatın yapısı.....37
4.4	Prob Çeşitleri.....39
4.5	Probların Yerleştirme Şekilleri.....39
4.6	Ultrasonik Yöntemle Saptanacak Minimum Hata Boyu.....41
5.	ULTRASONİK HIZ ÖLÇÜM YÖNTEMİYLE REFRAKTERLERE AİT ÖZELLİKLERİN İNCELENMESİ.....43
6.	ULTRASONİK MUAYENENİN SANAYİDEKİ UYGULAMALARI.....48
6.1	Sürgü Plakanın Muayenesi.....48
6.2	Sürekli Döküm Borusunun Muayenesi.....48
6.3	Yüksek Fırın ve Soba Tuğlalarının Muayenesi.....49

	Sayfa
7. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	49
7.1 Şaşırtmalı Delik Yöntemiyle Ultrasonik Hızın İncelenmesi.....	49
7.2 Şaşırtmalı Kanallar Yöntemiyle Ultrasonik Hızın İncelenmesi.....	53
7.3 Değişik Karbon Oranlarına Sahip Refrakter Malzemelerde Ultrasonik Hızın İncelenmesi.....	56
7.4 Değişik Presleme Basıncına Maruz Kalmış Refrakterlerin Ultrasonik Hızının İncelenmesi.....	58
8. SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....	61
KAYNAKLAR.....	63
ÖZGEÇMİŞ.....	66



SİMGE LİSTESİ

C	Organik madde
Al ₂ O ₃	Alümina
BaTiO ₃	Baryum titanat
C ₁₂ A ₇	Oniki kalsiyum yedi alüminat
C ₄ AF	Dört kalsiyum
C ₆ A ₄ F ₃	Altı kalsiyum dört alüminat
CA	Kalsiyum Alüminat
CaCO ₃	Kalsiyum karbonat
CaO	Kalsiyum oksit
CO ₂	Karbon dioksit
Fe ₂ O ₃	Hematit
FeO	Demiroksit
K ₂ O	Potasyum oksit
MgO	Magnezyum oksit
Na ₂ O	Sodyum oksit
SiO ₂	Silisyum dioksit
SO ₃	Kükürt trioksit
TiO ₂	Titanyum dioksit

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1	Refrakter üretim akış şeması.....	18
Şekil 3.1	Kabakuma bağlı olarak su emmenin değişimi.....	25
Şekil 3.2	Göbeklenme,su emme ve basma dayanımı arasındaki ilişki.....	26
Şekil 3.3	Kalınlığa bağlı olarak göbeklenmenin değişimi.....	27
Şekil 3.4	Bünyesinde fiziksel su bulunan kilin DTA eğrisi.....	28
Şekil 3.5	Pişme şeklinin etkisi.....	30
Şekil 4.1	BaTiO ₃ 'ün sahip olduğu piezo elektrik etkinin şematik gösteriliş.....	35
Şekil 4.2	BaTiO ₃ 'ün kafes yapısı.....	38
Şekil 4.3	Probları direkt yerleştirme yöntemi.....	40
Şekil 4.4	Probların diğer direkt yerleştirme yöntemi.....	40
Şekil 4.5	Probların endirekt yerleştirme yöntemi.....	40
Şekil 5.1	İki değişik yönden preslenmiş ateş tuğlası.....	44
Şekil 5.2	Basma dayanımı ile sıcaklık arasındaki ilişki.....	46
Şekil 5.3	Ultrasonik hız ile sıcaklık arasındaki ilişki.....	47
Şekil 5.4	Şekillendirme suyu oranının ultrasonik hıza etkisi.....	47
Şekil 7.1	Delik çapı ile ultrasonik hız arasındaki ilişki.....	50
Şekil 7.2	Hacimce yüzde küçülme ile ultrasonik hız arasındaki ilişki.....	51
Şekil 7.3	Ahşap malzeme üzerine delinen deliklerin yerleşme şekli.....	51
Şekil 7.4	Şaşırtmalı olarak delinmiş ahşap malzemedeki ultrasonik dalgaların ilerlemesi.....	52
Şekil 7.5	Şaşırtmalı kanalla ultrasonik hız ölçümünde kullanılan numunenin görünüşü.....	53
Şekil 7.6	Kanal derinliğine bağlı olarak ultrasonik hızdaki değişim.....	54
Şekil 7.7	Şaşırtmalı kanal yöntemi ile ultrasonik hız ölçümünde kullanılan 2.tip deney numunesi.....	54
Şekil 7.8	Kanal numarasına göre ultrasonik hızdaki değişim.....	55
Şekil 7.9	Göbeklenmiş numune örneği.....	55
Şekil 7.10	Killerle yapılan deneylerde elde edilen hız değişimi.....	58
Şekil 7.11	Ateş kili ve yüksek alüminalı çimento ile yapılan deneylerde elde edilen ultrasonik hız değişimi.....	58
Şekil 7.12	Konik şekilli refrakter tuğlanın presleme yönü.....	59
Şekil 7.13	Değişik presleme basıncına maruz kalmış parçadaki ultrasonik hız değişimi.....	60

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 2.1	Killerin kristal yapılarına göre sınıflandırılması.....	4
Çizelge 2.2	Dünya kullanım alanlarına göre kaolin tüketim oranla	6
Çizelge 2.3	Çeşitli sektörlerle göre kaolinde istenen ürün standartları.....	7
Çizelge 2.4	Kil minerallerinin sınıflaması.....	9
Çizelge 2.5	Çeşitli kil minerallerinin kimyasal bileşimleri.....	9
Çizelge 2.6	Ülkemizdeki refrakter malzeme kullanımının sanayi kollarına göre dağılımı.....	10
Çizelge 2.7	Killerin çeşitli kimyasal bileşenlerinin yüzde oranları.....	12
Çizelge 2.8	Şiferton hammaddesinde bulunan bileşiklerin yüzde oranları.....	16
Çizelge 2.9	Değişik ülkelerde üretilen yüksek alüminalı çimentoların tipik bileşimleri.....	20
Çizelge 2.10	Çeşitli kalsiyum alüminat çimentolarının kimyasal bileşimleri.....	21
Çizelge 4.1	Seramiklerde ve çeliklerde frekans, ultrasonik hız ve minimum hata boyu arasındaki ilişki.....	42
Çizelge 5.1	Enlemesine ve boylamasına doğrultuda preslenmiş ateş tuğlası üzerinde yapılan ultrasonik hız ölçüm sonuçları.....	44
Çizelge 5.2	Ultrasonik hız ile eğme dayanımlarının karşılaştırılması	45
Çizelge 5.3	Yüksek alüminalı çimento ile yapılan çalışmalarda elde edilen deney sonuçları.....	45
Çizelge 5.4	Secar51 ile yapılan deney sonuçları.....	46
Çizelge 7.1	Ahşap malzemede her delik çapı için ölçülen hız değerleri.....	50
Çizelge 7.2	Şaşırtmalı kanal yöntemiyle yapılan ultrasonik muayene ölçümlerinde elde edilen sonuçlar.....	53
Çizelge 7.3	2.tip deney numunesi ile yapılan ölçüm sonuçları.....	55
Çizelge 7.4	Deney hammaddelerinin kimyasal analizi.....	56
Çizelge 7.5	Kil ile yapılan çalışmada elde edilen sonuçlar.....	57
Çizelge 7.6	Ateş kili numuneleri ile yapılan ultrasonik hız ölçümleri.....	57
Çizelge 7.7	Süper A.Ş.'de yapılan ölçüm sonuçları.....	60

ÖNSÖZ

“Seramiklerde Porozite Oranının ve Göbeklenmenin Ultrasonik Hıza Olan Etkisinin İncelenmesi” konulu çalışmam sırasında bana her türlü desteği veren ve yardımlarını esirgemeyen değerli Hocam Sayın Doç.Dr.Cemalettin YAMAN’a teşekkürü bir borç bilirim.

Ayrıca çalışmam sırasında desteğini esirgemeyen Süperateş A.Ş.’ye de teşekkürlerimi sunarım.

İstanbul, 2001

Aytuğ HACIOĞLU



ÖZET

Deneysel çalışmalarda hammadde olarak kil, ateş kili ve odun kömürü kullanılmıştır. Kil, ateş kili ve odun kömürü kırılıp öğütülmüştür. Kil ve ateş kiline değişik oranlarda odun kömürü katılarak, plastik kıvama gelinceye kadar su katılmıştır. Daha sonra numuneler 20x20x80mm ebatında ki kalıplara dökülmüştür. Numuneler 800-1200°C sıcaklıklarında pişirilmiş ve her pişirme işleminden sonra ultrasonik hız ölçümü yapılmıştır. Çalışmalarda 55kHz frekanslı bir ultrasonik ölçüm cihazı kullanılmıştır.

Göbeklenme (siyah çekirdeklenme), parçada hacimce ciddi bir değişme meydana getirmediği halde ultrasonik hızı önemli şekilde düşürmektedir. Bunu, levhalı kil tanelerini birbirinden çok küçük aralıklarla da olsa ayırdığı ve porozite oluşturduğu düşünülmektedir.

Seramik malzemelere delik delmek ve bu delikleri kademeli olarak büyütme zordur. Bu yüzden seramiklerde porozitenin ultrasonik hızı olan etkisini incelemek amacıyla ahşap malzemeye belirli düzende delikler delinmiş ve bunlar kademeli olarak büyütülmüştür her delik büyütme kademsinden önce ultrasonik hız ölçümü yapılmıştır.

Presleme basıncı, yoğunluğu etkiler karışık şekilli tuğlaların preslemsinde basınç dağılımı heterojendir ve buna bağlı olarak ultrasonik hızda preslem basıncına paralel olarak değişme gösterecektir.

Anahtar kelimeler:Ultrasonik hız, porozite, göbeklenme, presleme basıncı, kil ve ateş kili.

ABSTRACT

In the experimental studies for checking the ultrasonic velocity equipment with an 55kHz is used and as resources, clay and fireclay are used. The samples have been casted to 20x20x80 milimeters moulds. These samples are grouped into categories and heated between 800°C and 1200°C and after each heating step, ultrasonic velocity is measured.

Organic materials caused a porosity on ceramic equipments and this porosity causes a negative effect on the physical properties of the equipment.

It's hard to having a hole and increasing the sizes of these holes in ceramic metarials. Because of this reason, timber is used in ceramic in other to measure the effects of ultrasonic velocity to the porosity. By opening holes and canals on the timber, we saw that in our experiments by decrease in percentage volume. There is a decrease again in the ultrasonic velocity.

Keywords: Ultrasonic velocity, porosity, blackcore, crushed presure, clay and firecalay.



1. GİRİŞ

Günümüzdeki kalite anlayışı açısından sadece üretmek yeterli değildir. Güvenilir, kaliteli, çevre ile dost ve rekabet edilebilir maliyetlerde üretimi gerçekleştirmek gerekmektedir.

Geçtiğimiz yüzyılın ikinci yarısından itibaren tüketicilerin beklentilerinin artması ve koşulların ağırlaşması, yeni üretim tekniklerinin ve kalite politikalarının geliştirilmesi zorunluluğunu ortaya koymuştur. Serbest piyasa ekonomisindeki rekabet tüm hızıyla devam ettiğinden firmalar ihtiyaçlara cevap verebilmek amacıyla sadece üretimi değil sürekli gelişen ve güvenilir ürünleri üretmek için çaba sarfetmedirler. Bu yeni anlayış çerçevesinde Avrupa Birliği'ne aday olan ülkemiz açısından da başta belirttiğimiz kalite stratejilerini oluşturma mecburiyeti doğmuştur. Bunu sonucunda vasıflı elmanın yetişmesi, cihaz ve ekipmanın sağlanması Avrupa normlarına göre gerçekleştirme zorunluluğu ortaya çıkmıştır.

Kalite güvence modellerinin oluşmasıyla üründe, tesiste ve son muayene ve deneyde tahribatsız muayene yöntemlerinin önemi artmıştır. Dünyadaki bu değişimlere paralel olarak ülkemiz de geç de olsa bu konuyla ilgili çalışmaları yürütmeye başlamıştır.

Tahribatsız muayene yöntemleri içersinde, kullanımındaki kolaylık, ekipmanlarının portatif olması gibi sebeplerden dolayı ultrasonik muayene yöntemlerinin sanayide kullanım alanları gün geçtikçe artmaktadır.

Ultrasonik muayene yöntemleri, seramik sektöründe de özellikle refrakterler malzemelerin muayenesinde geniş bir kullanım alanına sahiptir. Refrakter malzemenin, mukavemet, gözeneklilik, göbeklenme, yüzde su oranı gibi özellikleri ultrasonik hız ölçümü ile tespit edilebilmektedir.

Seramik üretiminde karşı karşıya kaldığımız önemli problemlerden biride göbeklenmedir. Yer karosu fayans ve benzeri seramikleri üretirken hammaddeden gelen karbon ve diğer organik maddeler şişmeye neden olmaktadır, bu şişme mukavemet ve darbe direncinin azalması şeklinde olabileceği gibi aynı zaman da şişme sonucunda, boyutlarda meydana gelecek büyüme parçanın ıskartaya çıkmasına neden olmaktadır.

Ultrasonik yöntemle tahribatsız olarak çok sayıda parça üzerinde deney yaparak göbeklenmenin derecesi saptanabilir, eğer tehlike limitlerinin üzerinde ise parçalar ıskartaya atılarak sonra gelişecek proses aşamaları için önlem alınır, bu da toplam kalitenin zamanın da ve daha düşük maliyetlerde oluşturulmasına olanak sağlar.

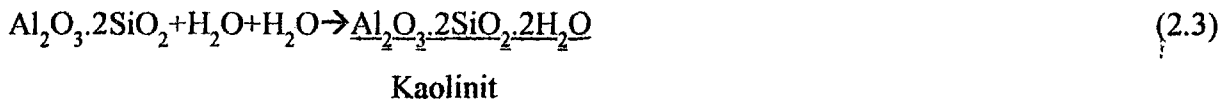
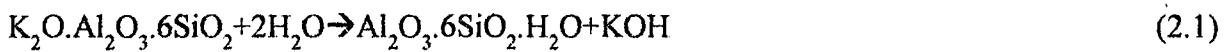
2. HAMMADDELER

2.1 Kaolin

2.1.1 Tanım ve sınıflandırma

Kaolin hammaddesini oluşturan en önemli mineral kaolinit olup alüminyum hidrosilikat bileşimli bir kil mineralidir. Kristal yapılarına göre yapılan kil sınıflandırmalarında, eş boyutlu ve bir yönde uzamış olanlar kaolinit grubu olarak diğerlerinden ayrılırlar (DPT, 1991).

Oluşum itibarıyla, feldspat içeren granitik kayaların feldspatlarının adepte olarak kaolinit mineraline dönüşmesi sonucu kaolinler oluşmaktadır. Ana kayaç içindeki alkali ve toprak alkali iyonların, çözünür tuzlar şeklinde ortamdan uzaklaşması sonucu Al_2O_3 içerikli sulu silikatça zenginleşen (2.3) eşitliğinde görüldüğü gibi kaoliniti oluşturur (Tanışan, 1988).



Bu oluşum modeline göre adapte olan ana kayacın taşınmadan yerinde kalması sonucu kaolinit yatakları oluşur. Ana kayaçların bozunma öncesi taşınıp, taşındıktan sonra depolanması veya bozunma sonucu taşınıp sedimanter yataklarda depolanması sonucu kaolinit bileşimli kil yatakları oluşur.

2.1.2 Kaolinde kaliteyi belirleyen faktörler

Ana kayaç veya granitler içinde kaolinleşmeyi sağlayan sular, ana kayaç parçacıkları ile birlikte silikat bünyesinde olan SiO_2 , K^+ , Na^+ , Fe_2O_3 , S, CaO, MgO kısmen orijinal bünyeden uzaklaştırılmakta yada suların tesiri sonucu çeşitli bileşenlere dönüşmektedir. SiO_2 , silika, orijinal kayaç bünyesinde belirli kısmı Al_2O_3 ile birleşerek kaoliniti meydana getirmekte, fazlası ise dışarıya atılmaktadır.

Kaolinleşmeyi sağlayan suların dışarıya atılması sırasında silisin belirli bir kısmı cevherleşme yüzeyinde demirli-silisli kabuk halinde kalmaktadır. Dışarıya atılamayanlar ise cevherleşme içinde serbest silis taneleri şeklinde veya kaolinleşme içinde silis bantları şeklinde kalmaktadır. Kaliteyi belirleyen en önemli unsurlardan olan silislerin bünyeden yoğun olarak atılması halinde kaliteli kaolin cevheri meydana gelmektedir. İçinde serbest silis tanesi olarak kalan kaolinler ise, daha kolay ayrıştırılabildiğinden süzülebilir kaolin niteliği kazanmaktadır (DPT, 1991).

2.1.2.1 Demir oksitin etkisi (Fe_2O_3)

Orijinal bünyede yer alan demirin kaolin içinde olmaması istenilen en önemli kriterden biridir. Ancak kimyasal işlem sırasında demirin belirli bir kısmı kaolinleşme sırasında uzaklaştırılmadan kalmaktadır (Tanışan, 1988).

2.1.2.2 Alkaliler ve alümina (Al_2O_3)

Kaolin oluşunda belirtilen feldspatların bozunması sonucu kaolinleşme olmaktadır. Feldspat ve albit ne kadar fazla bozunursa, ortamdan o kadar fazla K_2O ve/veya Na_2O atılmaktadır. Ortamdan uzaklaştırılması ne kadar fazla olursa, kaolinleşmeyi belirleyen Al_2O_3 oranını o kadar artacaktır (Tanışan, 1988).

2.1.2.3 Kükürt trioksit etkisi (SO_3)

Kaolinleşmeyi sağlayan kimyasal işlem sırasında ortamda elementel S varsa pişme sırasında Kükürt Trioksit oluşur, oda sıcaklığında su ile birlikte sülfürik asit oluşacaktır. Bu da ateş zahiyatının fazla çıkmasını sebep olmaktadır (Tanışan, 1988).

2.1.2.4 Piritin etkisi (FeS_2)

Kaolinleşme işlemi sırasında Fe açığa çıkması ve ortamdaki S ile birleşmesi sonucu bazen demir sülfür bileşiği olan piritler saçılmış halde kaolinleşme içinde taban ve yan gözükmektedir.

Ortamda K atılımı olması halinde SO_4 'ün belirli kısmı kalacağı için kaolinlerde alunit olması (maksimum % 0.5'e kadar SO_4) normal sayılmakta olup, SO_4 'ün tamamının ortamdan atılmadığını göstermektedir (Tanışan, 1988).

2.1.3 Kil ve kaolin sınıflaması

Killer, kimyasal özelliklerine göre çeşitli sınıflamalara ayrılmıştır. Çizelge 2.1'de bu ayırım grup, cins ve tabaka olarak ayrılmıştır.

Çizelge 2.1 Killerin kristal yapılarına göre sınıflandırılması (Arcasoy, 1983)

Tabaka	Grup	Cins
2 Tabakalı olanlar	Kaolinit Grubu a) Eş boyutlu olanlar b) Bir yönde uzamış olanlar	Kaolinit, Dikit Halloysit
3 Tabakalı olanlar	Smektit Grubu İllit Grubu Vermikülit Grubu	Montmorillonit Bediellit, İllit Vermikülit
4 Tabakalı olanlar	Klorit Grubu	Klorit

Kil sınıflama tablosundan anlaşılabileceği gibi kaolinit, bir kil minerali olup, 2 tabakalı ve eş boyutlu özelliğinden dolayı diğer kil minerallerinden ayrılmaktadır. Bu ayrılma kristal yapısı dikkate alınarak yapılan bir mineralojik sınıflamadır. Fiziksel özellikleri ve bulunduğu ortam şartı nedeniyle kaolinleşme, orijinal ana kayacın alterasyon (bozunma) işleminin yerinde gerçekleşmesiyle oluşan cevherleşmedir. Yani bir kaolin yatağını bir kil yatağından ayıran en önemli fiziksel faktör, cevherleşme ile orijinal kayacın aynı yerde olmasıdır. Kil yatakları ise taşınarak depolanmış yataklardır. İster kaolin yatağında ister kil yatağında ana mineral kaolinit olması halinde, kaolin olarak sınıflandırılabilir. Kil yatağında orijinal birincil

mineralin başka mineral olması halinde kaolinden ayrılarak halloysit, illitik kil, vb. gibi isimlerle orijinal kaynaktan itibaren ayrılmaktadır.

Depolanma farkından dolayı, kaolinleşme ile orijinal mineralleri kaolinitten oluşan kil yatağı arasında kaolinit minerallerinde de bazı küçük farklılıklar olmaktadır. Bunlar; kaolinlerdeki mineraller primer olduğu için içindeki yabancı maddelerin kil yatağından daha az olması nedeniyle görünüşleri daha beyaz ve pişme renkleri daha beyazdır. Primer kaolin yatağı içindeki kaolinit kristalleri kil yatağına göre daha büyük olup, bu farktan dolayı kaolinitik killeri daha plastik ve kuru, mukavemetleri daha yüksektir. Kaolin cevherleşmesi içindeki kristaller öz şekillidir (Arcasoy, 1983).

Seramik yapılmasında 1000°C'de oluşan mullit kristali, kaolinitin tabaka yapısından iğnemsî forma dönüşmesi halidir. Bu hali çok sert, kimyasal tesirlere dayanıklı, mekanik mukavemeti fazla ve elektriği iletmeyen halidir. Mullit oluşumundan açığa çıkan SiO₂'nin bir kısmı birleşerek başka minerallere dönüşür. Bir kısmı da orijinal bünyede silis olarak kalmaktadır.

2.1.4 Kaolin tüketimi

2.1.4.1 Tüketim alanları

Dünya kaolin tüketiminde parasal ve tonaj değerleri bakımından, birinci sırayı kağıt sanayii almaktadır. Avrupa pazarında kağıt, dolgu maddesi olarak toplam tüketimin % 40'ı, Amerika pazarında ise bu amaçla toplam tüketimin % 80'i kullanılmaktadır.

Özellikle kağıt dolguda Avrupa kaolinle birlikte kalsit te kullanılmaktadır. Kuşe-kaplama kağıtta da benzer durum söz konusu olup, özellikle kuşe kağıtta kaolinin kalite bakımından avantaj ve üstünlüğü vardır (Kendall, 1994).

Seramikte kaolin tüketimi, en çok sıhhi tesisat, porselen ve izalatör sanayiinde olmaktadır. Fayansta tüketim maksimum % 20 dolayındadır. Seramik sektörü dışında kaolinin en büyük tüketimi, boya, lastik ve plastik sanayiinde dolgu maddesi olarak kullanılmasıdır. Tesis türü kaolinler, cam elyafı, kimya sanayi, ilaç sanayi gibi sektörlerde kullanılmaktadır.

Çizelge 2.2 Dünya kullanım alanlarına göre kaolin tüketim oranları (Kendall, 1994).

Kullanım alanı	kaolin %
Fayans	max % 15
Porselen	% 40
Sıhhi Tesisat	% 25
Sır	% 10
Çimento	% 10

2.1.5 Kaolin üretimi

2.1.5.1 Üretim yöntemi ve teknolojisi

Yurtdışında, hidrolik yöntem olan tazyikli su ile üretilmekte, koparılan parçalar doğrudan süzme tesislerine taşınmaktadır. Kağıt ve seramik kalitesindeki kaolinler, süzme tesislerinden geçirildikten sonra boyutlarına göre ayrılmaktadır. Bunlar genelde sulu değirmenlerde öğütme ve silis ayırma işlemi sağlandıktan sonra, çöktürme tankları ve hidrosilikonlardan geçirilmektedir. Kurutma işlemi sonrası rutubeti azaltır

Seramik sektörünün ihtiyacı olan masse kaolinleri, tüvenan veya 5-10 cm boyutlarında tüketilmektedir. Seramik fabrikalarının bazılarında, kaolin yıkama-süzme tesisi bulunmakta olup, bu tesislerden elde edilen süzülmüş kaolinler ancak kendi ihtiyaçlarını karşılamaktadır (Arcasoy, 1983).

Ülkemiz de bu tür tesisler konusunda büyük bir boşluk olup, kağıt ve seramik sektöründe yıkanmış kaolin ihtiyacına yönelik yeni tesislerin kurulması beklenmektedir.

2.1.6 Ürün Standartı

Çeşitli sanayi kollarındaki kullanıma bağlı olarak ürün standartları değişkenlik göstermektedir. Bu değişiklikler, kimyasal bileşim, tane boyu dağılımı ve çeşitli reolojik özellikleri itibarıyla olmaktadır. Çizelge 2.3'te belli başlı sektörlerle göre aranan ortalama ürün standartları sunulmuştur.

Ülkemizde tüketilen koalin dünyada ki emsallerinden farklı değildir. Fabrikalar üretim reçetelerine göre değişik Al_2O_3 , Fe_2O_3 , SO_3 , TiO_2 li hammadde kullanırlar. Bu kriterlere ve reçetelere göre, kullanım oranları da farklıdır.

Kağıt, porselen, sıhhi tesisat gibi kullanım yerlerinde beyazlık, serbest silis, aşındırma gibi fiziksel özellikler daha da büyük önemi olduğu için tüketici kuruluşlar aldıkları kaolinlerin kimyasal analiz standartlarından çok, bu tür fiziksel özelliklerine bakmaktadır. Sektörlere göre ürün standartlarını gösterebilen bir tablo hazırlanmış olup, tüm tüketici kuruluşların ortalamaları bu standartlar içerisinde kalmaktadır.

Çizelge 2.3 Çeşitli sektörlerde göre kaolinlerde istenen ürün standartları (Tanışan, 1988).

	Kağıt kaolini			Çimento		
	Dolgu Kaplama		Porselen	1	2	Seramik
SiO_2	48	47	46 – 48			
Al_2O_3	min 35	min 35	min % 30	min % 30	% 28	15 – 30
Fe_2O_3	max 0.4	max 0.4	max 0.5	max 0.4	Max 0.4	max 0.5-1.00
TiO_2	max 0.05	max 0.05	max 0.1			

2.2 Killer

Genel olarak kil, tanecik büyüklüğü iki mikrondan küçük olan tanelerin çoğunlukta olduğu, ıslatıldığında plastik, pişirildiğinde sürekli sert kalan hidrate alüminyum silikat minerallerinden oluşan bir sistem olarak tanımlanabilir. Kil mineralleri temelde silika, alümina ve suyun oluşturduğu sulu silikatlardır. Ayrıca demir, alkali ve toprak alkalileri farkedilebilir derecede içerirler.

Kaolinler tortul ve artık yatakları olarak oluşurlar. Artık kaolin yatakları ana kayacın yerinde altere olması ile oluşurlar. Bununla birlikte refrakter malzeme olarak kullanılanlar genellikle tortul kökenlidirler. Ergime dereceleri $1760^{\circ}C$ olup, refrakter malzeme olarak kullanılmaktadırlar.

Bağlama killeri, organik malzemeler ve kaolinit içerirler. Genellikle kaolinitten daha ince tane boyuna sahiptirler. Bağlama killeri 1500°C'den daha yüksek sıcaklıklara kadar dayanırlar. Refrakter tuğla yapımında bağlayıcı olarak kullanılırlar (Bunt, 1994).

Yurdumuzda siferton olarak bilinen ateş killeri düşük miktarda demir oksit, kireç, magnezyum ve alkalileri içerirler. 1500°C ve daha yüksek sıcaklıklarda bozunmadan kalabilirler. Kömür damarlarının altında bulunurlar

Tüm Dünya'da seramik denilince akla killer gelmektedir. Kil kaynaklarına yakın yerlerde ilk seramik fabrikaları bu nedenle kurulmuştur. Çünkü seramikte kullanılan hammaddelerin içinde hem teknolojik, hem de miktar açısından en önemlisi kildir. Seramik teknolojisinin gelişmesi sonucu uygulanan tek pişirim seramik üretimleri, seramik kapasitesinin artışı yanında kil talebini de arttırmıştır.

Literatürlerinde seramik killeri; kil, kaolen, refrakter kil ve bentonit ile birlikte değerlendirilmektedir. Bu nedenle özellikle dünya için yapılan literatür taramalarında, seramik killerini içinden ayırmak çok zor olmaktadır. Türkiye'de üretim yapan ve tüketen kuruluşlardan elde edilen bilgiler paralelinde, seramik killeri bilgileri ayrılmaya çalışılmıştır. Tanım ve sınıflama bölümünde bahsedileceği gibi, kil ve kaolenler aynı kimyasal sınıflama içerisinde olan tanımlamalar olup, sadece fiziksel özellikleri birbirinden farklı kavramlardır.

2.2.1 Killerin sınıflandırılması

Kil minerallerinin sınıflanmasında bir birliktelik mevcut değildir. Birçok araştırmacı tarafından kabul edilen sınıflamalar mevcuttur. Killer, sulu alüminyum silikat olup bu sınıflama içerisindeki tüm mineraller için partikül boyu 4 mikron olarak verilmektedir. Son yıllarda yapılan çalışmalarda kil boyutunun 2 mikrona kadar düştüğü savunulmaktadır. Daha büyük boyutları kil kavramına dahil edilmemektedir (Banerjee, 1998).

Kil terimi jenezi belirtmez. Terim hem hidrotermal faaliyetin sebep olduğu bozuşma ürünleri için, hem de sedimantasyon yoluyla çökelmiş taneler için geçerli bir kavram olarak sayılmakta olup, bu tür küçük parçacıkları oluşturan minerallere göre kimyasal sınıflamalar yapılmıştır.

Çizelge 2.4 Kil minerallerinin sınıflaması (Eugenia, 1985)

	KİL MİNERALLERİ	BİLEŞİM	KÖKEN
KAOLİNİT GRUBU	Kaolinit	$\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$	Hidrotermal ayrışma
	Dikit	$\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$	Hidrotermal ayrışma
	Nakrit	$\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$	Hidrotermal ayrışma
	Anaksit	$\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$	Hidrotermal ayrışma
	Halloysit	$\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$	Ayrışma
	Endellit	$\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	Ayrışma
SMEKTİT GRUBU	Montmorillonit	$\text{Mg}_2\text{Al}_{10}\text{Si}_{24}(\text{OH})_{12}(\text{Na},\text{Ca})$	Hidrotermal ayrışma
	Nontronit	$\text{FeSi}_{22}\text{Al}_{22}\text{O}_{60}(\text{OH})_{12}(\text{Na}_2)$	Hidrotermal ayrışma
	Saponit	$\text{Mg}_{18}\text{Si}_{22}\text{Al}_2\text{O}_{60}(\text{OH})_{12}(\text{Na}_2)$	Hidrotermal ayrışma
	Beidellit	$\text{Al}_{13}\text{Si}_{19}\text{Al}_5\text{O}_{60}(\text{OH})_{12}(\text{Na})$	Hidrotermal ayrışma
	Hektorit	$\text{Li}_2(\text{Al},\text{Fe},\text{Mg})(\text{Si}_2\text{Al}_2)\text{O}_5\text{OH}$	Ayrışma
İLLİT GRUBU		$(\text{Al}_4\text{Fe}_4\text{Mg}_6)\text{O}_{20}(\text{OH})_4\text{Ky}$ (Sig-yAl _y)	Ayrışma (Hidromika Grubu)
KLORİT GRUBU	Atapulgit	$\text{Mg}_5\text{Si}_8\text{O}_{20}(\text{OH})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	Ayrışma, kim. çökelim
	Sepiyolit	$\text{Mg}_6\text{Si}_8\text{O}_{20}(\text{OH})_4 \cdot n\text{H}_2\text{O}$	Ayrışma, kim. çökelim
	Allofan	$\text{Al} + \text{SiO}_2 + \text{H}_2\text{O}$	Ayrışma

Çizelge 2.5 Çeşitli kil minerallerinin kimyasal bileşimleri (Tanışan, 1988)

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	K ₂ O	Na ₂ O	TiO ₂	H ₂ O	TOPLAM
Kaolinit	46.90	37.40	0.66	0.27	0.29	0.84	0.44	0.18	12.95	99.92
Halloysit	44.75	36.94	0.31	-	0.11	0.60	-	-	17.42	100.01
Klorit	31.44	17.62	-	37.64	-	-	-	-	13.19	99.89
Sepiyolit	52.50	0.60	2.99	21.31	0.47	-	-	-	21.27	99.14

2.2.2 Killerin tüketim alanları

Özelliklerine göre sınıflandırılan killer, çeşitli fiziksel ve kimyasal özelliklerine göre, kaba

seramik kili, ince seramik kili, refrakter kil, bağlayıcı kil, şiferton gibi fiziksel özelliklerine göre de sınıflandırılır.

Seramikte kullanılan killerin kuruma ve çekme özellikleri, plastiklik, kuru mukavemet, pişme rengi gibi özellikleri, kullanım amacına göre bazen kimyasal bileşimden önce gelen bir özellik olarak da kabul edilebilir (Yaman, 1994).

Pişirilen kil ürünleri tuğla, kiremit imalinede, drenaj borularında, yer karosu fayans ve dekoratif amaçlı uygulamalarda kullanılır. Diğer tüketim alanı ise refrakter sanayi, çimento ve kaplama malzemeleridir.

Refrakter killeri yüksek sıcaklıkta çalışan fırın ve benzeri ünitelerin yapımında veya içinin kaplanmasında kullanılan, sıcaklık altında fiziksel ve kimyasal nitelikte çeşitli aşındırıcı etkilere karşı erimeden ve fiziksel özelliklerini koruyarak dayanabilen refrakter malzemelerden alumina silikat grubunun imalinde kullanılırlar. Bugüne kadar yapılan tesbitlere göre ülkemizde refrakter malzemelerin sanayi kollarına dağılımı Çizelge 2.6'daki gibidir.

Çizelge 2.6 Ülkemizde refrakter malzeme kullanımının sanayi kollarına göre dağılımı
(DPT, 1991).

Demir-çelik sanayii	% 67,80
Çimento sanayii	% 7,20
Ferro alaşımları-Bakır-Alüminyum, Çinko	% 4,49
Seramik, Refrakter, Cam, Soda, Boraks	% 2,40
Kağıt, Şeker, Termik Santral, Gazhaneler	% 2,81
Diğerleri	% 15,30

Diğer yandan refrakter killerin yerine kalite ve rezervden kaynaklanan sebepler yanında kaliteli refrakter mamul talebi nedeniyle Andaluzit, Boksit, Flint Clay, Ucal, Mulcao gibi ithal malzemeler artan oranda üretime girmektedir. İç piyasadan temin edilen refrakter killerin kalite ve maliyet yönünden dış piyasadaki ürünlerle rekabet şansı şu ortamda kesinlikle yoktur. 1993 yılı içinde 65 000 - 70 000 ton civarında Bağlama kili, Boksit, Flint Clay, vb. refrakter hammadde ithalatının gerçekleşeceği tahmin edilmektedir (Kendall, 1994).

2.2.3 Killerin üretim teknolojisi

Aşağıda bir kil yatağının bulunmasından kullanımına kadar geçen evreleri veren akım şeması verilmiştir. Kilin oluşum sırasındaki şartlara bağlı olarak çok kısa mesafelerde yatay ve dikey değişimler göstermesi, özellikle fayans-seramik-sıhhi tesisat, porselen ve elektro porselen yapımında kullanılan killerin harmanlanması ve homojenleştirilmesini gerektirmektedir. Bu amaçla üretilen kil, kırma işleminden sonra havuzlarda su içerisinde karıştırıcıların da yardımıyla çözülür. Daha sonra ilkel yıkama, süzme veya hidrosiklonlar vasıtasıyla zenginleştirme işlemine tabi tutulur.

Dünya kil üretiminin büyük bir kısmı, modern açık işletme ekipmanlarının kullanıldığı, açık işletme yöntemleriyle yapılmaktadır. Daha az miktarda kil üretimi ise kapalı (yeraltı) işletme yöntemleri ile yapılmaktadır. Özellikle yurdumuzda şiferton üretimi tamamen yeraltı üretim yöntemiyle yapılmaktadır. Gerek açık işletme, gerekse kapalı işletme yöntemlerinde, kil damarı kalınlığına göre makina ve ekipmanlarının yanında emek yoğun bir şekilde üretim yapılmaktadır. Kilin oluşum sırasındaki şartlara bağlı olarak çok kısa mesafede yatay ve dikey değişimler göstermesi nedeniyle kullanılmadan önce killerin harmanlanması ve homojenleştirilmesi gerekmektedir.

Üretimi yapılan kilin kalitesine bağlı olarak tüvenan olarak kullanıldığı gibi, kullanım amacına göre kilin zenginleştirilmesi, ateş killeri ve şamotlarda kalsine edilmesi gereklidir.

Üretilen killer kırma işleminden sonra havuzlarda su içerisinde karıştırıcılar yardımıyla çözünür, daha sonra ilkel yıkama, süzme veya hidrosiklonlar vasıtasıyla zenginleştirme işlemine tabi tutulurlar. Filtre preslerden ve kurutuculardan sonra ateş killeri ve şamotlar döner fırın veya dikey fırınlarda sinterleme işlemine tabi tutulurlar.

Bu işlemler ana hammaddelerden biri olan şamot (şamot kili ve şiferton) hammaddesinin sinterlenmesi ile, bağlama kilinin (% 5 rutubete kadar) kurutulması ve öğütülmesini içerir (Arcasoy, 1983).

Refrakter malzemelerde istenilmeyen en önemli maddelerden biri demirdir. Şiferton hammaddesindeki demir miktarını azaltmak ve mümkün olan en düşük değere indirmek için ön yakma işlemine tabi tutulur. Malzeme 900°C'de ateş zayılatı % 2'nin altına düşürülür ve

şifertonun içindeki manyetik olmayan bünye demirlerinin manyetik hale gelmesi sağlanır. Manyetik seperatörlerde demir oksit istenen değere düşürülür. Manyetik seperatörlerden alınan konsantre şiferton sinterlenerek düşük ateş zayıatı ve poroziteye sahip sinter elde edilir. Ön yakma ve manyetik seperatör ünitelerinde hazırlanan malzemeler yüksek maliyet nedeniyle ekonomik olmaktan çıkmıştır.

Dünya üretimi konusunda da refrakter kil için tek başına değerler bulunmaktadır. Dünya ülkelerinin boksitik killere ilgili değerleri ise elde edilememiştir (Department of the Interior, 1995).

2.2.4 Killerin ürün standartları

Dünyada seramik, porselen ve özellikle kil üreticisi kuruluşların standartlarının bir ortalaması olarak, ürün standartları tablosu oluşturulmuştur. Ancak önemli olan fiziksel özelliklerine göre kil ile birlikte kullanılan hammaddelerle uygun kompozisyon sağlaması olmalıdır.

Tek pişime geçildiği bu dönemde döküm özelliği, yüzdürme özelliği, ham ve kuru mukavemeti, pişme rengi gibi özellikleri her zaman kimyasal özelliklerinden daha büyük önem kazanmaktadır.

Çizelge 2.7 Killerin çeşitli kimyasal bileşenlerinin yüzde oranları (Tanışan, 1988).

KİMYASAL BİLEŞENLER	YÜZDE ORTALAMA
Al_2O_3	% 25-32
SiO_2	% 50-55
CaO	% 0.5-1
MgO	% 0.5-1
K_2O	% 0.5-1
Fe_2O_3	% 0.5-2.0

2.2.5 Tuğla kiremit killeri

Bunlar tuğla ve kiremit üretiminde kullanılan killerdir. Genellikle Fe_2O_3 , alkali oksitler ve toprak alkali oksitler yönünden zengindir. Bu yüzden düşük sıcaklık derecelerinde vitrifiye olurlar. Genellikle piştikten sonra kırmızı renk alırlar. Fe^{+3} kırmızı, Fe^{+2} bej rengindedir. Bundan dolayı fırın atmosferi ayarlamaları ürün rengini değiştirilebilir.

Bu tür killerde genellikle kalker bulunur. Kalkerin bulunması bazı yönlerden avantajlı bazı yönlerden dezavantajlıdır. Eğer kalker ince taneli ise kili düşük sıcaklıkta vitrifiye ederek pişme sıcaklığını düşürürler.



Eğer kaba taneli ise:



İç ve dış kısmında meydana gelir, dış kısmında vitrifikasyon meydana gelir ama merkezde bir kısım CaO reaksiyona girmeden kalır. Duvar örülürken CaO su ile reaksiyona girerek kaba tane meydana getirir. Bu nedenle kaba taneler zararlıdır. Yer karosu ve fayans üretiminde hammaddeye tane çapı belli bir değerin altında olmak üzere kalsit katılır. Bu killerde $CaSO_4$ 'ta bulunur. Fakat $1200^\circ C$ 'ta parçalandığı için tuğla, kiremit, fayans, yer karosu üretiminde sorun ile karşılaşılmaz (Yaman, 1995).

Tuğla ve kiremitler $950-1050^\circ C$ arasında pişirilirlir, $CaSO_4$ suda çözünerek katıntı halinde tuğla yüzeyinde birikirler. Bunun sonucunda tuğla yada kiremit yüzeyinde beneklenme meydana gelir, buna çiçeklenme veya efloresans denir. Bu durum tuğla ve kiremitlerde istenmeyen bir durumdur. Bunun için tuğla ve kiremit killlerine $BaCO_3$ katılır.

Tuğla ve kiremit killeri genellikle kömür parçaları, ağaç, ve yaprak kalıntıları gibi organik maddeler içerirler. Bu organik maddeler üretim esnasında problem çıkartarak ürünün özelliklerini etkilerler. Özellikle göbeklenme denilen problemin doğmasına sebep olurlar. Pişme sırasında önce malzemenin dış yüzeyinde ki organik maddeler yanar, bu tür killerde vitrifikasyon düşük sıcaklıkta olur. Eğer pişme sırasında iç kısımda ki organik maddeler yanmadan dış kısımda vitrifikasyon başlarsa, iç kısımda merkezi siyah olarak oksitlenmeden

kalacaktır. Merkez gevrek ve kırılıgandır.Bu killeri organik maddelerin yandığı sıcaklıkta bol oksijenle uzunca bir süre bekletilmelidir. Pişme rejimi bu na göre ayarlanmalıdır.

2.2.6 Bağlama killeri

Feldspatça zengin kayaçların aşınması sonucu bağlama kili yatakları oluşmuştur. Kil yataklarındaki ve yataklanma durumundaki düzensizlikler, taşınma esnasındaki mevsimlik tabiat şartları arasındaki değışikliklerden ve havzalardaki çapraz tabakalanma şartlarından meydana gelmiştir. Havzalara aynı zamanda değışik istikametlerden değışik karakterde malzeme taşınması, havzalarda teşekkül eden killerin yanal ve dikey yönde farklı kalitede olmasına ve kil-kum gibi tedrici geçişli malzemelerin yataklanmasına yol açmıştır. Genellikle gri renkli bağlama kili ve kahverengi bağlama kili olmak üzere iki tip bağlama kili bulunur (DPT, 1991).

2.2.6.1 Gri bağlama kili

Gri bağlama kili genellikle taban seviyede Fe_2O_3 bakımından yüksek olan bir kille temsil edilen gri bağlama kili seviyeleri dikey yönde linyit kömürü ve kum-lekeli kil ardalanmalı, yanal yönde ise kumtaşı ve lekeli killeri geçişler meydana gelmektedir. Fe_2O_3 oranı % 3-5, Al_2O_3 oranı % 28-35 arasında değışir. Mekanik mukavemetleri ortalama $25-30 \text{ kg/cm}^3$ 'dür. Tabakalanma yataydır. Plastik bir kildir, 1350°C 'de pişme rengi açık tarçın rengindedir. Organik madde azdır, içerisinde bazen ince kömür parçacıkları görülür. Bu da kilde ateş zayıtlının artmasına neden olur (DPT, 1991).

2.2.6.2 Kahverengi bağlama kili

Kahverengi bağlama kilinin rengi organik maddeden ileri gelir. Organik maddelere bağı olarak ateşte zayıtlı yükselir. Dikey ve yanal yönlerde tedrici geçişlerle kalite değışikliği gösterir. Fe_2O_3 oranı % 2-3, Al_2O_3 oranı % 36-41 arasında değışir. Mekanik mukavemeti $30-35 \text{ kg/cm}^3$, ateşte zayıtlı % 14-15, rutubet % 25-28 arasında değışir. 1350°C 'de pişme rengi açık tarçın rengindedir (DPT, 1991).

2.2.7 Ateş (şamot, refrakter) killерinin oluşumu ve bulunuş şekilleri

Şamot killeri genellikle gri ve açık bej renkli ve yer yer de açık kahverengi renktedir. Plastik olmaması ve suda hemen dağılması ile kolayca tanınır. Ateş zayılatı bünyedeki organik madde ve sudan ileri gelmekte ve Al_2O_3 içeriğine bağlı olarak değişmektedir. Islak rengi koyu gri olan kil açık renge dönüşmekte ve çok kırılgan olmaktadır. Kurduğunda parmaklar arasında kolayca ufalanıp dağılmaktadır.

Önceden pişirilmiş ateş kiline şamot veya grog denir. Pişirme sırasında kristal bağlı su ve organik maddeler kilden uzaklaştırılır, böylece pişme ve kuruma küçülmesi en aza indirilir. Refrakter killer özellikle kömür yatakları ile birlikte oluşmuşlardır, oluşumları sırasında kömür oratının çıkarmış olduğu organik asitler, kilin içerdiği alkali ve toprak alkali bileşikler kilden uzaklaştırmış olduğundan kömür ile oluşan bu killerde alkali ve toprak alkali bileşikler çok azalmıştır.

Bunun sonucu olarakta bu killer refrakter hale gelmiş olan sert kiledir, bu tür killere şiferton denir. Bu refrakter killerden bazan plastisitesi yüksek olan killerde vardır ki bunlara plastik refrakter kil denir. şamot tuğla üretiminde bağlayıcı kil olarak kullanılır, bu tür killere bindeton da denir. Bindeton refrakter harç yapımında da kullanılır.

Şamot killерinin demir oksit ve alkali oksitleri ihtiva etmesi halinde refrakterliğinin düşmesine neden olur. Refrakter killerde kaliteyi bozan mineraller olarak pirit, siderit, organik atıklar, montmorillonitik kil katkıları, alkali bileşikler ve karbonatları sayabiliriz. Şamot kili yatakları yerinde oluşmuş olup ince taneli yeşil renkli volkanik tüflerin üst kısımlarında merccekler halinde meydana gelmiştir. Cevherleşmeyi kontrol eden faktörler, feldspatça zengin kayaların mevcudiyeti, ayrışma, aşınma ve taşınma olaylarını meydana getiren faktörler ve son olarak ortamda uygun pH oranının bulunmasıdır.

Ateş kili plastik olmayan, refrakter kildir. Alkali ve demir mineralleri bakımından fakir killer refrakter özellikler gösterir. Ateş kili hammaddesinde alüminyum oksit ve silisyum oksit mineralleri hakim minerallerdir. Tabiatta şiferton tabakalarına, karbonifer, taş kömürü damarlarının bazılarının tabanında, bazen aralarında çok az olarak da ince bir seviye halinde üzerinde rastlanılmaktadır. Asit tesirine daha fazla maruz kalan üst seviyelerde ateşe mukavemet derecesi daha yüksektir. Asit tesirinin azalmasıyla birlikte ateşe mukavemet

dereceleri düşer. Ocaklardaki şiferton aynasında iyi kalite A, aynanın tabanına doğru B, sonra C kalite şiferton bulunmasının sebebi budur. tabanında şiferton teşekkül etmemiştir

Şiferton teşekkülü için sularda pH durumunun elverişli olması, etraftan gelen malzemenin kimya bileşimlerinin uygun olması, alkali ve demir bileşiklerinin fakir olması, Al_2O_3 ve SiO_2 oranının refrakter özellik için belirli yüzdede bulunması gerekir. Taneler çok ince, uzun zaman süspansiyon halinde sularda kalmalı ve yavaş yavaş çökelmelidir. Suların durgun olması, fırtınalı olmaması ve tuzlu olmaması gereklidir. Tuzlu sularda çökeltme hızlıdır.

Arzu edilen ekonomik şiferton damarı aşağıda izah edildiği şekilde tabiatta teşekkül etmiş olmalıdır. Tavanda kömür damarı bulunmalıdır. Bu damar oldukça sert olmalı ve tavan basıncını mümkün olduğu kadar karşılayabilmelidir. Şiferton damarı yataya yakın bir şekilde bulunmalıdır. yukarıda tavandan tabana doğru dört kaliteye ayırdığımız şiferton damarının tabanında gre seviyesi vardır. Bu damarın kalınlığı 3-4 metre arasında olmalıdır. Kimyasal analiz sonuçlarına göre şiferton hammaddesinde bulunan bileşikler ve yüzdeleri ortalama olarak Çizelge 2.8’de belirtilmiştir.

Killerin endüstride birçok kullanım alanı vardır. Kullanım alanları kilin kimyasal bileşimine bağlı olarak çeşitli sınırlamalar getirmektedir. Genellikle refrakter malzeme olarak kullanılacak killerde, kile refrakterlik özelliği veren alumina miktarının yüksek olması istenir. Alumina içeriğinin artırılması, silis veya demir içeriğinin düşürülmesi ile sağlanabilir. Bunun için killer fiziksel veya gerektiğinde kimyasal zenginleştirme işlemine tabi tutulurlar. Killerin zenginleştirilmesi yaş veya kuru işlemle yapılabilir.

Çizelge 2.8 Şiferton hammaddesinde bulunan bileşiklerin yüzde oranı (DPT, 1991).

Hammadde bileşim	Yüzde Oranı
SiO_2	%40-50
Al_2O_3	%25-40
Fe_2O_3 max	%3
MgO	%0.5-1
CaO	%0.5-1

2.2.8 Yüksek alüminalı killler

Bu tür killer kaolinit mineralinden başka Al_2O_3 mineralleride içerirler. Bu yüzden refrakterlikleri yükselmiş olur. Yurdumuzda sadece İstanbul ili çevresinde bulunur, Fe_2O_3 oranı yüksektir.

Ateşe dayanıklı kil grubunu oluştururlar, özellikle Al_2O_3 yüzdesi yüksek olan killerdir. Esas itibarıyla kaolinitten oluşmuşlardır. Refrakter üretimde kullanılırlar.

2.2.9 Refrakter hammadelere uygulanan işlemler

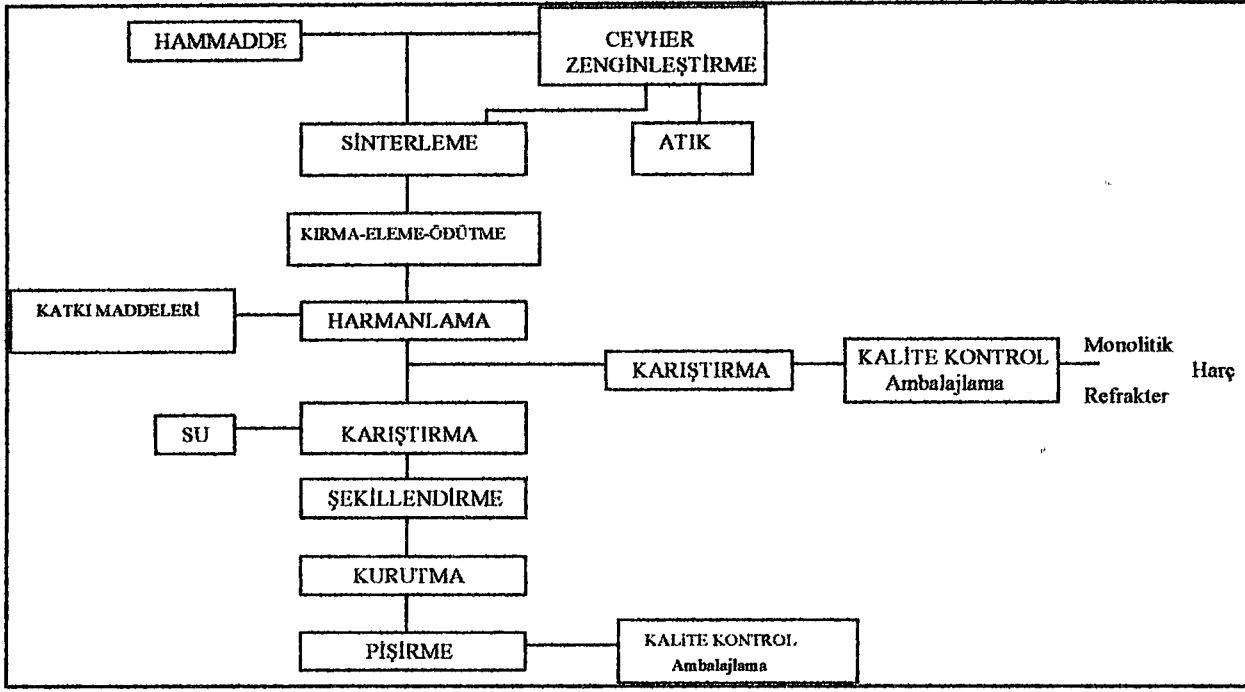
Refrakter malzemelerin sinterleme sıcaklığına bağlı olarak metalurjik yapısı mevcuttur. Ham haldeki refrakter maddeler seramik bağın oluşturduğu sıcaklıklarda pişirildiğinde genel anlamda sinterleşmiş olurlar. Sinterlemede yapıda istenen faz değişimlerin dolayısıyla mullit oluşumunun tamamlandığı, ısı karşısında oluşabilecek tüm olumsuzlukların bitirildiği, hacimsel değişimler nedeniyle iç gerilimlere, dolayısıyla deformasyonlara maruz kalacaktır. Şekil 2.1’de üretim akış şeması detaylı olarak verilmiştir.

2.2.10 Killerin talep miktarları

Refrakter killerli ilgili olarak dünya üretimi, tüketimi ve taleplerinin belirlenmesine yarayacak bilgiler kil kapsamındadır.

Yoğun tuğlalarda % 46 alüminaya sahip olanlar şamot, % 46 ve daha yüksek alüminaya sahip olanlar ise yüksek alüminalı tuğlalar olarak adlandırılır.

Demir çelik sanayiinde yüksek hacim ağırlıklı, sürtünme, kırılma ve curuf atağı mukavemetine sahip olan dolayısıyla ağır şartlarda kullanılacak tuğlalara ağır hizmet tuğlaları, kullanım yeri şartlarının daha hafif olduğu yerlerde genel hizmet tuğlaları, kullanım yeri hafif olan yerlerde hafif hizmet tuğlası adı verilir. İzolasyon tuğlaları izolasyon amaçlıdır ve esas çalışma tuğlaların arkasında kullanılır. Harçlar tuğlaları birbirine bağlayan toz malzemelerdir.



Şekil 2.1 Refrakter üretim akış şeması (DPT, 1991).

2.2.11 Killerin kullanım yerleri

Çalışma şartlarının ağır olduğu demir-çelik, çimento, petrokimya sanayiinde ağır hizmet tuğlaları, cam sanayiinde ve kok fırınlarında silika asidik ortamlarda asit tuğlaları diğer çalışma ortamlarında genel hizmet ve hafif hizmet tuğlaları kullanılır.

Killer homojenlik, plastiklik, nem ve kuru mukavemet ile diğer teknolojik özelliklerinin farklılığından dolayı çeşitli kullanım alanlarına sahiptir. Dünya kil üretiminin yaklaşık % 75'i pişirilen ve şekillendirilen seramik ürünlerinin imalatında kullanılmaktadır. Dünya kil üretiminin geriye kalan % 25'i ise killerin özelliklerine göre refrakter sanayiinde, çimento, sondaj çamuru, dolgu ve kaplama malzemesi olarak, temizlik, deterjan, gıda ve ilaç sanayiinde kullanılmaktadır.

Refrakter killer refrakter sanayiinin ana hammaddesini teşkil eder. Kullanımı gittikçe artmakta buna bağlı olarak özellik arzeden yeni kullanım alanları genişlemektedir. Dünyada üretim ve tüketimi özellikler arz etmesi nedeniyle daha çok iç piyasaya yönelik olarak yapılmaktadır. Son yıllarda firmaların kapasite artırımı ve döner fırınlarda sinterleme kapasite artırımı sonucunda yurtdışı ithalatları da artmaktadır.

1993'de dünya kil kaolen ve bentonit talebi 600 milyon ton olmuştur. Ancak bu killerin büyük bir kısmı refrakter sanayiinin dışında kullanılmaktadır. Geçmiş yıllarda özellikle çelik sanayinin hızla geliştiği yıllarda dünya refrakter tüketimi yılda ortalama % 6 arttığı, gelecekte refrakter kil, şamot yerine daha iyi performans veren kalsine boksit, sentetik mullit, andaluzit, kalsine disten gibi daha yüksek alüminalı hammadde arzında görülen gelişmeler sonucunda refrakter kil talebini etkileyecektir. 1980'li yıllarda ton çelik başına yurdumuzda 36-38 kg refrakter malzeme tüketilirken ithalatın başlaması ile kullanılan yüksek kaliteli sinterler sonucunda 1999 yılında bu rakam ortalama 11 kg refrakter malzeme tüketimine inmiştir. Dünyada bu rakam 8-9 kg refrakter/ton çelik üretimi olarak gerçekleşmektedir (Department of the Interior, 1995).

2.3 Yüksek alüminalı çimentolar

Yüksek alüminalı çimento $\text{CaO-Al}_2\text{O}_3$ bileşiklerini içermektedir. Alüminalı çimento, kalsiyum alüminat refrakter beton adlarıyla anılmaktadır. Bunun sebebi içeriğinde ki alümina oranının yüksek olmasından dolayıdır.

Demirçeki endüstrisinde, demir dışı metal üretimde, petrol ve petro kimya sanayii, cam ve çimento sanayiinde, çekirdekli ve çekirdeksiz indüksiyon ocaklarında kullanılmaktadır. Petro kimya sanayiinde çok yüksek duvarlara dökülebilir refrakter uygulanmaktadır. Aynı duvarlara şekilli refrakter uygulanmasında çok büyük zorluklar vardır. Bu tür dökülebilir refrakterler uygulama hızının yüksek olması ve maliyetinin ekonomik olması sebeplerinden dolayı diğer refrakterlere göre daha caziptir.

Yüksek alüminalı çimento ergitme veya pişirme yöntemiyle üretilir. Ergime fırını olarak yüksek fırın döner fırın ve elektrikli fırın sayılabilir. Pişirmede esasa olarak döner fırın kullanıldığı halde bazı uygulamalarda şekilli tuğla haline getirildikten sonra pişirilmektedir. hammadde olarak çoğunlukla boksit ve kireç taşı kullanılır. Yüksek oranda demir oksit içeren boksitler ucuz olduğu için tercih edilir.

Ülkemizde bulunan boksitler Avrupa'daki emsallerine benzerler ve %65 alümina içerenlerin miktarı 10 milyon tondan fazladır. Çizelge 2.9'da değişik ülkelerde üretilen alüminalı çimentoların bileşimleri yüzde olarak verilmiştir.

Çizelge 2.9 Değişik ülkelerde üretilen yüksek alüminalı çimentoların tipik bileşimleri
(Kendall, 1994)

Ülke	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	Fe ₂ O ₃	FeO
Almanya	5-8	48-51	39-42	0.1	<1.0
A.B.D.	8-9	40-41	36-37	5-6	5-6
İspanya	4-5	36-38	39-42	10-12	4-5
İngiltere	4-5	38-40	36-39	8-10	5-7
Fransa	3.5-4.5	38-40	36-39	9-11	4-6

Üretim metodun da boksit ve kireç taşı öncelikle kırılır. 100 mm altındakiler doğrudan, tozlar ise preslenerek kullanılır. Pişirme amacıyla toz kömür kullanılır. Kömür miktarı, üretilecek yüksek alüminalı çimentonun %20'si kadardır. Pişme sırasında çıkan buhar ve karbondioksit ile ergime sıcaklığı olan 1600°C 'a kadar ısınır. Ergime karnın düşük kenerlarında meydana gelir ve sıvı malzeme uzun alevli fırına dökülür, daha sonra çelik kalıplara dökülerek karıştırılır. Dökülmüş olan parçalar daha sonra döner soğutucuda soğutulup tüp değirmende tane büyüklüğü 250-320 m²/kg olan kadar öğütülür. Yüksek alüminalı çimento hammaddesi sert olduğundan öğütücü bilya aşınması fazla ve güç tüketimi fazladır.

Düşük demirli yüksek alüminalı çimento üretmek için bayer prosesi ile üretilmiş alümina kullanılmaktadır. Fakat bu yöntemle üretilen alümina çok pahalı olup buna bağlı olarak nihai ürününde maliyeti artmaktadır.

Yüksek alüminalı çimentonun temel bileşeni kalsiyum alüminattır. Ayrıca C₁₂A₇ ve/veya C₂AS, C₄AF buna ek olarak camsı faz içermektedir. Camsı faz bulunması fazların karasızlığına yardım eder. Göreceli olarak fazla silika içeren bünyelerde C₂AS fazı bulunur. Yüzde 10 veya daha fazla demir oksit içeren yüksek alüminalı çimentolarda CA temel mineralinden başka C₄AF ve/veya C₆A₄Fs mineralleri bulunur. %80 alümina içeren yüksek alüminalı çimentoda CA'dan başka serbest alümina bulunur. Büyük oranda serbest alümina içeren bünyede C₁₂A₇ fazı oluşmaz C₁₂A₇ katılaşma hızını arttırmak için sonradan ve hazır üretilmiş olarak katılır. Çizelge 2.10'da çeşitli kalsiyum alüminat çimentolarının kimyasal bileşimleri gösterilmektedir (Yaman, 1996).

YÜKSEK ALÜMINAL ÇİMENTO
KURUMU

Yüksek alüminalı çimentolar su ile reaksiyona girerek su içeren bileşikler oluştururlar. Bu olaya hidrasyon oluşan bileşikler hidrat adı verilir. Malzeme su ile karıştırıldıktan 1-6 saat içinde kireç ve alüminanın suda çözünürlüğü en yüksek seviyededir. Hidratların oluşumu arttıkça çözünürlük azalır. Suda çözünmüş kalsiyum alüminatlar daha sonra hidrat olarak çöker. Oluşan fazların türü ve miktarı hidrasyon sıcaklığına bağlıdır. Hidrasyon sırasında önce yarı karalı bileşikler oluşu daha sonra karalı bileşiklere dönüşür. Bu olay dönüşüm olarak adlandırılır (Yaman, 1996).

Çizelge 2.10 Çeşitli kalsiyum alüminat çimentolarının kimyasal bileşimleri (Yaman, 1996)

	Al_2O_3	CaO	SiO_2	Fe_2O_3+FeO	$Al_2O_3+TiO_2$
Fondu	45-48	37,0-39,5	4,0-7,0	5,0-9,0	-
Secar 50/51	80,5-53,0	37,0-39,0	4,0-5,5	-	50,5-56,0
Secar 70/71	70,0-72,7	26,7-29,2	-	-	-
Secar 80	79,5-82,5	16,5-19,0	-	-	-

Hidrasyondan sonra ilk olarak $C_{12}A_7$ fazı oluşur. Bu bileşk 900-1000°C'a kadar karalıdır. Bu sıcaklık aralığında CA oluşmaya başlar, secar 71'de ise CA_2 oluşmaya başlar. CA ve CA_2 1500 °C'a kadar katılırlar. Secar 80'de yaklaşık olarak 1400°C'de CA ve CA_2 serbest alümina ile reaksiyona girerek CA_6 fazını oluşturur ve bu durumda da CA fazı kaybolmaktadır.

Yüksek alüminalı çimentolarda su oranı arttıkça mukavemet düşmektedir. Reaksiyon için gerekli olan suyun üzerinde ki su taneler arasında yer işgal etmekte, kuruma sırasında yeri boş kalmaktadır. Bu da gözeneklilik oranını arttırmakta ve mukavemet düşmektedir.

Yüksek alüminalı çimentonun katılaşma zamanını alçı, kireç ve organik maddeler önemli ölçüde etkilerler. Bundan dolayı çimentolar içine katkı maddeleri katılmaktadır. Yüksek alüminalı çimento içerisinde C/A oranı arttıkça katılaşma hızı artar. Yapı da cam faz oranının artması katılaşma hızını düşürür. Yüksek alüminalı çimentoların mukavemetinin zamana bağlı olarak değişimi konusunda farklı görüşler hakim olmakla beraber, kimi araştırmacılara göre ilk 6-8 saat içerisinde yeteri kadar mukavemet kazanır. İlk 24 saatte maksimum mukavemetin %80'ine erişir (Teoreanu vd., 1994).

Yüksek alüminalı çimentoların en önemli özellikleri en önemli refrakter malzemelerden biri olmasıdır. Geniş bir sıcaklık aralığında gösterdiği performans tan anıslamaktadır.Refrakter beton 20-250°C arasında mukavemetinin bir kısmını kaybeder.1000°C üzerinde ise mükemmel bir direç gösterir.Refrakter betonun özelliklerini agregaya çok ciddi şekilde etkiler.Ateş kili pişirilir, kırılır, öğütölür ve elenerek sınıflara ayrılır.Bunlara grog adı verilir.Yüksel alüminalı çimento ve grog kullanılarak hazırlanan refrakter beton yaklaşık 1350°C'a kadar kullanılır.Ergitilerek dökölmüş alümina agregaya ve özel beyaz kalsiyum alüminat çimentosu ile hazırlanan beton 1800°C gibi yüksek sıcaklıkta uzun süre kullanılabilir.Bu çimento %70-80 alümina, %20-25 kireç ve yaklaşık %1 demiroksit veya silika içermektedir (Yaman, 1996).

Yüksek alüminalı çimento ile hazırlanan refrakter beton asitler ve baca gazlarında ki asitlere karşı iyi dayanım gösterir.Eğer 900-1000 °C'de pişirilirse kimyasal etkiler karşı olan dirençleri artar. Refrakter tuğlalar ısındığı zaman genişler.Bu nedenle tuğlaların birbirine değdiği yerlerde genişleme boşluklarına ihtiyaç vardır.Refrakter beton ise istenen büyüklük ve şekilde dököllebilir .Refrakter betonun birinci pişiriminde yapıdan uzaklaşan su bir miktar bözölmeye neden olur .Bu bözökmeye daha yüksek sıcaklıklarda meydana gelen uzmaya yakın olduğu için net boyutsal değişim çok az olmaktadır.Fakat soğuma aşamasında termal bözölmeye nedeniyle parçalara arasında çok az açılma olacaktır.Refrakter beton termal soklara karşı çok iyi dayanım gösterir (Banerjee, 1998).

3. GÖBEKLENME (SİYAH ÇEKİRDEKLENME)

Seramik mamullerin üretiminde çok sık karşılaşılan problemlerden biride göbeklenmedir. Tüm kil hammaddelerinin içerisinde genellikle kömür parçaları, ağaç ve yaprak kalıntıları gibi organik maddeler bulunmaktadır. Bu organik maddeler üretim esnasında problem çıkartarak ürünün özelliklerini genellikle olumsuz etkilerler. Özellikle göbeklenme denilen problemin doğmasına sebep olurlar. Pişme sırasında önce malzemenin dış yüzeyindeki organik maddeler yanar bu tür killerde vitrifikasyon düşük sıcaklıkta olur. Eğer pişme sırasında kil içerisindeki organik maddeler tamamen yanmadan dış kısımda vitrifikasyon başlarsa, iç kısımda merkezi siyah olarak oksitlenmeden kalacaktır. Pişmiş kilin kırılmış kesitinde farklı ama birbirine yakın tonlarda görünür. Buna göbeklenme adı verilir.

Göbeklenmeyi biz seramik malzemelerin iç kısmında gördüğümüz, farklı renkteki bölge olarak tanımlayabiliriz. Bu farklı renkteki bölgenin rengi, seramik malzemenin

bünyesine, pişme sıcaklığına ve olayın şiddetine bağlı olarak ,sarıdan siyaha doğru değişik tonlarda ve büyüklükte olmaktadır.Göbeklenme problemi,seramik bünyedeki organik maddelerin yeterince oksitlenip yanmaması sonucu oluşmaktadır.

Karbonun sağlıklı yanabilmesi için ortamda yeterince ısı ve oksijenin bulunması gerekir.Örneğin killerde en çok rastlanan linyit esaslı organik safsızlıklarda ki karbonun yanması 700°C altında karbon monoksit şeklinde olmaktadır.Aynı şekilde yine yeterli sıcaklık bulunsa ahi, yetersiz oksidasyon ortamın da karbonun yanması yine kısmi olup, sonuçta karbon monoksit açığa çıkmaktadır,Her iki olayda da tam yanma olmayıp , kısmi yanma sonucunda oluşan karbon monoksit, ortamda indirgen rol oynayıp göbeklenmeyi oluşturmaktadır.O halde göbeklenme olayı büyük ölçüde, sorunun meydana geldiği kısımda bünyenin yeterince ısı ve oksijen alışverişinin engellemesiyle oluşmaktadır (Akkurt, 1992).

Göbeklenme olayı sırlı mamullerde, 900°C'ye kadar tamamlanması gerekmektedir. 900°C'nin üzerinde ise, hem bünyenin gözenekleri kapanmaya başladığından, hem de sırların erimesi başladığından gaz giriş çıkışı zorlaşmakta, çıkan gazlarda sırlı yüzde iğne deliklerine sebep olmaktadır.Genellikle, tek tek pişen malzemelerde kırdığımızda orta göbeğinde, birlikte pişenlerde ise destenin orta kısmında ki ürünlerin orta kısımlarında, yani ısı ve oksijen etkisinin en zor ulaştığı bölgelerde olmaktadır.

3.1 Göbeklenmenin Oluşumu

3.1.1 Göbeklenmenin kaynağı

Göbeklenmenin kaynağı, tesbit amacıyla yapılan testlere aynı şartlarda hazırlanan seramik bünye, her biri dört numuneye ayrılarak, iki grup halinde kuru toz şekillendirme olcuk şeklinde preslenip, sırsız olarak 1080°C de 50 saatte pişirim yapan tünel fırında, üst üste desteler şeklinde pişen arabanın üst kısmında ve alt orta kısmında olacak şekilde, her iki grup ayrı yerde pişirilerek sonuçlar gözlenmiştir. Arabanın üst kısmında pişen gruptaki dört ayrı numunenin hiçbirinde, göbeklenmeye rastlanmıştır. Fakat arabanın alt orta kısmında pişen ikinci grupta ise durum şu şekilde sonuçlanmıştır. Dört numunenin birincisi hiçbir ilave yapılmadan preslenerek pişirilmiş olup, herhangi bir göbeklenmeye rastlanmamıştır.İkinci numuneye %2 Fe₂O₃ ilave edilerek pişirilmiş olup, sonuçta yine göbeklenme görülmeyip yalnızca pişmiş bünyenin rengi koyulaşmıştır. Üçüncü numune ye %2 linyit kökenli organik maddeler ilave ederek pişirilmiş olup, sonuçta numunenin ortasında kenarlarında daha koyu

bir renk oluşmuştur. Dördüncü numuneye ise %2 Fe_2O_3 ile %2 organik maddeler ilave edilerek pişirilmiş olup, sonuçta numunenin orta kısmında üçüncü numuneden çok daha koyu renkte göbeklenme olduğu gözlenmiştir (Barba, 1999).

Aynı şartlarda fırın içinde destenin üst kısmında pişen numunelerin hiçbirinde herhangi bir, göbeklenmenin kaynağını bünyedeki organik maddelerde, buna bağlı olarak demirli bileşiklerde ve pişme şartlarında aramamız gerekmektedir. Genelde seramik bünyelerdeki organik maddelerin ve demirli bileşiklerin kaynağı killerdir.

3.1.2 Göbeklenme reaksiyonları

Pişme esnasında hammaddelerin içindeki organik safsızlıklar miktarlarına, ısı ve oksijen alışverişine bağlı olarak, belirli bir yanma zamanına ihtiyaçları vardır. Eğer bunlar yeterince sağlanmaz ise oksitlenme yanma işlemi tamamlanamaz. İç kısımda yeterince oksitlenip yanmayan organik bileşiklerden oluşan koklaşmış bölge, yetersiz oksijen ile aşağıdaki reaksiyonu verir.



Aynı zamanda bünyede bulunan henüz ayrışmamış su ve 500°C ila 650°C arasında açığa çıkan kimyasal su ile (3.2) reaksiyonunu oluşturur.



Bu reaksiyonlardan açığa çıkan CO, H_2 aynı zamanda koklaşmış göbek, bünyede bulunan Fe_2O_3 'ü indirgeyerek şu reaksiyonları oluşturur.



Bu reaksiyonlar 1000°C üzerinde oluşur. FeO silikatlarla birleşerek eritici bir rol oynar ve seramik malzemenin ortasında siyah bir göbek oluşturur. Eğer pişme işlemi 1000°C civarında ise, Fe_3O_4 oluşur bu ise kahverengi gibi daha açık bir görünüştedir (Akkurt, 1992).

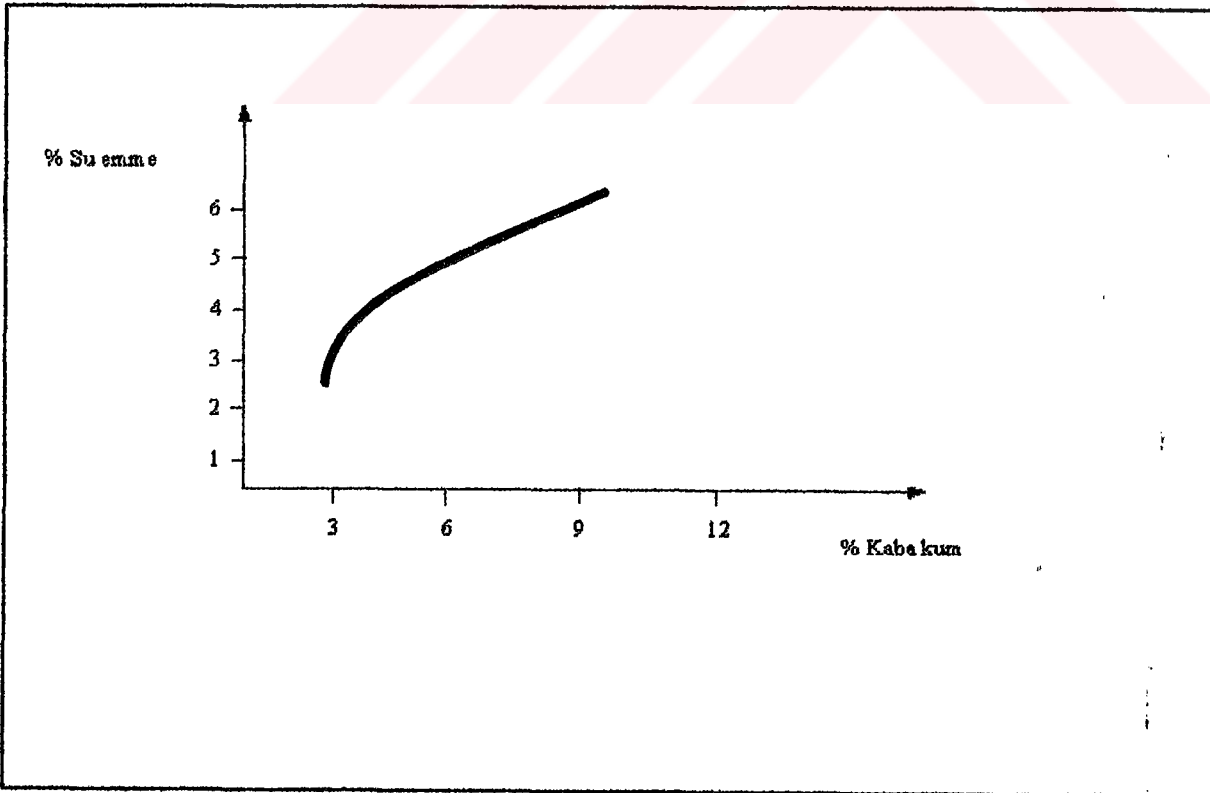
3.2 Göbeklenme Oluşumuna Etki Eden Faktörler

Isı ve oksijenin, pişme işleminde seramik ürünlerin ortalarına ulaşmasını engelleyen veya geciktiren faktörleri incelememiz gerekmektedir. Bu konuda tesbit edilmiş faktörleri pişmeden önceki ve pişmeden sonraki faktörler şeklinde iki gruba ayırmamız mümkündür.

3.2.1 Pişmeden nceki faktörler

3.2.1.1 Tane dağılımı

Seramik mamullerin üretiminde hammaddelerin öğütülmesi ve sonuçta elde edilen tane dağılımı, mamulun teknik değerleri üzerinde büyük rol oynar, Daha düşük tane iriliği pişme esnasında bünyenin daha sinter camsı özellikler kazanmasına yol açarak, sonuçta daha düşük gözenekli yapıda bünye oluşmasını sağlar. Düşük gözenekli yapı ise, gaz giriş çıkışını dolayısıyla seramik malzemenin iç kısmına oksijenin ulaşmasını engeller. Böylece bünyedeki organik maddelerin oksitlenmesi engellenir. şekil 3.1’de 1180°C’de pişen 63 mikron elek üzerinde kalan iri taneli seramik bünyenin su emmesinin nasıl değiştiği gözükmektedir (Barba, 1999).

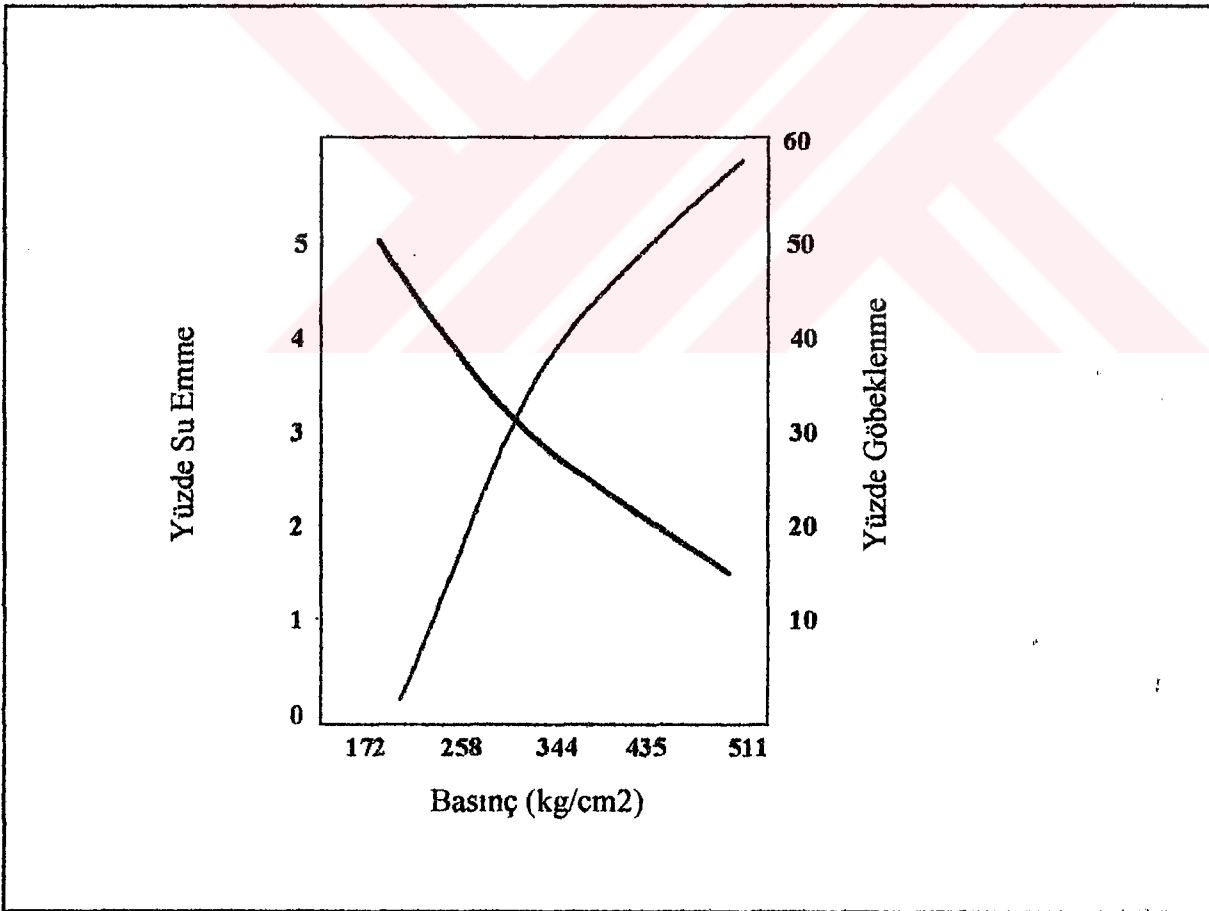


şekil 3.1 Kabakuma bağlı olarak su emmenin değişimi

3.2.1.2 Şekillendirme

Şekillendirme esansında iyi sıkıştırılmış daha yoğun seramik ürünler, aynı pişme şartlarında daha camsı yapı kazanarak, sonuçta yine daha düşük gözenekli yapı oluştururlar. Seramik malzemenin daha iyi sıkıştırılması, şekillendirme basıncının ve şekillendirme rutubetinin artırılması ile mümkündür.

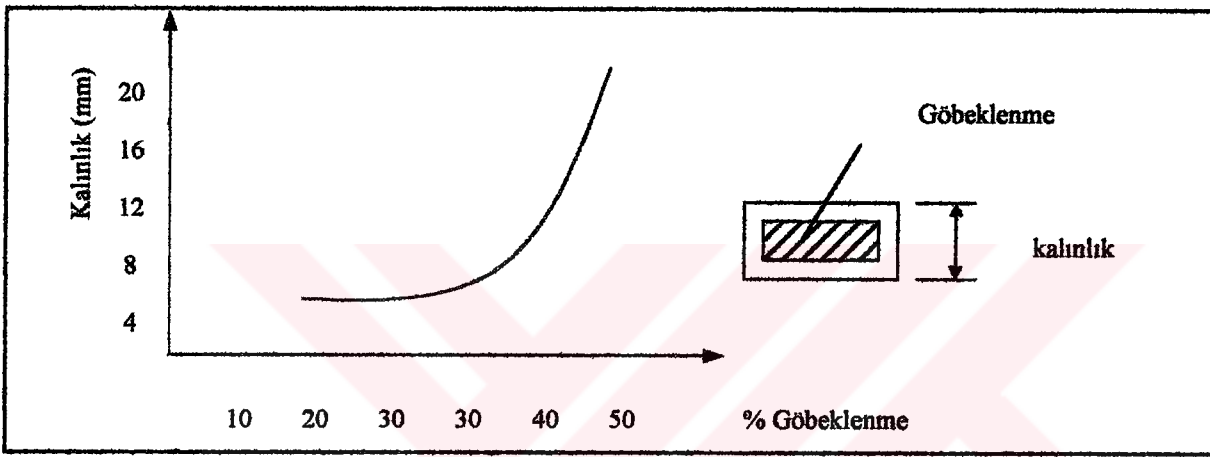
Sonuçta ele geçen düşük gözenekli yapı, yine seramik malzemenin iç kısmının oksitlenmesini engeller. Bazen de çeşitli sebeplerle düzensiz sıkıştırmadan dolayı, göbeklenme seramik malzemenin belli bir bölgesinde görülür, diğer bölgelerde görülmez. Şekil 3.2’de presleme basıncına, şekillendirme rutubetine bağlı olarak su emmenin, göbeklenmenin ve düzensiz sıkıştırmaya bağlı olarak seramik malzemedeki göbeklenme, su emme dağılımını görmekteyiz.



Şekil 3.2 Göbeklenme, su emme ve basma dayanımı arasındaki ilişki (Akkurt, 1992).

3.1.2.3 Kalınlık

Seramik malzemenin kalınlığı göbeklenmenin oluşumunda büyük bir rol oynamaktadır. Çünkü, ısı ve oksijenin parçanın iç kısmına iletilmesi kalın parçalarda ince parçalara göre daha güçtür. Böylece malzemenin iç kısmında sıcaklık daha geç yükselmekte, organik maddelerin yanması ise gecikmektedir. Şekil 3.3’de yüzde göbeklemenin kalınlığa bağlı değişimi görülmektedir.



Şekil 3.3 Kalınlığa bağlı olarak göbeklenmenin değişimi (Barba, 1999).

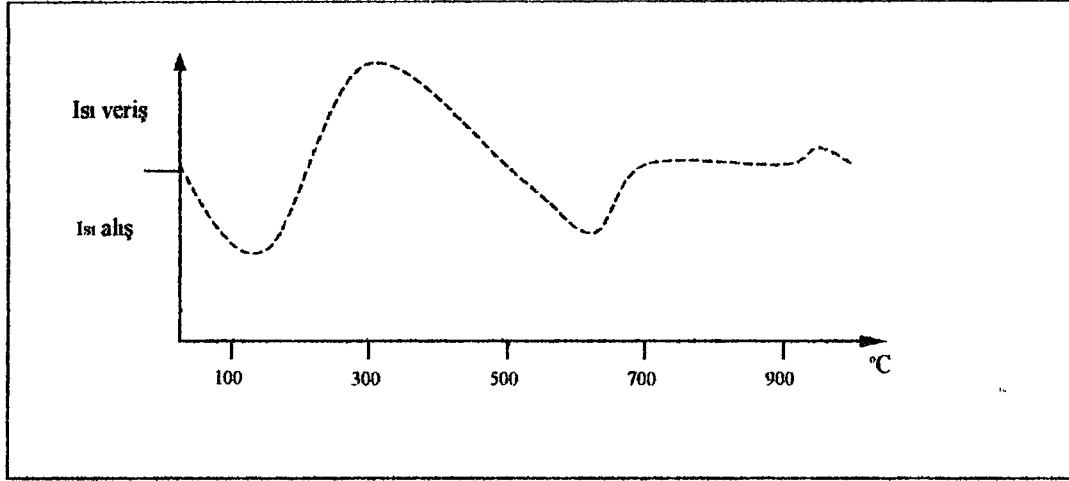
3.2.1.4 Kurutma

Genelde seramik malzemeler pişme işlemi için fırına girmeden önce kurutularak bünyelerindeki şekillendirme rutubeti uzaklaştırılır. Buna rağmen yine de bünyede bir miktar rutubet kalır.

Şekil 3.4’de bünyesinde fiziksel su ve organik maddeler buluna bir kilin DTA eğrisi görülmektedir. Önce bünyedeki fiziksel bağlı suyun ayrışmasından dolayı 250°C’ye kadar ısı alışı, devamında da yine organik maddelerin yanmasına bağlı olarak ısı veren reaksiyon görülmektedir.

Bünyede kalan rutubet uzaklaşırken devamlı ısı alarak , malzemenin iç kısmında sıcaklığın yükselmesini engelleyerek, göbeklenmenin oluşmasına yardımcı olur. Yine sıkıştırılmış seramik malzemelerin pişirilmesinde, bu suyun ayrışması daha yüksek sıcaklıklara kadar devam ederek, yeterince oksijen alamayan karbonla su buharı birleşerek, indirgen karbon

monoksiti oluştururlar. Bütün şartlar aynı olduğu halde kuru mamule oranla %0.6 rutubetli mamulde , göbeklenme %7 oranında artış gösterir.



şekil 3.4 Bünyesinde fiziksel su ve organik madde bulunan kilin DTA eğrisi (Akkurt, 1992).

Aynı zamanda üst üste desteler halinde pişen mamullerde kurutmadan çıkan arabalarda destenin üst ile altı arasında ve destenin orta kısmında ki mamulun kenarı ile göbeği arasında %3'e varan rutubet farkları tesbit edilmiş olup, pişme sonunda bu bölgelerde ki aşırı göbeklenmeye, yetersiz, kurutma sonucunda kalan rutubetin etkisi büyüktür. Çünkü aynı mamullerde ,uygun kurutma yapıldı taktirde göbeklenmenin azaldığı görölmektedir.

3.2.2 Pişme işlemindeki faktörler

3.2.2.1 Pişme süresi

Pişme süresinde, diğer bir ifade ile ısıtma hızıda bünyedeki organik maddelerin yanması üzerinde büyük rol oynar.Bünyedeki organik maddelerin miktarına bağlı olarak, yanma işlemlerinin tamamlanması belirli bir zaman ister. Eğer biz bu işlemin tamamlanmasına izin vermeyecek şekilde hızlı bir pişirme süresi seçersek, göbeklenmenin oluşumu kaçınılmaz olacaktır.

3.2.2.2 Pişme eğrisi

Pişme eğrisinde, özellikle 700-900°C arasındaki bölge, göbeklenmenin giderilmesinde çok büyük bir rol oynamaktadır. Sıkıştırılmış ürünlerde karbonun yanması bu bölgelerde olacağı

için bu bölgenin yanma işleminin tamamlanması için yeterli uzunlukta tutulmasında yarar vardır. Özellikle hızlı pişirim şartlarında organik maddelerin yanması 740°C'dan başlayıp 830°C'a kadar devam ettiği tespit edilmiştir.

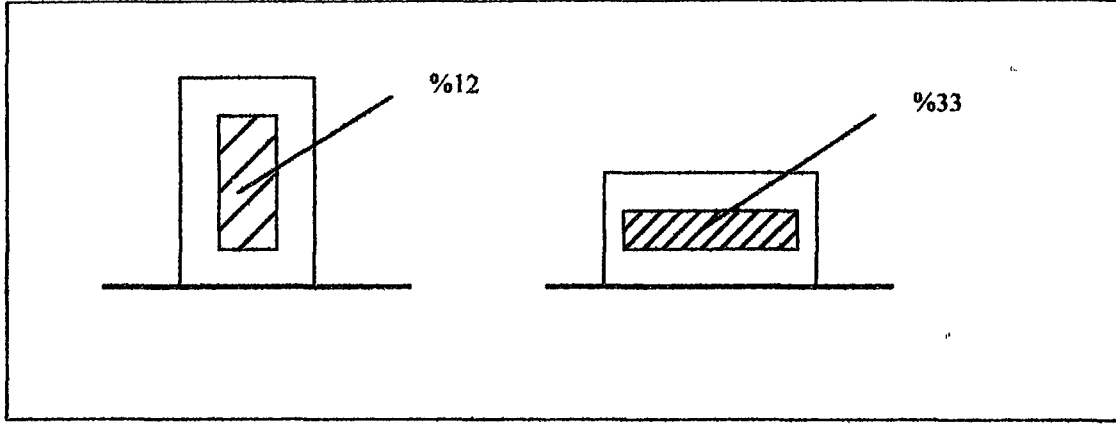
Klasik tünel fırınlarda bu bölgede mamül arabasının alt ve üst kısımlarında homojen ısı dağılımı sağlanmaktadır. Desteler halinde üst üste pişen mamullerde göbeklenmenin arabanın tabanındaki destelerin içinde daha fazla görülmesi pişme eğrisi etkisinden kaynaklanmaktadır

3.2.2.3 Fırın atmosferi

Bünyedeki organik maddelerin oksitlenip yanabilmeleri için gerekli olan oksijenin fırın atmosferinden temin edildiği dikkate alınırsa fırın atmosferinin önemi açıkça anlaşılır. Bu yüzden fırın atmosferi oksidasyon karakterli olmak zorundadır. Bunun sağlanabilmesi için en pratik yol, organik maddelerin yanma bölgesi olan 700-900°C arasında fırın içine hava verilmelidir.

3.2.2.4 Pişme şekli

Seramik malzemelerin fırında pişme şekilleri, konumları, ısının ve oksijenin düzenli uygulanıp, iç kısımlarına nüfuz etmesi açısından son derece önemlidir. Fırın arabalarına üst üste ve yan yana yığınlar şeklinde yapılan pişirmede yığınlardaki ürünlerin arasına ve iç kısımlardaki yığınlara ısı ve oksijenin iletimi güçleşeceğinden göbeklenme riski yine artar. Yığınların üst kısmında pişen ürünlerde göbeklenme olayına rastlanmamaktadır. Çünkü bu bölgede ısı ve oksijenin temini açısından herhangi bir engelin bulunmadığı kısımdır. Oysa göbeklenme, ısı ve oksijen temininin zorlaştığı alt ve orta bölgedeki ürünlerde görülmektedir. Bunun giderilmesi için yığınların arasına ısı ve oksijenin iletimini kolaylaştırıcı şekilde daha fazla boşluklar, aynı zamanda üst üste pişen mamullerde aralarında boşluklar kalacak şekilde düzenlenmelidir. Şekil 3.5'de pişme şeklinin etkisi görülmektedir (Winterfeld vd., 1993).



Şekil 3.5 Pişme şeklinin etkisi (Winterfeld vd., 1993).

3.2.2.5 Fırın iç basıncı

Özellikle genişliği ve yüksekliği fazla olan fırınlarda ısı ve oksijenin fırın içindeki her noktaya eşit oranda iletebilmesi büyük bir sorundur. Böylece bir fırında pişen mamullerin alt ve orta kısımlarına, eğer aralarındaki boşluklarda yetersizse, ısı ve oksijenin iletilmesi zorlaşır. Bunun temini için fırın iç basıncının yüksek tutulması gerekmektedir. Böylece ısıнын alt-üst ve kenar-orta bölgelerine dağılımı daha düzenli olacaktır.

Göbeklenme problemini seramik mamulün bünyesindeki organik safsızlıkların yeterince oksitlenmeyip yanmaması sonucu ortaya çıktığını belirttiğimize göre bu problem öncelikle seramik bünyesindeki organik maddelerin varlığına bağlıdır. Organik maddelerin kaynağı da kullandığımız killerdir. O halde biz bu problemten korunmak için öncelikle alacağımız ilk tedbir organik maddelerden arındırılmış hammaddeler kullanmaktır. Daha sonra üretim safhalarında bir dizi önlem almaktan kurtulabiliriz. Bunun yolu da başlangıçta temiz hammadde temin etmek ya da mevcut killerdeki kömür gibi organik maddeleri ayırmaktır. İkinci alınacak tedbir ise pişme esnasında yeterli ısı ve oksijenin teminini sağlamaktır. Bu da, daha gözenekli yapı oluşturarak, uygun kurutma, seramik ürünlerin iç kısımlarına yeterli ısı ve oksijenin temini, organik maddelerin yanmasına uygun pişme süresi ve eğrisi ile mümkündür.

4. ULTRASONİK MUAYENE

4.1 Ultrasonik Muayenenin Tanımı ve Tercih Nedenleri

20 kHz 'den daha yüksek frekanslı dalgalara ultrasonik dalga adı verilir. Metal malzemelerin muayenesinde genellikle 0.5-10 kHz'lik dalgalar kullanılır. Seramik, refrakter ve beton malzemelerin muayenesinde ise 20-250 kHz frekanslı dalgalar kullanılır. Frekans arttıkça ultrasonik dalga daha kolay demet haline getirilebilir.

Ultrasonik muayene yöntemi bir tahribatsız muayene yöntemi olup, test edilen malzemeleri tahrip etmeden 20000 Hz frekansın üzerindeki dalgalar kullanılarak uygulanan bir muayene yöntemidir. Yöntemin ana prensibi, malzeme içindeki hata ile onu çevreleyen ana malzemenin ana yüzeyinde akustik empedansın ani değişimine dayanmaktadır (Topuz, 1993).

Katı malzeme içinde hareket etmekte olan ultrasonik dalga o malzemenin yoğunluğundan ve elastik özelliklerinden etkilenir. Bir malzemenin kalitesi kimi zaman bu elastik özelliklere bağlı olarak, dolayısı ile ultrasonik hıza bağlı olarak değişir. Tahribatlı deneylerde numuneler kullanılamaz duruma gelirken, bunlara ek olarak test masrafları da meydana gelmektedir. Ultrasonik muayenede parçalar kırılmadığından bu tür masraflar en aza indirilmektedir (Pundit, 1992).

Son yıllarda endüstriyel refrakterlerin ultrasonik yöntemle muayenesi, ürün özelliklerinin ve kalitesinin ortaya konulması amacıyla kullanılan genel bir olay haline gelmiştir (Aly, 1985). Kullanımdaki kolaylık, cihaz ve ekipmanın portatif oluşu gibi sebeplerden dolayı kullanımı gün geçtikçe artmaktadır. Bununla beraber, tahribatsız muayene yöntemleri parçaların hafifletilmesi, limit dizaynlara gidilmesi ve belirli bir kademede hatayı tespit edip, bunu izleyen işçilik masraflarının en az düzeye indirilmesi gibi nedenlerden dolayı sıklıkla tercih edilen bir yöntemdir (Topuz, 1993).

Tahribatsız muayene yöntemi sadece malzemedeki hataları ortaya çıkarmakla kalmamakta, aynı zamanda da malzemenin kalitesi hakkında bilgi verebilmektedir. Ultrasonik hız frekanstan etkilenmez. Fakat dalga boyu ile frekans ters orantılıdır. Bu nedenle ultrasonik hız genellikle malzemelerin özelliklerine bağlı olup, bu hızın ölçülmesi malzeme hakkında bilgi sahibi olmamıza olanak sağlar (Yaman, 1999).

Ultrasonik hız ölçümü ile kalite kontrol yapılabilmesi için hız ölçümünün hassas yapılması gerekmektedir. Bu iyi bir ultrasonik dalga oluşturucu ve dalganın parça içinden geçiş zamanını ölçen saat ile gerçekleştirilir. Ultrasonik hız yol, zaman formülü ile bulunur. Yol ve zaman $\% \pm 1$ doğrulukla ölçülmelidir. Elektriği ultrasonik dalgaya çeviren parçaya verici prob, ultrasonik dalgayı elektrik akımına çeviren parçaya ise alıcı prob adı verilir. ultrasonik dalganın verici probtan alıcı proba gidinceye kadar geçirdiği süre ekrandan okunur. Cihaz, alıcı, verici prob ve hızlı bir saatten oluşmaktadır. Seramik ve refrakter uygulamalarında silikon lastik kaplı prob kullanılır.

Tek problu ultrasonik cihazlar da kullanılmaktadır. Seramik malzemelerin homojenliği, bir parti içindeki malzemelerin özelliklerinin yakın olup olmadığını, refrakter beton gibi malzemelerde hidrasyon gibi reaksiyonlarla özelliklerin zamanla değişip değişmediği saptanabilir. Betonda ve refrakter betonda donma ve kimyasal olaylardan etkilenme de yine tahribatsız muayene yöntemi ile saptanabilir.

4.2 Ultrasonik Dalgaların Özellikleri

Ses dalgalarını üç ana grupta toplamak mümkündür. Bunlar:

- Frekansı 16 Hz'nin altında olanlar (ses altı dalgalar),
- Frekansı 16 Hz ile 16 kHz arasında olanlar (akustik veya ses dalgaları),
- Frekansı 16 kHz'den büyük olanlar (ultrasonik dalga) dır.

Metal esaslı malzemelerin muayenesinde 0,5-20 MHz, seramik malzemelerde ise 20-250 kHz frekansa sahip cihazlar kullanılır.

4.2.1 Ultrasonik dalgalarının yayılma çeşitleri

Ultrasonik ses dalgaları üç şekilde yayılmaktadırlar. Bunlar:

4.2.1.1 Boyuna dalga

Boyuna dalga şeklinde isimlendirilen türde, titreşim doğrultusu ile yayılım doğrultusu aynıdır. Bu tip yayılmaya basınç dalgası adı verilir. Titreşen komşu atomlar bir periyodun yarısında birbirine yaklaşarak sıkışırlar. Periyodun diğer yarısında ise komşu atomlar

birbirinden uzaklaşarak kendi aralarında bir çekme kuvvetinin doğmasına neden olurlar. Böylece malzeme içinde elastik sınır içinde kalan bası ve çeki kuvveti oluşur. Kalınlık ölçümlerinde boyuna dalgalar kullanılır. Günlük hayattaki ses dalgaları bu şekildedir.

Boyuna dalgaların bir boşluğa çarpmadığını düşünürsek, hareket doğrultusuna dik düzlemden proba doğru geri yansıma olurken diğer yüzeylere çarpanlar yüzeyle belirli bir açı yapacak şekilde çevreye saçılırlar. Bu saçılan dalgalar başka boşluklara çarparak boşluk çevresini dolaşıp ilerlemeye devam eder. Eğer boşlukların çevresinde ilerleme olanağı olmasaydı gözenekli seramikleri ultrasonik yöntemle muayene etmek mümkün olmazdı.

4.2.1.2 Enine dalga

Enine dalga şeklinde ifade edilen yayınım (yayılma) çeşidinde titreşim doğrultusu yayınım (yayılma) doğrultusuna diktir. Buna aynı zamanda kayma dalgası adı da verilir. Atom düzlemleri birbirini sıkıştırarak değil, birbirine göre kayarak titreşim hareketini yitirirler. Atomlar arasında bağ kuvveti olan ortamlar yani katılar içinde kayma gerilmesi doğabilir. Dolayısıyla enine dalgalar ancak katı ortamlarda yayılırlar. Örneğin kaynak dikişi muayenesinde sık kullanılan bir yayılma çeşididir. Enine dalgaların katı ortamlarda yayılma hızı boyuna dalgaların yaklaşık yarısıdır.

4.2.1.3 Yüzeysel dalgalar

Yüzeysel dalgalar yalnız yüzeyde yayıldıkları için bu yönüyle deniz dalgasına benzétilebilir. Aşağıdaki ifadelerde boyuna, enine ve yüzey dalgaları formül olarak açıklanmış ve malzeme sabitleriyle arasındaki ilişki belirtilmiştir.

$$C_B = \sqrt{\frac{E}{\rho} \frac{1-\mu}{(1+\mu)(1-2\mu)}} \quad (4.1)$$

$$C_E = \sqrt{\frac{E}{\rho} \frac{1}{2(1+\mu)}} \quad (4.2)$$

$$C_S = \frac{0.87+1.12\mu}{1-\mu} \sqrt{\frac{E}{\rho} \frac{1}{2(1+\mu)}} \quad (4.3)$$

Birbirleri ile arasındaki ilişkide:

$$C_E = C_B \sqrt{\frac{1-2\mu}{2(1-\mu)}} \quad (4.4)$$

$$C_B = C_E \frac{0.87 + 1.12\mu}{1 + \mu} \quad (4.5)$$

(4.4) ve (4.5) eşitlikleri ile tanımlanır (Topuz, 1993). Başka bir ifade ile ultrasonik hız ile elastiklik modülü arasındaki ilişki (4.6) eşitliği ile açıklanmıştır (Niyogi, 1994).

$$E = V_L^2 \rho \left[\frac{(1+\mu)(1-2\mu)}{(1-\mu)} \right] \quad (4.6)$$

(4.1) eşitliğinde boyuna dalga, (4.2) eşitliğinde enine dalga, (4.3) eşitliğinde yüzey dalgası diğer sabit ve değişkenlerle ilişkilendirilmiş, (4.4), (4.5) ve (4.6) eşitliklerinde bunların birbiri arasında olan ilişki açıklanmıştır.

Bu eşitliklerde:

C : hız,(m/s)

E : elastiklik modülü,(N/mm²)

ρ : yoğunluk,(g/cm³)

μ : poisson oranıdır.

Diğerlerinden farklı olarak (4.6) eşitliğinde V_L ultrasonik hız ifadesi olarak verilmiştir. Dikkat çekeceği üzerine ultrasonik ses dalgası hızıyla elastiklik modülü ve yoğunluğunun ilişkisi olduğunu görmekteyiz.

$$C = \lambda \times f \quad (4.7)$$

(4.7) eşitliğinde:

C : ultrasonik hız,(m/s)

λ : dalga boyu,
 f : frekans(KHz)

olarak gösterilmiştir.

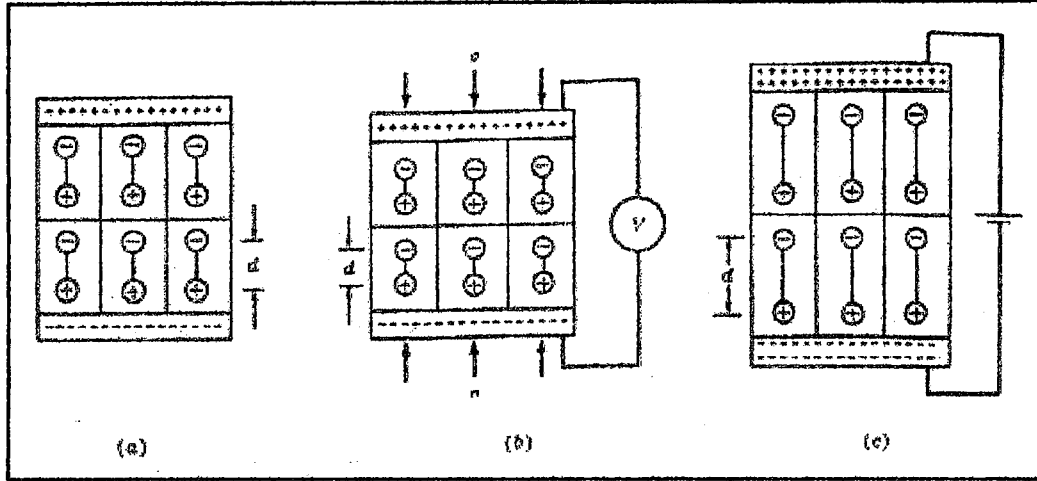
Refrakterlerde hız genellikle 3000 m/s, frekans ise 150 kHz olarak seçilir. (4.7) eşitliğinde λ değeri $\lambda/2$ 'nin altında olduğu takdirde hata tespit edilemez, ki bu da karşımıza minimum hata boyutu kavramını çıkartır. Frekansı ne kadar yüksek seçersek tespit edebileceğimiz hata da o kadar küçülür. Yani küçük hatalar ortaya çıkarılır. Yanlız her zaman küçük hataların tespit edileceği söylenemez. Örneğin heterojen yapı olarak dökme demirler küçük pütürlü ve gözenekli olduğu için gönderdiğimiz ultra ses dalgaları kolayca saçılabilir (Topuz, 1993).

4.3 Ultrasonik Ses Dalgalarının Oluşumu

Ultrasonik ses dalgalarının oluşumu esnasında piezo elektrik hadise yer almaktadır. Piezo elektrik olay yüksek frekanslarda enerji üretimine uygun hemen hemen tek yöntemdir. Bazı maddelerin elektrik gerilimi altında boyut değiştirmesi piezo elektrik etkinin varlığını ortaya koymuştur. Piezo elektrik özellik gösteren malzemeler kuvarst, lityum sülfat, baryum titanat gibi malzemelerdir. Baryum titanat bunlar içinde en çok kullanılandır.

Piezo elektrik özellik esnasında polar özelliğe sahip olan kristallerde düzgün ısıtma sonucu dipolün büyüklüğünün değişmesi nedeniyle yüzeyde elektrik şarjı oluştuğu görülür. Buna piroelektrik özellik adı verilir. Piroelektrik özellik malzemelerin polar yapıda olmasını gerektirdiğinden bu tip malzemeler aynı zamanda piezoelektrik özelliğine de sahiptir.

Bu özelliği daha iyi anlatmak için şu örnek verilebilir. Bir kristalin her birim hücresinde pozitif veya negatif yüklerin merkezleri arasında yük farkı nedeniyle dipol oluşur. Bu dipol, kristal yüzeyindeki yüklerle denge halindedir. Eğer kristal dipole paralel olarak sıkıştırılır veya çekilirse ya da ısıtılırsa dipolün boyu değişir ve yüzey yükleri ile dipol arasında bir fark meydana gelir. Bu olaya polarizasyon adı verilir. Bir malzemeye uygulanan basınç sonucu malzeme yüzeyinde elektrik şarj oluşması piezoelektrik özellik olarak tanımlanır. Ve bu özellik tersinir olup, voltaj uygulandığında malzemede mekanik deformasyon görülür.



Şekil 4.1 Baryum titanatın sahip olduğu piezo elektrik etkinin şematik görünüşü
(Ceramic Chapter, 1995)

Şekil 4.1'de BaTiO_3 'ün sahip olduğu piezo elektrik etki gösterilmiştir. Şekil 4.1a'da kristalin ilk hali gözükmemektedir. Şekil 4.1b'de kristal üzerine uygulanan basma gerilmesi elektrik şarja neden olmaktadır. Görüldüğü gibi atomlar arasındaki mesafe kısalmıştır. Şekil 4.1c'de elektrik gerilimi yön değiştirmiş ve bu tersinir olayla kristalin ebatlarında fiziksel olarak değişim sağlanmıştır. Bu işlem seri yapıldığı takdirde arzu edilen ses dalgası oluşacaktır.

Uygulanan gerilme ile orantılı olarak elektrik alan oluşumuna doğru piezo elektrik etki, tersi olarak uygulanan elektrik alanla malzemede bir genişleme yaratılmasına zıt piezoelektrik etki adı verilir. Bu iki durumda da orantı sabiti piezo elektrik katsayısı d 'dir.

Elemente mekanik gerilme uygulandığında:

$$d = \text{Oluşan şarj yoğunluğu} / \text{Uygulanan mekanik gerilme} \quad (4.8)$$

Elemente voltaj uygulandığında:

$$d = \text{Oluşan gerilme} / \text{Uygulanan elektrik alan} \quad (4.9)$$

(4.8) ve (4.9) eşitliklerinde görüldüğü üzere her iki etki içinde d katsayısının sayısal değeri aynıdır. Bir piezoelektrik elemente uygulanan elektrik alanla oluşan deformasyon birkaç yönde olabileceği gibi d 'nin birden fazla değeri de vardır.

4.3.1 Baryum titanatın yapısı

Piezoelektrik, belirli bir seramik grubunun sahip olabileceği elektriksel bir özelliktir. İlk olarak 1880'de Pierre ve Jacques Curie'nin kuartz ve çinko üzerindeki çalışmaları esnasında keşfettikleri piezoelektriğin, yapılan sonraki araştırmalarda, özel bir kristal yapıya ve kompozisyona sahip seramiklerde görüldüğü ortaya çıkmıştır.

Bu keşiften sonraki 40 yıl içerisindeki çalışmalar göstermiştir ki, baryum titanattan yapılan seramiklere yüksek statik elektrik alanı uygulandığı takdirde piezoelektrik özelliğe rastlanabilmektedir. Ancak baryum titanatın yapısal bazı nitelikleri, piezoelektriksel özelliğinin ortaya çıkmasına engel teşkil etmekteir. Bu durum başka piezoelektrik seramiklere de gereksinim duyulduğunu ortaya çıkartmıştır. Yapılan daha geniş çaplı araştırmalar, kurşun titanat-kurşun zirkonat sisteminin varlığını kanıtlamıştır.

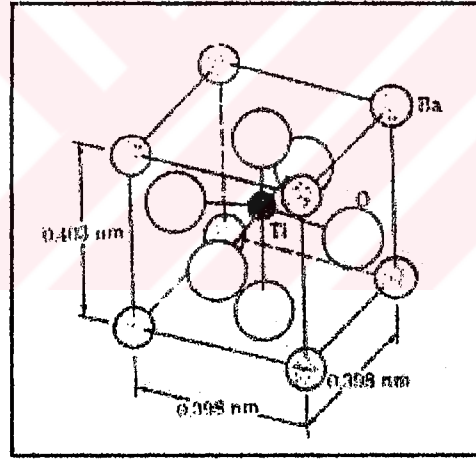
Kısaca PZT diye adlandırılan bu yeni kompozisyonun baryum titanattan daha çok tercih edilmesinin sebebi sahip olduğu üstün özelliklerdir. Daha kolay sinterlenebilmesi, başka bileşiklerle çok çeşitli kompozisyonlar oluşturabilmesi ve piezoelektrik uygulamalarda, elektriksel özellikleri açısından baryum titanattan daha dayanıklı ve güçlü olması onu bu alanda üst sıralara çıkarmıştır.

Piezoelektrik, belli bir sınıfa ait kristallerde görülen, mekanik bir gerilim sonucunda oluşan elektriksel polarizasyondur. Bu polarizasyon gerilimle orantılıdır ve ona bağlı olarak yön değiştirir.

Piezoelektrik seramiklerde düz ve ters etki diye adlandırılan 2 çeşit etki görülür. Düz etkide, uygulanan mekanik bir strese karşılık seramikte elektrik yükü oluşur. Ters etkide de, seramik, elektrik alana tabi tutulunca malzemedede mekanik bir hareket meydana gelir. Bu mekanik hareket aslında gözle görülemeyecek kadar küçük boyutta malzemenin boyutlarında meydana gelen değişiktir. Uygulanan alanın şiddetine ve yönüne göre seramik enine ya da boyuna göre uzar.

Seramiklere kutuplama denilen bir yöntemle pizoelektrik özellik kazandırılabilir. Sinterleme sonrası malzemenin içindeki yükler düzensiz bir durumda oldukları için malzeme izotropik bir özelliğe sahiptir. Kutuplama yöntemiyle bu yükler belirli bir yön kazandırılarak malzeme pizoelektrik hale getirilir. Kutuplama yönteminde seramiğin yüzeylerine elektrot sürülerek bir voltaj uygulanır (Moulson vd., 1990).

Baryum titanatın ultrasonik ses dalgası oluşturmak için en çok kullanılan piezoelektrik malzeme olduğunu belirtmiştik. Baryum titanat geliştirilen ilk yapay piezoelektrik seramik malzemedir. Kafes sistemi Şekil 4.2'de gösterildiği gibidir. Baryum titanat 120°C 'da kübik hacim merkezli bir yapıya sahiptir. 120°C 'ın altındaki bu sıcaklığa curi sıcaklığı da denir. Bu sıcaklıkta ise tetragonal bir yapıya sahiptir. Merkezde bulunan Ti^{+4} iyonun, onu saran O^{-2} iyonlarına göre kaymasından dolayı biraz tetragonaldir diyebiliriz. Bu asimetriklik hücrede küçük bir momentin doğmasına neden olur. Böylece hücre içinde küçük bir gerilim varlığından söz ederiz (Ceramic Chapter, 1995).



Şekil 4.2 BaTiO₃'nin kafes yapısı (Ceramic Chapter, 1995).

Yukarıda anlatılanlara ek olarak, yapı itibariyle 1460°C 'ın üzerinde kararlı bir hegzogonal yapıya sahiptir. 1460°C 'ın altında asimetrik yapıya sahip olmaktadır. Aynı zamanda da ferro elektrik özellik kazanır. 0°C 'a kadar ferro elektrik özelliğini korur, 0°C 'da yeni bir yapı dönüşümü gözlenmektedir.

Kimyasal özellikleri açısından BaCO₃ ve TiO₂'nin yüksek sıcaklıkta reaksiyonu sonucu elde edilir. Reaksiyonun ilk kademesinde BaCO₃-TiO₂ tane sınırlarında BaTiO₃ oluşur. Ve oluşan BaTiO₃, BaCO₃ ile reaksiyona girerek Ba₂TiO₄ meydana getirir. Baz TiO₄ kalan TiO₂ ile reaksiyona girerek BaTiO₃ oluşumu tamamlanır.

Esas olarak ultrasonik ses dalgalarının oluştuğu yapı yukarıda da belirttiğimiz gibi baryum titanat kristallerinin tam kübik yapıda olmadığı halde oluşan küçük dipol moment ultrasonik ses dalgalarının oluşumuna zemin hazırlar.

Piezoelektrik seramiklerin başarılı bir şekilde uygulanabilir olmasındaki en büyük etken, sıkça kullanılan ve insan hayatını kolaylaştıran alet ve makinelere kolayca adapte edilebilmeleridir. Düşük maliyet, küçük boyut ve yüksek güvenilirlik gibi özellikler de tasarım mühendislerine cazip gelen taraflardır. Bu nedenle, bu malzemelere karşı gittikçe artan bir talep söz konusudur.

Piezoelektrik seramiklerin belli başlı kullanım alanları, yüksek voltaj jeneratörleri ultrasonik jeneratörler, sensörler, hoparlörler, alarm sistemleri, radyo, televizyon, uzaktan kumanda motor, fan, yazıcı şeklindedir (Buchanan vd., 1994).

Piezoelektrik seramiklerin malzeme özellikleri üzerinde çalışmalar halen devam etmektedir. Bu çalışmalar, piezoelektrik seramikler için çok daha geniş kullanım alanları olabileceğini göstermektedir.

4.4 Prob Çeşitleri

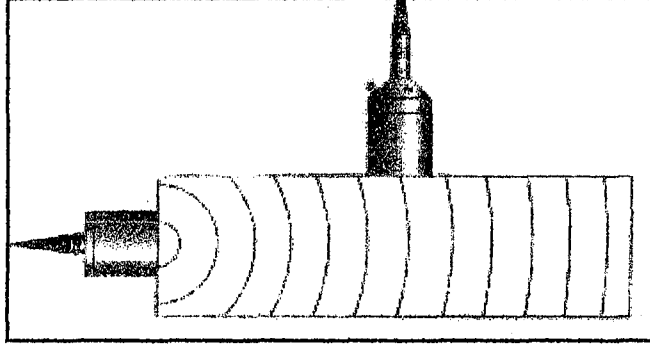
Ultrasonik muayenede temelde beş çeşit prob kullanılır. Bunlar, normal, açısall, daldırmalı, çift elemanlı ve geciktirme blokl problardır.

Normal prob, dövme parçalar, kalıntılar, kofluk şeklinde tanımladığımız hatalar ve katmerlerin bulunmasında, yırtılmalarda kullanılır. Açısall prob, hatanın kendi eksenini ile belirli bir açı yapması halinde kullanılır. Özellikle gözeneklik tespitinde sıkça kullanılır. Daldırmalı prob, seri kontrollerde su ile yapılan muayeneler için kullanılan bir prob çeşididir. Çift elemanlı prob ve geciktirme blokl prob ise kalınlık incelemelerinde kullanılır (Topuz, 1993).

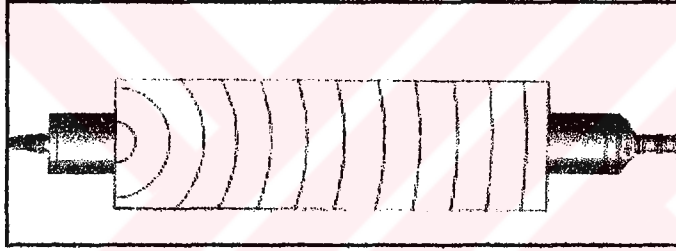
4.5 Probların Yerleştirme Şekilleri

Seramiklerin muayenesinde çift problu ultrasonik cihazlar kullanılır. Bir probdan çıkan ultrasonik dalga diğerine ulaştığında geçiş zamanı mikro saniye olarak cihaz tarafından saptanır. Problar muayene edilecek parçaya göre üç şekilde yerleştirilir. Bunlar, direkt, yarı direkt, indirekt veya yüzey yansımalıdır. Şekil 4.3'de direkte yerleştirme usulu Şekil 4.4'de

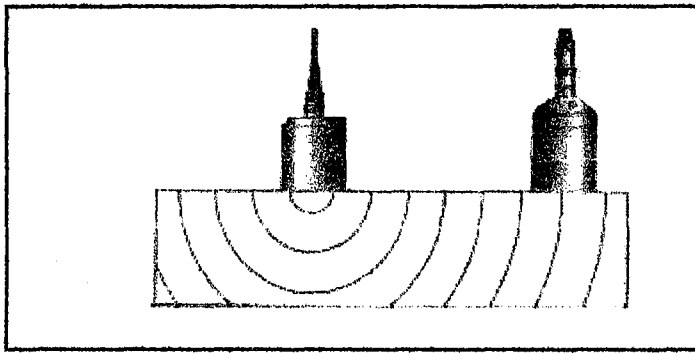
direkt yerleştirme usulunun başka bir şelini ve son olarak Şekil 4.5’de endirekt yerleştirme metodu görülmektedir.



Şekil 4.3 Probların direkt yerleştirme yöntemi (Pundit, 1992).



Şekil 4.4 Probların diğer direkt yerleştirme yöntemi (Pundit, 1992).



Şekil 4.5 Probların endirekt yerleştirme yöntemi (Pundit, 1992).

Bir malzemenin ultrasonik dalgaların yayılmasına karşı göstermiş olduğu dirence akustik empedans denir. Yoğunluk ve ultrasonik hızın çarpımına eşittir. Farklı akustik empedansa sahip iki bölgenin ara yüzeye çarpan dalgaların bir kısmı geri yansır, bir kısmı da yeni ortamda yoluna devam eder. Akustik empedanslar arasında fazla fark mevcut ise miktar artar.

Düz camın akustik empedansı $1,44.10^6 \text{ g/cm}^2\text{s}$, boyuna ultrasonik hız 110 m/s, enine hızı 1660 m/s'dir. Havanın akustik empedansı $0,0004.10^6 \text{ g/cm}^2\text{s}$ 'dir. Cam-hava ara yüzeyinde yansıyan dalganın yüzdesini hesaplırsak % 100 bulunur. Bu şunu ifade etmektedir. Cam içinde hareket etmekte olan dalgalar hava boşluğuna veya parça kenarına gelirse tamamı geri yansır, havaya geçen olmaz (Yaman, 1999).

Refrakter beton, beton ve pek çok seramik malzemede birden fazla faz bulunmaktadır. Refrakter beton ve betonda agrega ve bunların çevresini saran ve ikinci faz diyebileceğimiz çimento bulunmaktadır. Agregalar çok çeşitlilik göstermektedir. Çimento oranı düşük olmakla birlikte agreganın çevresini sardığı için malzeme özelliklerinde etkin rol oynamaktadır. Çimento ve agregaların akustik empedansı farklı olduğuna göre bu malzemelerde ultrasonik hız defalarca birinden diğerine geçmek zorunda kalacaktır. Seramik malzemelerde önemli oranda gözenekte bulunmaktadır. Ultrasonik dalgalar bu boşluklardan saçılırlar ve birinden diğerine saçılarak yollarına devam ederler.

4.6 Ultrasonik Yöntemle Saptanabilecek Minimum Hata Boyutu

Metalik malzemelerde ultrasonik dalga frekansı çok yüksek olduğu için minimum hata boyutu düşüktür. Bu nedenle ultrasonik dalganın metal malzemeye geçebilmesi için yüzeyin çok düzgün olması gerekmektedir. Buna rağmen metal malzemelerin muayenesinde ultrasonik dalganın parçaya geçebilmesi için bağlayıcı madde olarak vazelin kullanılır.

Seramik malzemelerin muayenesinde kullanılan frekanslar düşük olup, minimum hata boyutu göreceli olarak daha yüksektir. Bu nedenle seramik malzemelerin yüzeyleri metal malzemeler kadar pürüzsüz olmak zorunda değildir. Bununla beraber ultrasonik ses dalgasının seramik malzemeye geçebilmesi için bağlayıcı madde kullanılması zorunluluğu vardır. Burada da metal malzemelerde olduğu gibi vazelin kullanılmaktadır. Ancak seramik malzemelerin yüzeyleri çok pürüzlü ve gözenekli olduğu için bağlayıcı maddeyi yüzeyden temizlemekte zorluk çekilir. Bağlayıcı madde yüzeyden temizlenmediği takdirde pişme sırasında yanar ve duman çıkmasına neden olur. Bunu önlemek için karbontetraklorür ile vazelin yüzeyden temizlenir.

Muayene esnasında problemlerin daha iyi temas sağlaması için 50 mm çapında ve 0,05 mm kalınlığında alüminyum folyo ile kaplanır. Probun ekseni doğrultusunda en az 0,3 MPa yük uygulanmalıdır. Uygulanan basınç daha da artırılırsa 0,1-0,2 mikro saniyelik bir düşüş

olmaktadır (Yaman, 1999). Seramik malzemelerde ultrasonik hız yapıdaki gözenek oranına bağlı olarak geniş bir aralıkta değişmektedir. Perlitli dökülebilir refrakterlerle yapılan çalışmalarda ultrasonik hız 800 m/s'ye kadar düşmektedir. 150 kHz'lik cihaz kullanıldığı takdirde minimum hata boyutu 2,7 mm'dir. dökülebilir refrakterlerde ultrasonik hız 3400 m/s'ye kadar çıkmaktadır. Buna göre minimum hata boyutu 11,3 mm olarak tespit edilmiştir (Yaman, 1995).

Ultrasonik dalga minimum hata boyundan daha küçük hatalardan etkilenmez. Örneğin metal malzemelerde minimum hata boyundan daha küçük hatalar cihaz ekranında gözükmemektedir.

Çizelge 4.1 Seramiklerde ve çeliklerde, frekans, ultrasonik hız ve minimum hata boyu arasındaki ilişki (Yaman, 1999)

	Frekans (f)	Ultrasonik Hız (v)	Dalga Boyu (λ)	Minimum Hata	Minimum Hata
Çelik	10 MHz	5900 m/s	0,6	0,15 mm	$\lambda/4$
	4 MHz		1,5	0,37 mm	
	0,5 MHz		1,2	0,30 mm	
Seramik	150 KHz	3500 m/s	23	11,5 mm	$\lambda/2$
	55 KHz		64	32 mm	

Çizelge 4.1'de görüldüğü gibi yüksek frekanslı ultrasonik dalgalarla çok küçük hatalar tespit edilebilmektedir. Fakat içinde yüksek oranda boşluk içeren seramiklerde yüksek frekanslı ultrasonik dalgalar kolayca saçılır ve sinyal alınmayabilir. Bu nedenle seramik muayenesinde daha çok 150 kHz frekanslı ultrasonik dalga kullanılır.

Minimum hata boyunu formül şeklinde ifade etmemiz gerektiği takdirde aşağıdaki eşitliği yazabiliriz. Buna göre (Hoki, 1996):

$$L = W = V/F \quad (4.10)$$

(4.10) eşitliğinde:

$L = W$: Minimum hata boyu (mm),

V : Ultrasonik hız (m/s),

F : Frekansıdır (KHz).

5. ULTRASONİK HIZ ÖLÇÜM YÖNTEMİ İLE REFRAKTERE AİT ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Bu konuda çok çeşitli çalışmalar yapılmış olup, refrakterlerin sahip olduğu kimi özelliklerle ultrasonik hızın ne yönde değişeceği yada refrakterin sahip olduğu bir takım özelliklerin ultrasonik hızı ne yönde etkileyeceği araştırılmıştır.

Lawlar ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmada, kok fırınların da kullanılan geometresi karışık ateş tuğlaları üzerinde çalışmalar yapmışlardır. Ateş tuğlaları presleme yoluyla üretildiği zaman iki önemli sorun ile karşı karşıya kalınmaktadır öncelikle presleme doğrultusunda yoğunluk her tarafta homojen değildir ve laminasyon meydana gelebilir ikinci önemli hata ise göbeklenme tabir ettiğimiz çekirdeklenmedir bu iki hata basma dayanımının son derece değişkenlik göstermesine sebep olur. Bu da ölçümlerde ultrasonik hızın düşmesine neden olmaktadır. Deniz aşırı üreticilerden sağlanan kok fırını tuğlaları bu yöntemin gelişimini hızlandırmıştır.

Pişirme işleminden sonra çok sayıda numune üzerinde ultrasonik hız ölçülürse yani geniş çaplı bir istatistiki bir değerlendirme yapılırsa proses aşamasında ultrasonik hızın önceki partilere göre düşmesi laminasyon yada çekirdeklenme olayının habercisi olabilir. Ters durumda ise kalitenin arttığının bir göstergesidir.

Kok fırını ateş tuğlası kesildiği zaman önce siyah çekirdek veya siyah karın sorunu ile karşılaşılır. Siyah karın sorununa büyük tuğlalarda rastlanır. Hızlı pişirme sonucu yanmadan kalan organik maddelerin veya Fe_3O_4 'ün siyah renge neden olduğu sanılmaktadır.

Mukavemet düşmesine laminasyon veya siyah çekirdeklenme nedeniyle sık sık rastlanır. Belirli bir malzeme için ultrasonik hızın sabit olması gerekir. Fakat malzeme içindeki hatalar örneğin porozite ve diğer fiziksel özellikler hızı etkiler (Lawlar vd., 1986).

Deneysel çalışmalarda bütün ultrasonik ölçmeler tamamlandıktan sonra parçalar ikiye bölünmüş ve tahminlerle gerçek sonuçlar karşılaştırılmıştır. Bir veya iki hata hızın düşük olmasına neden olmaktadır

Yapılan çalışmada Şekil 5.1'deki refrakter malzeme ayrı ayrı olarak iki değişik yönde preslenmiş ve numune üzerinde ultrasonik hız ölçümleri yapılmıştır. Sonuçta Çizelge 5.1'deki sonuçlar elde edilmiştir.

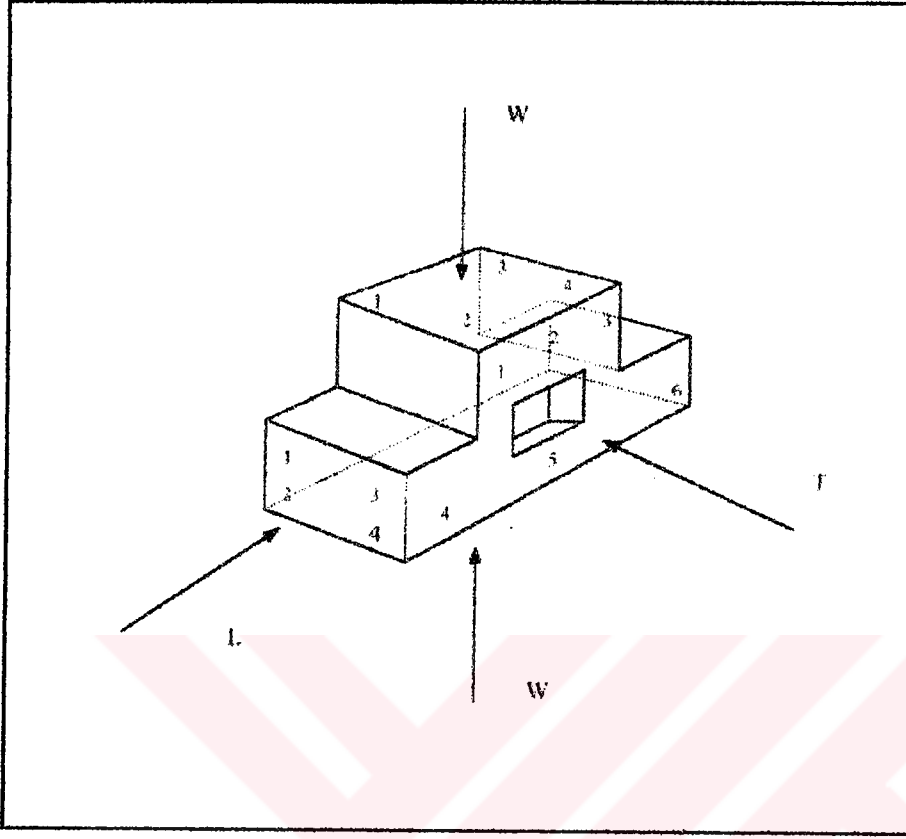
Lawlar ve arkadaşlarının çok sayıda numune üzerinde yaptığı çalışma göstermiştir ki ateş tuğlaları üretim sırasında ve kok fırını bataryalarında kullanılmadan önce bu yöntemle kontrol edilebilir ve bir kalite kontrol testi olarak kullanılabilir.

Çizelge 5.1 Enlemesine ve boylamasına doğrultuda preslenmiş ateş tuğlası üzerinde yapılan ultrasonik hız ölçüm sonuçları(Lawlar vd., 1986).

ÖLÇME DOĞRULTUSU	ULTRASONİK HIZ (m/s)	
	Enlemesine Preslenmiş	Boylamasına Preslenmiş
L	2621	2591
W	2865	2682
T	2499	2286

Ultrasonik yöntemle refrakterlerin diğer özellikleri arasında da bağlantı kurulabilmektedir F.Aly ve J.Semler'in yaptığı çalışma da ultrasonik hız ile eğme dayanımı arasında ki ilişki ortaya konulmaya çalışılmıştır.Bunun için yapılan çalışmada 150 kHz frekanslı bir ultrasonik ölçüm cihazı kullanılmışlardır.Deneyde kullanılan refrakter malzemeler yüksek alüminalı çimento,%70 alüminalı mullit ve ateş tuğlasıdır.

Hazırlanan numuneler 2.5x4.5x9 inç ebatlı kalıba dökülerek önce ultrasonik hız ölçümleri yapılmış daha sonrasında ise eğme dayanımları test edilmiştir.Elde edilen veriler Çizelge 5.2'de görülmektedir.



Şekil 5.1 İki değişik yönden preslenmiş ateş tuğlası(Lawlar vd., 1986).

Çizelge 5.2 Ultrasonik hız ile eğme dayanımlarının karşılaştırılması(Aly, 1985).

Refrakter Tipi	Ultrasonik Hız (m/s)	Eğme Dayanımı (Mpa)
Yüksek alüminalı çimentoto (%90)	2130-4900	27.5-65.5
Mullit (%70 Al_2O_3)	3050-5500	37.9-79.5
Ateş tuğlası (%42 Al_2O_3)	1830-4120	5.5-31.0

Bu bilgiler ışığında ultrasonik hız ile eğme dayanımı arasında lineer bir artış tesbit etmişlerdir. Buna benzer bir diğer çalışmada yüksek alüminalı çimento(fondu) kullanılmış olup numuneler 76x76x76 ebatlı bir kalıba dökülüp daha sonrasında sırasıyla kurutma ve pişirme işlemleri uygulanmıştır. Çalışmalarda 150 kHz frekanslı bir ultrasonik ölçüm cihazı

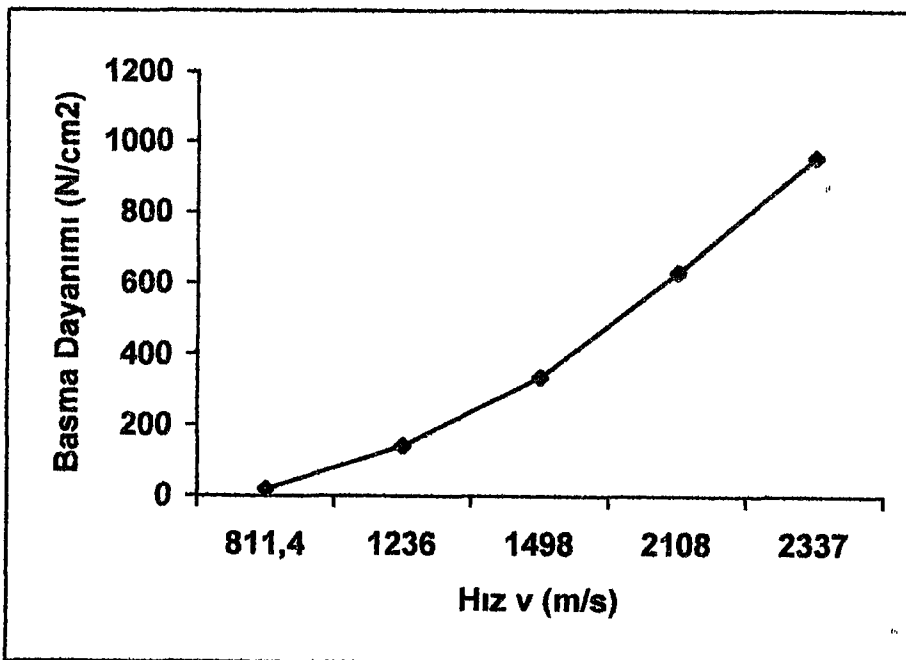
kullanılmıştır. Çalışmada amaç ultrasonik hız ile basma dayanımı arasında ki ilişkinin ortaya çıkartılmasıdır. Buna göre deneyler sonucunda Çizelge 5.3'deki bilgiler elde edilmiştir.

Çizelge 5.3 Yüksek alüminalı çimento ile yapılan çalışmalarda elde edilen deney sonuçları (Yaman, 1997).

Ultrasonik hız (m/s)	811.4	1236	1498	2108	2337
Basma dayanımı (N/cm ²)	20.2	102.5	218	630	954

Çizelge 5.3'deki veriler yardımıyla Şekil 5.2'yi çizebiliriz. Önce ki örnekte olduğu gibi ultrasonik hız arttıkça basma dayanımı artmaktadır.

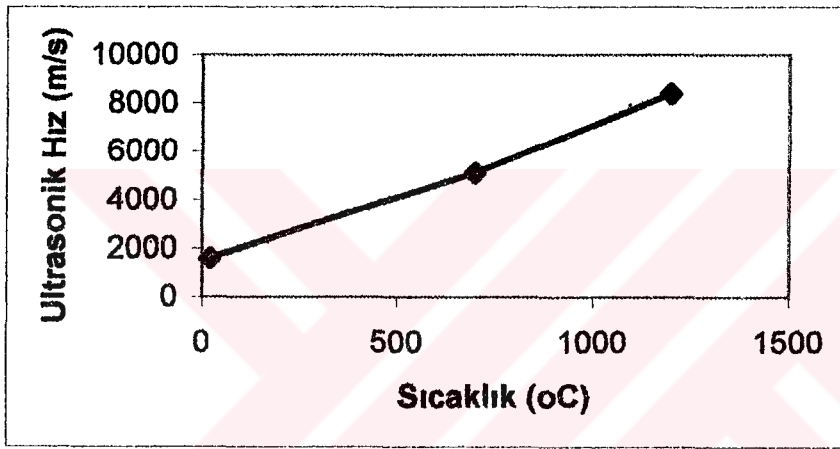
Yapılmış olan bir diğer çalışmada ise sıcaklığın ultrasonik hızı ne yönde etkileyeceği incenmiştir. Bu amaçla deneylerde hammde olarak secar 51 tip yüksek alüminalı çimento kullanılmıştır. Deneysel çalışmada 150kHz lik bir ultrasonik ölçüm cihazı kullanılmıştır. Başta oda sıcaklığında ultrasonik hız ölçümü yapılmış daha sonrasında her çıkılan sıcaklık basamağından sonra ölçüm alınmıştır. Yapılan ölçümlerin sonuçları çizelge 5.4'de yer almaktadır.



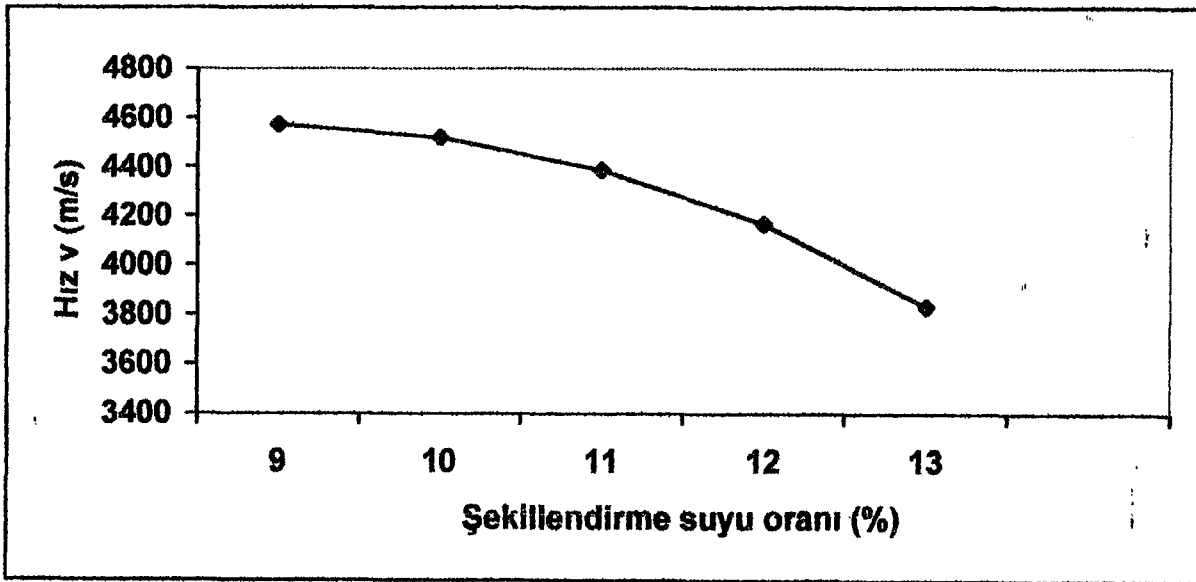
Şekil 5.2 Basma dayanımı ile ultrasonik hız arasındaki ilişki (Yaman, 1997).

Çizelge 5.4'deki veriler yardımıyla Şekil 5.3'deki diyagramı oluşturmaktayız. Bu diyagramdan da görüldüğü gibi elde edilen sonuç daha yüksek pişirme sıcaklarında ultrasonik hızın arttığıdır. Bu açıdan bakıldığında da ultrasonik hızın artışına bağlı olarak malzemenin diğer özellikleri ile ilgili yorum yapma şansına sahip olmaktadır.

Burada amaç refrakterleri şekillendirirken kullandığımız su oranının ultrasonik hızı ne yönde etkileyeceği üzerinedir (Şekil 5.4). Refrakter malzemeler şekillendirme sırasında su oranı yüksek tutulursa, fazla su reaksiyona girmeden kalır. Kurutma sırasında bünyeden uzaklaşan suyun bıraktığı gözenekler hem mukavemeti hem de ultrasonik hızı düşürmektedir.



Şekil 5.3 Ultrasonik hız ile sıcaklık arasındaki ilişki (Semler, 1995).



Şekil 5.4 Şekillendirme suyu oranının ultrasonik hıza etkisi (Yaman, 1995)

Yapılan ölçümler neticesine aşağıda ki diyagram çıkarılmıştır. Buna göre şekillendirme suyu oranı arttıkça ultrasonik hız düşmektedir. Bu noktadan hareketle, dökülmüş ticari refrakter betonların su oranı ultrasonik yöntemle kontrol edilebilir. Refrakter betonun kalite kontrolü amacıyla kullanılabilir. Bu yöntem benzer şekilde diğer dökülebilir refrakterler içinde uygulanabilir.

6. ULTRASONİK MUAYENENİN SANAYİDEKİ UYGULAMALARI

6.1 Sürgü Plakasının Muayenesi

Sürgü plakası ingot dökümü sırasında kullanılır. Bu nedenle refrakter kalitesinin iyi olması gerekir. Ultrasonik yöntem bu refrakterlere üretici firma tarafından yükleme öncesi uygulanmaktadır. Kalınlamasına ölçmeler laminasyon hatalarını bulmaya yöneliktir. Çünkü presleme bu doğrultuda yapılmış ve olası laminasyon çatlakları bu doğrultu ile 45 derece açı yapmaktadır. Genişlemesine ultrasonik ölçmeler fiziksel özelliklerle ilgilidir. Sürgü plakalarına yapılan rutin kontroller çok iyi netice vermiştir (Aly, 1985).

6.2 Sürekli Döküm Borusunun Muayenesi

Sürekli döküm borusu pahalı bir ekipmandır. Bu nedenle, ultrasonik hız ile tahribatlı deney sonuçları arasında ilişki kurmak amacıyla çalışmalar yapılmamıştır. Bunun yerine çok sayıda sürekli döküm borusu, ultrasonik yöntemle muayeneye tabi tutulmuştur.

Yapılan çalışmalarda ergimiş silika borularda ultrasonik hızın 3600-4400 m/s arasında değiştiği ortaya koyulmuştur. Eğer hızı çok düşükse, boru çok zayıf olma eğilimindedir. Eğer çok yüksekse ön ısıtma işlemine tabi tutulduğu anlaşılmaktadır (Aly, 1985).

Grafit-alümina boru ile yapılan çalışmalarda ultrasonik hız ile fiziksel özellikler arasında hiç bir bağlantı olmadığı ortaya konulmuştur. Yerinde yapılan çalışmalar göstermiştir ki bir yerde mukavemetle ultrasonik hız arasında ilişki kurulmuştur. Ancak konu ile alakalı destekleyici bilgiye ihtiyaç duyulmaktadır.

6.3 Yüksek Fırın Karın ve Soba Tuğlalarının Muayenesi

Ultrasonik yöntem, yüksek fırın tuğlalarının muayenesine yeni bir boyut getirmiştir. Geçmişte sadece tuğla boyutu kontrol edilirken günümüzde ultrasonik hızın gösterdiği fiziksel özellikler de kontrol edilmektedir. Yapısal farklar ultrasonik hıza etki ettiğinden hızın düşük olduğu durumlarda yapının bozuk, hızın yüksek olduğu durumlarda ise yapının iyi durumda olduğu anlaşılmaktadır.

Ultrasonik hız sonuçlarını standartlarla birleştirdiğimiz zaman muayene kabiliyetinde potansiyel alan ortaya çıkmaktadır. edilebilir bir bölge tanımlanır. Maksimumda ve minimumda bir eşik değeri belirlenebilir (Aly, 1985).

Bu istatistik değerlere göre parçaların kabul ve red kriterleri ortaya çıkar. Yüksek fırın tuğlaları üzerinde araştırma yapan Russel ve Morrow, ultrasonik hız ile eğme mukavemeti ve yine ultrasonik hız ile porozite arasında doğrusal ilişkiyi ortaya koymuşlardır. Ancak bu ilişki belirli limitler arasında geçerlidir (Aly, 1985).

7. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

7.1 Şaşırtmalı Delik Yöntemiyle Ultrasonik Hızın İncelenmesi

Seramiklerde porozite yüzdesi sıfırdan % 95'e kadar çıkmaktadır. Porozite, mukavemet dahil tüm özellikleri etkilemektedir. Seramiklerde gözeneklerin göreceli olarak artması mukavemetin ve elastiklik modülünün göreceli olarak düşmesine neden olmaktadır. Bu nedenle özelliklerle porozite arasında ilişki kurulmuştur. Bu ilişkinin araştırılması amacıyla ahşap malzemede delik delerek porozite oluşturma ve bunun ultrasonik hıza etkisi incelenmiştir. Ahşap malzeme kullanılmasının sebebi, seramik malzemelerin sert olmasından dolayı uygun delik delme işlemine izin vermemesidir. Porozitenin incelenmesinin bir diğer nedeni ise refrakter bünyesindeki organik maddelerin porozite meydana getirmeye müsait olmasından dolayıdır.

Deneysel çalışmalarda 55 kHz frekanslı bir ultrasonik cihaz kullanılmıştır. Çalışma esnasında sırayla Ø4, 6, 8, 10, 11, 13 ebatlı matkap uçları kullanılarak 60x80 mm boyutunda ve 12 mm kalınlığında ahşap malzeme üzerine toplam 8 delik açılarak yapılmıştır. Şekil 7.1'deki düzende şaşırtmalı delikler açılmıştır. Her delik çapı için yüzde boşluk oranı hesaplanmıştır.

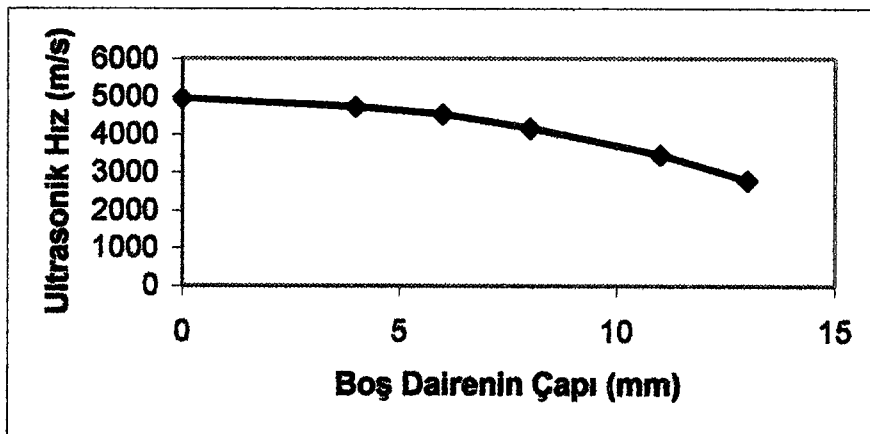
Çizelge 7.1 Ahşap malzemede her delik çapı için ölçülen ultrasonik hız değerleri

Malzemenin durumu	Ölçülen hız değeri (m/s)	%hacim küçülmesi
Delinmemiş	4954	0
Ø4 ile delinmiş	4808	78
Ø6 ile delinmiş	4517	85
Ø8 ile delinmiş	4027	92
Ø11 ile delinmiş	3554	96
Ø13 ile delinmiş	3205	98

$$\left(1 - \frac{n \pi r^2}{a b}\right) 100 \quad (7.1)$$

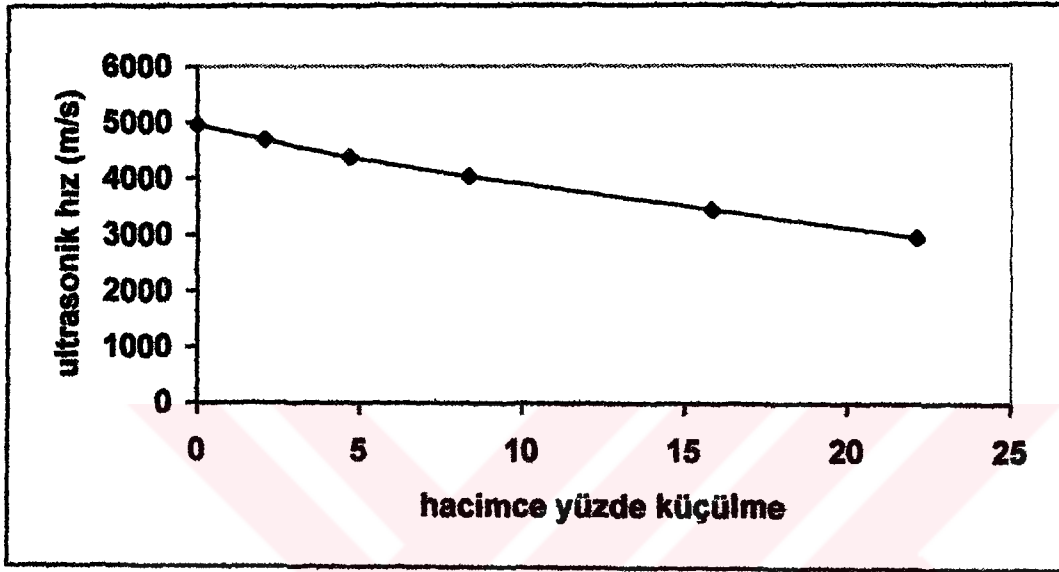
(7.1) eşitliğindeki değerler her delik çapı için ayrı ayrı yerine konularak ultrasonik hızdaki değişimler incelenmiştir. Elde edilen verilerle Şekil 7.1 ve Şekil 7.2 çizilmiştir. (7.1) eşitliğinde:

n :Delik sayısı
 π :3.14
r :yarıçap (mm)
a :boy (mm)
b :en (mm)

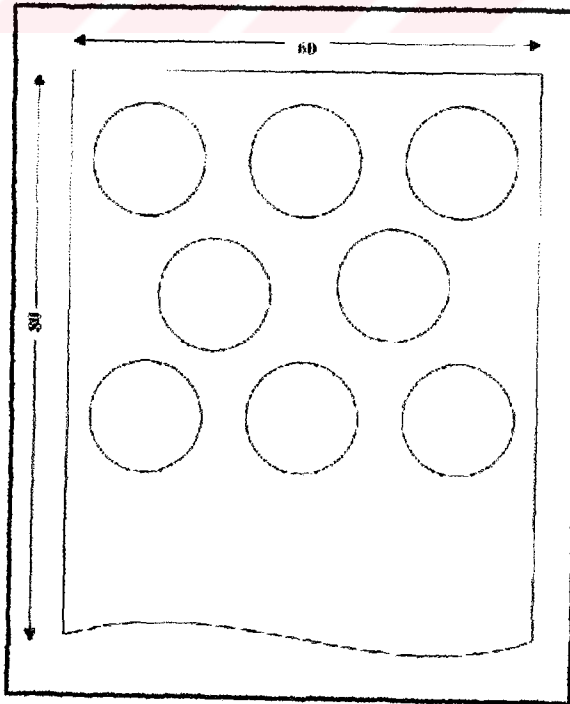


Şekil 7.1 Delik çapı ile ultrasonik hız arasındaki ilişki

Refrakterlerde Şekil 7.3'deki gibi daire merkezlerine 4, 6, 10, 11, 13 mm delik delmek çok zordur. Oysa kalınlığı belli bir ahşap üzerine bu delik delme işlemlerini gerçekleştirmek çok kolaydır. Nitekim adı geçen ebattaki delikler delinerek ultrasonik hız değerleri saptanmıştır. Şekil 7.4'den de görüleceği üzere 1.sıradaki deliklerin arasından geçen ultrasonik dalga tam karşısında 2.sıra delikleri ile karşılaşmaktadır.

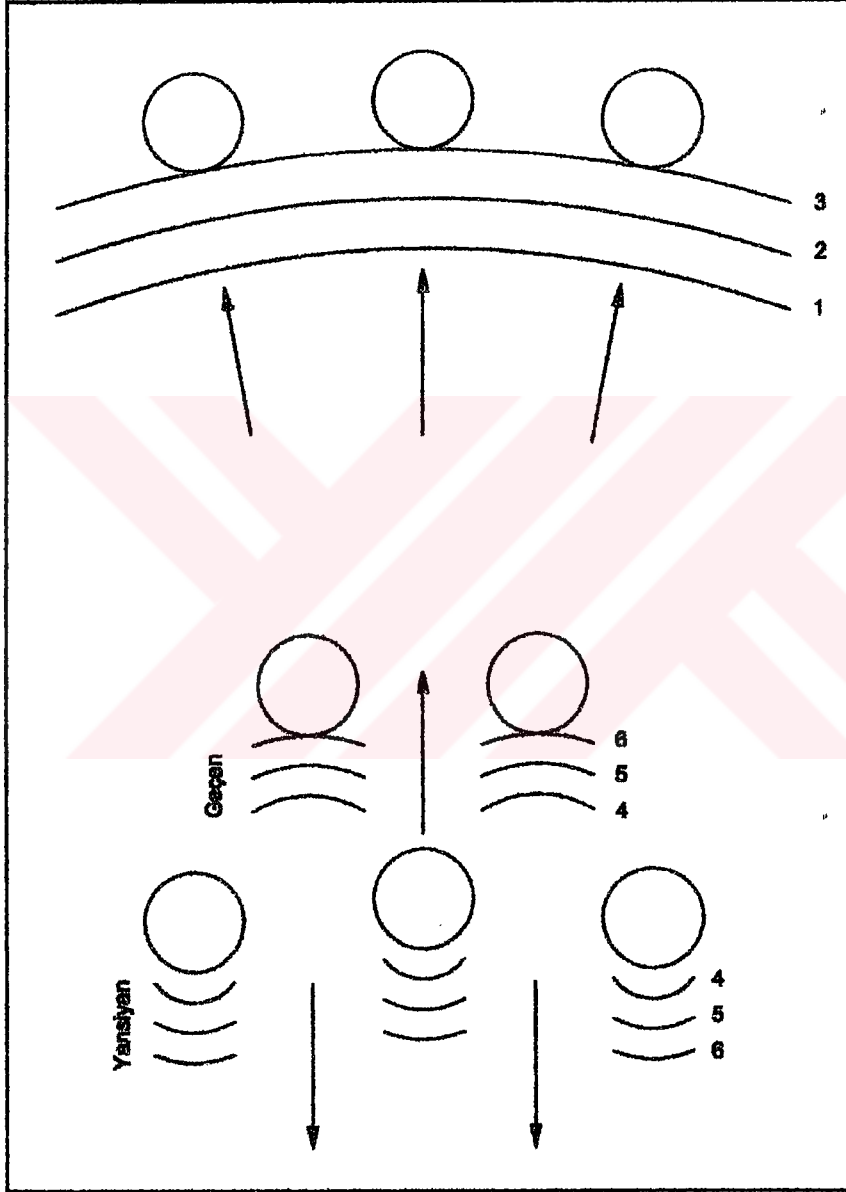


Şekil 7.2 Hacimce yüzde küçülme ile ultrasonik hız arasındaki ilişki



Şekil 7.3 Ahşap malzeme üzerine delinen deliklerin yerleşim şekli

Ultrasonik dalgaların boşlukları geçmesi söz konusu değildir. Ancak deliklerin çevresindeki katı kütle içinde kalmak koşulu ile saçılmalarla yollarına devam etmektedirler. Nitekim 13 mm çaplı delik delindiği zaman boyuna dalgaların düz bir yol üzerinde ilerleyip, diğer uca gitmesi olanaksızdır. Delik çapı büyüdükçe toplam alandaki azalmadan dolayı ultrasonik hızda azalma meydana gelmektedir.

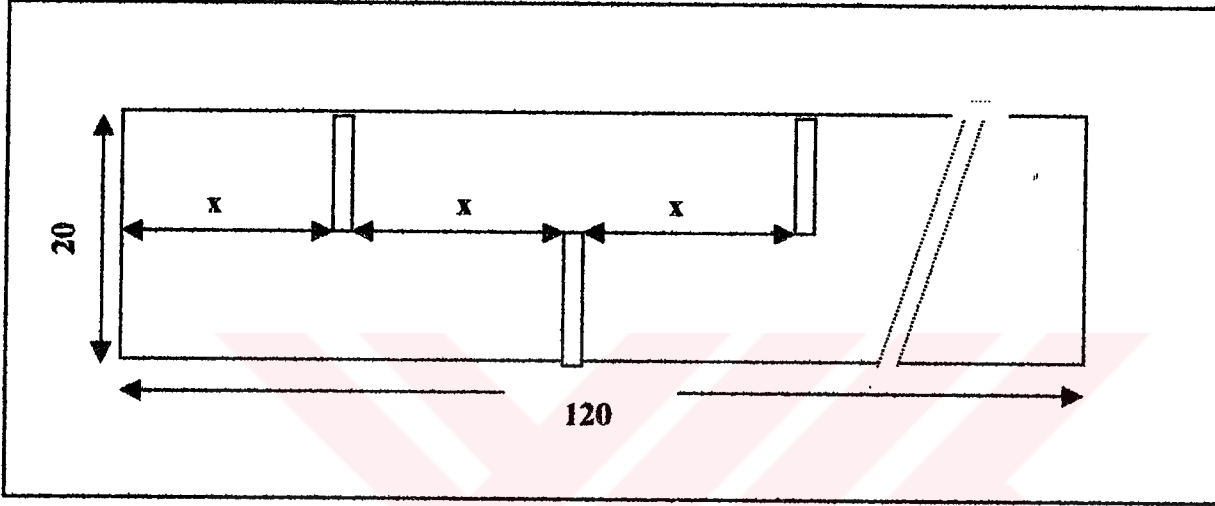


Şekil 7.4 Şaşırtmalı olarak delik delinmiş ahşap malzemedeki ultrasonik dalgaların ilerlemesi

Görüldüğü üzere, küçük çaplarda hızda çok önemli bir değişim olmamakla beraber delik çapı büyüdükçe özellikle 11 mm delik çapından sonra ultrasonik hızda gözle görülebilir bir düşme meydana gelmektedir. Bu da yukarıda belirttiğimiz gibi dalganın ilerleyebileceği alanda meydana gelen azalma ile doğru orantılı olarak ultrasonik hızı etkilemektedir.

7.2 Şaşırtmalı Kanallar Yöntemiyle Ultrasonik Hızın İncelenmesi

Temelde, şaşırtmalı delik yönteminde olduğu gibi bu yöntemde de seramik malzemenin şekillendirilmesinin zor olmasından dolayı ahşap malzeme kullanılmıştır. 20x120 mm ebadında ve 11 mm kalınlığında ahşap malzemeye Şekil 7.5'te gözüktüğü gibi altı üstlü mesafelerde kanallar açılarak mesafe değişimine bağlı olarak ultrasonik hızın davranışı incelenmiştir.



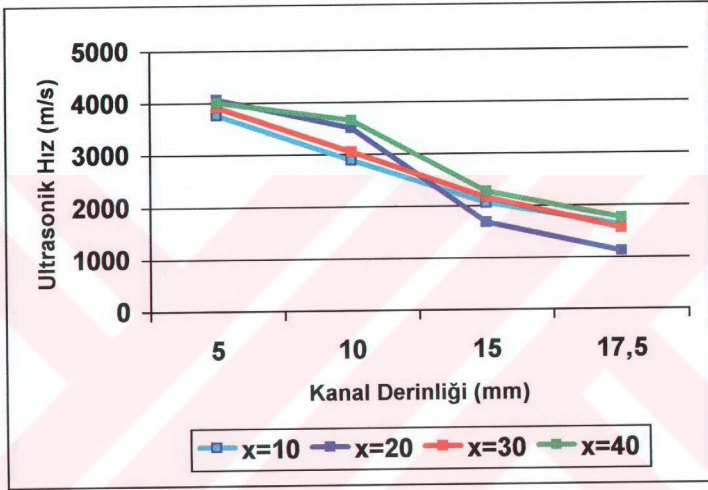
Şekil 7.5 Şaşırtmalı kanalla ultrasonik hız ölçümünde kullanılan numunenin görünüşü

Esas olarak, 20x120 mm ebadındaki numuneler enlemesine 5'er mm aralıklarla 4 eşit parçaya bölünmüş ve kanal derinliği sırasıyla 5, 10, 15, ve 17,5 mm derinleştirilerek, her derinlik için ayrı ölçüm yapılmıştır. Bu ölçümlerin sonuçları Çizelge 7.2'de gösterilmiştir.

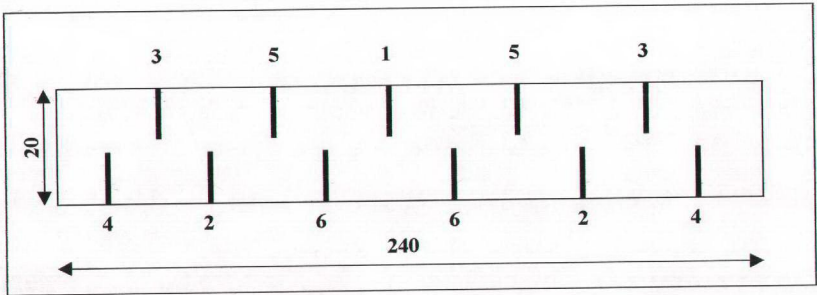
Çizelge 7.2 Şaşırtmalı kanal yöntemiyle yapılan ultrasonik muayene ölçümlerinde elde edilen sonuçlar

Kanal Derinliği (mm)	X mesafesine göre ultrasonik hızdaki değişim (m/s)			
	X=10 için	X=20 için	X=30 için	X=40 için
5	3761	4067	3921	4010
10	2884	3508	3053	3658
15	2054	1680	2164	2268
17,5	1630	1121	1562	1756

Çizelge 7.2'deki değerler ışığında Şekil 7.6'daki değişim elde edilmiştir. Şekil 7.6'dan da görüldüğü gibi, ultrasonik hızda azalma yaşanmaktadır. Özellikle 15 mm kanal derinliğinden sonra ultrasonik hızda bariz bir düşüş söz konusudur. X mesafesindeki değişimde 10 ve 20 için olan değerlerde büyük paralellilikler bulunmaktadır. Aynı durum $x=30$ ve $x=40$ için de geçerlidir. 10 ve 20'den farklı olarak değişik bir yol izleseler de sonuç itibarıyla bu koşullarda ultrasonik hız düşmektedir.



Şekil 7.6 Kanal derinliğine bağlı olarak ultrasonik hızdaki değişim



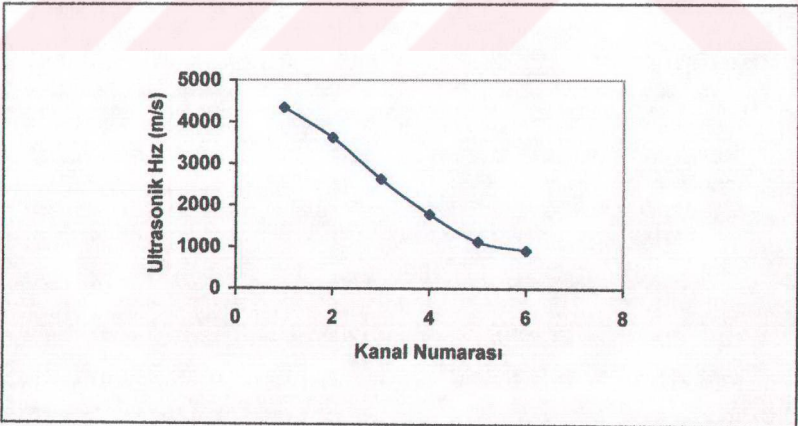
Şekil 7.7 Şaşırtmalı kanal yöntemiyle ultrasonik hız ölçümünde kullanılan 2.tip deney numunesi

Yapılan diğerk bir çalışmada 20x240 mm ebadında ve 12 mm kalınlığında ahşap malzeme kullanılmış olup, numune üzerinde belirli yerlerde kanallar açarak ultrasonik dalğanın hız açısından davranışını incelenmiştir. Burada esas amaç, ultrasonik dalgayı açılan kanallarla sabote ederek hız davranışını ortaya koymaktır. Şekil 7.7’de kullanılan deney numunesi gözükmeğtedir.

Deneyssel çalışmada Şekil 7.7’deki numara sırası itibariyle numunenin enine ebadında yarısına kadar kanallar açılmış ve Çizelge 7.3’deki değerkler elde edilmiştir. Çizelge 7.3’deki veriler ışığında Şekil 7.8’i oluşturabiliriz.

Çizelge 7.3 İkinci tip deney numunesi ile yapılan ölçüm sonuçları

Kanal numarası	Ölçülen ultrasonik hız (m/s)
1	4339
2	3809
3	2722
4	1462
5	1322
6	914



Şekil 7.8 Kanal numarasına göre ultrasonik hızdaki değışim

Şekil 7.8'den de görüldüğü üzere, 4.çizgiye kadar ultrasonik hızdaki azalma devam etmekte olup, 4. ve 5.çizgilerde birbirine yakın değerler elde edilmiştir. Son 6.kanal açıldığında ise ultrasonik hızdaki düşüş yüksek bir artış durumuna ulaşmaktadır.

7.3 Değişik Karbon Oranlarına Sahip Refrakter Malzemelerde Ultrasonik Hızın İncelenmesi

Deneyisel çalışmada, Çizelge 7.4'deki kimyasal analize sahip deney numuneleri kullanılmıştır.

Çizelge 7.4 Deney hammaddelerinin kimyasal analizi

	Yapıda bulunan bileşiklerin yüzde kimyasal analizleri							
Numune cinsi	SiO ₂	Al ₂ O ₃	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O
Kil	66,47	19,97	0,74	1,79	0,52	0,49	2,20	3,16
Ateş kili	50.13	44.70	1.50	1.30	0.31	0.49	0.22	0.14

Bu çalışmadaki amaç, bileşimdeki karbon miktarının ultrasonik hızı ne yönde etkilediğini incelemektir.Kırılmış ve öğütülmüş numuneler 63µm'lik elekten elenerek elek altı alınmıştır.Kil numunelerine ilk iki numune saf olmak üzere diğerlerine sırasıyla %0.5, %0.75, %1 oranlarında odun kömürü katılmıştır .Ateş killi numunelerine killerde olduğu gibi ilk iki numune saf olmak üzere, diğerlerine ağırlıklarının %1'i kadar odun kömürü katılmıştır.

Kil ve ateş kiline plastik kıvama gelinceye kadar su katılmıştır. Bütün numunelere 20x20x80 mm ebatında ki kalıplara dökülmüş ve daha sonrasında 200°C'de kurutulmuşlardır.Kuruma işlemi tamamlanmış olan ateş kili numuneleri 200, 400, 600, 800, 1000, 1100, 1200°C sıcaklıklarında pişirilmiştirlerdir.Her pişirme kademesinden sonra numunere ultrasonik hız ölçümü yapılmış ve değerler kayıt edilmiştir.

Çizelge 7.5 Kil ile yapılan çalışmada elde edilen sonuçlar

	% C = 0	% C = 0,5	% C = 0,75	% C = 1
200°C	1499 m/s	1399 m/s	1341 m/s	1240 m/s
1100°C	4412 m/s	4346 m/s	2155 m/s	2972 m/s
1200°C	5930 m/s	5299 m/s	1644 m/s	1462 m/s

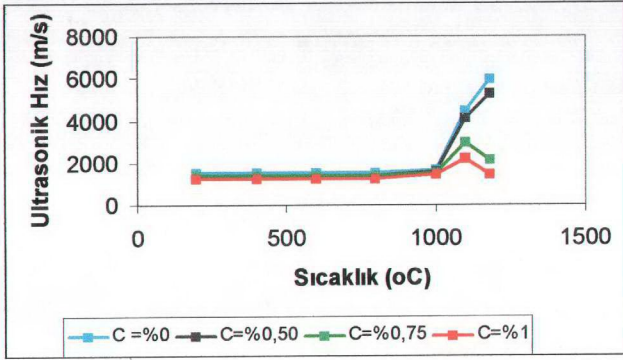
Çizelge 7.6 Ateş kili numuneri ile yapılan ultrasonik hız ölçüm sonuçları

	Ölçülen ultrasonik hız değerleri (m/s)	
Sıcaklık(°C)	C = %0	C = %1
200	588	603
400	610	614
600	605	612
800	620	619
1000	770	776
1100	1640	1105
1200	1835	1563

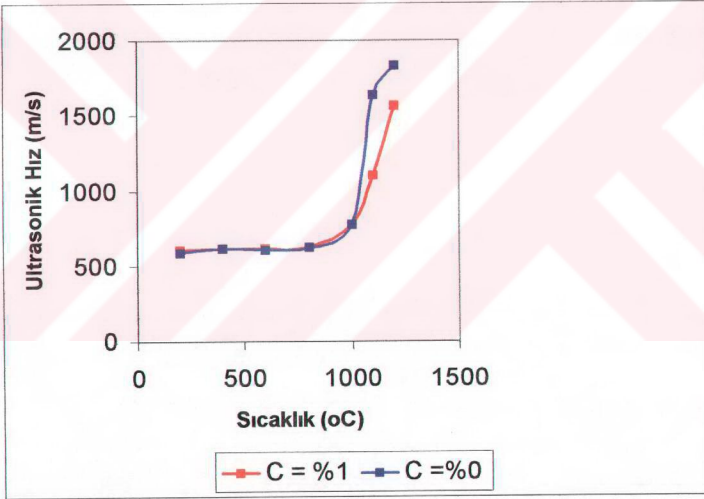
Çalışmalar esnasında kil numunelerinden birinde göbekenme problemiyle karşı karşıya kalınmıştır. Göbekenme parçada ciddi bir hasar meydana getirmemesine karşı kil levhalarını birbirinden ayırdığı bilinmektedir. Bununla birlikte ultrasonik hızı ciddi şekilde etkilediğini bilmekteyiz. Çizelge 7.5 ve Çizelge 7.6'daki değerler ışığında Şekil 7.10 ve Şekil 7.11'deki diyagramları elde etmekteyiz. Şekil 7.9'da deneyler esnasında göbekenmeye uğramış bir kil numunesi görülmektedir.



Şekil 7.9 Göbekenmiş numune örneği



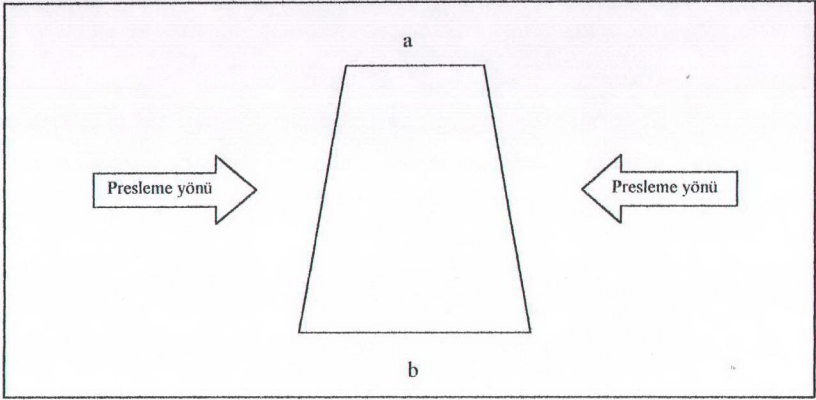
Şekil 7.10 Kille yapılan deneylerde elde edilen ultrasonik hız değişimi



Şekil 7.11 Ateş kili yapılan deneylerde elde edilen ultrasonik hız değişimi

7.4 Değişik Presleme Basıncına Maruz Kalmış Refrakterlerin Ultrasonik Hızının İncelenmesi

Üretim esnasında karışık şekilli parçaların preslenmesinde, preslenme basıncı parçanın her tarafına homojen olarak iletilemeyebilir (Şekil 7.9). Önemli olan parçanın geometrisidir.



Şekil 7.12 Konik şekilli refrakter tuğlanın presleme yönü

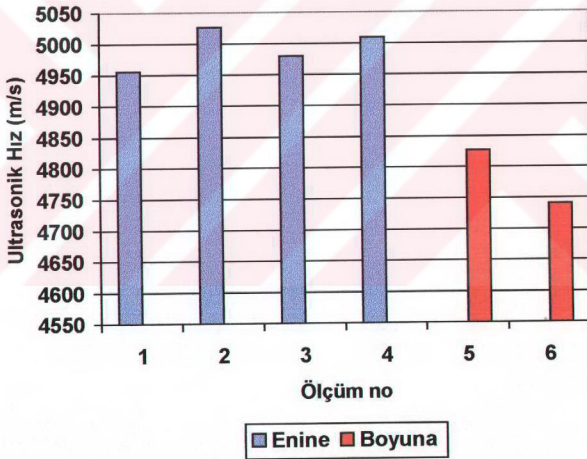
Şekil 7.12'deki a ve b noktaları arasında presleme basıncı farkı bulunmaktadır. Bu da yapılan ultrasonik hız ölçümleriyle ortaya çıkarılabilir. Özellikle konik şekilli, girinti ve çıkıntısı çok olan parçalarda bahsettiğimiz presleme basıncı parça içersinde uygun dağılmamakta ve bu da ultrasonik hız ölçümlerinde değişime neden olmaktadır.

Bu konuyla ilgili olarak Süperateş A.Ş. tesislerinde üretilen konik ve girintili, çıkıntılı parçalar üzerinde ultrasonik hız ölçümleri yapılmış olup, başta bahsettiğimiz değişim incelenmeye çalışılmıştır. Ölçümler presleme yapılmış doğrultuda yukarıdan aşağıya doğru sırasıyla 1, 2, 3 ve 4 ölçüm numaralarıyla çizelge 7.7 de gösterilmiştir. Preslenmemiş doğrultuda a kısmının bulunduğu köşe ve orta noktalardan alınmış olup elde edilen sonuçlar çizelge 7.7 de listelenmiştir.

Çizelge 7.7'deki değerler presleme yapılmış doğrultuda ve presleme yapılmayan doğrultuda yapılmış olup, bunlar iki ayrı sütun şeklinde ifade edilmiştir. Bu değerlerin ortalamaları incelendiği takdirde üst kısımda daha az presleme basıncına maruz kalmış olan bölgede diğer kısımlara göre fark tespit edilmiştir. Bu elde edilen değerlerin istatistiği Şekil 7.13'da gösterilmiştir.

Çizelge 7.7 Süperateş A.Ş'de yapılan ölçüm sonuçları

No	Presleme yapılmış yönde	No	Presleme yapılmamış yönde
1	4946 m/s	5	4827 m/s
2	5027 m/s	6	4741 m/s
3	4980 m/s		
4	5010 m/s		



Şekil 7.13 Değişik presleme basıncına maruz kalmış parçalardaki ultrasonik hız değişimi

7. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Kil, ateş kili ve yüksek alüminalı çimento numuneleri ile yapılan çalışmalarda ultrasonik hızın organik maddenin mikarına göre ne gibi bir artış yada azalış gösterdiği incelenmiştir. Elde edilen veriler ışığında organik madde artışı ultrasonik hızı düşürmektedir.

Kil ile yapılan çalışmalarda 1100°C pişme sıcaklığına kadar tüm numunelerin ultrasonik hızında bir artış söz konusudur. 1100°C kritik sıcaklığından sonra %0.75 ve %1 karbon içeren numunelerin ultrasonik hızında önemli bir düşme vardır. Ateş killeriyle yapılan deneylerde kil ile yapılan çalışmalarda olduğu gibi yüksek karbonlu numunelerin ultrasonik hızında önemli bir düşme yaşanmamıştır.

Seramik killeriyle alkali oranı çok yüksek olduğundan pişirme sırasında camlaşma meydana gelmektedir. Bunun sonucu olarak ultrasonik hız 5930 m/s'ye kadar çıkmaktadır. Organik maddelerin varlığı ultrasonik hızı düşürmektedir. Ateş kilinde ise 1000°C üzerinde vitrifikasyon meydana gelmektedir, bu da ultrasonik hızı düşürücü bir unsurdur. Ateş killeriyle kuruma sonrası 580-600 m/s civarında başlamaktadır. 1000 °C üzerinde az vitrifikasyon meydana geldiğinden ultrasonik hızdaki yükselme en fazla 1835 m/s ölçülmüştür. Fakat vitrifikasyonun çok olduğu killerin 2700 m/s'ye kadar çıktığı gözlenmiştir.

Buna rağmen %1 oranda organik madde içeren ateş kilinde seramik killeriyle ki kadar olmasa bile ultrasonik hızın düştüğü gözlenmiştir. Ateş killeriyle fazla vitrifikasyon meydana gelmediği için yanma ürünü karbondioksitin dışarıya çıkışı kolay gerçekleştiğinden organik maddeler yanmakta ve dolayısıyla göbeklenme görülmemektedir. Ateş killeriyle kırılmış kesitleri incelendiğinde göbeklenme belirtisi görülmemiştir.

Deneyisel çalışmalarda kil numunelerinin 1 adetinde göbeklenme probeli ile karşı karşıya kalınmıştır. Kil levhaların birbirinden ayırarak malzeme üzerinde gözle görülür bir kusur bırakan göbeklenme olayı ultrasonik hızı düşürmektedir.

Ahşap malzeme ile yapılan çalışma sonunda malzeme üzerinde ilerleyen ultrasonik dalgalar gerek kademeli delik büyütme ile gerekse açılan sıralı kanallar yardımıyla artan boşluk oranının ultrasonik hızı düşürdüğü görülmüştür. Porozitenin malzemenin mukavemetini düşürdüğünü bilindiğinden, Seramik malzemelerde ultrasonik hız ölçerek malzemenin ıskartaya çıkmasına sebep olacak porozite oranı tesbit edilir ve bir kalite kontrol testi olarak kullanılabilir.

Değişik presleme basıncı yoğunluğu etkilemektedir. Karışık şekilli tuğlaların preslemesinde basınç dağılımı her tarafta eşit olmamaktadır. Kimi zaman düzensiz basınç dağılımı seramik malzemede çatlaklar oluşturmaktadır. Presleme basıncının yüksek olduğu kısımlarda ultrasonik hız yüksek çıkmaktadır, bu bakımdan karışık şekilli tuğlalar içinde çok sayıda deneme yapılarak preslenmiş bölgedeki çatlak ve diğer hatların tespiti için kritik hız değerleri bulunarak diğer örneklerde olduğu gibi bir kalite kontrol testi olarak kullanılabilir.

Yapılan çalışmalar sonucunda elde edilen sonuçlar açısından ortak bir nokta bulunmaktadır. Buna göre seramik malzemeler üzerinde ultrasonik hız ölçerek malzemete ait bir takım kusur yada özelliklerin tespiti mümkündür. İstatistiki çalışmalar sonucunda bulunacak kritik hız değeri yardımıyla kalite kontrolde kabul-red kriterleri oluşturulabilir. Böylece seri imalatta bir partini tahribatsız olarak muayene edilmesi mümkün olacaktır. Kritik hız değerinin altında olan malzemeler red edilerek diğer proseslere geçmesi engellenir.

Yöntem çabuk uygulanabilmesi ve tahribatsız olarak test yapabilme imkanından dolayı son yıllarda sıkça tercih edilen bir yöntem olup kalite kontrol mekanizmalarının geliştirilmesi ve toplam kaliteye ulaşma hususunda üreticiler için bir araç olabilir.

KAYNAKLAR

Akkurt, İ., (1992), "Seramik Karo Üretiminde Kaliteyi Etkileyen Faktörler", Uluslararası Seramik Kongresi Bildiriler Kitabı.

Aly, F., ve Semler, C.E., (1985), "Prediction of Refractory Strength Using Non-destructive Sonic Measurements", The Amer. Ceram. Soc. Bulletin 64.

Arcasoy, A., (1983), "Seramik Teknolojisi", Marmara Üniversitesi Yayınları, 457/2.

Banerjee, S., (1998), "Monolithic Refractory", A Comprehensive Handbook, American Ceramic Society, New Jersey, USA.

Barba, A., ve Moreno, A., (1999), "Oxidation of Black Cores in Firing".

Bhardwaj, M.C., (1992), "Evolution, Practical Concepts and Examples of Ultrasonic NDT", Supplement to Interceram, 41.

Buchanan, R.C., (1994), "Electronic Ceramics For Engineers", New York, Wiley.

Bunt, N.E., (1994), "Advanced Techniques for Measuring Rheology of Cement Based Refractories", Amer. Ceram. Soc. Bulletin 73.

Ceramic Chapter Vol 10, (1995).

Chang, L.S. ve Chuang, T.H., (1997), "Ultrasonic Testing of Artificial Defects in Alumina Ceramic", Ceramic International 23.

Crowley, M.S., ve Young, J.S., (1988), "Thermal Conductivity of Monolithic Refractories", Amer. Ceram. Soc. Bull. 67.

Department of the Interior, (1995), "Clay; Mineral Facts and Problems", U.S. Bureau of Mines, Washington, D.C.

DPT, (1991), Madencilik Alt Komisyonu Raporları.

Ealias, X., (1980), "The Formation and Consequences of Black Core Ware", Interceram.

Edmonds, R.N., (1988), "The Hydration of Secar71 Aluminous Cement at Different Temperatures".

Eugenia, E., (1985), "Once-iring Process and Outlook", Seramik Teknik Kongresi Bildiriler Kitabı.

Gajda, J., ve Gee, Mc., (1997), "Elastic properties of a Calcium Aluminate-Cement Based Concrete", Amer. Ceram. Soc. Bulletin 76.

Green, D.J., (1998), "Comment on Correlation Between Surface Area Reduction and Ultrasonic Velocity In Sintered Zinc Oxide Powders", Jour. Amer. Ceram. Soc. 94.

Hoki, C., (1996), "Ultrasonic Testing of Ceramics".

Kendall, T., (1994), "Perlite Producers".

Kulkarni, N., Moudgil, B., Bhardwaj, M., (1994), "Ultrasonic Characterization of Green and Sintered Ceramics-I", Time Domain, The Amer. Ceram. Soc. Bulletin. 73.

Kulkarni, N., Moudgil, B., Bhardwaj, M., (1994), "Ultrasonic Characterization of Green and Sintered Ceramics-II", Frequency Domain, The Amer. Ceram. Soc. Bulletin. 73.

Lawlar, J.B., ve Ross, R.H., (1981), "Non-destructive Ultrasonic Testing of Fireclay Refractories", Amer. Ceram. Soc. Bull. 60.

Maitra, A.K. ve Phani, K.K., (1994), "Ultrasonic Evaluation of Elastic Parameters of Sintered Powder Compacts", Journal of Material Science 29.

Martin, L.P., ve Rosen, L.P., (1997), "Correlation Between Surface Area Reduction and Ultrasonic Velocity in Sintered Zinc Oxide Powders", Jour. Amer. Ceram. Soc. 80.

Meisinger, A.C., (1989), "Perlite", Amer. Ceram. Soc. Bulletin 68.

Moulson, A.J., ve Herbert, J.M., (1990), "Electroceramics, Materials-Properties-Applications", Chapman and Hall, London.

Niyogi, S.K., ve Das, A.C., (1994), "Prediction of Thermal Shock Behaviour of Castable Refractories by Sonic Measurements", Interceram, 81.

Pundit Katalogu, (1992).

Purchas, D.B., ve Candan, E.F., (1985), "Filtre Malzemeleri", Etibank Bülteni 70.

Russell, R.D., ve Morrow, G.D., (1984), "Sonic Velocity Quality Control of Steel Plant Refractories", Amer. Ceram. Soc. Bull. 63.

Schilling, C.H., Garcia, V.J., Smith, R.M., (1998), "Ultrasonic and Mechanical Behaviour of Green and Partially Sintered Alumina", Jour. Amer. Ceram. Soc. 81.

Schmidt, Ch., (1985), "The Firing of clays With Organic Components", Interbrick Vol 1.

Semler, C.E., (1995), "Non-destructive Sonic Testing of Unfired Refractories", UNITECR '95 Congress, Proc Unified Int. Tech. Conf. on Refractories. 4th Biennial Worldwide Conf. on Refractories, Kyoto.

Sourie, A. ve Glasser F.P., (1991), "Studies of the Mineralogy of High Alumina Cement Clinkers", Br. Ceram. Trans. J.'90.

Tanışan, H.H., ve Mete, Z., (1988), "Seramik Teknolojisi ve Uygulaması", Birlik Matbaası, İzmir.

Teoreanu, I., ve Angelescu, N., (1994), "Hardening Mechanisms and Behaviour of Low-Alumina Cement Refractory Concrete Binding Systems", Interceram 43.

Topuz, A., (1993), "Tahribatsız Muayeneler", YTÜ Yayınları, 281, İstanbul.

Winterfeld, J., Tietz, H.D., Dietz, M., Palm, Th., (1993), "Non-Destructive Testing of Surface in Structural Ceramics with Ultrasonic Waves", cfi/Ber. DKG 70.

Yaman, C., (1994), "Dökülebilir Refrakterlerin Ultrasonik Yöntemle Muayenesi", Metal Dünyası, sayı 14.

Yaman, C., (1994), "Dökülebilir Refrakterlerin Yapısı ve Özellikleri", Metal Dünyası, sayı 14.

Yaman, C., (1995), "Refrakterlerin Rezonans ve Ultrasonik Yöntemle Tahribatsız Muayenesi", Metal Dünyası, sayı 26.

Yaman, C., (1996), "Dökülebilir Refrakterlerin Teknolojisinde Son Gelişmeler", Metal Dünyası, sayı 41.

Yaman, C., (1996), "Fosfat Bağlı Alümina Refrakterler" Metal Dünyası, sayı 44.

Yaman, C., (1997), "Ultrasonic Inspection of Castable Refractories", Interceram 44.

Yaman, C., (1999), "Ultrasonik Hız Ölçme Yöntemiyle seramik Malzemelerde Özellik Belirlenmesi", 1.Uluslararası Tah. Muayene Sempozyumu.

Yaman, C., ve Abkan, T., (1999), "Ultrasonik Hız Ölçme Yöntemiyle Beton Muayenesi".

Zhongzi, X., ve Migshu, T., (1992), "Relationships Between Composition Structure and Mechanical Properties of Very Low Porosity Cement Systems".

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi 26.05.1976

Doğum yeri İstanbul

Lise 1990-1993 Kabataş Erkek Lisesi

Lisans 1993-1998 Yıldız Teknik Üniversitesi
Metalurji Mühendisliği bölümü

Yüksek lisans 1998-2001 Yıldız Teknik Üniversitesi
Metalurji Müh. Anabilim Dalı,
Üretim Programı.

Çalıştığı kurum

1995-Devam ediyor UĞUR TÜRKYURT
Elektrik Malzemeleri İmalatı