

**DIYATOMİTTEN ATMOSFERİK BUHAR KÜRÜ  
YÖNTEMİ İLE GAZBETON ÜRETİMİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Erdal ÇALIŞKAN

DANIŞMAN

Prof. Dr. İsmail DEMİR

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

ANABİLİM DALI

Eylül, 2015

Bu tez çalışması 5120013 numaralı proje ile TÜBİTAK tarafından desteklenmiştir.

**AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**DIYATOMİTTEN ATMOSFERİK BUHAR KÜRÜ YÖNTEMİ İLE**  
**GAZBETON ÜRETİMİ**

**Erdal ÇALIŞKAN**

**DANIŞMAN**

**Prof. Dr. İsmail DEMİR**

**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**Eylül, 2015**

**BİLİMSEL ETİK BİLDİRİM SAYFASI**  
**Afyon Kocatepe Üniversitesi**

**Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;**

- Tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- Atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- Ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

**beyan ederim.**

**18/09/2015**

**İmza**

**Erdal ÇALIŞKAN**

**ÖZET**  
Yüksek Lisans Tezi

DİYATOMİTTEN ATMOSFERİK BUHAR KÜRÜ YÖNTEMİ İLE GAZBETON  
ÜRETİMİ

Erdal ÇALIŞKAN  
Afyon Kocatepe Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı  
**Danışman:** Prof. Dr. İsmail DEMİR

Geleneksel gazbeton üretiminde ana malzeme olarak öğütülmüş kuvars kumu kullanılır. Silis kumu, çimento ve kireç ile birlikte sulu kıvamda hazırlanan harca alüminyum tozu ilave edilerek kabarması sağlanır. Kalıplara dökülerek mukavemet kazanması için yüksek basınçlı buhar kürü uygulanır. Gazbeton ürünler ticari olarak 400-800 kg/m<sup>3</sup> birim ağırlıkta üretilmekte ve ısı iletkenlik değerleri 0,13-0,25 W/mK arasında değişmektedir.

Bu çalışmada kuvars kumu yerine diyatomit kullanılmıştır. Diyatomit yüksek gözeneklilik, hafif bünye yapısı ve yüksek silis içeriği ile gazbeton üretimi için uygunluğu araştırılmıştır. Üretim prosesinde farklı buhar basınçlarında kür işlemi uygulanmıştır. Kimyasal ve diğer katkıları ile fiziksel ve mekanik özelliklerinin geliştirilmesi hedeflenmiştir. Hem diyatomitin mikro gözenekli yapısı ve hem de hidrofobik polimer katkı sayesinde ticari gazbeton ürünlere göre daha küçük boyutta gözenek yapısı elde edilmiştir. Üretilen gazbeton örneklerin birim ağırlıklarına (375-285 kg/m<sup>3</sup>) göre ısı iletim katsayısı değerleri ise 0,07- 0,09 W/mK arasında değişmektedir. Hidrofobik polimer katkı ile dispersan katkının gözenek yapısının gelişiminde etkili olduğu değerlendirilmektedir. Örneklerin bünyelerinde gelişen faz yapıları incelenmiş, termal analizler yürütülerek ticari gazbeton örnekler ile karşılaştırılmıştır.

**2015, x + 75 sayfa**

**Anahtar Kelimeler:** Gazbeton, Diyatomit, Buhar Kürü, Otoklav, Isı İletkenliği

**ABSTRACT**  
M.Sc Thesis

**AERATED CONCRETE PRODUCTION with ATMOSPHERIC STEAM CURING  
METHOD USING of DIATOMACEOUS EARTH**

Erdal ÇALIŞKAN

Afyon Kocatepe University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Civil Engineering Department

**Supervisor:** Prof. Dr. İsmail DEMİR

Grinded quartz sand was used as the main material in the production of conventional autoclaved aerated concrete (AAC). Swelling is achieved, the aluminum powder adding into the fluid consistency mortar, that prepared with silica sand, cement and lime. That high pressure steam curing is applied to the molds for gain strength . For commercial purposes cellular concrete products are produced in weight of 400-800 kg /m<sup>3</sup> and thermal conductivity value of 0,13-0,25 W/mK.

In that case, diatomit was used instead of quartz sand. Being light and rich in silica, high porosity diatomit is a suitable raw material for the production of cellular concrete. Curing was applied at different vapour pressure in the production process. Chemicals and other additives were used to improve the physical and mechanical properties. Through micro porous structure of diatomit and hydrophobic polymer additive, smaller porous structure was gained commercial aerated concrete products. Thermal conductivity coefficient value changes between 0,07- 0,09 W/mK according to the unit weight of sample of produced aerated concrete (375- 285 kg/m<sup>3</sup>). Hydrophobic polymer and dispersant additives are considered to impact on the development of porous structure. Developed phase structures and the thermal analysis on the samples were examined and compared with commercial aerated concrete samples.

**2015, x + 75 pages**

**Key Words:** Autoclaved aerated concrete, Diatomit, Steam curing, Autoclave, Thermal conductivity

## TEŞEKKÜR

Bu araştırmanın konusu, deneysel çalışmaların yönlendirilmesi, sonuçların değerlendirilmesi ve yazımı aşamasında yapmış olduğu büyük katkılarında dolayı tez danışmanım Sayın Prof. Dr. İsmail DEMİR'e, araştırma ve deneysel çalışmalar süresince yardımlarını esirgemeyen Sayın Doç. Dr. Mustafa Serhat BAŐPINAR'a, Sayın Yrd. Doç. Dr. Gökhan GRHAN'a ve Sayın Arş. Grv. Erhan KAHRAMAN'a her konuda öneri ve eleştirileriyle yardımlarını gördüğüm hocalarıma ve arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Ayrıca bu araştırma boyunca maddi ve manevi desteklerinden dolayı aileme teşekkür ederim.

Ayrıca verdiği destek için TÜBİTAK'a (Proje No:5120013) teşekkür ederim.

Erdal ÇALIŞKAN  
AFYONKARAHİSAR, 2015

## İÇİNDEKİLER DİZİNİ

Sayfa

ÖZET .....	i
ABSTRACT .....	i
TEŞEKKÜR .....	iii
İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	iv
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ .....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	viii
RESİMLER DİZİNİ .....	ix
1. GİRİŞ .....	1
2. LİTERATÜR BİLGİLERİ .....	5
2.1 Hafif Betonlar .....	5
2.1.1 Hafif Beton Tipleri .....	5
2.1.2 Hafif Betonların Fiziksel ve Mekanik Özellikleri .....	7
2.1.3 Hafif Beton Avantajları .....	8
2.1.4 Hafif Beton Dezavantajları .....	8
2.2 Gazbeton .....	9
2.2.1 Gazbetonun Üretimi .....	11
2.2.2 Gazbetonun Özellikleri.....	13
2.2.2.1 Gazbetonun Fiziksel Özellikleri .....	13
2.2.2.2 Yoğunluk .....	14
2.2.2.3 Kimyasal Özellikler .....	15
2.2.3 Mekanik Özellikler .....	16
2.2.3.1 Basınç Dayanımı .....	16
2.2.4 Gazbetonun Sağladığı Yararlar .....	17
2.2.4.1 Tasarımda Sağladığı Yararlar .....	17
2.2.4.2 Yapımda Sağladığı Yararlar .....	18
2.2.4.3 Yapıda Sağladığı Yararlar .....	19
2.3 Puzolonlar .....	21
2.3.1 Puzolanların Tarihçesi .....	22
2.3.2 Puzolanların Sınıflandırılması .....	23
2.3.2.1 Doğal Puzolanlar.....	24
2.3.2.2 Yapay Puzolanlar .....	35

2.3.3 Puzolonik Aktivite.....	38
3. MATERYAL ve METOT .....	42
3.1 Kullanılan Malzemeler .....	42
3.1.1 Çimento .....	42
3.1.2 Diyatomit.....	43
3.1.2.1 Diyatomit Malzeme Üzerinde Yürütülen Mineralojik Ve Petrografik Analizler.....	44
3.1.3 Kireç .....	49
3.1.4 Alçı .....	49
3.2 Metot.....	50
3.2.1 Fiziksel ve Mekanik Özelliklerin Belirlenmesi .....	54
3.2.1.1 Birim Hacim Ağırlık Değerleri.....	54
3.2.1.2 Basınç Dayanımı Deneyi .....	54
3.2.1.3 Isı İletkenlik Deneyi.....	55
4. BULGULAR.....	56
4.1 Örneklerin Mekanik Özellikleri.....	56
4.2 Örneklerin Otoklav Kürü Sonrası Mikro Yapı Analizleri .....	62
5. SONUÇ ve ÖNERİLER.....	68
6. KAYNAKLAR.....	69
ÖZGEÇMİŞ.....	75



## SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

### Simgeler

---

$\Lambda$	Isı iletkenlik değeri
Mm	Mikrometre
Dh	Birim hacim ağırlığı
Mk	Etüv kurusu ağırlık
Vh	Numunenin hacmi
V	Ultrases hızı
L	Numunenin boyu
T	Ultrases geçiş süresi
Fb	Basınç mukavemeti
AO	Basınç uygulanan yüzeyin ağırlığı
Pk	Kırılma anındaki yük
K	Numunenin biçim katsayısı
Kgf	Kilogramkuvvet
Fck	Betonun karakteristik basınç dayanımı
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Demir oksit
SiO <sub>2</sub>	Silisyum di oksit
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Alüminyum oksit
CaO	Kalsiyum oksit
Na <sub>2</sub> O	Sodyum oksit
K <sub>2</sub> O	Potasyum oksit
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Fosfor pentaoksit
Ca(OH) <sub>2</sub>	Kalsiyum hidroksit
Mg	Miligram

### Kısaltmalar

---

ASTM	American Society Testing for Materials
PÇ	Portland Çimentosu
MTA	Maden Teknik Arama
DTA TG	Termogravimetrik
TSE	Türk standartları enstitüsü
C-S-H	Kalsiyum silika hidrat
SEM	Scanning electron microscope
XRD	X-ray diffraction

---

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
Şekil 2.1 Gazbeton üretim şeması .....	13
Şekil 2.2 Gazbetonun mikro yapısı .....	14
Şekil 2.3 Puzolanların sınıflandırılması .....	24
Şekil 3.1 Pinnularia scapha türünde diyatom kavkı şekli.....	45
Şekil 3.2 Pinnularia scapha türünde diyatom kavkı şekli.....	46
Şekil 3.3 Melosira italica türünde diyatom kavkı şekli .....	46
Şekil 3.4 Pinnularia fusana türünde diyatom kavkı şekli .....	47
Şekil 3.5 Üç farklı öğütme işlemi uygulanan diyatomit örnekleri lazer tane boyut analiz grafiği .....	47
Şekil 3.6 Diyatomit örneğinin XRD analiz grafiği.....	48
Şekil 4.1 Diyatomit numunesinde gözlenen farklı kavkı türleri .....	62
Şekil 4.2 Gazbeton numunesinin buhar kürü sonrası XRD analizi.....	63
Şekil 4.3 Gazbeton numunesinin otoklav kürü sonrası XRD analizi .....	64
Şekil 4.4 Ticari gazbeton numunesinin XRD analizi .....	64
Şekil 4.5 Ticari gazbeton numunesinin SEM görüntüsü.....	65
Şekil 4.6 Buhar kürü sonrası diyatomit içeren numunenin SEM görüntüleri .....	66
Şekil 4.7 Otoklav kürü sonrası diyatomit içeren numunenin SEM görüntüleri .....	67

## ÇİZELGELER DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
<b>Çizelge 2.1</b> Hafif beton tipleri, kullanım alanları ve özellikleri.....	6
<b>Çizelge 2.2</b> Birim ağırlıklarına göre hafif betonların sınıflandırılması.....	7
<b>Çizelge 2.3</b> Hafif beton için basınç dayanımı sınıfları .....	8
<b>Çizelge 2.4</b> Yoğunluk değeri- basınç dayanımı ilişkisi.....	16
<b>Çizelge 2.5</b> Gözenekli beton yapı malzeme ve elemanlarının sınıfları.....	17
<b>Çizelge 2.6</b> Ticari kalitedeki diyatomitlerin kimyasal bileşimleri .....	33
<b>Çizelge 3.1</b> Gazbeton deney örneklerinin üretilmesinde kullanılan diyatomit ve hidrolik bağlayıcıların fiziksel özellikleri .....	42
<b>Çizelge 3.2</b> Çimentonun fiziksel ve kimyasal özellikleri.....	43
<b>Çizelge 3.3</b> Diyatomit örneğinde rastlanan diyatom türlerinin boyutları.....	45
<b>Çizelge 3.4</b> Diyatomitin XRF analiz sonuçları .....	48
<b>Çizelge 3.5</b> Kirecin fiziksel ve kimyasal analizleri.....	49
<b>Çizelge 3.6</b> Deney örneklerinin kütlece karışım oranları.....	50
<b>Çizelge 4.1</b> Örneklerin mekanik sonuçları .....	57

## RESİMLER DİZİNİ

### Sayfa

<b>Resim 2.1</b> Gazbetonun sembolik görünümü .....	10
<b>Resim 2.2</b> Gazbeton harcının kalıba dökülmesi.....	11
<b>Resim 2.3</b> Gazbeton harcının etüvde kabarması .....	12
<b>Resim 2.4</b> Dünya 2010 yılı diyatomit üretimi.....	28
<b>Resim 2.5</b> Türkiye diyatomit yatakları.....	29
<b>Resim 2.6</b> Çubuk şekilli bir diyatomitin görünüşü .....	30
<b>Resim 2.7</b> Elips şekilli bir diyatomitin iç yapısı .....	30
<b>Resim 2.8</b> Değişik diyatomit şekilleri .....	31
<b>Resim 3.1</b> Seramik bilyeli değirmenin görünümü .....	43
<b>Resim 3.2</b> Afyon İncehisar diyatomit madeni,kayaç halinde, öğütülmüş haldeki görünümleri.....	44
<b>Resim 3.3</b> Gazbeton mikseri .....	51
<b>Resim 3.4</b> Dispersan katkı ve alüminyum tozunun karıştırılması .....	52
<b>Resim 3.5</b> Gazbeton harcının kalıba dökülmesi, kabarma öncesi ve kabarma sonrası görünümü.....	52
<b>Resim 3.6</b> Kalıplardan çıkarılarak 10x10x10 cm boyutlarda üretilen küp numuneler ve numunelerin su içinde görünümleri .....	53
<b>Resim 3.7</b> Atmosferik buhar kürü, düşük basınçta otoklav kürü,otoklav kürü görünümü .....	53
<b>Resim 3.8</b> Basınç dayanımı deney aleti .....	55
<b>Resim 3.9</b> C-Therm termal iletkenlik cihazın görünümü.....	55

<b>Resim 4.1</b> Gazbeton örnekleri incelenmesinde kullanılan optik mikroskobun görünümü .....	59
<b>Resim 4.2</b> Polimer katkısız iki farklı örneğin optik mikroskop görüntüsü .....	59
<b>Resim 4.3</b> Çimentonun %0,003 oranında polimer katkılı gazbeton numunesinin optik mikroskop görüntüsü .....	60
<b>Resim 4.4</b> Çimentonun %0,005 oranında polimer katkılı gazbeton numunesinin optik mikroskop görüntüsü .....	60
<b>Resim 4.5</b> Ticari gazbeton , %0,005 polimer katkılı örnek, %0,003 polimer katkılı örneklerin optik mikroskop görüntüsü.....	61
<b>Resim 4.6</b> Çimentonun %0,005 oranında ve %0,003 polimer katkılı gazbeton numunesinin optik mikroskop görüntüsü .....	61
<b>Resim 4.7</b> Ticari gazbeton numunesi ve polimer katkısız gazbeton numunesinin optik mikroskop görüntüsü .....	61

## 1. GİRİŞ

Diyatomitin en önemli özellikleri diyatome kavkısından aldığı yüksek gözeneklilik ve geçirgenlik ile düşük özgül ağırlıktır. Diyatomit çok yüksek ve mikro ölçekte gözenekliliğe sahiptir. Kuru durumda, özgül ağırlığı 0.15-0.40 gr/cm<sup>3</sup> arasında değişir. Mosh sertlik cetveline göre opalin sertliği 4,5-6 olmakla birlikte, diyatomit sertliği 1,5'dan fazla değildir. Kimyasal olarak diyatomitlerin ticari değere sahip olması için SiO<sub>2</sub> içeriklerinin %84-94 arasında olması ve uygun miktarda Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>'ün de bulunması gereklidir. Bunların yanında tane büyüklüğü, mikro yapısı, kuru ve yaş yoğunluğu, sıvı tutma kapasitesi, filtreleme ve arıtma oranı, rengi, parlaklığı, aşındırıcılığı, pH'ı, ısı iletkenliği ve iz element içeriğinin bilinmesi de ekonomiklik bakımından önemlidir (Breese 1994, Harben 1995, Nuhoglu 1999).

Gazbeton üretiminde özellikle AB ülkelerinde son yıllarda başarılı çalışmalar yürütülerek yalıtım performansı geliştirilmiş ürünlerin üretilmesi başarılmış ve üzerinde yoğun çalışmalar yürütülmektedir. Ülkemizde de yalıtım performansı gelişmiş gazbeton ürünlerin üretilmesi hedef olarak seçilmiştir.

Isı yalıtım ürünlerinin temel amacı, yapı elemanlarının ısı iletim direncini artırmaktır. Bu nedenle bu ürünlerin yalıtım özelliğini ısı iletim katsayıları belirler. Isı iletim katsayısı ne kadar düşükse ürünün yalıtım özelliği artar. Bu özelliklerine ilave olarak uygulanacağı detaya göre yalıtım malzemelerinin; ses sönümlenme değerleri, yangına karşı performansları, su emme değerleri, donma çözülme dayanımı, yük altındaki uygulamalar için basınç dayanımları malzeme seçiminde etkili olan parametrelerdir. Yalıtım malzemelerinin uygulama kolaylığı ve ekonomik olması da aranan diğer özelliklerdir.

Gazbeton harcının içinde öğütülmüş silis kumu, diyatomit vb. (70-100 mikron), çimento, sönmemiş kireç, ham alçı vb. sulu-akıcı kıvamında karıştırılır. Bu harç içerisine ince tane boyutunda (30-50 mikron) metalik alüminyum tozu katılır. Alüminyum tozu harcın içerisindeki sönmemiş kireç (CaO) ile reaksiyona girerek hidrojen gazı üretir. Bu sulu kıvamdaki taze harç prizini (katılaşıma) yaptıktan sonra

gözenekli bir bünye oluşarak harcın kek gibi kabarmasını sağlar. Bu kabaran kek bünyesinde kapalı gözenekler oluşur. Oluşan gözenekli yapı hem bünyenin hafiflemesini sağlar hem de ısı yalıtım özelliği kazandırır.

Diyatomit, volkanik faaliyet sahalarına yakın bölgelerde, tatlı ve tuzlu sularda yaşayan tek hücreli, mikroskobik, silisten oluşan bir yosun türü olan diyatomların ölmesi ve silisli kavkılarının bir araya toplanması sonucu meydana gelmiş organik tortul kayadır. (Meisenger 2007).

Diyatomit amorf yapıda olup opalden ve hidrat halinde silisten oluşur. Bünyesinde %2-10 oranında su içerir. Kimyasal bileşimi ( $\text{SiO}_2 \times n\text{H}_2\text{O}$ ) şeklindedir. Diyatomit eser miktarda organik malzeme ve  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$  içerebilir. Ekonomik diyatomit yataklarında  $\text{SiO}_2$  %86'dan fazladır (Seeley 1949).

Doğal mineral esaslı ve yanmayan (A1 sınıfı) bir malzeme olan gazbetonun gözenek yapısını küçültmek ve toplam gözenek oranını artırmak ve buna bağlı olarak bünye yapısının hafifletilerek ürünün ısı yalıtım performansının gelişmesi beklenmektedir. Bu amaçla silis kumu yerine silis içeriği yüksek, hafif ve gözenekli bir bünye yapısına sahip diyatomit hammaddesi ana malzeme olarak seçilmiştir.

Diyatomitin ilk endüstriyel kullanımı, 2000 yıl geriye, Yunanlıların hafif tuğla yapımında ve seramik çömlekçiliğinde kullanımına kadar gider. Ancak diyatomitin benzersiz özelliklerinin gerçekten keşfedilmesi ve pazarının son kullanıcı isteklerine göre araştırılması ve geliştirilmesi 1800'lü yılların ortalarını bulmuştur. En önemli ilk kullanımı, 1860'ların ortasında Alfred Nobel'in dinamiti geliştirmesini takip etmiştir. Diyatomit, böylece patlayıcının kararlılığını ve güvenliğini sağlamak için kullanılmıştır. İlk yararlanılan diğer alanlardan bazıları, ısı yalıtım tuğlası, ateşe dayanıklı tuğlalar ile ateşe dayanıklı paneller ve yalıtımlı inşaat panellerinde bileşen olarak kullanımındır. 1920'lerde kalsinasyon, flaks kalsinasyon gibi yöntemlerin geliştirilmesiyle işleme teknolojileri çok hızlı bir gelişim kaydetmiş, bunun sonucu olarak farklı son kullanıcılar için çok çeşitli tane büyüklüğü ve kalitede diyatomit üretimi gerçekleştirilmeye başlanmıştır (Kogel vd. 2006).

Diyatomit katkısının çimentolu sistemlerde basınç dayanımını ve eğilmede çekme dayanımını düşürdüğünü, ancak sülfat direncini artırdığını tespit etmiştir. Ayrıca diyatomitin rötreyi artırdığını da saptamıştır (Aruntaş 1996).

Diyatomitin en önemli özellikleri diyatome kavkısından aldığı yüksek gözeneklilik ve geçirgenlik ile düşük özgül ağırlıktır. Diyatomit çok yüksek ve mikro ölçekte gözenekliliğe sahiptir. Kuru durumda, özgül ağırlığı 0.15-0.40 gr/cm<sup>3</sup> arasında değişir. Mosh sertlik cetveline göre, opalin sertliği 4,5-6 olmakla birlikte, diyatomitin sertliği 1,5'dan fazla değildir. Kimyasal olarak diyatomitlerin ticari değere sahip olması için SiO<sub>2</sub> içeriklerinin %84-94 arasında olması ve uygun miktarda Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>'ün de bulunması gereklidir. Bunların yanında tane büyüklüğü, mikro yapısı, kuru ve yaş yoğunluğu, sıvı absorplama kapasitesi, filtreleme ve arıtma oranı, rengi, parlaklığı, aşındırıcılığı, pH'ı, ısı iletkenliği ve iz element içeriğinin bilinmesi de ekonomiklik bakımından önemlidir (Breese 1994, Harben 1995, Nuhoglu 1999).

Masif ve tabakalı saf diyatomitler gevrek, gözenekli, düşük görünür yoğunluklu ve tebeşir görünümündedir. Burada iki özellik kritik öneme sahiptir. Birincisi gazbeton bünyesinde gözeneklerin homojen olarak oluşabilmesi için metalik alüminyum tozunun sıvı harç içerisinde homojen olarak dağılması (dispers olması) önem taşımaktadır. Bunun için metalik alüminyum tozunu sulu harç içerisinde homojen olarak dağılmasını sağlayacak dispersan katkıları gerekmektedir. İkinci özellik ise sulu kıvamdaki taze harcı oluşturan bileşenlerin (kum/diyatomit, çimento, kireç, alçı vb.) kabarma ve priz (katılaşma) süresi boyunca (yaklaşık 20-30 dk.) çökmesini engelleyecek kimyasal katkıları gerekmektedir. Sonuç olarak metalik alüminyum tozunu disperse edebilecek uygun dispersan katkıları ve priz süresi içinde sulu harcın çökmesini engelleyecek çökme engelleyici katkıları araştırılmıştır.

Bu çalışmada, Afyonkarahisar İncehisar bölgesinden alınan diyatomit kayacının gazbeton üretiminde kullanılabilirliği araştırılmıştır. Bu amaçla geleneksel gazbeton üretiminde kullanılan öğütülmüş silis kumu yerine diyatomit hammaddesi kullanılmıştır. Farklı karışım oranlarında gazbeton deney örnekleri üretilmiştir. Deney örneklerine buhar kür tankında 8 saat süre ve 55 °C sabit sıcaklıkta normal atmosfer



basıncında buhar kürü, 1,15 ve 10 Bar buhar basınc değerine sahip otoklavda 8 saat süre ile otoklav kürü uygulanmıştır. Gazbeton örneklerin fiziksel ve mekanik özellikleri belirlenmiş, mikro yapı zellikleri (SEM) incelenmiş, ultrases hızı, ısı iletkenliği değerleri belirlenmiştir.

## 2. LİTERATÜR BİLGİLERİ

### 2.1 Hafif Betonlar

TS EN 206-1'de hafif beton, etüv kurusu durumdaki birim hacim ağırlığı,  $800 \text{ kg/m}^3$ 'ten büyük,  $2000 \text{ kg/m}^3$ 'ten küçük olan beton olarak tanımlanmaktadır. Hafif beton, yapımında kullanılan agreganın bir kısmı veya tamamı farklı tip ve özelliklere sahip hafif agregaların kullanılmasıyla da üretilebilir (TS EN 206–1 2002).

Ses ve ısı yalıtımı özelliğinde önemli ölçüde yarar sağladığından izolasyon için ikinci bir malzeme kullanılmayacağından dolayı ekonomi sağlamaktadır. Yoğunluğunun az olmasından dolayı depremden daha az etkilenerek can ve mal kaybı daha az olacaktır. Donma çözülmeye karşı dayanımı daha fazladır çünkü beton içindeki birbirinden bağımsız boşluklar su ile tamamen dolmadığından dondan dolayı meydana gelecek içsel gerilmeden çok az etkilenecektir (Ünal 2004).

#### 2.1.1 Hafif Beton Tipleri

En az üç belirgin tipte gözenekli beton üretilebilir. Bunlar; taze çimento hamuru içinde kimyasal tepkimeler sonucu açığa çıkan gaz baloncukları veya köpük oluşturularak üretilen, doğal ya da sentetik hafif agregaların kullanılmasıyla olağanüstü gözenekli yapıların elde edilmesiyle üretilen, tek tip kaba agrega kullanılıp ince agreganın tamamen çıkarılmasıyla üretilen betonlardır. Bunların üçü de gözenekli betonlar olmasına karşın her biri farklı boşluk yapılarına sahiptir (Ünverdi 2006).

Hafif betonun en belirgin özelliklerinden biride kullanıldığı yerlerde diğer geleneksel agrega ile üretilen betonlara nispetle daha iyi ısı izolasyonu sağlaması olup genelde betonun ısı iletkenliği birim ağırlığı ile doğru ısı izolasyonu ile ters orantılıdır. Hafif agregalarla üretilen betonların özellikleri agreganın mineralojik yapısına, granülometri bileşimine, çimento miktarına ve su çimento oranı gibi birçok faktöre bağlı iken sertleşmiş betonların birim ağırlığı, su emmesi, dayanımı ve ısı yalıtımı birbirleri ile ilişkili olan özelliklerdir (Durmuş 1986).

Hafif beton tipleri, kullanım alanları ve özellikleri Çizelge 2.1' de verilmiştir (Topçu 2006).

Hafif beton üretiminde kullanılan hafif agregalar beş grupta toplanabilir:

- Doğal hafif agregalar: Pomza taşı, volkanik tuf, volkanik cüruf gibi,
- Doğal malzemelerden üretilen yapay hafif agregalar: Genleştirilmiş kil, şist, arduaz ve perlit gibi,
- Endüstriyel atıklardan oluşan hafif agregalar: Yüksek fırın cürufları, uçucu kül ,
- Organik hafif agregalar: Hububat tanecikleri, ağaç parçacıkları gibi malzemeler,
- Polimer kökenli malzemeler: Styropor gibi (Topçu vd. 2005).

**Çizelge 2.1** Hafif beton tipleri, kullanım alanları ve özellikleri (Topçu 2006).

<b>Türü (Kullanım Alanı)</b>	<b>Malzemesi</b>	<b>Birim Ağırlık (kg/dm<sup>3</sup>)</b>	<b>Basınç Dayanımı MPa</b>	<b>Isı İletkenlik (kcal/mh)</b>
Yalıtım betonu(çatı vb.)	Genleşmiş perlitplastikköpüğü, talaş betonu,gaz betonu	0,2- 0,6	0,2- 2,5	0,05- 0,20
Hem yalıtım hem taşıyıcı beton (dış duvar)	Bims betonu, genleşmiş kil, cüruf betonu, gaz beton	0,6- 1,2	2,5- 10	0,2- 0,45
Taşıyıcı hafif betonarme, öngerilmeli beton	Genleşmiş kil, yüksek fırın cürufu, sinterlenmiş uçucu kül	1,2- 2,0	15- 60	0,45- 1

## 2.1.2 Hafif Betonların Fiziksel ve Mekanik Özellikleri

Hafif betonun fiziksel ve mekanik özellikleri, hafif betonu oluşturan bileşenlerin bütün özellikleriyle ilişkilidir. Dayanım, betonun belli başlı özelliklerinden biridir ve genel olarak betonun yoğunluğuyla yakından ilişkilidir. Hafif agregalı betonlar değişik tiplerde olup, özellikleri kullanılan agregalara ve karışımındaki bileşenlere bağlıdır. Beton sertleştiğinde hacminde değişimler olur. Bu değişimler fiziksel ve mekanik özellikleriyle ilişkili olup, betonun fiziksel ve mekanik özellikleri şunlardır;

- Dayanım,
- Elastiklik,
- Yoğunluk,
- Isıl özellikler,
- Su emme,
- Yüksek sıcaklık etkisindeki davranışlar,
- Aşınma direnci (Uygunoğlu 2008).

Hafif betonların birim ağırlıklarına göre sınıfları Çizelge 2.2’de, basınç dayanımına göre sınıfları ise Çizelge 2.3’de verilmiştir.

**Çizelge 2.2** Birim ağırlıklarına göre hafif betonların sınıflandırılması (Şimşek 2004).

<b>Hafif Beton</b>	<b>Birim Ağırlık (kg/m<sup>3</sup>)</b>
Yalıtım Betonları	300 kg/m <sup>3</sup> - 800 kg/m <sup>3</sup>
Orta Mukavemetli Hafif Betonlar	800 kg/m <sup>3</sup> - 1400 kg/m <sup>3</sup>
Taşıyıcı Hafif Betonlar	> 1400 kg/m <sup>3</sup>

**Çizelge 2.3** Hafif beton için basınç dayanımı sınıfları (TS EN 206- 1 2002).

<b>Basınç Dayanım Sınıfı</b>	<b>En Düşük Karakteristik Silindir Dayanımı F<sub>ck</sub>, Sil (N/mm<sup>2</sup>)</b>	<b>En Düşük Karakteristik Küp Dayanımı F<sub>ck</sub>, Küp (N/mm<sup>2</sup>)</b>
LC 8/9	8	9
LC 12/13	12	13
LC 16/18	16	18
LC 20/22	20	22
LC 25/28	25	28
LC 30/33	30	33
LC 40/44	40	44
LC 45/50	45	50
LC 50/55	50	55
LC 55/60	55	60
LC 60/66	60	66
LC 70/77	70	77
LC 80/88	80	88

### **2.1.3 Hafif Beton Avantajları**

- Hafif betonların kullanılmasıyla yapıların ağırlığında önemli bir azalma sağlanır. Böylece betonarme elemanların kesitleri de azaltılabilir.
- Hafif betonların ısı iletkenlik katsayısı çok küçüktür. Bu özelliğinden dolayı hafif betonun kullanılması halinde iç mekânlarda oda sıcaklığı çok daha az yakıt kullanılarak elde edilir. Çevreye verilen hasar da azaltılmaktadır.
- Hafif betonların bazıları ahşap gibi kolayca kesilebilir ve çivi çakılabilir.
- Agregalar saftır.

### **2.1.4 Hafif Beton Dezavantajları**

- Boşluklu bir yapıya sahip olduklarından istenilen dayanımı sağlayamazlar.
- Aşınma dayanımları yetersizdir.
- Neme karşı yalıtılmaları gerekir.
- Elastisite modülleri düşüktür fakat deprem sırasında deplasmanları büyüktür.
- Hidratasyon ısıları yüksek olduğundan, sıcaklık artar.
- Daha fazla çimento gerekmektedir.
- Hafif agregalı betonlar daha kırılındırlar (Uygunoğlu 2008).

## 2.2 Gazbeton

M.S. 532 yılında, İstanbul'da inşa edilen Ayasofya'nın 32,50 metre çapındaki kubbesinin yapımında diyatomitten üretilen tuğlalar kullanılmıştır (Othmer 2010).

Günümüz yapı sektöründe diyatomit, çimento imalatında su fazlalığını telafi etmek, çimentonun mekanik özelliklerini iyileştirmek ve puzolanik dolgu amacıyla, beton ürünlerinde hafif agrega olarak, çeşitli tuğla ürünlerinde hafiflik ve yalıtım özelliğinden yararlanmak amacıyla katkı maddesi olarak kullanılması yönünde araştırmaların yapılmaya devam ettiği, üzerinde sürekli çalışılan bir malzemedir. Yapılan çalışmalar da, betona belirli oranlarda diyatomit ilavesinin basınç ve çekme dayanımını artırdığı gözlenmesine rağmen, karışımda diyatomit miktarının belirli bir orandan fazla bulunduğu durumlarda, çimento ile agrega reaktivitesi oluşturduğu için ticari ve endüstriyel olarak diyatomit esaslı çimento bağlayıcılı hazır duvar panoları da duvar blokları gibi hafif yapı elemanları üretilmemektedir (Koç vd. 2008).

Gazbeton, içyapısında fazla miktarda hava bulunan bir yapı malzemesidir. Gazbetonun bünyesindeki hava boşlukları betonun kütlesini azalttığından ısı iletkenliğini de düşürmektedir. Gazbeton ilk olarak 1930'lu yıllarda İsveç'te köpüklü beton ya da gaz beton adıyla üretilmiştir. Önceleri sadece bölme duvar elemanı olarak kullanılan gazbeton günümüzde döşeme ve blok duvar elemanlarında da yaygın bir şekilde donatılı olarak kullanılmaktadır (Holt 2004).

Kuvarsit veya kum ile çimento, kireç ve suyun karışımından elde edilmektedir. Bu malzemelerden elde edilmesi nedeniyle tamamen çevre dostu bir malzemedir. Yapısındaki milyonlarca gözenek sayesinde yapının nefes almasını sağlayarak, rutubetlenmeyi önleyici yönü vardır. Hacminin % 84'ü kuru havadan oluşan ve kuru birim hacim ağırlığı  $400 \text{ kg/m}^3$  olan gazbeton, doğal olarak başka hiçbir yalıtım malzemesine ihtiyaç duymadan ısı yalıtımı sağlayan bir yapı malzemesidir. Isı yalıtımı sağlayan ana unsur, küçük gözenekler arasında sıkıştırılmış kuru havadır. Gazbeton başka ısı yalıtım malzemesi kullanılmaya gerek duyulmadan yalıtım sağlayan tek kargir yapı malzemesidir. Gazbetonun hafif olması nedeniyle, bu malzemeyle inşa edilecek yapılarda deprem emniyetini artırmaktadır. Hafifleyen yapı ağırlığı sayesinde her türlü

zemin koşulunda güvenli bir şekilde inşaat yapabilme avantajı da ortaya çıkmaktadır (Atan 1973).

Gazbetonda silisli ince malzeme bölümü, kireç ve çimentonun hidrasyonu sonucu ortaya çıkan kireç gibi kalkerli bileşenlerle gaz oluşturucu maddenin reaksiyona girmesinden sonra basınçlı buhar altında otoklavda dayanım kazanır. Oluşumundaki temel farklılıklardan dolayı gazbetonun karakteristik özellikleri diğer çimento esaslı malzemelerin özelliklerinden farklıdır. Gazbetonun boşluklu yapısı ve normal betona göre daha düşük alkali ortama sahip olması çeliğin korozyonuna karşı önlem alınmasını gerektirir. Gazbetonda pH derecesi 10-11 arasında olduğundan alkali miktarı betondan biraz daha düşüktür. Bununla birlikte insan sağlığı açısından her hangi bir zararı söz konusu değildir. Çevresel ve sağlık açısından bir yapı malzemesindeki ağır metallerin içeriğini bilmek gerekir. Gaz beton ağır metaller bakımından zararsızdır ve standartların koşullarını sağlamaktadır (Lo 2004).

Gazbetonun sembolik görünümü Resim 2.1’de verilmiştir.



**Resim 2.1** Gazbetonun sembolik görünümü.

Düşük ısı iletkenliği nedeniyle malzeme içindeki ısı geçişi düşük hızda oluşur ve bu da gazbetonun yangın etkisine dayanıklı olmasını sağlar. Sadece yangının etkili olduğu gazbeton yüzeyi değil, diğer yüzeyinde de sıcaklık normal betona göre daha düşüktür.

Bundan dolayı, gazbetonun yapılarda diğer malzemeleri koruma işlevi de vardır. Ayrıca bu hafif beton deprem sırasında oluşabilecek yangınlara karşı da yarar sağlar. Yangın sırasında gazbeton içindeki kristal suyu sıcaklık düşürücü rol oynar. Boşluklu yapısı nedeniyle yangın sonucu parça kopmadan ve dağılma olmaksızın buharın kaçıışı sağlanır. Yangında gazbetondaki sıcaklık normal betonunkinden çok daha düşüktür. Sıcaklık, sadece yangın etkisindeki bir yüzde yaklaşık olarak ancak 5 mm'lik bir derinlikte etkili olmakta, gazbetonu diğer yüzeyinde ise sıcaklık etkili olamamaktadır. Dolayısıyla gazbeton, içindeki donatıyı iyi bir biçimde korumaktadır (Alduaij 1999, Corinaldesi 2002).

### 2.2.1 Gazbetonun Üretimi

Gazbeton üretiminde; kum, kireç, çimento, alçıtaşı, su ve genleştirici bir madde kullanılır ki böylece üretilen betonda boşluklu bir yapı oluşması sağlanmış olur. Genleştirici olarak alüminyum tozu kullanılır. Alüminyum tozu, kalsiyum hidroksit ve suyla reaksiyona girerek hidrojen çıkışına sebep olur ve bu hidrojen çıkışı sulu beton içinde baloncuklar oluşturarak hacminin artmasını sağlar ve böylece beton kabarak boşluklu bir yapı kazanır (İnt. Kyn. 1).

Karıştırma işleminden sonra oluşan sulu çimento Resim 2.2'deki gibi kalıpların sadece 2/3'ü dolduracak biçimde dökülür ve kabarması beklenir.



**Resim 2.2** Gazbeton harcının kalıba dökülmesi.



Yaklaşık 30 dakika içinde gelişen reaksiyonlar sonucu açığa çıkan hidrojenin oluşturduğu baloncuklar sonucu kabaran, kısmen katılaşmış gazbeton bloğu oluşur (Resim 2.3).



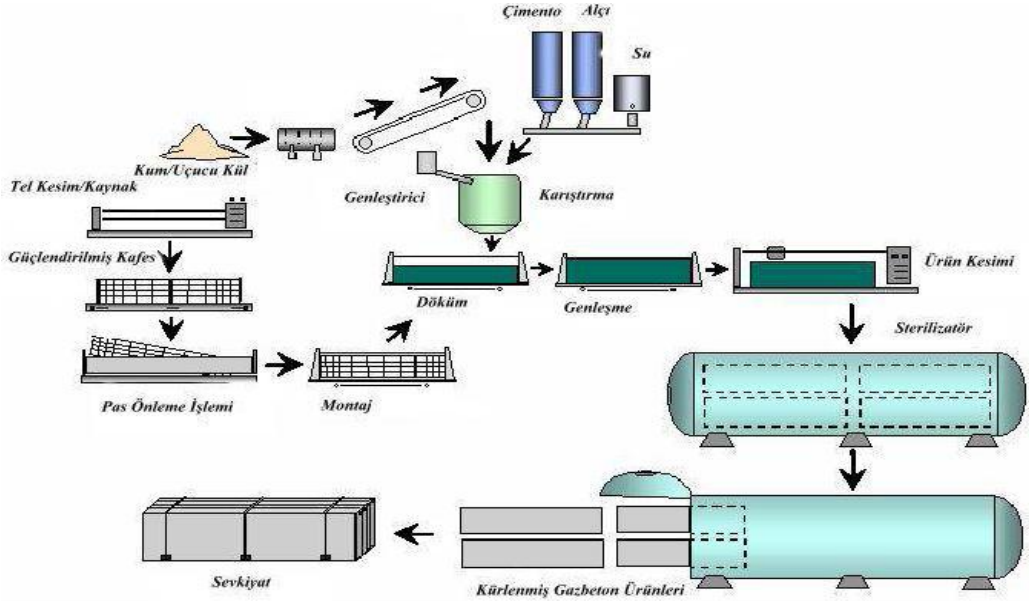
**Resim 2.3** Gazbeton harcının etüvde kabarması.

Son adım kesilen blokların buhar kürüne alınmasıdır. Kesilen malzeme otoklavlarda doymuş buhar ile 12 bar basınç ve 190 °C sıcaklıkta yaklaşık 10 – 12 saat doygun buhar kürüne tabi tutulur. Buhar küründen çıkan ürünler, hafif, gözenekli ve yüksek basınca dayanım özeliğine sahip olur.

Gazbeton üretim şeması Şekil 2.1’de verilmiştir.

Priz esnasında uygulanan işleme göre gazbetonlar üç sınıfta üretilir;

- a- Basınçlı buharda priz yapan gazbeton.
- b- Yüksek ısıda ve buhar altında priz yapan gazbeton
- c- Açık havada priz yapan gazbeton (Ünverdi 2006).

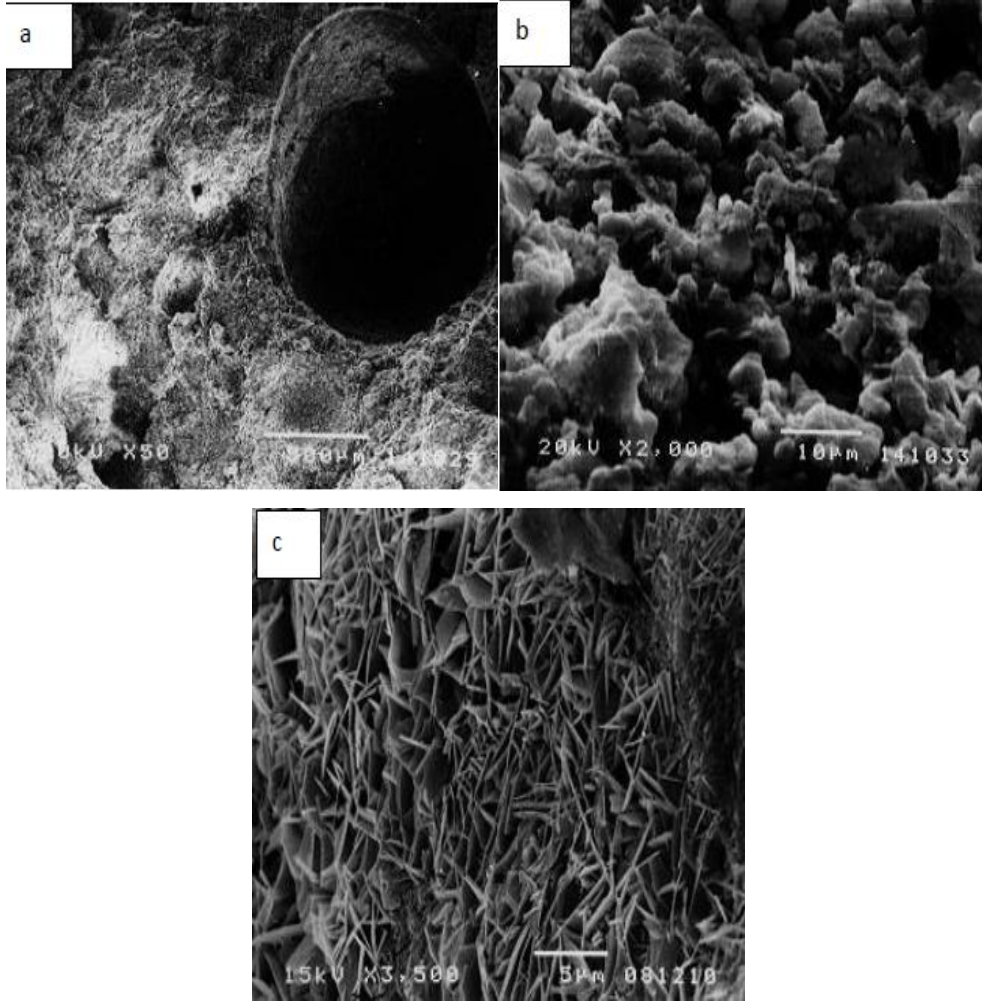


Şekil 2.1 Gazbeton üretim şeması (Ünverdi 2006).

## 2.2.2 Gazbetonun Özellikleri

### 2.2.2.1 Gazbetonun Fiziksel Özellikleri

Gazbetonda gözenek oluşturma metodu mikro yapıyı ve özelliklerini etkilemektedir. Gazbetonun malzeme yapısı katı mikropor matrisleri ve makroporlar olarak sınıflandırılmaktadır. Makroporlar kütlelerin genişlemesi sebebiyle oluşmaktadır ve mikroporlar makroporlarla birlikte çerper olarak görünmektedir. Makroporlar çapları 60  $\mu\text{m}$  den daha fazla olan gözenekler olarak öngörülmektedir. Havalandırılmış betonun gözenek sistemi yapay hava gözenekleri, inter cluster gözenekler ve inter particle gözenekler olarak gözenek dağılım büyüklüklerine göre sınıflanmakta ve matris içinde gözeneklerin dağılımı gözeneklerin özelliklerine bağlıdır (Narayanan and Ramamurthy 2000).



**Şekil 2.2** (a),(b),(c) Gazbetonun mikro yapısı (Narayanan and Ramamurthy 2000).

Diğer iyi kabul edilen bir yöntem ise gözenek çaplarının 50-500 µm arasında sınıflandırılmasıdır.

Havalandırılmış betonların porozitesi ve gözenek dağılımı, bileşimi ve kür metoduyla ilgilidir. Havalandırılmış betonların yüksek porozitesi makropor gözeneklerin hacminin artırılmasıyla sağlanabilir.

#### **2.2.2.2 Yoğunluk**

Su/çimento oranı esaslı malzemelerin havalandırma miktarı yoğunluğuyla ilişkilidir. Gözenek oluşturma yöntemi ne olursa olsun, gazbetonlar için puzolanlarla birlikte su/katı oranı su /çimento oranından daha önemli görünmektedir. Gaz beton için, daha az

su katı oranı yetersiz havalandırmaya yol açarken önemli bir sonuç bunun geçersiz sayılmasıdır. Fakat her iki durumda yoğunluk artmaktadır. Gazbetonun birçok fiziksel özelliği yoğunluğuna bağlıdır, bu özelliklerin sınıflandırılması yoğunluk esastır. Gazbetonun yoğunluğu belirlenirken nem durumunun bilinmesi gereklidir. Malzeme otoklav‘ dan sonra kuru ağırlığından %15-25 oranında daha ağır olabilir. Bu değer çok düşük yoğunluklu gazbetonlar da %45‘den fazla olabilir (Narayanan and Ramamurthy 2000).

### 2.2.2.3 Kimyasal Özellikler

Gazbeton için, X ışınları kırınımı (XRD) çalışmaları göstermiştir ki; ana tepkime ürünü kalsiyum silika hidrat (C-S-H) grubuna aittir. Hidratasyon ürünü bir arada bulunan kristaller karışımı, yarı-kristaller ve amorf tobermorittir. Hidrate fazda oluşan yalnızca kalsiyum silikadır (Ünverdi 2006).

**Kimyasal etkenlere karşı direnç:** Gazbeton, silika hidratlardan oluşan alkali bir yapıya sahiptir. pH değeri 9,5- 11,0 arasında değişir. Bu bakımdan asidik ortamlardan olumsuz yönde etkilenir. Sülfirik asit, hidroklorid asit, asetik asit malzeme yapısını, kloridler, sülfatlar ve nitratlar ise donatıyı hasara uğrattır. Bu bakımdan da gazbeton, deniz suyuna karşı korunmalıdır. Ortamda yoğun ve devamlı kimyasal agresif maddelerin bulunması halinde, gazbeton malzeme, bu maddelere dayanıklı yüzey kaplamaları ile korunmalıdır.

**Suda çözülme:** Gazbetonun mukavemetini sağlayan hidro silikatlar suda çözülmezler. Ancak üretime giren diğer maddeler (kum, kireç, çimento veya su) suda çözülebilen tuzlar içerirlerse, ortam şartlarına göre bu tuzlar malzeme yüzeyinde kristalleşerek çiçeklenme yaratabilirler. Çiçeklenme, öncelikle eriyik tuz miktarına bağlı olmayıp gazbeton bünyesindeki kılcal su hareketinin hızına ve yüzeydeki kuruma hızına bağlıdır (Çiçek 2002).

## 2.2.3 Mekanik Özellikler

### 2.2.3.1 Basınç Dayanımı

Örnek boyutu ve şekli, gözenek oluşturma metodu, yükleme doğrultusu, yaşı, su içeriği, bileşenlerin özellikleri ve kür metodu gazbetonların dayanımını etkilemektedir. Gözeneklerin yapısı ve mekanik özellikleri basınç dayanımını etkilemektedir. Büyük makroporların oluşturulması basınç dayanımında önemli düşüşe neden olur. Genellikle basınç dayanımı ile yoğunluk doğrusal bir şekilde artar. Çizelge 2.4 'de literatürdeki farklı yoğunluklardaki basınç dayanım değerleri verilmiştir.

**Çizelge 2.4** Yoğunluk değeri – basınç dayanımı ilişkisi.

<b>Kuru Yorgunluk (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Basınç Dayanımı (MPa)</b>	<b>Elastisite Modülü (kN/mm<sup>2</sup>)</b>	<b>Termik Geçirgenlik (W/m K)</b>
400	1.3-2.8	0.18-1.17	0.07-0.11
500	2.0-4.4	1.24-1.84	0.08-0.13
600	2.8-6.3	1.76-2.64	0.11-0.17
700	3.9-8.5	2.42-3.58	0.13-0.21

**Basınç mukavemeti:** Gazbeton basınç mukavemeti, kuru birim hacim ağırlığına ve içerdiği nem miktarına bağlıdır. Çizelge 2.5'de belirtildiği gibi TS 453'e göre gazbeton malzemelerin basınç mukavemeti küp deneyine göre belirlenir. Bu deneyde, malzemenin basınç mukavemeti 15x15x15 cm boyutlarındaki küplerin ağırlıkça %10 neme erişinceye kadar kurumasının ardından kırılması ile bulunur. Gazbeton, içerdiği nem oranında mukavemet kaybetmektedir. Bu değişim, tam kuru malzeme ile suya doymuş malzeme arasında %35 derecesindedir. Otoklav basınç dayanımını önemli şekilde arttırmaktadır ki tobermoritler yüksek sıcaklık ve basınç altında oluşmaktadır. Bu sebeple nihai dayanım otoklav içerisindeki basınca bağlı olarak gerçekleşmektedir (Narayanan and Ramamurthy 2000).

**Çizelge 2.5** Gözenekli beton yapı malzeme ve elemanlarının sınıfları (TS 453 1988).

Sınıfı	En Büyük Basınç Dayanımı kgf/cm <sup>2</sup> (MPa)	En Küçük Basınç Dayanımı kgf/cm <sup>2</sup> (MPa)	Birim Hacim Ağırlığı (kg/m <sup>3</sup> )	Ortalama Birim Hacim Ağırlığı (kg/m <sup>3</sup> )	Sınıf İşareti
G1	15 (1,5)	75 (7,5)	400	310-400	G1/0,4
			500	410-500	G1/0,5
G2	25 (2,5)	20 (2,0)	400	310- 400	G2/0,4
			500	410- 500	G2/0,5
G3	35 ( 3,5)	30 (3,0)	500	410- 500	G3/0,5
			600	410- 500	G3/0,6
G4	50 (5,0)	40 (4,0)	600	410- 500	G4/0,6
			700	610- 700	G4/0,7
G6	75 (7,5)	60 (6,0)	700	610- 700	G6/0,7
			800	710- 800	G6/0,8

## 2.2.4 Gazbetonun Sağladığı Yararlar

Gazbeton ürünlerin diğer benzer duvar malzemelerine göre bazı avantajları bu bölümde verilmiştir.

### 2.2.4.1 Tasarımda Sağladığı Yararlar

**Projelendirmede kolaylık sağlaması:** Gazbetonun standart boyutlarda üretilmesi sonucunda projelendirme esnasında modüler tasarıma imkân tanıdığından gazbeton tasarımda daha baştan kolaylık sağlamaktadır.

**Bina taşıyıcılarının incelenmesi:** Gazbeton yapı ürünleri hafif olduğundan binanın taşıyıcılarına gelen yükü azaltır ve dolayısı ile bina taşıyıcıları tasarımda daha ince olarak tasarlanır ve böylece iç mekanların ve bina dış cephesinin tasarımında kolaylık sağlanır ( Kömürlü ve Önel 2007).

#### 2.2.4.2 Yapımda Sağladığı Yararlar

Malzemenin kolay işlenebilirliği, çabuk ve rasyonel yapım açısından çok önemli bir yarardır. Ayrıca, basit ve açık konstrüksiyonlara ve planlama ve şantiye esnasındaki düşük maliyetlere yol açan yapı malzemesinin üniversallığı önemli bir yarardır. Gazbeton yapı sistemi ayrıca, yapım süreçlerini de hissedilebilir bir şekilde kısaltmaktadır. Bu da sonuçta daha az bir yatırım maliyeti demektir. Gazbeton bloklar ile duvar örmek veya gazbeton paneller ile duvar oluşturmak ve duvarın üzerinde farklı malzeme ve yöntemler ile sıva ve benzeri işlemleri gerçekleştirmek son derece kolaydır. Bu işlemler nitelikli elemanlara ihtiyaç göstermez, diğer duvar malzemelerine kıyasla daha az işçilik gerektirir, sonuç olarak da yapımda sıva ve işçilik maliyeti önemli ölçüde düşer. Böylece yapım maliyet ve süresi önemli ölçüde azalmış olur. Bu noktaların göz önüne alındığında gazbeton yapı ürünlerinin kullanımı hem rasyonel, hem de ekonomiktir. Bunun ötesinde sağlanan yararlar aşağıdaki şekilde sıralanabilir (Balanlı 1997).

Gelişmiş bir teknoloji ile üretilen gazbetonun ölçüleri milimetrik hassasiyettedir. Bunun nedeni üretim tesislerinde uygulanan son derece gelişmiş kesim teknolojisidir. Bu da temiz ve hassas, üst yüzeyleri düzgün olan yapı elemanlı bir yapı konstrüksiyonuna imkan sağlamaktadır. Sonuç olarak çeşitli duvar örgü malzemelerine kıyasla gazbeton bloklar çok daha az emek ile düzgün yüzeylere sahip duvarların elde edilmesini sağlamaktadır. Düzgün yüzeyli duvarlar sıvayı kolayca kabul ederek sıva işçilik ve malzemesinden tasarruf sağlamaktadır. Blok yüzeylerinin düzgün ve boyutların hassas olması harç yerine örgü tutkalı kullanılmasına olanak vermekte böylece duvarlar daha hızlı örülebilmekte ve ısı köprüleri ortadan kalkmaktadır. Büyük yüzeyli gazbeton yapı elemanlarındaki ölçü hassasiyeti montajı rasyonelleştirmektedir. Yapı malzemesinin hafifliği, ayrıca duvar büyüklüğünde yapı elemanlarına ulaşan yapı elemanı formatına imkan kılmaktadır. Gazbeton yapı bloklarının sadece 8 tanesi ile 1m<sup>2</sup> duvarın örüldüğü göz önüne alındığında sağlanan işçilik tasarrufu ve yapım hızı daha iyi anlaşılmaktadır. Yığma sistemde betonarme döşeme yerine, gazbeton panellerle döşeme yapımı, hem maliyet hem de yapım süresi yönlerinden avantajlı olduğu gibi kalıpla da uğraşılmayacaktır (Hasol 1967, Okan 1978).

Gazbeton ürünleri nakledilebilir birimlerde toparlanmıştır. Ağırlığın ve nakil birimlerinin uygunluğu, nakil kapasitesinin tam kullanılmasını sağlamaktadır. Örneğin; gazbeton duvar blokları taşımaya uygun bir biçimde paketlenmişlerdir. Malzemenin yoğunluğu taşıt kapasitesinden tam olarak yararlanma olanağı vermektedir. Gazbeton yapı ürünleri betondan 6, tuğladan 3 kez daha hafif olduğundan nakliyeden tasarruf sağlar. Yani gazbeton yapı ürünlerinin taşınması hem kolay hem ekonomiktir (Bilgin 1994).

Yukarıda sayılan sebeplerden dolayı (malzemenin rasyonel olması ve kolay işlenebilmesi ve kolay montaj olanağı sayesinde) gazbeton yapı malzemeler yapı üretiminde hız sağlamaktadırlar. Gazbeton konut sistemi ile yapı üretimi büyük sürat kazanmakta, zamandan tasarruf edilmekte ve hava şartlarına bağlı kalınmadan, hemen hemen her mevsimde yapı inşa edilebilmektedir. Ayrıca malzemenin standartların öngördüğü bütün özellikleri (standart boyutlar, basınç dayanımı, ısı ve ses yalıtımı özellikleri vb.) bünyesinde barındırıyor olması ile de yapı üretimine ve dolayısıyla yapıya kalite katmaktadır (Kömürlü ve Önel 2007).

#### **2.2.4.3 Yapıda Sağladığı Yararlar**

**Hafif olmasına rağmen yine de masif bir yapı malzemesi:** Gazbeton masif yapı malzemeleri arasında hafif ağırlıklı bir malzemedir. Gazbeton yapı elemanı milyonlarca küçük hava boşluklarına rağmen masiftir. Ağırlığın düşük olması, nakliye ve uygulamada iyi yararlar sağladığı gibi statik açıdan da malzeme ve yük tasarrufunda oldukça ekonomik konstrüsiyona izin vermektedir.

**Yüksek basınç dayanımı:** Gazbeton montaj elemanları ve blokları TS 453 ile tanımlanan değişik dayanım sınıflarında üretilmektedir. Bunlar: G1, G2, G3, G4 ve G6'dır. G1 sınıfında 15 kg/cm<sup>2</sup> olan basınç dayanımı G6 sınıfında 75 kg/cm<sup>2</sup> ye kadar çıkmaktadır. Gazbeton basınç dayanımı, yoğunluk ve ısı yalıtkanlığı özelliklerinin optimum düzeyde dengelendiği bir malzemedir.



**Çok uygun ısı yalıtım özelliklerine sahip masif bir yapı malzemesi:** Bünyesinde yer alan küçük gözenekler içinde hapsedilmiş hava nedeni ile gazbeton etkin ısı yalıtım özelliği gösterir, bu da oldukça düşük bir k-değeri sağlamaktadır. Isı yalıtımına ilişkin yönetmelik ve standartların tüm isteklerini ek bir ısı yalıtım malzemesine gerek kalmadan gazbeton tek başına sağlamaktadır. Böylece pek çok yapı fiziği sorunu da ortadan kalkmış olur.

**Gazbeton yapı elemanlarının yangından koruma özellikleri idealdir:** Gazbeton gözenekli bir yapıya sahip yanmayan bir yapı malzemesidir. Gazbeton yapı elemanları uygulamaya göre her yangın direnç sınıfına uyabilmektedir. İnorganik yapısı sayesinde Gazbeton yapı malzemeleri A1 sınıfı yanmaz malzeme grubundadır. Böylece 1200 °C' ye ulaşan sıcaklığa dayanır. Bu özelliğiyle yapılarda yangın güvenliği sağlar.

**Şekil, hacim stabilitesi:** Aşırı koşullar altında bile gazbeton ürünlerde önemli hacim değişikliklerine rastlanmaz yani gazbeton yapı elemanları stabildir. Yapılan deneyler ısıya bağlı şekil değiştirme miktarlarının standartların öngördüğü miktarların altında olduğunu göstermektedir.

**Düşük su emme:** Gazbeton yapı malzemesinin strüktüründeki, dokusundaki kapalı gözenekler sayesinde gazbeton yapı elemanlarının su emmesi, kılcal damarlı strüktürü olan yapı malzemelerine nazaran çok daha yavaş gerçekleşmektedir. Gazbeton yapı elemanlarının denge rutubeti hacimsel olarak %1,5- 2 arasındadır (% 40-%50 gibi nisbi bir rutubette). Gazbeton duvar konstrüksiyonlarını hava etkilerinden korumak için, büyük boyutlu, donatılı yapı elemanlarının kaplanmaları ve duvar bloklarının da sıvanmaları yeterli olmaktadır. Gazbeton çatı konstrüksiyonlarına bilinen kaplamalar uygulanır. Gazbeton mineral malzeme olarak çürüme göstermez.

**Düşük don hassasiyeti:** Gazbeton dona karşı hassas bir malzeme değildir. Rutubet içeriği belli bir ölçüyü aşmadıkça, kireç ve çimento bağlayıcılı gazbeton sıvasız olarak kullanıldığında bile dona karşı yeterli direnç göstermektedir. Yine de malzemelerin, özellikle ısı yalıtım niteliğinden yararlanabilmek için, içerisine su girmesi engellemelidir yani malzemenin nemlenmemesine dikkat edilmelidir.

**İyi bir ses yalıtımı:** Masif gazbeton yapı malzemesi birçok durumda geçerli olan ses yalıtım şartlarını, ek bir yalıtım gerektirmeden yerine getirmektedir.

**Toksik Maddeler:** Gazbetonun bünyesinde hiçbir toksik madde yoktur (Kömürlü ve Önel 2007).

**Hafiftir-Depreme Dayanıklı:** Gazbeton yapı malzeme elemanları betondan 6, tuğladan 3 kez daha hafif olması nedeniyle; nakliyeden, demir ve çimentodan önemli ölçüde tasarruf sağladığı gibi, yapı hafiflediği için deprem emniyeti artar, her türlü zemin şartlarında güvenle inşa edilebilir.

**Kolay temizlenebilme, onarılabilme, bakım-onarım maliyeti:** Gazbeton yapı malzemelerinin kullanımında bozulma, zedelenme az rastlanır bir olaydır. Üzeri kaplanmış veya sıvanmış gazbeton ürünlerde hiç yok denecek kadar azdır. O yüzden bakım onarım maliyeti pek yoktur. Ama yine de az da olsa gazbeton ürünlerinde bir bozulma olursa, ürünlerin standart olarak üretilmesi sonucu parçaların bir araya getirilmesi ile üretilen yapının herhangi bir ögesindeki bozuk parça alınıp yenisi takılır. Yani gazbeton yapı ürünleri kolay onarılabilir ve bakım-onarım maliyeti de düşük olur. Bu özellikleri sebebiyle, gazbeton yapı ürünlerinin toplu konut üretiminin amaçlarına çok uygun bir yapı ürünü olduğu görülmektedir. O nedenle gazbeton yapı ürünlerinin toplu konut üretiminde kullanımı sırasında projelendirme ile uygulama aşamalarının – bu makalede açıklanan- kurallarına göre yapıldığı takdirde amaçlanan hızlı, kaliteli ve ekonomik konutların üretildiği ve üretilebileceği görülmektedir (Kömürlü, Önel 2007).

### **2.3 Puzolanlar**

Puzolanlar, kendi baslarına bağlayıcılık değeri olmayan veya çok az bağlayıcılık gösterebilen, fakat ince taneli durumda olduklarında ve sulu ortamda kalsiyum hidroksit  $[Ca(OH)_2]$  ile birleştiklerinde hidrolik bağlayıcılık özelliğine sahip olan silisli ve alüminli malzemeler (Erdoğan 2003) olarak tanımlanmaktadır.

Puzolanların yapısında büyük miktarda yer alan silis'in ve alümin'in yanı sıra, bir miktar da demir oksit, kalsiyum oksit, alkaliler ve karbon bulunabilmektedir. Günümüzde puzolanlar, düşük hidratasyon ısı, geçirimsizlik (permeabilite) ve alkalisilika tepkimesi, yüksek geç dayanım ve sülfat dayanımı gibi yararları nedeniyle harç ve betonda kullanılmaktadır. Ayrıca, çimento endüstrisinde enerji korunumu ve çevresel etki, durabilite ve beton yapıların yaşam dönemi maliyeti bakımından puzolanik malzemelerin kullanımı önem taşımaktadır (Bulut 2007).

Puzolanlar (traslar) kimyasal olarak  $\text{SiO}_2$  ve az miktarda  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 'den oluşan maddelerdir. Su ile karıştırıldıklarında çamur haline gelir. Kurutulduktan sonra tekrar eski hallerine geri dönerler. Bunlar (puzolanlar) kireçle karıştırılırsa suda çözünmeyen bir kalsiyum silikat tuzuna dönüşürler (Görhan 2006).

Puzolanik malzemenin yeterli bağlayıcılığı gösterebilmesi için aşağıdaki koşulları sağlamış olması gerekmektedir (Ediz 1994) ;

- İçerdiği silika ve alümina miktarı yüksek olmalıdır.
- Amorf yapıya sahip olmalıdır.
- Doğal haliyle çok ince taneli durumda veya öğütülerek en az çimento inceliği kadar ince taneli duruma getirilmiş olmalıdır.

### **2.3.1 Puzolanların Tarihçesi**

Volkanik külün, volkanik küllü toprakların veya pişirilmiş kilin söndürülmüş kireçle ve kumla birleştirilerek suya dayanıklı harç yapımında kullanılması işlemi binlerce yıl öncesine dayanmaktadır. Milattan önce, yeraltı suyunun tabanında bulunan puzolanların kullanılması Roma İmparatorluğu döneminde, Napoli puzolanlarının bağlayıcılık özelliğini keşfeden Romalılar ünlü tarihi yapılarını bu puzolanik doğal maddeyi öğütüp sönmüş kireç ile yapılan harca ikame edilmek suretiyle inşa etmişlerdir (Gündüz 2008).

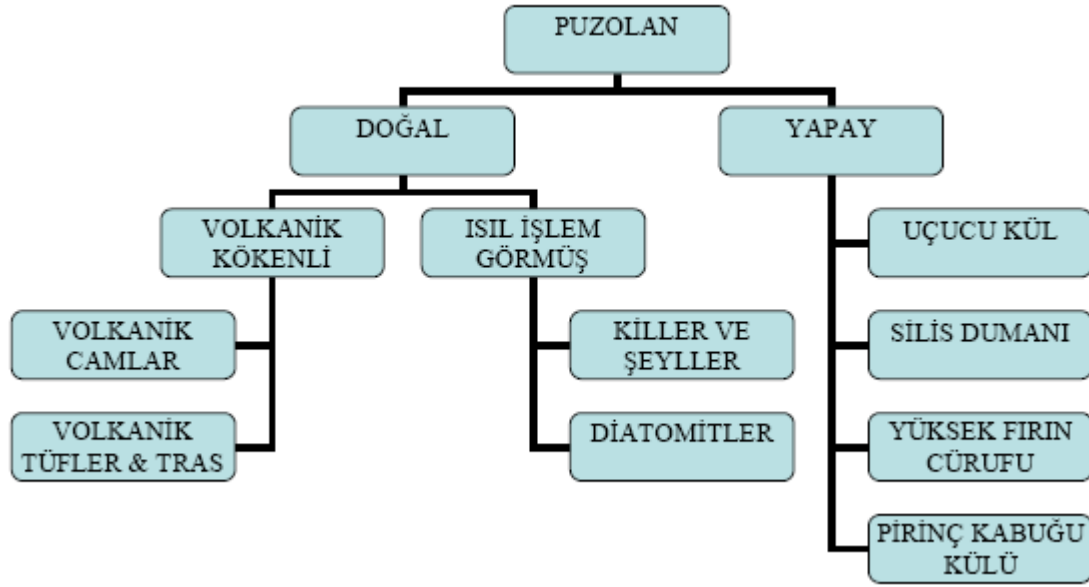
Kullanıldığı en eski tarih milattan önce 2000 yıllarında Romalılar tarafından tras ve kireç karışımının çimento yani bağlayıcı olarak kullanılması ile yapılmış olan Rhine Nehri boyundaki su kanalı, 1910-1920 tarihleri arasında Idaho'da inşa edilen Arrowrock Barajı, New Mexico'da San Francisco Bay Köprüsü, Oregon'da Bonneville Barajı, California'da Friant Barajı, Los Angeles'de Su kanalı, Neuwied Ren Köprüsünün ayakları, Agger Barajı, Saldenbach Barajı, şeklinde sıralanabilir. Yapımında bağlayıcı olarak tras kullanılan birçok tarihi yapı hala hizmet vermektedir (Malinowski 1982).

Sadece kil, kireç veya alçıdan oluşturulan harçların suya dayanıklı olmadıkları hatırlanacak olursa, oradaki harçların büyük bir olasılıkla volkanik kül içeren topraklarla yapılmış olma gerçeği elde edilmektedir. Zira Çatalhöyük, Erciyes ve Hasan dağı gibi dağların çok uzağında bir yer değildir. Girit'te, Rodos'ta ve birçok yerde üç dört bin yıl önce yapılmış olan su yapıları ve mozaik işleri de bugün hala dayanıklılığını korumaktadır. Bu yapılarda da puzolan ve söndürülmüş kireçten oluşan bağlayıcılar kullanılmıştır (Malinowski 1979, Malinowski 1991).

Puzolanik maddeler doğru şekilde hazırlanmalıdır; yani üretim veya teslim durumuna bağlı olarak seçilmeli, homojenize edilmeli, kurutulmalı veya ısıtılmalı ve geçirilmeli ve öğütülmelidir (TS EN 197-1 2012).

### **2.3.2 Puzolanların Sınıflandırılması**

Puzolanların sınıflandırılması için birçok sistem geliştirilmiştir. En yaygın olan sınıflandırma ise doğal ve yapay sınıflandırmadır. Puzolanların sınıflandırılması Şekil 2.3 de verilmiştir.



Şekil 2.3 Pozolanların sınıflandırılması (Ün 2007).

### 2.3.2.1 Doğal Pozolanlar

Doğal pozolanlar, yaygın olarak bilinen adıyla traslar, kendi başlarına bağlayıcılık özelliğine sahip olmasalar da çok ince öğütüldüklerinde, normal sıcaklıklarda, sulu ortamlarda kireçle birleşerek bağlayıcılık özelliği kazanabilen, silis ve alümin oksitlerince 18 zengin tuf çeşidi malzemelerdir. Türkiye doğal pozolan kaynakları bakımından zengin bir ülkedir (Çavdar ve Yetgin 2004). Geçen yıllarda ülkemizde üretilen çimentoların yaklaşık 1/3'ü "Traslı Çimento"dan oluşmaktadır (Tokyay vd. 1997). Nitekim birçok Akdeniz ülkesinde de benzer uygulama söz konusudur. Bu yüzden yazarlar, ülke ekonomisine sağlayacağı katkıyı düşünerek, tras içeren çimentoların özelliklerini inceleyen bir çalışma yapmayı gerekli görmüşlerdir (Türkmenoğlu vd. 2002).

Gerek betonun birçok teknik özeliğini olumlu yönde değiştirmeleri, gerekse portland çimentosundan daha ekonomik olmaları ve beton karışımının içerisinde çimento ağırlığının %50'sine varan miktarlarda kullanılmaları nedeniyle, doğal pozolanların beton endüstrisinde çok önemli yeri bulunmaktadır. Volkanik kül, tuf ve diatom olarak adlandırılan mikroskobik büyüklükteki silisli alglerin kalıntılarını içeren diatomlu

toprak, doğal puzolan sınıfına girmektedir. Bu malzemelerin dışında, 540 °C - 900 °C kadar pişirilme işlemine tabi tutulmuş olan bazı killer de doğal puzolanlar arasında yer almaktadır. Kilin içerisinde yeterli miktarda silika ve alümina olduğu halde, bu malzeme, doğal haliyle puzolanik davranış gösterememektedir. Bunun nedeni, kildeki minerallerin kristal yapıya sahip oluşudur. Ancak, kil, pişirilme işlemine tabi tutulduğu takdirde, kristal yapı bozulmakta ve amorf yapı elde edilmektedir. O nedenle, pişirilmiş kil puzolanik özellik gösterebilmektedir (Erdoğan T. Y 2007).

Doğal puzolanlara ülkemizde Alman inşaat kültürünün etkisiyle 'tras' adı verilir; doğal puzolan içeren çimentolara da 'traslı çimento' denilmektedir. Tras oranı %20- %40 arasında olunca üretilen 'traslı çimento'; en fazla %19 olunca 'katkılı çimento' olarak adlandırılmaktadır (Bulut 2007).

### **Pomza Taşı**

Boşluklu, süngerimsi, volkanik olaylar neticesinde oluşmuş, fiziksel ve kimyasal etkilere karşı dayanıklı, gözenekli bir yapıya sahip volkanik bir kayadır. Pomza; rengi, gözenekliliği ve kristal suyunun olmaması ile pratik olarak benzer volkanik camı kayalardan ayrılmaktadır. Pomza'yı, oluşumuna göre iki gruba ayırabiliriz. Bunlar, asidik ve bazik pomzadır. Asidik pomza kirli beyaz görünümündedir. Özgül ağırlığı 0.5- 1 g/cm<sup>3</sup>, sertliği mohs skalasına göre 5- 6 civarındadır. Bazik pomza koyu renklidir. Özgül ağırlığı 1- 2 g/cm<sup>3</sup> civarındadır. Su emme oranı %50'den daha fazladır. Porozitesi ise %75- 80 civarındadır (Gündüz vd. 1998, Serin 1999).

Pomza, inşaat sektöründe yaygın bir kullanım alanına sahiptir. Ülkemizde üretilen pomzanın büyük bir bölümü inşaatlarda kullanılmaktadır. Kum ve çakıla göre daha düşük bir yoğunluğa sahiptir. Bu durumda pomza ile üretilen betonlar da hafif olmaktadır. Pomza betonunun normal betondan hafif olması nedeni ile zaman ve işçilikten tasarruf sağlanmaktadır. Ayrıca hafif olan pomza betonu nedeni ile temele iletilen yükler de azalacağından inşaat temel masraflarında da önemli ölçüde tasarruf sağlanabilmektedir. Isı geçirgenlik katsayısı normal betondan 6 kat daha fazla izolasyon

sağlamakta ve bu özelliğinden dolayı da büyük çapta ısı ve enerji tasarrufu sağlanmaktadır (Aydın 1998, DPT 2001).

### **Volkanik Cüruflar**

Bu tür malzemeler volkanik patlamalar neticesinde atmosfere atılan erimiş mağma parçacıklarından oluşur. Patlama sırasındaki ani basınç düşüşü sıvı mağma içerisinde çözünmüş olan gazların açığa çıkmasına sebep olur. Açığa çıkan gazların geride boşluklar bırakması nedeniyle katılaştıran parçacıklarda boşluklu bir yapı görülür. Katılaştıran parçacıkların ani soğumaya maruz kalması bu malzemelerde camsı yapı oluşmasına neden olur. Düzensiz bir gözenek yapısına sahiptirler. Mekanik performansları oldukça düşüktür. Bu nedenle kullanım alanları sınırlıdır. Çimento sanayinde katkı ve traslı çimento imalinde ve hafif blok imalinde kullanılabilir (Erdoğan vd. 2002).

### **Diyatomit**

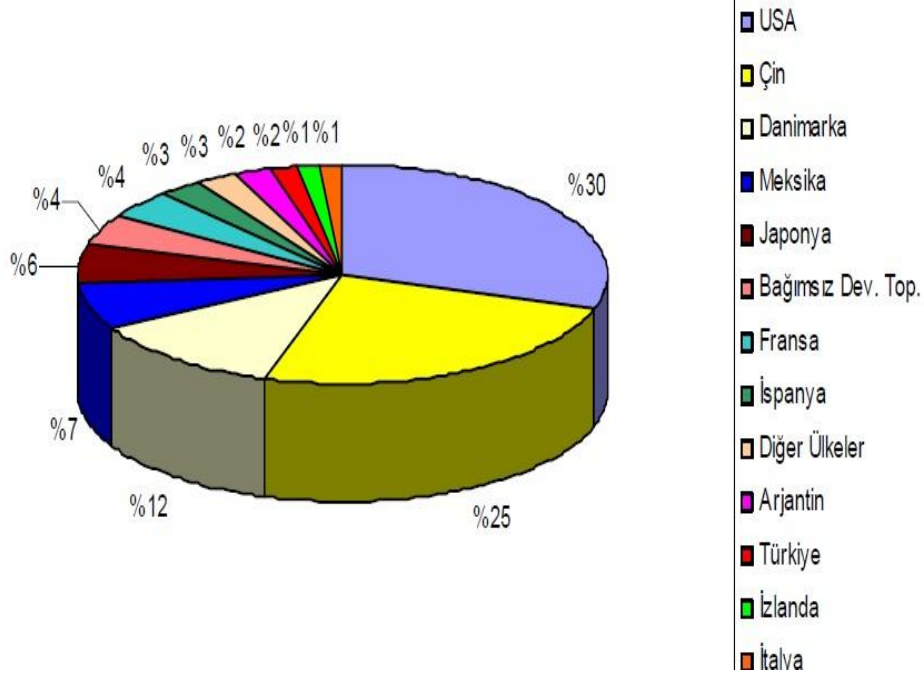
Diyatomit su yosunları sınıfından olan tek hücreli, mikroskopla görülebilecek kadar küçük olan diatomların silisli kavkılarının birikerek fosilleşmiş kavkılarında meydana gelen organik tortul kayadır (Meisenger 1985, Borat 1992). Diatomit, organik bir canlı olan diatom fosillerince şekillendiğinden, organik orijinli bir hammadde olarak da tanımlanabilir. Hafif ve boşlukludur. Rengi sarıya yakın gridir. Görünüş bakımından tebeşire ve kaoline benzer. Asit dökülünce köpürür ve bu suretle tebeşirden ayırt edilir. Hafif olması ve pürüzlü dokunumu ile de kaolinden ayrılır. Diatomit' in, günümüzden yaklaşık 5- 60 milyon yıl önce miyosen sonu ve pliyosen başlarında oluştuğu tahmin edilmektedir. Diatomit, yüksek gözenekliliğe sahiptir. Bu nedenle ağırlığının 3- 4 katına kadar su emebilir. Su ile karıştırıldığında yapışkan bir çamura haline gelmez. Sertliği, mohs cetveline göre 4- 6,5 civarındadır. Yani opalden daha az, pirinçten ise daha fazla serttir (Aruntaş vd. 1998, Serin 1999, Uygunoğlu 2005). Diatomit kavkısı üzerindeki delik boyutları genellikle 0,037- 0,52 mikron arasında olup ortalama 0,25 mikron civarındadır. Bakteriyolojik analizde kullanılan normal membran filtrelerinde median delik çapı 0,45 mikron olup Diatomitin bünyesi membran filtrenin gözenekli

haline benzemektedir. Bu delikler Diyatomite çok gözenekli elek gibi bir bünye temin etmektedir. En küçük bakteri 0,22 mikron, amipli dizanteri kisti 5- 25 mikron olduğuna göre Diyatomit filtrasyonun, askıdaki katı maddelere ilaveten suda bulunan mikroorganizmaları da tesirli bir şekilde tutacağı aşıkardır. Kimyasal bileşim olarak yapısında %65- 90 arasında SiO<sub>2</sub> bulunur. Isı iletkenliği; 300 °C’de 0,08, 800°C’de 0,10 ve 1200°C’de ise 0,11 kcal/m<sup>2</sup>h°C dir. Basınç dayanım değeri ise 3- 18 kgf/cm<sup>2</sup> arasında değişmektedir (Özbey ve Atamer 1987, Ünsal 2001).

Diyatomitin dünyadaki ve Türkiye’deki rezerv durumu her kıtada, hemen her ülkede diyatomit yatakları bulunmaktadır. Amerika’daki eyaletlerin yarısından çoğunda diyatomit yatakları rapor edilmiştir. Bazı durumlarda, deniz ve tatlı su kaynaklı yataklar ya da değişik yaşlardaki rezervler yan yana bulunabilmektedir (Othmer 2010).

Dünya piyasalarında diatomitin tüketim ve talep hareketleri genellikle düzenli ve kararlı kalmaktadır. Dünyada en büyük tüketim A.B.D.’de olmaktadır. Avrupa ülkelerinde ise onu Almanya, Hollanda ve İngiltere izlemektedir. Kanada ve Avustralya da önemli tüketim miktarları olan ülkeler arasındadır. Orta Doğu ve Arap ülkelerinde son yıllarda artan taleplerden tüketimin artmakta olduğu anlaşılmaktadır. Özellikle Suriye, Mısır, Ürdün ve İran’da talebin artmakta olduğu gözlenmektedir (DPT 2001). Amerika Jeolojik Araştırma Kurumunun 2011 yılında yaptığı çalışmada, dünya 2010 yılı diyatomit mine üretimi verileri kullanılarak, yüzde oranları Şekil 2.4’de gösterilmiştir (U.S. Geological Survey 2011).





**Resim 2.4** Dünya 2010 yılı diyatomit üretimi.

Amerika %30, Çin %25, Danimarka %12, Meksika %7, Japonya %6, Bağımsız Devletler Topluluğu %4, Fransa %4, İspanya %3, Türkiye %2, Arjantin %2, İzlanda %1, İtalya %1 ve diğer ülkeler %3 oranında diyatomit üretimi yapmaktadır. Ankara (Kızılcahamam ve Ayaş), Afyon, Aydın (Karacasu), Balıkesir (Gönen), Bingöl, Bursa (Orhaneli), Çanakkale, Çankırı (Şabanözü, Çerkeş ve Orta), Denizli (Tırkaz), Eskişehir, Erzurum (Tortum), Kayseri (Hırka), Konya, Kütahya (Alayurt), Nevşehir, Niğde, Sivas, Uşak (Kayağıl), Van ve yörelerinde önemli diyatomit oluşumlarının varlığı bilinmektedir. Toplam işlenebilir rezervin 100 milyon ton civarında olduğu rapor edilmiştir (DPT 2001). Türkiye diyatomit yatakları Resim 2.5’de gösterilmiştir.

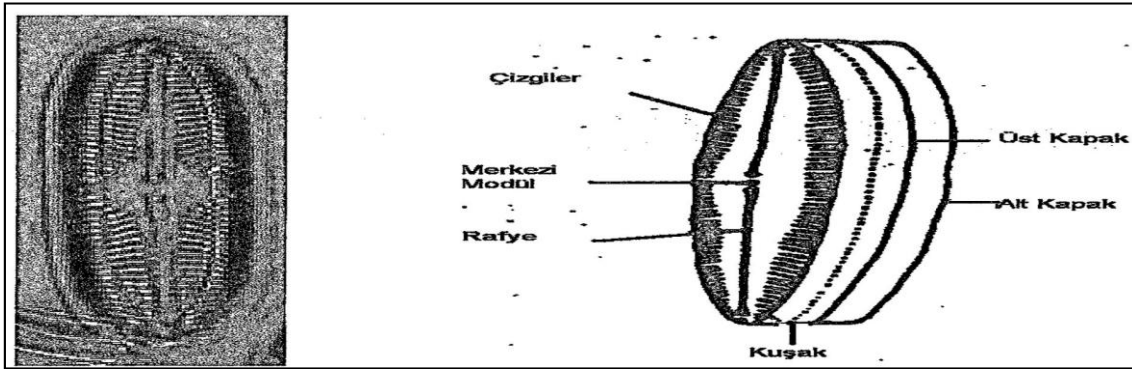


**Resim 2.5** Türkiye diyatomit yatakları.

Dünya diyatomit üretimine ait, İngiliz Jeolojik Araştırmaları Doğal Çevre Araştırma Konseyinin araştırmalarına göre Türkiye’de en son 1999 yılında 5926 ton diyatomit üretimi yapılmıştır daha sonraki yıllarda Türkiye’de diyatomit üretimi durmuştur (British Geological Survey 2009). Diyatomit ürünlerinin kullanım alanlarından birisi fonksiyonel dolgu işlemleridir. Burada kullanılan dolgu malzemesi nihai mamulün özelliklerini geliştirerek performansını artırmaktadır. Bu amaç için diyatomitin hafiflik, dayanıklılık, kimyasal inörtlük, ısı-ses-elektrik izolasyon kabiliyeti, yüksek 11 gözeneklilik ve emicilik özelliklerinden yararlanılmaktadır (DPT 2001). Diyatomitin kendi ağırlığının 2,5-3 katına kadar ulaşan su emme kabiliyeti, hayvanların altına sergi malzemesi olarak kullanılmasını, halı temizlemede sıvı taşıyıcı olmasını, kağıt üretiminde mikroskobik kılcal kanalların kontrolünde uygulanmasını mümkün kılmaktadır. Ayrıca çimento üretiminde puzolan olarak çimentonun özelliklerini geliştirmek; betonda, harçlarda su muhtevası fazlalığını gidermek ve homojenliği ıslah etmek, plastik özelliklerini geliştirmek amacıyla kullanılabilir (Kogel vd. 2006, Gökçe 2010).

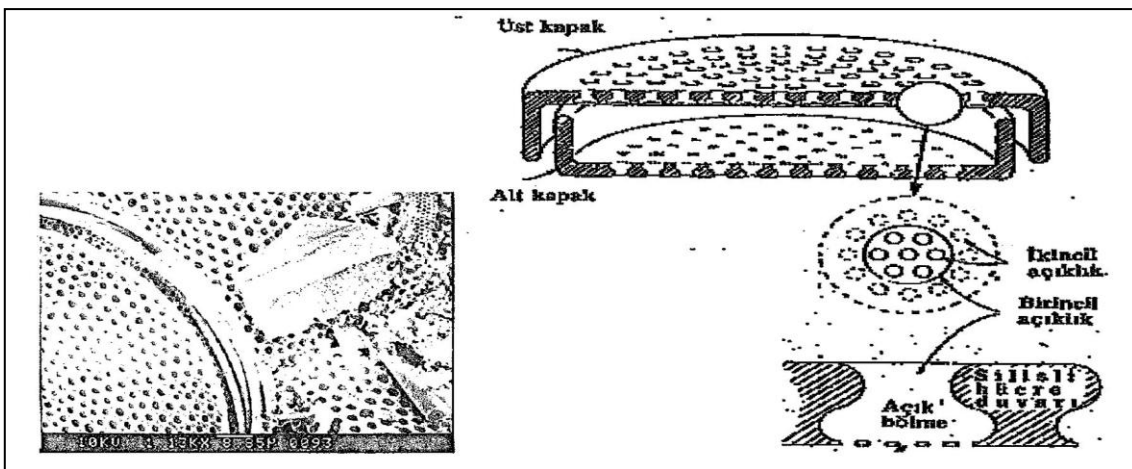
Diyatomitlerin hücre çepçepi, biri içeride kalan, diğeri onun üzerine geçen iki parçadan ibaret kutuya benzer. Bu iki parça mekanik olarak kolaylıkla birbirinden ayrılabilir.

Büyük olan üst kapağa epiteka, küçük olana ise hipoteka denir. Diyatom kabuğunun çevresel kısmına yani kapakların birbirini örtükleri kısma kuşak denir. Diyatomitlerin yandan görünüşleri genellikle dikdörtgene benzeyip, üst görünüşleri ise diyatomitin cinsine göre büyük değişiklik gösterir. Çubuk şeklinde olanların üstünde rafe denilen, boydan boya tek veya iki parça halinde uzanan bir yarık vardır. Kabukların üzerinde diyatomite mukavemet sağlayan bazı girinti ve çıkıntılar mevcuttur (Yıldız 1997) (Resim 2.6).



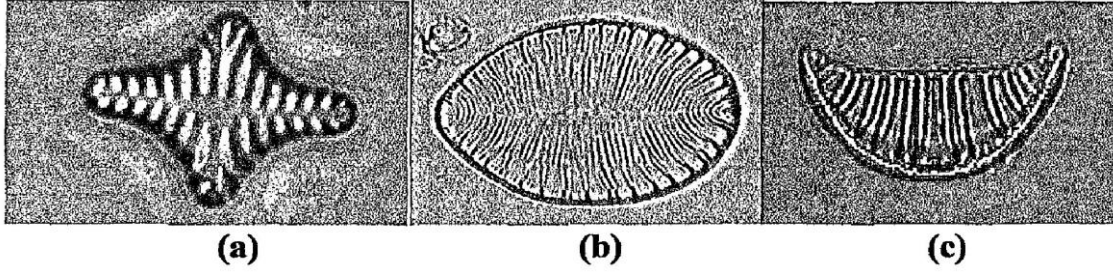
**Resim 2.6** Çubuk şeklindeki bir diyatomitin görünüşü.

Diyatomitlerin dairesel veya elips şeklinde olanlarının en küçüklerinde çap 2.5  $\mu\text{m}$ , en büyüklerinde ise nadiren 2mm; çubuk şeklinde olanlarda ise boy nadiren 2mm'yi geçer. Diyatomitlerde ortalama çap ve uzunluklar 5-100  $\mu\text{m}$  arasındadır. Diyatom kavkısı üzerindeki deliklerin çapı 0,01  $\mu\text{m}$ 'den küçük olabilir. Genellikle delik boyutları 0,037-0,52  $\mu\text{m}$  arasında olup, ortalama 0,25  $\mu\text{m}$  civarındadır (Yıldız 1997) (Resim 2.7).



**Resim 2.7** Elips şeklindeki bir diyatomitin iç yapısı.

Diyatomlar, çubuk ve daire şekillerinden başka, buldukları ve geliştikleri yere göre, yıldız, elips, yarım ay vb, değişik şekillerde de bulunurlar (Yıldız 1997) (Resim 2.8).



**Resim 2.8** Değişik diyatom şekilleri(a,b,c).

Organik madde içeren diyatomitlerin renkleri, bünyelerinde su mevcut iken genellikle açık kahverengi veya gri renkte olup, diyatomit yatağının kuruması, havaya ve güneş ışınlarına maruz kalması diyatomitin yüzeyini beyazlatmaktadır. Diyatomitin içeriğindeki demir oksit miktarının fazla olması oksitli bir renge sahip olmasına yol açmaktadır. Dışarıdan gelen sularla yıkanan diyatomit, boşluklu yapısı nedeniyle yabancı maddelerden kurtulması yanında bu boşluklar sayesinde o derece kirlenme olasılığı vardır (Uygunoğlu 2005)

Diyatomitin en önemli özellikleri diyatome kavkısından aldığı yüksek gözeneklilik ve geçirgenlik ile düşük özgül ağırlıktır. Diyatomit ağırlığının üç katına kadar su emebilir. Kuru durumda, özgül ağırlığı 0.15-0.40 gr/cm<sup>3</sup> arasında değişir. Mosh sertlik cetveline göre, opalin sertliği 4.5-6 olmakla birlikte, diyatomitin sertliği 1.5'dan fazla değildir. Çoğunlukla gevşek bir yapıdadır. Elde un gibi dağılır, dişler arasında kolaylıkla ses çıkararak kırılır. Genellikle açık renklerde olur. Tane boyu dağılımı, kayacı oluşturan diyatomitlerin türüne ve iriliğine kavkuların tam veya kırıklı oluşuna, kil gibi katların varlığına ve oranına bağlı olarak değişir. Kökeni organik olan sedimanter kayac sınıfına sokulan diyatomit, HF dışında asitlerin çoğundan etkilenmez. Isı iletkenliği düşüktür (Karaman ve Kibici 2008).

Diyatomitlerin çeşitli fiziksel özellikleri şu şekildedir; İçerisindeki boşlukların hava dolu olması ve yüzeylerinin 0,037 – 0,52 µm boyutundaki mikro delikli hücrelerden meydana gelmesi, Yüksek porozitesi, Yüzeysel alanının geniş olması, Hafif ve ağır

tiplerinde porozitesinden dolayı sertliğinin 1-1,5 olması Özgül ağırlığının 1,9 – 2,35 gr/cm<sup>3</sup> olması Kuru birim hacim ağırlığı 320 -640 gr/cm<sup>3</sup> (Seelev 1949).

Kimyasal bileşim diyatomitin ekonomikliği için önemli bir temel parametredir. Diyatomitte çoğunlukla rastlanan alüminyum genellikle kil minerallerinden kaynaklanmaktadır. Demir, Kuzey Almanya diyatomitlerinde piritten türemektedir. Karbonatlı türlerde kalsiyum yüksektir. Nem kapsamı 105 °C’de ağırlığının sabitleşmesine kadar kurutularak belirlenir. Organik madde oranı 550 °C’de, toplam ateş kaybı ise, 1000 °C - 1050 °C ’de fırınlanarak saptanır. Kimyasal analiz diyatomit için yapılan testlerin en önemlisidir. SiO<sub>2</sub> yani sıra Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O, CaO, MgO, TiO<sub>2</sub>, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> tayin edilir. Diyatomit analizlerinde son yıllarda X-Ray Floresans yöntemi özellikle kullanılmaktadır. Çeşitli safsızlıklara (pirit, kalsit, jips, vb.) bağlı olarak CO<sub>2</sub> ve SO<sub>2</sub> değerleri de gerekebilir. Pudra, süzücü ve katalizör olarak kullanılacak diyatomitlerde ayrıca iz (trace) elementlerin belirlenmesi önem kazanır. Bunların arasında Mn, Ni, V, Cr, Pb, Cu, F sıralanabilir. Diyatomitlerin gelişmesi için bir element olan Bor’a da diyatomit yataklarında çok rastlanmaktadır (Karaman ve Kibici 2008).

Kimyasal olarak diyatomitlerin ticari değere sahip olması için SiO<sub>2</sub> içeriklerinin %84-94 arasında olması ve uygun miktarda Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>’ün de bulunması gereklidir. Bunların yanında tane büyüklüğü, mikro yapısı, kuru ve yaş yoğunluğu, sıvı absorplama kapasitesi, filtreleme ve arıtma oranı, rengi, parlaklığı, aşındırıcılığı, pH’ı, ısı iletkenliği ve iz element içeriğinin bilinmesi de ekonomiklik bakımından önemlidir (Breese 1994, Harben 1995).

Organik madde oranı diyatomite renk vermesi bakımından önemlidir. Çok az organik madde içeren diyatomitlerde renk beyaz, açık-toz gri renkte iken bu oranın %30’a kadar çıktığı Kuzey Almanya diyatomitlerinde koyu yeşil, gri hatta siyah renkler olağandır. Kavkuları oluşturan silisin kökeni, tartışılmış olmakla birlikte amorf tur (Karaman ve Kibici 2008).

Diyatomitlerin en önemli özelliklerinden birisi de blok yoğunluğudur. Parça yoğunluğu ne kadar az ise o kadar kum ve kil gibi safsızlıkların miktarı azalmaktadır (Nuhoğlu 1999, Elmas 1999). Çizelge 2.6'da Ticari kalitedeki diyatomitlerin kimyasal bileşimleri verilmiştir.

**Çizelge 2.6** Ticari kalitedeki diyatomitlerin kimyasal bileşimleri (Kuşçu 2008).

<b>Majör oksitler</b>	<b>% Miktar</b>
SiO <sub>2</sub>	85-92
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4-10
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.8-2.0
CaO	0.1-2.0
MgO	0.1-2.0
Alkaliler	0.2-1.5
Ateşte kayıp	5.8
Organik madde	0-3

Diyatomiti oluşturan diyatome kavkısı, amorf silis-opaldan (SiO<sub>2</sub>.nH<sub>2</sub>O) yapılıdır. Kayaç bunun yanı sıra değişebilen miktarda su, organik materyal ve başta alüminyum ve kalsiyum olmak üzere değişik elementleri içerir. Bir diyatomit yatağının işletilebilmesi için % 80-90 SiO<sub>2</sub> ihtiva etmesi gerekmektedir. Diyatomit katmanları kum, kil ve volkanik killere ardışıklı olabilirler. Çeşitli kırıntılı mineraller, diyatomit katmanlarında yer alabilir. Yine bazı silisli parçalar diyatomit yatağı içinde gözlenebilir. Diyatomitte, mikroskop incelemesi de çok önemlidir. Diyatomelerin büyüklüğü, şekli, kavkılarının tam veya kırıklı oluşu, kırıntılı minerallerin varlığı gerek ortam, gerekse kullanım alanı açısından bazı ön bilgiler sağlar. Uzun kavkılarının hızlı süzdüğü, yuvarlak diyatome formlarının ise izolasyon ve parlaticı madde olarak daha verimli olduğu kanısı yaygındır. Tane boyları bazen çeşitli fonksiyonların yüzdesi olarak, bazen de belirli bir elek aralığından (örn. 150 veya 325 mesh) büyük tanelerin yüzdesi şeklinde verilir.

Diyatomitin kullanımı çok geniş bir alana yayılmaktadır. Bir endüstri kolunun temel hammaddesi olmayışı, birçok ülkede bulunuşu ve yerine kullanılabilir başka hammaddelerin bulunuşu bir ölçüde diyatomitin önemini azaltmaktadır. Ancak son 20 yılda diyatomit kullanımının süzme alanında yoğunlaştığı görülmektedir. Süzücü olarak diyatomit pudra ve preparat olarak, bazen de sıvılara karıştırılarak kullanılır. Bira, şeker şurubu, içme suyu, alkollü içkiler, meyve suları, yüzme havuzu suları, petrokimya ürünleri, kuru temizleme eriyikleri, antibiyotikler ve ilaç hammaddelerinin süzme işlemlerinde diyatomit kullanılır. İstenen süzme hızları kullanım alanına göre değişkendir. Dolgu maddesi olarak diyatomit boya, kağıt, lastik, plastik, kibrit, cila, temizlik malzemeleri, ilaç ve kozmetik sanayilerinde kullanılır. Bu sektörlerde kullanılacak olan diyatomitlerde beyazlık derecesi, tane boyutu, fazla miktarda gözeneklilik önemlidir. Diyatomit, yüksek derecede gözenekliliğe sahip olmasından dolayı, ses ve ısıya karşı iyi bir izolatör olarak kullanılmaktadır. Bu nedenle döşeme ve kaplamalarda kireç, çimento ve asbest tozu ile karıştırılarak kullanılır. Sıcak buhar ve gaz borularında diyatomit sıvısı, yüksek fırının dış kaplamasında da diyatomit tuğlasından yararlanılmaktadır. Yapı malzemesi olarak çimento, harç, briket veya tuğlaya katılır. Hırka (Kayseri) diyatomitinin %3-7 oranında brikete katılması sonucu, basınç dayanımının %30'a kadar arttığı M.T.A Enstitüsü Teknoloji Laboratuvarlarında yapılan deneylerle saptanmıştır. Özellikle saf olmayan diyatomitlerde bu alanda yararlanma olanağı vardır. Hafif aşındırıcı olarak diyatomit otomobil cilalarında, deterjanlarda, leke emicilerde kullanılmaktadır. Seramik ve cam endüstrisinde de diyatomitin önemli bir yeri vardır. Yüksek emme özelliği diyatomite asitlerin taşınmasında, yangın söndürücülerde, dezenfeksiyon maddelerinde ve renkli fotoğrafçılıkta kullanılmaya olanağı sağlamıştır. Katalizör ve katalizör taşıyıcısı olarak diyatomit çok önemlidir. Bu alanda sülfürik asit yapımında, polimerizasyonda, metal oksit, asit-tuz kontaklarında, margarin sanayinde yağ sertleştirilmesinde kullanılmaktadır. Gübrelerin kalıplanmasını önleyici bir faktör olarak diyatomitten yararlanılır. Silis kaynağı olarak kalsiyum silikatların yapımında kullanılır. Ayrıca sondaj çamurunda, hayvan yemlerinde, emaye üretiminde besin maddesi taşımacılığında ve diğer birçok endüstri kolunda aranan bir maddedir. Son yıllarda özellikle perlit, süzücü olarak diyatomitin yerine kullanılmaya başlamıştır. Dolgu malzemesi alanında da diyatomit, talk, kalsine kil, kireç taşı ve vermükilitin önemi

artmaktadır. Bu nedenle, diğer hammaddelerde kullanım alanında rekabet etmek zorundadır. Türkiye’de diyatomitin çok geniş bir alana yayılmış değildir. Süzme diyatomiti; bira, şarap, yağ, sanayi ile kuru temizleme işlerinde kullanılmaktadır. Boya, lastik ve tarım ilaçları sanayinde, ayrıca Keçiborlu tesislerinde kükürt üretiminde de dolgu ve granülasyon maddesi olarak oldukça önemli bir boyutta yararlanılmaktadır (Karaman ve Kibici 2008).

### **2.3.2.2 Yapay Puzolanlar**

Yapay puzolanlar, sanayi üretim atığıdır. Yapılarında doğal puzolanlardaki gibi oksit bileşenler ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ ) içermelerinden dolayı puzolan ve üretimdeki reaksiyonlar sonunda oluştuğu için de yapay sıfatı verilerek yapay puzolan denilmiştir. Atıktaki silisin aktifliği, puzolanın aktifliğini belirler. Yapay puzolanlar, 24 yüksek fırın cürufu, uçucu kül, silis dumanı ve pirinç kabuğu külüdür. Bunlar çoğunlukla endüstri artığı maddelerdir (Okucu 2004).

Yapay puzolanlar 5 gruba ayrılır.

- Pişmiş kil
- Yüksek fırın cüruf
- Uçucu kül
- Silis dumanı
- Pirinç kabuğu külü (Akgül 2006).

### **Pişmiş Kil**

Büyük miktarda silis ve alüminen oluşan kil ve şeyl mineralleri, kristal yapıya sahiptirler. Doğal yapıları itibariyle puzolanik özellik göstermektedirler. Kalsine edilmiş killerin puzolanik özellikli, olduğu bilindikten sonra doğal puzolanların yokluğunda bunların yerine sistematik şekilde toprak ya da kiremitler öğütülerek ve ufalanarak kullanılmıştır. Puzolanik aktiviteye sahip olmayan killer 700-900 °C de değişen sıcaklıklarda işlem gördüklerinde aktif hale gelir. Geçmiş yıllarda tuğlanın veya kiremitlerin öğütülmesiyle elde edilen ince taneli malzeme puzolanik malzeme olarak yaygın kullanım alanı bulmuştur. Killi malzemelerin pişirilmesiyle elde edilen



puzolanlar, ABD’de, Brezilya’da ve Hindistan’da birçok baraj inşaatında kullanılmışlardır. Daha sonraki yıllarda bu tür puzolanlar, yerlerini, daha kolay ve ekonomik olarak bulunabilen uçucu küllere bırakmışlardır (Akgül 2006, Erdoğan 2003).

### **Silis Dumanı**

Silis dumanları, elektrik ark fırınlarında ferrosilikon ve metalik silisyum üretimi sırasında kömürle kuvars indirgenmesi sonucu yan ürün olarak üretimi ortaya çıkarlar. Elektrik ark sıcaklığında havada oksitlenen SiO<sub>2</sub> mikrokülleri şeklinde çökelen SiO<sub>2</sub> dumanları oluşur. Silisin içeriği çok yüksektir. Yüksek puzolanik aktiviteye sahiptirler. Silis dumanı, bazı ülkelerde katkılı çimento üretiminde kullanılmakta olup portland silis 25 dumanlı çimento türü Avrupa ve Türk standartlarında yer almaktadır. Ayrıca, silis dumanı kimyasal katkı ile birlikte öğütülerek yüksek dayanım ve performanslı çimentolar elde edilebilmektedir (Akgül 2006, Yeğınobalı 2001).

### **Uçucu Küller**

Toz haline getirilmiş taş kömürünün yakıt olarak elektrik üreten termik santrallerde yakıldıklarında ulaşılan yüksek sıcaklıklar nedeniyle eriyen çok ince küller elde edilir. Termik santral fırınlarında yanan bu kömürden dolayı oluşan kül, fırının bacasından dışarı çıkar. Havaya karışacak olan bu küller, mekanik ya da elektronik toplayıcılar vasıtası ile toplanır ve çevreyi kirletmeleri önlenir. Bu küller “uçucu kül” olarak adlandırılır Kimyasal bileşimleri el verirse yakılmayı izleyen soğutma işlemi, bu erimiş maddenin ince parçacıklarını aşağı yukarı küresel şekilde camsı parçacıklara dönüştürür. Bol miktarda kalsiyum sülfat içerdikleri zaman, jips esaslı bağlayıcılar olarak ta kullanılabilirler. Küldeki CaO miktarının düşük veya yüksek olmasına göre puzolanik özellik değişir (Akgül 2006, Okucu 1998).

## **Yüksek Fırın Cürufu**

Ham demir üretiminde atık malzeme olarak elde edilen yüksek fırın cürufu, daha hafif olmasından dolayı yüksek fırınlarda ham demirin üzerinde yer alır. Yüksek fırında erimiş kızgın hale gelen cüruf su ile aniden soğutulur. Kurutulup bazı hallerde öğütülerek çimento fabrikalarına gönderilir. Cürufun puzolanik özellikleri yavaş veya ani soğumaya ve filize göre değişir. Yüksek fırın cürufu, yavaş soğutulduğu takdirde kristal bir yapıya sahip olur. Bu haliyle bazalta benzer mekanik özelliklere sahiptir ve beton agregası olarak kullanılabilir. Öte yandan, hızlı soğutma uygulanması sonucunda ise camı yapıda bir katı eriyik elde edilmesini sağlar. Bu yarı kararlı camı malzeme, sodyum hidroksit veya kalsiyum hidroksit gibi aktivatörler kullanılarak, ince öğütülerek ve PÇ'nin hidrasyonu ile ortaya çıkan  $\text{Ca(OH)}_2$ 'yi kullanmak suretiyle hidrolik özelliğe sahip olur. Demir ve çelik endüstrisinde bir yan ürün veya artık olarak ortaya çıkan yüksek fırın cürufları da serbest kireçle birleşince bağlayıcı özelliği gösterdiklerinden yapay bir puzolan olarak adlandırılabilir. Demir filizi gangı, kok ve kireç taşının yanma sonrası atıkları yüksek fırın cürufunu meydana getirirler (Tokyay vd. 1997).

## **Pirinç Kabuğu Külü**

Pirinç kabuğu çeltik üretimi sonunda elde edilen zirai ürün atığı kabuklarının yakılmasıyla elde edilen külün hızlı bir şekilde soğutulmasıyla elde edilir. Bazı bitkilerin islendikten sonra meydana gelen artıkları, yüksek silis içeriğine sahiptirler. Bu artıklar, yüksek sıcaklıkta fırınladıklarında şekilsiz silis oluşur. Bu şekilsiz silis yeterince ince öğütülürse kirece karşı hayli reaktif duruma gelir ve buna bağlı olarak bir puzolan gibi davranır (Shannag 2000).

### **2.3.3 Puzolanik Aktivite**

Puzolanik malzemelerin söndürülmüş kireçle ve su ile ne ölçüde reaksiyona girebileceği, ne ölçüde bağlayıcılık sağlayabileceği, puzolanik aktivite olarak

tanımlanmaktadır. Puzolanik malzemenin aktive olması için ince taneli olması, amorf yapıya sahip olması ve yeterli miktarda silis + alümin + demir oksit içermesi gereklidir (Erdoğan 2003).

Puzolanik aktivite, kireç- puzolan ve çimento- puzolan ikilisinden oluşan harçların belirli bir süre içinde ulaştığı, mekanik dayanımının sonucuna bağlı olarak kanıtlanabildiği gibi DTA-TG analiz ile de saptanabilir. DTA-TG analizi aracılığı ile puzolan içeren harçların zamana bağlı olarak içindeki serbest kalsiyum hidroksit miktarı tespit edilerek de puzolanik aktivite belirlenebilir. Harcın içindeki serbest  $\text{Ca(OH)}_2$  miktarının azalması puzolanik aktivitenin gerçekleştiğini gösterir. Diğer bir ifade ile puzolanik aktivite; puzolanların bir takım maddelerde var olan kalsiyum hidroksitle rutubetli ortamda reaksiyona girme ve sertleşme kapasiteleridir. Puzolanik aktivite aynı zamanda; puzolanik malzemelerin söndürülmüş kireçle ve su ile ne ölçüde reaksiyona girebileceği ve ne ölçüde bağlayıcılık sağlayabileceği, olarak ta ifade edilebilir (Kaplan ve Binici 1995).

Bu tanımlar tam olmamalarına rağmen, teknik ve pratik açıdan kabul edilebilirlerdir. Hidratasyon işlemi içerisinde puzolanların aktif fazlarının değişiminin takip edilmesinin zor olmasına rağmen, puzolanik reaksiyonun ilerleyişi yaygın olarak sistemdeki serbest kirecin azalması türünden veya florentin saldırı metodu kullanılarak asit içerisinde çözünebilir silis + alümin miktarındaki artış türünden değerlendirilir. Puzolanik aktivite terimi, puzolanların bağlayabileceği maksimum kireç miktarı ve bunu puzolan hangi oranda karıştırıldığında gerçekleştirebilir, şeklinde iki parametre içermektedir. Her iki faktörde puzolanların doğasına ve daha büyük oranda da aktif fazların kalite ve miktarına bağlıdır. Sulu ortamlarda puzolanların bağladıkları kireç miktarları, puzolan tipine göre önemli oranda değişiklik gösterebilir. Bağlanan kireç miktarının esas itibariyle aşağıdaki nedenlere bağlı olduğu, genel kabul gören bir durumdur (Massazza 1998).

- Aktif fazların doğasına: Zeolitik puzolanlar camsı puzolanlardan daha aktif olarak kabul edilmektedir. Cam içeren farklı puzolanlarda, farklı kireç bağlama kapasitesine sahip olabilmektedirler.
- Aktif fazların puzolan içerisindeki miktarına: Diğer özelliklerin eşit olduğu durumlarda, aktif fazlar daha fazla ve etkisiz veya kristal fazların daha az olduğu durumlarda bağlanan kireç miktarı daha fazladır.
- Aktif fazların S içeriğine: Bağlanan kireç miktarı aktif fazların S içeriğiyle ilişkilidir. Bu da volkanik camlarda ve uçucu küllerde %45-75 arasında değişirken, doğal silika jelleri veya silis dumanı gibi çok aktif amorf mikro silikalarda ise %95'lere ulaşır, bazen de geçer (Massazza vd. 1977).

Ancak bazen silika içeriği daha düşük olan bir puzolan, silika içeriği daha yüksek olan bir puzolandan daha fazla kireç bağlayabilir. Bu da silika içeriğine ilaveten diğer kimyasal ve yapısal faktörlerinde, puzolanik aktivitenin belirlenmesinde önemli roller oynadığı anlamına gelmektedir.

- Karışımın kireç/puzolan oranına: Belirli sınırlar içerisinde kireç/puzolan oranı arttıkça bağlanan kireç miktarı artar.
- Kür süresinin uzunluğuna: Bağlanan kireç miktarı kür süresine bağlıdır; fakat bağlanan kireç oranı bir puzolandan diğerine çok büyük farklılıklar gösterebilir. Costa ve Massazza tarafından yapılan çalışmada, 90 günlük kür sonunda doğal puzolanlarda reaksiyonlar hemen hemen sonlanırken; uçucu küllerdeki reaksiyonlar sonlanmadan çok uzaktadır.
- Puzolanın özgül yüzey alanına: Massazza puzolanik aktivitenin esas olarak kısa vadede puzolanın özgül yüzey alanına, uzun vadede ise puzolanın kimyasal ve mineralojik kompozisyonuna bağlı olduğunu göstermiştir (Massazza 1983).
- Su/katı karışım oranına: Karışımın su oranının daha yüksek olması, daha fazla kireç bağlama oranı anlamına gelmektedir
- Sıcaklığa: Puzolanik reaksiyon oranı sıcaklıkla birlikte artar. Esasen sıcaklık mikro silikanın reaktivitesini artırır. Kireç/silika oranına bağlı olarak 55 °C'de 2,5 saatlik işlemin sonrasında bağlanan kireç, ilave edilen CaO'in %25-55'i kadardır. 0°C'lik sıcaklıkta ise bu değer %68-90'larakadar ulaşır (Massazza 1998).

Bir puzolanı kullanmak için onun puzolanik aktivitesini belirlemek gerekir. Puzolanik aktivite olayı üzerine sayısız araştırma yapılmıştır. Böyle bir aktivitenin değerlendirilmesi oldukça zordur ve bu nedenle karışık bileşenlerin teknik davranışlarını temsil edecek sonuçları bulmak için, birçok test yapılmalıdır (Sersale 2002, Akgül 2006).

Önerilen birçok metoda karşın, bu problem tam olarak çözülmüş sayılmaz. Çünkü hala, bütün puzolan tiplerine uygulanabilir ve aynı zamanda maddenin kullanım karakteristikleriyle uyumlu, hız ve hassasiyet açısından kabul edilebilir olan, genel bir test metodu yoktur. Fakat bu durum şaşırtıcı değildir; çünkü puzolanik aktivite birçok faktöre bağlıdır (Turanlı 1995). Kimyasal ve mineralojik kompozisyon, morfoloji (şekli), camsı faz / kristallerden oluşan faz oranı ve öğütme inceliği aktif katkıların reaktivitesini belirleyen ana unsurlardır. Şimdilerde genellikle katkıların reaktivitesinin çoğunlukla onların tane karakteristiklerine ve mineralojik bileşimlerine bağlı olduğu kabul edilmektedir (Massazza 1983). Puzolanik aktivitenin belirlenmesinde genellikle kimyasal, fiziksel ve mekanik olmak üzere üç yöntem kullanılmaktadır. Ancak kireç daha sabit bir karakteristiğe sahip olduğundan, puzolan-kireç harcının kullanılması test sonucuna olan güvenilirliği artıracaktır. Diğer yandan puzolan çimento harcı, klinker-puzolan birleşiminin doğrudan değerlendirilmesine imkan sağlar (Ulus 2006). Puzolanik aktivite; birtakım maddelerde var olan kalsiyum hidroksitle ( $\text{Ca(OH)}_2$ ) sulu ortamda “reaksiyona girme” ve “sertleşme” kapasitesidir. Gerçek puzolanik aktiviteden söz edebilmek için bu iki ögenin aynı zamanda oluşması gerekmektedir (Yaşar vd. 2003).

Yüksek aktiviteye sahip puzolanların aşağıdaki özelliklere sahip olduğu ampirik olarak belirlenmiştir:

- Yüksek  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  ve alkali miktarı,
- Yüksek camsı faz miktarı,
- Büyük özgül yüzey.

Bir malzemenin puzolanlığının kanıtlanabilmesi için puzolanik aktivite deneyinde olumlu sonuç vermesi gerekmektedir. Bu deneyler doğal ve yapay puzolanlarda mekanik ve kimyasal deneyler şeklindedir. Mekanik deneyler; puzolan-kireç, puzolan-çimento harçları üzerinde yapılan eğilme ve basınç dayanımı deneyleridir. Kimyasal

deneyler ise puzolanlı çimentonun su ile yaptığı hidrasyon sonunda çözültide oluşan  $\text{Ca(OH)}_2$  'i saptamaya dayanır. Ayrıca puzolanların reaktivitesi spektrofotometrik ve kalorimetrik yöntemlerle de saptanabilir. Puzolanik maddeleri değerlendirmenin bir başka kriteri, puzolan içeren çimento pastalarındaki özgül yüzeyin artış hızını ölçmekle gerçekleştirilir. Değişik kalsiyum hidroksit - emme hızlarına, benzer özgül yüzey artış hızları karşılık gelir (Yaşar vd. 2003). İyi bir puzolan genel olarak açık renklidir. Konsolide ve homojen bir yapıya sahip ve orta yoğunlukta ( $2.00-2.30 \text{ g/cm}^3$ ) dır (Urhan 1991).

### 3. MATERYAL VE METOT

#### 3.1 Kullanılan Malzemeler

Çalışmada kullanılan malzemeler bu bölümde verilmiştir. . Kullanılan malzemelerin fiziksel özellikleri ve blain değerleri Çizelge 3.1' de verilmiştir.

**Çizelge 3.1** Gazbeton deney örneklerinin üretilmesinde kullanılan diyatomit ve hidrolik bağlayıcıların fiziksel özellikleri.

Numune Adı	Özgül Ağırlık	Blaine Değeri (cm <sup>2</sup> /gr)
Çimento CEM I 42,5 R	3,07	3055
Çimento CEM I 42,5 R (1 saat öğütölmüş)	3,07	4032
Sönmemiş Kireç (CaO)	3,25	5224
Gazbeton Alçısı	2,21	5404
Diyatomit	2,15	6150
Öğütölmüş diyatomit (1 saat öğütölmüş)	2,15	9254

##### 3.1.1 Çimento

Çalışmada ana bağlayıcı malzeme olarak Afyon Çimento fabrikasından alınan CEM I 42,5 R tipi Portland çimentosu kullanılmıştır. Çimentonun fiziksel özellikleri ve blain değerleri Çizelge 3.1' de verilmiştir. Çimentonun fiziksel ve kimyasal özellikler Çizelge 3.2' de verilmiştir.

1. Öğütölmemiş halde,
2. Seramik bilyeli değirmende 1 saat süre ile öğütme işlemi (Resim 3.1),



**Resim 3.1** Seramik bilyeli değirmenin görünümü.

**Çizelge 3.2** Çimentonun fiziksel ve kimyasal özellikleri.

Analiz Grubu	Deney	Sonuç	Sınır Değer	
<b>Kimyasal Özellikler</b>	SO <sub>3</sub> (%)	2,91	<3,5	
	MgO (%)	2,33	<5,0	
	A.Z. (%)	1,92	<4,0	
	Cl (%)	0,06	<0,1	
	Çözünmeyen Kalıntı (%)	0,67	<1,5	
<b>Fiziksel Özellikler</b>	Kıvamlılık Suyu (%)	30		
	Özgül Yüzey (cm <sup>2</sup> /gr)	4032	>3500	
	Priz Süresi	Başlama (saat-dakika)	2 sa. 52 dak.	>1 saat
		Sonu (saat-dakika)	4 sa. 36 dak.	<10 saat
	İncelik	No:70 de kalan	0,13	
		No:200de kalan	3,15	
	Özgül Ağırlık (kg/dm <sup>3</sup> )	3,07		
	Basınç Dayanımı (N/mm <sup>2</sup> )	2 gün	26,5	>20
		7 gün	38,7	>31,5

### 3.1.2 Diyatomit

Diyatomit hammaddesi Afyon İncehisar Bölgesinden alınmıştır. Kırma, öğütme ve eleme işlemleri yapılarak kullanıma hazır hale getirilmiştir (Resim 3.2). SiO<sub>2</sub> yüzdesi yüksek, mikron boyutlarında öğütülmüş mineral toz malzemedir. Isı yalıtımında kullanılan diyatomit diyatome denilen tek hücreli organizmaların kabuklarının çökmesinden oluşan, tebeşir görünümüne sahip, yüksek miktarda amorf silis içeren, beyaz renkli, su ile karıştırıldığında yapışkan çamur meydana getirmeyen, kütlelerinin birkaç katı kadar su emebilen ve parmaklar arasında bastırıldığında kolayca ezilebilen bir kayaç olarak tanımlanmıştır (TS 9773). Kullanılan diyatomitin fiziksel özellikleri ve



blain değeri Çizelge 3.1 de verilmiştir.



**Resim 3.2** Afyon İncehisar diyatomit madeni (solda), kayaç halinde (ortada), öğütülmüş haldeki görünüşleri (sağda).

### **3.1.2.1 Diyatomit Malzeme Üzerinde Yürütülen Mineralojik ve Petrografik Analizler**

#### **Polarizan Mikroskopta Yapılan Mikroskobik İnceleme**

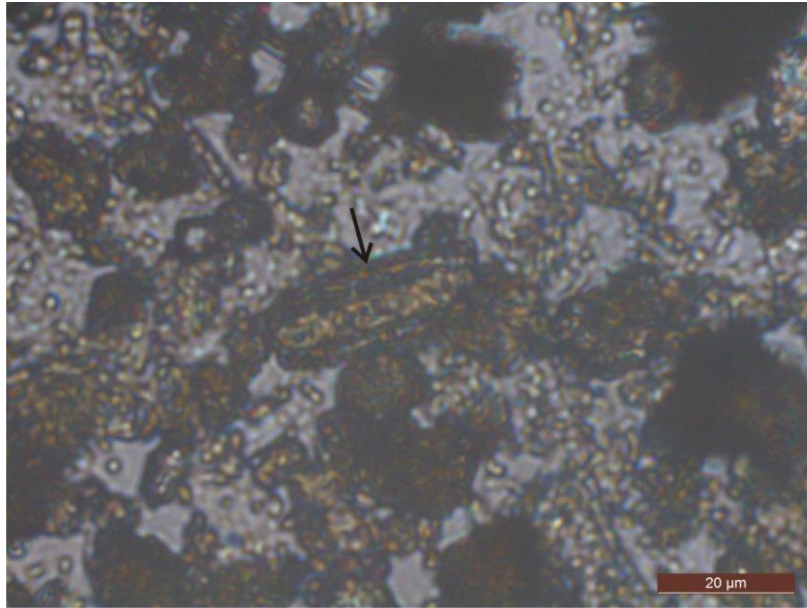
Deney için ayrılan diyatomit örnekleri  $-500 \mu\text{m}$  tane boyutuna getirilmiştir. Diyatomların aranması için alınan örnek 16 saat süre ve  $125 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de bekletilerek kurutulmuştur. Ardından da oda sıcaklığında bırakılarak soğuması sağlanmıştır. 700 mg örnek alınarak  $250 \text{ cm}^3$ 'lük bir cam kaba konulmuştur. Üzerine 4-5 ml %15'lik  $\text{H}_2\text{O}_2$  (Hidrojen Peroksit) ilave edilerek 20 dakika süre ile sıcak su banyosunda ısıtılmıştır. Hidrojen peroksit fosil malzeme üzerindeki yabancı maddelerin temizlenmesini sağlamıştır. Bundan sonra kap, saf su ile doldurularak 24 saat bekletilmiştir. Süzüldükten sonra 4-5 ml %15'lik HCl ile karıştırılmış ve 15 dakika süre ile kaynatılmıştır. Böylece kalsiyum tuzları ayıklanmış ve örnekler soğumaya bırakılmıştır. Ardından üzerine saf su ilave edilmiş ve 24 saat beklenmiştir. Yeniden süzülen numuneye 4-5 ml %25'lik  $\text{HNO}_3$  (Nitrik Asit) eklenmiştir. Böylece son organik madde kalıntıları da yok edilmiştir. Kap tekrar saf su ile doldurulup 24 saat bekletilmiştir. Örnek süzülüp, 10 lt kapasitesi olan bir cam kaba konmuş ve üzerinde 10 cm'lik su sütunu olana kadar saf su ilave edilmiştir. Örnek süzülmüş ve yine aynı işlem yapılarak 24 saat bekletilmiştir, bu işlem dört defa tekrarlanmıştır. Sonuçta diyatom, spor ve polenler ile asite dayanıklı kalıntılar kalmıştır.

Slayt hazırlanması için kaba 25 ml % 24'lük Calgon (Sodyum hekza meta fosfat) ilave edilmiş ve santrifüjde diyatomlar kalıntılarından ayrılmıştır. Sonuçta killi v.b. maddeler organizmaların çevresinden ayrırtlanmıştır. Bu eriyik dökülmüş ve 10 ml saf su ilave edilmiştir. Kap çalkalanarak, pipet ile alınan birkaç damla örnek bir lam üzerine bırakılıp, ısıtılmıştır. Su buharlaştıktan sonra kanada balzamu ile lamel yapıştırılmış ve gereken numaralama yapılarak örnekler mikroskop altında incelemeye tabi tutulmuştur.

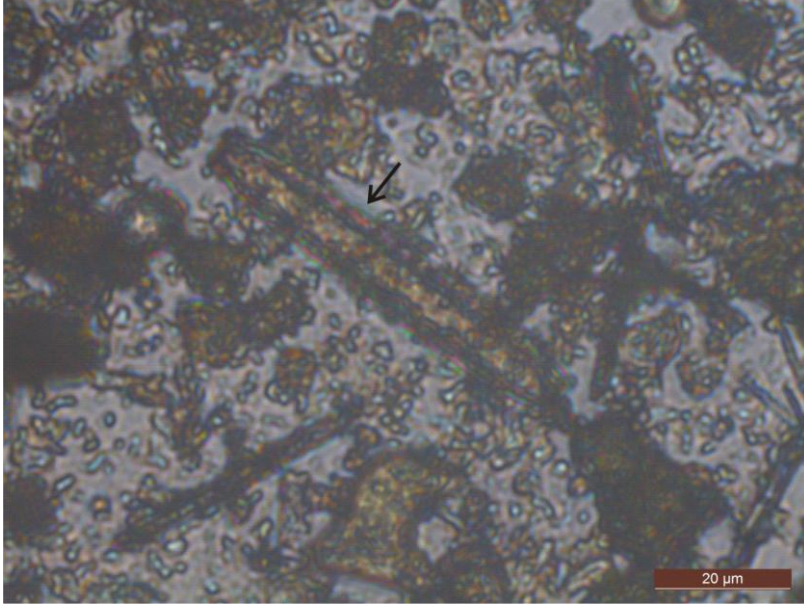
Mineralojik ve petrografik analizlerde diyatom türleri ve bunların özellikleri araştırılmıştır. Diyatomit örneğinde *Pinnularia scapha* (Şekil 3.1 ve Şekil 3.2), *Melosira italica* (Şekil 3.3) ve *Pinnularia fusana* (Şekil 3.4) gibi diyatom kavkı türleri belirlenmiştir. Diyatom türlerinin boyutları 7µm ile 60µm arasında değişmektedir (Çizelge 3.3).

**Çizelge 3.3** Diyatomit örneğinde rastlanan diyatom türlerinin boyutları.

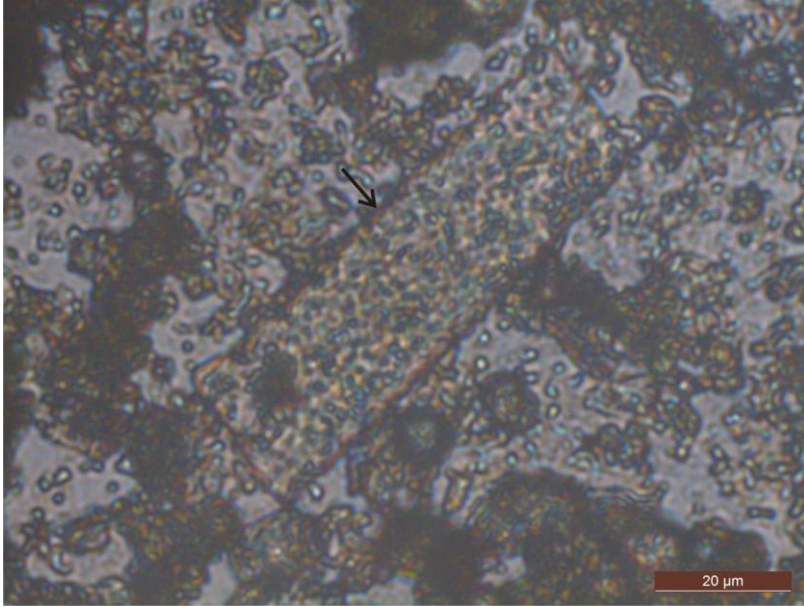
<b>Diyatom Türü</b>	<b>Boyut (µm)</b>
<i>Pinnularia scapha</i>	30-50
<i>Melosira italica</i>	55
<i>Pinnularia fusana</i>	25



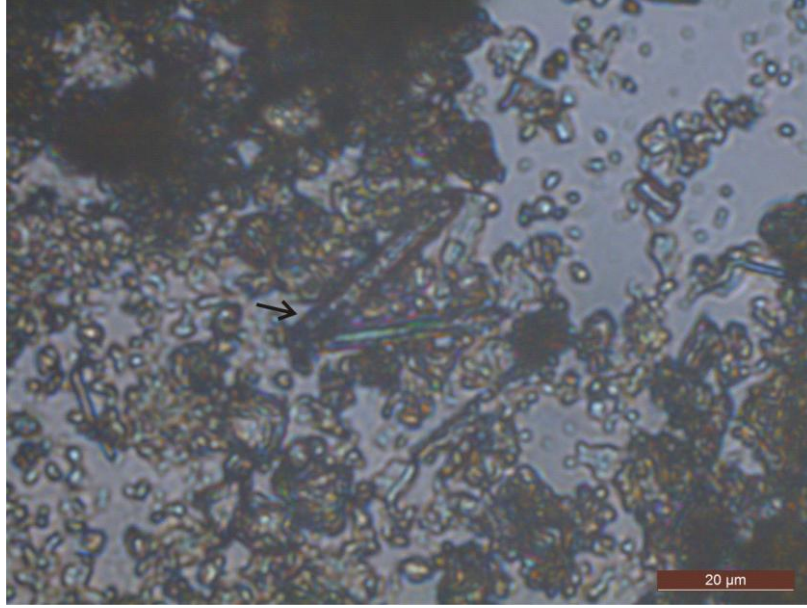
**Şekil 3.1** *Pinnularia scapha* türünde diyatom kavkı şekli.



Şekil 3.2 *Pinnularia scapha* türünde diyatom kavkı şekli.

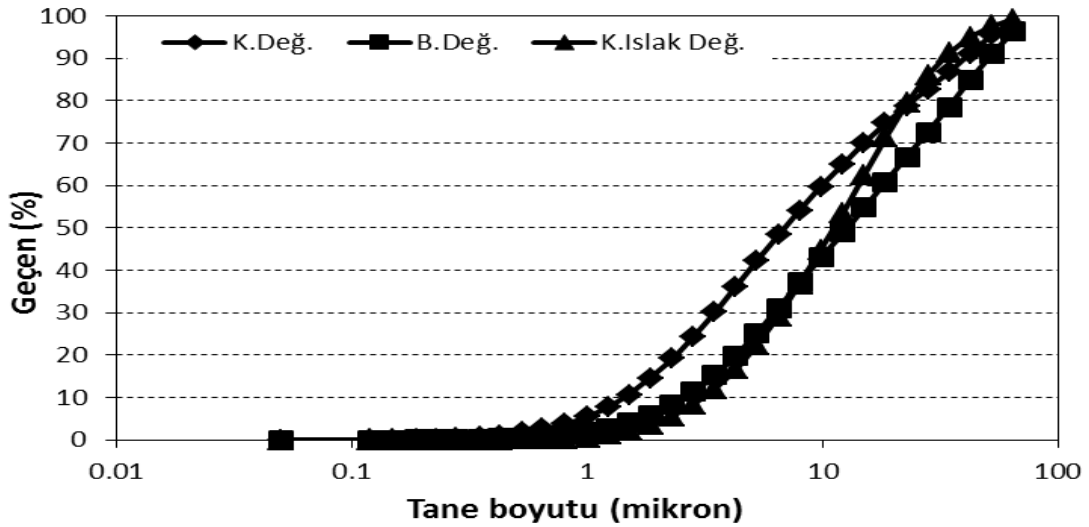


Şekil 3.3 *Melosira italica* türünde diyatom kavkı şekli.



Şekil 3.4 Pinnularia fusana türünde diyatom kavkı şekli.

Diyatomit hammaddesine üç farklı öğütme işlemi uygulanarak uygun öğütme biçimi seçilmiştir. Buna göre seramik bilyeli, çelik bilyeli ve sulu öğütme işlemi uygulanmıştır. Öğütme süresi bütün değirmenler için 60 dakika olarak belirlenmiştir. Buna göre seçilen değirmen ve öğütme biçimlerinde çok önemli tane boyutu farklılıkları görülmemiştir. Ancak seramik bilyeli değirmen diğer öğütme yöntemlerine göre daha uygun görülmektedir (Şekil 3.5). Öğütülmüş diyatomitin D50 değeri yaklaşık olarak 10 µm olarak belirlenmiştir. Oldukça ince tane yapısına sahiptir.



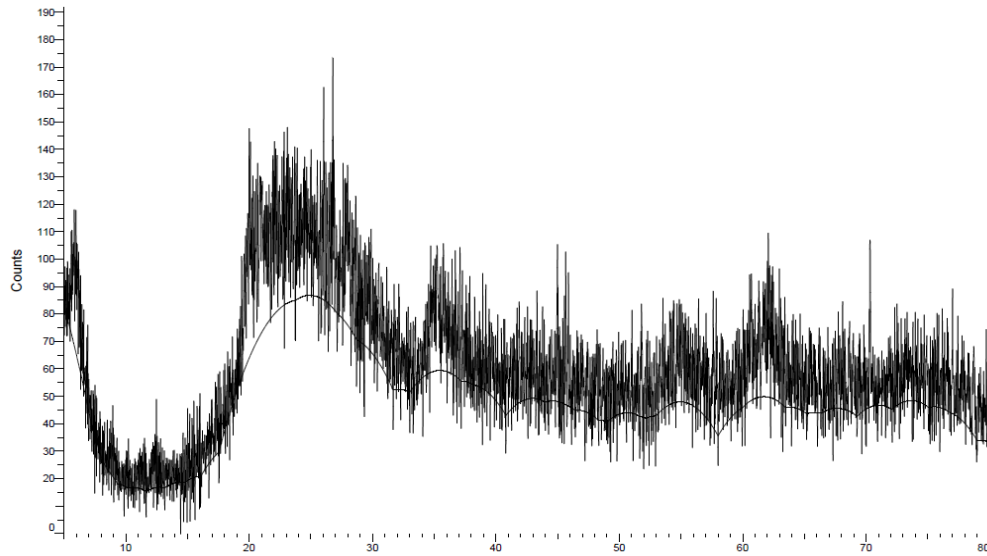
Şekil 3.5 Üç farklı öğütme işlemi uygulanan diyatomit örneklerin lazer tane boyut analiz grafiği.

Diyatomit hammaddesinin kimyasal yapısı Afyon Kocatepe Üniversitesi Maden Mühendisliği laboratuvarında yürütülmüştür. Buna göre diyatomitte  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ve  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  toplamının % 87,3 olarak belirlenmiştir (Çizelge 3.4).

**Çizelge 3.4** Diyatomitin XRF analiz sonuçları.

Kompozisyon	$\text{SiO}_2$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	MgO	$\text{Na}_2\text{O}$	$\text{K}_2\text{O}$	$\text{SO}_3$	$\text{TiO}_2$	CaO	$\text{P}_2\text{O}_5$	LOI	Total
Ağırlıkça, %	73,90	8,71	4,77	0,80	0,42	1,53	0,11	0,26	2,75	0,05	6,62	99,92

XRD analizi yapılan Afyon (İscehisar) yöresi diyatomit numunesinin yüksek oranda amorf halde bulunduğu gözlenmiştir. Özellikle  $2\theta$  20 ve  $30^\circ$  bölgesindeki hump bölgesi amorf yapıyı ifade etmektedir. 20 21 ve 27 'de kısmen de olsa gözelenen pikler malzeme içinde kuvarsın bulunma ihtimalini göstermektedir. Opal-CT fazının tanımlayıcı göstergelerinden biri olan 20 35 deki pik genişliği yapı içerisinde opal fazının varlığını göstermektedir (Şekil 3.6).



**Şekil 3.6** Diyatomit örneğinin XRD analiz grafiği.

### 3.1.3 Kireç

Gazbeton üretiminde kullanılan sönmemiş toz kireç Antalya YTONG fabrikasından temin edilmiştir. Kirecin kimyasal analiz değerleri (Çizelge 3.5)'te verilmiştir (Anonim 2010). Blain değeri Çizelge 3.1 de verilmiştir.

**Çizelge 3.5** Kirecin fiziksel ve kimyasal analizleri (Anonim 2010).

Oksit	%
CaO	92,12
SiO <sub>2</sub>	0,06
MgO	0,22
SO <sub>3</sub>	0,07
R <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,52
CO <sub>2</sub>	0,27

### 3.1.4 Alçı

Gazbeton üretiminde kullanılan alçı ticari gazbeton fabrikası için üretim yapan bir fabrikadan temin edilmiştir. Ham alçının bileşiminde iki molekül kristal su (CaSO<sub>4</sub> + 2H<sub>2</sub>O) bulunmaktadır. Alçının fiziksel özellikleri Çizelge 3.1 de verilmiştir.

### 3.2 Metot

Bu çalışmada; diyatomit, çimento, alçı, kireç, alüminyum tozu, kimyasal katkılar ve suyun çeşitli oranlarda karıştırılması ile 14 farklı karışım hazırlanmıştır. Bu karışımların kütlece oranları Çizelge 3.6 da verilmiştir.

**Çizelge 3.6** Deney örneklerinin kütlece karışım oranları.

Seri No	Diyatomit	Çimento (42,5)	Alçı	Kireç	Polimer*	Alüminyum Tozu	Dispersan.**	Su
1	1,5	1	0,2	0,7	-	0.0030	0,002	3,7
2	1,5	1	0,2	0,7	-	0.0035	0,002	3,45
3	1,3	1	0,2	0,7	-	0.0040	0,002	3,5
4	1,3	1	0,2	0,7	-	0.0040	0,002	2,8
5	1,3	1	0,2	0,7	-	0.0045	0,002	3,1
6	1,3	0,8	0,2	0,7	-	0.0045	0,002	2,6
7	1,3	0,8	0,2	0,7	0,005	0.0040	0,002	2,5
8	1,3	0,8	0,2	0,7	0,005	0.0045	0,002	2,3
9	1,3	0,8	0,2	0,6	0,005	0.0050	0,001	2,3
10	1,3	0,8	0,2	0,6	0,003	0.0040	0,001	3,2
11	1,3	0,8	0,2	0,40	0,003	0.0040	0,001	3,3
12	1,3	0,8	0,2	0,40	0,003	0.0045	0,001	3,3
13	1,3	0,8	0,2	0,40	0,005	0.0040	0,001	3,3
14	1,3	0,8	0,2	0,40	-	0.0040	0,001	3,4

**\*Polimer:** Polimer katkı olarak silsan/siloxan reçine bazlı olup amorf silikanın polimer karışımıdır.

Çimento kütlelerinin % 0,003 ile % 0,005 oranında kullanılmıştır.

**\*\*Dispersan:** Dispersan olarak Sodyum Hekza Meta Fosfat (Calgon) kullanılmıştır. Çimento kütlelerinin % 0,001 ile 0,002 oranında kullanılmıştır.

Not: Karışım oranları kütlece verilmiştir.

Deney örnekleri kütlece ve oransal olarak alınmıştır. Her bir karışım serisi için en az 6 adet 10x10x 10 cm küp prizma numune üretilmiştir. Örneklerin üretilmesinde proje kapsamında satın alınan gazbeton mikseri kullanılmıştır (Resim 3.3). Miksere malzemelerin konulması sırasıyla diatomit, kireç, çimento, alçı ve Al. tozu olarak uygulanmıştır. Karışımlarda şehir şebeke suyu kullanılmıştır.



**Resim 3.3** Gazbeton mikseri.

Düzenli gözenek dağılımını sağlamak ve gözeneklerin büyümesini engellemek amacı ile kullanılmıştır. Çimento ağırlığının %0,001'i ile %0,002'si oranında dispersan katkı kullanılmıştır. Dispersan katkı olarak Sodyum Hekza Meta Fosfat (Calgon) kullanılmıştır. Polimer ve dispersan katkı karışım suyuna katılarak homojen dağılımı sağlanmıştır. Dispersan katkı sulu kıvamdaki taze harcın içine katılacak alüminyum tozunun karışım içinde homojen dağılımını sağlayarak, reaksiyon sonucu oluşacak gözeneklerin homojen dağılımını sağlamak amacı ile kullanılmıştır. Dispersan katkı önce manyetik karıştırıcıda su ile karıştırılmış, daha sonra alüminyum tozu ilave edilerek alüminyum tozunun disperse olması sağlanmıştır (Resim 3.4).



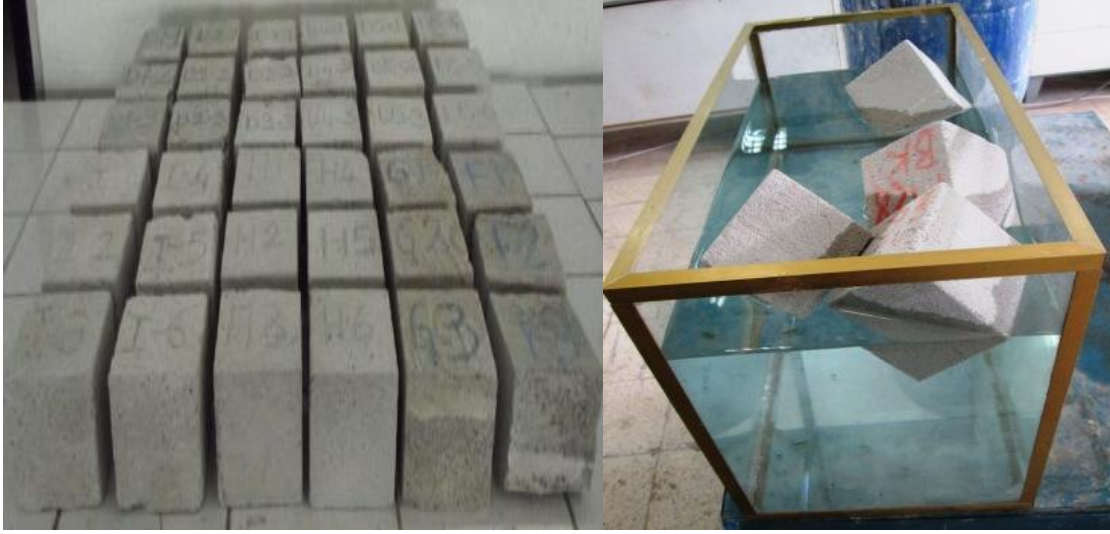


**Resim 3.4** Dispersan katkı ve alüminyum tozunun karıştırılması.

Karışımı oluşturan harç bileşenleri yukarıda verilen sıra ile mikserle konularak artan bir hızda yaklaşık 3 dakika süre ile karıştırılmıştır. Karıştırma hızı maksimum 2000-2500 d/dk olarak uygulanmıştır. Karıştırma sonunda sulu kıvamdaki taze harç kalıplara dökülmüştür. Kalıplar 50 °C'deki etüve konularak gazbeton harcının kabarması sağlanmıştır (Resim 3.5) Kabarma süreci yaklaşık 30 dakikada tamamlanmıştır. Prizi süresinin tamamlanması ve uygun boyutlarda kesilmesi için 2 saat etüvde bekletilmiştir. Kalıplardan çıkarılan örnekler 10x10x10 cm boyutlarda küp numuneler üretilmiştir (Resim 3.6). Deney örneklerine üç farklı kür uygulanmıştır(Resim 3.7).



**Resim 3.5** Gazbeton harcının kalıba dökülmesi, kabarma öncesi ve kabarma sonrası görünümü.



**Resim 3.6** Kalıplardan çıkarılarak 10x10x10 cm boyutlarında üretilen küp numuneler (solda) ve numunelerin su içinde görünümleri (sağda).

Buna göre:

- Atmosferik buhar kürü (BK): Deney örneklerine buhar kür tankında 8 saat süre ve 55 °C sabit sıcaklıkta normal atmosfer basıncında buhar kürü uygulanmıştır.
- Düşük basınçta otoklav kürü (KOK): Deney örneklerine 1,15 Bar buhar basınç değerine sahip otoklavda 8 saat süre ile buhar kürü uygulanmıştır.
- Otoklav kürü (OK): Deney örnekleri 10 Bar buhar basıncı altında otoklavda 8 saat süre ile basınçlı buhar kürü uygulanmıştır.



**Resim 3.7** Atmosferik buhar kürü (Solda), Düşük basınçta otoklav kürü (Ortada), Otoklav kürü görünümü (Sağda).

### 3.2.1 Fiziksel ve Mekanik Özelliklerin Belirlenmesi

Fiziksel ve mekanik özelliklerin belirlenmesinde uygulanan yöntemler bu bölümde verilmiştir.

#### 3.2.1.1 Birim Hacim Ağırlık Değerleri

Birim hacim ağırlık deneyinde numunelerin ilk olarak kumpas ile boyutları belirlenmiştir. Numune yüzey alanı ve numune yüksekliğinden hacim hesaplanmıştır. Daha sonra hassas terazide numunelerimizin etüv kurusu halleri tartılarak kuru kütlesi belirlenip numunelerin birim hacim ağırlıkları hesaplanmıştır.

$$Dh = (Mk/Vh) \times 1000 \text{ (kg/m}^3\text{)} \quad (3.1)$$

Burada:

**Dh:** Birim Hacim Ağırlığı (kg/m<sup>3</sup>)

**Mk:** Etüv Kurusu Ağırlık (kg)

**Vh:** Numunenin hacmi (Boşluklar Dahil) (dm<sup>3</sup>)

#### 3.2.1.2 Basınç Dayanımı Deneyi

Deney numunelerinin basınç dayanımları aşağıdaki belirtilen formül yardımıyla belirlenmiştir (3.2). Basınç dayanımı için 20 ton basınç kapasiteli beton basınç makinesi kullanılmıştır (Resim 3.8). Basınç dayanımı deneyinde (100 x 100 x 100) mm ebatlarında gazbeton numuneleri kullanılmıştır. Basınç dayanımı deneyinde, deney numuneleri değişmez kütleye gelinceye kadar 105 °C sıcaklıktaki etüvde kurutulmuş ve deney uygulanmadan önce ortam sıcaklığına kadar soğuması için bir süre bekletilmiştir.. Yük kabarma yönüne dik olarak olarak prese yerleştirilmiştir. Gerilme artışı 0,5 N/mm<sup>2</sup>/sn olacak şekilde sabit bir hızda, sürekli ve darbesiz olarak numune kırılıncaya kadar yüklenmiştir. Elde edilen basınç dayanımları kaydedilmiştir.

$$fb = (Pk/A_0) \times k \text{ (Mpa)} \quad (3.2)$$

**fb:** Basınç Dayanımı (Mpa)

**A<sub>0</sub>:** Basınç Uygulanan Yüzeyin Alanı (cm<sup>2</sup>)

**Pk:** Kırılma Anındaki Yük (kg)

**k:** Numunenin Biçim Katsayısı (k=1)



**Resim 3.8** Basınç dayanımı deney aleti.

### 3.2.1.3 Isı İletkenlik Deneyi

Deney örneklerinin ısı iletim katsayısı ( $\lambda$ ) değerleri Üniversitemiz Merkez Laboratuvarında (TUAM) bulunan ve  $\pm\%1$  kesinlikle ölçüm yapabilen C-THERM ısı iletkenlik tayin cihazı ile ölçülmüştür (Resim 3.9).



**Resim 3.9** C-Therm termal iletkenlik cihazının görünümü.

## 4. BULGULAR

Üretilen seriler üzerinde birim hacim ağırlık, basınç dayanımı, ısı iletkenlik ve ultrases deneyleri yapılmış olup sonuçları bu bölümde verilmiştir.

### 4.1 Örneklerin Mekanik Özellikleri

Çalışmada üç ayrı kür yöntemi uygulanmıştır. Bunlar: Atmosferik buhar kürü, düşük basınçlı (1,15 Bar) otoklav ve normal otoklav (10 Bar) kürü. Ticari gazbeton üretiminde 8-12 Bar otoklav kürü uygulanmaktadır. Örneklerin mukavemet değerleri belirlenmiştir. Buna göre buhar kürü ve düşük basınçlı otoklav kürü uygulanan örnekler yeterli mukavemet değerlerine ulaşamadıkları belirlenmiştir. Bu örneklerin basınç mukavemeti değerleri  $0,5 \text{ N/mm}^2$  değerinin altında kaldığı için çizelgede sadece normal otoklav kürü uygulanan örneklerin değerleri sunulmuştur. Mukavemet değerlerine ilişkin değerlendirme mineralojik ve içyapı değerlendirmesi bölümünde ayrıntılı olarak sunulmuştur. Deney örneklerine aksenal basınç dayanımı uygulanarak basınç dayanımı değerleri belirlenmiştir. Örneklerin basınç dayanımı değerlerini etkileyen iki kriter belirlenmiş olup bunlar; örneklerin birim hacim ağırlık değerleri ve gözenek dağılımı olmuştur. Birim hacim ağırlığı değerleri  $375-285 \text{ kg/m}^3$  arasında değişmektedir. Birim ağırlık değerlerine bağlı olarak basınç dayanımı değerleri  $1,75-0,85 \text{ N/mm}^2$  arasında değişmektedir. Basınç dayanımını etkileyen diğer bir kriter ise gazbeton bünyede oluşan gözeneklerin büyüklüğü olmuştur. Gözenek yapısı büyüdükçe basınç dayanım değerlerinde azalma, buna karşılık gözenek yapısı küçüldükçe basınç mukavemeti değerlerinde artış gerçekleşmiştir (Çizelge 4.1). Karışıma ilave edilen polimer katkı ve alüminyum tozu örneklerin gözenek oranı ve yapısını etkileyen iki ayrı etken olarak belirlenmiştir. Bunlar alüminyum tozunun miktarı ve karışıma ilave edilen hidrofobik polimer katkıdır. Üretim prosesinde kireçle alüminyum tozunun reaksiyonu sırasında H gazı açığa çıkmaktadır. Karışımındaki alüminyum tozu miktarı arttıkça harç bünyesinde daha fazla oranda kabarcık meydana gelmekte ve daha yüksek oranda gözeneklilik oluşmaktadır. Örneklerin birim ağırlıklarının belirlenmesinde (diğer bir anlatımla toplam gözenek oranının belirlenmesinde) karışıma katılan alüminyum tozu miktarı etkili olmaktadır. Karışıma ilave edilen alüminyum tozu miktarı arttıkça toplam gözeneklilik artarak birim hacim değerlerinde azalma (daha hafif bünye) gerçekleşmiştir

(Çizelge 4.1). Birim hacim ağırlık değerleri karışıma ilave edilen alüminyum tozu tarafından etkilenmiştir.

Gazbeton bünyesindeki gözeneklerin homojen dağılımı ve gözenek çapı büyüklüğünün dengelenmesinde ise karışıma ilave edilen hidrofobik polimer katkı ve bunun oranı etkili olmaktadır. Reaksiyon sonucu oluşan H gazı kabarcıkları henüz taze halde olan harç bünyesinde birleşerek büyüme eğilimindedir. Hidrofobik polimer katkı taze harç bünyesinde oluşan gaz kabarcıklarının birleşerek büyümesine engel olmaktadır. Çalışmada karşılaştırmalı sonuç alabilmek ve optimum katkı oranını belirlemek için hidrofobik polimer katkı çimento kütlelerine göre üç farklı oranda kullanılmıştır. Bunlar: Katkısız (kontrol serisi), %0,003 katkılı ve %0,005 katkılı serilerdir.

**Çizelge 4.1** Örneklerin mekanik sonuçları.

Seri No	Diyatomit	Çimento (42,5)	Alçı	Kireç	Polimer*	AL Tozu %	Dispersan **	BHA Kg/m <sup>3</sup>	Bas. Day. (MPa)	Isı ilet. Kts λ (W/mK)	Gözenek Yapısı
1	1,5	1	0,2	0,70	-	0.0030	0,002	375	1,75	0,100	İri
2	1,5	1	0,2	0,70	-	0.0035	0,002	340	1,35	0,095	İri
3	1,3	1	0,2	0,65	-	0.0040	0,002	340	1,20	0,095	İri
4	1,3	1	0,2	0,70	-	0.0040	0,002	335	1,15	0,090	İri
5	1,3	1	0,2	0,7	-	0.0045	0,002	325	0,85	0,090	İri
6	1,3	0,8	0,2	0,65	0,005	0.0045	0,002	305	1,00	0,075	Küçük
7	1,3	0,8	0,2	0,70	0,005	0.0040	0,002	320	1,15	0,080	Küçük
8	1,3	0,8	0,2	0,70	0,005	0.0045	0,002	308	0,95	0,075	Küçük
9	1,3	0,8	0,2	0,70	0,05	0.0050	0,001	290	0,85	0,070	Küçük
10	1,3	0,8	0,2	0,6	0,03	0.0040	0,001	320	1,15	0,085	Orta
11	1,3	0,8	0,2	0,70	0,03	0.0040	0,001	285	1,05	0,080	Orta
12	1,3	0,8	0,2	0,70	0,03	0.0045	0,001	265	0,85	0,080	Orta
13	1,3	0,8	0,2	0,70	0,05	0.0040	0,001	325	0,95	-	Küçük
14	1,3	0,8	0,2	0,70	-	0.0040	0,001	360	0,80	-	İri

\***Polimer:** Polimer katkı olarak silsan/siloxan reçine bazlı olup amorf silikanın polimer karışımıdır. Çimento kütlelerinin % 0,003 ile % 0,005 oranında kullanılmıştır.

\*\***Dispersan:** Dispersan olarak Sodyum Hekza Meta Fosfat (Calgon) kullanılmıştır. Çimento kütlelerinin % 0,001 ile 0,002 oranında kullanılmıştır.

Not: Karışım oranları kütlece verilmiştir.

Gazbeton örneklerin kırık yüzeyleri optik mikroskop ve fotoğraf makinesi kullanılarak gözenek büyüklükleri incelenmiştir (Resim 4.1). Ticari gazbeton ve polimer katkısız gazbeton örneklerin gözenek çapı büyüklüğü 1000 -2000  $\mu\text{m}$  arasında değişmektedir (Resim 4.2). Polimer katkı oranı %0,003 olan gazbeton örneklerde gözenek çapı: 500 - 1000  $\mu\text{m}$  arasında değişmektedir (Resim 4.3). Polimer katkı oranı %0,005 olan gazbeton örneklerde ise gözenek çapı oldukça küçülmüş ve 50 -250  $\mu\text{m}$  arasında bir dağılıma sahiptir (Resim 4.4). Benzer karşılaştırmalar fotoğraf resimlerinde de görülebilmektedir (Resim 4.5 - 4.6 - 4.7). Hidrofobik Silsan/Siloksan katkı sıvı harç bünyesinde oluşan mikro ölçekteki hava kabarcıklarının birbiri ile birleşerek büyümesini engelleyici etki yapmaktadır.

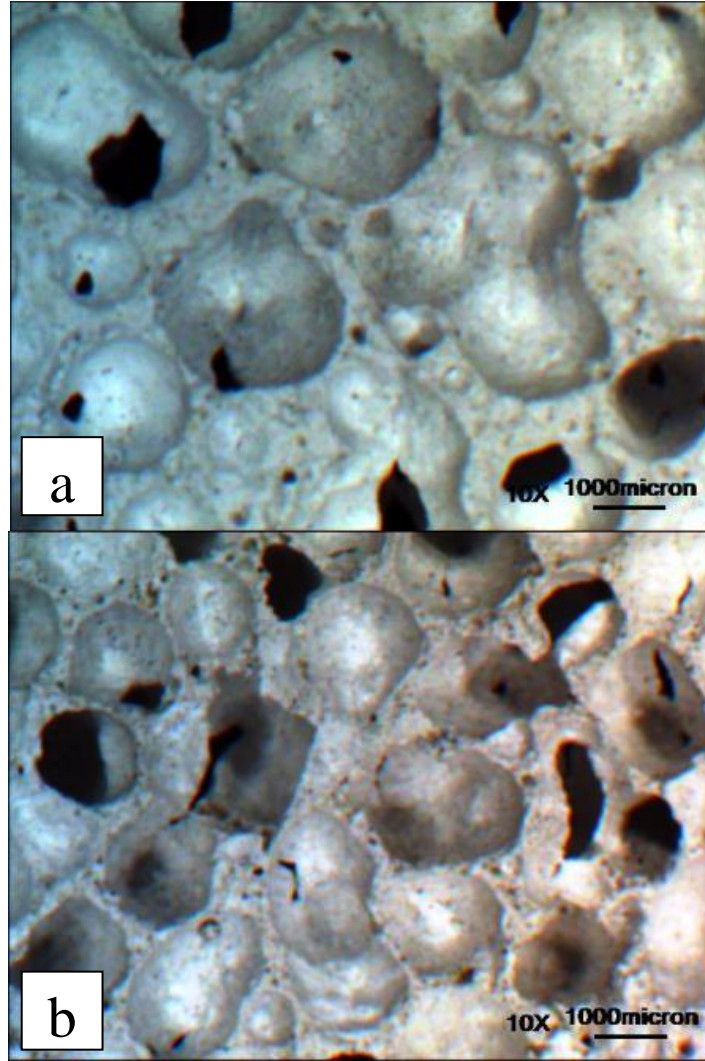
Örneklerin ısı iletim katsayısı değerleri Üniversitemiz merkez laboratuvarında bulunan C-Therm ısı iletkenlik cihazında ölçülmüştür (Resim 3.8). Örneklerin ısı iletkenlik değerleri ( $\lambda$ ) 0,070 ile 0,100 W/mK arasında değişmektedir.

Geleneksel gazbeton ürünlerin birim ağırlıklarına (400-800  $\text{kg}/\text{m}^3$ ) göre ısı iletim katsayısı değerleri 0,13- 0,25 W/mK arasında değişmektedir (TS 825). Ticari gazbetonun ( $400 \text{ kg}/\text{m}^3$ )  $\lambda$  değeri 0,12 W/mK olarak ölçülmüştür. Bu projede diyatomit kullanılarak üretilen gazbeton örneklerin birim ağırlıklarına (375- 285  $\text{kg}/\text{m}^3$ ) göre ısı iletim katsayısı değerleri ise 0,07- 0,09 W/mK arasında değişmektedir (Çiz. 4.1). Üretimde ana malzeme olarak kullanılan diyatomitin mikro gözenekli yapısı ve hidrofobik polimer katkı sayesinde ticari gazbeton ürünlere göre daha küçük boyutta gözenek yapısı elde edilmiştir (Resim 4.5). Kullanılan diyatomit hammaddesinin mikro gözenekli yapısı ve üretim yönteminde kullanılan polimer ve kimyasal katkıları nedeniyle gözenek yapısı geliştirilmiştir. Toplam gözenek oranı artırılırken (daha hafif bünye), gözeneklerin çapı küçültülmüştür (mikro gözenek). Ticari gazbetona göre daha hafif bünye ve daha küçük gözenekli yapı elde edilmiştir.

Geliştirilen prototip gazbeton örneklerin hem birim hacim değerleri azaltılmış ve hem de ısı iletim katsayısı değerleri ticari gazbetonlara göre %100 oranında azaltılmıştır. Diğer bir anlatımla bu proje ile geliştirilen prototip gazbeton örneklerin yalıtım performans değerleri iki kata yakın artırılmıştır.

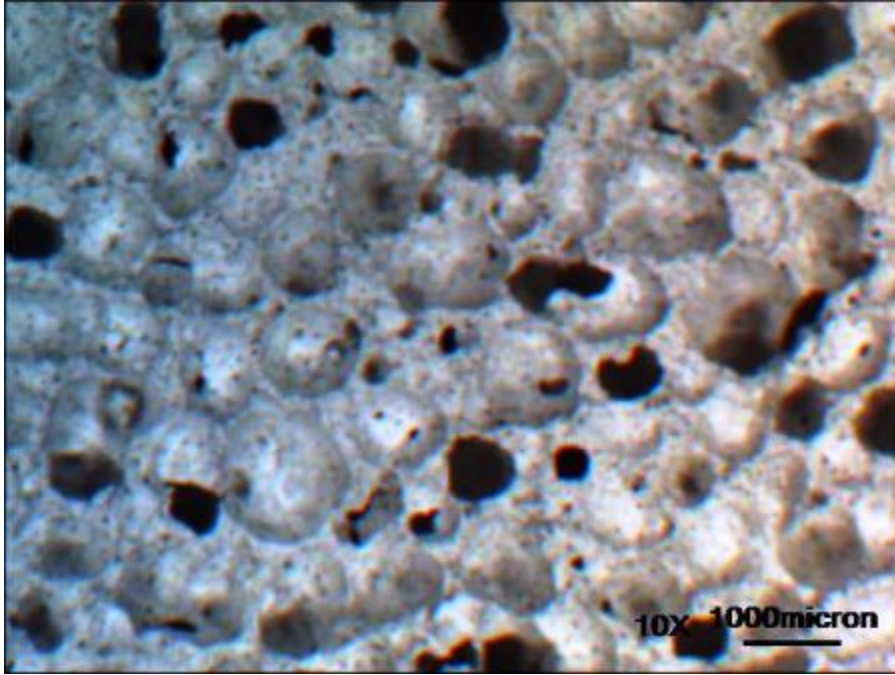


**Resim 4.1** Gazbeton örnekleri incelenmesinde kullanılan optik mikroskobun görüntüsü.

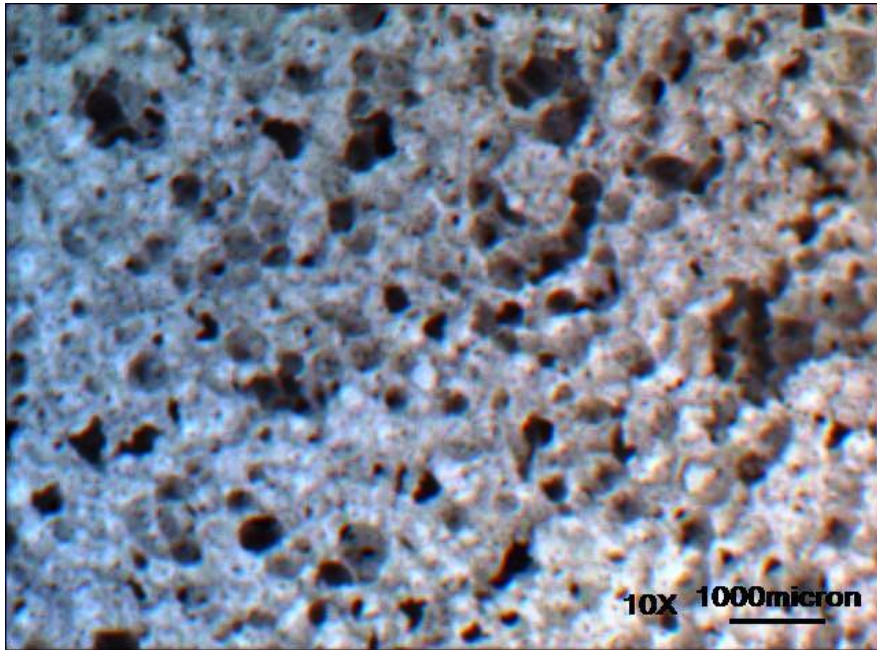


**Resim 4.2** Polimer katkısız iki farklı örneğin optik mikroskop görüntüsü (a), deney örneği (b), ticari gazbeton (gözenek çapı 1000 -2000  $\mu\text{m}$ ).





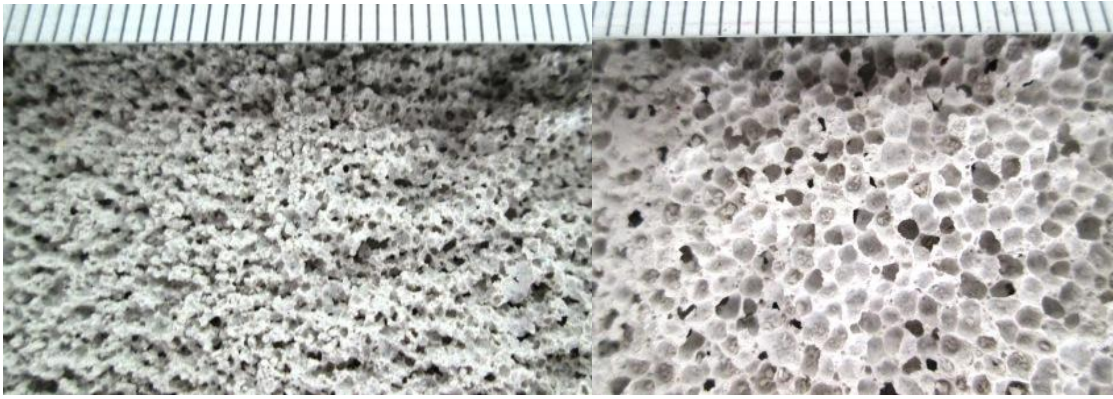
**Resim 4.3** Çimentonun %0,003 oranında polimer katkılı gazbeton numunesinin optik mikroskop görüntüsü (gözenek çapı: 500 -1000  $\mu\text{m}$  ).



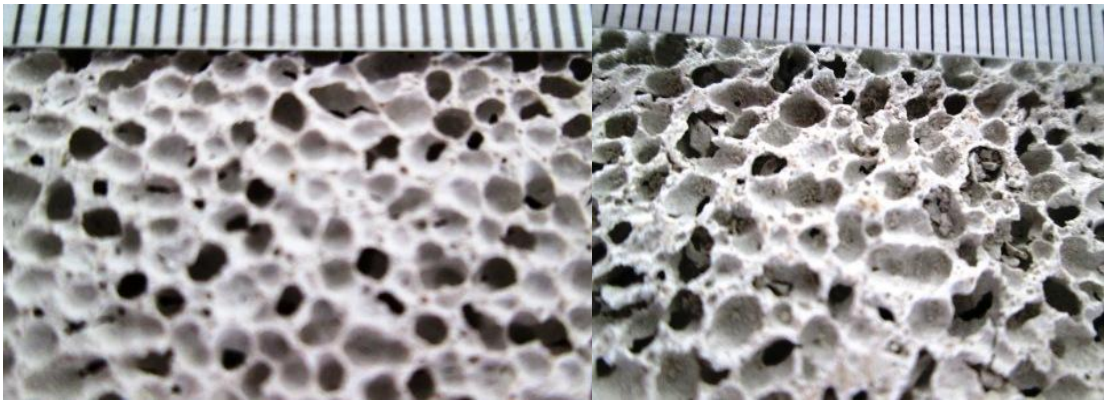
**Resim 4.4** Çimentonun %0,005 oranında polimer katkılı gazbeton numunesinin optik mikroskop görüntüsü (gözenek çapı: 50 -250  $\mu\text{m}$  ).



**Resim 4.5** Ticari gazbeton (solda), %0,005 polimer katkıli örnek (ortada), %0,003 polimer katkıli örnek (sağda). Not: Büyüklük skalası 1mm'dir.



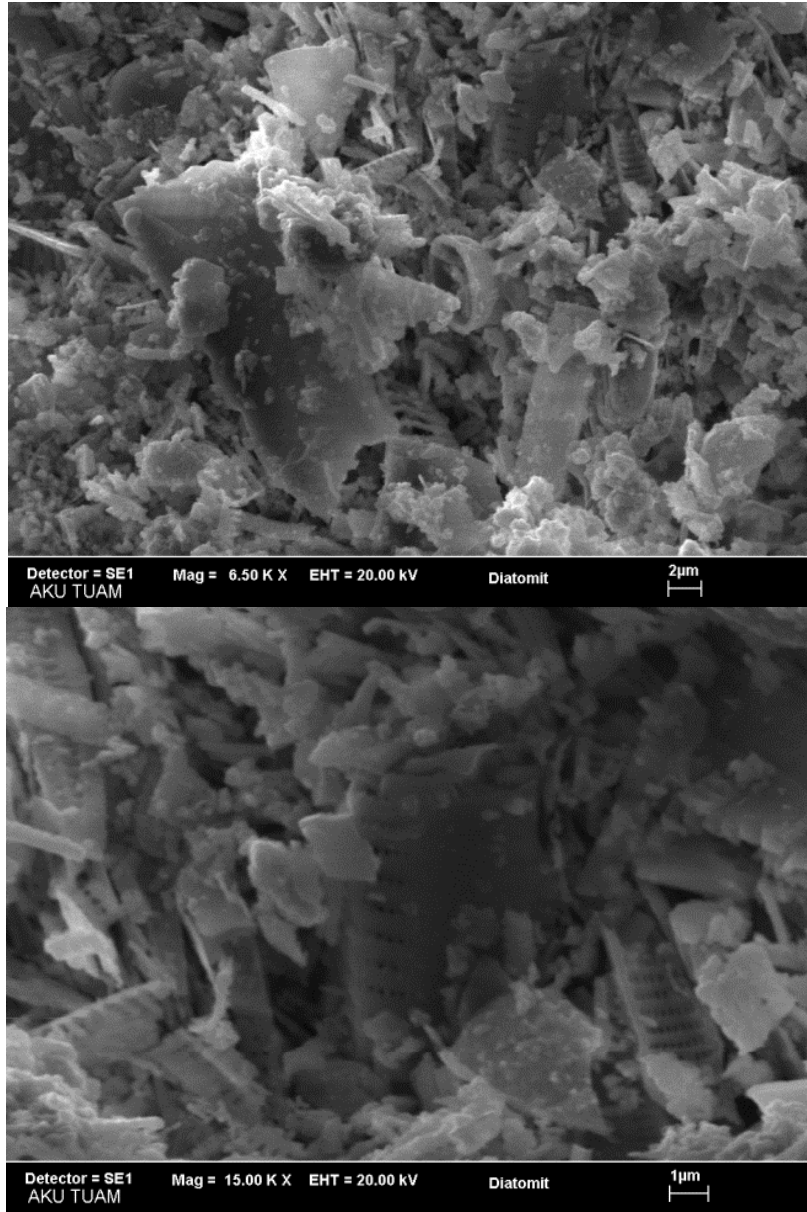
**Resim 4.6** Çimentonun %0,005 oranında (solda) ve %0,003 polimer katkıli (sağda) gazbeton numunesinin optik mikroskop görüntüsü. Not: Büyüklük skalası 1mm'dir.



**Resim 4.7** Ticari gazbeton numunesi (solda) ve polimer katkısız gazbeton numunesinin optik mikroskop görüntüsü. Not: Büyüklük skalası 1mm'dir.

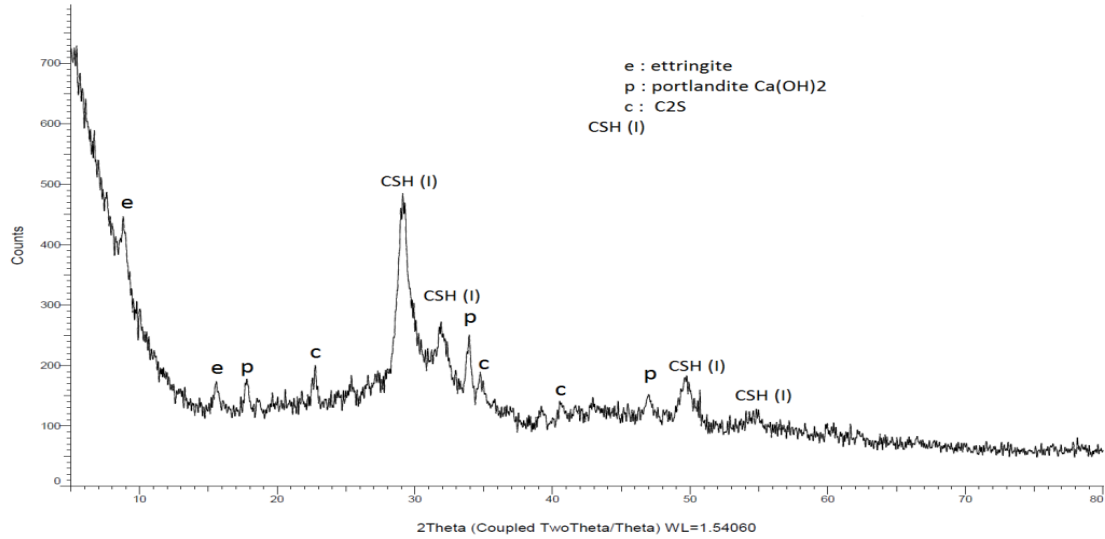
## 4.2 Örneklerin Otoklav Kürü Sonrası Mikro Yapı Analizleri

Bu bölümde çalışmada kullanılan diatomit hammaddesine ait SEM görüntüleri ve hidrate ürünlerde gelişen faz yapıları incelenerek değerlendirilmiştir. Deneylede kullanılan ham diatomit numunelerinin SEM analizleri yapılmıştır. Şekil 4.1’ de görüleceği gibi diatomit içerisinde farklı diatomit kavk türleri gözlenmektedir. Diatome kavklarını çok farklı şekil ve büyüklüklerde bulunabilmektedir.



Şekil 4.1 Diatomit numunesinde gözlenen farklı kavk türleri.

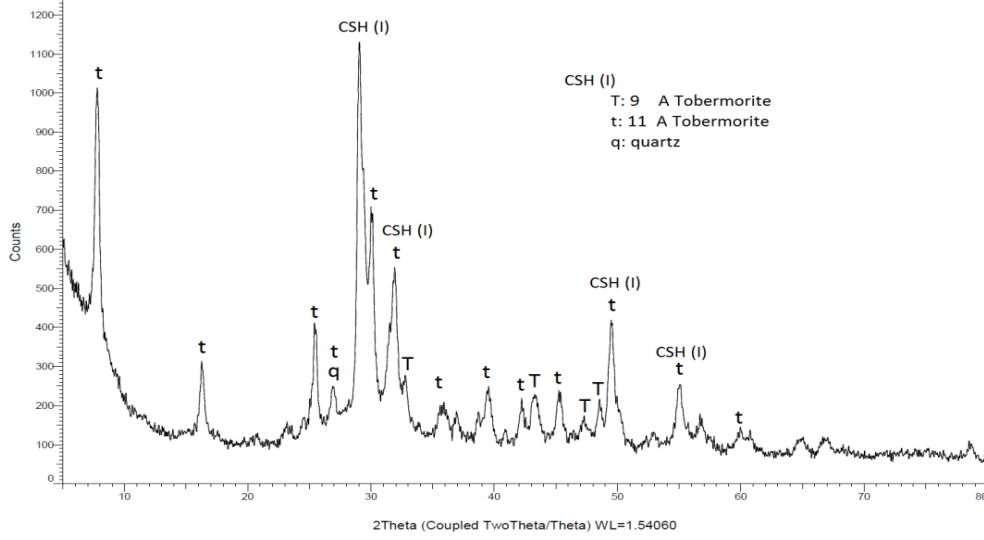
Yapılan iyileştirme çalışmaları sonucunda mukavemet bakımından yeterli özelliklere sahip Polimer katkıli 7 no'lu numunenin mineralojik yapısı buhar kürü ve otoklav kürü sonrasında XRD tekniği kullanılarak incelenmiştir. Ayrıca ticari bir gaz beton numunesine XRD analizi yapılarak karşılaştırma yapılmıştır. Şekil 4.2'de 7 no'lu numunenin buhar kürü sonrası mineralojik analizi gösterilmiştir. Analizden görüldüğü gibi yapı içerisinde kristal CSH faz (tobermorit) oluşumuna rastlanmamıştır. Erken dönem hidrasyon ürünü olan etrenjit fazının varlığı tespit edilmiştir. Yapıda baskın olarak çimento fazlarının hidrasyonundan kaynaklanan CSH (I) fazı vardır. Hidrasyon olayına dahil olmayan portlandit ve C<sub>2</sub>S fazı da yapıda görülmüştür. Buhar kürünün etkisinin kullanılan karışım için herhangi bir kristal CSH fazı oluşumunda yeterli olmadığı sonucuna varılmıştır.



Şekil 4.2 Gazbeton numunesinin (no:7) buhar kürü sonrası XRD analizi.

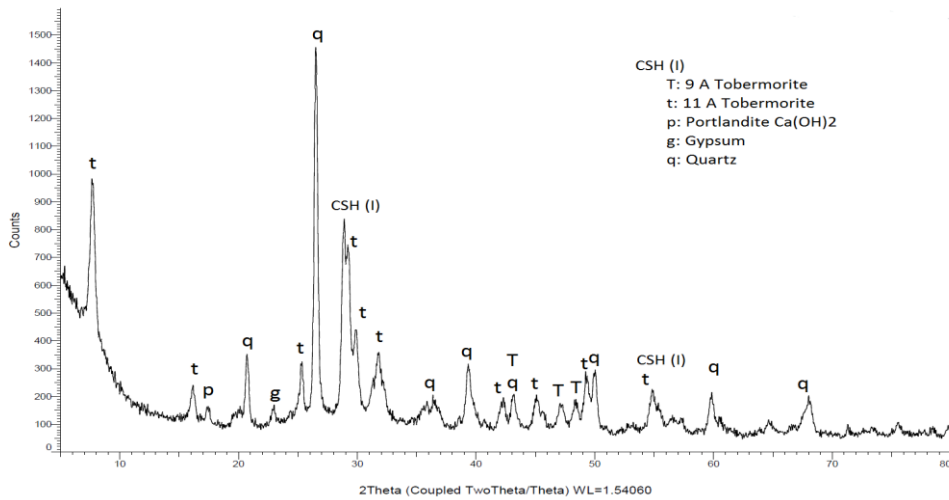
Şekil 4.3'te 7 no'lu numunenin otoklav kürü sonrasındaki mineralojik analizi gösterilmiştir. Otoklav kürü sonrasında yapı içerisinde kristal CSH fazlarından 9 °A ve 11 °A Tobermorite fazlarının oluştuğu gözlenmiştir. Fazların pik şiddetleri göz önüne alındığında 11 °A Tobermorite fazının varlığının daha fazla olduğu görülmektedir. Bununla birlikte yapı içerisinde çimento fazlarının hidrasyonuna bağlı CSH (I) faz oluşumu da görülmektedir. Buhar küründe gözlenen serbest portlandit ve C<sub>2</sub>S fazına rastlanmamıştır. Bu da otoklav kürü şartlarında hidrasyon reaksiyonlarının tamamlandığını göstermektedir. Tüm CSH jel yapısının, kristal CSH yani tobermorit

fazına dönüştüğü anlaşılmaktadır. Diatomit içerisindeki opal fazlarının hidrotermal şartlar altında kristal kuvars formunda dönüşmesinden kaynaklandığı düşünülen az miktarda kuvars piklerine de rastlanmıştır.



**Şekil 4.3** Gazbeton numunesinin (no:7) otoklav kürü sonrası XRD analizi.

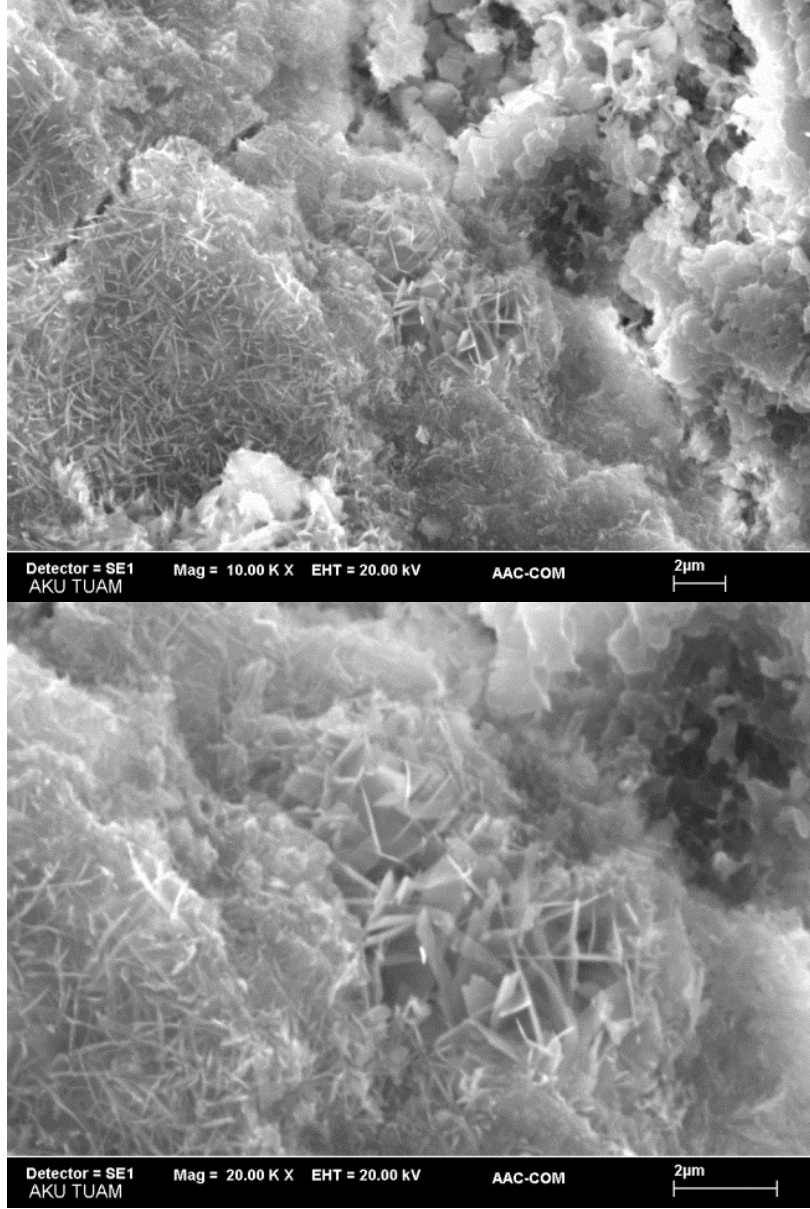
Deney örneğinin XRD analizi ticari gaz beton numunesinin XRD analizi ile (Şekil 4.4) karşılaştırıldığında, kristal CSH fazlarının varlığı açısından önemli benzerlikler gösterdiği tespit edilmiştir. Ancak ticari gaz beton numunelerinin üretiminde kullanılan kuvarsit kumundan kaynaklanan baskın kuvars pikleri gözlenmiştir. Hidrotermal prosese dahil olamamış portlandit ve alçı mineralinin piklerine de rastlanmıştır.



**Şekil 4.4** Ticari gazbeton numunesinin XRD analizi.

Ticari gaz beton numunesinden yapılan SEM inceleme sonuçları Şekil 4.5'te

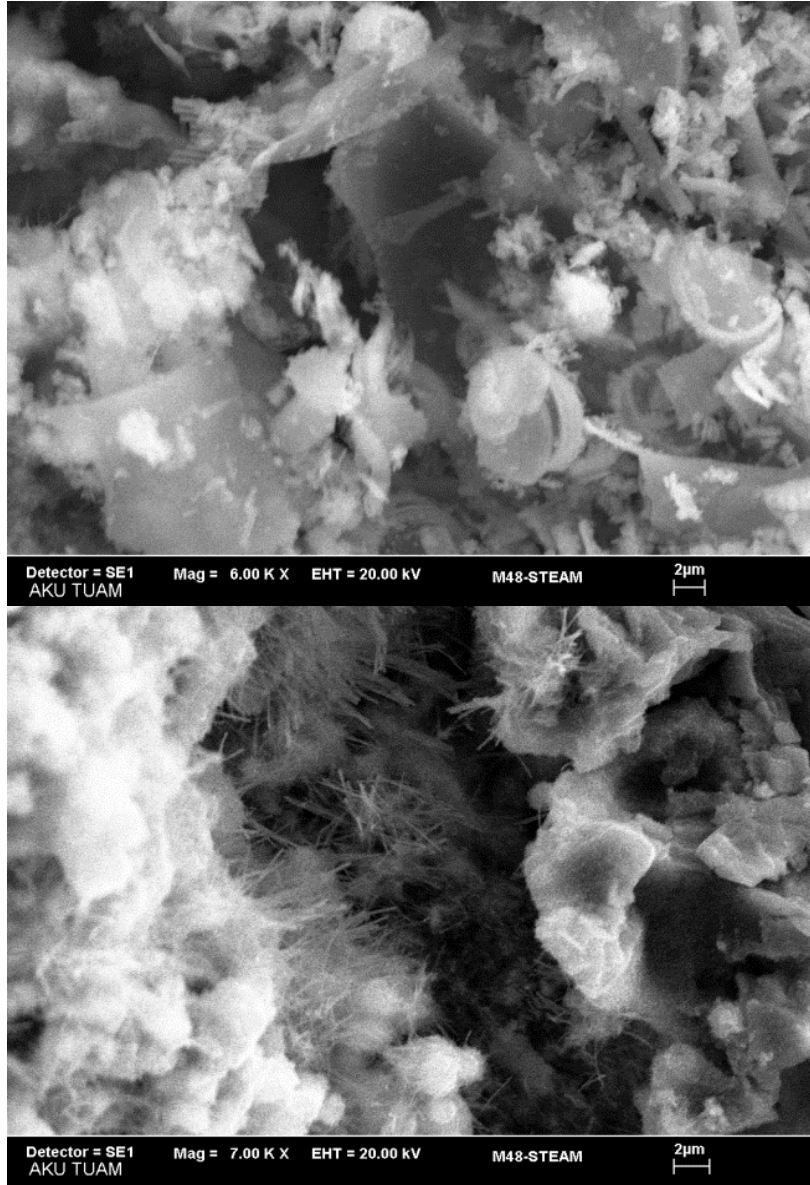
gösterilmiştir. Yapı içerisinde kristal hidrasyon fazlarından Tobermorit plakaları gözlenmektedir.



**Şekil 4.5** Ticari gazbeton numunesinin SEM görüntüsü.

Buhar kürü uygulanmış numunelerin SEM görüntüleri incelendiğinde, yapı içerisinde diatomit kavklarının şekillerini koruduğu ve pozolanik reaksiyona tam olarak dahil olmadıkları gözlenmektedir (Şekil 4.6). Kavkların etrafında açık renkli bulut görüntüsü ile gözlemlenen hidrasyon oluşumları, çözünme reaksiyonlarının buhar kürü şartları altında yeni başladığını göstermektedir. Yapı içerisinde erken dönem hidrasyon

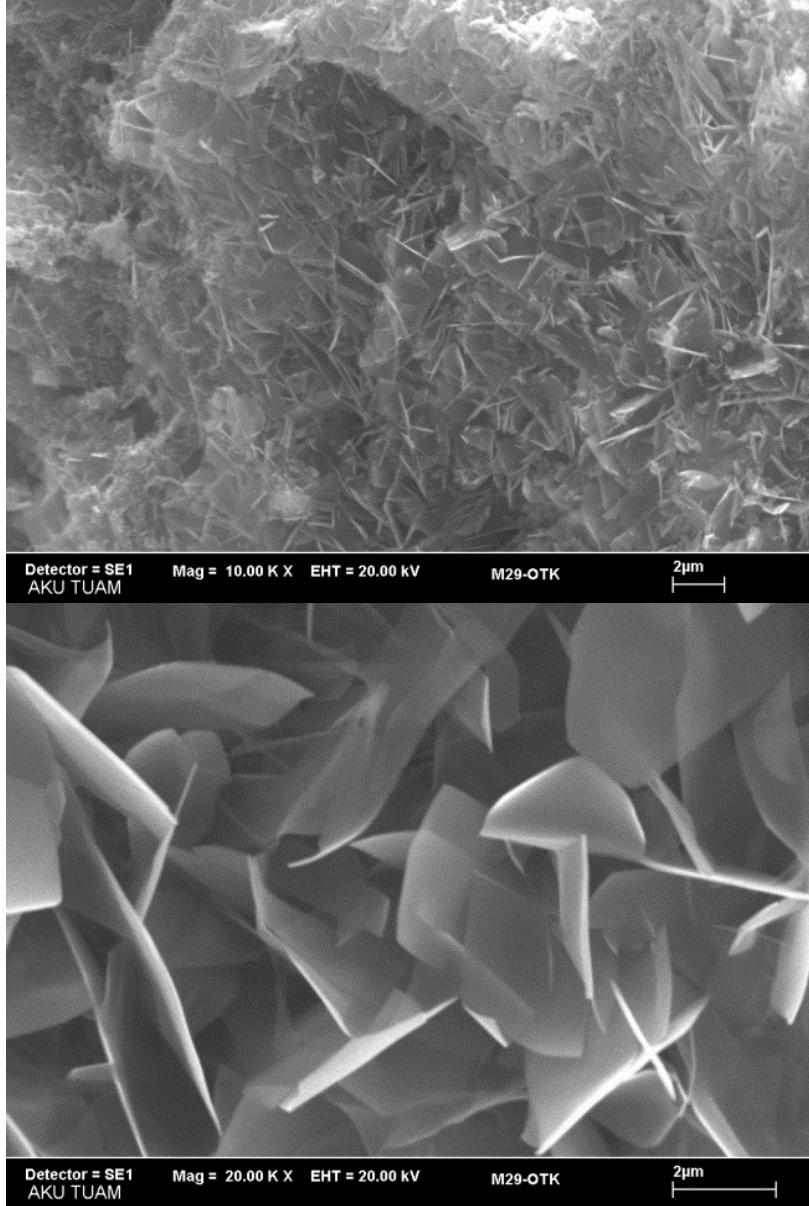
fazlarından biri olan etrenjit oluşumları da gözlemlenmiştir. Etrenjit fazı hem SEM analizinde (Şekil 4.6) hem de XRD analizlerinde gözlemlenmiştir (Şekil 4.2).



**Şekil 4.6** Buhar kürü sonrası diyatomit içeren numunenin SEM görüntüleri.

Otoklav kürü uygulanmış numunelerin SEM görüntüleri incelendiğinde, yapı içerisinde diatomit kavklarının tamamen hidrasyon reaksiyonlarına dahil olarak çözünüp ortadan kayboldukları gözlenmiştir. Yapı içerisinde baskın olarak iyi gelişmiş kristal hidrasyon fazı olan tobermorit plakalarının varlığı gözlenmiştir (Şekil 4.7). Ticari olarak üretilen gaz beton numunesinin içyapısı ile karşılaştırıldığında, otoklav kür

şartlarında üretilen diatomit içerikli gaz beton numunelerinin tobermorit gelişimlerinin çok daha iyi olduğu sonucuna varılmıştır. Özellikle benzer büyütme altında çekilen görüntülerdeki tobermorit plaka büyüklükleri kıyaslandığında bu fark açıkça gözlenmektedir (şekil 4.7).



şekil 4.7 Otoklav kürü sonrası diatomit içeren numunenin SEM görüntüleri.



## 5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Geleneksel gazbeton üretiminde öğütülmüş kuvars kumu kullanılmaktadır. Bu tez çalışmasında kuvars kumu yerine öğütülmüş diyatomit kullanılmıştır. Diyatomitin en önemli özelliği, yüksek gözeneklilik ve buna bağlı olarak düşük birim ağırlığa sahip olmasıdır. Özgül ağırlığının 1,9- 2,35 gr/cm<sup>3</sup> olmasına karşı, kuru durumda birim ağırlığı 0,15-0,40 gr/cm<sup>3</sup> arasında değişir. Yüksek miktarda amorf silis içeriği nedeni ile puzolanik bir malzemedir. İnşaat sektöründe gazbeton kullanımının sağladığı en büyük avantaj diğer duvar malzemelerine göre daha yüksek ısı yalıtım performansı sağlamasıdır. Geleneksel gazbeton ürünlerin birim ağırlıklarına (400-800 kg/m<sup>3</sup>) göre ısı iletim katsayısı değerleri 0,13- 0,25 W/mK arasındadır (TS 825). Üretimde ana malzeme olarak kullanılan diyatomitin mikro gözenekli yapısı ve üretim prosesinde kullanılan dispersan ve hidrofobik polimer katkı sayesinde ticari gazbeton ürünlere göre daha küçük boyutta gözenek yapısı elde edilmiştir. Bu tezde diyatomit kullanılarak üretilen gazbeton örneklerin birim ağırlıklarına (375- 285 kg/m<sup>3</sup>) göre ısı iletim katsayısı değerleri ise 0,07- 0,09 W/mK arasında değişmektedir. Geliştirilen prototip gazbeton örneklerin hem birim hacim değerleri azaltılmış ve hem de ısı iletim katsayıları ticari gazbetonlara göre %80-100 oranında azaltılmıştır. Diğer bir anlatımla bu tez çalışması ile geliştirilen prototip gazbeton örneklerin yalıtım performans değerleri ticari gazbeton ürünlere göre iki kata yakın artırılmıştır. Buna karşılık basınç mukavemeti değerlerinin standart değerlerin bir miktar altında kaldığı belirlenmiştir.

## 6. KAYNAKLAR

- Akgül, E. (2006). Datça bölgesindeki volkanik tüflerin yapı malzemesi olarak değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Alduaij, Alshaleh, K., Haque, M. N., Ellaithy, K. (1999). *Lightweight concrete in hot coastal areas, Cement & Concrete Composites*, **21**: 453-458.
- Aruntaş, H., Albayrak, Y., Saka, M., Aydın, H., Tokyay, M. (1998). Ankara–Kızılcahamam ve Çankırı–Çerkeş yöresi diyatomitlerinin özelliklerinin araştırılması *Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences*, 337–343.
- Aruntaş, H. Y., (1996). Diyatomitlerin çimentolu sistemlerde puzolanik malzeme olarak kullanılabilirliği, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Atan, Y., (1973). Behavior of lightweight concrete under uniaxial loading, *Bulletin of the Technical University of İstanbul*, **1**: 112-134.
- Aydın, A. C., (1998). Diyatomit, pomza ve pasa'nın katkı maddesi olarak kullanılabilirliğinin araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- Balanlı, A. , (1997). Yapıda ürün seçimi, Y.T.Ü, 4.
- Bilgin, İ., (1994). Yapı üretiminde ürün - süreç ilişkisi, Y.T.Ü, 294.
- Borat, M., (1992). Türkiye diyatomitlerinin özellikleri ve filtrasyon karakteristikleri, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Breese, R.O.Y., (1994). Diatomite, industrial minerals and rocks, Carr (Ed), SMME, Colorado, USA, 397-412.
- British Geological Survey, World mineral production 2005-2009,
- Bulut Ü., (2007). Perlitin puzolanik aktivitesinin belirlenmesi, Doktora Tezi, İstanbul
- Corinaldesi, V., Giuggiolini M., Moriconi G., (2002). Use of the rubble from building demolition in mortars, *Waste Management*, **22**: 893-899.
- Çavdar, A., Yetgin, Ş., (2004). Trabzon yöresi tüflerinin çimentoda tras olarak kullanılabilirliği, Bazı kimyasal ve mekanik ilişkiler., Sixth international conference on advances in civil engineering, Boğaziçi University, İstanbul, 947-955.

- Çiçek, Y., E., (2002). Pişmiş toprak tuğla, Bimsbeton, gazbeton ve perlitli yapı malzemelerinin fiziksel, kimyasal ve mekanik özelliklerinin karşılaştırmalı olarak incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- DPT, (2001). Pomza, Sekizinci beş yıllık kalkınma planı-madencilik özel ihtisas komisyon Raporu, 23
- DPT, Genel endüstri mineralleri IV (bentonit-barit-diatomit-aşındırıcılar, Sekizinci beş yıllık kalkınma planı madencilik özel ihtisas komisyonu raporu, Ankara, **2621**: 632 (2001).
- Durmuş, A., AYTEKİN, M., Betonarme inşaatta hafif betonlar ve Türkiye' deki durumu, *TMMOB Haber Bülteni*, **8**: 12-15,
- Ediz, N., (1994). Kırka boraks işletmesi atık killilerinin tuğla yapımında kullanılabilirliğinin araştırılması, OGÜ Yüksek Lisans Tezi.
- Erdoğan Sinan T., Turhan Y. Erdoğan, (2007). Puzolanik mineral katkıları ve tarihi geçmişleri, Teksas Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Austin, Teksas,. Orta Doğu Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü.
- Erdoğan, T. Y., (2003). Beton, METU Press, Ankara.
- Erdoğan, K., Tokyay, M. ve Türker, P., (2002). Traslara ve traslı çimentolar, TÇMB/AR-GE Enstitüsü, Ankara.
- Gökçe M.V., Diatomit esaslı hafif yapı elemanı üretiminde üre-formaldehitin bağlayıcı olarak kullanılması, Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, **17**: 20-21-22 .
- Görhan G., (2006). Uçucu külün kireç ve çimento ile birlikte kullanımının araştırılması“ Afyon Kocatepe Üniv., Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- Gündüz, L., (1998). Pomza teknolojisi&Pomza Karakterizasyonu, Cilt 2, Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Isparta.
- Gündüz, L., (2008). Puzolanik maddeler, Süleyman Demirel Üniversitesi, Pomza araştırma ve uygulama merkezi 112-133 .
- Harben, P.W., (1995). Diatomite, The industrial minerals Handy Book, 57-61.
- Hasol, D., (1967). Yapının endüstrileşmesi, Mimarlık.

- Holt, E., Raivio, P., (2004). Use of gasification residues in aerated autoclaved concrete, Cement & Concrete research, basım için kabul edilmiş makale.
- Kaplan, H., Binici H., (1995). Tras ve traslı çimentolar, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi* **1**: 121-127 .
- Karaman. E.. Kibici, Y., (2008). *Temel jeoloji prensipleri, Belen Yayıncılık*, **16**: 41-47.
- Koç, İ., Gökçe, M. V., Bilgil, A., (2008). Diatomit esaslı yapı elemanları üretiminde çimentonun bağlayıcı olarak kullanılması üzerine bir çalışma, Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi 30. Yıl Sempozyumu.
- Kogel J.E., Trivedi N.C., Marker J.M., Krukowski S.T., (2006).Industrial minerals and rocks, Commodities markets and uses, Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, US, ASIN: B001XRL5PI,
- Kömürlü, R., Önel, H.,( 2007). Gazbeton yapı ürünlerinin konutlarda kullanımı, *YTÜ Mimarlık Fakültesi E- Dergisi*, **3**: 145- 158.
- Kuşçu, M., (2008), Endüstriyel kayaçlar ve minareler, *Süleyman Demirel Üniversitesi Yayınları*, 157
- Lo, T. Y., Cui, H. Z., (2004). Effect of porous lightweight aggregate on strength of concrete, *Materials Letters*, **58**: 916-919.
- Malinowski, R., (1979). Concretes and mortars in ancient aqueducts, *Concrete International*, 66-76.
- Malinowski, R., (1982). Method of casting concrete. US Patent. No. 4362679.
- Malinowski, R., (1991). Prehistory of concrete, *Concrete International*, 23-29.
- Massazza, F. and Costa, U., (1977). Factors determining the development of mechanical strength in Lime-Pozzolana Pastes, *Proceedings of the XXII Conference on Silicate Industry and Silicate Science*, 537-552.
- Massazza, F., (1983). Puzolanlı çimentolar ve kullanım alanları semineri, T.Ç.M.B., 154-160
- Massazza, F., (1998). Pozzolana and pozzolanic cements, Lea's Chemistry of cement and concrete 4th ed., John Wiley & Sons Inc., New York, 471- 617.
- Meisenger, A.C., (1985). Diatomite, minerals facts and problems, United States Department of the Interior, 1-6.

- Meisenger, A. C., (2007). Minerals factsand problems, United States Department of theinterior, 249-254.
- Narayanan N., Ramamurthy K. (2000). Structure and properties of aerated concrete, A Review, *Cement and Concrete Composites*, **22**: 321-329
- Nuhoğlu, İ., Elmas, N.,(1999). Alayunt diyatomit yataklarının oluşumu ve ekonomik olarak incelenmesi, I.Batı Anadolu hammadde kaynaklan sempozyumu, TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası, İzmir, 82-95.
- Okan, A., (1978), Toplu konut üretiminde araştırma yaklaşımı, Mimarlık, 43.
- Okucu, A., (1998). Bigadiç ve Turnatepe (Balıkesir) yörelerindeki zeolitik ve perlitik tüflerin puzolanik özellikleri. Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Balıkesir, 1-54
- Okucu, A., (2004). Zeolitik tüflerin çimento katkı maddesi olarak değerlendirilmesi, Beton 2004 Kongresi, İstanbul, 682-687
- Othmer K., , John Wiley & Sons Inc., (2010). Encyclopedia of chemical technology
- Özbey, G. ve Atamer, N., (1987) Diatomit hakkında bazı bilgiler, 10. Türkiye Madencilik Bilimsel Teknik Kongresi, Ankara.
- Seeley, W., (1949) Industrial minerals and rocks, Second Edition, 294-312.
- Sersale, R., (2002) Aspect of chemistry of additions, advances in cement technology, Ghosh, S. N., Tech books international, New Delhi, 507- 631
- Serin, G., (1999) Pomzanın hafif beton blok duvar elemanı olarak kullanılmasının araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Shannag, M., (2000). High Strenght concrete containing natural pozzolan and silica fume, *Cem. & Conc. Comp.*, **22**; 399-406 .
- Şimşek, O., (2004) Beton ve beton teknolojisi, Seçkin Yayınevi, Ankara.
- Tokyay, M., Erdoğan, K., (1997). Cürüflar ve cürüflü çimentolar, Türkiye çimento müstahsilleri birliği, T.Ç.M.B./AR-GE/Y97.2, Ankara, 1-2 .
- Tokyay, M., Munlafalıoğlu, I., (1997). Evaluation of 1996 quality control data of Turkish portland-pozzolan cements, 1. International symposium on mineral admixtures in Cement, TCMA, İstanbul, 37-44.
- Topçu, İ.B., Altun, F., Arı, K., (2005). Kayseri yöresi hafif agrega özellikleri ve taşıyıcı beton üretimi, Türkiye Pomza Sempozyumu ve Sergi, Isparta.

- Topçu, İ. B., (2006). Beton teknolojisi, Uğur Ofset A.Ş., Eskişehir.
- TS 453, (1988). Gaz ve köpük beton yapı malzeme ve elemanları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 197-1, (2012). Çimento- Bölüm 1 : Genel çimentolar-bileşim, özellikler ve uygunluk kriterleri, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 91.100.10.
- TS EN 206- 1, (2002). Beton- Bölüm 1: Özellik, performans, imalat ve uygunluk, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Turanlı, L., (1995). Effects of Naturel Pozzolan addition on the properties of portland – pozzolan cement and the concrete made with those cements, Doktora Tezi, O.D.T.Ü., Ankara.
- Türkmenoğlu, A. G., Tankut, A., (2002). Use of tuffs from central Turkey as admixture in pozzolanic cements assessment of their petrographical properties., *Cem. And Conc. Res.*, **32**: 629-637.
- Ulus, H., (2006). Erzincan ve Nevşehir yöresi pomzalarının çimentolu sistemlerde kullanılabilirliği, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, Ankara.
- Urhan, S., (1991). Silisin alkali ortamda çözünmesine etki eden faktörler, *Türkiye çimento müstahsilleri birliği çimento bülteni*, **28**: 15-21.
- U.S. Geological Survey, (2011). Mineral Commodity summaries, Virginia, 52.
- Uygunoğlu, T., (2005). Afyon ve çevresindeki hafif agregalarla üretilen blok elemanların fiziksel ve mekanik özelliklerinin araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyon.
- Uygunoğlu, T., (2008). Hafif agregalı kendiliğinden yerleşen betonların özellikleri, Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Ün, H., (2007). PAÜ İnşaat mühendisliği bölümü yapı malzemeleri ders notları, Denizli.
- Ünal, O., (2004). Beton teknolojisi ve uygulamaları ders notları, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Yapı Eğitimi Bölümü, Afyon.
- Ünsal, N., (2001). İnşaat mühendisleri için Jeoloji, Gazi Üniversitesi Müh- Mim.Fak., Ankara.
- Ünverdi, A., (2006), Yüksek sıcaklık altında gazbeton kırıklı betonların dayanımlarının incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.

Yaşar, E., Atış, C. D., Kılıç, A. and Gülsen, H., (2003). Strength properties of lightweight concrete made with basaltic pumice and fly ash, Materials letters, 2267- 2270.

Yıldız, A., (1997). Seydiler (Afyon) Diyatomit cevherinin jeolojisi ve izolasyon tuğlası olarak kullanılabilirliğinin araştırılması, AKU, Fen Bil. Ens. Yuk. Lis. Tezi, Afyon.

Yeginobalı, A., (2001). Silis dumanı ve çimento ile betonda kullanımı, Türkiye çimento müstahsilleri birliği, T.Ç.M.B./AR-GE/01.01, Ankara, 1-3

### **6.1 İnternet Kaynakları**

1) [https://en.wikipedia.org/wiki/Autoclaved\\_aerated\\_concrete](https://en.wikipedia.org/wiki/Autoclaved_aerated_concrete). Eylül 2015

## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Erdal ÇALIŞKAN  
Doğum Yeri ve Tarihi : Kırcaali / 28.11.1987  
Yabancı Dili : İngilizce  
İletişim (Telefon/e-posta) :0536 369 7619 / caliskanerdal@ymail.com

### Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Bursa Yıldırım Beyazıt Lisesi - 2006  
Lisans : Afyon Kocatepe Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi  
Yapı Eğitimi Bölümü - 2012  
Yüksek Lisans : Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü  
İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı - 2015