

**EGE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**(YÜKSEK LİSANS TEZİ)**

**GAZBETON ÜRETİMİNDE MİNERAL KATKI  
KULLANIMI**

**Çağl İPEK BÜYÜKCAN**

**Tez Danışmanı: Doç. Dr. Gözde İNAN SEZER**

**İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Bilim Dalı Kodu:624.05.00**

**Sunuş Tarihi: 13.12.2018**

**Bornova-İZMİR**

**2018**



## Kabul ve Onay Sayfası

Çağıl İPEK BÜYÜKCAN tarafından Yüksek Lisans tezi olarak sunulan “GAZBETON ÜRETİMİNDE MİNERAL KATKI KULLANIMI” başlıklı bu çalışma E.Ü. Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği ile E.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Eğitim ve Öğretim Yönergesi'nin ilgili hükümleri uyarınca tarafımızdan değerlendirilerek savunmaya değer bulunmuş ve 13.12.2018 tarihinde yapılan tez savunma sınavında aday oybirliği/oyçokluğu ile başarılı bulunmuştur.

### Jüri Üyeleri:

### İmza

Jüri Başkanı

: Prof. Dr. Şemsi YAZICI

.....

Raportör Üye

: Doç. Dr. Kamile T. FELEKOĞLU

.....

Üye

: Doç. Dr. Gözde İ. SEZER

.....



## EGE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

### ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI

E.Ü. Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin ilgili hükümleri uyarınca Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “GAZBETON ÜRETİMİNDE MİNERAL KATKI KULLANIMI” başlıklı bu tezin kendi çalışmam olduğunu, sunduğum tüm sonuç, doküman, bilgi ve belgeleri bizzat ve bu tez çalışması kapsamında elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara atıf yaptığımı ve bunları kaynaklar listesinde usulüne uygun olarak verdiğimi, tez çalışması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını, bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya diğer bir üniversitede başka bir tez çalışması içinde sunmadığımı, bu tezin planlanmasından yazımına kadar bütün safhalarda bilimsel etik kurallarına uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul edeceğimi beyan ederim.

13/12/2018

Çağrı İPEK BÜYÜKCAN





**ÖZET****GAZBETON ÜRETİMİNDE MİNERAL KATKI KULLANIMI**

İPEK BÜYÜKCAN, Çağıl

Yüksek Lisans Tezi, İnşaat Mühendisliği Bölümü

Tez Yöneticisi: Doç. Dr. Gözde İNAN SEZER

Aralık, 2018, 63 sayfa

Enerji, çağımızın değişmeyen en önemli ihtiyacı olup, ekonomisinin önemi her geçen gün kendini daha da göstermektedir. Enerjinin israf edilerek kullanılması çevresel ve ekonomik problemleri de oluşturmaktadır. Ülkemizde enerji harcamalarının önemli bir kısmı ısıtma ile ilgilidir. Bu yüzden bu alanda sağlanacak verimlilik önemli faydalar getirecektir. Yapılarda enerji tasarrufu sağlamanın yollarından biri ısı geçirgenliği düşük olan duvar malzemesi kullanmaktır.

İlk kez 1920'lerin sonlarında İsveç'te geliştirilmiş bir yapı malzemesi olan "Gazbeton", çimento, ince öğütülmüş silisli kum, alçıtaşı ve kireç gibi doğal hammaddelerden oluşan karışıma gözenek oluşturuca alüminyum eklenerek özel koşullarda elde edilen hafif bir betondur. Gazbeton gözenekli yapısı ile ısı yalıtımı, hafifliği sayesinde deprem esnasında (deprem yüklerini azaltmasıyla) yapı güvenliği, yanmazlığı (A1 sınıfı) ile yangın güvenliği sağlayan dayanıklı bir yapı malzemesidir.

Bu çalışmada, gazbeton üretiminde uçucu kül, silis dumanı ve yüksek fırın cürufunun hammadde olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır. Gazbetonu oluşturan temel malzemelerin yanısıra çimentonun bir kısmı yerine %3, 6, 9, 12 ve 15 oranlarında uçucu kül, silis dumanı, yüksek fırın cürufunun ilave edilmesiyle farklı karışımlar elde edilmiştir. Toplam 16 farklı karışım hazırlanmıştır. Hazırlanan örneklere ortalama 8 saat süre ile 12 bar basınçlı otoklav kürü uygulanmıştır. Deney örneklerinin bazı fiziksel ve mekanik özellikleri incelenmiştir. Ayrıca seçilen örnekler üzerinde mikroyapı incelemeleri de gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir.

**Anahtar Sözcükler:** Gazbeton, uçucu kül, silis dumanı, yüksek fırın cürufu.





**ABSTRACT****USAGE MINERAL ADDITIVE AT PRODUCTION OF AUTOCLAVED  
AERATED CONCRETE**

İPEK BÜYÜKCAN, Çağıl

Graduate Thesis, Civil Engineering Department

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Gözde İNAN SEZER

December 2018, 63 pages

Energy is the unchangeable need of these days, and the importance of the energy economy shows itself every day. Wasting energy also creates environmental and economic problems. A significant part of our countrys wastage of energy is related to heating. Therefore, the productivity that will be provided in this area will bring significant benefits. One way to save energy on buildings is to use wall materials with low thermal conductivity.

"Autoclaved aerated concrete (AAC)", a building material developed in Sweden in the late 1920s is a lightweight concrete that is produced under special conditions by adding mix, pore-forming aluminum, which consists of natural raw materials such as cement, silica sand, gypsum and lime. AAC is a durable construction material that provides fire safety with fire resistance (A1 class), building safety by lightness (by reducing earthquake loads) and thermal insulation by its porous structure.

In this study, the use of fly ash, silica fume and blast furnace slag as raw material in the production of AAC has been investigated. In addition to the basic materials that compose AAC, varied mixtures were obtained by adding fly ash, silica fume, blast furnace slag in proportions of 3, 6, 9, 12 and 15% instead of a part of cement. A total of 16 varied mixtures were prepared. Experimental samples were cured in an autoclave at a pressure of 12 bar for an average of 8 hours. Some physical and mechanical properties of the test specimens have been investigated. Microstructure studies were also carried out on selected samples. The results obtained were evaluated comparatively.

**Keywords:** AAC, fly ash, silica fume, blast furnace slag.



## TEŞEKKÜR

Bu alıŐma sűresince emeĐi geen herkese, özellikle kıymetli grűŐlerinden yararlandıĐım ve yakın ilgisini esirgemeyen, deĐerli katkılarını aldıĐım tez yneticim sayın danıŐmanım Do. Dr. Gzde İNAN SEZER'e, laboratuvar deneylerinde verdikleri bilgi, katkı ve desteklerden dolayı AKG Arge Laboratuvarı çalıŐanlarına ve tez yazımında yardımlarından dolayı eŐim Cenk Bűyűkcan'a teŐekkűrű bir borç bilirim.





**İÇİNDEKİLER**

	<u>Sayfa</u>
ÖZET.....	vii
ABSTRACT.....	ix
TEŞEKKÜR.....	xi
TABLolar DİZİNİ.....	xvii
TABLolar DİZİNİ (devam).....	xviii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xix
ŞEKİLLER DİZİNİ (devam).....	xx
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Amaç ve Kapsam.....	2
2. LİTERATÜR TARAMASI.....	3
3. GAZBETON HAMMADDELERİ, ÜRETİM TEKNİĞİ VE ÖZELLİKLERİ.....	11
3.1 Hammaddeler.....	11
3.1. Kuvarsit ve alçıtaşı.....	11
3.1.2 Kum çamuru.....	12
3.1.3 Sönmemiş kireç.....	12
3.1.4 Çimento.....	13
3.1.5 Alüminyum süspansiyonu.....	13

**İÇİNDEKİLER (devam)**

	<u>Sayfa</u>
3.1.6 Atık çamur.....	13
3.2 Karışım Hazırlanması ve Gazbeton Üretimi .....	13
3.3 Gazbetonun Özellikleri.....	16
3.3.1 Gazbetonun fiziksel özellikleri.....	16
3.3.2 Gazbetonun kimyasal özellikleri .....	18
4. ÇALIŞMADA KULLANILAN PUZOLONİK KATKILAR .....	21
4.1 Uçucu Kül.....	22
4.2 Silis Dumanı .....	25
4.3 Yüksek Fırın Cürufu.....	27
5 MATERYAL VE METOT.....	29
5.1 Kullanılan Malzemeler .....	29
5.1.1 Çimento .....	29
5.1.3 Uçucu Kül.....	30
5.1.4 Silis Dumanı .....	31
5.1.5 Yüksek Fırın Cürufu.....	31
5.1.6 Alçı .....	32
5.2. Karışımların Hazırlanması, Dökümü ve Kürü .....	33

**İÇİNDEKİLER (devam)**

	<u>Sayfa</u>
5.3. Uygulanan Deneyler .....	35
5.3.1. Basınç Dayanımı Belirlenmesi.....	35
5.3.2. Kuru Birim Hacim Ağırlıkların Belirlenmesi .....	35
5.3.3. Isıl Özelliklerin Belirlenmesi .....	35
5.3.4. Kapiler Su Emme Testi .....	36
5.3.5. Mikroyapı incelemeleri.....	37
6. DENEY SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRİLMESİ .....	39
6.1. Birim Hacim Ağırlık Deney Sonuçları .....	39
6.2. Basınç Dayanımı Deney Sonuçları .....	41
6.3. Isıl İletkenlik deney sonuçları .....	43
6.4. Kapiler Su Emme Deney Sonuçları .....	44
6.5. Birim hacim ağırlık-basınç dayanımı ve kapiler su emme ilişkisi.....	45
6.6 Mikroyapı Özellikleri.....	47
7. SONUÇLAR .....	53
KAYNAKLAR DİZİNİ.....	55
ÖZGEÇMİŞ .....	63





**TABLolar DİZİNİ**

<u>Tablo</u>	<u>Sayfa</u>
3.1 Örnek kuvarsit kimyasal özellikleri.....	12
3.2 Gazbetonun çeşitli birim hacim ağırlıkları için porozite oranları.....	17
3.3 Kuru birim hacim ağırlık ve ısı iletkenlik değerleri .....	17
3.4 Gazbeton sınıfları, birim hacim ağırlık ve basınç dayanımı değerleri.....	19
4.1 ASTM C 618'e göre uçucu küllerin sınıflandırılması (Erdoğan 2003, Ünver 2007).....	23
4.2 Ürünlerin incelik değerleri.....	26
5.1 Kullanılan çimentonun özellikleri .....	29
5.2 Kullanılan kuvarsitin kimyasal özellikleri.....	30
5.3 Uçucu külün kimyasal ve fiziksel özellikleri.....	30
5.4 Silis dumanı bileşenleri.....	31
5.5 Yüksek fırın cürufu özellikleri.....	31
5.6 Kullanılan alçının kimyasal özellikleri .....	32
5.7 Kullanılan kirecin kimyasal ve fiziksel özellikleri .....	32
5.8 Karışım Oranları (kg/m <sup>3</sup> ).....	33
6.1 Birim hacim ağırlık deney sonuçları.....	39
6.2 Örneklerin rölatif basınç dayanım değerleri .....	42
6.3 Örneklerin ısı iletkenlik değerleri.....	43

**TABLolar DİZİNİ (devam)**

Tablo

Sayfa

6.4 Örneklerin 90 dk. sonunda kapiler su emme değerleri .....45



**ŞEKİLLER DİZİNİ**

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
3.1.Gazbeton hammaddeleri .....	11
3.2 Gazbeton hammaddelerinin döküm sırası ve karışım süreleri.....	14
3.3. Gazbeton üretim aşamaları .....	16
4.1 Silis dumanının a) tarayan, b) geçirgen ışıklı elektron mikroskoplarla çekilmiş resimleri .....	26
5.1 Karışımın kalıplara dökümü .....	34
5.2 Kür sonrası sertlik kontrolü .....	34
5.3 Gazbeton plakalar .....	35
5.4 Isı iletkenliği ölçüm cihazı.....	36
6.1 Örneklerin birim hacim ağırlık değerleri (kg/m <sup>3</sup> ).....	40
6.2 Örneklerin basınç dayanım değerleri.....	41
6.3 Örneklerin basınç dayanım-birim hacim ağırlık ilişkisi .....	45
6.4 Örneklerin kapiler su emme-birim hacim ağırlık ilişkisi.....	46
6.5 Kontrol numunesinin SEM görüntüsü .....	48
6.6 1 noktasının EDS analizi .....	48
6.7 %15 Küllü numunenin SEM görüntüsü.....	49
6.8 1 noktasının EDS analizi .....	49
6.9 %15 Yüksek fırın cürufu numunenin SEM görüntüsü .....	50

**ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)**

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
6.10 1 noktasının EDS analizi.....	50
6.11 %15 Silis dumanlı numunenin SEM görüntüsü.....	51
6.12 1 noktasının EDS analizi.....	51



## 1.GİRİŞ

Gazbeton, ince öğütölmüş silisli bir agrega ve inorganik bağlayıcılar (kireç ve çimento) ile hazırlanan karışımın, gözenek oluşturucu bir madde ilavesi (alüminyum) ile hafifletilmesi ve buhar kürü ile sertleştirilmesi ile elde edilen hafif bir yapı malzemesidir.

Gözenekli yapısı sayesinde üstün ısı yalıtımı sağlamaktadır. Yeterli basınç dayanımına ve yangın direncine sahiptir. Bunların yanısıra hafif bir malzeme olmasından dolayı yapıdaki deprem yüklerini azalttığı için depreme de dayanıklı bir yapı malzemesidir. Üstün özellikleri sayesinde gazbeton, tek ve çok katlı konutlarda, sosyal ve turistik tesislerde, ticaret ve sanayi yapılarında sağladığı ekonomi, kalite, konfor ve hız nedeniyle tercih edilmektedir.

Tarihsel olarak bakıldığında, gazbeton yapı malzemesinin 19. yüzyılın sonlarına doğru geliştirildiği görölmektedir. 1877'deki ilk denemelerde Zernikow, kireç ve kumdan oluşan harcı, yüksek basınç altında su buharıyla kürlemeye çalışmış ancak elde edilen malzemenin mukavemetinin oldukça düşük çıktığını tespit etmiştir. Daha sonraki bir denemede Michaelis, kireç-kum-harç karışımını yüksek buhar basıncı altında sertleştirerek kalsiyumhidrosilikatlara dönüştürmeyi başarmıştır. 1880 yılında buhar basıncı altında sertleştirme yöntemiyle yapı malzemesi elde etme yöntemine patent almıştır. 1889 yılında ise E. Hoffman malzemenin sertleşmeden önce kabarması sırasında gözenekli hale gelmesini sağlamış ve bu yönteme patent almıştır (Türk Ytong Kitabı).

Birinci Dünya Savaşı yıllarında enerji sıkıntısı baş gösterdiğinden, İsveçli bilim adamları 1918 yılından itibaren yeni bir malzeme üzerinde çalışmaya başlamışlardır. O dönemde İsveç yönetimi, ülke kaynaklarının kısıtlı olması nedeniyle, yapı malzemelerinin ısı özellikleriyle ilgili şartnameleri katılaştırmıştır. Bu düzenlemelerle amaçlanan, ısı iletkenlik katsayısı düşük yapı malzemelerinin düşük enerji maliyetleriyle üretilmesi olmuştur. Ayrıca malzemenin uzun ömürlü, yanmaz ve kolay işlenebilir olması da malzemedan beklenen diğer önemli özelliklerden olmuştur. 1923 yılında, İsveçli Dr. Johan Axel Eriksson ilk kez gazbeton elde etmeyi başarmıştır. Bu buluşuna bir yıl sonra patent almıştır. 1929

yılında, İsveçliler ‘Ytong’ markası ile gazbetonun ilk seri üretimini gerçekleştirmişlerdir (Türk Ytong Kitabı).

## **1.1 Amaç ve Kapsam**

Bu çalışmada; gazbeton üretiminde ana bağlayıcı hammadde olarak kullanılan çimentonun yerine belirli oranlarla çeşitli mineral katkıları ikame edilerek, bazı fiziksel ve mekanik özelliklerinin incelenmesi, elde edilen sonuçlarının mikroyapı görüntüleri ile desteklenmesi ve optimum katkı miktarlarının tespit edilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla, G2/350 sınıfı standart gazbeton karışımında çimentonun %3, 6, 9, 12 ve 15’i yerine uçucu kül, silis dumanı ve yüksek fırın cürufu ikame edilerek katkı içermeyen kontrol karışımı ile birlikte toplam 16 adet karışım oluşturulmuştur. Hazırlanan karışımlarla üretilen gazbeton numunelerinin basınç dayanımları, birim hacim ağırlıkları, kapiler su emmeleri, ısı iletkenlikleri ve mineral katkıların mikro yapı özelliklerine etkisi incelenmiştir.

## 2. LİTERATÜR TARAMASI

Kurama vd. (2009), gazbeton üretiminde atık taban külünün agrega olarak kullanımının uygunluğunu incelemişlerdir. Atık taban külünü %25, 50, 75 ve 100 oranlarında ikame ederek agrega olarak kullanmışlardır. Farklı oranlarda eklenen taban külünün kimyasal, mekanik, fiziksel ve mikroyapı özelliklerine etkisini deneysel olarak araştırmışlardır. Elde edilen sonuçlara göre tüm gazbeton örneklerinde birim ağırlıkların düştüğünü tespit etmişlerdir. Ancak dayanım açısından değerlendirildiğinde, %25 ve %50 oranlarında atık taban külü içeren örneklerde basınç dayanımını faydalı yönde etkilediğini görmüşlerdir. Ayrıca atık taban külünün kullanım oranının artırılması ile ısı iletkenlik değerlerinin azaldığını belirtmişlerdir.

Wongkeo and Chaipanich (2010), atık taban külü ve silis dumanı içeren düşük yoğunluklu gazbetonların, basınç dayanımı, mikro yapısı ve termal iletkenliklerini araştırmışlardır. Karışımlarda çimento yerine %10, 20 ve 30 oranlarında atık taban külü ile %2.5 ve 5 oranlarında silis dumanı kullanmışlardır. Hazırlanan örnekleri, ayrı ayrı havada (28 gün) ve otoklavda (6 saat) kürlenmeye tabi tutmuşlardır. Elde ettikleri sonuçlara göre, atık taban külü kullanılmış örneklerde otoklav küreneye tabi tutulmuş numuneler ile havada küre edilmiş numunelerin basınç dayanımlarının benzer çıktığını gözlemlemişlerdir. Ancak karışıma silis dumanı eklendiğinde basınç dayanımının yükseldiğini belirtmişlerdir. %20 oranında atık taban külü ile %5 oranında silis dumanının kullanıldığı karışımların basınç dayanımlarının en yüksek değeri verdiğini tespit etmişlerdir. Her iki kürlenme şeklinde de atık taban külü ve silis dumanı içeren tüm numunelerin termal iletkenliklerinin kontrol numunelerinden daha yüksek olduğunu vurgulamışlardır.

Çelik (2005), gazbeton üretiminde uçucu külün kullanılabilirliğini araştırmıştır. Gazbeton üretiminde kullanılan çimento yerine; %0, 5, 10, 15, 20, 25 ve 30 oranlarında uçucu kül ikame ederek farklı gazbeton numuneleri elde etmiştir. Bu numuneler üzerinde fiziksel ve mekanik deneyler ile mikroyapı analizlerini gerçekleştirmiştir. Elde ettiği sonuçlara göre, G2 sınıfı gazbeton üretiminde %15 oranında uçucu külün, G1 sınıfı gazbeton üretiminde ise %30 oranında uçucu külün katkı olarak kullanılabileceğini tespit etmiştir.

Albayrak vd. (2007), zeolitin gazbetonun mekanik özellikleri üzerine olan etkisini araştırmışlardır. Zeoliti gazbeton karışımlarında kuvars yerine ikame ederek kullanmışlardır. Hazırladıkları örneklerin yoğunluk, basınç dayanımı ve termal iletkenlik özelliklerini XRD ve termal analiz yöntemlerini kullanarak araştırmışlardır. Araştırmanın sonuçlarına göre, zeolit içermeyen gazbetonun tobermorit, kuvars ve anhidrit fazlarından oluştuğunu, zeolit katkılı örneklerin ise, tobermorit ve kuvarsın yanında reaktif olmayan anhidrit ve klinoptilolite fazlarını da içerdiğini tespit etmişlerdir. Zeolit katkılı örneklerin XRD analizlerinde, 700-1000 °C'de volastonit, gehlenit ve ortoklaz fazlarının bulunduğunu gözlemlemişlerdir. Ayrıca zeolit katkılı gazbeton örneklerinin termal iletkenliklerinde de önemli ölçüde düştüğünü tespit etmişlerdir.

Mostafa (2005), gazbeton üretiminde kullanılan kireç ve kum yerine hava ile soğutulmuş cüruf araştırmıştır. Cüruf % 10, 20, 30 ve 50 oranlarında kullanılmıştır. Örnekler 2, 6, 12 ve 24 saat 8 barlık basınç altında kürlenmiştir. Kürlenmiş numunelerin basınç dayanımları ölçülmüş, SEM/EDX ve XRD analizleri yapılmıştır. Yapılan incelemeler sonucunda, %50 oranında cüruf kullanımının basınç dayanımını arttırdığını tespit etmiştir. Özellikle de 2 ve 6 saatlik kısa kür sürelerinde optimum dayanımın; %50 ve %30 cüruf ile hazırlanan karışımlarda elde edildiğini vurgulamıştır. Yüksek kireçli karışımlarda (%25 CaO) %30 oranına kadar cüruf içeren karışımlarda kalsiyumca zengin lifli CSH oluşumunun iğnemsisi ve kafesimsi tobermorit ile yer değiştirdiğini tespit etmiştir. Düşük kireçli karışımlarda ise (%10 CaO) cüruf ikamesiyle silisyum yönünden zengin CSH etrafında kuvars parçacıkları bulunduğunu gözlemlemiştir.

Kus and Carlsson (2003), kimyasal bozunmadan dolayı gazbetonda oluşabilecek mikroyapısal değişimleri araştırmışlardır. Doğal ve suni şekilde havalandırılan gazbetonun karbonatlaşma sürecini spektrografik ve mikroskopik analizlerle incelemişlerdir. Görsel incelemeleri optik mikroskop ve SEM ile, kimyasal ve yapısal analizleri ise XRD ve EDS ile gerçekleştirmişlerdir. Doğal havalandırılan numuneleri, 6, 18, 36 ay süre ile doğal iklim şartlarına maruz bırakırken, yapay havalandırılan numuneleri ise ışık ile su spreyine maruz bırakmışlardır. Araştırma sonunda hem doğal hem de yapay olarak havalandırılmış örneklerin mineralojik değişiklikler bakımından benzer özellikler gösterdiklerini,



sunî havalandırma yapılan numunelerde daha fazla fiziksel bozunma oluştuğunu tespit etmişlerdir.

Özgenç ve Sarısözen (1999), G2/04 sınıfı gazbeton üretiminde kuvars yerine belirli oranlarda perlit kullanımını araştırmışlardır. Öğütülmüş kuvars yerine %20, 30, 40, 50, 60 ve 80 oranlarında ham perlit kullanarak oluşturdukları numuneler üzerinde basınç dayanımı ve rötre deneylerini gerçekleştirmişlerdir. Araştırma sonucunda bu sınıfta kullanılacak en uygun ham perlit oranının %30 olduğunu tespit etmişlerdir.

Ünverdi (2006), kırıklı gazbetonları geri dönüştürmek amacıyla %0, 25, 50 ve 75 oranında gazbeton kırığı ile kırma kireçtaşı ikame edilerek farklı beton örnekleri hazırlamıştır. Hazırladıkları örnekleri 300, 600 ve 900 °C'lik sıcaklıklara tabi tutarak, tahribatlı ve tahribatsız deneyler yapmıştır. Elde edilen sonuçlara göre beton karışımında agrega olarak belirli oranlarda kullanılan gazbeton atığının, yüksek sıcaklığın beton üzerindeki olumsuz etkilerini azalttığını tespit etmiştir.

Topçu vd. (2005), gazbeton kırıklarının agrega olarak belirli oranlarda beton üretiminde kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Çalışmalarında 4-16 ve 16-32 mm tane boyutundaki agreganın yerine %0, 50 ve 100 oranlarında gazbeton kırıkları kullanarak beton numuneleri elde etmişlerdir. Elde edilen beton numunelerinin bazı mekanik ve fiziksel özelliklerini belirlemişler ve yeterli dayanıma sahip betonların üretilip üretilmeyeceğini araştırmışlardır. Araştırma sonucunda beton üretiminde agrega yerine gazbeton kırıklarının kullanılmasıyla beton dayanımlarında ve birim ağırlıklarında düşme olduğunu tespit etmişlerdir.

Laukaitis vd. (2009), gazbeton üretimine %0.1-%0.4 oranları arasında karbon, polipropilen, bazalt ve kaolin liflerinin katkı olarak kullanımının gazbeton özellikleri üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Kullanılan liflerin gazbetonun eğilme ve basınç dayanımlarını arttırdığını gözlemlemişlerdir. Ayrıca lif ilavesinin gazbetonun kabarmasını ve akışkanlığını azalttığını tespit etmişlerdir.

Ramamurthy and Narayanan (2000), otoklav kürü yapılmış ve yapılmamış farklı gazbeton numunelerinde kompozisyonun kuruma büzülmesine etkisini

araştırmışlardır. Çalışmada kireç-çimento oranının (0-1 arasında 0.25 artışla) ve kum yerine uçucu kül kullanımının (%0-100 arasında %20 artışla) etkilerini incelemişlerdir. Araştırma sonucunda, kireç-çimento oranının ve uçucu kül içeriğinin artmasıyla numunelerin kuruma büzülmesinin de arttırdığını tespit etmişlerdir. Otoklav kürü yapılan numunelerde yapılmayanlara göre kuruma büzülmesinde ciddi oranda azalma elde etmişlerdir.

Hauser vd. (1999), yüksek ve düşük kireç içeren uçucu küllerin, gazbeton üretiminde kireç yerine kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Araştırma sonucunda, yüksek kireçli uçucu kül kullanımı yüksek basınç dayanımına sahip gazbeton elde edilebileceği sonucuna varmışlardır. Ancak yüksek uçucu kül kullanım oranlarında, kalsiyum silikat hidrat fazlarının oluşumunun geciktiğini, mukavemette düşüş, büzülmede ise artış yarattığını vurgulamışlardır. Düşük kireç içeren uçucu külün ise pratikte kullanıma uygun olmadığı sonucuna varmışlardır.

Laukaitis and Fiks (2006), çalışmalarında gazbetonun akustik kalitesini araştırmışlardır. Gazbetonun akustik özelliklerinin, malzemenin hava geçirgenliğine ve porozitesine dayandığını belirtmişlerdir. Gazbeton örneklerinin ses emme katsayısını belirlemek için akustik girişim ölçer yardımıyla deneyler gerçekleştirilmişlerdir. Deneyler sonucunda yoğunluğu 250-500 kg/m<sup>3</sup> arasında değişen örneklerin porozitesine ve hava geçirgenliğine bağlı olarak ses emme katsayısının tahmini için regresyon denklemi önermişlerdir.

Ying-Liang Chen vd. (2017) hammadde karışımının, gözenek oluşturucunun miktarının, katı madde oranının, buhar basıncının ve kürleme süresinin gazbeton özellikleri üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Gazbeton örneklerinin yoğunluğunu, basınç dayanımını ve mikroyapılarını incelemişlerdir. Bu amaçla XRD, civalı porozimetre ve termal analizler kullanmışlardır. Gazbetonun yoğunluğunun eklenecek alüminyum tozu miktarı ve katı madde oranı tarafından etkilendiği gözlemlenmiştir. Çimento miktarındaki artışın, basınç dayanımının artışında herhangi bir fayda sağlamadığını ancak otoklavda kürleme işleminin basınç dayanımını büyük ölçüde arttırdığını vurgulamışlardır. İstenen basınç dayanımını sağlamada buhar basıncının artırılması ile kür süresinin

azaltılabileceğini, bunun aksine düşük buhar basıncında ise kür süresinin arttırılabileceğini belirtmişlerdir.

Drochytkaa and Helanová (2015), çalışmalarında farklı uçucu kül içeren gazbeton örneklerinin 2 yıl sonundaki fiziksel, mekanik ve mikroyapı özelliklerini araştırmışlardır. Gazbeton mikroyapısını SEM görüntüleri ile ve mineralojik bileşimini ise X-ray analizleri değerlendirilmiştir. Uçucu küllü gazbetonunun basınç dayanımı, yoğunluğu ve ısı iletkenlik katsayısının zaman içindeki değişimlerini incelemişlerdir. 2 yıl sonunda hemen hemen tüm örneklerde yoğunluğun az oranda yükseldiğini, basınç dayanımının azaldığını vurgulamışlardır. Termal iletkenliğin ise değişmediğini belirtmişlerdir. Mikroyapı incelemeleri sonucunda tüm örneklerde etrenjit ve kalsit oluşumunun varolduğu tespit edilmiştir. Ancak uçucu kül tipine bağlı olarak tobermorit içeriklerinin farklı olduğu sonucuna varmışlardır.

Rózycka and Pichór (2016) çalışmalarında, geliştirilmiş perlit kullanımının gazbeton özellikleri üzerindeki etkisi araştırmışlardır. Gazbeton karışımlarında geliştirilmiş perlit kuvars kumu yerine %5, 10, 20, 30 ve 40 oranlarında kullanmışlardır. Elde ettikleri sonuçlara göre, geliştirilmiş perlit kullanımının gazbetonlarda birim hacim ağırlık düşüşüne neden olduğunu gözlemlemişlerdir. Gazbetonda kullanılan geliştirilmiş perlitin kullanım oranı arttıkça ısı iletkenlik katsayılarının ve basınç dayanımlarının azaldığını tespit etmişlerdir. %10'a kadar perlit ilavesinin basınç dayanımlarında kayda değer bir düşüş yaratmadığını, ısı iletkenlikleri ise %15 civarında düşürdüğünü vurgulamışlardır. Daha yüksek oranlarda perlit kullanımının ısı iletkenliklerde daha da iyileştirme yarattığını ancak basınç dayanımlarında %20 civarında kayıba sebep olduğunu belirtmişlerdir.

Cai vd. (2016) demir atıklarından gazbeton üretiminde kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Demir atıklarını kumun %0, 20, 40, 50, 60, 80, 100'ü yerine kullanmışlardır. Hazırladıkları gazbeton örneklerinin yoğunluğu ve basınç dayanımı belirlemişlerdir. Bunun yanısıra demir atığı içeren gazbetonların hidratasyon özelliklerini de değerlendirebilmek için ürünlerin morfolojisini, mineral bileşenlerini, termal özelliklerini ve kristal özelliklerini analiz etmişlerdir. Araştırma sonucunda gazbetonda demir atığı kullanım oranının artmasının mekanik

özellikleri olumsuz etkilediğini ancak kullanılan demir atığının inceliğinin arttırılmasının dayanımı oldukça iyileştirdiğini gözlemlemişlerdir. Gazbeton ürünlerindeki ana minerallerin C-S-H jeli, tobermorit, anhidrit, hidrojen ve demir oksit ile beyaz mika, kuvars ve kalsit içeren bazı artık mineraller olduğunu tespit etmişlerdir. Gazbeton üretiminde demir atığı kullanım oranının artmasıyla kalsiyum silikat hidrat miktarının da azaldığını vurgulamışlardır.

Wanga vd. (2016) çalışmalarında kömür atığı ve demir cevheri atıkları kullanarak yeni bir tip gazbeton geliştirmeyi amaçlamışlardır. Malzeme kompozisyonunu, kömür atığı kalsinasyon sıcaklıklarını ve hidrasyon ürünlerinin kompozisyonunu, diferansiyel tarama kalorimetrisi, termogravimetrik analiz, X-ışını kırınımı ve taramalı elektron mikroskobu kullanılarak analiz etmişlerdir. Optimum termal aktivasyon sıcaklıklarını ve kalsine kömür atığının aktivasyon mekanizmalarını da incelemişlerdir. Araştırma sonucunda, kömür atığının optimum kalsinasyon sıcaklığının yaklaşık 600 °C olduğunu tespit etmişlerdir. Gazbeton örneklerinin yoğunluğu ve basınç dayanımını, sırasıyla yaklaşık olarak 609 kg/m<sup>3</sup> ve 3.68 MPa olarak gözlemlemişlerdir. Bu değerlerin gerekli sınırlar içinde kaldığını vurgulamışlardır. Otoklavlamadan önce kömür ve demir atığı içeren gazbeton örnekleri içindeki hidrasyon ürünlerinin tobermorit, hibschite, etrenjit ve C-S-H jeli olduğunu; otoklavlama sırasında, etrenjitin ayrıştığını ve daha fazla tobermorit oluşturduğunu vurgulamışlardır.

Qu and Zhao (2017) çalışmalarında gazbeton üzerine yazılmış literatürleri, gazbetona ilave edilen malzemeler (özellikle endüstriyel atıklar ve katkı maddeleri), hazırlama, mikroyapı ve ana özellikler (yoğunluk, kuruma büzülmesi, mekanik özellikler, anizotropi, ısı yalıtımı ve dayanıklılık) açısından incelemişlerdir. İnceleme sonucunda, (i) Gazbeton karışımının kıvamı ile boşluk oranı arasındaki uyum; (ii) boşluk bağlantıları ve ısı yalıtımı arasındaki ilişki; (iii) dayanıklılığı daha iyi hale getirmek için önlemler konularının araştırılmasının acil gereksinim duyulduğunu belirtmişlerdir.

Yuan vd. (2017) çalışmalarında, gazbeton üretiminde sodyum karbonatla aktifleştirilmiş çürüfun çimento ile tamamen ikame edilmesinin uygunluğunu araştırmışlardır. Elde edilen ürünü mekanik özellikler, porozite, termal iletkenlik,

büzülme ve reaksiyon ürünleri açısından değerlendirmişlerdir. Sonuçta, alkali ile aktifleştirilmiş çüruf içeren gazbeton, çimento esaslı gazbeton örnekleriyle karşılaştırıldığında %25 basınç dayanımı düşüşüne, %18' yoğunluk artışına, %13 ısı iletkenliği artışına, %5 gözeneklilik düşüşüne ve %5.5 kuruma büzülmesi artışına neden olduğunu tespit etmişlerdir. Ayrıca üretim maliyetinde, enerji tüketiminde ve CO<sub>2</sub> emisyonunda önemli düşüşler öngörülmüştür.

Ma vd. (2016) çalışmalarında Çinde büyük miktarda demir atıklarının stoklandığını göz önüne alarak, demir atıkları (%40-60 oranında) ile gazbeton üretimi için en uygun üretim koşullarını incelemişlerdir. Hazırlanan örneklerde gerekli dayanım kriterlerini sağlayıp sağlamadığını araştırmışlardır. Ayrıca gazbeton örneklerinin mineral kompozisyonunu belirlemek için morfoloji, mineral bileşen ve termal özellik analizleri yapmışlardır. Çalışma sonucunda demir atığı içeren örneklerin yoğunluğunun ve basınç dayanımının gerekli sınırlar içinde kaldığını vurgulamışlardır. Gazbeton örneklerindeki ana minerallerin C-S-H jeli ve tobermorit olduğunu bunların yanısıra kuvars ve demir atığından gelen diğer kalıntıların olduğunu tespit etmişlerdir.

Li vd. (2018) çalışmalarında gazbeton üretiminde kuvars kumu yerine taban külünün kullanılabilirliğini değerlendirmişlerdir. Taban külü kullanım oranının (%20, 40, 60, 80, 100) ve inceliğinin gazbetonun fiziksel-mekanik özellikleri ve mikroyapısı üzerindeki etkisini araştırılmışlardır. Çalışma sonucunda taban külü kullanımının gazbetonun gaz çıkış süresini, basınç dayanımını, yoğunluğunu ve termal iletkenliğini azaltabileceğini gözlemlemişlerdir. Ayrıca, taban külünün inceliğinin artmasıyla gazbetonun basınç dayanımı ve yoğunluğunun da arttığını vurgulamışlardır. Kontrol numunesinde bulunan iğnemsî tobermoritin taban külü kullanım oranı %40'a çıktığında plaka benzeri tobermorite dönüştüğünü, %100 taban külü içeren örneklerde pamuksu C-S-H yapısının oluştuğunu tespit etmişlerdir.

Garbalińska vd. (2018) çalışmalarında, etkili nem yayılımı ve nem konsantrasyonu arasındaki ilişkiyi belirlemek için yeni bir hesaplama tekniğinin kullanılabilirliğini değerlendirmişlerdir. Model olarak yoğunlukları farklı dört çeşit gazbeton seçmişlerdir. Farklı kuruma süreleri olan numuneler için kuruma

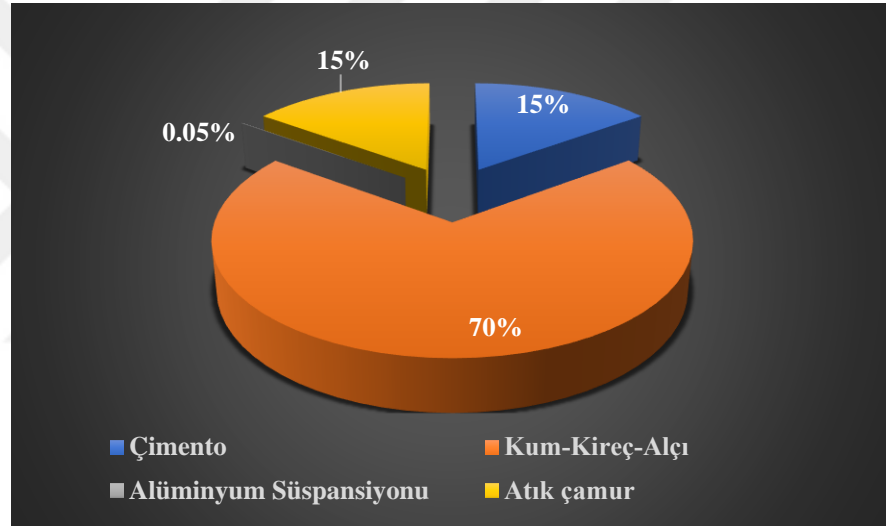
eğrilerini ve nem dağılımını deneysel olarak belirlenmişlerdir. Elde edilen sonuçları, difüzyon katsayısını tahmin etmek için kullanmışlardır. Difüzyon katsayısının, düşük nem aralıklarında nem içeriğine bağlı olarak azaldığını tespit etmişlerdir. Ayrıca, test edilen numunelerden yoğunluğu en yüksek olanının etkin difüzivitesinin en düşük olduğu sonucuna varmışlardır.

Pehlivanlı vd. (2016) çalışmalarında gazbetonda polipropilen, karbon, bazalt ve cam lif kullanımının basınç ve eğilme dayanımı ile termik iletkenlik değerlerine etkilerini araştırmışlardır. Gazbeton üretiminde kullanılan lifleri hacimsel olarak eşit miktarlarda agrega ile ikame etmişlerdir. Deneysel çalışma sonucunda, lif kullanılmış gazbetonun ısı iletkenliğinin, ikame edilmiş liflerin ısı iletkenliği ile doğrusal olarak değiştiğini belirtmişlerdir. Bazalt lif içeren gazbetonun en yüksek termal iletkenliği sağladığını tespit etmişlerdir. En iyi basınç ve eğilme dayanımını ise karbon lif içeren örneklerde gözlemlemişlerdir.

### 3. GAZBETON HAMMADDELERİ, ÜRETİM TEKNİĞİ VE ÖZELLİKLERİ

#### 3.1 Hammaddeler

Şekil 3.1. de görüldüğü gibi gazbeton üretiminde temel olarak sönmemiş kireç, portland çimentosu, kuvarsit, alçıtaşı, alüminyum süspansiyonu ve su kullanılmaktadır. Bu malzemelerin kullanılmasına ilişkin özellikler sırasıyla aşağıda belirtilmiştir.



Şekil 3.1. Gazbeton hammaddeleri

#### 3.1.1 Kuvarsit ve alçıtaşı:

Kuvarsit gazbeton üretiminde aktif dolgu malzemesi olarak adlandırılmaktadır. Bu şekilde adlandırılmasının nedeni, aktifliği içerdiği silisin ( $\text{SiO}_2$ ) sertleştirme sırasında hidrotermal bir dizi reaksiyon sonucu ortamdaki kalsiyum oksit ve su ile yeni bileşikler oluşturmasından kaynaklanmaktadır (Özgün, 1998).

Gazbeton üretiminde kullanılan kuvarsit, kum, kum taşı doğada mevcut silikat içeren kayalardan birkaç tanesidir.

Mohs sertlik derecesine göre sertliği 7, özgül ağırlığı 2.60- 2.65 arasında, çeşitli renklerde, kolay kırılır, kırılma yüzeyi midye kabuğu veya yongamsı şekillidir.

Gazbeton üretimine uygun olan örnek kuvarsit-kum-kum taşının kimyasal bileşimi Tablo 3.1.'de verilmiştir.

Tablo 3.1 Örnek kuvarsit kimyasal özellikleri

SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O
Min %80	Min %3	Max %4	Max %15	Max %2	Max %1	Max %1

Kuvarsit ve alçıtaşı kırma tesislerinde ayrı ayrı parçalanarak yaklaşık 1 cm boyutlarına ulaştıktan sonra bir araya gelerek bilyalı değirmene alınmaktadır. Burada su ile karıştırılarak öğütölmektedir. Elde edilen karışıma kum çamuru denilmektedir. Oluşan kum çamuru tanklara alınmaktadır. Tanklardaki kum çamuru karışımının 90 mikron elek altı miktarı %80 dir. SO<sub>3</sub> maksimum %6 seviyesinde olmalıdır.

Alçıtaşında tane büyüklüğü 500 mm, SO<sub>3</sub> minimum %34 seviyesinde, CaO yüzdesi % (26.5-32) arasında, bağlı su yüzdesi %16-24 arasında olmalıdır.

### 3.1.2 Kum çamuru:

Değirmende oluşan kum çamuru, kum çamuru tankına basılmaktadır. Tanktaki kum çamurunda olması beklenen değerler: SO<sub>3</sub> %3-7, yoğunluk 1.55-1.65 kg/lt, SiO<sub>2</sub> min. %70, Blaine değeri 2750-3500 cm<sup>2</sup>/gr, katı madde %55-65 şeklindedir.

### 3.1.3 Sönmemiş kireç:

Kireç, gazbeton üretiminde kimyasal enerji kaynağıdır. Bu sebeple döküm sırasında silis ve su ile sertleşme esnasında kalsiyum silikat hidrat (C-S-H) oluşturması nedeniyle çok önemli girdilerden bir tanesidir. Parça veya toz kireç kullanılır. Kireç parça halinde öğütölüp kireç silolarına gönderilmektedir. Kireçte olması gereken özellik minimum %80 CaO içermesidir. MgO en çok %2, tane



büyüklüğü ise 90 mikron elek üstü maksimum %8 olmalıdır. Bu değerler gazbeton karışım kompozisyonu optimizasyon çalışmaları sonucunda elde edilmiştir.

#### **3.1.4 Çimento:**

Gazbeton üretiminde kullanılan normal portland çimentosunda (CEM I 42.5R), Blaine değeri min 2800 cm<sup>2</sup>/gr, 90 mikron elek üstü max %2 olmalıdır.

#### **3.1.5 Alüminyum süspansiyonu:**

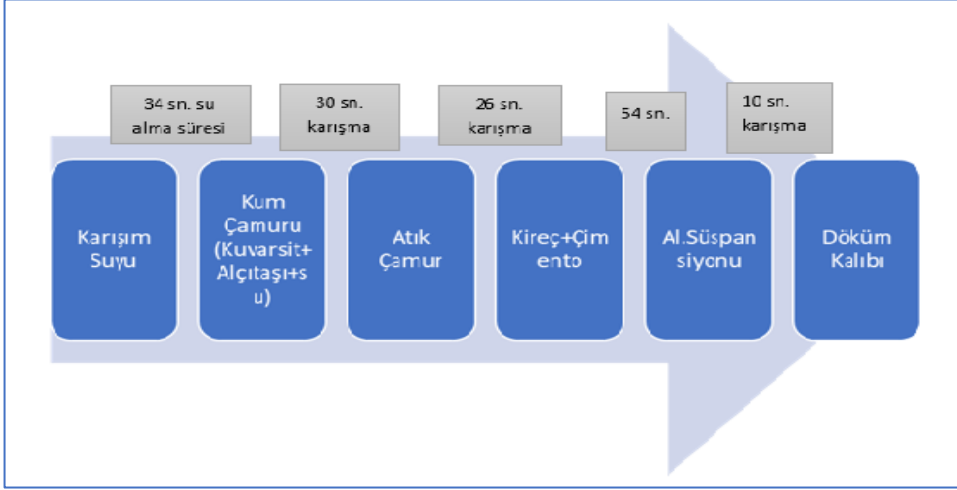
Gazbeton üretiminde toz ve pasta form olmak üzere iki çeşit alüminyum kullanılmaktadır. Pasta formunda alüminyum yüzeyi dietilen glikol ile kaplanmaktadır. Ürün sınıflarına göre üretimde kullanılan ince ve kalın alüminyumun kullanım oranları değişmektedir (Özgün T, Teknik Toplantı Notları, 1998).

#### **3.1.6 Atık çamur:**

Üretilen gazbeton ön kürlenme hattından çıktıktan ve kesildikten sonra belirli oranda hacim kaybına uğramaktadır. Kesim sonrası atılan kısımlar tekrar su ile karıştırılıp öğütülerek üretime geri kazandırılmaktadır. Ön kürlenme sonrasında üretilen 1 kalıp arabasındaki gazbeton kekinin hacimce %18'i atık çamurdur. Üretim sonrası elde edilen atık çamur, atık çamur tankına gönderilmektedir. Atık çamur tankında, atık çamurun sahip olması gereken uygun yoğunluk değerleri 1.30-1.40 kg/m<sup>3</sup> aralığındadır.

### **3.2 Karışım Hazırlanması ve Gazbeton Üretimi**

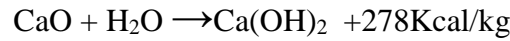
Yukarıda belirtildiği gibi bu hammaddeler Şekil 3.2.'de görüldüğü üzere belirli bir karışım sırasında ana mikserine gönderilmektedir. Ana mikserine önce karışım suyu alınmaktadır. Karışım suyunu sırasıyla kum çamuru ve atık çamur takip etmektedir. Sistem çamur alımını yaptıktan sonra eş zamanlı olarak kireç ve çimentoyu beraber almaktadır. En son alüminyum süspansiyonu eklenerek tüm malzemeler ortalama 10 sn karıştıktan sonra kalıp arabalarına döküm gerçekleştirilmektedir. Mikserdeki tüm karışımın kalıp arabasına boşaltımı ve dökümü yaklaşık olarak 33 sn. sürmektedir.



Şekil 3.2 Gazbeton hammaddelerinin döküm sırası ve karışım süreleri

Tüm döküm yaklaşık olarak 4 dk. sürmektedir. Ana mikserde malzemeler 300 devir/dk hızında karıştırılmaktadır. Ana mikserde sisteme kireç alınmasıyla beraber ardından gerçekleşen ekzotermik reaksiyon sebebiyle karışımın sıcaklığı yükselmektedir. Ortalama 40-43 °C derecelerde döküm gerçekleşmektedir. Döküm öncesi ana mikserdeki karışımın viskozitesine bakılmaktadır. Viskozite aralığı 160-220 cP arası normal kabul edilmektedir.

Ana mikserde, sönmemiş kireç su ile reaksiyona girerek aşağıdaki reaksiyonu oluşturmaktadır:



Kalıplara dökülen karışım kalıp arabasının hacimce %40'nı doldurmaktadır. Karışım, yaklaşık 55°C sıcaklığındaki ön kütleme hattına geçmekte ve kalıpta kabarma gerçekleşmektedir. Kalıplarda kabarmayı sağlayan H<sub>2</sub> gazı çıkışıdır. H<sub>2</sub> gazı oluşumu sönmüş kireç ile Al arasındaki aşağıdaki reaksiyondan ileri gelmektedir:



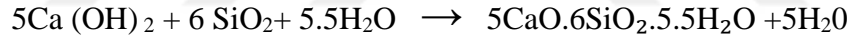
Kalıba dökülen malzemedan gazın çıkışı ana mikserden karışım döküldükten sonra ortalama 40-45 dk. sonra başlamakta ve 1-2 dakikada tamamlanmaktadır.

Burada oluşan gazın kalıbın tabanından itibaren yüzeye çıkması 40-45 dk. sürmektedir. Aslında tepkimeler ilk andan itibaren gerçekleşmeye başlamaktadır.

Ön kürlenme hattında kalıp arabası belirli bir kesim sertliğine ulaşıncaya kadar kalmaktadır. Bu süre 4-4.5 saattir. Bu süre zarfında karışımın sıcaklığı, zamana bağlı olarak yükselmekte ve yaklaşık 70-80°C aralığında kalmaktadır. Çıkan ısı hem tepkimenin devamını hem de kalıp içindeki karışımın sertleşmesini sağlamaktadır. Ön kürlenme hattında zayıf da olsa kristal yapılar oluşmaya başlamaktadır.

Ön kürlenme hattından çıkan numuneler belirli bir kesim sertliğine ulaştıktan sonra vinçle kesim alanına alınmaktadır. Ürün sınıfına ve ebatlarına göre tel kesme işlemi yapılmaktadır. Ardından ürünler ürün sınıfına göre süresi değişmekle beraber, örnek olarak 400 kg/m<sup>3</sup> yoğunluğa sahip G2/04 sınıfı ürünler için 12 bar basınç altında 190°C' de yaklaşık olarak 8 saat kürlenmektedir.

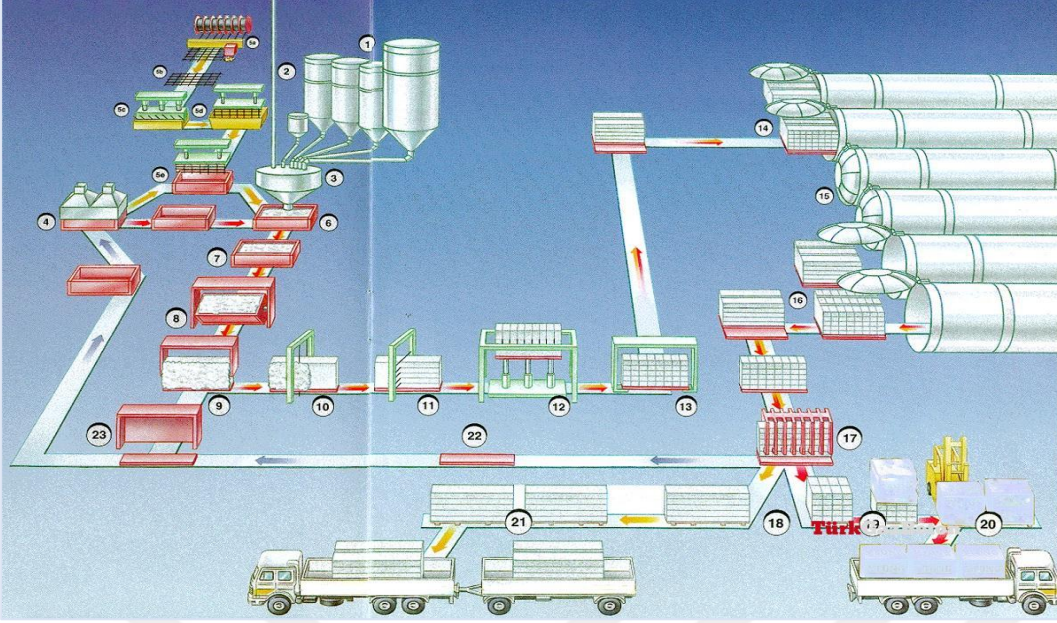
Otoklavlama sonrasında oluşan temel kristal yapı tobermorittir;



(11 A° Tobermorit (C<sub>5</sub>S<sub>6</sub>H<sub>5</sub>) yapısı)

Otoklavdan çıkan ürünler ortalama ağırlıkça %40-45 arası su içermektedir. Otoklavdan çıkan ürünler naylon ambalajlara ısı verilerek paketlenmekte, böylelikle ürün stok sahası ve şantiyeye gönderilmeye hazır hale gelmektedir.

Şekil 3.3'te gazbeton üretim aşamaları görsel olarak açıklanmaya çalışılmıştır.



1-Hammadde depolama, 2-Kum çamuru – Atık çamur, 3-Karışım hazırlama, 4-Kalıp sıyırma-yağlama, 5- Donatılı hazırlama, 6-Döküm, 7-Ön kürlenme, 8-Kalıp devirme, 9-Kalıptan ayırma, 10-11-12- Kesme boyutlandırma, 13- Kür ızgarasına yerleştirme, 14-15-16- Otoklavlama, 17- Paketleme vinci, 18-19-20- Gazbeton blok paketleme, 21- Donatılı ürün paketleme

Şekil 3.3. Gazbeton üretim aşamaları

### 3.3 Gazbetonun Özellikleri

#### 3.3.1 Gazbetonun fiziksel özellikleri

Gazbetonun yapısında 0.5-1.5 mm arasında küresel makro gözenekler vardır. Çapı 1 mm ve daha büyük olan gözenekler makro gözenek olarak kabul edilirken; çapı 0.5-1 mm arasında olanlar orta büyüklükte gözenek ve çapı 0.5 mm'den küçük olanlar ise mikro gözenek olarak adlandırılmaktadır. Makro gözenekler mikro gözeneklerce çevrelenmiştir. Gazbeton kullanılan silisli hammaddenin cinsine bağlı olarak beyaz, gri veya pembe renklerde olabilir. Yaygın olarak kuvarsit kullanıldığından renk genellikle beyazdır (Borhan 1987).

Gazbetondaki gözenek oluşum metodu, mikro yapısına tesir eder ve bu da gazbetonun özelliklerini etkilemektedir. Gazbetonun yapısı; katı mikro gözenek matriksi ve makro gözenekler olarak tanımlanabilir. Makro gözenekler maddenin içinde sürüklenen hava kabarcıklarından etkilenen kütsel genişmeden meydana

gelmektedir ve mikro gözenekler ise bu makro gözenekler arasındaki duvarlarda oluşmaktadır (Ünverdi 2006).

Gazbetonun porozitesi kuru birim hacim ağırlığı ile ters orantılı olarak değişmektedir. Tablo 3.2’de çeşitli birim hacim ağırlık değerleri için yaklaşık porozite değerleri verilmiştir (Özel 2013).

Tablo 3.2 Gazbetonun çeşitli birim hacim ağırlıkları için porozite oranları

<b>Birim Hacim Ağırlığı (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Porozite (%)</b>
310-400	85-88
410-500	81-85
510-600	77-81
610-700	73-77
710-800	69-73

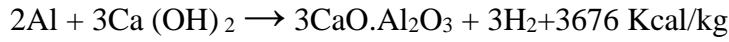
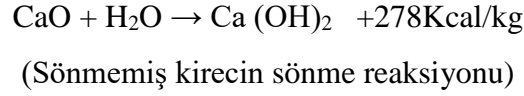
Gazbetonun yaklaşık %80’ini oluşturan mikro ve makro gözenekler, malzemeye düşük bir ısı iletkenlik değeri sağlamaktadır. Isı iletkenlik katsayısı, malzemenin kuru birim hacim ağırlığı ve nem içeriğine bağlı olarak değişim göstermektedir. Kuru gazbetonun kuru birim hacim ağırlığa bağlı olarak ısı iletkenlik değerleri Tablo 3.3 ’te verilmiştir (Özel 2013).

Tablo 3.3 Kuru birim hacim ağırlık ve ısı iletkenlik değerleri

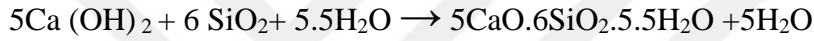
<b>Kuru Birim Hacim Ağırlığı (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Isı İletkenlik Değeri (W/mK)</b>
300	0,085
400	0,11
500	0,13
600	0,16
700	0,18
800	0,21

### 3.3.2 Gazbetonun kimyasal özellikleri:

Yapılan çalışmalar gazbetonun ana tepkime ürününün kalsiyum silika hidrat (C-S-H) grubu olduğunu göstermiştir. Gazbeton üretimi esnasında oluşan reaksiyonlar şu şekilde özetlenebilir (Çiçek 2002);



(Ön kütleme hattında gerçekleşen alüminyum ve sönmüş kireç arasındaki reaksiyonlar)



(Ön kütlemede zayıf bir şekilde oluşmaya başlayan ve otoklavlanma aşamasında kuvvetli yapıya dönüşen kristal yapı)

Yukarıdaki son tepkimede bağlayıcılardan gelen (kireç ve çimento) CaO yapıları su ile reaksiyona girerek Ca(OH)<sub>2</sub> yapılarını oluşturur. Oluşan Ca(OH)<sub>2</sub> sulu ortamda kuvarsitteki SiO<sub>2</sub> ile birleşerek gazbetonun temel tobermorit kristal yapısını oluşturmaktadır.

Gazbeton, silika hidratlardan oluşan alkali bir yapıya sahiptir. pH değeri 9.5-11.00 arasında değişmektedir. Bu bakımdan asidik ortamlardan olumsuz etkilenmektedirler. Sülfürik asit, hidroklorik asit, asetik asit malzeme yapısını hasara uğratmaktadır. Bu bakımdan da gazbeton deniz suyuna karşı korunmalıdır. Ortamda yoğun ve devamlı kimyasal agresif malzemelerin bulunması halinde, gazbeton bu malzemelere dayanıklı yüzey kaplamaları ile korunmalıdır (Kozak 2010).

Tablo 3.4' de sektörde kabul görmüş (iptal edilen TS 453 standardı dikkate alınarak) ve bu değerler göz önüne alınarak üretilen gazbeton yapı malzemelerinin sınıfları verilmektedir. Buna göre gazbeton yapı malzemeleri G0, G1, G2, G3, G4 ve G6 olmak üzere 6 sınıfta üretilmektedir.

Tablo 3.4 Gazbeton sınıfları, birim hacim ağırlık ve basınç dayanımı değerleri

Ürün sınıfı	B.H.A. (kg/m <sup>3</sup> )	Ortalama Basınç Dayanımı (N/mm <sup>2</sup> )	Ortalama B.H.A. Aralığı (kg/m <sup>3</sup> )
G0	300	-	En fazla 300
G1	400	1,5	310-400
G1	500	1,5	410-500
G2	350	2,5	260-350
G2	400	2,5	310-400
G2	500	2,5	410-500
G3	500	3,5	410-500
G3	600	3,5	510-600
G4	600	5	510-600
G4	700	5	610-700
G6	700	7,5	610-700
G6	800	7,5	710-800





#### 4. ÇALIŞMADA KULLANILAN PUZOLONİK KATKILAR

“Puzolan” ismi, İtalya’daki Vezüv yanardağının eteklerinde bulunan “Pozzuoli” isimli kasabanın isminden alınmıştır. Milattan yaklaşık 100 yıl önce, eski Romalılar, Pozzuoli kasabasının civarında volkanik kül ile söndürülmüş kirecin suyla birlikte karılmasıyla elde edilen malzemenin hidrolik bağlayıcı özelliği gösterdiğini fark etmişlerdir. O nedenle, su altında sertleşme gösterebilen bu malzeme “puzolan” ismiyle anılmaya başlanmıştır. Günümüzde, ince taneli durumdayken söndürülmüş kireçle ve suyla birleştirildiğinde hidrolik bağlayıcılık gösteren silisli ve alüminli malzemelerin tümü aynı isimle anılmaktadır (Erdoğan 2003).

ASTM C 618’e göre kendi kendine bağlayıcılık özelliği çok az olan veya hiç olmayan ancak sulu ortamda ve normal ortam sıcaklığında kireç ile reaksiyona girip bağlayıcı özelliği olan ürünler açığa çıkararak, ince toz halindeki silisli veya silisli ve alüminli maddelere puzolan denilmektedir.

Puzolanik malzemenin yeterli bağlayıcılığı gösterebilmesi için aşağıdaki koşulları sağlamış olması gerekmektedir:

- İçerdiği silika ve alümina miktarı yüksek olmalıdır. (Çimento ve beton endüstrisinde kullanılacak puzolanlardaki  $SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3$  miktarının en az %70 olması istenmektedir.)

- Amorf yapıya sahip olmalıdır.

- Doğal haliyle çok ince taneli durumda veya öğütülerek en az çimento inceliği kadar ince taneli duruma getirilmiş olmalıdır (Erdoğan 2007).

Puzolanlar doğal ve yapay olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Doğal puzolanlar; volkanik malzemeler, sedimanter malzemeler, diyajenetik malzemeler, yapay puzolanlar ise endüstriyel işlemlerde atık olarak çıkan malzemelerdir. Kömür ocağı atıkları, termik santral atıkları, metalürji atıkları, çeşitli endüstri atıkları ve

yerel yönetim atıkları bu gruptadır. Bu çalışma kapsamında yapay puzolan grubunda olan uçucu kül, silis dumanı ve yüksek fırın cürufu kullanılmıştır.

#### 4.1 Uçucu Kül

Termik santral atıklarından olan uçucu kül, toz kömürün yanmasıyla büyük bir miktarı çok ince taneli, bir miktarı da nispeten biraz daha iri boyutlara sahip olarak ortaya çıkmaktadır. Çok ince tanelere sahip olan küller, yakıt gazlarıyla beraber bacadan dışarı çıkmak üzere hareket etmektedir. Atık malzeme olarak ortaya çıkan küllerin yaklaşık %75 – 80'i gazlarla birlikte bacadan çıkma eğilimi göstermektedir. Bu küllere uçucu kül adı verilmektedir.

Gazlarla birlikte çok büyük miktarlarda külün dışarı çıkması durumunda, termik santralin çevresi kısa sürede küllerle kaplanacağından, bacadan dışarıya çıkan küller birtakım elektrostatik veya elektromekanik yöntemler vasıtasıyla tutulmakta ve kül toplayıcı silolara kanalize edilmektedir. Daha sonra da, silolardan, konveyör bantlarla veya başka yöntemlerle, termik santrallerin uzağındaki bir yere atık olarak depolanmaktadır (Erdoğan, 2003).

Uçucu külün özellikleri yakıt olarak kullanılan kömürün özelliklerine ve yakılma yöntemine bağlı olarak farklılıklar göstermektedir. Linyit kömürü yakılması ile elde edilen uçucu külde kireç oranı genellikle yüksek olup bu tür küller aynı zamanda hidrolik, yani bağlayıcılık özelliği göstermektedir. İnce ve küresel tane yapısı dolayısı ile taze betonda işlenebilmeyi arttırmakta, ayrıca hidrasyon ısını azaltmaktadır. Çimento hidrasyonu sonucu oluşan kireçle reaksiyona girerek ilave bağlayıcı jel oluşturmakta, çimento hamurundaki boşlukları doldurmakta ve betona dayanıklılık kazandırmaktadır. (Türker vd.. 2009).

Uçucu kül, koyu gri renkte, çok ufak taneli bir malzemedir. Rengin koyuluğu açıklığı, elde edildiği kömüre ve yanış özelliğine bağlıdır. Yanmanın tam olmadığı durumda oluşan uçucu küle siyah renk veren içindeki yanmamış karbondur. İyi yanma sonucu oluşan uçucu kül diğerine göre daha açık renktedir.

Uçucu külün inceliği öncelikle kazana verilen kömürün öğütülme derecesine bağlıdır. İnceliğe etki eden ikinci faktör, küllerin mümkün olabildiğince bacadan kaçmasına mani olunarak tutulmasıdır. Bacadan kaçan kısım azaldıkça incelik artmaktadır. Boyutları genellikle 0.5 ile 200 mikron arasında değişen, camsı ve çoğunlukla küresel karakterdeki parçacıklardır. Yüzeyleri genellikle ortalama 2800 - 3800 cm<sup>2</sup>/g dolayındadır. İçi dolu küresel tanelerden meydana gelen uçucu küllerin mutlak yoğunluğu 2.2 – 2.7 gr/cm<sup>3</sup> arasındadır (EIE. 1979 ve 1982).

Uçucu külün kimyasal bileşimi portland çimentosu ile çok büyük benzerlikler göstermektedir. Portland çimentosu ve uçucu külde aynı bileşikler mevcuttur. Hızlı soğumadan dolayı bu uçucu küller amorf fazda, çimentolar ise yavaş soğumadan dolayı kristal fazda bulunmaktadır. Uçucu kül ile çimento arasındaki temel farklılık ise farklı bileşiklerin her birinin miktarlarındaki ilişkidir. Portland çimentosu kireç (CaO) bakımından zenginken uçucu külde kireç miktarı azdır. Uçucu kül yüksek miktarda reaktif silikatlara sahipken portland çimentosu daha az miktarda reaktif silikatlara sahiptir (Görhan, 2006).

Uçucu küllerin sınıflandırılmasında, kimyasal bileşen yüzdesine göre esas olarak ASTM C 618 ve TS EN 197-1 standartları baz alınmaktadır. ASTM C 618 standardına göre, uçucu küller yapısındaki kireç ve SiO<sub>2</sub>+ Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> miktarına bağlı olarak F ve C sınıfı olmak üzere Tablo 4.1’de gösterilen iki grupta toplanmaktadır.

Tablo 4.1 ASTM C 618’e göre uçucu küllerin sınıflandırılması (Erdoğan 2003, Ünver 2007)

Sınıfı	Tanımı
F	SiO <sub>2</sub> + Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ≥ %70 (bitümlü veya antrasit parlak kömürden elde edilen uçucu küller) Yalnızca puzolanik özelliğe sahip
C	SiO <sub>2</sub> + Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ≥ %50 (linyit kömüründen elde edilen uçucu kül) Yüksek kireçli uçucu kül (CaO ≥ %10) Puzolanik ve bir miktar bağlayıcılık özelliğine sahip

TS EN 197-1 standardına göre sınıflandırmada ise uçucu küller silissi (V) ve kalkersi (W) olmak üzere iki gruba ayrılırlar:

a) V sınıfı uçucu küller, çoğunluğu puzolanik özelliklere sahip küresel taneciklerden meydana gelen ince bir toz olup; esas olarak reaktif silisyum dioksit ( $\text{SiO}_2$ ) ve alüminyum oksitden ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) oluşan; geri kalanı demir oksit ve diğer bileşenleri içeren küllerdir. Bu küllerde, reaktif kireç ( $\text{CaO}$ ) oranının %10'dan az, reaktif silis miktarının %25'den fazla olması gerekmektedir.

b) W sınıfı küller ise, hidrolik ve/veya puzolanik özellikleri olan ince bir toz olup; esas olarak reaktif kireç ( $\text{CaO}$ ), reaktif  $\text{SiO}_2$  ve  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 'den oluşan; geri kalanı demir oksit ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) ve diğer bileşenleri içeren küllerdir. Bu küllerde, reaktif kireç ( $\text{CaO}$ ) oranının %10'dan fazla, reaktif silis miktarının da %25'den fazla olması gerekmektedir. (ASTM C 618, 1998; TS EN 197-1: Mart 2002; RILEM Committee 73-SCB: 1988)

Kimyasal kompozisyon olarak incelendiklerinde, uçucu küllerin yapısının ağırlıklı olarak  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ve Si gibi bileşiklerden oluştuğu görülmektedir. İçerisinde bulunabilen karbon miktarı kömür tipine ve yakma işlemine göre değişiklikler göstermektedir. Ayrıca, kullanılan kömür tipine bağlı olarak bazılarında önemli miktarda  $\text{CaO}$  bulunabilmektedir.

Uçucu külde  $\text{SiO}_2$  %25-60,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  %10-30,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  %1-15 olarak ve  $\text{CaO}$  %1-40 değerleri arasında bulunmaktadır. Diğer oksitlerden  $\text{MgO}$  en fazla %5, alkali oksitler ( $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ ) %5'in altında bulunmaktadır.  $\text{SO}_3$ , genellikle %0.2-2.5 arasında değişmekle birlikte, kömürün yapısı ve proses koşullarına göre, %10'a kadar yükselmektedir. Ancak standartlardan özellikle TS EN 450 standardı,  $\text{SO}_3$  değerini en fazla %3 olarak dar bir aralık ile sınırlamaktadır.

Uçucu külde reaktif silis ve reaktif kireç, çimentonun hidratasyonu sırasında oluşan ve dayanım gelişiminde önemli rolü olan kalsiyum silikat hidrat jeli oluşturan silisyum ve kalsiyum oksitleri temsil etmektedir. Özellikle reaktif silis, külün aktif bileşeni olup, puzolanik reaksiyonlara girmek üzere, alkali ortamda çözünen silistir. Bu bileşik, amorf veya camsı faz halinde bulunurken; mullit ve

kuvars gibi diğer silisli bileşenler inert olup kristalize halde bulunurlar. Reaktif silis miktarının, uçucu külün tipine bağlı olmaksızın en az %25 olması gerekmektedir. Reaktif kireç ise, düşük kireçli küllerde %10 'un altında olmakta; yüksek kireçli küllerde %10-15 arasında değişmektedir (Erdoğan, 2003).

## 4.2 Silis Dumanı

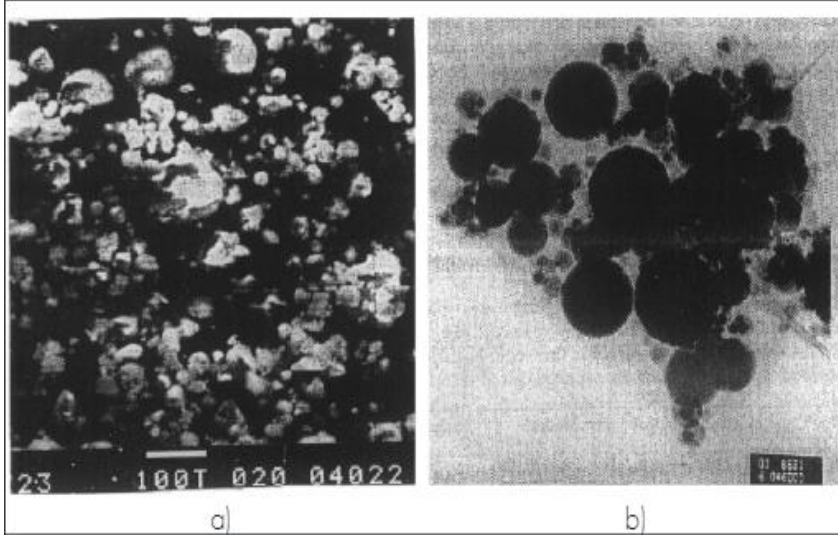
Silis dumanı, silisyum metali veya ferrosilisyum (FeSi) alaşımlarının üretimi sırasında kullanılan elektrik ark fırınlarında yüksek saflıktaki kuvarsitin kömür ve odun parçacıkları ile dönüştürülmesi sonucu elde edilen çok ince taneli tozdur. Fırınların düşük sıcaklıktaki üst bölümlerinde SiO<sub>2</sub> gazı hava ile temas ederek hızla okside olur ve amorf SiO<sub>2</sub> olarak yoğunlaşarak silis dumanı bileşiminin tamamını oluşturmaktadır. Alaşımdaki silisyum içeriğine bağlı olarak silis dumanındaki SiO<sub>2</sub> miktarı da artmaktadır. %50 ferrosilisyum içeriğinde SiO<sub>2</sub> içeriği %61-84, %75 ferrosilisyum içeriğinde SiO<sub>2</sub> içeriği %84-91'dir. Bu miktar silisyum metalinde %98'e ulaşmaktadır. Araştırmalarda ve pratikte kullanılan silis dumanları genellikle %75 ve yukarı oranlarda ferrosilisyum içeren alaşımlardan elde edilmektedir.

Üretim sürecinde %95 civarında SiO<sub>2</sub> içeren kuvarsit, demir-çelik hurdası veya demir cevheri ile metalurjik koktan oluşan hammaddeler belirli oranlarda tartılıp karıştırıldıktan sonra 600 kVA gücündeki elektrik ark direnç fırınına sevk edilmektedir. Bu fırınlarda elektrod malzemesi olarak antrasit ve ziftten oluşan söderberg hamuru kullanılmaktadır. Demir ve silisyum oksitler karbon ile indirgenerek ferrosilisyum alaşımını oluşturmaktadır. Fırın tabanında biriken alaşım uygun aralıklarla oluklardan alınarak kalıplarda soğutulmakta, kırılıp ufak parçalar halinde piyasaya sunulmaktadır. Fırın bacasından çıkan ve torba filtrelerde toplanan baca tozu (silis dumanı) silolarda birikmektedir.

Silisyum metali ile %75 ferrosilisyum alaşımları veya bunların karışımlarından elde edilen silis dumanlarının bileşimlerinde SiO<sub>2</sub> miktarı %85'i geçmekte, genellikle %90 civarında olmaktadır.

Silis dumanı çoğunlukla değişik tonlarda gri renktedir. Rengin koyuluğu karbon miktarına bağlı olarak artar. Demir oksit fazlalığı ise renge hafif kahverengi bir ton vermektedir.

Silis dumanı genellikle camsı, düzgün yüzeyli küresel taneciklerden meydana gelir (Şekil 4.1). Çok ince taneli ve hafif olduğundan özgül yüzey bazında inceliği Blaine metodu ile tayin edilememektedir. Özgül yüzeyi azot adsorpsiyon (BET) metodu ile tayin edilebilmektedir. Bu metot, Blaine metodundan farklı olduğundan iki metotla elde edilen sayısal sonuçların doğrudan karşılaştırılması mümkün değildir. Ancak Tablo 4.2.'deki değerler gene de silis dumanının inceliği konusunda bir fikir vermektedir.



Şekil 4.1 Silis dumanının a) tarayan, b) geçirgen ışıklı elektron mikroskoplarla çekilmiş resimleri

Tablo 4.2 Ürünlerin incelik değerleri

Ürün	Metod	Özgül Yüzey (m <sup>2</sup> /kg)
Portland Çimentosu	Blaine	300-400
Uçucu Kül	Blaine	400-700
Yüksek Fırın Cürufu	Blaine	350-600
Silis Dumanı	Azot (BET)	13000-20000

Silis dumanının (SD) yoğunluğu çimentoya göre daha düşük olmasından dolayı, çimentonun bir kısmının silis dumanıyla ikame edilmesiyle hamur miktarı artmaktadır. Bu sayede sabit bir su-bağlayıcı oranı için plastisitesi, kohezyonu daha yüksek betonlar elde edilmektedir. SD'nin tanecikleri küresel ve çimentoya göre ince yapıda olduğu için betonun işlenebilme özelliğini ve su gereksinimi arttırmaktadır. Bu yüzden beton üretiminde SD kullanılması akışkanlaştırıcı katkı kullanmayı gerektirmektedir. Ayrıca SD kullanılan betonların kohezyonu yüksek olduğu için ayrışma yatkınlıkları daha az olmaktadır (Yeğınobalı 2009).

### 4.3 Yüksek Fırın Cürufu

Yüksek fırın cürufu (YFC); silis, kalsiyum alümina silis ve bazik esaslı bileşikler içeren ve fırınlarda demir üretimi sırasında ergimiş halde elde edilen bir atık üründür (Erdođdu, 2003).

YFC'nin kimyasal bileşimi esas olarak  $\text{CaO-SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ 'den oluşmakta ve çimento ile beton sektöründe çok çeşitli kullanım olanakları bulunmaktadır. YFC inşaat endüstrisinde genel olarak çimento ile ikame etmek sureti ile değerlendirilmektedir. Literatürde YFC ikameli betonların, kullanılan YFC'nin fiziksel ve kimyasal özelliklerine bağlı olarak erken yaş dayanımlarının düşük (7 ile 28 gün arası), ileri yaş dayanımlarının yüksek olduğu (28 günden sonra), betonda işlenebilmeyi arttırdığı, priz süresini uzattığı, terlemeyi, hidrasyon ısısını ve su geçirimsizliğini azalttığı bildirilmektedir. Ayrıca YFC kullanımı ile betonun, klorür geçirimsizliğinin azaldığı, yüksek alkali silika direnci sağladığı, işlenebilirliğinin yüksek olduğu, düşük hidrasyon ısısına sahip olduğu ve donatı korozyonuna karşı direnci artırdığı bildirilmektedir (Richardson 2006, Yazıoğlu 2005).

YFC'nin yapısında %90-95  $\text{CaO}$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  bileşikleri bulunduğu için çimento inceliğinde öğütüldüğü takdirde bağlayıcılık özelliği kazanmaktadır. Çimentonun su ile reaksiyonu sonucunda kalsiyum silika hidrat jelleri (C-S-H) ile kalsiyum hidroksit (CH) oluşmaktadır. C-S-H oldukça kuvvetli bağlayıcılık özelliğine sahipken CH zayıf yapıda ve suda çözünebilmektedir. YFC, çimento içindeki alkalilerin oluşturduğu alkali hidroksitlerle, CH ile ve yapısındaki  $\text{CaO}$  ile reaksiyona girerek sağlam yapıları oluşturmaktadır. YFC'nin kimyasal yapısı,

inceliği, amorf olan miktarı, ortamdaki alkali oranı bağlayıcılığını etkileyen en önemli faktörlerdir. YFC ne kadar ince öğütölürse o kadar yüksek yüzey alanına sahip olacağından daha kolay reaksiyona girerek bağlayıcılığını arttırmaktadır. YFC üretimi sırasında hızlı soğutulması gerekir. Hızlı soğutulmadığı durumda kristal yapı oluşmakta ve bağlayıcılık özeliği kaybolmaktadır (Boğa, 2010).





## 5 MATERYAL VE METOT

### 5.1 Kullanılan Malzemeler

#### 5.1.1 Çimento

Çalışmada üretilen gazbeton karışımları için gerekli olan çimento yöresel kaynaklardan temin edilmiş ve laboratuvar ortamında depolanmıştır. Kullanılan CEM I 42.5R tipi çimentoya ait bazı kimyasal, fiziksel ve mekanik özellikler Tablo 5.1’de sunulmuştur. Bu değerler üretici firmadan temin edilmiştir.

Tablo 5.1 Kullanılan çimentonun özellikleri

Kimyasal Özellikleri (%)		Fiziksel Özellikler	
SiO <sub>2</sub>	18.44	Özgül Ağırlık	3.1
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4.36	Özgül Yüzey (cm <sup>2</sup> /g)	3430
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.22	0.090 mm elekte kalan (%)	1.5
CaO	64.37	0.032 mm elekte kalan (%)	24
MgO	1.23	Priz Süresi	Başlangıç (saat) 02:50
SO <sub>3</sub>	3.5		Bitiş (saat) 04:40
K <sub>2</sub> O	0.8	Hacim Sabitliği (mm)	0.5
Na <sub>2</sub> O	0.47	<b>Basınç Dayanımı (MPa)</b>	
Kızdırma Kaybı	3.4		
Klorür	0.007	2 gün	30.1
Çözünmeyen Kalıntı	0.27	7 gün	45.8
Serbest Kireç	1.42	28 gün	54.5

#### 5.1.2 Kuvarsit

Çalışmada Torbalı’da yer alan AKG Gazbeton’a ait ocaktan temin edilen kuvarsit kullanılmıştır. Kuvarsitin kimyasal özellikleri Tablo 5.2’de verilmiştir.

Tablo 5.2 Kullanılan kuvarsitin kimyasal özellikleri

<b>Kimyasal Özellikleri</b>	<b>(%)</b>
SiO <sub>2</sub>	85.4
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5.04
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.35
CaO	0.11
MgO	0.27
TiO <sub>2</sub>	0.54
K <sub>2</sub> O	1.68
Na <sub>2</sub> O	0.06

### 5.1.3 Uçucu Kül

Çalışmada kullanılan uçucu kül, Soma Termik Santrali'nden elde edilmiştir. Uçucu külün kimyasal özellikleri Tablo 5.3'de verilmiştir. ASTM C 618 standardına göre  $SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3 \geq \%50$ 'nin üzerinde ve CaO oranı %10' dan fazla olduğu için C sınıfı uçucu küldür. TS EN 197-1 standardına göre ise CaO oranı %10'dan fazla olduğu için W sınıfı uçucu küldür.

Tablo 5.3 Uçucu külün kimyasal ve fiziksel özellikleri

<b>Kimyasal Özellikleri</b>	<b>(%)</b>
SiO <sub>2</sub>	32.5
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13.8
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4.17
CaO	38.4
MgO	1.38
SO <sub>3</sub>	8.03
K <sub>2</sub> O	1.29
<b>Fiziksel Özellikler</b>	
Özgül Ağırlık	2.74
Özgül Yüzey cm <sup>2</sup> /gr	3100

#### 5.1.4 Silis Dumanı

Çalışmada kullanılan silis dumanı Eti Elektrometalurji A.Ş.' den temin edilmiştir. Silis dumanının kimyasal özellikleri Tablo 5.4'de verilmiştir.

Tablo 5.4 Silis dumanı bileşenleri

<b>Kimyasal Özellikleri</b>	<b>(%)</b>
SiO <sub>2</sub>	87.29
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.47
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.63
CaO	0.81
MgO	4.47
SO <sub>3</sub>	0.22
K <sub>2</sub> O	1.28
Na <sub>2</sub> O	1.25

#### 5.1.5 Yüksek Fırın Cürufu

Çalışmada kullanılan yüksek fırın cürufu Bolu Çimento'dan temin edilmiştir. Yüksek fırın cürufunun kimyasal özellikleri Tablo 5.5'de verilmiştir.

Tablo 5.5 Yüksek fırın cürufu özellikleri

<b>Kimyasal Özellikleri</b>	<b>(%)</b>
SiO <sub>2</sub>	41.05
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11.27
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.92
CaO	37.77
MgO	4.55
SO <sub>3</sub>	0.07
K <sub>2</sub> O	1.2
Na <sub>2</sub> O	0.76
<b>Fiziksel Özellikler</b>	
Özgül Ağırlık	2.86
Özgül Yüzey cm <sup>2</sup> /gr	4426

### 5.1.6 Alçı

Hazırlanan gazbeton karışımlarında kullanılan alçının kimyasal özellikleri Tablo 5.6 'de verilmiştir.

Tablo 5.6 Kullanılan alçının kimyasal özellikleri

Bileşen	(%)
SO <sub>3</sub>	40.7
CaO	30.7
SiO <sub>2</sub>	1.98
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.048
MgO	0.636

### 5.1.7 Kireç

Gazbeton karışımlarında Kimtaş Kireç ve San. A.Ş.'den alınan kireç kullanılmıştır. Tablo 5.7'de kimyasal ve fiziksel özellikleri verilmiştir.

Tablo 5.7 Kullanılan kirecin kimyasal ve fiziksel özellikleri

Özellik	Sonuç Değeri
Tane Boyutu (mm)	6.4
Kızdırma Kaybı (%)	2.89
CaO (%)	86

### 5.1.8 Su

Gazbetonun üretiminde karışım suyu olarak İzmir Bornova şebeke suyu kullanılmıştır.

## 5.2. Karışımların Hazırlanması, Dökümü ve Kürü

Deneysel çalışmada gazbetonu oluşturan temel malzemelerin (çimento, kireç, alçıtaşı, alüminyum tozu) yanısıra çimentonun bir kısmı yerine %3, 6, 9, 12 ve 15 oranlarında uçucu kül, silis dumanı ve yüksek fırın cürufunun ilave edilmesiyle farklı karışımlar elde edilmiştir. Mineral katkı içermeyen kontrol karışımında dahil olmak üzere toplam 16 farklı karışım hazırlanmıştır. Hazırlanan karışımların malzeme oranları ve isimlendirilmesi Tablo 5.8’de verilmiştir.

Tablo 5.8 Karışım Oranları (kg/m<sup>3</sup>)

Karışım Adı	Mineral katkı	Çimento	Su	Kireç	Kum çamuru	Atık çamur	Alüminyum süspansiyonu
Kontrol	0	90	64	19	271	133	2.75
UK3	2.7	87.3	64	19	271	133	2.75
UK6	5.4	84.6	64	19	271	133	2.75
UK9	8.1	81.9	64	19	271	133	2.75
UK12	10.8	79.2	64	19	271	133	2.75
UK15	13.5	76.5	64	19	271	133	2.75
YFC3	2.7	87.3	64	19	271	133	2.75
YFC6	5.4	84.6	64	19	271	133	2.75
YFC9	8.1	81.9	64	19	271	133	2.75
YFC12	10.8	79.2	64	19	271	133	2.75
YFC15	13.5	76.5	64	19	271	133	2.75
SD3	2.7	87.3	64	19	271	133	2.75
SD6	5.4	84.6	64	19	271	133	2.75
SD9	8.1	81.9	64	19	271	133	2.75
SD12	10.8	79.2	64	19	271	133	2.75
SD15	13.5	76.5	64	19	271	133	2.75

Karışım kabına ilk olarak su alınmış, daha sonra kuvarsit ve alçıtaşı karışımı (kum çamuru) ilave edilmiş, 1 dakika karıştırılmıştır. Üzerine atık çamur ilave edilip 1 dakika boyunca karıştırıldıktan sonra kireç, çimento+puzolan karışımı ilave edilmiştir. Bu karışım da 1 dakika karıştırıldıktan sonra alüminyum süspansiyonu eklenmiş ve 15-20 saniye karıştırılmıştır. Akıcı kıvamda olan gazbeton harcı homojenliğini kaybetmeden 20x20x20 cm’lik metal kalıplara, 2/3’ü dolacak biçimde dökülmüştür (Şekil 5.1). Harcın uygun ortamda genişmesi için kalıplar 55°C sıcaklıkta etüve yerleştirilmiştir. Kalıplardaki genişleme yaklaşık 45 dk’da

tamamlanmış ve prizini tamamlaması için aynı sıcaklıkta 4 saat bekletilmiştir. Şekil 5.2' de kür sonrası sertlik kontrolü görülmektedir. Prizini tamamlayan örnekler kalıptan çıkarılarak otoklava yerleştirilmiştir. Örneklerle otoklavda 8 saat süreyle ve 12 bar doygun buhar basıncında kür işlemi uygulanmıştır.



Şekil 5.1 Karışımın kalıplara dökümü



Şekil 5.2 Kür sonrası sertlik kontrolü

### 5.3. Uygulanan Deneyler

Tez kapsamında üretilen gazbeton karışımlarından hazırlanan örneklerin basınç dayanımları, kuru birim hacim ağırlıkları, termik iletkenlik katsayıları, kapiler su emmeleri ve su emme hızları belirlenmiştir. Ayrıca seçilen örnekler üzerinde mikroyapı incelemeleri gerçekleştirilmiştir.

#### 5.3.1. Basınç Dayanımı Belirlenmesi

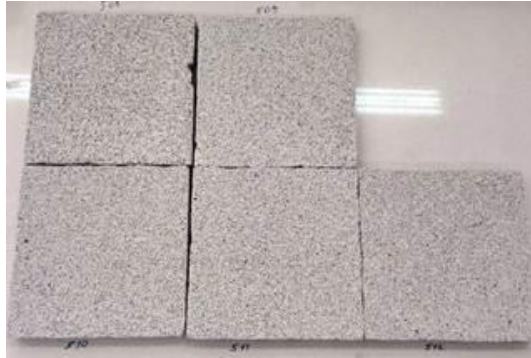
Hazırlanan örneklerinin basınç dayanımları TS EN 772-1 standardına uygun olarak 200 kN'luk bilgisayar kontrollü otomatik basınç presinde gerçekleştirilmiştir. Her örnek serisi için 6 adet numune teste tabi tutulmuştur.

#### 5.3.2. Kuru Birim Hacim Ağırlıkların Belirlenmesi

Örneklerin kuru birim hacim ağırlığı değerleri TS EN 772-13 standardına uygun olarak belirlenmiştir.

#### 5.3.3. Isıl Özelliklerin Belirlenmesi

Hazırlanan örneklerin termik iletkenlik katsayıları TS EN 1745 standardına uygun olarak belirlenmiştir. Öncelikle hazırlanan gazbeton bloktan 20x20x2.5 cm boyutlarında kesilen plakalar (Şekil 5.3) 70 C°de sabit tartıma getirilmiştir ve ardından ağırlıkları tartılmıştır.



Şekil 5.3 Gazbeton plakalar

Hazırlanan gazbeton bloktan kesilen 20x20x2.5 cm ölçülerindeki plakalar 70 °C’de sabit tartıma getirildikten sonra ısı akış yönteminden yararlanılarak gelişmiş bir ısı iletkenliği ölçüm cihazı (Şekil 5.4) kullanılarak ısı iletkenlik ölçümleri yapılmıştır.



Şekil 5.4 Isı iletkenliği ölçüm cihazı

Numunelerin termik iletkenlik katsayıları aşağıdaki formülden hesaplanmıştır:

$$k = F \frac{Q \ln(t_2 / t_1)}{T_2 - T_1} - H \quad (1)$$

(1) no.lu eşitlikte; F ve H: ölçme cihazına ait sabitleri, Q: ısıtıcı tele verilen ısı akışını,  $t_1$  .  $t_2$  : ölçüm zamanlarını (saniye),  $T_1$ :  $t_1$  zamanındaki sıcaklığı ve  $T_2$ :  $t_2$  zamanındaki sıcaklığı göstermektedir.

#### 5.3.4. Kapiler Su Emme Testi

Hazırlanan gazbeton örneklerinin kapiler su emme testi TS EN 772-11 standardına göre yapılmıştır. Buna göre; en az 6 adet 10x10x10 cm boyutlarında numuneler alınarak 70±5 °C derecede sabit ağırlığa gelinceye kadar kurutulmuştur.



Oda sıcaklığında soğumaya bırakılan numunelerin temas yüzey alanları ölçülmüştür. Numune yüzeyleri test boyunca  $5\pm 1$  mm derinlikte suya batırılmıştır. Su seviyesinin test boyunca sabit kalmasına dikkat edilmiş ve tankın üzeri buharlaşmayı önlemek için örtülmüştür. Numunelerin suya batırma zamanları (90 dk için) ölçülmüş, numunenin yüzeyindeki su atıldıktan sonra ağırlık ölçümü yapılmış ve elde edilen verilerle numunelerin su emme hızları tayin edilmiştir.

### **5.3.5. Mikroyapı incelemeleri**

Elde edilen mekanik deney sonuçlarını daha kolay yorumlayabilmek amacı ile %15 mineral katkı içeren örneklerde SEM (Scanning electron microscopy) ve EDS (energy dispersive spectrometry) analizleri yapılarak oluşan ürünler hakkında daha detaylı bilgiler elde edilmiştir.



## 6. DENEY SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRİLMESİ

Hazırlanan gazbeton numuneleri üzerinde yapılan birim hacim ağırlık, basınç dayanımı, ısı iletkenlik, kapiler su emme deneylerinin ve mikroyapı incelemelerinin sonuçları sırasıyla aşağıda sunulmuştur.

### 6.1. Birim Hacim Ağırlık Deney Sonuçları

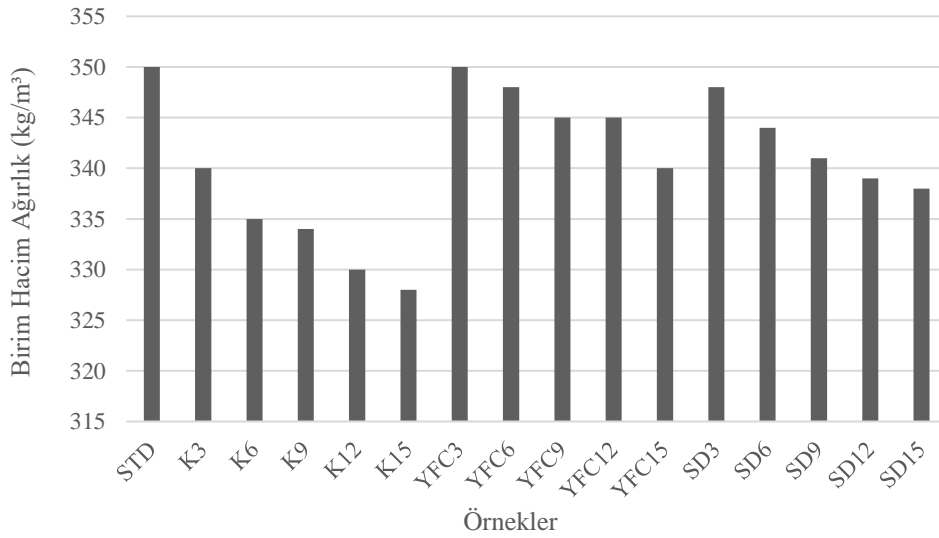
Hazırlanan numunelerden elde edilen birim hacim ağırlık değerleri toplu olarak Tablo 6.1’de sunulmuştur.

Tablo 6.1 Birim hacim ağırlık deney sonuçları

Numune	Birim Hacim Ağırlık (kg/m <sup>3</sup> )
KONTROL	350
UK3	340
UK6	335
UK9	334
UK12	330
UK15	328
YFC3	350
YFC6	348
YFC9	345
YFC12	345
YFC15	340
SD3	348
SD6	344
SD9	341
SD12	339
SD15	338

Tablodaki veriler göz önüne alındığında. birim hacim ağırlık değerlerinin uçucu kül içeren numunelerde  $328 \text{ kg/m}^3$  ile  $340 \text{ kg/m}^3$  arasında, yüksek fırın cürufu içeren numunelerde  $340 \text{ kg/m}^3$  ile  $350 \text{ kg/m}^3$  arasında, silis dumanı içeren numunelerde  $338 \text{ kg/m}^3$  ile  $348 \text{ kg/m}^3$  arasında değiştiği görülmektedir. Çalışmada kullanılan mineral katkıları içerisinde uçucu külün birim hacim ağırlığı azaltmada daha etkili olduğu görülmüştür.

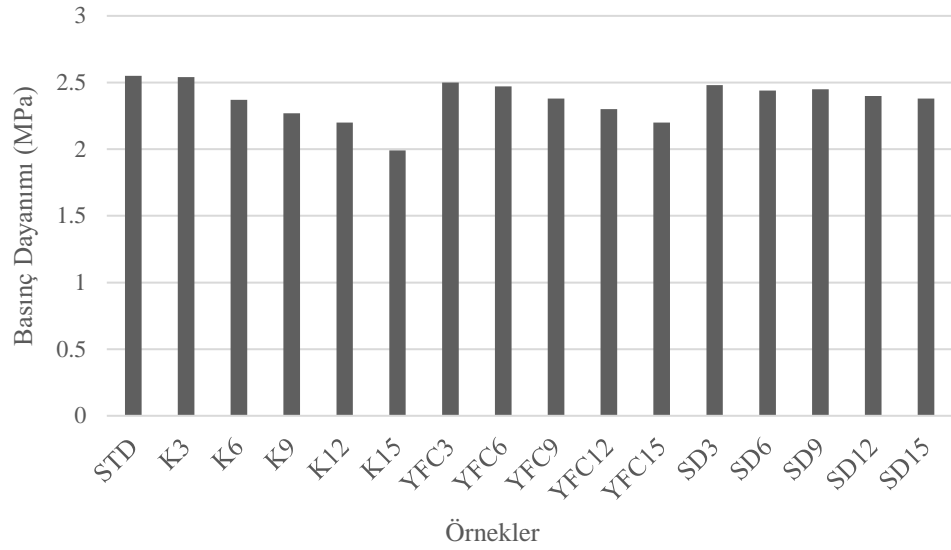
Şekil 6.1. de görüldüğü gibi mineral katkı içeren karışımların birim hacim ağırlık değerlerinin genellikle kontrol numunesinden düşük çıktığı görülmektedir. Karışımlarda kullanılan mineral katkı miktarı arttıkça birim hacim ağırlık değerleri de azalmaktadır. Çalışmada kullanılan mineral katkıların özgül ağırlıkları yerine kullandıkları çimentonun özgül ağırlığından daha düşük olduğundan, mineral katkı içeren karışımların birim hacim ağırlıklarının da düşük elde edildiği düşünülmektedir.



Şekil 6.1 Örneklerin birim hacim ağırlık değerleri ( $\text{kg/m}^3$ )

## 6.2. Basınç Dayanımı Deney Sonuçları

Hazırlanan örneklerden elde edilen basınç dayanımları Şekil 6.2' de sunulmuştur. Şekilden de görüldüğü gibi, mineral katkı içeren karışımların basınç dayanımlarının kontrol numunesine kıyasla düşük çıktığı görülmektedir. Karışımlarda kullanılan mineral katkı miktarı arttıkça basınç dayanım değerleri de azalmaktadır.



Şekil 6.2 Örneklerin basınç dayanım değerleri

Kontrol numunesine kıyasla mineral katkı içeren numunelerin rölatif basınç dayanımları Tablo 6.2' de sunulmaktadır. Uçucu kül içeren numunelerde basınç dayanımlarının %4 ile %22 arasında, yüksek fırın cürufu içeren numunelerde %2 ile %13.7 arasında, silis dumanı içeren numunelerde %2.7 ile %6.7 arasında düşüş gösterdiği görülmektedir. Şekil 6.2 ve Tablo 6.2' deki sonuçlar değerlendirildiğinde kullanılan mineral katkıları içerisinde uçucu külün basınç dayanımını en olumsuz etkileyen katkı olduğu görülmüştür.

Genellikle gazbetonda birim hacim ağırlık değerleri azaldığında basınç dayanımları da düşmektedir (Rózycka. 2016). İleriki bölümlerde verilecek olan birim hacim ağırlık-dayanım ilişkilerinde de vurgulanacağı gibi kullanılan mineral katkıları içerisinde uçucu kül içeren örnekler birim hacim ağırlığının değişiminden daha fazla etkilenmektedir. Diğer mineral katkıları ile kıyaslandığında bu durumun

uçucu kül içeren numunelerin dayanım sonuçlarına daha olumsuz yansıdığı düşünülmektedir. Ayrıca ilerideki mikroyapı incelemeleri ile ilgili bölümde vurgulanacağı gibi gazbetonda oluşan ana ürünlerin Ca/Si oranı gazbetonun kristal fazlarının ve mikro morfolojisinin belirlenmesinde önemli bir yer tutmaktadır. Gazbetonda tobermorit oluşumu için optimum Ca/Si oranı 0,8 ila 1 arasındadır. Yapılan mikroyapı incelemelerinde kontrol numunesi dışında tüm mineral katkı içeren numunelerin Ca/Si oranının optimum değerinin dışında olduğu görülmüştür. Bu nedenle mineral katkı içeren karışımlarda oluşan ürün yapısının bozulduğu ve bu durumun dayanımlarda düşüş olarak açığa çıktığı düşünülmektedir. Kullanılan mineral katkıları içerisinde uçucu kül içeren numunenin Ca/Si oranının optimum değerinin üzerine çıkması sebebiyle oluşan tobermorit yapısının bozularak plaka formunda oluştuğu bu nedenle uçucu küllü numunelerde dayanımların düşük elde edildiği düşünülmektedir.

Tablo 6.2 Örneklerin rölatif basınç dayanım değerleri

Numune	Basınç Dayanımı (MPa)	Rölatif Basınç Dayanımı (%)
Kontrol	2,55	100
UK3	2,54	96,0
UK6	2,37	92,9
UK9	2,27	89,0
UK12	2,20	86,3
UK15	1,99	78,0
YFC3	2,50	98,0
YFC6	2,47	96,9
YFC9	2,38	93,3
YFC12	2,30	90,2
YFC15	2,20	86,3
SD3	2,48	97,3
SD6	2,44	95,7
SD9	2,45	96,1
SD12	2,40	94,1
SD15	2,38	93,3

### 6.3. Isıl İletkenlik deney sonuçları

Hazırlanan örneklerden elde edilen ısı iletkenlik değerleri Tablo 6.3’de toplu olarak verilmiştir. Tablodaki veriler göz önüne alındığında, kontrol numunesine kıyasla mineral katkı içeren karışımların ısı iletkenlik değerlerinin genellikle azaldığı fakat bazı kullanım oranlarında ısı iletkenliklerde artış olduğu tespit edilmiştir. Ancak bu artış ortalama %2 gibi düşük bir oranda kalmıştır. Mineral katkı içeren numunelerde birim hacim ağırlıkların düşük elde edilmesi ısı iletkenlik değerlerine genellikle olumlu yansımıştır. Dolayısıyla mineral katkı kullanımının gazbeton örneklerinin ısı iletkenlik değerleri üzerinde kayda değer olumsuz etkisinin olmadığı görülmüştür.

Tablo 6.3 Örneklerin ısı iletkenlik değerleri

Numune	Isıl İletkenlik (W/mK)	Rölatif Isıl İletkenlik
Kontrol	0,0903	100,0
UK3	0,0872	96,6
UK6	0,0878	97,3
UK9	0,0925	102,4
UK12	0,0802	88,9
UK15	0,0887	98,3
YFC3	0,0883	97,9
YFC6	0,0919	101,8
YFC9	0,0910	100,8
YFC12	0,0893	99,0
YFC15	0,0923	102,2
SD3	0,0876	97,0
SD6	0,0892	98,8
SD9	0,0910	100,8
SD12	0,0915	101,3
SD15	0,0897	99,3

Ayrıca gazbetonda alüminyum tozunun oluşturduğu kapalı boşluklar çimento hidratasyon ürünleri tarafından tamamen çevrilerek porozif yapı artmakta ancak içerisine su alamamaktadır. Diğer taraftan eklenen mineral katkıları yeni C-S-H fazları oluşarak numune içerisindeki serbest boşlukların dolması sağlanmaktadır.

Yeni hidrate ürünlerin oluşmasıyla boşlukların azalması beklense de, alüminyum tozunun etkisiyle oluşan boşluklar, bu hidrate ürünlerin içerisinde homojen bir şekilde dağılarak kapalı poroz bir yapı oluştururlar (Güçlüer, 2011) (Güçlüer, 2014). Bu nedenle mineral katkı içeren örneklerin ısı iletkenlik değerlerinin artmadığı düşünülmektedir.

Mineral katkı içeren örneklerin ısı iletkenlik sonuçları değerlendirildiğinde uçucu kül içeren örnekler arasında %12 uçucu kül içeren UK12 numunesi ısı iletkenlik açısından en düşük değeri vermiştir. Yaklaşık %14 basınç dayanımı kaybı ile uçucu külden %12 oranı kullanılabilir. Yüksek fırın cürufu ve silis dumanı içeren gazbeton örneklerinde en düşük ısı iletkenlik değerleri %3 katkı içeren SD3 ve YFC3 örneklerinde elde edilmiştir. Bu katkıların %3 oranında kullanımı tercih edilebilir. Bu oranda her iki katkı da en az dayanım kaybını vermiştir.

#### **6.4. Kapiler Su Emme Deney Sonuçları**

Hazırlanan karışımlara yapılan kapiler su emme deneylerinin sonuçları Tablo 6.4'de verilmiştir. 90 dk. sonundaki su emme değerlerinin uçucu kül içeren numunelerde %8.61 ile %10.37 arasında, yüksek fırın cürufu içeren numunelerde %11.87 ile %14.21 arasında, silis dumanı içeren numunelerde ise %12.22 ile %15.00 arasında olduğu görülmektedir. Su emme deney sonuçlarına bakıldığında cüruf ve silis dumanı içeren numunelerde su emme değerlerinin arttığı görülmüştür. Bunun nedeninin cüruf ve silis dumanının incelik değerlerinin çimentoya kıyasla yüksek olması sebebiyle yarattıkları boşluk iyileştirme etkisinden dolayı boşluk çaplarında küçülmeye sebep olduğu bu nedenle kapiler yolla suyun yükselmesinin kolaylaştığı düşünülmektedir.

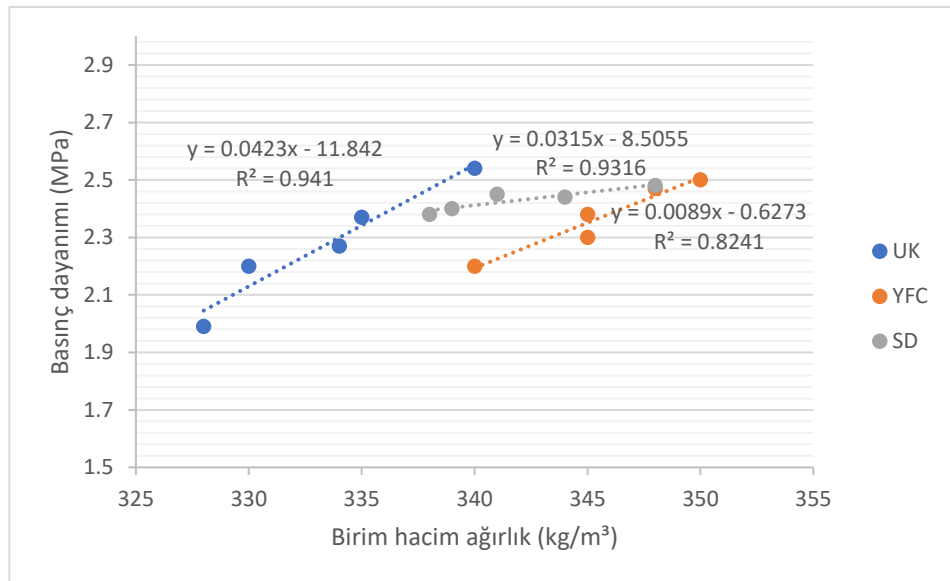


Tablo 6.4 Örneklerin 90 dk. sonunda kapiler su emme değerleri

Numune	Kapiler Su Emme (%) (90 dk)
Kontrol	10.64
UK3	9.88
UK6	10.37
UK9	9.27
UK12	8.61
UK15	9.78
YFC3	11.87
YFC6	12.97
YFC9	13.48
YFC12	13.66
YFC15	14.21
SD3	12.22
SD6	12.48
SD9	12.63
SD12	13.41
SD15	15.00

### 6.5. Birim hacim ağırlık-basınç dayanımı ve kapiler su emme ilişkisi

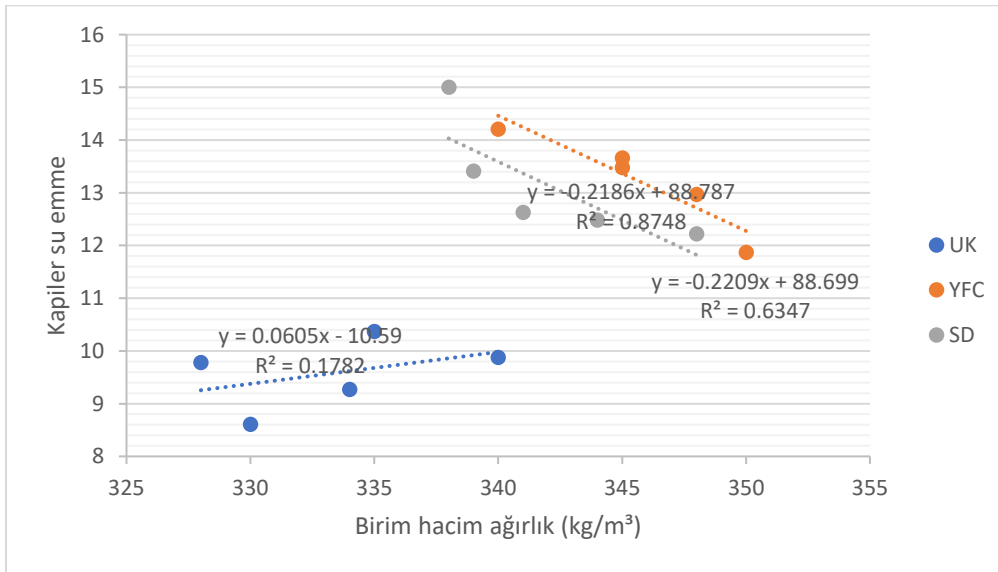
Çalışma kapsamında hazırlanan gazbeton örneklerinin birim hacim ağırlık-basınç dayanımı ilişkileri Şekil 6.3 de verilmiştir.



Şekil 6.3 Örneklerin basınç dayanım-birim hacim ağırlık ilişkisi

Buna göre şekilden de açıkça görüldüğü gibi gazbeton örneklerinde birim hacim ağırlıklar arttıkça basınç dayanımları da artmaktadır. Grafikte belirtilen  $R^2$  değerlerinden de anlaşılacağı gibi birim hacim ağırlık ve basınç dayanımı arasındaki ilişki oldukça kuvvetlidir. Basınç dayanımı açısından bakıldığında kullanılan mineral katkıları içerisinde uçucu kül içeren örnekler birim hacim ağırlığının değişiminden daha fazla etkilenmektedir. Birim hacim ağırlığının değişiminden en az etkilenen örnek grubu silis dumanı içeren örnekler olarak tespit edilmiştir.

Çalışma kapsamında hazırlanan gazbeton örneklerinin birim hacim ağırlık-kapiler su emme ilişkileri Şekil 6.4 de verilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi yüksek fırın cürufu ve silis dumanı içeren örneklerin kapiler su emme- birim hacim ağırlık ilişkisi benzer eğilim göstermektedir. Her iki mineral katkıda da birim hacim ağırlıklarının artmasıyla kapiler su emme değerleri düşmektedir. Grafikte belirtilen  $R^2$  değerlerinden de anlaşılacağı gibi bu iki mineral katkıda birim hacim ağırlık ve basınç dayanımı arasındaki ilişki oldukça kuvvetlidir. Uçucu kül içeren numunelerde ise her ne kadar birim hacim ağırlık artışıyla kapiler su emme artıyor gibi görülsede  $R^2$  değerine bakıldığında aradaki ilişkinin çok zayıf olduğu görülmektedir. Kullanılan mineral katkıları içerisinde uçucu kül içeren örnekler birim hacim ağırlığının değişiminden fazla etkilenmemiştir.



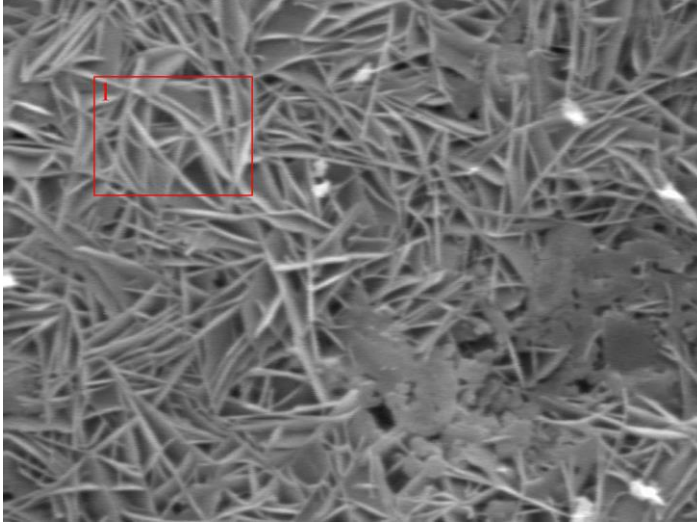
Şekil 6.4 Örneklerin kapiler su emme-birim hacim ağırlık ilişkisi

## 6.6 Mikroyapı Özellikleri

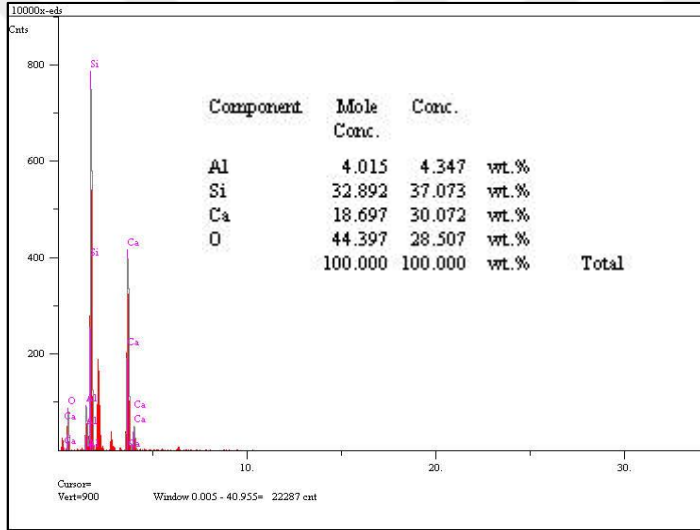
Tobermorit ve iyi kristalize olmuş C-S-H, gazbetonun ana mineralojik bileşenleridir (Karakurt, 2010; Mostofa, 2005; Kunchariyakun, 2015; Hauser, 1999; Huang, 2012; Yang, 2013; Albayrak, 2007). Bazen bunun yanında hamurun Ca/Si oranına göre ikinci faz olarak ksonotlit, jennit ve diğer kalsiyum silikat hidratlar da açığa çıkabilmektedir (Kunchariyakun, 2015; Sakiyama, 1977; Hong, 2004). Ca/Si oranı gazbetonun kristal fazlarının ve mikro morfolojisinin belirlenmesinde önemli bir yer tutmaktadır. Ca/Si oranının yükseldiği ve 1'den büyük olduğu durumlarda kısa silika zincirleri nedeniyle C-S-H'dan iğnemsî tobermorit yapıya dönüşmeye başlar. Bu da kalsiyumca zengin C-S-H'ın dönüşümünü kolaylaştırır (Sato, 1991). Ca/Si oranı (<0,8), yani çok düşük bir seviyede olduğu zaman, tobermoritin genellikle plaka formu ve ufalanmış folikül formunu sergilediği, C-S-H'ın ise pamuksu bir yapıya sahip olduğu görülür. Gazbetonda tobermorit oluşumu için optimum Ca/Si oranı 0,8 ila 1 arasındadır (Wongkeo, 2010). Ca/Si oranının optimum değerleri geçmesi durumunda tobermoritin, ksonotlit ve skalit formasyonuna ayrışması görülebildiği gibi, basınç dayanımını azaltıp ve gazbetonun büzülmesini arttırabildiği de izlenebilmektedir (Mostofa, 2005; Kunchariyakun, 2015). Ca/Si oranı, tobermorit fazında ayrışmanın meydana gelmesini önlemek için 0,8-1,0 aralığında sıkı bir şekilde kontrol edilmelidir (Mostofa, 2005).

Yapılan EDS analizleri sonucunda elde edilen verilere göre kontrol numunesine ait Ca/Si oranı 0,81, uçucu kül içeren numuneye ait Ca/Si oranı 1, yüksek fırın cürufu içeren numuneye ait Ca/Si oranı 0,79, silis dumanı içeren numuneye ait Ca/Si oranı ise 0,72 olarak bulunmuştur.

Çalışma kapsamında hazırlanan örnekler arasında sadece kontrol numunesinin Ca/Si oranının optimum Ca/Si oranı olan 0,8-1 arasında olduğu ve daha önce yapılan testlere göre de üretilen diğer numunelerle karşılaştırıldığında en yüksek basınç dayanımını verdiği gözlenmiştir. Kontrol numunesinin SEM görüntüsü Şekil 6.5'de, EDS sonucu Şekil 6.6'da görülmektedir.



Şekil 6.5 Kontrol numunesinin SEM görüntüsü

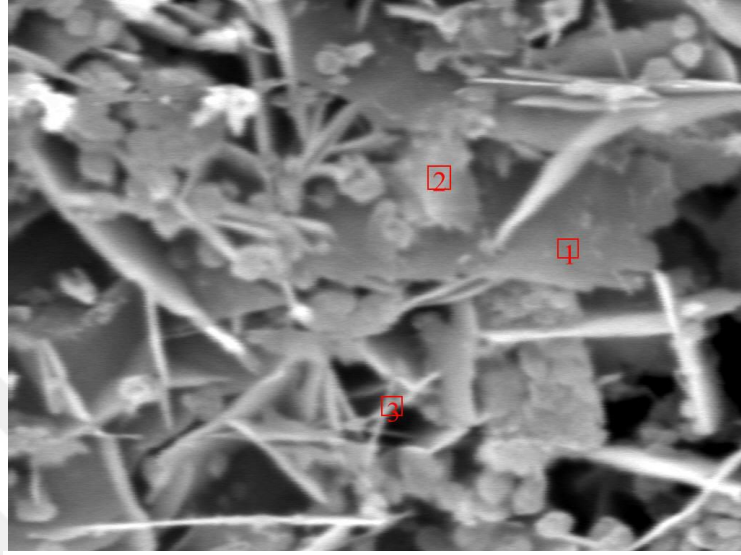


Şekil 6.6 1 noktasının EDS analizi

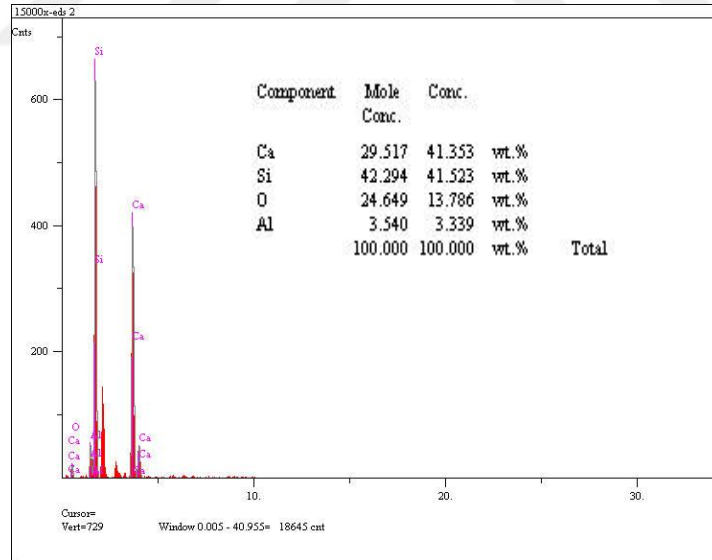
Mineral katkı içeren gazbeton numunelerinde elde edilen Ca/Si oranlarının ideal değer olan 0,8-1 aralığından saptığı görülmektedir. Mineral katkı kullanımı ile oluşan tobetmorit yapısında meydana gelen değişimler sebebiyle mineral katkı içeren gazbeton numunelerinin dayanımlarının kontrole kıyasla daha düşük elde edildiği düşünülmektedir.

Şekil 6.7 ve 6.8 de uçucu kül içeren gazbeton numunesinin SEM görüntüsü ve EDS analizi sırasıyla verilmiştir. Yapılan EDS analizi sonucunda da görüldüğü gibi uçucu kül içeren numunenin Ca/Si oranı 0.9 ile 1.69 aralığında çıktığından

SEM görüntüsünde tobermorit yapısının plaka formunda oluştuğu görülmektedir. Uçucu küllü numunede meydana gelen bu değişimin daha önceki bölümlerde verilen dayanım sonucuna olumsuz yansıdığı bu nedenle uçucu küllü numunelerde dayanımların düşük elde edildiği düşünülmektedir.

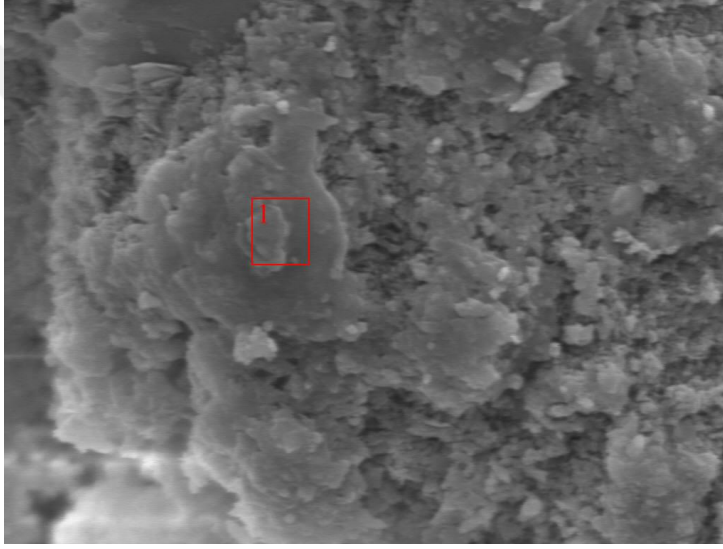


Şekil 6.7 %15 Küllü numunenin SEM görüntüsü

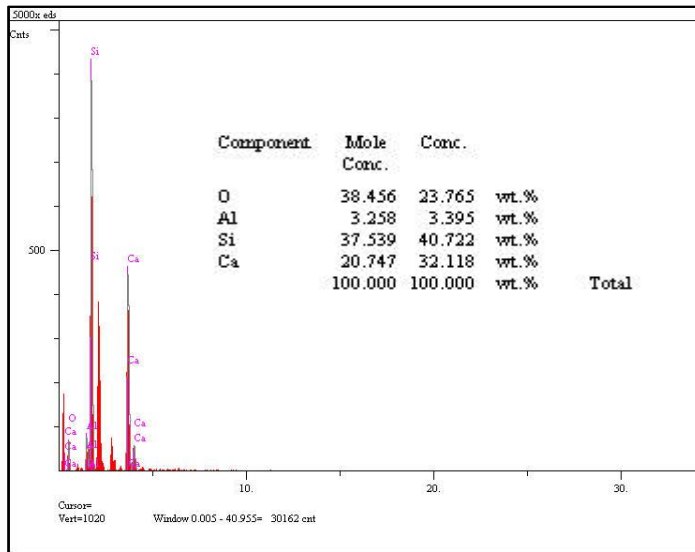


Şekil 6.8 1 noktasının EDS analizi

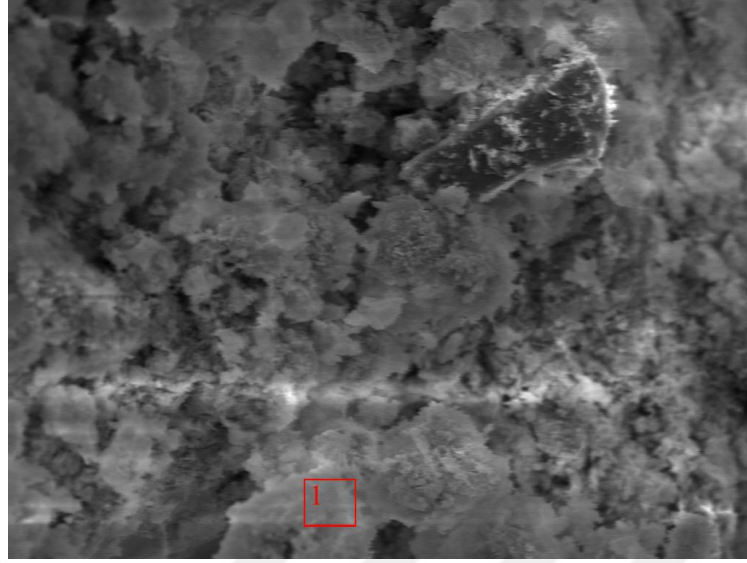
Şekil 6.10 ve 6.12' de yüksek fırın cürufu ve silis dumanı içeren numuneler için sırasıyla verilen EDS analizlerinde görüldüğü gibi hem yüksek fırın cürufu hem de silis dumanı içeren numunelerde Ca/Si oranı 0,8'den düşük elde edilmiştir. Her iki mineral katkı ile de hazırlanan gazbeton örneklerinden çekilen SEM görüntülerinde (Şekil 6.9 ve Şekil 6.11) oluşan yapının pamuksu formda olduğu görülmektedir. Yüksek fırın cürufu ve silis dumanı içeren numunelerde Ca/Si oranının ideal sınırlar içinde olmamasının ve oluşan yapının pamuksu forma dönüşmesinin daha önceki bölümlerde verilen dayanım sonuçlarına olumsuz yansıdığı bu nedenle yüksek fırın cürufu ve silis dumanı içeren numunelerde dayanımların düşük elde edildiği düşünülmektedir.



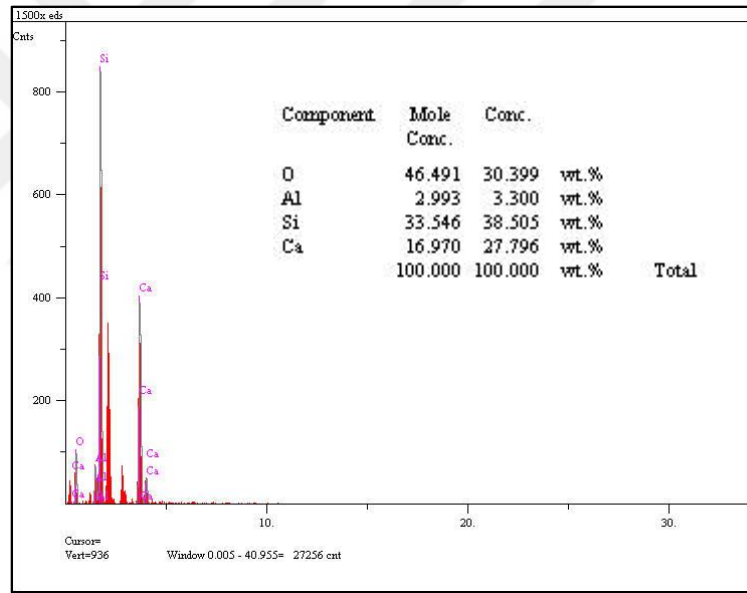
Şekil 6.9 %15 Yüksek fırın cürufllu numunenin SEM görüntüsü



Şekil 6.10 1 noktasının EDS analizi



Şekil 6.11 %15 Silis dumanlı numunenin SEM görüntüsü



Şekil 6.12 1 noktasının EDS analizi





## 7 SONUÇLAR

Çalışmada kullanılan malzemeler için incelenen özelliklerde elde edilen sonuçlar aşağıda sıralanmıştır:

- Gazbeton örneklerinde mineral katkı kullanımı genellikle birim hacim ağırlık ve basınç dayanımı değerlerinde azalmaya sebep olmuştur. Kullanılan mineral katkıları içerisinde uçucu külün birim hacim ağırlığı ve basınç dayanımını azaltmada daha etkili olduğu görülmüştür.
- Beklendiği gibi hazırlanan örneklerin birim hacim ağırlıkları ve basınç dayanımları arasında oldukça kuvvetli ilişki tespit edilmiştir.
- Mineral katkı kullanımı gazbeton örneklerinin ısı iletkenlik değerlerinde değişken sonuçlar göstermiştir. Katkı kullanımı ile değişim oranı %2 gibi düşük bir oranda kalmıştır. Dolayısıyla mineral katkı kullanımının gazbeton örneklerinin ısı iletkenlik değerleri üzerinde kayda değer olumsuz etkisinin olmadığı görülmüştür.
- Mineral katkı kullanım oranı arttıkça birim hacim ağırlıkları ve basınç dayanımlarının düştüğü, buna karşın ısı iletkenliklerin kayda değer oranda değişmediği tespit edilmiştir.
- Yüksek fırın cürufu ve silis dumanı içeren numunelerde kapiler su emme değerlerinin arttığı, buna karşın uçucu kül içeren numunelerde azaldığı görülmüştür.
- Çalışma kapsamında hazırlanan örnekler arasında sadece kontrol numunesinin Ca/Si oranı optimum değer olan 0,8-1 arasında tespit edilmiştir. Mineral katkı içeren tüm örnekler bu optimum değer dışında kaldığından oluşan bağlayıcı yapı değişime uğrayarak basınç dayanımlarını olumsuz etkilemiştir.
- Çalışmada incelenen özellikler birlikte dikkate alındığında uçucu külde %12, yüksek fırın cürufu ve silis dumanında %3 kullanım oranı tercih edilebilir.



**KAYNAKLAR DİZİNİ**

**ACI Committee 207**, 1988, Roller Compacted Mass Concrete, ACI Materials Journal, 85p.

**ACI Committee 234**, 2000, “Guide for the use of silica fume in concrete”, American Concrete Institute, Farmington Hills, .4. Tonak, T., Sipahi, F. ve Atay, Y., “Elektrometalurji sanayi atık ürünü silis dumanının çimento üretiminde kullanılması”, Endüstriyel Atıkların İnşaat Sektöründe Kullanılması Sempozyumu, Bildiriler Kitabı, İMO, Ankara, 1993,169-183s.

**ACI Committee 325.10**, 1995, State-of-the-Art Report on Roller Compacted Concrete Pavements, ACI Manual of Concrete Practice.

**Albayrak, M., Yörükoğlu, A., Karahan, S., Atlıhan, S., Aruntaş, H.Y., Girgin İ.**, 2007, Influence of Zeolite Additive on Properties of Autoclaved Aerated Concrete. Building and Environment, 42: 3161-3165s.

**Aruntaş, H.Y.**, 2006, “Uçucu Küllerin İnşaat Sektöründe Kullanım Potansiyelleri”, Gazi Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, Cilt: 21, No: 1, Ankara, 193-203s.

**ASTM C 618**, 1998, Standart Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use as a Mineral Admixture in Concrete, Annual Book of ASTM Standarts, No.4.

**Boğa, A.R.**, 2010, Yüksek fırın cürufu ve korozyon inhibitörü kullanımının beton içerisindeki donatı korozyonuna ve beton özelliklerine etkileri. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Eskişehir.

**Borhan, B.**, 1987, “Ytong El Kitabı- I” Ytong Teknik Yayınları No:1, İstanbul.

**Cai, L., Maa, B., Li X., Lv Y., Liu Z., Jian S.**, 2016, Mechanical and hydration characteristics of autoclaved aerated concrete (AAC) containing iron-tailings: Effect of content and fineness, Construction and Building Materials 128:361–372

**Chen, Y.-L., Chang, J.-E., Lai, Y.-C., Chou, M.-In M.**, 2017, A Comprehensive Study on The Production Of Autoclaved Aerated Concrete: Effects of

Silica-Lime-Cement Composition And Autoclaving Conditions, Construction and Building Materials 153:622–629pp.

**Çelik, Ç.**, 2005, Gazbeton Üretiminde Uçucu Külün Kullanılabilirliğinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

**Çiçek, Y.E.**, 2002, "Pişmiş Toprak Tuğla, Bimsbeton, Gazbeton ve Perlitli Yapı Malzemelerinin Fiziksel, Kimyasal ve Mekanik Özelliklerinin Karşılaştırmalı Olarak İncelenmesi", İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.

**Drochytkaa, R., Helanováa, E.**, 2015, Development of Microstructure of The Fly Ash Aerated Concrete In Time, Procedia Engineering 108:624 – 631pp.

**EİE.**, 1982, "Türkiye uçucu küllerinin özellikleri" EİE Yayını. 82. 21-28. Ankara.

**EİE.**, 1979, "Türkiye Uçucu Küllerinin Özellikleri ve Kullanılma Olanakları". Ankara.

**Erdoğan, S.T., Erdoğan, T.Y.**, 2007, Puzolanik Mineral Katkılar ve Tarihi Geçmişleri. 2. Yapılarda Kimyasal Katkılar Sempozyumu, 13 Nisan 2007, 263-276s.

**Erdoğan, TY.**, 2003, Mineral katkı maddeleri, S. 169 – 208, 2003, Portland çimentoları ve diğer çimento türleri, [Editörler: Erdoğan, TY. Beton, 741 S., ODTÜ Geliştirme Vakfı Yayıncılık ve İletişim A.Ş., Ankara]. 17-37s.

**Erdoğan, Ş, Kurbetçi, Ş**, 2003, Betonun Performansına Sağladıkları Etkinlik Açısından Kimyasal ve Mineral Katkı Maddeleri, Türkiye Mühendislik Haberleri, 426 (4): 115-120s.

**Eti Elektrometalurji A.Ş.**, 1993,2001, İşletmesi yetkililerinden alınan bilgiler, Antalya.

**Garbalinska, H., Stasiak, M., Bochenek, M., Musielak, G.**, 2018, Assessment of a new method for determining the relationship between effective diffusivity and moisture concentration – Exemplified by autoclaved aerated concrete of four density classes, International Journal of Heat and Mass Transfer 124: 288–297pp.

- Görhan, G.** 2006, Hafif Yapı Blokları Üretiminde Uçucu Külün Kireç ve Çimento İle Birlikte Kullanımının Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyonkarahisar.
- Gutt, W, Nixon, P.J.,** 1970, Use of waste materials in the construction industry, *Materials and Structures*, 12 (70): 255 – 306pp.
- Güçlüer, K., Ünal, O., Demir, İ.,** 2014, Buhar Kürlü Gazbetonun Mekanik ve Fiziksel Özelliklerine Puzolan Katkısının Etkisi Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi AKÜ FEMÜBİD 14 :015601 (1-6)
- Güçlüer, K.,** 2011, Uçucu külden üretilen silis dumanı katkılı gazbeton örnekler üzerine kür etkisinin araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyonkarahisar, 83.
- Hauser, A., Eggenberger, U., Mumenthaler, T.,** 1999, Fly Ash From Cellulose Industry as Secondary Raw Material in Autoclaved Aerated Concrete. *Cement and Concrete Research*, 29: 297-302pp.
- Hauser, A., Eggenberger, U., Mumenthaler, T.,** 1999, Fly ash from cellulose industry as secondary raw material in autoclaved aerated concrete, *Cem. Concr. Res.* 29 :297–302pp.
- Holt, E., Raivio, P.,** 2005, Use of Gasification Residues in Aerated Autoclaved Concrete. *Cement and Concrete Research*, 35: 796-802pp.
- Hong, S.Y., Glasser, F.P.,** 2004, Phase relationship in CaO-SiO<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O system to 200 °C at saturated steam pressure, *Cem. Concr. Res.* 34:1529–1534pp.
- Huang, X.Y., Ni W., Cui, W.H., Wang, Z.J., Zhu, L.P.,** 2012, Preparation of autoclaved aerated concrete using copper tailings and blast furnace slag, *Constr. Build. Mater.* 27: 1–5pp.
- Karakurt, C., Kurama, H., Topçu, I.B.,** 2010, Utilization of natural zeolite in aerated concrete production, *Cem. Concr. Compos.* 32:1–8s.
- Kefelioğlu. S.,** 1998, "Türkiye Uçucu Küllerinin Özellikleri ve Kullanılma İmkanları" Teknoloji.

- Kırgız, MS.**, 2007 Mermer ve tuğla endüstrisi atıklarının çimento üretiminde mineralojik katkı olarak kullanılması, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 228s.
- Kozak Ş.**, 2010, Gazbeton Üretiminde Uçucu Külün Hammadde Olarak Kullanımının Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yapı Eğitimi, Ana Bilim Dalı, Afyon,
- Kunchariyakun, K., Asavapisit, S., Sombatsompop, K.**, 2015, Properties of autoclaved aerated concrete incorporating rice husk ash as partial replacement for fine aggregate, *Cem. Concr. Compos.* 55, 11–16pp.
- Kurama, H., Topçu, İ.B., Karakurt, C.**, 2009, Properties of The Autoclaved Aerated Concrete Produced From Coal Bottom Ash. *Journal of Material Processing Technology*, 209: 767-773.
- Kus, H., Carlsson, T.**, 2003, Microstructural Investigations of Naturally and Artificially Weathered Autoclaved Aerated Concrete. *Cement and Concrete Research*, 33: 1423-1432pp.
- Laukaitis, A., Fiks, B.**, 2006, Acoustical Properties of Aerated Autoclaved Concrete. *Applied Acoustics*, 67: 284-296pp.
- Laukaitis, A., Keriene, J., Mikulskis, D., Sinica, M., Sezemanas, G.**, 2009, Influence of Fibrous Additives on Properties of Aerated Autoclaved Concrete Forming Mixtures and Strength Characteristics of Products. *Construction and Building Materials*, 23: 3034-3042pp.
- Li, X., Liu, Z., Lv, Y., Cai, L., Jiang, D., Jiang, W., Jian S.**, 2018, Utilization of municipal solid waste incineration bottom ash in autoclaved aerated concrete, *Construction and Building Materials* 178: 175–182pp.
- Ma, B.-g., Cai, L.-x., Li, X.-g., Jian, S.-w.**, 2016, Utilization of iron tailings as substitute in autoclaved aerated concrete: physico-mechanical and microstructure of hydration products, *Journal of Cleaner Production* 127 :162-171pp.
- Mindess, S., Young, J.F, Darwin, D.**, 2002, Mineral admixture and blended cement, , [Editörler: Mindess, S., Young, JF, Darwin, D. *Concrete*, Second

Edition, 629 S., Pearson Education Inc., Prentice Hall, New Jersey], 93 – 114pp.

- Mostafa, N.Y.**, 2005, Influence of Air-cooled Slag on Physicochemical Properties of Autoclaved Aerated Concrete. *Cement and Concrete Research*, 35: 1349-1357pp.
- Narayanan, N., Ramamurthy, K.**, 2000, Structure and Properties of Aerated Concrete: A Review. *Cement and Concrete Composites*, 22: 321-329pp.
- Neville, AM, Brooks JJ.**, 1987, *Admixtures*, , [Editörler: Neville, AM, Brooks JJ. Concrete technology, 431 S., Longman Scientific & Technical, Harlow Essex], 147 – 160pp.
- Özel, G.**, 2013, Uçucu Külün Gazbeton Özelliklerine Etkisinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 80.
- Özgenç İ., Sarısözen, B.**, 1999, Gazbeton Üretiminde Perlit Kullanılabilir mi? 3. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, 14-15 Ekim 1999, İzmir, Türkiye.
- Özgün T.**, Teknik Toplantı Notları, 1998.
- Papatzani, S., Paine, K., Calabria-Holley, J.**, 2015, A comprehensive review of the models on the nanostructure of calcium silicate hydrates, *Constr. Build. Mater.* 74:219–234pp.
- Pehlivanlı, Z. O., Uzun, İ., Yücel, Z., P., Demir, İ.**, 2016, The effect of different fiber reinforcement on the thermal and mechanical properties of autoclaved aerated concrete, *Construction and Building Materials* 112: 325–330pp.
- Qu, X., Zhao, X.**, 2017, Previous and present investigations on the components, microstructure and main properties of autoclaved aerated concrete – A review *Construction and Building Materials* 135: 505–516pp.
- Ramamurthy, K., Narayanan, N.**, 2000, Influence of Composition and Curing on Drying Shrinkage of Aerated Concrete. *Materials and Structures*, 33: 243-250pp.
- RILEM Committee 73-SCB**, 1988, Final Report on Siliceous by-products for Use in Concrete, *Materials and Structures*, C.21, No.121, s.69-80pp.

**Richardson, D.N.**, 2006, Strength and Durability Characteristics of a 70% Ground Granulated Blast Furnace Slag (GGBFS) Concrete Mix., Missouri Department of Transportation Organizational Results, Project No. R199-035, MoDOT, University of Missouri-Rolla, Rolla, Missouri, 134s. Available: <http://library.modot.mo.gov/RDT/reports/Ri99035/or06008.pdf> (Eriřim Tarihi 26.08.2018)

**Rózycka, A., Pichór, W.**, 2016, Effect of perlite waste addition on the properties of autoclaved aerated concrete, *Construction and Building Materials* 120:65–71pp.

**Rózycka, A., Pichór, W.**, 2016, Effect of perlite waste addition on the properties of autoclaved aerated concrete, *Construction and Building Materials* 120:65–71pp.

**Sakiyama, M., Mitsuda, T.**, 1977, Hydrothermal reaction between C-S-H and kaolinite for the formation of tobermorite at 180 °C, *Cem. Concr. Res.* 7:681–685pp.

**Sato, H., Grutzeck, M.**, 1991, Effect of starting materials on the synthesis of tobermorite, *MRS Proc.* 245:235–240pp.

**Topçu, İ.B., Demir, A., Karakurt, C.**, 2005, Gazbeton Kırıklarının Betonda Agregada Olarak Kullanılması. Deprem Sempozyumu, Kocaeli, Türkiye.

**TS EN 197-1**, Mart 2002, Çimento-Bölüm 1: Genel Çimentolar-Bileşim, Özellikler ve Uygunluk Kriterleri, Türk Standartları Enstitüsü.

### **Türk Ytong Kitabı**

**Türker, P., Erdoğan, B., Katnaş, F., Yeğınobalı, A.**, 2009, “Türkiye’deki Uçucu Küllerin Sınıflandırılması ve Özellikleri”, TÇMB, AR-GE, Y03.03,

**Ünverdi, A.**, 2006, “Yüksek Sıcaklık Altında Gazbeton Kırıklı Betonların Dayanımlarının İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.

**Ünverdi, A.**, 2006, Yüksek Sıcaklık Altında Gazbeton Kırıklı Betonların Dayanımlarının İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.



- Wanga, C.I., Ni, W., Zhang, S.-q. Wang, S., Gai, G.-s., Wang, W.-k.,** 2016, Preparation and properties of autoclaved aerated concrete using coal gangue and iron ore tailings, *Construction and Building Materials* 104:109–115pp.
- Wongkeo, W., Chaipanich, A.,** 2010, Compressive Strength, Microstructure and Thermal Analysis of Autoclaved and Air Cured Structural Lightweight Concrete Made With Coal Bottom Ash and Silica Fume. *Materials Science and Engineering, A* 527: 3676-3684pp.
- Wongkeo, W., Chaipanich, A.,** 2010, Compressive strength, microstructure and thermal analysis of autoclaved and air cured structural lightweight concrete made with coal bottom ash and silica fume, *Mater. Sci. Eng. A* 527:3676–3684pp.
- Wongkeo, W., Thongsanitgarn, P., Pimraksa, K., Chaipanich, A.,** 2012, Compressive strength, flexural strength and thermal conductivity of autoclaved concrete block made using bottom ash as cement replacement materials, *Mater. Design* 35: 434–439pp.
- Yalçın, H, Gürü, M,** 2006, Çimento ve Beton, Palme Yayıncılık, Ankara.
- Yang, J.K., Shi, Y.F., Yang, X., Liang, M., Li, Y., Li, Y.L., Ye, N.,** 2013 Durability of autoclaved construction materials of sewage sludge-cement-fly ash-furnace slag, *Constr. Build. Mater.* 48:398–405pp.
- Yazıcıoğlu, S., Gönen, T., Çobanoğlu, Ö.C.,** 2005, Elazığ Ferrokrom Cürufunun Beton Basınç Dayanımı ve Çarpma Enerjisi Üzerine Etkisi, *Fırat Üniv. Fen ve Müh. Bil. Der.*, 17(4): 681-685s.
- Yeğınobalı, A.,** 2009, Silis Dumanı ve Çimento ile Betonda Kullanımı, TCMB / AR-GE / Y 01.01.
- Yuan, B., Straub, C., Segers, S., Yu Q., Brouwers, H.J.H. ,** 2017, Sodium carbonate activated slag as cement replacement in autoclaved aerated concrete, *Ceramics International* 43: 6039–6047pp.



## ÖZGEÇMİŞ

Çağıl İpek Büyükcan, 1980 yılında İzmir’de doğdu. İlköğretim ve lise eğitimini Aydın’da, lisans eğitimini Manisa Celal Bayar Üniversitesi İnşaat Mühendisliği bölümünde tamamladı. 2016 yılında Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Yapı Malzemesi Bilim Dalı’na girdi. Halen AKG Gazbeton’da Ürün Sorumlusu olarak çalışmaktadır.

