

**ESKİŞEHİR
ANADOLU ÜNİVERSİTESİ**



**BİLECİK ŞEYH EDEBALI
ÜNİVERSİTESİ
BİLECİK
ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ**

**Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı**

**FARKLI MİNERALLERİN VE UÇUCU KÜLÜN GAZBETON
ÜRETİMİNDE DEĞERLENDİRİLMESİ**

**Orhan Yavuz OSMANOĞLU
Yüksek Lisans Tezi**

**Tez Danışmanı
Öğr. Gör. Dr. Muhsin YALÇIN**

**BİLECİK, 2019
Ref. No.10296519**



ESKİŞEHİR
ANADOLU ÜNİVERSİTESİ



BİLECİK ŞEYH EDEBALI
ÜNİVERSİTESİ
BİLECİK
ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ

Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı

FARKLI MİNERALLERİN VE UÇUCU KÜLÜN
GAZBETON ÜRETİMİNDE DEĞERLENDİRİLMESİ

Orhan Yavuz OSMANOĞLU
Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı
Öğr. Gör. Dr. Muhsin YALÇIN

BİLECİK, 2019



Graduate School of Sciences
Department of Civil Engineering

**EVALUATION OF DIFFERENT MINERAL ADDITIVES
AND FLY ASH IN AERATED CONCRETE PRODUCTION**

Orhan Yavuz OSMANOĞLU
Master's Thesis

Thesis Advistor
Ass. Prof. Muhsin YALÇIN

BİLECİK, 2019



BİLECİK ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS JÜRİ ONAY FORMU

Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunun 09/08/2019 tarih ve 45-07 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından 26/08/2019 tarihinde tez savunma sınavı yapılan Orhan Yavuz Osmanoğlu' nun "Farklı Minerallerin ve Uçucu Külün Gazbeton Üretiminde Değerlendirilmesi" başlıklı tez çalışması İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak oy birliği/ oy çokluğu ile kabul edilmiştir.

JÜRİ

ÜYE

(TEZ DANIŞMANI) : Öğr. Gör. Dr. Muhsin YALÇIN

ÜYE: Doç. Dr. Mehmet CANBAZ

ÜYE: Doç. Dr. Cenk KARAKURT

ONAY

Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunun / / tarih ve / sayılı kararı.

İMZA/ MÜHÜR

TEŞEKKÜR

Farklı minerallerle gazbeton üretilmesi hususunda yapmış olduğumuz bu çalışmamızda, kıymetli zamanlarını ayırıp benimle değerli bilgilerini paylaşan, destek ve yardımlarını esirgemeyen, gelecekteki mesleki hayatımda da bana verdikleri değerli bilgilerden faydalanacağımı düşündüğüm kıymetli hocam Yrd.Doç.Dr. Muhsin YALÇIN'a teşekkürü bir borç biliyor şükranlarımı sunuyorum.Yine çalışmamda konu, kaynak ve yöntem açısından bana sürekli yardımda bulunarak yol gösteren Türk Ytong San A.Ş. Bilecik Fabrikası Müdürü Emrah Konuk'a , her türlü bilgi birikimlerini paylaştığı ve çalışmalarımızda daima yardımcı olan Gemikaya Holding Azerbaycan Gazbeton Fabrikası Üretim Müdürü Sn. Abdulgafar Perk' e ve daima yardım ve desteğini esirgemeyen Türk Ytong San A.Ş. Bakım Şefi Mak.Müh. Erhan MADAN'a ayrıca madenleri ile denemeler yapmamıza olanak sağladıklarından dolayı Anadolu Birlik Holding Yatırım ve Proje Kordinatörlüğü Jeo.Müh.Melih Cem YÜKSEL Bey ve Anadolu Birlik Holding Genel Müdürü Mak.Müh. Ali TUNCEL Bey'e teşekkürlerimi ve şükranlarımı sunuyorum. Ayrıca tezin içerik kısmının düzenlenmesinde emeği geçen çalışma arkadaşlarım İnş.Müh.Fatih YILDIRIM, İnş.Müh.Mert Koçer'e ve Y.Elektrik-Elektronik ve Mak.Müh.Fethi CANDAN'a çok teşekkür ederim. Ayrıca her daim desteğini esirgemeyen TÜRK GAZBETON firması çalışanlarına teşekkür ederim.

Diğer değerli üniversite hocalarımda bana üniversite hayatım boyunca kazandırdıkları her şey için ve beni gelecekte söz sahibi yapacak bilgilerle donattıkları için hepsine teker teker teşekkürlerimi sunuyorum ve son olarak beni bu günlere sevgi ve saygı kelimelerinin anlamlarını bilecek şekilde yetiştirerek getiren ve benden hiçbir zaman desteğini esirgemeyen bu hayattaki en büyük şansım olan aileme sonsuz teşekkürler.

BEYANNAME

Tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi, görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere atıfta bulunduğumu, atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı beyan ederim.

20/09/2019

Orhan Yayuz OSMANOĞLU

A handwritten signature in blue ink, consisting of several loops and a long horizontal stroke at the end, positioned below the printed name and date.

FARKLI MİNERALLERİN VE UÇUCU KÜLÜN GAZBETON ÜRETİMİNDE DEĞERLENDİRİLMESİ

ÖZET

Geleneksel gazbeton ince öğütülmüş silis kumu (kuvars kumu) ve bağlayıcı malzemeden (kireç, çimento) oluşan karışıma gözenek oluşturan bir katkı malzemesi ilave edilmesi ile hafifleşen ve basınçlı buhar kürü ile dayanım kazanan bir hafif betondur. Farklı doğal ve yapay mineral malzemelerin gazbeton karışımlarında kullanımı, ürün çeşitliliği ve üretimde ekonomi sağlayacaktır.

Bu çalışmada, gazbeton üretiminde riyolit, perlit ve uçucu külün mineral katkı olarak kullanılabilirliği ve gazbeton özelliklerine etkisi araştırılmıştır. G2/05 gazbeton sınıfı esas alınarak iki grup altında dört farklı referans gazbeton karışım oranları belirlenmiştir. Her bir grup karışımlarda alüminyum, sönmüş kireç, alçı ve su/katı oranı sabit tutulmuştur. İlk grup çalışmada, 3 farklı referans gazbeton karışımında her bir mineral katkı %25, %45, %65 ve %85 oranlarında çimento ile yer değiştirilerek kullanılmıştır. İkinci grup çalışmada, referans karışım olarak sadece her bir mineral katkının %76 oranında kullanıldığı üretimler yapılmıştır. Bu grupta referans karışıma, 3 farklı oranda çimento (%20, %40, %60) ve silis kumu (%30, %50, %70) mineral katkı ile yer değiştirilerek ilave edilmiştir. Gazbeton bileşen miktarları, toplam katı malzeme miktarına göre belirlenmiştir. Üretilen gazbeton numuneleri, 40°C’de 4 saat kabarma için bekletildikten sonra 180°C ve 12 bar basınçta 6 saat otoklavda kür uygulanmıştır. Gazbeton numunelerde yayılma, penetrasyon, basınç, kuru birim hacim ağırlık, kılcal su emme ve ısı iletkenlik deneyleri yapılmıştır. Ayrıca SEM ve XRD analizleri gerçekleştirilmiştir.

Deney sonuçlarına göre, perlit, riyolit ve uçucu kül katkılı gazbeton numunelerde sırasıyla 2.16-2.57 MPa, 2.24-2.41 MPa ve 2.04-2.53 MPa aralığında basınç dayanımı değerleri elde edilmiştir. Çimentosuz, sadece mineral katkıların kullanıldığı karışımlarda gazbeton numunesi elde edilememiştir.

Anahtar Kelimeler: Gazbeton; Perlit, Riyolit; Uçucu Kül; Basınç Dayanımı

EVALUATION OF DIFFERENT MINERAL ADDITIVES AND FLY ASH IN AERATED CONCRETE PRODUCTION

ABSTRACT

Conventional gas concrete is a lightweight concrete that is lightened by adding a pore-forming additive to the mixture of finely ground silica sand (quartz sand) and binder material (lime, cement) and which becomes stable by pressurized steam curing. The use of different natural and artificial mineral materials in aerated concrete mixes will provide product variety and economy in production.

In this study, the usability of rhyolite, perlite and fly ash as a mineral additive in gas concrete production and its effect on aerated concrete properties were investigated. Based on the G2/05 gas concrete class, four different reference gas concrete mixture ratios were determined under two groups. Aluminum, slaked lime, gypsum and water/solid ratio were kept constant in each group mixtures. In the first group study, each mineral additive was used by replacing 25%, 45%, 65% and 85% cement in 3 different reference gas concrete mixes. In the second group study, productions that only 76% of each mineral additive was used as the reference mixture were made. In this group, 3 different ratios of cement (20%, 40%, 60%) and silica sand (30%, 50%, 70%) were added to the reference mixture by replacing with mineral additive. The amounts of aerated concrete components were determined according to the total amount of solid material. The produced gas concrete samples were allowed to swell at 40° C for 4 hours and then cured in autoclave at 180°C and 12 bar pressure for 6 hours. Spread, penetration, pressure, dry unit volume weight, capillary water absorption and thermal conductivity tests were performed on the gas concrete samples. SEM and XRD analyzes were also performed.

According to the experiment results, compressive strength values of 2.16-2.57 MPa, 2.24-2.41 MPa and 2.04-2.53 MPa were obtained in perlite, rhyolite and fly ash reinforced gas concrete samples, respectively. Aerated concrete samples which producing without cement could not be obtained only in mixtures with mineral additives.

Keywords: Autoclaved, Aerated Concrete; Perlite; Ryolite; Fly Ash; Compressive Strength

İÇİNDEKİLER

	Sayfa No
TEŞEKKÜR.....	i
BEYANNAME	ii
ÖZET.....	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
ÇİZELGELER DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vii
SİMGE VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	x
1. GİRİŞ	1
1.1. Amaç ve Kapsam	3
1.2. Literatür Özeti.....	4
2. GAZBETON YAPI MALZEMESİ	14
2.1. Geleneksel Gazbeton Üretiminde Kullanılan Malzemeler	14
2.1.1. Kuvarsit ve alçıtaşı.....	15
2.1.2. Sönmemiş kireç.....	16
2.1.3. Çimento	17
2.1.4. Kum çamuru.....	18
2.1.6. Alüminyum tozu.....	18
2.1.7. Atık çamur	19
2.2. Mineral Katkı Malzemeleri.....	19
2.2.1. Uçucu kül.....	19
2.2.2 Silis dumanı	20
2.2.3. Yüksek fırın cürufu	21
2.2.4. Riyolit	22
2.2.5. Perlit	23
2.3. Gazbeton Özellikleri.....	24
2.3.1. Gazbetonun mekanik özellikleri	24
2.3.2. Gazbetonun fiziksel özellikleri	25
2.3.3. Gazbetonun kimyasal yapısı	26
2.4. Gazbetonun Kullanım Alanları	27
2.5. Gazbeton Üretimi	28

2.6. Gazbeton Fabrikalarının Ürün Yelpazesi	30
2.7. Dünya Genelindeki Gazbeton Tesislerinin Tipleri	31
2.8. Gazbeton Fabrikalarının Bölümleri.....	35
2.8.1. Ytong tozu ve anhidrit kırma – Toz öğütme sistemi.....	35
2.8.2. Kum değirmeni ve silis kumu besleme sistemi.....	37
2.8.3. Alüminyum dozajlama odası	37
2.8.4. Döküm mikseri ve stok siloları.....	37
2.8.5. Kabarma odası.....	38
2.8.6. Kalıp sirkülasyon hattı, kesme hattı geri dönüş havuzu.....	39
2.8.7. Otoklavlar	39
2.8.8. Ayırma.....	40
2.8.9. Paketleme hattı.....	41
3. DENEYSEL ÇALIŞMA.....	42
3.1. Malzemeler	42
3.1.1. Çimento	42
3.1.2. Silis (kuvars) kumu	43
3.1.3. Sönmemiş kireç.....	43
3.1.4. Öğütülmüş Alçıtaşı.....	44
3.1.5. Alüminyum tozu.....	44
3.1.6. Uçucu kül.....	44
3.1.7. Perlit	45
3.1.8. Riyolit.....	46
3.2. Gazbeton Karışım Parametreleri/Oranları.....	47
3.3. Gazbeton Üretimi.....	49
3.4. Kür Koşulları	49
3.5. Gazbeton Deneyleri.....	49
3.5.1. Taze/sertleşen gazbeton deneyleri.....	49
3.5.1.1. Yayılma tablası (serbest yayılma) deneyi.....	50
3.5.1.2. Penetrasyon sertliği deneyi	50
3.5.2. Sertleşmiş gazbeton deneyleri.....	51
3.5.2.1. Basınç deneyi	51
3.5.2.2. Kuru birim hacim ağırlık deneyi	52
3.5.2.3. Kılcal su emme deneyi	53

3.5.2.4. Isı iletkenlik deneyi	54
3.5.3 Mikro analiz/yapı deneyleri	55
3.5.3.1 SEM deneyi.....	55
3.5.3.2 EDS analizi	56
4. DENEY SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRME.....	57
4.1. Taze/Sertleşen Gazbeton Deneylerinin Sonuçları.....	57
4.1.1. Yayılma tablası (serbest yayılma) Deney Sonuçları	57
4.1.2. Penetrasyon sertliği deney sonuçları	60
4.2. Sertleşmiş Gazbeton Deney Sonuçları	62
4.2.1. Basınç deneyi sonuçları.....	62
4.2.2. Kuru birim hacim ağırlık (K.B.H.A.) deney sonuçları.....	65
4.2.3. Kılcal su emme deney sonuçları	68
4.2.4. Isı iletkenlik deney sonuçları	71
4.3. Mikro Analiz/Yapı Deney Sonuçları.....	73
4.3.1. Tarama elektron mikroskobu (SEM) deney sonuçları	73
4.3.2. EDS deneyi sonuçları	75
5. GENEL SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	77
KAYNAKLAR.....	80
ÖZGEÇMİŞ

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa No
Çizelge 2.1. Kuru yoğunluğa göre gazbeton yaklaşık hammadde miktarları (1m ³).....	14
Çizelge 2.2. Silis kumunun istenen sınır değerleri.	16
Çizelge 2.3. Kireç sınır değerler.....	17
Çizelge 2.4. Çimentonun olması gereken sınır değerleri.....	18
Çizelge 2.5. Alüminyum tozu sınır değerleri.	19
Çizelge 2.6. Gazbeton basınç dayanım sınıfları (dın 4165).....	25
Çizelge 2.7. Gazbeton porozite oranları.	26
Çizelge 2.8. Kuru birim hacim ağırlık ve ısı iletkenlik değerleri.....	26
Çizelge 2.9. Yatay ve dikey otoklavlama yapan fabrikalardaki makineler.	33
Çizelge 2.10. Dikey ve yatay otoklavlama sistemi farkları.	34
Çizelge 2.11. Gazbeton fabrikasında olan makinelerin isimleri.	35
Çizelge 3.1. Çimento kimyasal, fiziksel ve dayanım özellikleri.	42
Çizelge 3.2. Silis kumunun kimyasal bileşimi.	43
Çizelge 3.3. Sönmemiş kireç kimyasal özellikleri.	43
Çizelge 3.4. Öğütülmüş alçıtaşının kimyasal bileşimi.....	44
Çizelge 3.5. Uçucu kül kimyasal bileşimi.....	45
Çizelge 3.6. Perlitin kimyasal bileşimi.	45
Çizelge 3.7. Perlitin fiziksel özellikleri.....	46
Çizelge 3.8. Riyolitin kimyasal bileşimi.	46
Çizelge 3.9. Riyolitin fiziksel özellikleri.	47
Çizelge 3.10. 1.Grup karışım oranları.	48
Çizelge 3.11. 2.Grup karışım oranları.	48
Çizelge 4.1. Mineral katkı oranının ısı iletkenlik katsayısına etkisi (1.grup).	72
Çizelge 4.2. Mineral katkı oranının ısı iletkenlik katsayısına etkisi (2.grup).	72
Çizelge 5.1. Mineral katkı türü ve oranına göre gazbeton basınç dayanımı değişimi. .	78

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 2.1.	Gazbetonun gözenekli yapısı (Ertokat, N., 2014, “Ytong Kitabı” Türk Ytong San A.Ş.).	14
Şekil 2.2.	Uçucu kül.	20
Şekil 2.3.	Silis Dumanı	21
Şekil 2.4.	Riyolit madeni.	23
Şekil:2.5.	Kayaç haldeki perlit (a), ham perlit (b) ve genişletilmiş perlitin (c) görünümü.	24
Şekil 2.6.	Gazbetonun binalarda kullanım alanları (Ertokat, N., 2014, “Ytong Kitabı” Türk Ytong San A.Ş.).	28
Şekil 2.7.	Gazbeton üretim akış şeması.	29
Şekil 2.8.	Toz öğütme sistemi (proje çizimleri Xella Baustoffe GMBH şirketine aittir)	36
şekil 2.9.	Kum değirmeni ve silis kumu besleme sistemi (proje çizimleri Xella Baustoffe GMBH şirketine aittir).	37
Şekil 2.10.	Döküm mikseri ve stok siloları kesit görünüşleri (proje çizimleri Xella Baustoffe GMBH şirketine aittir).	38
Şekil 2.11.	Kabarma odası kesit görünüşü (proje çizimleri Xella Baustoffe GMBH şirketine aittir).	38
Şekil 2.12.	Kalıp sirkülasyon hattı, kesme hattı geri dönüş havuzu (proje çizimleri Xella Baustoffe GMBH şirketine aittir).	39
Şekil 2.13.	Otoklavlar genel görünüş kesit.	40
Şekil 2.14.	Gazbetonun pişirme esnasında otoklavlara yerleşimi (proje çizimleri Xella Baustoffe GMBH şirketine aittir).	40
Şekil 2.15.	Otoklavdan sonra malzemelerin ayırma vinci vasıtası ile ayrılması (proje çizimleri Xella Baustoffe GMBH şirketine aittir).	41
Şekil 2.16.	Gazbeton paletleme ve paketleme sistemi (proje çizimleri Xella Baustoffe GMBH şirketine aittir).	41
Şekil 3.2.	Yayılma tablası (serbest yayılma) deneyi.	50
Şekil 3.3.	Penetrasyon deneyi.	51
Şekil 3.4.	Basınç deneyi.	52
Şekil 3.5.	Etüvde kurutulan numuneler.	53
Şekil 3.6.	Isıl iletkenlik ölçüm cihazı.	55
Şekil 3.7.	Sem deneyin kullanılan cihazlar.	56
Şekil 4.1.	Mineral katkı oranının yayılma çapı değerlerine etkisi (%22ç-%62sk).	57
Şekil 4.2.	Katkı oranının yayılma çapı değerlerine etkisi (%26ç-%56sk).	58

Şekil 4.3.	Katkı oranının yayılma çapı değerlerine etkisi (%30ç-%46sk).....	58
Şekil 4.4.	Farklı silis kumu içeren karışımlarda çimento/perlit oranının yayılma çapı değerlerine etkisi.....	59
Şekil 4.5.	Farklı silis kumu içeren karışımlarda çimento/riyolit oranının yayılma çapı değerlerine etkisi.....	59
Şekil 4.6.	Mineral katkı oranının penetrasyon sertliğine etkisi (%22ç-%62sk).	60
Şekil 4.7.	Mineral katkı oranının penetrasyon sertliğine etkisi (%26ç-%56sk).	60
Şekil 4.8.	Mineral katkı oranının penetrasyon sertliğine etkisi (%30ç-%46sk).	61
Şekil 4.9.	Farklı silis kumu içeren karışımlarda çimento/perlit oranının penetrasyon sertliğine etkisi.....	61
Şekil 4.10.	Farklı silis kumu içeren karışımlarda çimento/riyolit oranının penetrasyon sertliğine etkisi.....	62
Şekil 4.11.	Mineral katkı oranının basınç dayanımına etkisi (%22ç-%62sk).....	63
Şekil 4.12.	Mineral katkı oranının basınç dayanımına etkisi (%26ç-%56sk).....	63
Şekil 4.13.	Mineral katkı oranının basınç dayanımına etkisi (%30ç-%46sk).....	64
Şekil 4.14.	Farklı silis kumu içeren karışımlarda çimento/perlit oranının basınç dayanımına etkisi.	64
Şekil 4.15.	Farklı silis kumu içeren karışımlarda çimento/riyolit oranının basınç dayanımına etkisi	65
Şekil 4.16.	Mineral katkı oranının kuru birim hacim ağırlığa etkisi (%22ç-%62sk)....	66
Şekil 4.17.	Mineral katkı oranının kuru birim hacim ağırlığa etkisi (%26ç-%56sk)....	66
Şekil 4.18.	Mineral katkı oranının kuru birim hacim ağırlığa etkisi (%30ç-%46sk).	67
Şekil 4.19.	Farklı silis kumu içeren karışımlarda çimento/perlit oranının kuru birim hacim ağırlığa etkisi.....	67
Şekil 4.20.	Farklı silis kumu içeren karışımlarda çimento/riyolit oranının kuru birim hacim ağırlığa etkisi.....	68
Şekil 4.21.	Mineral katkı oranının kılcal su emme katsayısına etkisi (%22ç-%62sk)...	69
Şekil 4.22.	Mineral katkı oranının kılcal su emme katsayısına etkisi (%26ç-%56sk)...	69
Şekil 4.23.	Mineral katkı oranının kılcal su emme katsayısına etkisi (%30ç-%46sk)...	70
Şekil 4.24.	Farklı silis kumu içeren karışımlarda çimento/perlit oranının kılcal su emme katsayısına etkisi.....	70
Şekil 4.25.	Farklı silis kumu içeren karışımlarda çimento/riyolit oranının kılcal su emme katsayısı etkisi.	71
Şekil 4.26.	%25 uçucu kül katkılı numunenin sem görüntüsü (60x).	73
Şekil 4.27.	%25 uçucu kül katkılı numunenin sem görüntüsü (250 x).	73
Şekil 4.28.	%25 perlit katkılı numunenin sem görüntüsü (10k x).	74

Şekil 4.29. %25 perlit katkılı numunenin sem görüntüsü (250 x).	74
Şekil 4.30. %25 riyolit katkılı numunenin sem görüntüsü (10k x).	74
Şekil 4.31. %25 riyolit katkılı numunenin sem görüntüsü (60 x).	75
Şekil 4.32. %25 perlit katkılı gazbeton numuneye ait eds grafiği ve değerleri.	75
Şekil 4.33. %25 riyolit katkılı içeren numuneye ait eds grafiği ve değerleri.	76
Şekil 4.34. %25 uçucu kül katkılı numuneye ait eds grafiği ve değerleri.	76

SİMGE VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler Açıklama

λ	: Isı iletkenlik değeri
μm	: Mikrometre
Db	: Desibel
kgf	: Kilogramkuvvet
MPa	: Mega paskal
f	: Basınç dayanım değeri
A	: Kesitin olarak alanı
F	: Kırılma anındaki yük
ρ	:Yoğunluk değeri
m	: Kuru kütle
V	: Hacim
μ	: Rutubet muhtevası oranı
$^{\circ}\text{C}$: Santigrad derece

Kısaltmalar Açıklama

AAC	: Autoclaved Aerated Concrete
ACI	: Amerikan Beton Enstitüsü
ASTM	: Amerikan Beton Test Metotları Standardı
C-S-H	: Kalsiyum Silika Hidrat
PÇ	: Portland Çimentosu
SEM	: Taramalı Elektron Mikroskobu (Scanning Electron
Microscope)	
TSE	: Türk Standartları Enstitüsü
UK	: Uçucu Kül
XRD	: X-ray Diffraction

1. GİRİŞ

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

Tarihine bakıldığında, 1877'de 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 kalsiyum hidrosilikatlara 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 yönde patent almıştır. Bundan sonra ise Birinci Dünya Savaşı yıllarında baş gösteren enerji sıkıntısının ardından, İsveçli bilim adamları 1918 yılından başlayarak yeni bir yapı malzemesi üzerinde çalışmaya başlamıştır. İsveç yönetimi, ülke kaynaklarının yetersiz olmasından ötürü, yapı malzemelerinin ısı özellikleriyle ilgili şartnameleri oldukça katılaştırmıştır. Bu düzenlemelerle amaçlanan; ısı iletkenlik katsayısı düşük yapı malzemelerinin, düşük enerji maliyetleriyle üretilmesiydi. Ayrıca malzemenin uzun ömürlü, yanmaz ve kolay işlenebilir olması da aranan diğer temel özelliklerdi. Bu yönde çalışmalar yapan isimlerden biri de İsveçli mimar Dr.J.Axel Eriksson idi. Stockholm'deki Kraliyet Teknolojisi Enstitüsü'nde inşaat teknikleri dersi veren Eriksson, 1923 yılında, içine alüminyum tozu karıştırılmış beton harcının otoklavda basınçlı buhar altında bekletildiği takdirde sertleşerek daha güçlü bir yapıya kavuştuğunu keşfetmiştir. İlk kez gazbetonu elde etmeyi başarmıştır. Formülünü daha da geliştirerek 1924 yılında patentini almıştır.

Hafif beton olarak sınıflandırılan gazbeton, çimento ve kireç bağlayıcı maddeleri ile birlikte yapısında silis dolgu maddesi, kum, baca külü, yüksek fırın cürufu ve su bulunduran maddelerden oluşmaktadır. Gazbetonun özellikleri hakkında ilk incelemeler (Valore, 1954) 1954' de, ayrıntılı araştırmalar ise 1963' de sunulmuştur (Rudnai, 1963; Short ve Kinniburgh, 1963).

Gazbetonun en belirgin avantajı, yapılarda alt katların temelleri ve duvarları dahil, destek yapılarının tasarımını ekonomikleştiren hafifliğidir. Gözenekli yapısı nedeniyle yüksek derecede ısı yalıtımı sağlamaktadır. Uygun üretim yöntemiyle, geniş bir yoğunluk

yelpazesine sahip gazbeton elde edilebilmekte, böylece spesifik uygulamalarda (yapısal, bölme ve yalıtım sınıfları) imalat ürünlerinde esneklik sağlanmaktadır.

Gazbeton başlangıçta bir yalıtım malzemesi olarak düşünülmüş olmasına rağmen, daha hafif olması ve malzemedeki tasarruf edilmesi bakımından, yapısında silis bulunduran ve toz haline getirilmiş baca külü gibi atıkların kullanılarak gazbeton üretimine ilgi duyulmaktadır. Yapılan çalışmalarda silis hammaddesi yerine zeolit (Albayrak vd., 2007; Karakurt vd., 2010), hava soğutmalı cüruf (Mostafa, 2005), kömür bazlı uçucu kül (Kurama vd., 2009; Song vd., 2015), uçucu kül (Song vd., 2015), perlit (Rózycka ve Pichór, 2016), fosfor cürufu (Guo ve Zheng, 1999), kurşun-çinko tortuları (Xian vd., 2008) ve demir cevheri tortuları (Yan vd., 2000) gibi maden ve endüstriyel artıklar kullanılarak gazbeton üretimi sağlanmıştır.

Çin'de yaklaşık 2000 civarı gazbeton fabrikası olduğu bilinirken bu sayı ülkemizde sadece 16 tanedir. Ülkemizdeki illerin ruhsat potansiyelleri düşünüldüğünde yeni gazbeton fabrikalarına ihtiyaç olduğu, mevcut gazbeton fabrikaları ile pazardaki ihtiyacın karşılanamadığı görülmektedir.

Ülkemizdeki gazbeton üreticileri agrega olarak sadece kuvars madeni kullanarak gazbeton üretmektedirler. Farklı doğal veya yapay mineral katkıları ile gazbeton üretiminin yapılabilmesi üretimde malzeme çeşitliliğinin artmasını ve gazbeton üretiminde ekonomi ve çevreye ekolojik katkı sağlayacaktır. Bu amaçla farklı mineral katkıların gazbeton üretiminde kullanılabilirliği araştırılmıştır. Farklı doğal ve yapay mineral katkıların kullanımı ile hammadde çeşitliliğinin artması kuvars madeni bulunmayan bölgelerde de gazbeton fabrikaları kurularak gazbeton üretimi ülkemizde yaygınlaştırılabilir. Ayrıca termik santral ve demir çelik fabrikası gibi endüstriyel tesislerden elde edilen yapay mineral malzemelerin gazbeton üretiminde kullanımı ile atık malzemelerin geri dönüşümünde katkı sağlanabilir. Bu amaçla tez çalışmasında perlit, riyolit ve uçucu kül katkıları kullanılmıştır.

1.1. Amaç ve Kapsam

Bu çalışmada, gazbeton üretiminde doğal mineral olarak perlit ve riyolit ve yapay mineral olarak da uçucu külün kullanımı araştırılmıştır. Mineral katkı karışımlarda farklı oranlarda kullanılarak gazbeton özelliklerine etkisi, uygun katkı ve bileşen oranlarının belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçlar için G2/05 gazbeton sınıfı esas alınarak iki grup altında dört farklı referans gazbeton karışım oranları belirlenmiştir. İlk grup çalışmada, 3 farklı geleneksel gazbeton karışımında çimento dışındaki diğer bileşenler sabit tutularak mineral katkıların etkisi araştırılmıştır. İkinci grup çalışmada ise silis kumu, çimento ve mineral katkı oranları değişken diğer bileşenler sabit tutularak farklı özellikteki karışımlarda mineral katkıların kullanımı araştırılmıştır.

İlk grup çalışmada, her bir mineral katkı, üç farklı referans gazbeton karışımlarında %25, %45, %65 ve %85 oranlarında çimento ile yer değiştirilerek kullanılmıştır.

İkinci grup çalışmada, mineral katkıların daha yüksek oranlarda kullanımını araştırmak için perlit ve riyolit oranı %76 olan tek referans gazbeton karışımı belirlenmiştir. Bu referans karışıma, 3 farklı oranda çimento (%20, %40, %60) ve silis kumu (%30, %50, %70) mineral katkı ile yer değiştirilerek ilave edilmiştir.

Üretilen gazbeton numuneleri, 40°C'de 4 saat kabarma için bekletildikten sonra 180°C ve 12 bar basınçta 6 saat otoklavda kür uygulanmıştır. Taze gazbeton karışımlarında TS-EN 1015-3'e göre yayılma tablası deneyi ve TS2987'ye göre penetrasyon, sertleşmiş gazbeton numunelerinde TS EN 679'a göre basınç, TS EN 772-13, TS EN 678 göre kuru birim hacim ağırlık, TS EN 772-11'e göre kılcal su emme ve TS EN 1745'e göre ısı iletkenlik deneyleri yapılmıştır. Ayrıca SEM ve EDS analizleri gerçekleştirilmiştir.

1.2. Literatür Özeti

Farklı mineraller kullanılarak gazbeton üretimi üzerine yapılan çalışmalar şunlardır;

Büyükcan (2019) tarafından yapılan çalışmada Gazbeton üretiminde mineral katkı kullanımını araştırılmıştır. 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 etmiştir. Toplam 16 farklı karışım hazırlamıştır. Hazırlanan örnekler 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 değerlendirilmiş ve bu şekilde sonuca ulaşılmıştır. Kozak (2010) tarafından yapılan çalışmada kuvars kumu yerine Seyitömer (Kütahya) termik santralinden alınan uçucu kül kullanımını araştırılmıştır. Bu çalışmada harcın priz süresini kısaltmak amacı ile bazı serilerde priz hızlandırıcı katkıları (CaCl ve NaSO₄) kullanmış ve deney örneklerine ortalama 8 saat süre ile düşük basınçlı (1,15 Bar) otoklavda kür uygulamıştır. Yapılan çalışma sonucunda deney numunelerinin basınç dayanımlarının düşük olduğu ve yeterli basınç dayanımı değerlerinin elde edilebilmesi ile karışımdaki çimento oranlarının azaltılabilmesi için daha yüksek buhar basınç değerlerinde otoklav kürü uygulanmasının basınç dayanımını artırdığı belirtilmiştir.

Sezer (2010) tarafından yapılan çalışmada Öğütülmüş diyatomitin gazbeton üretiminde kullanımı araştırılmıştır. Çalışma kapsamında gazbetonun ana hammadde olarak Seydiler (Afyonkarahisar) yöresinden alınan diyatomit kullanılmıştır. Bağlayıcı olarak TS EN 197-1 CEM I (42,5 R) çimentosu ve karışım harcının genişerek gözenek oluşumunu sağlamak için alüminyum tozu ve sönmemiş kireç kullanılmıştır. Diyatomit, çimento, sönmemiş kireç, alçı ve genişletici katkı olarak alüminyum tozundan oluşan 13 farklı seri üretilmiştir. Bu karışımda alüminyum tozunun, su ve hidratasyona uğrayan kalsiyum hidroksit (Ca(OH)₂) ile tepkimeye girmesi sonucu kalıplara dökülen taze harcın genişmesine yol açarak gözenekli bir bünyenin oluşumu sağlanmıştır. Deney örnekleri üzerinde fiziksel ve mekanik testler yürütülmüştür. Bünyede gelişen faz yapılarını belirlemek için mikroyapı analizleri (SEM incelemeleri, XRD analizleri) ve termal

analizler yürütülmüş (ısı iletkenlik katsayısı) ve ticari gazbeton örnekler ile karşılaştırılmıştır. Bu şekilde sonuca ulaşmıştır.

Güçlüer (2011) tarafından yapılan çalışmada gazbeton üretiminde ana hammadde olarak kullanılan silis kumu yerine uçucu kül ve bağlayıcı olarak kullanılan çimento hammaddesi araştırılmıştır. Bu çalışmada; gazbeton üretiminde ana hammadde olarak kullanılan silis kumu yerine uçucu kül ve bağlayıcı olarak kullanılan çimentoya da %3, %6, %9 ve %12 oranlarında silis dumanı ikame edilerek gazbeton örnekleri üretilmiştir. Örnekler 177 °C 'de 8 bar buhar basıncı altında 6 saat süreyle otoklav kürü uygulanmış, örneklerin birim hacim ağırlıkları 0.6-0.7 kg/dm³ arasında olup basınç dayanımları 2.5 MPa ile 4.4 MPa arasında bulunmuştur. Silis dumanı ikameli serilerde, kontrol karışımına göre birim hacim ağırlıkta azalma, basınç dayanımlarında ise artma görülmüş, en yüksek basınç dayanımının %3 silis dumanı ikameli serilerde olduğu belirlenmiştir.

Kunhanandan Nambiar vd. (2006) tarafından yapılan çalışmada gazbetonda belirli bir yoğunluk için kumun uçucu kül ile yer değiştirmesi araştırılmıştır. Bu durum (uçucu kül ikamesi) mukavemette artış sağlamıştır. Çimento-kum karışımına göre, çimento-uçucu kül karışımı örnekler nispeten daha yüksek su emme oranına sahip olduğunu belirtilmiştir.

Gündoğdu (2001) tarafından yapılan çalışmada gazbeton ve gazbeton üretimindeki bağlayıcı malzemelerin rötreye etkisi araştırılmıştır. Bu çalışmada gazbetonun uygulamadaki başarısı (zamana bağlı sıva çatlakları oluşumu, duvar dayanımının tasarımdan farklı olması) rötreye değerlerinin olabildiğince düşük tutulmasına bağlı olduğu belirtilmiştir. Birçok parametre etkili olmakla beraber düşük rötreye değerleri iyi bir proses kontrolü ve uygulanan reçete ile mümkün olabileceği ifade edilmiştir. Değişik orandaki girdilerle üretilen malzemenin rötreye değerleri saptanmıştır. Çalışmalar Nuh Yapı Ürünleri ve Makine Sanayi A.Ş. Hereke-Kocaeli'nde gerçekleştirilmiş olup üretim prosesinin tüm aşamaları, proste yer alan ekipmanlar bu tezde anlatılmıştır. Bu çalışmada gazbetonun üretim süreci ve yapısı incelenmiş ayrıca üretimde kullanılan bağlayıcı malzemelerin (kireç ve çimento), karışımındaki oranlarının değiştirilmesinin rötreye değerlerine etkisi değerlendirilmiştir.

Tuncer (2018), tarafından yapılan çalışmada, Lifli polimer ile donatılandırılmış gazbeton yapı elemanlarının davranışı araştırılmıştır. Bu çalışmada; gazbeton kirişler klasik olarak çelik donatı kullanılarak imal edilmektedir. Ancak daha ekonomik tasarım

elde etmek ve paslanmayı önlemek için LP donatı uygulamak da mümkündür. Bu amaçla, ilk olarak çelik donatılı ve lif donatılı gazbeton kiriş numunelerin dört noktadan yüklü eğilme testi altındaki davranışını araştırmak için deneysel çalışma yürütülmüştür. Tüm testler AKG Gazbeton ve Orta Doğu Teknik Üniversitesi iş birliğiyle gerçekleştirilmiştir. Tek yönlü ve tek tabakalı karbon ve cam lifli kompozitler, numunelerin alt ve üst yüzlerine tam veya yarım kesit genişliğinde uygulanmıştır. Araştırmanın ana parametreleri dayanım, rijitlik, süneklik ve enerji yutma kapasitesidir. İkinci olarak, çelik donatılı veya kompozit lif kumaşlı gazbeton numunelerin kapasite analizi ve yük-deplasman ilişkisini hesaplamak için kapalı çözüm esaslı kesit analiz programı hazırlanmıştır. Böylelikle, deney sonuçları geliştirilen analitik modelle ilişkilendirilmiştir. Deney ve teorik sonuçlar karşılaştırıldığında kabul edilebilir hassasiyet elde edildiği gözlenmiştir. Bir başka deyişle, analitik modelin geçerliliği ortaya çıkmıştır. Bu çalışmanın sonunda, kiriş genişliğinin lif genişliği oranına ve lif adedine bağlı olarak kullanılabilir sıyrılma deformasyon denklemleri önerilmiştir. Bu deformasyon denklemleri kullanılarak tasarım abakları hazırlanmıştır. Bu tasarım abakların da talep edilen düzgün yayılı yükler esas alınarak, farklı açıklıklara ve enkesit ölçülerine sahip gazbeton kirişler için en ekonomik LP yerleşimleri önerilmiştir.

Hauser vd. (1999), tarafından yapılan çalışmada yüksek ve düşük kireç içeren uçucu küllerin, gazbeton üretiminde kireç yerine kullanılabilirliğini araştırılmıştır. Yapılan bu çalışmada, yüksek kireçli uçucu kül kullanımı ile 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.

Cevizci (2017) tarafından yapılan çalışmada, Gazbeton blokları ile asimetrik kabuk sistemlerin tasarlanmasını araştırmıştır. Bu çalışmada; yığma yapılar, mimarlık tarihi boyunca yapı stoğunun önemli bir kısmını oluşturmuş ve birçok önemli yapının bu bilgi ile ayağa kaldırılmasıyla uygarlıkların yapı bilgisi envanterine girmiştir. Günümüzde, yığma yapılar yerlerini daha hafif ve taşıyıcılıkta daha etkili malzemelerle oluşturulmuş olan kabuk sistemlere bırakmasına rağmen halen kullanılmaktadırlar. Bilgisayar destekli tasarım teknolojileri ve modelleme tekniklerindeki ilerlemeler ile, yeni form bulma yöntemleri çeşitli biçimlerde daha karmaşık yapılar tasarlamaya olanak

vermektedir. Bu çalışma, 'Gazbeton' blokları kullanarak simetrik ve asimetrik biçimli kabuk sistemlerinin yığma taşıyıcılık prensiplere dayalı hesaplamalı modelinin üretilmesi üzerinedir. Bu sebeple, tezin kapsamı, kabuk sistemlerinin materyal odaklı tasarımı için gazbetonun uygunluğunu araştırmak ve kabuk tipi konstrüksiyonlardaki davranışlarını incelemek olarak belirlenmiştir. Bu araştırmanın ışığında, simetrik tonozlardan daha zor inşa edilen asimetrik tonoz ve kabuk sistemlerin, kabuk oluşturmada kullanılan geometrik öntanımları, zincir eğriliği kriterleri ve gazbeton bloklarının yapısal davranışları üzerinden, parçacık tabanlı amaca özgü bir genel modelinin geliştirilmesi amaçlanmıştır. Bu jenerik modelin önemi, malzeme kalınlığı, plan geometrisi, kemer yüksekliği ve açıklıkları gibi parametrelerin esnek olmasıdır. Bu model yığma yapıların yapısal ve statik özellikleri konusunda mimarlar ve tasarımcılar için bir öngörü oluşturma ve erken tasarım evresinde taşıyıcılığa bağlı karar verebilme olanağı kazandırmaktadır. Bu kazanım ile, mimarlar ve tasarımcılar, bilgisayar ortamında, sayısal biçimlendirme yöntemlerinden yararlanarak, karar verme sürecinin ilk adımlarında bir bakıma dijital eskiz oluştururlar.

Gökmen (2017) tarafından yapılan çalışmada, donatılı gazbeton paneller ile yapılmış yapıların sismik davranışı araştırılmıştır. Yapılan bu çalışmada Donatılı gazbeton panel duvarların ve binaların sismik davranışı incelenmiştir. Elemanlar çevrimsel yanal yükleme ve aksenal yük altında incelenmiş ve sonuçlar önceki testlerle karşılaştırılmıştır. Bu çalışmanın temel amacı donatılı gaz-beton panel duvarların ve binaların doğrusal olmayan analizi için öneriler sunmaktır. Hesaplama modellerini analiz etmek için OpenSees platformu kullanılmıştır. Duvarlar fiber kesitlerle modellenmiş olup bu kesitler gazbeton ve çelik donatılardan oluşmaktadır. Çelik donatılar histeretik malzeme ile modellenmiştir. Bu kesitlerin doğrusal olmayan davranışını incelemek için doğrusal olmayan kuvvet tabanlı kiriş-kolon çubuk elemanları kullanılmıştır. Ardından ODTÜ'de daha önce test edilen panel duvarları, artan itme-çekme deformasyonları altında yer değiştirme kontrollü yöntemle analiz edilmiştir. Aksenal yük oranının modeli etkilediği bulunmuştur. Bu nedenle, duvar aksenal yük taşıma kapasitesinin % 10'undan az ve % 10'undan fazla olan durumlar için iki modelleme parametre seti önerilmiştir. Üç artı bir panel sonuçlarını kullanarak yapılan analizlerin, dört panelli duvar modellerini başarılı bir şekilde tahmin ettiği bulunmuştur. Ayrıca, tam ölçekli bina testi maksimum üç panelden oluşan gruplar kullanılarak modellenmiştir. Binanın deney sonuçlarını

yakalamak için statik ve dinamik analizler yapılmıştır. Daha sonra, yer hareket ivmesi faktörü ile maksimum ötelenme oranı arasındaki ilişkiyi gözlemlemek için artımsal bir dinamik analiz gerçekleştirilmiştir. Bu tezin başlıca sonuçları:

Hafif yapısından dolayı gazbeton binaların, tasarım depremleri etkisinde akma öncesi seviyesinde davranmaları beklenmektedir,

Aşırı depremler sırasında, gazbeton binaların göçmeden salınımına yardımcı olabilecek bir miktar deformasyon ve enerji sönmeme kapasitesi mevcut bulunmaktadır. Bu sonuçlara dayanarak, gazbeton binalar, sismik bölgelerdeki alçak katlı yapılar için iyi bir alternatif olmaktadır.

Taghipour (2016) tarafından yapılan çalışmada düşey donatılı gazbeton panel duvarların sismik davranışı araştırılmıştır. Bu çalışmada, yük taşıyan düşey duvar gazbeton panellerin çevrimsel yatay yük ve düşey yük altındaki davranışı karmaşık olduğundan dolayı tasarım koşullarının esasen çok önemli olduğuna değinilmiştir. Bu çalışmanın ana amacı Türkiye'deki gazbeton yapılar için önerilen tasarım koşullarının doğrulanmasıdır. Değişik özelliklerde ve geometride altı eleman ODTÜ Yapı Mekanigi Laboratuvarında üretilerek denenmiştir. Ayrıca gazbetonun mekanik özellikleri belirlenmiş ve diğer laboratuvar deney sonuçlarıyla doğrulanmıştır. Gazbeton düşey paneller AKG-Gazbeton tarafından üretilmiştir. Deney elemanları değişik sayıdaki düşey panel birimlerinden oluşmaktadır. İki ve dört düşey panelli elemanlar aksel yükü ve aksel yüksüz olarak test edilmiştir. Altı düşey panelli elemanlar ise pencere boşluklu ve boşluksuz olarak denenmişlerdir. Deneyler çevrimsel yatay yükler altında gerçekleştirilmiştir. Veri toplayıp eleman davranışını algılamak için LVDT ve yük hücresi gibi farklı ölçüm cihazları kullanılmıştır. Deney sonuçlarını doğrulamak amacıyla her eleman için analitik model geliştirilmiştir. Yeni önerilen Türk Deprem Yönetmeliğinde (TEC 2016) yapısal davranış katsayısı, R için verilen 3 değeri deney sonuçlarına göre oldukça kabul edilebilir ve güvenli durmaktadır. Maksimum öteleme oranı %1 ile sınırlandırılmalıdır. Hem MSJC 2011 hem de taslak TEC 2016 birçok deney sonucuna güvensiz tarafta kestirmektedir.

Çevir (2014) tarafından yapılan çalışmada Bir gazbeton fabrikasının enerji ve ekserji analizi araştırılmıştır. Bu çalışmada, Türkiye' de yer alan ve yıllık üretim kapasitesi 650000 metreküp olan bir gazbeton üretim tesisinin enerji ve ekserji analizleri gerçek işletme verisi kullanılarak yazarın bugünkü bilgisine göre açık literatürde ilk kez

yapılmıştır. Bu tesisin ana bileşenleri olan buhar kazanı, otoklav ünitesi ve ısı geri kazanım sistemlerinin ekserji verimi ve ekserji yıkımı değerleri, 19 santigrat derecelik ölü (referans) hal sıcaklığında belirlenmiştir. 4116,49 kilowatt'lık en büyük ekserji yıkımı, yüzde 44,9'luk ekserji verimiyle buhar kazanında olduğu belirtilmiştir. En düşük ekserji verimi ise, 2383,37 kilowatt ekserji yıkımı ve yüzde 9,21'lik ekserji verim değerleri ile otoklav sisteminde meydana geldiği ifade edilmiştir. Tüm sistemin enerji ve ekserji akışlarını şematik olarak göstermek için, ekserji kayıp ve akış (Grassmann olarak adlandırılan) diyagramlar tezde sunulmuştur. Aynı zamanda, değişik ölü hal sıcaklıklarının sistemin ekserji verimine olan etkilerini araştırmak için incelemek parametrik bir çalışma yapılmıştır. Ölü hal sıcaklığının artması ile ekserji yıkımında azalma olduğu sonucuna varılmıştır.

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

Karaaslan (2009) tarafından yapılan çalışmada gazbeton yapı malzemesinin ısıl özelliklerinin mevcut standartlara göre deneysel olarak incelenmesi araştırılmıştır. Bu çalışmanın temel amacı, gazbeton yapı elemanının, yürürlükteki Türk standartlarına göre ısı aktarım özelliklerinin ölçümü prosedürünün detaylarıyla ortaya konacağıdır. Bu bağlamda gazbeton yapı elemanının temel nitelikleri, ısıl aktarım özelliklerinin ölçümlerine dair metotlar ve konu ile ilgili standartlar kısaca tanıtılmıştır. Standartların incelenmesinden elde edilen ortak veriden gazbetonun, ısı akış sayacı ile ısıl aktarım özelliklerinin ısı akış sayacı ile ölçülmesine dair gerekli prosedür aşamaları özetlenmiştir. Temel referansı, TS ISO 8301 standardı teşkil etmektedir. Deney çalışması kapsamında, belirli bir yoğunluktaki gazbeton numunesinden çıkarılacak, ısıl aktarım özelliklerini

temsil eden, en küçük deney parçası kalınlığı, standart yönergelerine uygun olarak araştırılmıştır.

Alageyik (2018) tarafından yapılan çalışmada elyaf takviyesiyle gazbeton malzemenin ısı ve mekanik özelliklerinin iyileştirilmesi araştırılmıştır. Bu tez çalışmasında; G2/04, G3/05 ve G4/06 sınıflarına farklı boyut ve özellikte elyaf ikame edilerek gazbetondaki ısı ve mekanik özelliklerdeki değişimler araştırılmıştır. Çalışmada öncelikle elyaflar ve fiziksel özellikleri incelenerek, gazbeton malzemeye ikamesi ile en olumlu sonucu verecek özellikteki elyaflar araştırılmıştır. Temin edilen elyaflar sırasıyla G2/04, G3/05 ve G4/06 sınıflarındaki gazbetonların kum çamuruna kütlece %0,5 ~ %0,55'i oranında yani toplam katının %0,2 ~ %0,25'i oranında elyaf katılarak dökümler gerçekleştirilmiştir. Bu aralıklar katkı elyaflarının yoğunluklarına bağlı olarak belirlenmiştir. Farklı özellik ve boyutta 10 (on) adet elyaf temin edilmiş, her 3 (üç) sınıftan ısı iletkenlik, basınç dayanımı, eğilme ve rötre deneyleri için 2 (iki) adet numune dökülmüş ve her çeşitlemede 1 (bir) adet şahit numune dökülmüş olup, toplamda 108 (yüz sekiz) adet döküm gerçekleştirilmiştir. Elde edilen numunelerin Isıl Akış Metre metoduyla TS EN 12667 standardına göre ısı iletkenliği ölçülmüş, basma yükü 1000 ton olan basma cihazıyla TS EN 771/12 standardına göre basınç dayanımı ve eğilme dayanımı tespit edilmiştir. Sonuçlar tablo ve grafikler halinde ifade edilmiştir. Ayrıca SEM ve EDS analizleri ile bağlanma şekilleri gözlemlenmiş ve yorumlanmıştır. Gerçekleştirilen deneysel çalışmaların sonucunda; farklı boyut ve özellikteki elyafların ikamesi ile ısı iletkenliği azalmış ve basınç-eğilme dayanımı artmış yeni bir gazbeton geliştirilmiştir.

Öğdü (2018) tarafından yapılan çalışmada farklı uzunluklarda karbon fiber takviyeli gazbetonun mekanik ve fiziksel özelliklerinin deneysel olarak araştırılmıştır. Bu çalışmada, farklı boylarda kırılmış karbon fiber takviye edilerek üretilen gazbetonun eğilmede çekme dayanımı, basınç dayanımı, kuru birim hacim ağırlık, rötre ve ısı iletkenlik gibi bazı mekanik ve fiziksel özellikleri incelenmiştir. Şahit numune olarak G2/350 sınıfında gazbeton duvar bloğu da aynı gün deney kalıpları ile üretilerek referans alınmıştır. Hazırlanmış olan reçetelere göre, çimento ağırlığının %0,5 oranında 4mm, 6mm, 12mm uzunluklarında kırılmış karbon fiber ikame edilerek hazır edilen karışımlar kalıplara dökülerek kabarması ve işlenebilir sertliğe ulaşması için 58 °C sıcaklıkta 4 saat bekletilmiştir. Ön kürlenmenin ardından, üretimi gerçekleşen gazbeton numuneler

tobermorit yapının oluşarak istenilen nihai sertliğe ulaşması amacıyla 180 °C sıcaklıkta ve 11 Bar basınç altında 6 saat doymuş buhar küründe bekletilmiştir. Üretimi gerçekleştiren şahit numune ve fiber takviyeli gazbeton numunelerinin eğilmede çekme dayanımı, basınç dayanımı, kuru birim hacim ağırlık, rötre ve ısı iletkenlik değerleri belirlenerek birbirini ile kıyaslanmıştır. Basınç dayanımı, eğilme dayanımı ve ısı iletim katsayısı değerlerinin karbon fiber boyuna bağı olarak arttığı, yoğunluk ve rötre değerlerinin ise azaldığı görülmüştür.

Wanga vd (2016) tarafından yapılan çalışmada kömür atığı ve demir cevheri atıkları kullanarak yeni bir tip gazbeton geliştirmesi araştırılmıştır. Bu çalışmada, malzeme kompozisyonunu, kömür atığı kalsinasyon sıcaklıklarını ve hidrasyon ürünlerinin kompozisyonunu, diferansiyel tarama kalorimetrisi, termogravimetrik analiz, X-ışını kırınımı ve taramalı elektron mikroskobu kullanılarak analiz edilmiştir. Optimum termal aktivasyon sıcaklıklarını ve kalsine kömür atığının aktivasyon mekanizmaları da incelemiştir. Araştırma sonucunda, kömür atığının optimum kalsinasyon sıcaklığının yaklaşık 600 °C olduğunu tespit etmişlerdir. Gazbeton örneklerinin yoğunluğu ve basınç dayanımını, sırasıyla yaklaşık olarak 609 kg/m³ ve 3.68 MPa olarak gözlemlemiştir. 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.

Çalışkan (2015) tarafından yapılan çalışmada diyatomit atmosferik buhar kürü yöntemi ile gazbeton üretimi araştırılmıştır. Bu çalışmada kuvars kumu yerine diyatomit kullanılmıştır. Diyatomit yüksek gözeneklilik, hafif bünye yapısı ve yüksek silis içeriği ile gazbeton üretimi için uygunluğu araştırılmıştır. Üretim prosesinde farklı buhar basınçlarında kür işlemi uygulanmıştır. Kimyasal ve diğer katkıları ile fiziksel ve mekanik özelliklerinin geliştirilmesi hedeflenmiştir. Hem diyatomitin mikro gözenekli yapısı ve hem de hidrofobik polimer katkı sayesinde ticari gazbeton ürünlere göre daha küçük boyutta gözenek yapısı elde edilmiştir. Üretilen gazbeton örneklerin birim ağırlıklarına (375- 285 kg/m³) göre ısı iletim katsayısı değerleri ise 0,07- 0,09 W/mK arasında değişmektedir. Hidrofobik polimer katkı ile dispersan katkının gözenek yapısının gelişiminde etkili olduğu değerlendirilmiştir.

Narayanan ve Ramamurthy (2000) tarafından yapılan çalışmada gazbeton üzerine mikroyapı incelemeleri araştırılmıştır. Bu çalışma, gazbetonda ana hammadde olarak kum veya uçucu kül kullanımıyla yapılmıştır. Basınç dayanımı ve kuruma büzülmesindeki değişikliklerin nedenleri, mikro yapıdaki değişikliklere atıfta bulunularak açıklanmıştır. Kompozisyon analizi, XRD kullanılarak yapılmıştır. Uçucu külün otoklavlamaya yetersiz tepki verdiği görülmüştür. Uçucu kül karışımlarında gözenek iyileştirme işlemi, Hadley tanelerinin ve uçucu kül hidrasyonunun oluşumuna atıfta bulunularak tartışılmıştır. Havalandırılmış betondaki macun boşluklu arayüz normal betondaki macun-agrega arayüzüyle ilgili olarak incelenmiştir, bir arayüzey geçiş bölgesinin varlığını ortaya çıkarmıştır.

Özel (2013) tarafından yapılan çalışmada uçucu külün gazbeton özelliklerine etkisinin incelenmesi araştırılmıştır. Bu çalışmada; gazbeton üretiminde hammadde olarak, kuvars kumu yerine kullanılan uçucu külün, basınç dayanımı, kuru yoğunluk değeri, rutubet muhtevası ve ısı iletkenlik değerine etkisi araştırılmıştır. Çalışmada, duvar elamanı olarak kullanılan ve ticari olarak üretimi yapılan G2/04 sınıfı gazbeton üretimi baz alınarak, Çatalağzı Termik Santralinden alınan uçucu kül, hammadde olarak kullanılan silis kumu (kuvars kumu) yerine %5, %10, %15, %20 ve %25 oranlarında ikame edilerek gazbeton örnekleri üretilmiştir. Yapılan numuneler 60 °C sıcaklıkta 4 saat buhar küründe bekletildikten sonra 180 °C'de 11 bar basınçta 6,5 saat otoklavda küre tabi tutulmuştur. Sonuç olarak, gazbetona kuvars yerine uçucu kül ikamesinde ısı iletkenlik bakımından optimum oranın %10 olduğu bulunmuştur.

Savaş (2013) tarafından yapılan çalışmada sepiyolitinin gazbeton özelliklerine etkisinin incelenmesi araştırılmıştır. Bu çalışmada, gazbeton üretiminde hammadde olarak, kuvars kumu yerine kullanılan sepiyolitinin basınç dayanımı, kuru yoğunluk değeri, rutubet muhtevası değeri ve ısı iletkenlik değerine etkisi araştırılmıştır. Çalışmada, duvar elamanı olarak kullanılan ve ticari olarak üretimi yapılan G2/04 (Birim Hacim Ağırlığı 400 kg/m³, ısı İletim Kat Sayısı 0,11-0,013 W/mK ve basınç dayanımı 2,5 N/mm²) sınıfı gazbeton üretimi baz alınarak, Dolsan Madencilik 'ten alınan sepiyolitinin, hammadde olarak kullanılan kuvarsit yerine %5, %10, %15, %20 ve %25 oranlarında ikame edilerek gazbeton örnekleri üretilmiştir. Yapılan numuneler 60 °C sıcaklıkta 4 saat buhar küründe bekletildikten sonra 180 °C'de 11 bar basınçta 6,5 saat otoklavda küre tabi tutulmuştur.

Üretilen örneklerin basınç dayanımı, kuru yoğunluk değeri, rutubet muhtevası değeri ve ısı iletkenlik değeri belirlenmiştir.

Qu ve Zhao (2017) tarafından yapılan çalışmada gazbetona ilave edilebilecek malzemeleri araştırılmıştır. Bu çalışmada; özellikle endüstriyel atıklar ve katkı maddeleri, hazırlama, mikroyapı ve ana özellikler (yoğunluk, kuruma büzülmesi, mekanik özellikler, anizotropi, ısı yalıtımı ve dayanıklılık) açısından incelemiştir. 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.

Hausera, Eggenbergera, Mumenthalerb (1999) tarafından yapılan çalışmada otoklav gazbetonda ikincil hammadde olarak kullanılan selüloz endüstrisinden oluşan uçucu kül araştırılmıştır. Bu çalışmada selüloz endüstrilerinden elde edilen uçucu kül, önemli miktarda serbest kireç ve sülfat içerdiğinden, otoklav gaz beton üretimi için potansiyel ikincil hammaddeler olduğu belirtilmiştir. Geleneksel otoklav gazbeton karışımlarında kireç ve sülfatın uçucu kül ile değiştirilmesiyle laboratuvar deneyleri yapılmıştır. Bir referans serisine kıyasla, kireç sülfat külü ile daha yüksek basınç dayanımlı numuneler üretilebilmiştir. Uçucu külün daha yüksek oranlarında, kalsiyum silikat hidrat fazlarının oluşumu gecikmiştir ve reaksiyona girmemiş portlandit ve yeni oluşan skawitlerin varlığı mukavemette bir düşüş ve büzülmede bir artış meydana getirmiştir. Düşük mukavemetli, düşük miktarda serbest CaO içeren alüminyum içeren kül kullanılması ile sonuçlanmıştır,

Narayanan ve Ramamurthy (2000) tarafından yapılan çalışmada gazbetonun yapısı ve özellikleri hakkında bir derleme yapılmıştır. Bu çalışmada, gazbetonun, kaba beton fazı içermediğinden, normal betona kıyasla nispeten homojen olduğu, ancak özelliklerinde çok büyük farklılıklar gösterdiği belirtilmiştir. Gaz betonun özellikleri, mikro yapısına (boşluk yapıştırma sistemi) ve kullanılan bağlayıcı türünden, gözenek oluşturma ve sertleştirme yöntemlerinden etkilenen bileşimine bağlı olduğu ifade edilmiştir. Bu çalışmada, gaz betonun özellikleri üzerine yapılan araştırmaları fiziksel (mikro yapı, yoğunluk), kimyasal, mekanik (basınç ve çekme dayanımları, elastisite modülü, kurutma büzülmesi) ve fonksiyonel (ısı yalıtımı, nem taşınımı) açısından sınıflandırılması yapılmıştır.

2. GAZBETON YAPI MALZEMESİ

Türkiye’de ilk gazbeton üretimine 1966 yılında başlanmış, 18 Kasım 1989 tarihinde TS 453- Gaz ve Köpük beton Yapı Malzeme ve Elemanları Standardı yayımlanmıştır. Geleneksel gazbetonun gözenekli yapısı Şekil 2.1’de verilmiştir.



Şekil 2.1. Gazbetonun gözenekli yapısı (Ertokat, n., 2014, “Ytong Kitabı” Türk Ytong San A.Ş.).

2.1. Geleneksel Gazbeton Üretiminde Kullanılan Malzemeler

Gazbetonun bileşenleri üretilen gazbeton sınıfına göre değişmektedir. Bu bileşenlerin oranları her firmanın kendine özgü belirlemiş olduğu reçetelere bağlı olarak hazırlanmaktadır. Genellikle ağırlığın %60’ını katı içerikler oluştururken, geriye kalan %40’ını ise su oluşturmaktadır. Gazbeton üretiminde kuru yoğunluğa göre kullanılan bileşen miktarları Çizelge 2.1’de verilmiştir.

Çizelge 2.1. Kuru yoğunluğa göre gazbeton yaklaşık hammadde miktarları (1m³).

Hammaddeler ve Kuru Yoğunluklar	400 kg/m ³	500 kg/m ³	600kg/m ³
Kuvars Kumu	210 kg	292 kg	352 kg
Sönmemiş Kireç	50 kg	62 kg	98 kg
Çimento	99 kg	99 kg	99 kg
Alçı Taşı	14 kg	18 kg	21 kg
Alüminyum tozu	0,55 kg	0,46 kg	0,39 kg
Toplam Katı	373 kg	471 kg	570 kg
Karışımındaki su miktarı (Buhar hariç)	230 kg	290 kg	355 kg

2.1.1. Kuvarsit ve alçıtaşı

Kuvarsit gazbeton üretiminde aktif dolgu malzemesi olarak adlandırılmaktadır. Bu şekilde adlandırılmasının nedeni, aktifliği içerdiği silisin (SiO_2) sertleştirme sırasında hidrotermal bir dizi reaksiyon sonucu ortamdaki kalsiyum oksit ve su ile yeni bileşikler oluşturmasından kaynaklanmaktadır (Özgün, 1998).

Kuvarsit; genel olarak kuvars kumu tanelerinin, silisten meydana gelmiş bir çimento ile birbirlerine çok sağlam şekilde bağlanmalarıyla oluşmuş bir kayaç olup, sedimanter ve metamorfik olmak üzere 2 çeşidi mevcuttur. İçeriğinde genel olarak %85 silis bulundurması sebebiyle gazbetonun ana hammaddesini oluşturur.

Silis kumu yüksek sertliktedir. Silis kumları nemli ve kuru olarak sanayide kullanılabilir. Silis kumlarının kullanım alanları çok çeşitlidir. İnşaat sektörünün birçok alanında hammadde olarak kullanılır. Ayrıca temel olarak filtre kumu, döküm kumu ve cam üretiminde silis kumu kullanılmaktadır. Silis kumu genellikle sarı, gri, bej ve beyaz renklindedir.

Kuvarsit ve alçıtaşı kırma tesislerinde ayrı ayrı parçalanarak yaklaşık 1 cm boyutlarına ulaştıktan sonra bir araya gelerek bilyalı değirmene alınmaktadır. Burada su ile karıştırılarak öğütülmektedir. Elde edilen karışıma kum çamuru denilmektedir. Oluşan kum çamuru tanklara alınmaktadır. Tanklardaki kum çamuru karışımının 90 mikron elek altı miktarı %80 dir. SO_3 maksimum %6 seviyesinde olmalıdır.

Alçıtaşında tane büyüklüğü 500 mm, SO_3 minimum %34 seviyesinde, CaO yüzdesi % (26.5-32) arasında, bağlı su yüzdesi %16-24 arasında olmalıdır.

Gazbeton üretimine uygun olan örnek kuvarsit-kum taşının kimyasal bileşimi Çizelge 2.2 de verilmiştir.

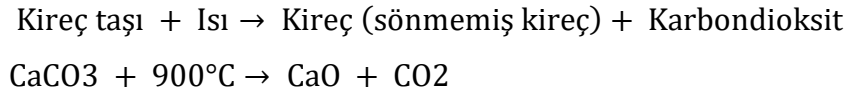
Çizelge 2.2. Silis kumunun istenen sınırlar değerleri.

	ASD ağırlıkça, %	ÜSD ağırlıkça, %
Hızlı Silis	90	94
Silis (SiO ₂)	80	≥90
Demir Oksit(Fe ₂ O ₃)		3
Alüminyum Oksit (Al ₂ O ₃)		8
Kalsiyum Oksit(CaO)		5
Magnezyum Oksit (MgO)		3
Potasyum Oksit (K ₂ O)		2
Sodyum Oksit (Na ₂ O)		1
Kızdırma Kaybı (KK)		10
Değirmen Kuvarsit Çamuru		
Sıcaklık °C	30	60
Yoğunluk (kg/l)	1.58	1.72
İncelik <0,090 mm	63	77
Üretim Kuvarsit Çamuru		
Sıcaklık °C	30	50
Yoğunluk (kg/l)	1.58	1.77
İncelik (Ağ.%)		
45µ	39	61
60µ	50	70
90µ	65	79

2.1.2. 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. Sönmemiş kireç kalsiyum oksit olarak bilinir ve formülü CaO'dur. Kireçte olması gereken minimum özellik %80 CaO içermesidir. MgO en çok %2, tane büyüklüğü ise 90 mikron elek üstü maksimum %8 olmalıdır.

Sönmemiş kireç elde edebilmek için doğada bulunan kireçtaşı veya kalker (CaCO_3) kayaçlarının belli ebatlara indirilip fırınlarda yakılmasıyla (yüksek dereceli) elde edilir.



Bu tepkime sonrasında kalsiyum oksit yani sönmemiş kireç elde edilir. Gazbeton üretiminde kullanılan Sönmemiş kirecin olması gereken sınır değerleri Çizelge 2.3’de verilmiştir.

Çizelge 2.3. Kireç sınır değerler.

	ASD (Ağırlıkça%)	USD (Ağırlıkça %)
Toplam Alkalite	89	
Serbest CaO	80	
Kızdırma Kaybı		8
MgO		2
Yanmış Parça Kirecin Hidratasyonu		
	ASD (°C)	ÜSD (°C)
2.dk	30	50
5.dk	40	55
10.dk	60	65
20.dk	65	70
30.dk	65	75
t(60) değeri	10 ±2 dakika olmalıdır	
Sedimentasyon	Hacmi 500 ±200 ml olmalıdır	

2.1.3. Çimento

Günümüzde kullanılan çimento; ana hammadde olarak kalker ve kil karışımlarının yüksek sıcaklıkta ısıtıldıktan sonra elde edilen ve klinker olarak adlandırılan malzemenin belirli miktarlarda alçıtaşı ile öğütülmesi sonucu elde edilen hidrolik bir bağlayıcıdır. Mineral parçalarını (kum, çakıl, tuğla, briket vs.) yapıştırırmada kullanılan ve su ile reaksiyona girerek sertleşen bir yapı malzemesidir. Üretimi yapılacak olan çimento tipine göre; klinkere ilaveten yüksek fırın cürufu, silis dumanı, puzolan, uçucu kül, pişmiş şist ve kalker ana bileşen olarak kullanılabilir.

Gazbeton üretiminde kullanılan normal portland çimentosunda (CEM I 42.5R), minimum değerler Çizelge 2.4’deki gibi olmalıdır.

Çizelge 2.4. Çimentonun olması gereken sınır değerleri.

Özellikler	Değerler
Kükürtdioksit(SO ₂)	max 3.5
Magnezyum Oksit(MgO)	max 5.0
Kızdırma Kaybı	max 4.0
Çözünmeyen Kalıntı	max 1.5
Priz başı (dak)	max150±30
Priz son (dak)	max180±30
Özgül yüzey(cm ² /g)	min 2800-3400
0,2 mm Elek üstü(ağırlıkça%)	max%1
0,09mm Elek üstü (ağırlıkça%)	(max 14.0)

2.1.4. Kum çamuru

Değirmende oluşan kum çamuru, kum çamuru tankına basılmaktadır. Tanktaki kum çamurunda olması beklenen değerler: SO₃ %3-7, yoğunluk 1.55-1.65 kg/lt, SiO₂ min. %70, Blaine değeri 2750-3500 cm²/gr, katı madde %55-65 şeklindedir.

2.1.6. Alüminyum tozu

Gaz oluşturan genleştirici hammaddedir.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). Çizelge 2.5. da alüminyum tozunun olması gereken ideal değerleri verilmiştir.

Çizelge 2.5. Alüminyum tozu sınır değerleri.

Özellikler	Değerler
Aktif alüminyum [ağırlıkça %]	Min. %92
Yüzey alanı-Blain [cm ² /g]	18000±5000
İstif yoğunluğu [g/cm ³]	Min. 0.15 ± 0.03

2.1.7. 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/m³ aralığındadır.

2.2. Mineral Katkı Malzemeleri

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

İçeriğinde yüksek oranda silis ihtiva eden gazbeton üretiminde kullanılacak bazı katkı maddeleri şunlardır:

2.2.1. Uçucu kül

Uçucu kül, pulverize kömürün tek başına termik santralin kazanlarında yakılması sırasında baca gazlarındaki taneciklerin elektro filtrelerde tutulmasında oluşur.

Uçucu kül en yaygın puzolandır. Bu malzeme, termik enerji santralleri içinde öğütülmüş kömürün yanmasıyla ortaya çıkan bir üründür. Baca gazları atmosfere bırakılmadan önce bu gazlar içindeki ince tanelerin toz toplama sistemi tarafından toplanmasıyla elde edilir. Uçucu kül rutubetli ortamlarda kalsiyum iyonları ile reaksiyona girerek silikat hidrate oluşturan yarı kararlı alümin silikatlar içerir. Dünyadaki uçucu kül üretimi yılda yaklaşık 450 milyon tondur ancak toplam uçucu kül miktarının sadece %6'sı çimento ve beton karışımlarında puzolan olarak kullanılmaktadır. Türkiye' de kömür yakan 11 enerji santrali bulunmaktadır. Ülkemizde yıllık uçucu kül üretimi yaklaşık 15 milyon ton civarındadır.

Betonda uçucu kül kullanımının iki ana nedeni vardır:

- Beton maliyetlerini düşürmek,
- Taze ve sertleşmiş betonun özelliklerini iyileştirmek.

Uçucu küllerin ekonomik olarak değerlendirilmesi, kullanılabilir miktarda, gerekli nakliye miktarına ve istenilen tasarıma bağlıdır. Uçucu kül hidratasyon ısısını düşürür ve tanelerin küreselliği sayesinde taze betonun kararlılığını, kolay yerleşmesini ve kolay sıkıştırılmasını sağlar. Uçucu külün kimyasal bileşimi, tane boyut dağılımı, inceliği, puzolanik aktivitesi ve betonun kür koşulları, uçucu küllü betonun mekanik özelliklerini etkileyen önemli etkenlerdir. ASTM-C 618'e göre uçucu kül, iki ana kategoriye ayrılmaktadır; Bunlar F ve C tipidir. F tipi uçucu kül genellikle %10'dan daha az CaO içerir. Buna karşın C tipi uçucu kül, %15 ten %35'e kadar CaO içerir. Diğer yandan F tipi uçucu kül antrasit ve bitümlü kömürün yanmasından üretilir, Bu da düşük kireçli uçucu kül olarak sınıflandırılır. C tipi uçucu kül ise diğer linyit ve bitümlü olmayan kömürün yanmasından elde edilir. Yüksek kalsiyum içeriğine bağlı olarak C tipi uçucu küller puzolanik özelliklerinin yanında bağlayıcı özelliğe de sahiptir. Betonda uçucu kül kullanımının erken yaşlarda yavaş dayanım kazanmasına yol açtığı iyi bilinmektedir. Şekil 2.2'de uçucu kül örneği görülmektedir.



Şekil 2.2. Uçucu kül.

2.2.2 Silis dumanı

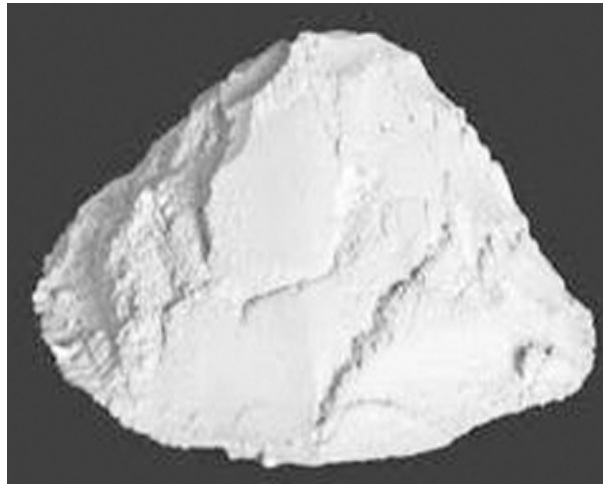
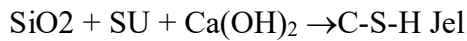
Silis dumanı silikon metal veya ferrosilikon alaşım endüstrisinin yan ürünü olarak karımıza çıkmaktadır. Elektrik ark fırınlarında kuvartın silikona indirgenmesi sırasında oluşan, ortalama tane boyutu 0.1 μm olan malzeme torba filtreler aracılığıyla toplanır. Silis dumanının incelik değeri çok yüksek olduğu için incelik ölçümünün elek analizi ve

blaine değeri ile yapılması uygun değildir. Silis dumanının tane boyu azot absorpsiyonu (BET) analiziyle tespit edilir. Silis dumanı çimentonun suyla olan reaksiyonunun ürünü olan kalsiyum hidroksitle (Ca(OH)_2) tepkimeye girerek C-S-H jeli oluşturur. C-S-H jeli betonda dayanımı sağlar, oluşması istenen üründür. Şekil 2.3’de silis dumanı örneği görülmektedir. Silis dumanının betondaki kimyasal reaksiyonu aşağıda verilmiştir.

Çimento Reaksiyonu:



Silis Dumanı Reaksiyonu



Şekil 2.3. Silis Dumanı

2.2.3. 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 (Erdoğan, 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, hidratasyon 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 CaO, SiO₂, Al₂O₃ 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 alkallerin oluşturduğu alkali hidroksitlerle, CH ile ve yapısındaki 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 öğütülürse 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).

2.2.4. Riyolit

Riyolit, volkanik kayalardandır. Granitin yüzey kayaları riyolit, riyodasit ve dasit'tir. Bu kayaların camsı eşdeğerleri ise obsidyen, pitchstone ve perlit'tir. Riyolitler, alkali riyolit ve kalkali riyolit olarak 2'ye ayrılır. Alkali riyolitler; potasik riyolitler ve sodik riyolitlerdir. Kalkali riyolitler; subalkali riyolit, latitik riyolit ve riyodasit'tir. Kuvars kayada ya korozyona uğratılmış fenokristaller halinde veya kayanın matrisinde amorf silis halinde bulunur. Riyolitlerde kuvars genellikle kuvars halinde, bazan da tridimit, hatta kristobalit modifikasyonları olarak yer alır. Genel itibariyle %69 - %77 oranında silis ihtiva etmektedir. Potasik riyolitlerdeki mafik (koyu renkli) mineraller hornblend ve biyotit'tir. Sodik riyolitlerin mafik mineralleri sodik piroksen ve amfibol türleri olan egirin ve ribekit'tir. Riyolitlerin dokusu hemikristalen porfirik, vitrofirik ve sferulitik olabilir. Camsı (vitrofirik) olanlarda, volkanik camın amorf durumdan kristal haline geçmeye başladığı özel bir doku türü de gözlenebilir. Buna devitrifikasyon dokusu adı verilir. Şekil 2.4'de riyolit madeni görülmektedir.



Şekil 2.4. Riyolit madeni.

2.2.5. Perlit

Gazbeton üretimi açısından bünyesinde %72,0 – 74.0 SiO₂ bulundurabilmektedir. Perlit üretildiği gibi ham olarak kullanılmasının yanı sıra geliştirilerek de kullanılmaktadır. Perlit, ısıyla genleşme özelliği olan, geliştirildiğinde çok hafif ve gözenekli hale gelen, asidik karakterli volkanik bir kayadır. Öğütülmüş ve boyutlanmış tüvenan perlit ön ısıtmayla yüzey suları uzaklaştırılırken perlit de patlatmaya hazır hale getirilmektedir. Daha sonra bu perlit 870°C üzerinde sıcaklığı olan bir alev üzerinde içerdiği bünye suyunun ani buhar haline gelmesiyle kısa sürede mısır gibi patlayarak camsı tanelerden oluşan bir köpük agregasına dönüşmektedir. Bu dönüşümle birlikte perlitin hacmi 4 - 30 kat arası artmaktadır. Genleştirilmiş perlit, gözenekli ve hafif camsı bir şekil almaktadır. Bu olaya “intümesens”, oluşan ürüne de “genleşmiş perlit” denilmektedir. Genleşmiş perlite ticari değer kazandıran en önemli özellikleri düşük yoğunluğu, fiziksel esnekliği, kimyasal tepkimesizliği, düşük ısı ve ses iletkenliği, ateşe karşı dayanıklılığıdır. Genleştirilmiş perlitin yoğunluğu 30-150 kg/m³ arasındadır. Kimyasal olarak inert yapıda olup pH değeri yaklaşık 7 civarındadır. Perlitin ısı iletim katsayısı düşük olup 0,4 - 0,6 W/m-K arasında değişmektedir. Şekil 2.5’de perlit numunesi görülmektedir.



Şekil:2.5. Kayaç haldeki perlit (a), ham perlit (b) ve genişletilmiş perlitin (c) görünümü.

2.3. Gazbeton Özellikleri

2.3.1. Gazbetonun mekanik özellikleri

Gazbetonun basınç dayanımına etki eden faktörler arasında şekil ve boyutu, boşluk oluşturma yöntemi, yükleme yönü, beton yaşı, su muhtevası, kürleme yöntemi yer alır. Bunun yanında hava gözeneklerinin gözenek yapısı, gözenek kabuklarının mekanik durumu basınç dayanımı doğrudan etkiler. Genellikle gözeneklerin azalması ve yoğunluğunun artması nedeniyle basınç dayanımı yoğunluk artışıyla lineer olarak artar. Gazbetonun elastisite modülü, basınç raporlarında, basınç dayanımının bir fonksiyonu olarak formüle edilir. Gazbeton A1 sınıfı yanmaz yapı malzemesidir. Gazbeton düşük gözenekli yapısı dolayısıyla çok düşük buhar geçirgenlik direncine sahiptir. Bu özellik malzemenin yapıda yüksek teneffüs kabiliyetini doğurmaktadır. O sebeple içerdeki nemin atılmasına yardımcı olur. Gözeneklerden dolayı düşük ısı iletkenlik değeri yanında, düşük ısı nüfuz katsayısına sahip olması gazbeton ile yapılan yapıların beton veya tuğla gibi ısı depolama yeteneği yüksek ve nispeten ısı iletken malzemelere nazaran kısa sürede ısıtılabilmesine olanak vermektedir. Gazbetonun birim hacim ağırlık ve basınç dayanımına göre dayanım sınıfları Çizelge 2.3'te verilmiştir.

Çizelge 2.6. Gazbeton basınç dayanım sınıfları (dın 4165).

Sınıfı	Maks. Basınç dayanımı, kg/cm ² , (MPa)	Min. Basınç dayanımı, kg/cm ² , (MPa)	Birim hacim ağırlık, kg/m ³	Ort. Birim hacim ağırlık, kg/m ³	Sınıf işareti
G1	15 (1.5)	1.0	400	310-400	G1/0.4
			500	410-500	G1/0.5
G2	25 (2.5)	2.0	400	310-400	G2/0.4
			500	410-500	G2/0.5
G3	35 (3.5)	3.0	500	410-500	G3/0.5
			600	510-600	G3/0.6
G4	50 (5.0)	4.0	600	510-600	G4/0.6
			700	610-700	G4/0.7
G5	75 (7.5)	6.0	700	610-700	G6/0.7
			800	710-800	G6/0.8

2.3.2. 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 kütlele genleşmeden 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. Çizelge 2.7'te çeşitli birim hacim ağırlık değerleri için yaklaşık porozite değerleri verilmiştir (Özel 2013).

Çizelge 2.7. Gazbeton porozite oranları.

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

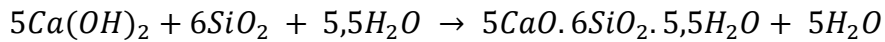
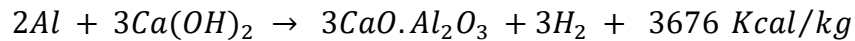
Gazbetonun yaklaşık %80'ini oluşturan mikro ve makro gözenekler, malzemeye düşük bir ısı iletkenlik değeri sağlamaktadır. Isı iletkenlik katsayısı, malzemenin kuru birim hacim ağırlığı ve nem içeriğine bağlı olarak değişim göstermektedir. Kuru gazbetonun kuru birim hacim ağırlığa bağlı olarak ısı iletkenlik değerleri Çizelge 2.8'de verilmiştir.

Çizelge 2.8. Kuru birim hacim ağırlık ve ısı iletkenlik değerleri.

Birim Hacim Ağırlığı (kg/m ³)	Isı İletkenlik (λ) W / m ² K
150	0.045
300	0.09
400	0.09-0.13
500	0.13
600	0.16
700	0.18
800	0.21

2.3.3. Gazbetonun kimyasal yapısı

Gazbeton gözenekli bir beton yapı malzemesidir. Hammaddeleri yüksek silisli havi bir dolgu maddesi kum, kumtaşı, baca külü, yüksek fırın cürufu ile bağlayıcısı kireç ve çimentodur. Gayet ince toz kıvamında öğütülen bu malzemeler su ve alüminyum tozu ilavesi ile karşılaştırılarak döküm arabalarına dökülür. Yanmış kirecin su ile reaksiyona girmesi sonucu yüksek ısı açığa çıkar. Kabartıcı katkı maddesi olarak karışıma katılmış bulunan alüminyum tozu bunun sonucunda reaksiyona girerek hidrojen gazı habbeleri gazbeton döküm hamurunun kabarmasına ve özelliği olan mikro gözenekli bir yapıya sahip olmasını sağlar. Malzemede kimyasal bileşme sonucu teşekkül eden kalsiyum hidrosilikat ve alüminyum hidrosilikatlar neticesinde sertleşme başlar.



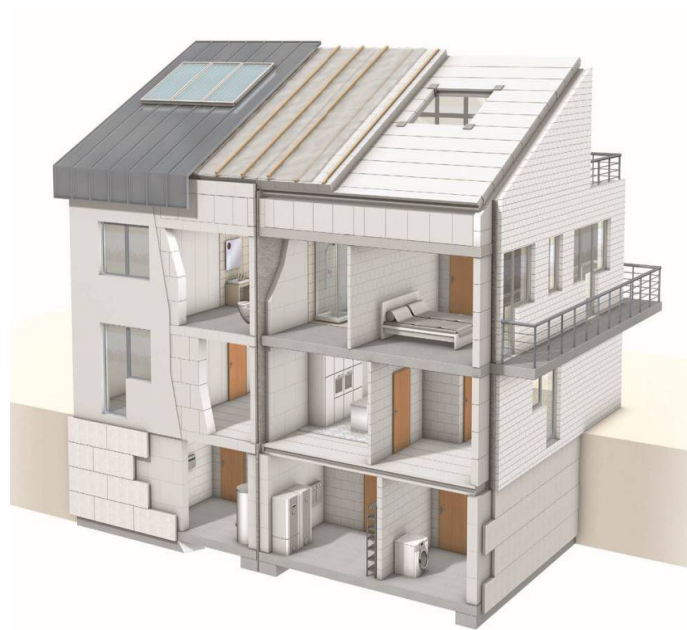
Otoklavlardaki buhar sertleşmesi sonucu malzemesi bünyesi çeşitli kalsiyum hidrosilikat kristallerinden oluşur. En çok rastlanana 11A° Tobermorit ($5\text{CaO} \cdot 6\text{SiO}_2 \cdot 5,5\text{H}_2\text{O}$ ($\text{C}_5\text{Si}_6\text{H}_5$)) kristalidir. Seyrek olarak da Xonolit ($\text{C}_6\text{Si}_6\text{H}$), Gyrolit ($\text{C}_2\text{Si}_3\text{H}_2$), Hillebrandit (C_2SiH) ve Afwillit ($\text{C}_3\text{Si}_2\text{H}_3$) kristallerine rastlanır.

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.

2.4. Gazbetonun Kullanım Alanları

Gazbeton özellikle binaların dolgu duvarlarında kullanılmaktadır. En yaygın kullanım şekli budur. Fabrika türü yapıların duvarlarında yatay ve düşey duvar panelleri olarak kullanılabilir. Her bir elemanın ayrıca montajı yapıldığından bina ne kadar yüksek olursa olsun yükseklik sınırı olmadan kullanılabilir. Max 6m uzunluğunda üretilebilmektedirler. Eğer 6m den daha fazla bir aks açıklığı söz konusu ise şaşırtmacalı örüm teknikleriyle daha geniş aks açıklıklarını geçmek mümkündür. Özellikle yangının çok önemli olduğu kimyasal malzeme üreten fabrikalar ve mobilya üreticileri gibi fabrikaların duvarlarında gazbeton panel kullanımları yaygındır. Fabrikalar donatılı gazbeton panelleri kullanılarak bölünebilir, bu sayede yangın esnasında diğer bölümlere sıçraması engellenilebilir. Bu donatılı panellerle aynı zamanda tasarımlarla konut sistemleri oluşturulabilir. Binaların çatısında çatı plağı olarak, döşemelerde döşeme plağı olarak, duvarların yapım esnasında pencere kenarlarında ve kapı üstlerinde lento söve olarak, asmolon döşemelere dolgu malzemesi olarak, düşük ısı iletkenlik değeriyle yalıtım plağı olarak da kullanılabilir. Yalıtım plakları yanmaz malzemelerdir ayrıca teneffüse izin vermesi ısının uzun süre korunmasına neden olur. Bazen kırıkları hafif dolgu malzemesi olarak binalarda yapılan düşük döşeme türü boşlukların doldurulması amacıyla kullanılabilir. Nadiren duvarların üzerindeki hatılların

gizlenmesi için gazbetondan U blok yapılmaktadır. Üretici firmalar tarafından üretimi oldukça azdır. Mantolama amaçlı kullanılacaksa TSE 825 e göre hesaplanacak olan kalınlık değeriyle binanın betonarme kısımlarından yaklaşık 5 cm çıkıntılı örülmesi tavsiye edilmektedir. Bu sayede içerde bırakılan betonarme kısımlar ayrıca mantolanabilir. Tüm binanın mantolanması yerine sadece betonarme kısımların mantolanmasıyla nefes alan ve yanmaz dış cepheler oluşturulması enerji tasarrufu açısından da en doğru seçimdir. Şekil 2.6 da gazbetonun binalarda hangi kısımlarda kullanıldığı temsili olarak gösterilmiştir.



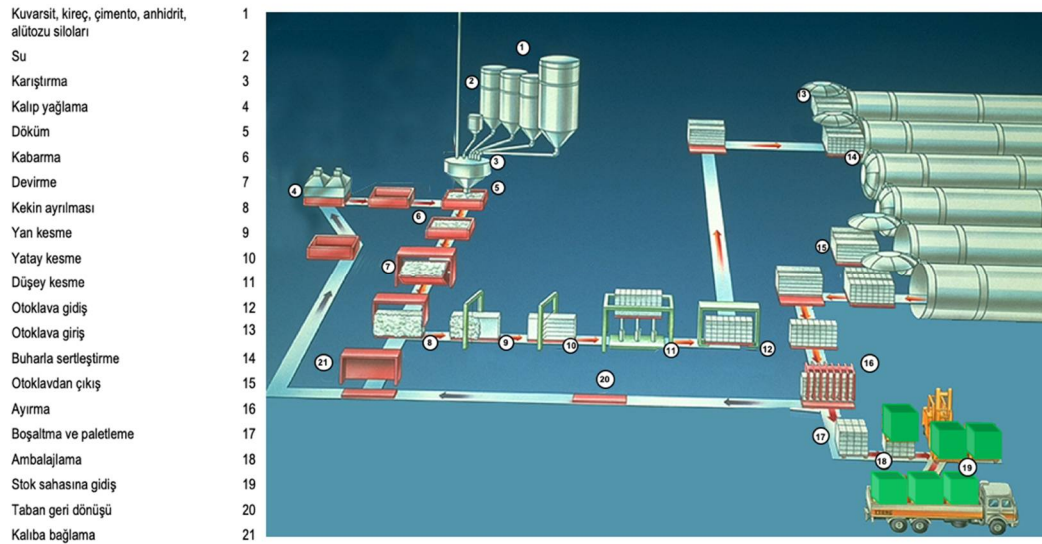
Şekil 2.6. Gazbetonun binalarda kullanım alanları (Ertokat, N., 2014, “Ytong Kitabı” Türk Ytong San A.Ş.).

2.5. Gazbeton Üretimi

Gazbeton temel hammadde olarak kuvars kumu veya kuvarsit, bağlayıcı olarak sönmemiş kireç ve çimento (portland), malzemenin özelliklerini düzenleyen alçıtaşı, gözenek düzenleyici olarak alüminyum tozu ve su, gazbetonun üretim sürecinde kullanılan malzemelerdir.

Doğal hammadde olan kum, ana mineral olan silisyum dioksitin (SiO_2) yanı sıra bazı yan mineraller de içerir. Diğer hammaddeler, birtakım özel karışım formüllerine bağlı olarak üretime girer. Kum, kullanılmadan önce değirmenlerde mikron boyutuna

gelinceye kadar üretilir. Üretim işlemi ve kalitesi açısından en önemli malzeme silisyum dioksittir. Şekil 2.7.' de gazbeton üretim şeması verilmiştir.



Şekil 2.7. Gazbeton üretim akış şeması.

Ana hammaddeler suyla birlikte belirli bir kıvam elde edilinceye kadar karşılaştırılır ve buna daha sonra alüminyum tozu ilave edilir. Ardından elde edilen gazbeton karışımı çelik kalıplara dökülür.

Gazbeton karışımının kalıba dökülmesinden sonra bir dizi kimyasal reaksiyon başlar ve karışım istenilen forma ve yüksekliğe kadar kabarır. Yaklaşık yarım saat boyunca devam eden bu süreç sırasında açığa çıkan hidrojen gazı ve su buharının meydana getirdiği, çapları 0.5 ile 1.5 mm olan gözeneklere hava dolar. 2.5 ile 3 saatin sonunda kendini taşıyacak sertliğe ulaşmış olan malzeme kalıptan çıkarılır. Kalıptan alınan malzeme, otomatik kesim ünitesinde çelik teller ve profil bıçakları yardımıyla değişik ölçülerde kesilerek boyutlandırılır. Kesim sırasında oluşan fire parçaları, bir dizi işlemten sonra tekrar üretime girecek hammadde karışımına katılır. Gazbeton malzemenin biçimlenmesi sertleşmeden önce yapıldığı için, atık parçalar geri dönüşüm anlayışıyla hızlı bir biçimde üretim işlemine yeniden dahil edilir. Buradan da anlaşılacağı gibi, gazbeton üretimi firesiz olarak yapılmaktadır. Kesim işleminin ardından sertleştirme işlemine geçilir. Söz konusu işlem otoklav adı verilen ünitelerde, yaklaşık 10-12 saat devam eder. Malzeme otoklavda maksimum 12 bar basınç altında yaklaşık 190°C'de doymuş buhar ile sertleştirilir.

İmalat sürecinin tamamlanmasından sonra ürünler paletlere yüklenir ve su geçirmeyen plastik ambalajla paketlenir. Böylelikle üretilen malzemeler hava koşullarından, nakliye ve depolama sırasında oluşabilecek hasarlardan korunmuş olur.

Gazbeton, normal betona kıyasla daha düşük bir pH değerine sahip olduğu ve donatı yüzeyinde herhangi bir pasif tabaka oluşmadığı için, donatı çeliği korozyona karşı da ayrıca korunur. Korozyona karşı koruma, daldırma yöntemiyle gerçekleştirilir. Çelik donatılar çoğunlukla gazbeton karışımı dökülmeden önce kalıplara yerleştirilir. Donatı mümkün olduğunca hassas bir şekilde yerleştirilir çünkü kalıba dökülen malzeme daha sonra birden fazla yapı elemanına bölünecektir. Bu nedenle, donatının etrafında yeterli gazbeton kalınlığı elde edebilmek için donatılar doğru yerlerinde bulunmalıdır.

1 m³ gazbeton hammaddesinden yaklaşık 5 m³ gazbeton ürünü elde edilmektedir. Görüldüğü gibi, az miktarda hammaddeyle hafif, ısı yalıtım özelliği ve mukavemeti yüksek bir yapı malzemesi elde edilebilmektedir. Gözenekleri hava ile dolu gazbeton yapı malzemesi strüktür ve ısı yalıtımı açısından pozitif bir özelliğe sahip olur. Sürekli geliştirilen farklı reçeteler yardımıyla, yoğunluğu ve mukavemeti farklı ürünlerin oluşturduğu geniş bir yelpaze ulaşılmıştır. (Ertokat, N., 2014, “Ytong Kitabı” Türk Ytong San A.Ş.)

2.6. Gazbeton Fabrikalarının Ürün Yelpazesi

Gazbeton fabrikasında, donatılı ve donatısız olmak üzere 2 tip ana gazbeton grubu üretilmektedir. Uzunluğu 60cm den yukarda olan her gazbetonun içine ihtiyaca göre hasır donatı miktarı hesaplanarak yerleştirilmektedir. Normal betonarme binalarda kullanılan blok (G2 sınıfı) gazbetonların dışında, yığma binalarda kullanılan daha yoğun üretilen (G4 sınıfı) blok gazbetonlar, yalıtım plağı olarak binaların mantolanmasında kullanılan G(0,5) yalıtım plakları, binalarda asmolen olarak kullanılabilcek (G1) asmolen bloklar, içlerine demir donatı yerleştirilerek sanayi tesislerinin duvarlarında yahut döşeme olarak kullanılabilcek yatay ve düşey paneller (Donatılı G3-G4), çatı plakları (Donatılı G3-G4), inşaatlarda duvar örüldükten sonra pencere ve kapı boşluklarını geçmek için lento ve söveler (Donatılı G3-G4) üretilmektedir. İstenirse gaz beton örgü tutkalı ve sıvası da üretilen yan ürün gruplarıdır.

2.7. Dünya Genelindeki Gazbeton Tesislerinin Tipleri

Modern gazbeton fabrikaları incelendiğinde dünya genelinde kapasitelerine göre 130.000 m³/yıl, 180.000 m³/yıl, 220.000 m³ yıl, 450.000 m³/yıl blok malzeme üreten tesisler yaygındır. Tesislerde malzemeyi kalıplara karıştırıp döken mikserin hızı üretim kapasitesini belirler. Tesisler ilk kurulduğunda az sayıda otoklavla üretime başlanılabilir. Mikserin hızı elverişli ise müşterilerden gelen talep arttıkça tesise yeni otoklavlar eklenmesi ve içerde forme ismi verilen kalıp sayısının arttırılması, bekleme mahalının ve otoklav önü mahallerinin büyütülmesiyle üretim hacmi kolaylıkla büyütülebilir. Bu sayede 3 otoklav ile 130.000 m³/yıl ile üretime başlayan bir tesis ilerde fabrikasını büyüterek otoklav sayısını 9 adete çıkararak üretim kapasitesini 400.000 m³/yıl a çıkarabilir.

Ülkemize bakıldığında gazbeton fabrikalarında toz öğütme bölümü adı verilen kireç öğütme tesisleri yaygındır. İleri kireç üretimi yapan ülkelerde her daim satın alınan kireç belirli standartlarda olduğundan dolayı bu üniteye çoğunlukla rastlanılmamaktadır.

Dünya geneline bakıldığında genel itibariyle 2 tip gazbeton üretimi yapılan tesis vardır. Bunlardan biri hazırlanmış olan gazbeton kekinin bir vinç yardımıyla yatırılarak pişme esnasında otoklava yatık olarak girdiği sistemlerdir. Diğeri ise gazbeton kekine yatırılma hareketi yaptırılmadan otoklavda pişmeye dik olarak alındığı fabrikalardır. Her iki tip fabrikanın birbirlerine göre avantajları ve dezavantajları mevcuttur. Çizelge 2.9' da dikey üretim ve yatay üretim yapan fabrikalarda makinasal farklılıklar gösterilmiştir. Şekil 2.10'da yatay ve dikey üretim yapan tesislerin birbirlerine göre avantaj ve dezavantajları karşılaştırılmıştır.

Gazbeton üretimi kapasite hesabında ana nokta mikserin (dolayısıyla mikseri dolduran ekipmanların da) kaç dakikada bir üretim yaptığıdır. Döküm gün sayısı ve mikser dakikada döküm yapabilme kabiliyeti tesisin kapasitesinde belirleyici ana unsurdur. Bu rakamlar tesisin kapasitesinin hesaplanmasında önem arz etmektedir.

Örnek vermek gerekirse;

$$\text{Fabrikadaki kalıpların hacmi: } 0,625\text{m} \times 6,1\text{m} \times 1,5\text{m} = 5,72 \text{ m}^3$$

Ancak bu ürün kesme makinesinde $0,6\text{m} \times 6\text{m} \times 1,4\text{m} = 5,04\text{m}^3$ ölçüsünde kesilir.

1 gün 1440 dk'dır. Mikser Döküm Hızı: 4,5 dk /döküm olursa $1440/4,5 = 320$ döküm yapılır. Ancak fabrikada arızalar ve fireler nedeniyle %5 fire kabul edilir. $100-5=\%95$ verimlilikte çalışır. $320 \times 0,95 = 304$ kalıplık ürün net olarak sevk edilir. Günlük

$304 \times 5,04 = 1534 \text{ m}^3$ net üretim yapılır. Fabrikanın yılda 300 gün çalıştığı varsayılırsa $300 \times 1534 = 460.200 \text{ m}^3/\text{yıl}$ tesisin kapasitesi hesaplanır.

Yukarıdaki basit hesaplama tahmini değerler verilerek yapılmıştır. Tesisin tüm dizaynı ve diğer ekipmanların da üretim kapasiteleri bu hıza göre yapıldığından, mikser hızı, kalıp ölçüleri sözleşmede belirtilmesi son derece önemlidir. Teklif veren firmanın kapasite hesaplarını hangi kriterlere (örn. yıllık çalışma günü) göre yaptığını bilmek veya belirtmek de önemlidir.

Çizelge 2.11'de bir gazbeton fabrikasında olan ana ünite ve ana makinelerin isimleri literatürde daha kolay bulunabilmesi amacıyla İngilizce isimleri verilmiştir.

Çizelge 2.9. Yatay ve dikey otoklavlama yapan fabrikalardaki makineler.

Departman	Dikey üretim sistemi	Yatay üretim sistemi
	<i>Ekipmanın Adı</i>	<i>Ekipmanın Adı</i>
KUM DEĞİRMENİ	Kum Değirmeni	Kum Değirmeni
	Değirmen Besleme Sistemi	Değirmen Besleme Sistemi
	Karıştırıcılı Çamur Tankı	Karıştırıcılı Çamur Tankı
	Geri Dönüş Çamur Tankı	Geri Dönüş Çamur Tankı
	Diğer çamur transfer ve kontrol sistemleri	Diğer çamur transfer ve kontrol sistemleri
DÖKÜM	Çimento Silosu	Çimento Silosu
	Kireç Silosu	Kireç Silosu
	Alçı Silosu	Alçı Silosu
	Gazbeton Tozu Silosu	Yok
	Fly Ash Silosu*	Fly Ash Silosu*
	Silo-Mikser Arası Transport Elemanları	Silo-Mikser Arası Transport Elemanları
	Dozajlama ve Tartım Sistemleri	Dozajlama ve Tartım Sistemleri
	Diğer Yardımcı Elemanlar	Diğer Yardımcı Elemanlar
	Mikser	Mikser
	Mikser Boşaltım İstasyonu	Mikser Boşaltım İstasyonu
	Mikser Altı Karıştırıcı	Mikser Altı Karıştırıcı
	Alüminyum Dozaj Tesisi	Alüminyum Dozaj Tesisi
KALIP SİRKÜLASYON SİSTEMİ	Kalıplar	Kalıplar
	Kalıp Tabanları	Kalıp Tabanları
	Döküm Vinci veya Kayar Platform	Döküm Vinci veya Kayar Platform
	Kalıp Dolaşım Sistemi ve Raylar	Kalıp Dolaşım Sistemi ve Raylar
	Yağlama İstasyonu (Otm veya Manuel)	Yağlama İstasyonu (Otm veya Manuel)
	Raising Chamber (Kabarma Odası)	Raising Chamber (Kabarma Odası)
	Döküm Sistemi Otomasyonu	Döküm Sistemi Otomasyonu
	Donatı Hazırlama Holü	Donatı Hazırlama Holü
KESME	Devirme Vinci	Devirme Vinci
	Kesme Makinesi ve Ekipmanları	Kesme Makinesi ve Ekipmanları
OTOKLAV VE KAZAN DEPERTMANI	Otoklavlar	Otoklavlar
	Yok	Yaş Devirme
	Yok	Yaş Ayırma
	Yok (Kalıp tabanı ile otoklava girer)	Pişirme Plakası
	Yok	Pişirme Çerçevesi
	Yok	Pişirme Plakası Yağlama İstasyonu
	Yok	Pişirme Plakası çerçeve dolaşım Sistemi
	Otoklav Arabaları(Bogey)	Otoklav Arabaları(Bogey)
	Araba İtme Çekme Sistemleri	Araba İtme Çekme Sistemleri
	Kazan Dairesi ve Buhar Dağıtım	Kazan Dairesi ve Buhar Dağıtım
AYIRMA VE PAKETLEME	Zincirli Götürücü (Taban)	Yok
	Ayırma Vinci	Yok
	Taban Devirme Ekipmanı	Yok
	Taban Geri Dönüş Sistemi	Taban Geri Dönüş Sistemi
	Taban Stok Sistemi	Yok
	Transfer Vagonları	Transfer Vagonları
	Paketleme ve Şrink Sistemleri	Paketleme ve Şrink Sistemleri

Çizelge 2.10. Dikey ve yatay otoklavlama sistemi farkları.

	Dikey Otoklavlama Sistemi	Yatay Otoklavlama Sistemi
AVANTAJLAR	Daha az ekipman var	
	Üretim hızı daha yüksek	
	Otoklav öncesi devirme ayırma operasyonu yok	
	Müşteriye görünen yüzeylerde başka ekipmana temas yok	
	Fire ve Alt Kape Kırıkları Üretim Reçetesine İlave Ediliyor	
	Otoklav öncesi yağlama yok	
		Tabanlar yerine pişirme plakaları ile otoklava giriyor
		Yaş ayırma yapıldığı için kütle olarak %3 daha az ürün pişiyor
		Yaş ayırma yapılıyor, otoklav sonrası yapışma yok
		Alt kapeler pişirme öncesi ayrılıyor.
		Otoklav sonrası ayırma vinci yok.
	Daha hafif izolasyon ürünleri üretilebilir.	
DEZAVANTAJLAR	Otoklavlama sonrası ürünlerde yapışmadan dolayı ayırma çeneleri olan bir ayırma vinci ile ayırma işlemi yapılmak zorunda, en yüksek fire burada veriliyor.	Ayrırma İşlemi Otoklavlama Öncesi yapılıyor, en yüksek fire burada veriliyor.
	Tabanlar otoklava giriyor, daha çok sayıda taban gerekiyor.	Tabanlar haricinde pişirme plakaları ve sirkülasyonu var.
	Düşük yoğunluklu malzeme üretilemez. (150kg/m ³)	Müşterinin gördüğü yüzeylerde yapışma nedeniyle fire.

*Turkgazbeton (www.turkgazbeton.com) şirketi'ne aittir.

Çizelge 2.11. Gazbeton fabrikasında olan makinelerin isimleri.

1	Mill 25 T/H	21	Stream Accumulator
2	Sand Silos	22	Cooling Tower
3	Sand Slurry Tanks	23	Condensate Tank
4	Mould Oiling	24	Boiler House
5	Aluminum Dosing Plant	25	Stream Distribution Unit
6	Mixing Plant	26	Waste Disposal Conveyor
7	Table For Longitudinal Bars	27	Block Unloading
8	Net Cross Transport	28	Block Unloading Feeding Pipe Mbt Unloading
9	Cage Banding	29	Mbt Unloading
10	Chain Conveyor for cage transport	30	Dry Cutting Plant
11	Storage for longitudinal bars	31	Unloading Crane
12	Welding Machine	32	Separating Machine
13	Connector Production	33	Curing Plate Cross feeder
14	Wire Straightening And Cutting Machine	34	Curing Plate Cleaning
15	Recycling Slurry Tank	35	Stock For Curing Plate
16	Placing Disposal Section	36	Curing Plate Transport
17	Aac Hvc Cutting Unit	37	Tilting Crane
18	Autoclaves Crane	38	Compressor Station
19	Condensate Pit	39	Oil Tank
20	Autoclaves	40	Lime and Anhydrite Mill

*araştırma kolaylığı olması açısından isimler İngilizce verilmiştir.

2.8. Gazbeton Fabrikalarının Bölümleri

2.8.1. Ytong tozu ve anhidrit kırma – Toz öğütme sistemi

Bu kısım hammadde olarak gelen kireci öğütmektedir. Ülkemizde kireç her zaman belirli standartları taşımadığından dolayı bu üniteye gerek duyulur. Diğer ülkelere bakıldığında bu sistemin olmadığı fabrikalar yaygındır.

Hammadde besleyicili bunkerden primer kırıcıya beslenir. Primer kırıcıda kırılan malzeme bandlı taşıyıcı ile sekonder kırıcıya verilir. Sekonder kırıcıdan çıkan malzeme elevatör ile, Anhidrit ise Anhidrit silosuna, Ytong Tozu ise, Ytong tozu silosuna gider. Silolardan da vidalı taşıyıcı ile değirmene beslenecektir.

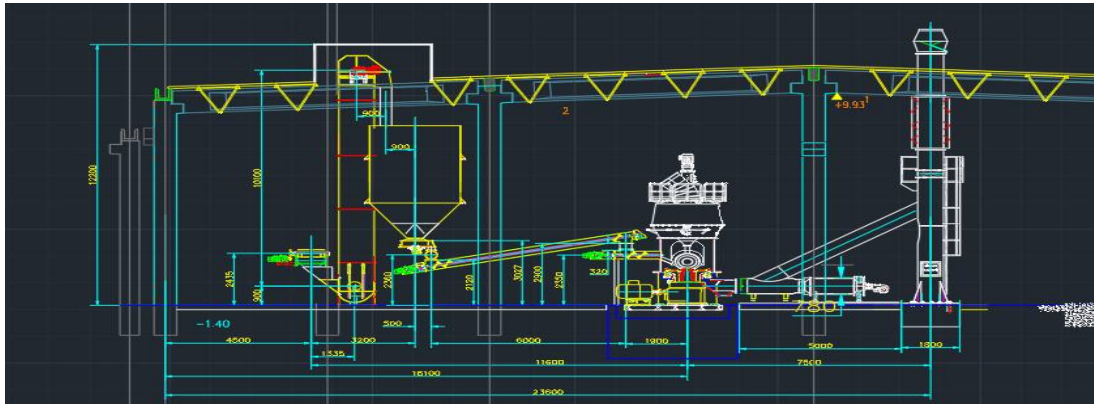
Kırılan malzeme döner değirmen tablasına boşaltılır ve merkezkaç kuvveti vasıtasıyla düz tablanın köşelerine ve konik öğütme valslerinin altına doğru hareket eder. Malzeme valsler ve öğütme tablası arasında tutulur ve öğütülür.

Öğütme verimliliğini optimize edebilmek amacıyla valsler üzerindeki öğütme kuvveti hidrolik yük sisteminden ayarlanabilir. Seçilmiş olan hava akış hızına ve seperatör dönüş hızına bağlı olarak, arzu edilen tane boyutundaki ürün değirmenden alınır. Büyük taneli malzemeler tekrar öğütülmek üzere seperatör tarafından değirmene geri gönderilir.

Değirmende valslerin ve tablanın hasarlanmasını önleyen, valslerin fiziksel olarak öğütme tablasına temas etmesini engelleyen mekanik durdurucular bulunmaktadır.

Değirmeni terk ettikten sonra, ürün borulama sistemi ile pnömomatik olarak siklon ve ürün filtresine taşınır. Borulama sisteminde gerekli görülen yerlerde, kompanzasyon sistemi kullanılmaktadır. Toz filtresinde, her torba homojen (eşit) beslenecek şekilde toz filtresine besleme yapılmaktadır. Ürün; torbalı filtre altından siloya aktarılmaktadır. Siloda toplanan ürün kullanıma hazır olarak, toz pompasına aktarılırak; oradan da hangi ürün seçili konumda ise, onun karıştırma katındaki silosuna iletilmektedir.

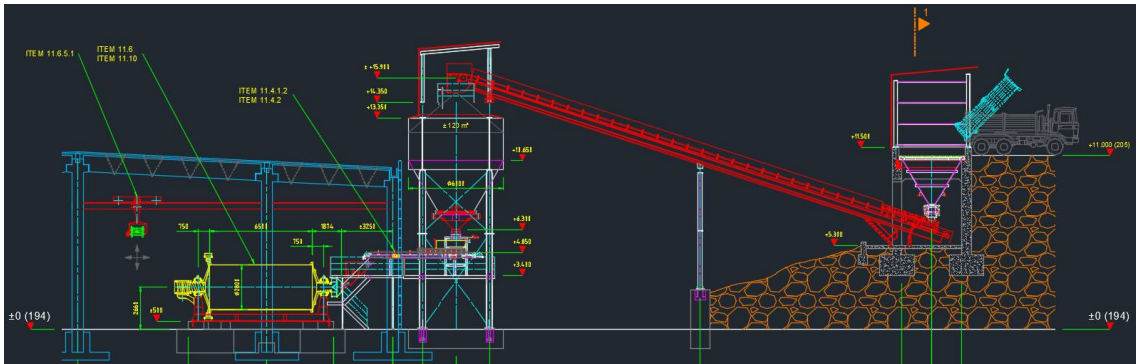
Filtre çıkışı havanın bir kısmı bacadan atılmaktadır. Şekil 2.8’de Toz Öğütme Sistemi çizimi görülmektedir.



Şekil 2.8. Toz öğütme sistemi (proje çizimleri Xella Baustoffe GMBH şirketine aittir).

2.8.2. Kum değirmeni ve silis kumu besleme sistemi

Gazbeton üretim tesisinin ana hammaddesi olan silis madeni kum olarak ocaklardan fabrika hammadde alanına sevkedilir. Kum değirmeninde su ile birlikte öğütme işlemine alınan silis sürekli olarak değirmenden çamur halinde çıkar. Bu çamur değirmenden sonra karıştırıcı stok tanklarında döküm için beklemeye başlar. Şekil 2.9. Kum Değirmeni ve Silis Kumu Besleme Sistemi çizimi görülmektedir.



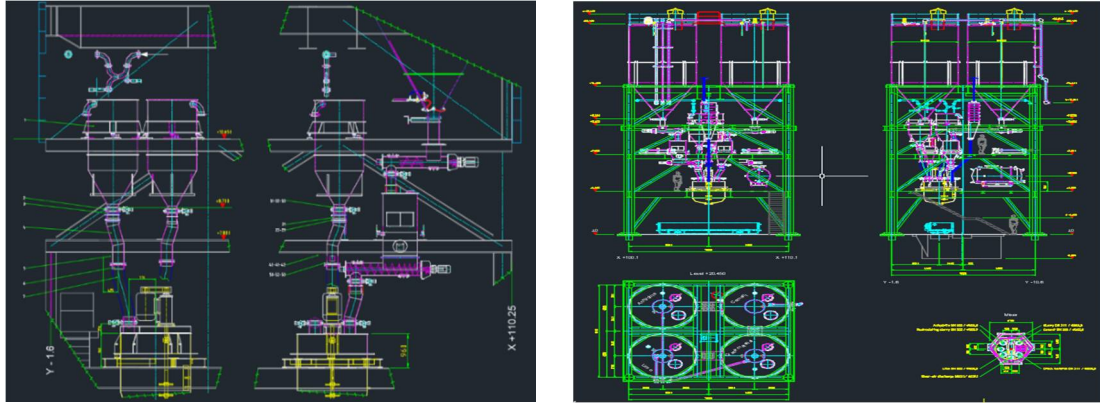
Şekil 2.9. Kum değirmeni ve silis kumu besleme sistemi (proje çizimleri Xella Baustoffe GMBH şirketine aittir).

2.8.3. Alüminyum dozajlama odası

Gazbeton üretiminde kabartıcı olarak Al. Tozu kullanılmaktadır. Al. Tozunun su ile reaksiyona girmesi sonucu hidrojen gazı açığa çıkmaktadır. Hidrojen gazı kalıp içine boşaltılan karışımın yukarıya doğru kabarmasını sağlamaktadır. Al. Dozaj tesisi gazbeton reçetesine göre istenilen miktarlarda alüminyum tozunun döküme gönderilmesi için dizayn edilmiştir.

2.8.4. Döküm mikseri ve stok siloları

Gazbeton prosesinde ihtiyaç duyulan hammaddeler döküm kısmında silolarda stoklanarak bekletilir. Belirlenen reçeteye göre hammaddeler buradan tartım kefelere alınarak döküm mikserine boşaltılır. Döküm mikserinde belirlenen oranlarda tartılmış hammaddeler birlikte yüksek hızlarda karıştırılarak kalıba boşaltılarak gazbetonun dökülmesi sağlanır. Bu mikserin döküm hızı fabrikanın üretim kapasitesinin artırılabilir olmasında oldukça önemlidir. Şekil 2.10. da döküm mikseri ve stok siloları kesit görünüşleri çizimleri verilmiştir.



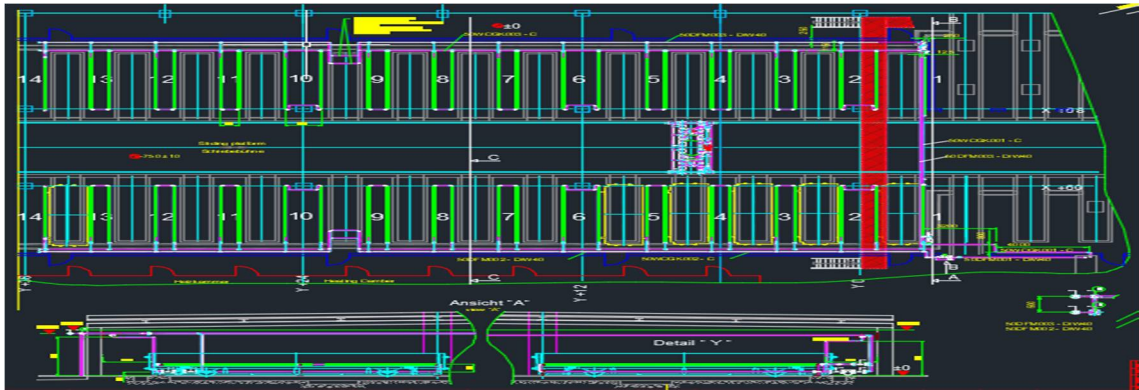
a) Döküm Ünitesi ve Sloların kesit görünüşü

b) Tartım kefeleri ve döküm

Şekil 2.10. Döküm mikseri ve stok sloları kesit görünüşleri (proje çizimleri Xella Baustoffe GMBH şirketine aittir).

2.8.5. Kabarma odası

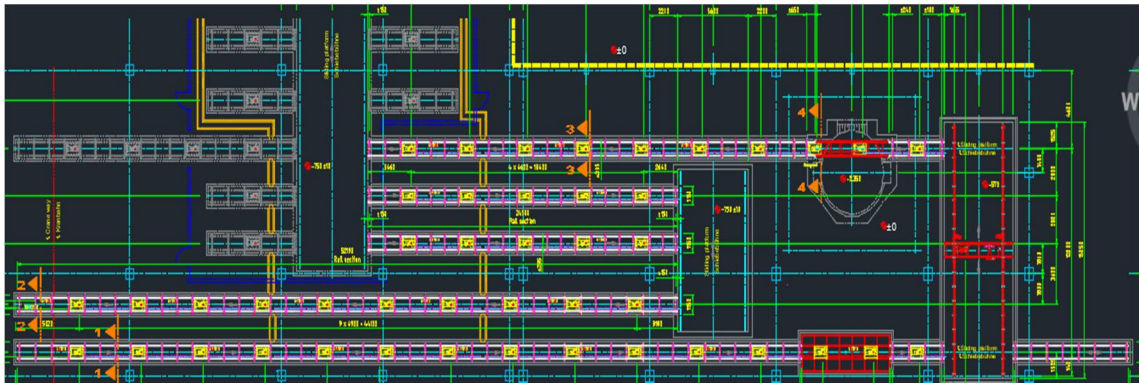
Gazbetonun döküm prosesi sonrası kalıba boşaltılması sonrası çimento, kireç, alçı ve silis çamuru içeren bu karışımın beton halinde prizlenmesi için bir noktada beklemesi gerekir. Bunun için kalıpların park edip bekleyeceği, ısının muhafaza edilmesi için tavanı mevcut binadan basık, kabarma odası dizayn edilmiştir. Şekil 2.11. kabarma odası kesit görünüşleri çizimleri verilmiştir.



Şekil 2.11. Kabarma odası kesit görünüşü (proje çizimleri Xella Baustoffe GMBH şirketine aittir).

2.8.6. Kalıp sirkülasyon hattı, kesme hattı geri dönüş havuzu

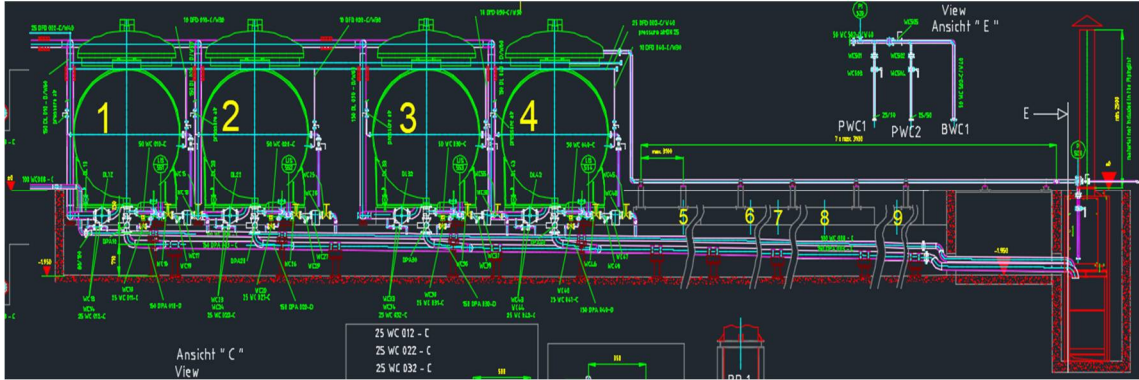
Üretimin devam edebilmesi için dökülen ve boşaltılan kalıplar devamlı sirküle haldedir. Bu sistem raylar ve iletim motorlarından oluşmakta olup bir otomasyon sistemi ile kontrol edilmektedir. Kabarma odasında prizlenme işlemi tamamlanan kalıplar ise kesme hattına alınarak, kalıptan çıkartılır. Bir metal taban üzerinde ilerleyen kalıplar kesme hattında teller vasıtası ile kesilerek otoklav mahaline gönderilir. Şekil 2.12. kalıp sirkülasyon hattı, kesme hattı geri dönüş havuzu çizimleri verilmiştir.



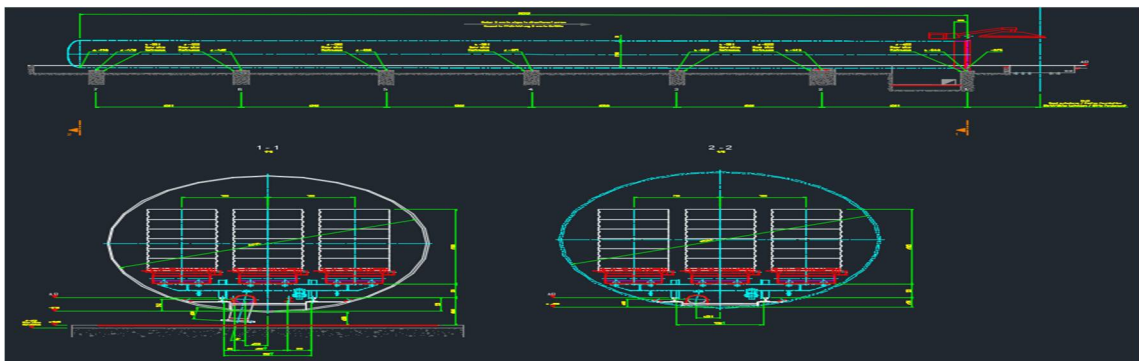
Şekil 2.12. Kalıp sirkülasyon hattı, kesme hattı geri dönüş havuzu (proje çizimleri Xella Baustoffe GmbH şirketine aittir).

2.8.7. Otoklavlar

Kesimi tamamlana yarı mamul gazbeton keki otoklavlara gelir. Bu kekin sertleştirilmesi işlemleri otoklavlarda yüksek basınçlı buhar kürü ile yapılmaktadır. Otoklav içine alınan yarı mamuller 12bar'a kadar yüksek basınçlı buhar kürüne tabi tutulur. Bu işlem yaklaşık 10-12h aralıklarında gerçekleşmektedir. Bu süre sonrasında sertleşen ürünler ayrılmak ve paketlenmek üzere paketleme alanına gönderilir. Şekil 2.13. ve 2.13'te otoklavlar genel görünüş kesitleri verilmiştir.



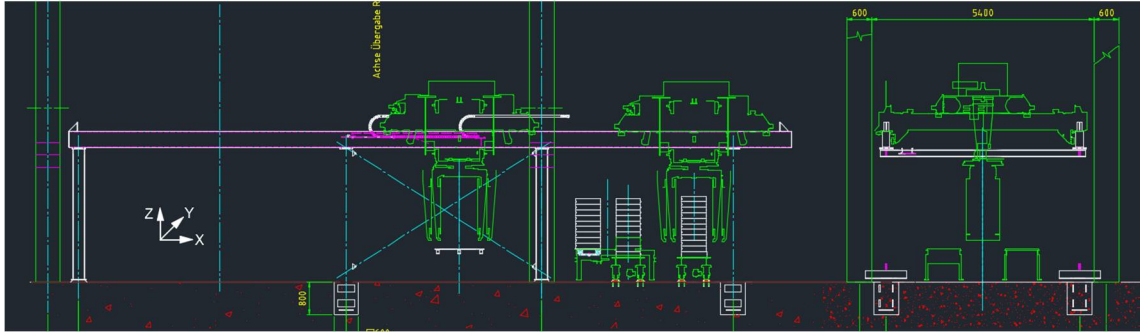
Şekil 2.13. Otoklavlar genel görünüş kesit.



Şekil 2.14. Gazbetonun pişirme esnasında otoklavlara yerleşimi (Proje çizimleri Xella Baustoffe GMBH şirketine aittir).

2.8.8. Ayırma

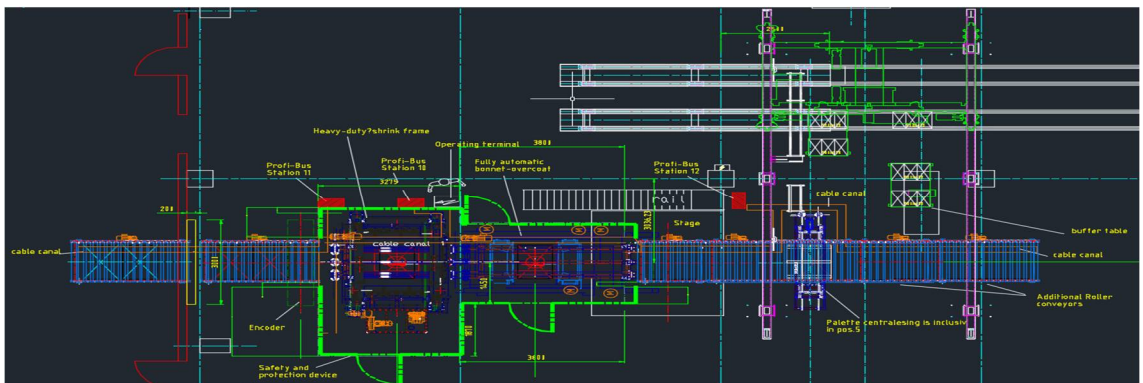
Otoklav tesisinde sertleştirilmesi tamamlanmış olan gazbeton bloklar bu sertleştirme işleminden sonra bir miktar birbirine kaynama eğilimindedir. Bu sebeple birbirine yapışmış olan bu bloklar iki bloğun çenelerle tutularak birbirinden ayrılması gerekir. Burada bu işlem hidrolik sistemler kullanılarak yapılır. Şekil 2.15. Otoklavdan sonra malzemelerin ayırma vinci vasıtası ile ayrılmasını gösteren çizimler gösterilmiştir.



Şekil 2.15. Otoklavdan sonra malzemelerin ayırma vinci vasıtası ile ayrılması (Proje çizimleri Xella Baustoffe GMBH şirketine aittir).

2.8.9. Paketleme hattı

Ayrılmış olan gazbeton bloklar paketleme sistemine gönderilir. Tam otomatik çalışan bu makinelerde ürünler palet üzerine konularak shrink denilen naylon ile kaplanır. Isıtılarak naylon sıkı bir şekilde paletlenmiş bir şekilde ürün üzerine geçirilerek sevkiyata gönderilir. Şekil 2.16. de gazbeton fabrikasına ait paletleme ve paketleme sistemi çizimi verilmiştir.



Şekil 2.16. Gazbeton paletleme ve paketleme sistemi (Proje çizimleri Xella Baustoffe GMBH şirketine aittir).

3. DENEYSEL ÇALIŞMA

3.1. Malzemeler

Gazbeton üretimlerinde, çimento, silis (kuvars) kumu, sönmemiş kireç, öğütölmüş alçıtaşı, alüminyum tozu ve mineral katkı olarak uçucu kül, öğütölmüş riyolit ve perlit kullanılmıştır.

3.1.1. Çimento

Gazbeton karışımlarında kullanılan çimento ÇİMSA Eskişehir çimento fabrikasından temin edilmiş ve laboratuvar ortamında depolanmıştır. Kullanılan CEM I 42.5R tipi çimentoya ait bazı kimyasal, fiziksel ve mekanik özellikler Çizelge 3.1'de sunulmuştur. Bu değerler üretici firmadan temin edilmiştir.

Çizelge 3.1. Çimento kimyasal, fiziksel ve dayanım özellikleri.

Kimyasal Özellikler			Fiziksel Özellikler		
Silisyum dioksit	SiO ₂	20.02	Özgöl Ağırlık	3.15 g/cm ³	
Alüminyum Oksit	Al ₂ O ₃	4.88	Özgöl Yüzey	3230 cm ² /g	
Demir Oksit	Fe ₂ O ₃	3.01	0,090 mm Elek Kalıntısı	%0.3	
Kalsiyum Oksit	CaO	64.07	0,045 mm Elek Kalıntısı	%4.9	
Magnezyum Oksit	MgO	1.26	Standart Kıvam su miktarı	%29	
Potasyum Oksit	K ₂ O	0.63	Priz başlama süresi	175dk	
Sodyum Oksit	Na ₂ O	0.42	Priz sona erme süresi	240dk	
Kükürt Trioksit	SO ₃	2.5	Genleşme (Le Chatelier)	1mm	
Klorür	Cl	0.007	Dayanımlar		
Kızdırma Kaybı		3.4			
Toplam Alkali		0.83			
			2 Gün	N/mm ²	25.2
Toplam Katkı		4.8	7 Gün	N/mm ²	
Çözünmeyen Kalıntı		0.3	28 Gün	N/mm ²	53.5
Serbest Kireç		1.2	Kimyasal Analizler TSEN 196-2 ve TS EN 196-21, fiziksel analizler ve dayanımlar TS EN 196-1'e göre yapılmıştır.		
LSF		97.68			
Karma Oksitler					
C3S (3CaO.SiO ₂)		64.3			
C2S (2CaO.SiO ₂)		8.91			
C3A (3CaO.Al ₂ O ₃)		7.83			
C4AF (4CaO.Al ₂ O ₃). Fe ₂ O ₃		9.15			

3.1.2. Silis (kuvars) kumu

Gazbeton karışımlarında kullanılan silis (kuvars) kumu Aynurlar Madencilik Ltd Şti'nin çalıştırmış olduğu Bilecik Türk Ytong San.A.Ş.'ye ait maden ocağından temin edilmiş ve laboratuvar ortamında depolanmıştır. Kullanılan silis kumunun 90 mikron elekten geçen malzeme oranı %88'dir. Silis kumu kimyasal bileşimi Çizelge 3.2'de verilmiştir.

Çizelge 3.2. Silis kumunun kimyasal bileşimi.

Kimyasal Bileşim	Oranı (%)
SiO ₂	87.033
Al ₂ O ₃	11.4
FeO	0.2
TiO ₂	0.027
CaO	0.03
MgO	0.02
Na ₂ O	0.02
K ₂ O	0.83
Kızdırma Kaybı	0.44

3.1.3. Sönmemiş kireç

Gazbeton karışımlarında kullanılan öğütülmüş sönmemiş kireç Paksan Kireç A.Ş. Adapazarı fabrikasından temin edilmiştir. Sönmemiş kirecin kimyasal özellikleri Çizelge 3.3'te verilmiştir.

Çizelge 3.3. Sönmemiş kireç kimyasal özellikleri.

Kimyasal Özellikler	Oranı, %
Toplam Alkalite	91.4
Serbest CaO	80.6
Kızdırma kaybı	7.2
MgO	1.3

3.1.4. Öğütülmüş Alçıtaşı

Gazbeton karışımlarında kullanılan öğütülmüş alçıtaşı Ankara Bala ilçesi'nden temin edilmiştir. Öğütülmüş alçıtaşının kimyasal bileşimi Çizelge 3.4. 'de verilmiştir.

Çizelge 3.4. Öğütülmüş alçıtaşının kimyasal bileşimi.

Kimyasal Bileşimi	Oran, %
SO ₃	40.7
CaO	30.7
SiO ₂	1.98
Fe ₂ O ₃	0.048
MgO	0.636

3.1.5. Alüminyum tozu

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).

Gazbeton üretiminde Alman Schlenk Metallic Pigments Gmbh firmasından temin edilen 4410 ürün numaralı alüminyum tozu kullanılmıştır.

3.1.6. Uçucu kül

Gazbeton karışımlarında kullanılan uçucu kül, Konya Çumra Çoban Yıldızı Termik Santralinden alınmıştır. Uçucu külün kimyasal özellikleri Çizelge 3.5'de verilmiştir. Kullanılan uçucu külün yoğunluğu 2.4 gr/cm³ olup ASTM C 618 standardına göre SiO₂+ Al₂O₃ + Fe₂O₃ ≥ %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 kül olarak sınıflandırılmaktadır.

Çizelge 3.5. Uçucu kül kimyasal bileşimi.

Kimyasal Bileşimi	Oran, %
SiO ₂	35.5
Al ₂ O ₃	12.95
CaO	17.76
MgO	2.33
Fe ₂ O ₃	11.78
K ₂ O	1.44
Na ₂ O	0.15
SO ₃	13.73
TiO ₂	0.62
P ₂ O ₅	0.14
Cr ₂ O ₃	0.03
LOI	2.84
TOC	1.37

3.1.7. Perlit

Gazbeton karışımlarında kullanılan perlit madeni Erzurum Pasinler bölgesinden temin edilmiştir. Perlit madeni, kum değirmeninde öğütüldükten sonra 32µ elek altı kalan malzeme gazbeton karışımlarında kullanılmıştır. Kullanılan perlitin kimyasal bileşimi Çizelge 3.6’da ve fiziksel özellikleri Çizelge 3.7’de verilmiştir.

Çizelge 3.6. Perlitin kimyasal bileşimi.

Kimyasal Bileşimi	Oran, %
SiO ₂	72.49
Al ₂ O ₃	13.82
Fe ₂ O ₃	1.71
MgO	0.07
CaO	0.45
Na ₂ O	4.54
K ₂ O	5.77
TiO ₂	0.19
MnO	0.05
LOI	0.83

Çizelge 3.7. Perlitin fiziksel özellikleri.

Özellikler	Değerler
Sertlik (Mohs)	5-6
Özgül ağırlık, kg/m ³	2200-2400
Gevşek yoğunluk, kg/m ³	32-400
Yumuşama noktası, °C	871-1093
Erime noktası, °C	1260-1343
Özgül ısı, cal/g°C	0.2
Isı iletkenliği	0.04
Refraktif indeks, w/mk	1,5
pH:	6.5-8
Serbest nem (%), maks.	0,5

3.1.8. Riyolit

Gazbeton karışımlarında kullanılan riyolit Gemikaya Holding'e ait Nahçıvan'da Mesameli Gazbeton fabrikasından öğütülmüş olarak temin edilmiştir. Öğütülmüş riyolit, 32µ elek altı kalan boyut aralığında gazbeton karışımlarında kullanılmıştır. Riyolitin kimyasal bileşimi Çizelge 3.8'de ve fiziksel özellikleri Çizelge 3.9'da verilmiştir.

Çizelge 3.8. Riyolitin kimyasal bileşimi.

Kimyasal Bileşimi	Oran, %
SiO ₂	60.5
Al ₂ O ₃	15.7
Fe ₂ O ₃	6.0
MgO	0,9
CaO	4.1
Na ₂ O	2.6
K ₂ O	1.0
SO ₃	0,04
LOSS	2.1

Çizelge 3.9. Riyolitin fiziksel özellikleri.

Fiziksel Özellikler	Değerler
Kuru Birim Hacim Ağırlığı, (gr/cm ³)	2.564 ± 0,002
Doygun Birim Hacim Ağırlığı (gr/cm ³)	2.598 ± 0,006
Porozite (%)	3.344 ± 0,371
Boşluk Oranı (%)	3.462 ± 0,398
Ağırlıkça Su Emme (%)	1.304 ± 0,149
Don Kaybı (%)	0.473 ± 0,047
Sertlik (Mohs)	6

3.2. Gazbeton Karışım Parametreleri/Oranları

Gazbeton üretiminde doğal mineral olarak perlit ve riyolit ve yapay mineral olarak da uçucu külün kullanımını araştırmak için iki grup altında G2/05 gazbeton sınıfı esas alınarak dört farklı referans gazbeton karışım oranları belirlenmiştir. Her bir grup karışımlarda alüminyum tozu, sönmüş kireç, öğütülmüş alçıtaşı ve su/katı oranı (%.71) sabit tutulmuştur. Gazbeton bileşen miktarları, toplam katı malzeme miktarına göre belirlenmiştir.

İlk grup karışımlarda, 3 farklı referans gazbeton karışımında çimento dışındaki diğer bileşenler sabit tutulmuş ve riyolit, perlit ve uçucu kül %25, %45, %65 ve %85 oranlarında çimento ile yer değiştirilerek kullanılmıştır. İlk grup gazbeton karışım oranları Çizelge 3.10'da verilmiştir.

İkinci grup karışımlarda silis kumu, çimento ve mineral katkı oranları değişken diğer bileşenler sabit tutularak farklı özellikteki karışımlarda farklı oranlarda riyolit ve perlit kullanılmıştır. Bu grupta, mineral katkıların daha yüksek oranlarda kullanımını araştırmak için perlit ve riyolit oranı %76 olan tek referans gazbeton karışımı belirlenmiştir. Bu referans karışıma, 3 farklı oranda çimento (%20, %40, %60) ve silis kumu (%30, %50, %70) her bir mineral katkı ile yer değiştirilerek ilave edilmiştir. İkinci grup gazbeton karışım oranları Çizelge 3.11'de verilmiştir. Gazbeton karışım oranları çizelgelerinde perlit P, riyolit R ve uçucu kül UÇ ile gösterilmiştir. İlk grup karışımların gösteriminde, ilk üç harf mineral katkı türünü sonrasındaki rakam mineral katkı oranını ifade etmektedir. İkinci grup karışımların gösteriminde ilk üç harf katkı türünü sonraki rakamlar sırasıyla çimento ve silis (kuvars) kumu oranını ifade etmektedir.

Çizelge 3.10. 1. Grup karışım oranları.

Karışım No	Katkı Türü	Katkı Oranı, %	Katkı Mik. %	Çimento, %	Kuvars Kumu, %	Alüminyum Tozu, %	Kireç, %	Alçı, %
R1		-	-	22				
P/R/UÇ25	Perlit Riyolit Uçucu Kül	25	5.5	16.5	62	0.1	12	3.9
P/R/UÇ45		45	9.9	12.1				
P/R/UÇ65		65	14.3	7.7				
P/R/UÇ85		85	18.7	3.3				
R2		-	-	26				
P/R/UÇ25	Perlit Riyolit Uçucu Kül	25	5.5	16.5	56	0.1	14	3.9
P/R/UÇ45		45	9.9	12.1				
P/R/UÇ65		65	14.3	7.7				
P/R/UÇ85		85	18.7	3.3				
R3		-	-	30				
P/R/UÇ25	Perlit Riyolit Uçucu Kül	25	5.5	16.5	46	0.1	20	3.9
P/R/UÇ45		45	9.9	12.1				
P/R/UÇ65		65	14.3	7.7				
P/R/UÇ85		85	18.7	3.3				

Çizelge 3.11. 2. Grup karışım oranları.

Karışım No	Katkı Türü	Katkı Miktarı %	Çimento		Kuvars Kumu		Alümin. Tozu, %	Kireç, %	Alçı, %
			Oran	Miktar %	Oran	Miktar %			
R4		76	-	-	-	-			
43P/R20/30	Perlit Riyolit	43	20	11	30	23	0.1	20	3.9
30P/R20/50		30		7.6	50	38			
18P/R20/70		18		4.5	70	53			
32P/R40/30		32	40	21	30	23			
23P/R40/50		23		15	50	38			
14P/R40/70		14		9	70	53			
21P/R60/30		21	60	32	30	23			
15P/R60/50		15		23	50	38			
9P/R60/70		9		14	70	53			

3.3. Gazbeton Üretimi

Türk Ytong San. A.Ş. Bilecik fabrikası laboratuvarı kullanılarak deneme üretimleri yapılmıştır.

Karışım kabına ilk olarak su alınmış, daha sonra kuvarsit ve alçıtaşı karışımı ilave edilmiş, 1 dakika karıştırılmıştır. 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 15x15x15 cm'lik sert plastik kalıplara, 2/3'ü dolacak biçimde dökülmüştür (Şekil 3.9.). Harcın uygun ortamda genişmesi için kalıplar fabrikada bekleme mahaline götürülerek 40°C sıcaklıkta 4 saat bekletilmiştir.



a) Numune kaplarına döküm yapılırken odasına taşınırken



b) Numune kapları bekleme odasına taşınırken

Şekil 3.1. Numune kalıpları.

3.4. Kür Koşulları

Gazbeton karışımının kalıplardan çıkarılmadan önce belirli bir sertliğe ulaşana kadar 40°C'de 4-4.5 saat arasında ön kür uygulanmıştır. Yeterli penetrasyon sertliğine ulaşan numuneler kalıptan çıkarılarak otoklav kürü uygulana kadar belirli sıcaklıkta ısıtılarak bekletilmiştir. Dayanım kazanmaları için 8 saat süreyle ve 12 bar doygun buhar basıncında otoklav kür işlemi uygulanmıştır.

3.5. Gazbeton Deneyleri

3.5.1. Taze/sertleşen gazbeton deneyleri

Taze gazbeton karışımlarında kıvamın belirlenmesi için yayılma tablası ve sertleşen gazbeton numunelerinde penetrasyon sertliği deneyleri aşağıda belirtilmiştir.

3.5.1.1. Yayılma tablası (serbest yayılma) deneyi

Deney, TS EN 1015-3'e uygun olarak yapılmıştır. Taze gazbeton karışımı hazırlandıktan hemen sonra yayılma tablası deneyi uygulanmıştır.

Paslanmaz çelikten, taban çapı 100 mm, üst yüz çapı 70 mm ve yükseklik 60 mm olan kesik koni şekilli pirinç kalıba taze gazbeton karışımı döküldükten sonra 300 mm çaplı tablaya boşaltılıp oluşan maksimum çap değeri ölçülmüştür.



a) Vikat kalıbının doldurulması b) Numunedeki yayılma c) Yayılma çapının ölçümü

Şekil 3.2. Yayılma tablası (serbest yayılma) deneyi.

3.5.1.2. Penetrasyon sertliği deneyi

Malzemenin kabarma aşamasından sonra sertleşmesinin kontrol edilmesi amacıyla yapılmaktadır. Malzemeler üzerinde yapılan en genel deney, sertliğinin ölçülmesidir. Bunun başlıca sebebi, deneyin basit oluşu ve diğerlerine oranla numuneyi daha az tahrip etmesidir.

Penetrasyon, standart bir iğnenin belirli yük altında, belirli bir süre içinde, belli sıcaklıktaki bağlayıcıya dikey doğrultuda batma uzunluğudur. Penetrasyon birimi 0,1 mm'dir. Normal prosedür 330 x 0.1 mm'ye kadar olan batma derinlikleri için tanımlanmaktadır, fakat bu değer üzerinde, 500 x 0.1 mm'ye kadar olan batma derinlikleri için, farklı çalışma parametreleri gerekir.

Penetrasyon deneyi, 40°C'de 4 saat bekletilen gazbeton numunelerinde cep tipi penetrometre kullanılarak TS 2987 standardına göre yapılmıştır. Numune yüzeyinde uygulandıktan sonra penetrometrede okunan batma miktarına göre penetrasyon sertlik değeri elde edilmiştir.

A: Numune yüzey alanı, mm²



Şekil 3.4. Basınç deneyi.

3.5.2.2. Kuru birim hacim ağırlık deneyi

15cmx15cmx15cm olarak üretilen numuneler 10cmx10cmx10cm ve 15cmx15cmx5cm olarak 2 parça halinde kesilmiştir. Elde edilen 15x15x5 numunelerden kuru birim hacim ağırlıkları tespit edilmiş olup, 10x10x10cm numunelerden ise basınç dayanım deneyleri yapılmıştır. Malzemenin kuru birim hacim ağırlığı malzemenin 105°C sıcaklıkta sabit ağırlığa gelinceye kadar kurutulması ve bilahare tartılması suretiyle hesaplanmıştır. Örneklerin kuru birim hacim ağırlığı değerleri TS EN 772-13, TSEN 678 standartlarına uygun olarak belirlenmiştir. Etüv sonrası numuneler Şekil 3.5.'de görülmektedir. Kütle (m) tespit edildikten sonra Denklem 3.2 kullanılarak kuru birim hacim ağırlıkları belirlenmiştir.

$$d = m / v$$

(3.2)



Şekil 3.5. Etüvde kurutulan numuneler.

3.5.2.3. Kılcal su emme deneyi

Malzemenin başka bir su emme şekli de kapiler yolla gelişir. Cismin bir yüzeyi ile temas eden su, malzeme bünyesinde yukarı kısımlara doğru çıkar. Bu olay kılcal (mikron mertebesinde) boşluklu cisimlerde gelişir. Kılcal boşluklu cisimlerin bir yüzeyi suya değerse, su zamanla cisim içinde yükselmeye başlar. “r” yarıçapında kılcal bir boru düşey konumda suya batırıldığında su yüzey gerilimi etkisiyle boru içinde yükselmeye başlar.

Kılcal su emme deneyi, TS EN 772-11 standardına göre yapılmıştır. İlk olarak 10x10x10 cm boyutlarındaki numuneler 70±5 °C derecede sabit ağırlığa (m_{dry}) gelinceye kadar kurutulmuştur. Oda sıcaklığında soğumaya bırakılan numunelerin temas yüzey alanları ölçülmüştür. Numune yüzeyleri test boyunca 5±1 mm derinlikte suya batırılmıştır. Su seviyesinin test boyunca sabit kalmasına dikkat edilmiş ve tankın üzeri buharlaşmayı önlemek için örtülmüştür. Numuneler 10dk, 30dk, 90dk sürelerde suda bırakıldıktan sonra numunenin yüzeyindeki su kurulanıp ağırlık ölçümü yapılmıştır. Elde edilen veriler kullanılarak numunelerin kılcal su emme katsayıları hızları Denklem 3.3’e göre tayin edilmiştir.

- $m_{dry,s}$ Deney numunesinin kurutma sonrasındaki kütlesi (g),
- $m_{so,s}$ Deney numunesinin (t) süreyle suya temas ettirildikten sonraki kütlesi (g),
- A_s Deney numunenin suya temas ettirilen yüzeyinin brüt alanı (mm^2),
- t_{so} Deney numunesinin suya temas ettirilme süresi (s),
- $C_{w,s}$ Kâgir birimlerin kılcal su emme katsayısı ($g/(m^2 \times s^{0.5})$),

$$C_{w,s} = \frac{m_{so,s} - m_{dry,s}}{A_s \sqrt{t_{so}}} \times 10^6 \quad [g/(m^2 \times s^{0,5})] \quad (3.3)$$

3.5.2.4. Isı iletkenlik deneyi

Isıl iletkenlik hesap değeri bir malzemenin ısıyı ne kadar ilettiğini gösteren değerdir. Bu değer her malzeme için değişkendir. Bu değerler T825 ‘Binalarda ısı yalıtım kuralları standardında tanımlanmıştır. Bir malzemenin ısı iletkenlik değeri ne kadar küçükse, ısıyı o kadar az iletir.

Gazbeton numunelerinde ısı iletkenlik deneyleri İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Yapı Malzemesi Laboratuvarı’nda yapılmıştır. Gazbeton numunelerinin ısı iletkenlik katsayıları TS EN 1745 standardına uygun olarak belirlenmiştir. Öncelikle hazırlanan gazbeton bloktan 15x15x2.5 cm boyutlarında kesilen plakalar 70 C°’de sabit tartıma getirilmiştir ve ardından ağırlıkları tartılmıştır. Hazırlanan gazbeton bloktan kesilen 15x15x2.5 cm ölçülerindeki plakalar 70 C°’de sabit tartıma getirildikten sonra ısı akış yönteminden yararlanılarak gelişmiş bir ısı iletkenliği ölçüm cihazı (Şekil 3.6) kullanılarak ısı iletkenlik ölçümleri yapılmıştır. Numunelerin ısı iletkenlik katsayıları Denklem (3.4) kullanılarak hesaplanmıştır:

$$k = F \frac{Q \ln(t_2 / t_1)}{T_2 - T_1} - H \quad (3.4)$$

F ve H: ölçme cihazına ait sabitleri,

Q: ısıtıcı tele verilen ısı akışını,

t₁, t₂: ölçüm zamanlarını (saniye),

T₁: t₁ zamanındaki sıcaklığı

T₂: t₂ zamanındaki sıcaklığı göstermektedir.



Şekil 3.6. Isıl iletkenlik ölçüm cihazı.

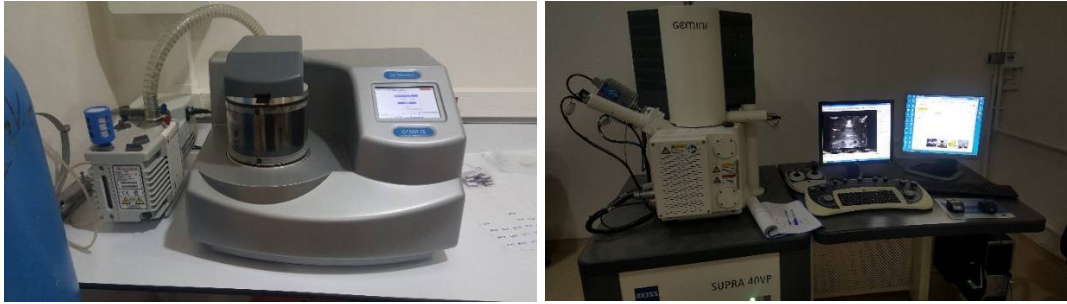
3.5.3 Mikro analiz/yapı deneyleri

Mineral katkılı gazbeton numunelerinde SEM (Scanning electron microscopy) ve EDS (energy dispersive spectrometry) analizleri yapılarak oluşan kimyasal ürünler hakkında bilgiler elde edilmiştir.

3.5.3.1 SEM deneyi

Taramalı elektron mikroskobu, numune yüzeyini nano ölçeğe kadar analiz etmek için bir elektron ışını probunu kullanan iyi bilinen tahribatsız bir tekniktir. Taramalı elektron mikroskopları, yüksek çözünürlükte yüksek büyütme görüntüleri üretmektedir; bu özellik, çeşitli bilim ve endüstri alanlarında çok çeşitli uygulamalar için uygun araçlardır. Çok küçük bir alana odaklanan yüksek enerjili elektronlarla yüzeyin taranması prensibiyle çalışır. Elektron tabancası olarak nitelendirilen çeşitli şekillerde üretilmiş olan metal parçalardan termiyonik sürüm ve alan emisyonu olarak adlandırılan iki farklı yolla elektron elde edilebilir.

SEM analizleri, %25 perlit, riyolit ve uçucu kül katkılı gazbeton numunelerinde Bilecik Üniversitesi'ne ait Merkezi Araştırma Laboratuvarı'nda yapılmıştır. Karbon kaplama cihazında Au-Pd ile kaplanan numunelerin sonrasında elektron mikroskobu ile görüntüleri alınmıştır.



a) Element analizi için karbon kaplama cihazı b) Elektron Mikroskobu

Şekil 3.7. Sem deneyin kullanılan cihazlar.

3.5.3.2 EDS analizi

Kristalize olmuş C-S-H, gazbetonun ana minerolojik 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 iğnemi tobermorit yapıya dönüşmeye başlar. Bu da kalsiyumca zengin C-S-H'nın 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'nın 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).

EDS analizleri %25 perlit, riyolit ve uçucu kül katkılı gazbeton numunelerinde Osmangazi Üniversitesi Aram Araştırma Laboratuvarı'nda yapılmıştır. Gazbeton numunelerinde tobermorit oluşumunun kontrolü için kalsiyum ve silisyum oranları belirlenmiştir.

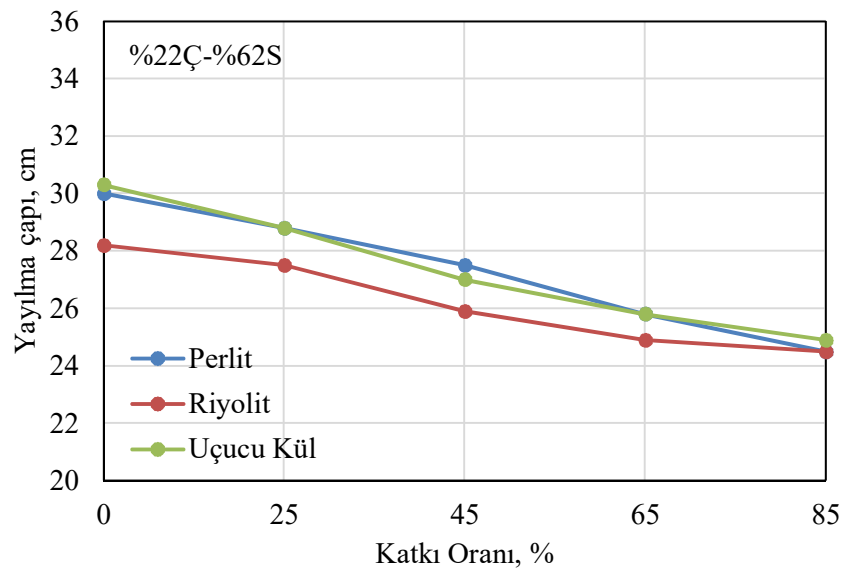
4. DENEY SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRME

Farklı oranlarda çimento ve kuvars kumu ile yer değiştirilerek üretilen perlit, riyolit ve uçucu kül katkılı taze/sertleşen ve sertleşmiş gazbeton numunelerde yapılan her bir deneyle ilgili sonuçlar ve değerlendirmeler aşağıda verilmiştir.

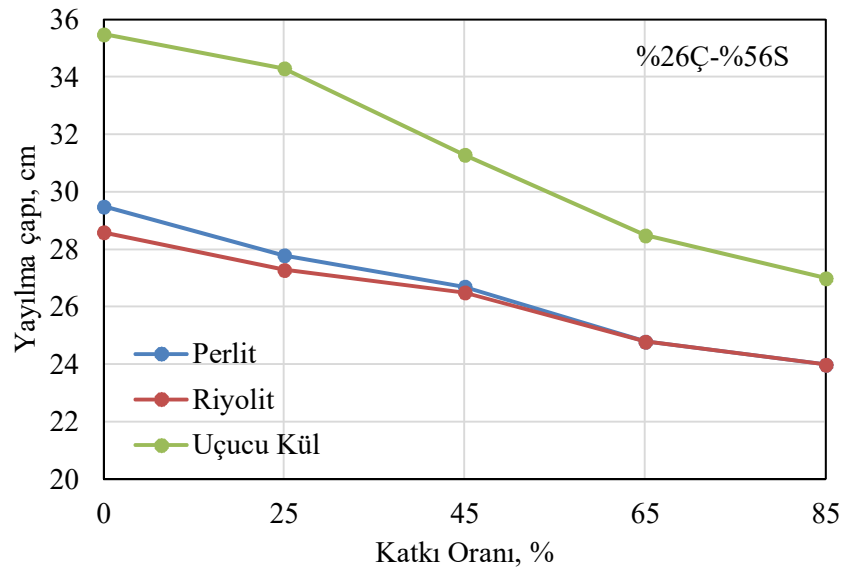
4.1. Taze/Sertleşen Gazbeton Deneylerinin Sonuçları

4.1.1. Yayılma tablası (serbest yayılma) Deney Sonuçları

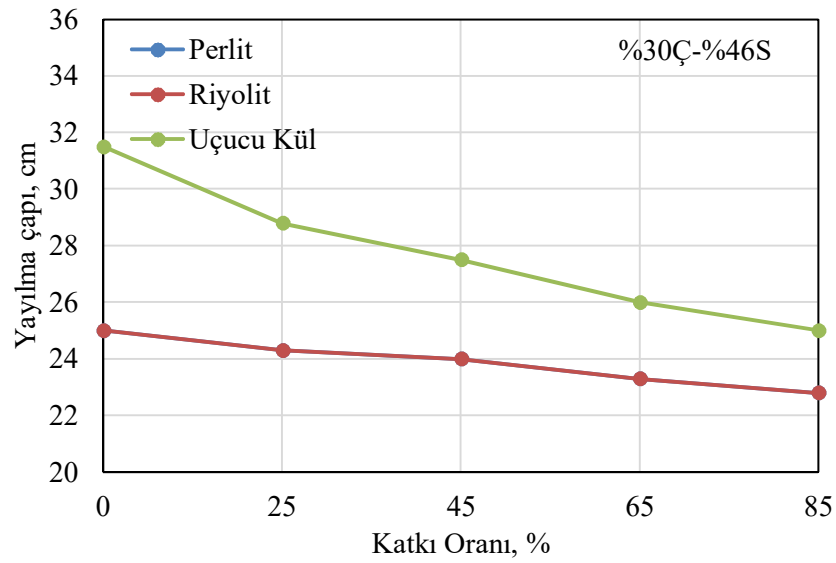
Perlit, riyolit ve uçucu kül katkı oranlarının taze gazbeton karışımlarının yayılma çapı değerine etkisi 1. Grup karışım oranları için Şekil 4.1, Şekil 4.2, Şekil 4.3’de ve 2.grup karışım oranları için Şekil 4.4, Şekil 4.5’de verilmiştir.



Şekil 4.1. Mineral katkı oranının yayılma çapı değerlerine etkisi (%22ç-%62sk).

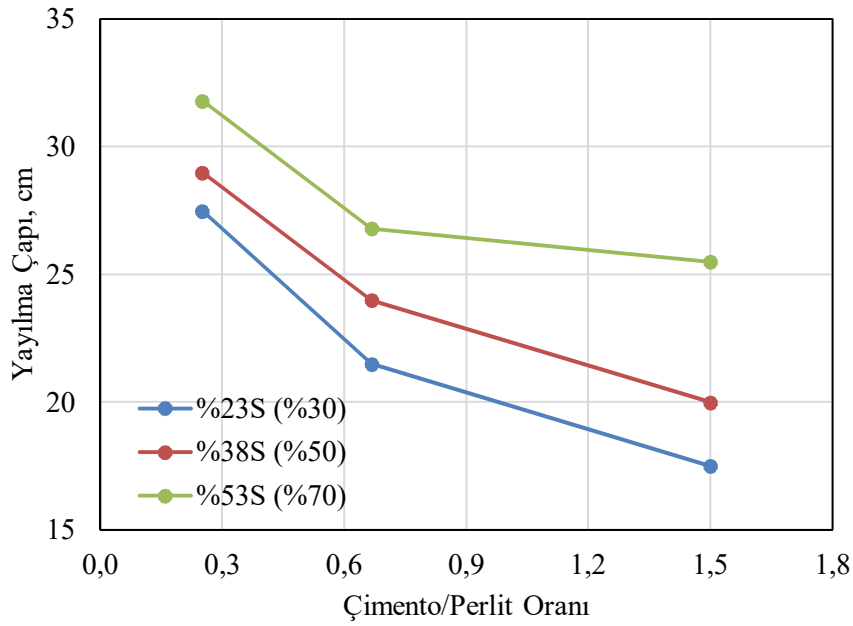


Şekil 4.2. Katkı oranının yayılma çapı değerlerine etkisi (%26Ç-%56sk).

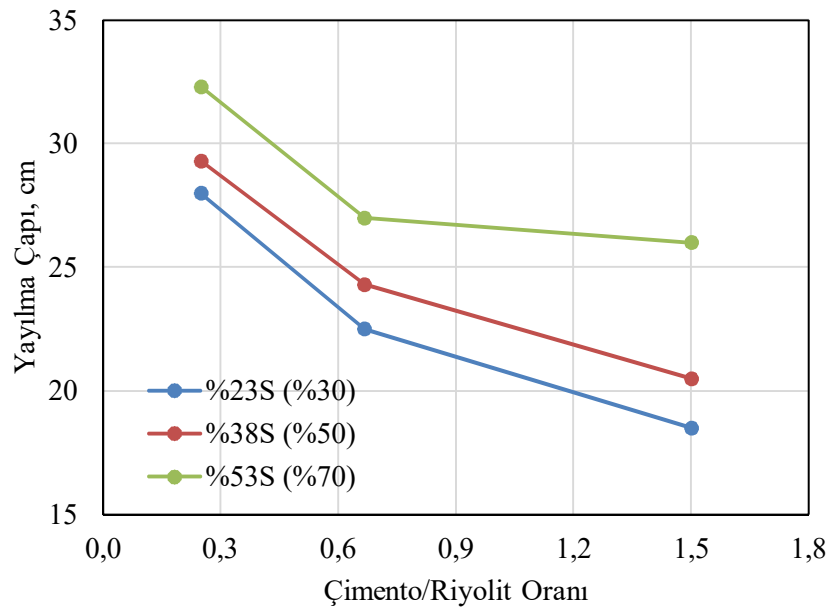


Şekil 4.3. Katkı oranının yayılma çapı değerlerine etkisi (%30Ç-%46sk).

İlk gruptaki 3 farklı oranda çimento ve silis kumu içeren karışımlarda perlit, riyolit ve uçucu kül oranı artıkça yayılma değerlerinin azaldığı görülmüştür. Ayrıca aynı mineral katkı oranındaki gazbeton karışımlarında çimento oranı artıkça yayılma çapı değerlerinin azaldığı belirlenmiştir. Karışımdaki ince malzeme oranının artması yayılma çapı değerlerinin azalmasına neden olmuştur.



Şekil 4.4. Farklı silis kumu içeren karışımlarda çimento/perlit oranının yayılma çapı değerlerine etkisi.



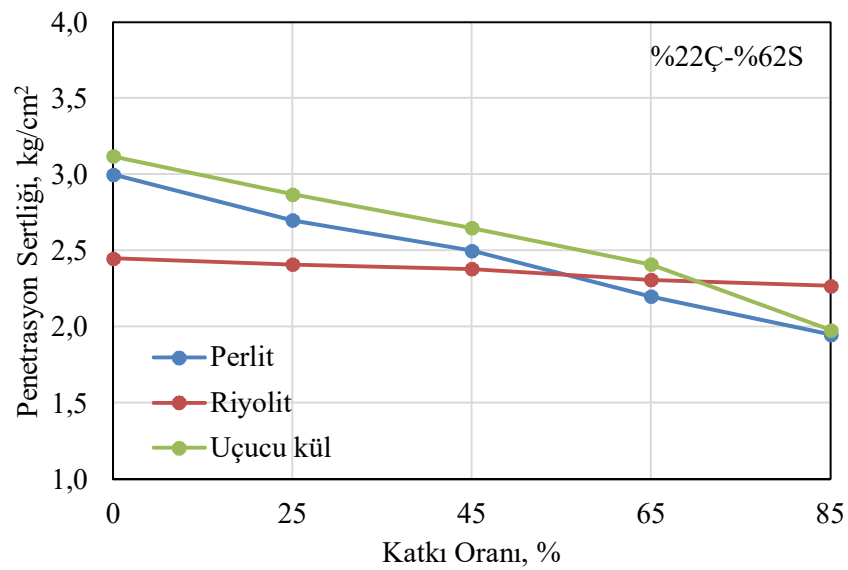
Şekil 4.5. Farklı silis kumu içeren karışımlarda çimento/riyolit oranının yayılma çapı değerlerine etkisi.

İkinci gruptaki farklı oranda çimento ve silis kumu içeren karışımlarda perlit ve riyolit oranı artıkça yayılma değerlerinin azaldığı görülmüştür. Karışımlarda kullanılan perlit ve riyolitin inceliğinin çimentodan daha büyük olması yayılma çapı değerlerinde azalmaya neden olmuştur Ayrıca her iki mineral katkılı gazbeton karışımlarında, silis

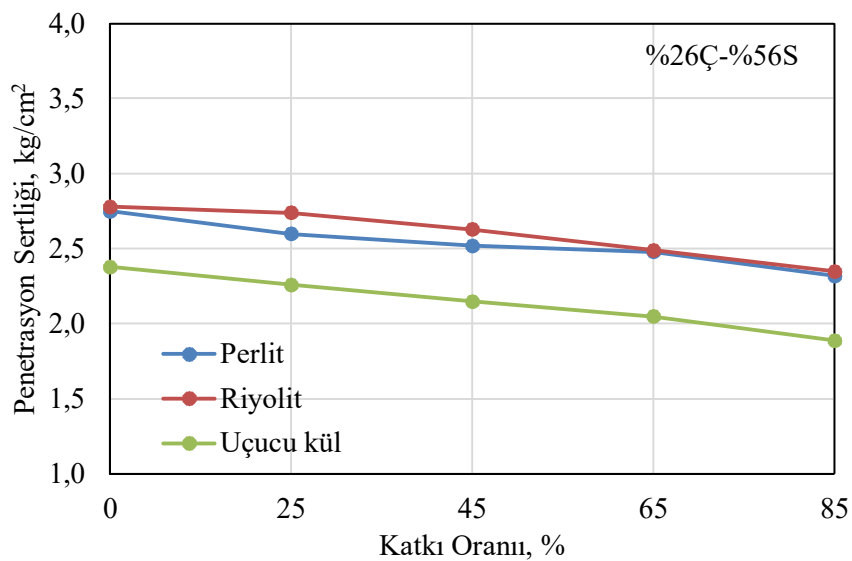
kumu oranı artıkça yayılma çapı değerlerinin arttığı belirlenmiştir. Mineral katkı ve silis kumu oranının değişimi karışımlardaki ince malzeme oranını etkileyerek yayılma çapı değerlerinde artma veya azalmaya neden olmuştur.

4.1.2. Penetrasyon sertliği deney sonuçları

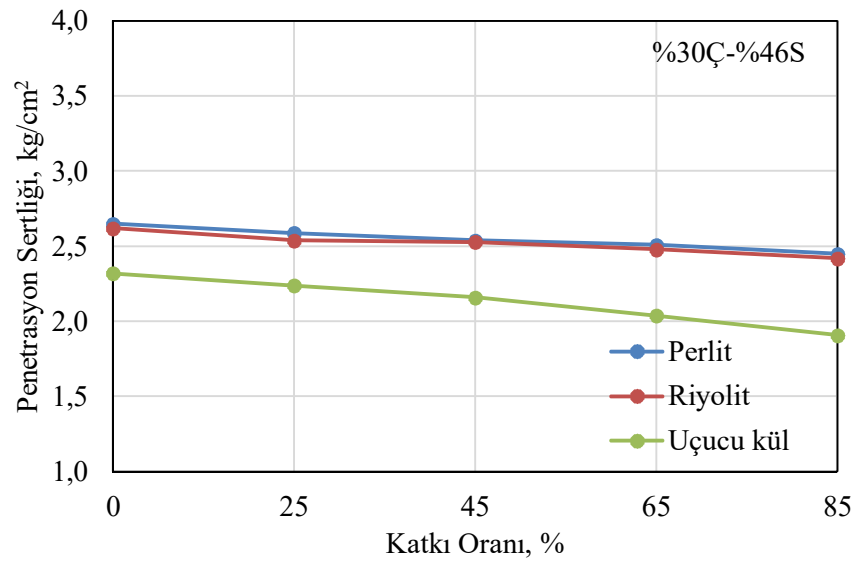
Perlit, riyolit ve uçucu kül katkı oranlarının sertleşen gazbeton numunelerinin penetrasyon sertliğine etkisi 1. Grup karışımları için Şekil 4.6, Şekil 4.7, Şekil 4.8'de ve 2.grup karışımları için Şekil 4.9 ve Şekil 4.10'da verilmiştir.



Şekil 4.6. Mineral katkı oranının penetrasyon sertliğine etkisi (%22Ç-%62sk).

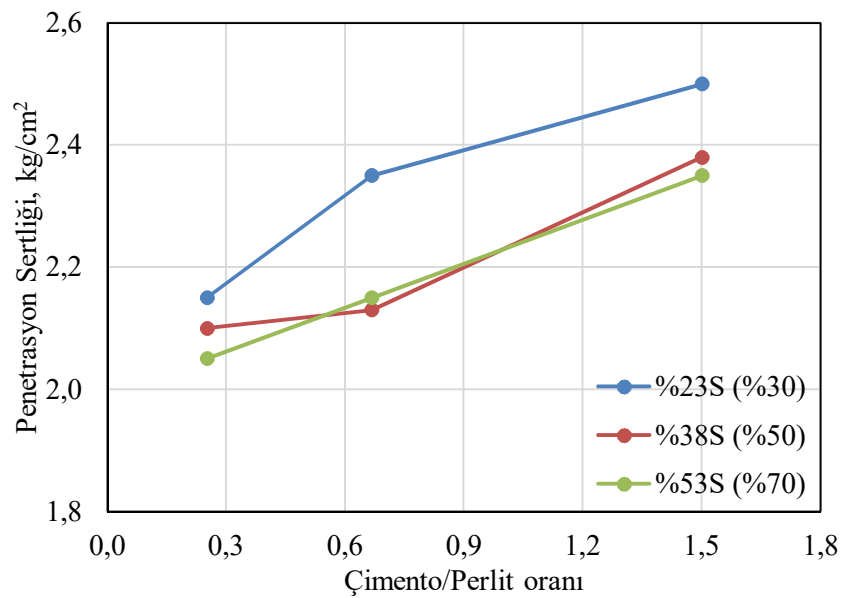


Şekil 4.7. Mineral katkı oranının penetrasyon sertliğine etkisi (%26Ç-%56sk).

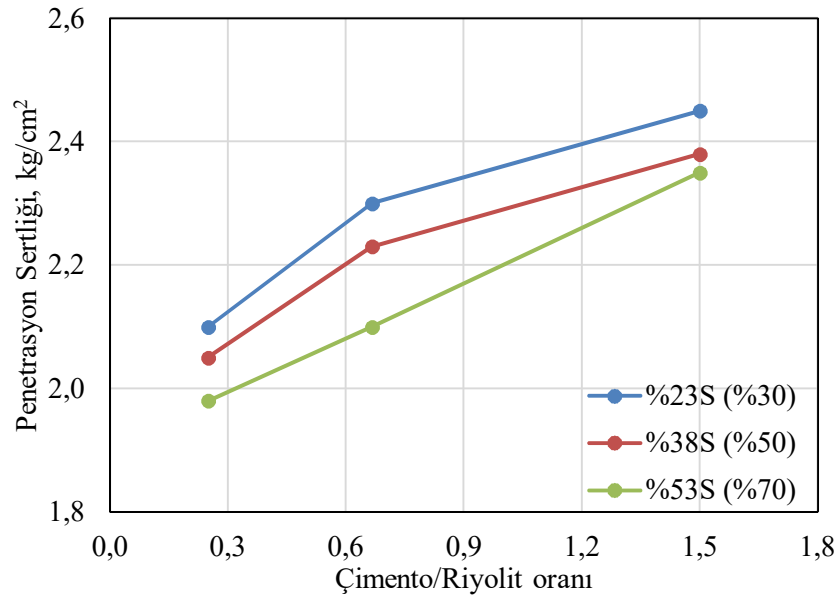


Şekil 4.8. Mineral katkı oranının penetrasyon sertliğine etkisi (%30ç-%46sk).

İlk gruptaki 3 farklı oranda çimento ve silis kumu içeren karışımlarda perlit, riyolit ve uçucu kül oranı arttıkça penetrasyon sertliği değerlerinin azaldığı görülmüştür. Mineral katkı oranının artması ile karışımdaki çimento oranının azalması penetrasyon sertliğinde azalmaya neden olmuştur.



Şekil 4.9. Farklı silis kumu içeren karışımlarda çimento/perlit oranının penetrasyon sertliğine etkisi.



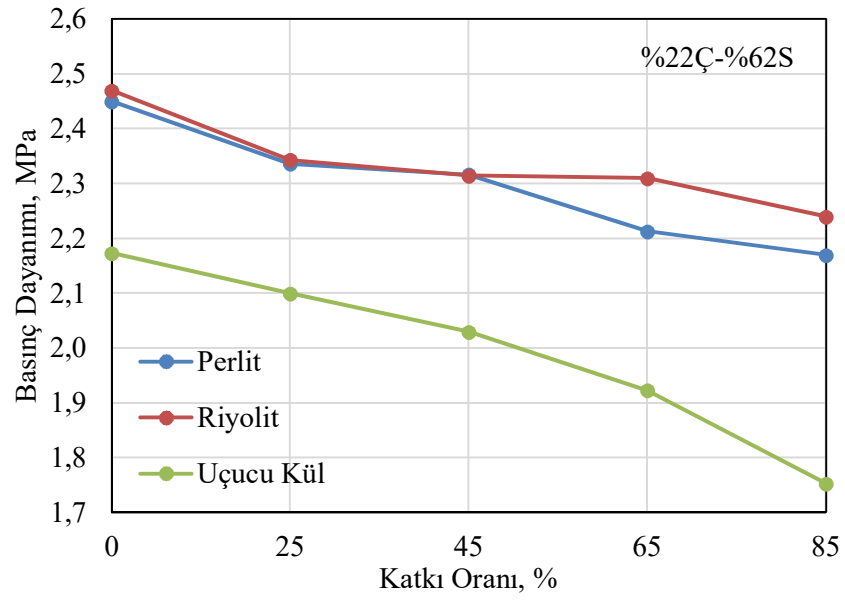
Şekil 4.10. Farklı silis kumu içeren karışımlarda çimento/riyolit oranının penetrasyon sertliğine etkisi.

İkinci gruptaki farklı oranda çimento ve silis kumu içeren karışımlarda perlit ve riyolit oranı artıkça (çimento/katkı oranı azaldıkça) penetrasyon sertliği değerlerinin azaldığı görülmüştür. Çimento oranının azalması dayanımda azalmaya neden olduğu için daha düşük penetrasyon sertliği değerleri elde edilmiştir. Ayrıca her iki mineral katkı gazbeton karışımlarında, silis kumu oranı azalırken çimento miktarı arttığı için penetrasyon sertliğinde artışlar meydana gelmiştir. En düşük penetrasyon sertliği değerleri uçucu kül katkı ve düşük çimento oranına sahip gazbeton numunelerde elde edilmiştir.

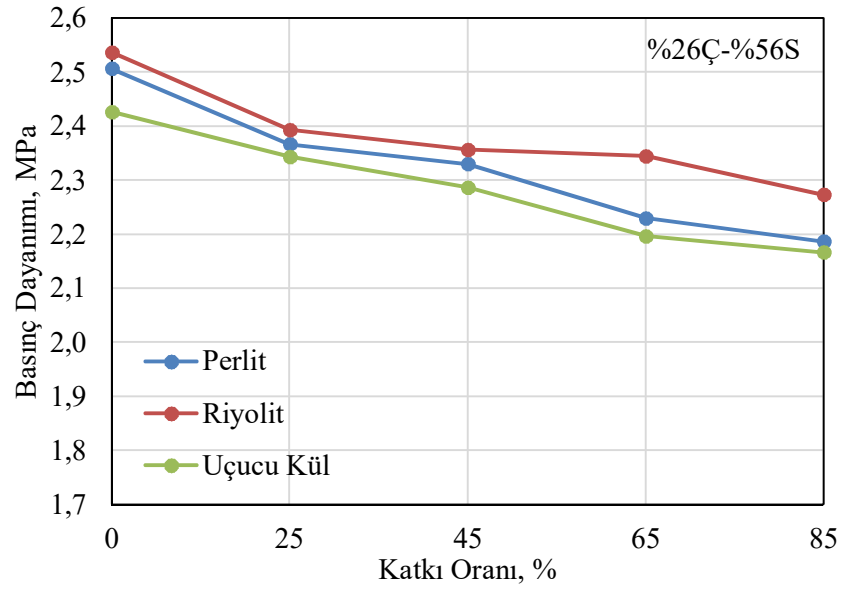
4.2. Sertleşmiş Gazbeton Deneysel Sonuçları

4.2.1. Basınç deneyi sonuçları

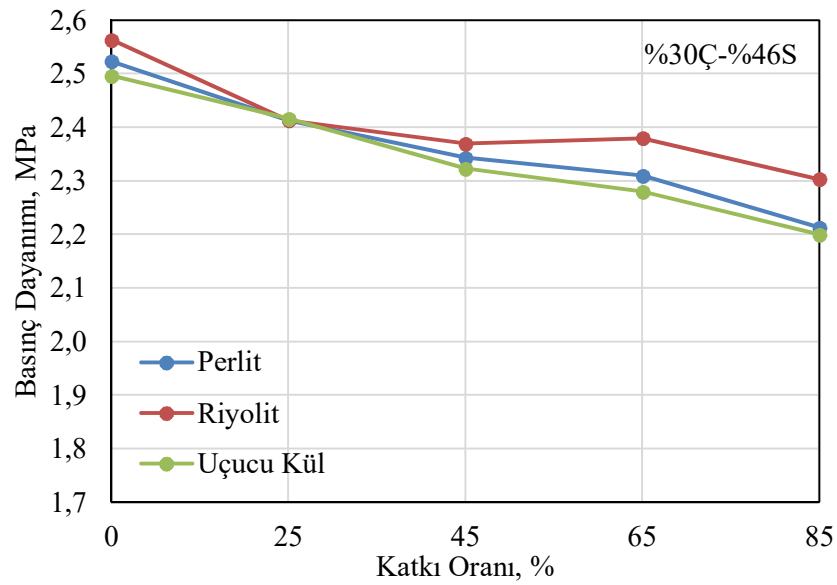
Perlit, riyolit ve uçucu kül katkı oranlarının sertleşmiş gazbeton numunelerinin basınç dayanımına etkisi 1. Grup karışımları için Şekil 4.11, Şekil 4.12, Şekil 4.13'de ve 2.grup karışımları için Şekil 4.14 ve Şekil 4.15'de verilmiştir.



Şekil 4.11. Mineral katkı oranının basınç dayanımına etkisi (%22ç-%62sk)

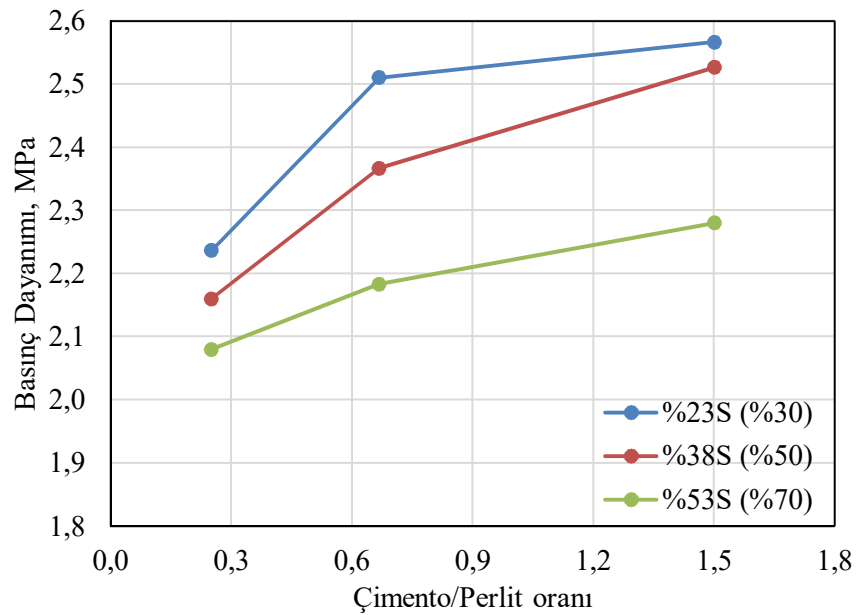


Şekil 4.12. Mineral katkı oranının basınç dayanımına etkisi (%26ç-%56sk).

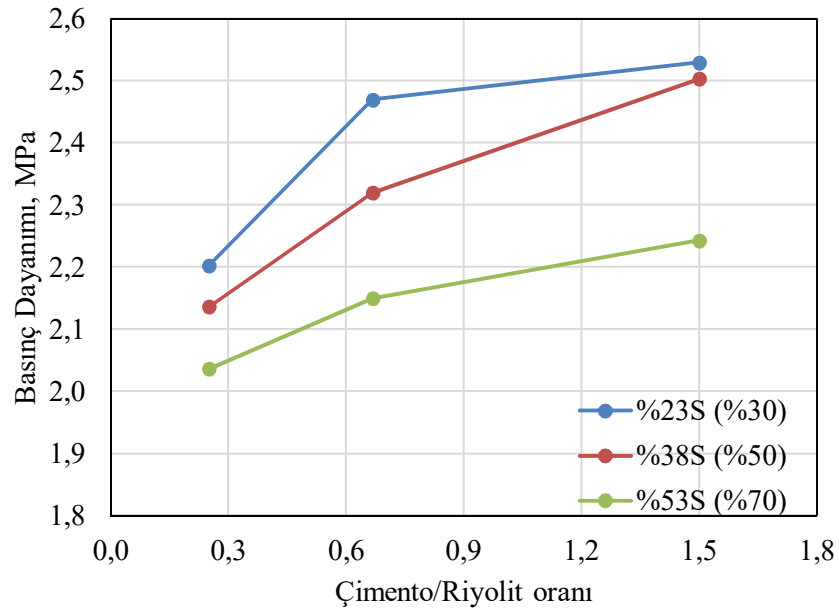


Şekil 4.13. Mineral katkı oranının basınç dayanımına etkisi (%30ç-%46sk).

İlk gruptaki 3 farklı oranda çimento ve silis kumu içeren karışımlarda perlit, riyolit ve uçucu kül oranı arttıkça basınç dayanımının azaldığı görülmüştür. Mineral katkı oranının artması ile karışımdaki çimento oranının azalması basınç dayanımında azalmaya neden olmuştur. Her 3 farklı karışımda da en düşük basınç dayanımı uçucu kül katkılı gazbeton numunelerde elde edilmiştir.



Şekil 4.14. Farklı silis kumu içeren karışımlarda çimento/perlit oranının basınç dayanımına etkisi.

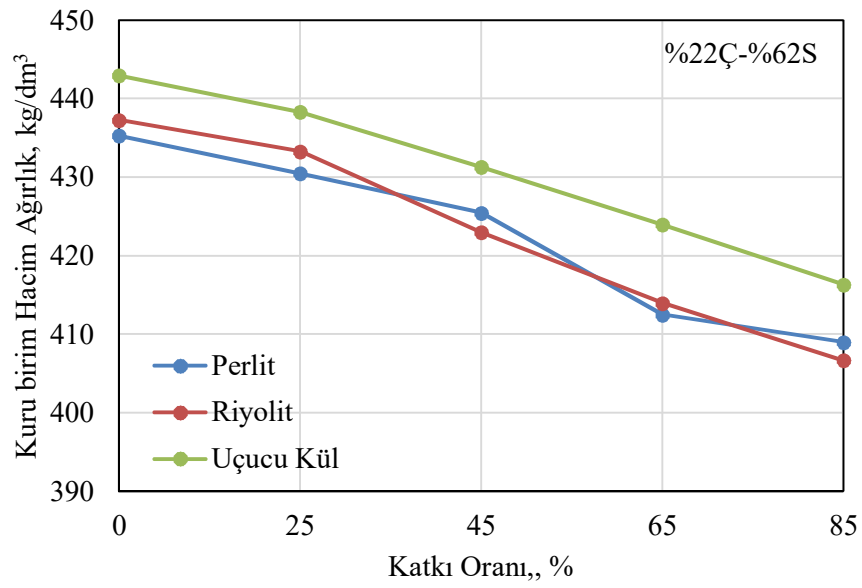


Şekil 4.15. Farklı silis kumu içeren karışımlarda çimento/riyolit oranının basınç dayanımına etkisi .

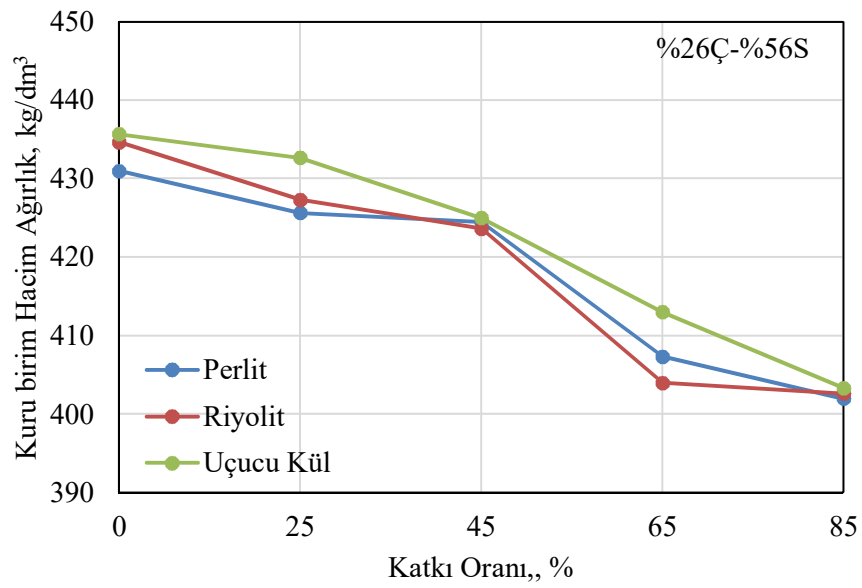
İkinci gruptaki farklı oranda çimento ve silis kumu içeren karışımlarda perlit ve riyolit oranı artıkça (çimento/katkı oranı azaldıkça) basınç dayanımının azaldığı görülmüştür. Çimento oranının azalmasına bağlı olarak daha az oranda dayanım kazandıran yapıların oluşması basınç dayanımı değerlerinde azalmaya neden olmuştur. Ayrıca her iki mineral katkılı gazbeton karışımlarında, silis kumu oranı azalırken çimento miktarı arttığı için basınç dayanımında artışlar meydana gelmiştir.

4.2.2. Kuru birim hacim ağırlık (K.B.H.A.) deney sonuçları

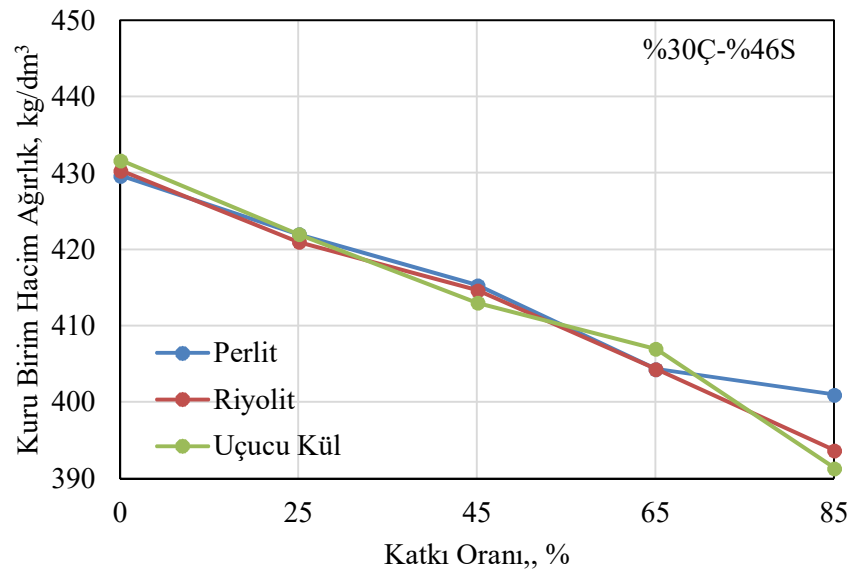
Perlit, riyolit ve uçucu kül katkı oranlarının sertleşmiş gazbeton numunelerinin kuru birim hacim ağırlık değerlerine etkisi 1. Grup karışımları için Şekil 4.16, Şekil 4.17, Şekil 4.18'de ve 2.grup karışımları için Şekil 4.19 ve Şekil 4.20'de verilmiştir.



Şekil 4.16. Mineral katkı oranının kuru birim hacim ağırlığı etkisi (%22ç-%62sk).

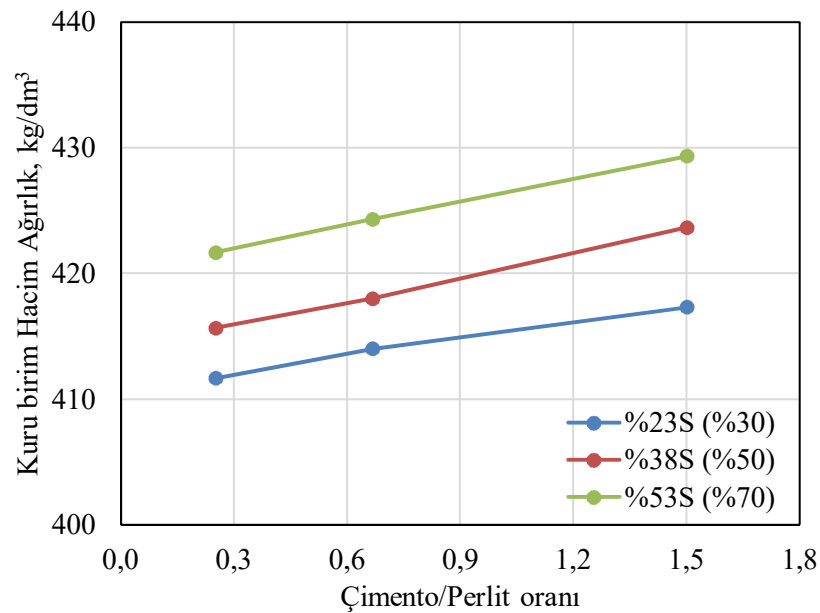


Şekil 4.17. Mineral katkı oranının kuru birim hacim ağırlığı etkisi (%26ç-%56sk).

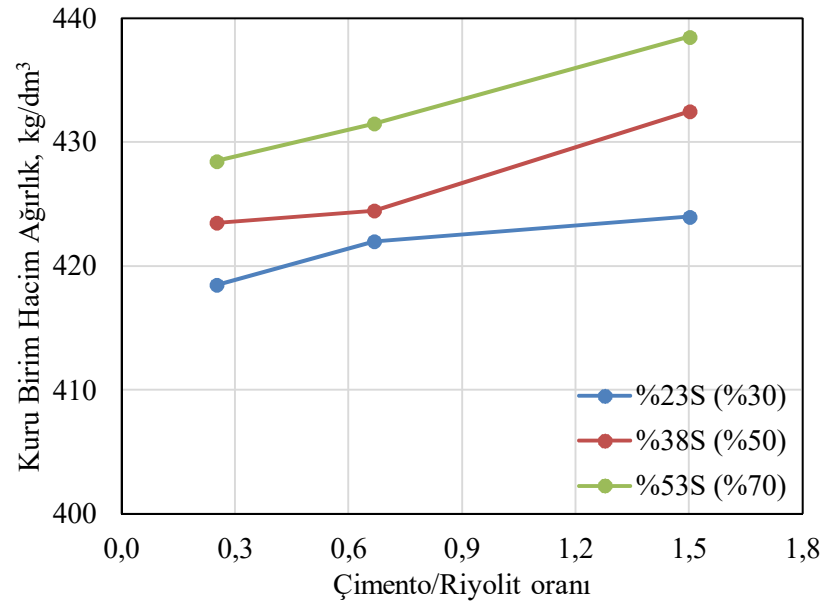


Şekil 4.18. Mineral katkı oranının kuru birim hacim ağırlığı etkisi (%30ç-%46sk).

İlk gruptaki 3 farklı oranda çimento ve silis kumu içeren karışımlarda perlit, riyolit ve uçucu kül oranı arttıkça kuru birim hacim ağırlığının azaldığı görülmüştür. Perlit ve riyolit katkılı gazbeton numunelerde daha düşük kuru birim hacim ağırlık değerleri elde edilmiştir. Perlit, riyolit ve uçucu kül katkılı gazbeton numunelerinde kuru birim hacim ağırlık değerleri sırasıyla 401-430 kg/dm³, 393-421 kg/dm³ ve 391-438 kg/dm³ arasında değişmiştir. Mineral katkılı karışımlarda kuru birim hacim ağırlık ile basınç dayanımı doğru orantılı olarak değişmiştir.



Şekil 4.19. Farklı silis kumu içeren karışımlarda çimento/perlit oranının kuru birim hacim ağırlığı etkisi.

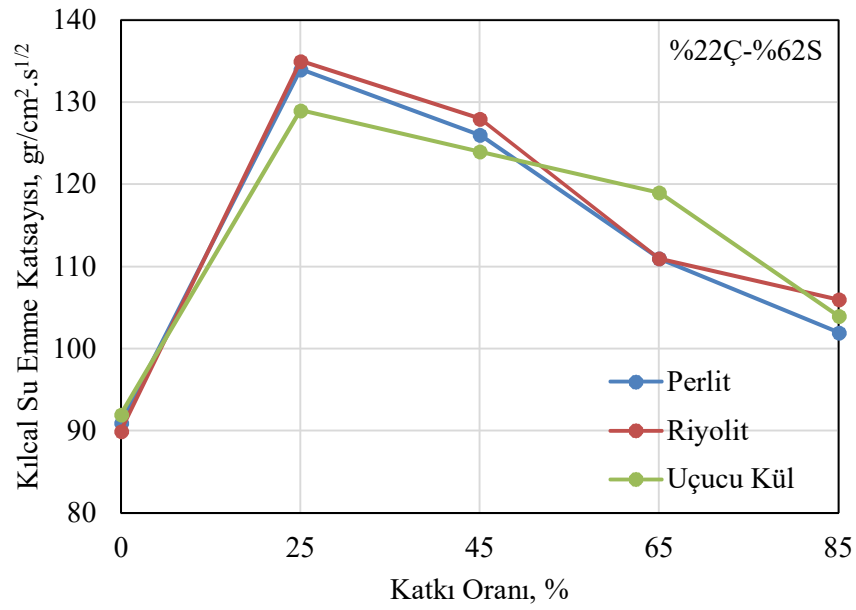


Şekil 4.20. Farklı silis kumu içeren karışımlarda çimento/riyolit oranının kuru birim hacim ağırlığa etkisi.

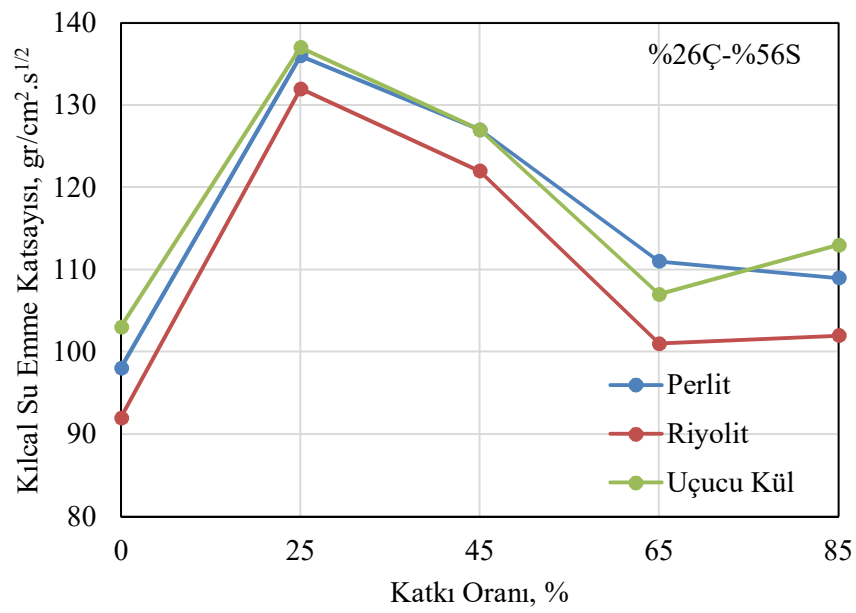
İkinci gruptaki farklı oranda çimento ve silis kumu içeren karışımlarda perlit ve riyolit oranı azaldıkça (çimento/katkı oranı artıkça) kuru birim hacim ağırlık değerlerinin arttığı görülmüştür. Ayrıca her iki mineral katkılı gazbeton karışımlarında, silis kumu oranı artıkça kuru birim hacim ağırlığının arttığı belirlenmiştir.

4.2.3. Kılcal su emme deney sonuçları

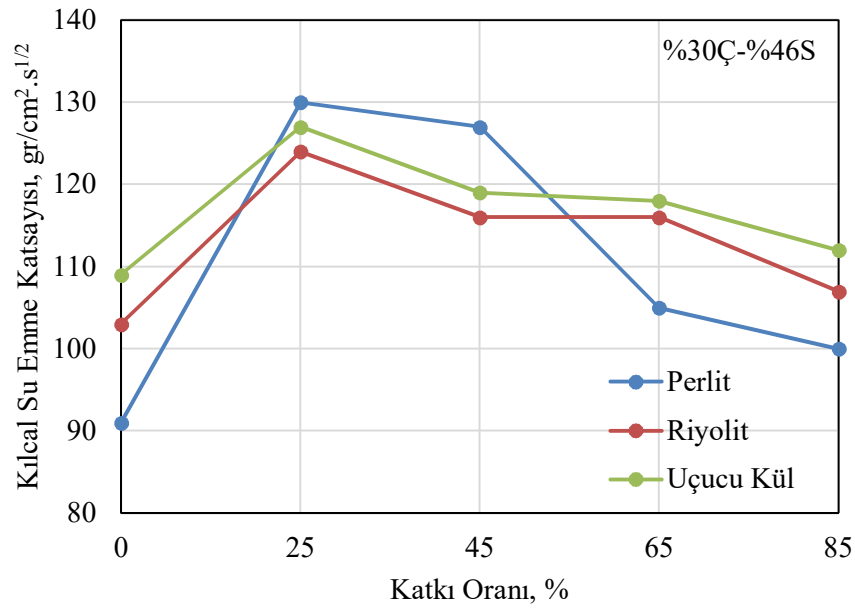
Perlit, riyolit ve uçucu kül katkı oranlarının sertleşmiş gazbeton numunelerinin kılcal su emme katsayısına etkisi 1. Grup karışımları için Şekil 4.21, Şekil 4.22, Şekil 4.23'de ve 2.grup karışımları için Şekil 4.24 ve Şekil 4.25'de verilmiştir.



Şekil 4.21. Mineral katkı oranının kılcal su emme katsayısına etkisi (%22ç-%62sk).

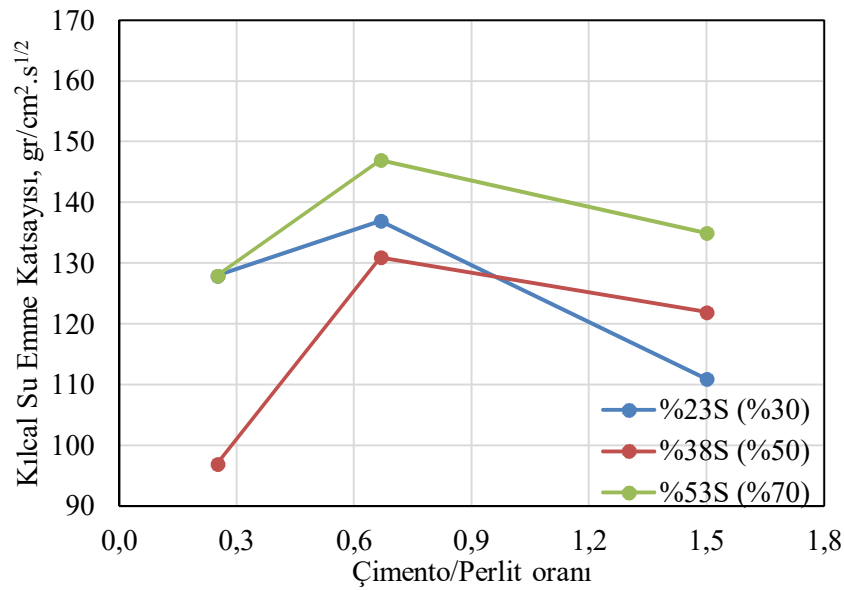


Şekil 4.22. Mineral katkı oranının kılcal su emme katsayısına etkisi (%26ç-%56sk).

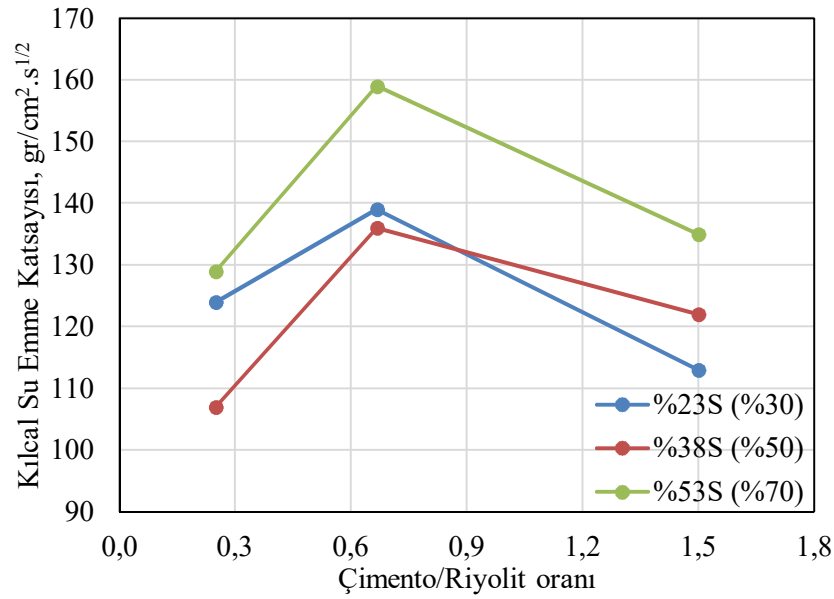


Şekil 4.23. Mineral katkı oranının kılcal su emme katsayısına etkisi (%30Ç-%46sk).

İlk gruptaki 3 farklı oranda çimento ve silis kumu içeren karışımlarda perlit, riyolit ve uçucu kül katkıli numunelerin referans numunelere göre kılcal su emme hızının arttığı görülmüştür. Mineral katkıların gazbeton karışımındaki boşluk boyutunu azaltması kılcal su emme hızının artmasına neden olmuştur. Tüm mineral katkıli karışımlarda kılcal su emme hızının %25 katkı oranından sonra azaldığı belirlenmiştir. Bu azalmanın, karışımdaki mineral katkı oranının fazla olması ile artan boşluk miktarına bağlı olduğu düşünülmektedir.



Şekil 4.24. Farklı silis kumu içeren karışımlarda çimento/perlit oranının kılcal su emme katsayısına etkisi.



Şekil 4.25. Farklı silis kumu içeren karışımlarda çimento/riyolit oranının kılcal su emme katsayısı etkisi.

İkinci gruptaki farklı oranda çimento ve silis kumu içeren karışımlarda perlit ve riyolit oranı azaldıkça (çimento/katkı oranı artıkça) kılcal su emme hızının referans karışıma göre arttığı görülmüştür. Ayrıca her iki mineral katkılı gazbeton karışımlarında, silis kumu oranı artarken çimento oranı azaldığı için kılcal su emme hızlarının arttığı belirlenmiştir.

4.2.4. Isı iletkenlik deney sonuçları

Perlit, riyolit ve uçucu kül katkı oranlarının sertleşmiş gazbeton numunelerinin ısı iletkenlik katsayısına etkisi 1. Grup karışımları için Çizelge 4.1’de ve 2.grup karışımları için Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Mineral katkı oranının ısı iletkenlik katsayısına etkisi (1.grup).

Karışım No	Katkı Türü	Katkı Oranı, %	Isı İletkenlik Katsayısı, Λ (W/Mk)
P25	Perlit	25	0.1216
P45		45	0.1238
P65		65	0.1251
P85		85	0.1253
R25	Riyolit	25	0.122
R45		45	0.1243
R65		65	0.1262
R85		85	0.1262
UÇ25	Uçucu Kül	25	0.1234
UÇ45		45	0.1256
UÇ65		65	0.1278
UÇ85		85	0.1272

İlk gruptaki sadece %22 çimento ve %62 silis kumu içeren karışımda perlit, riyolit ve uçucu kül katkı oranı arttıkça ısı iletkenlik katsayısının arttığı gözlenmiştir. Mineral katkıların gazbeton karışımındaki boşluk oranını azaltması ısı iletkenlik katsayı değerlerinin artmasına neden olmuştur. En yüksek ve en düşük ısı iletkenlik katsayı değerleri sırasıyla uçucu kül ve perlit katkılı gazbeton numunelerde elde edilmiştir.

İkinci gruptaki farklı oranda çimento ve silis kumu içeren karışımlarda perlit ve riyolit oranı azalırken çimento oranı da azaldığı için ısı iletkenlik katsayısı değerlerinde artış gözlenmiştir. Aynı mineral katkı ve karışım oranlarında, perlit katkılı gazbeton numunelerinin ısı iletkenlik katsayısının daha düşük olduğu belirlenmiştir.

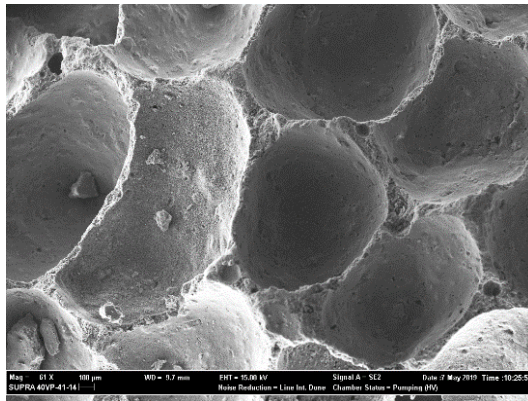
Çizelge 4.2. Mineral katkı oranının ısı iletkenlik katsayısına etkisi (2.grup).

Karışım No	Katkı Türü	Katkı Miktarı %	Çimento		Kuvars Kumu		Isı İletkenlik Katsayısı, Λ (W/Mk)
			Oran	Miktar %	Oran	Miktar %	
43P40/30	Perlit	43	40	21	30	23	0.1214
40P40/50		30		15	50	38	0.1232
18P40/70		18		9	70	53	0.1258
32R40/30	Riyolit	32	40	21	30	23	0.1242
23R40/50		23		15	50	38	0.1253
14R40/70		14		9	70	53	0.1262

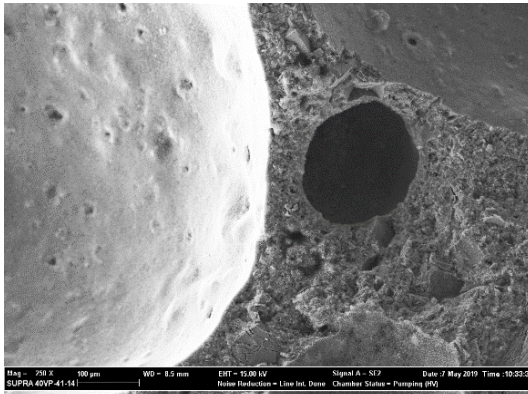
4.3. Mikro Analiz/Yapı Deney Sonuçları

4.3.1. Tarama elektron mikroskobu (SEM) deney sonuçları

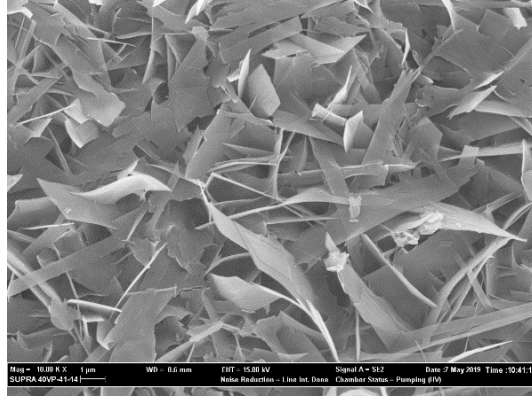
Uçucu kül, perlit ve riyolit katkıli gazbeton numunelerinin SEM görüntüleri Şekil 4.26, Şekil 4.27’de, Şekil 4.28, Şekil 4.29, Şekil 4.30 ve Şekil 4.31’de verilmiştir. SEM sonuçlarına göre perlit ve riyolit katkıli gazbetonlarda tobermorit kristal yapısının oluştuğu görülmüştür.



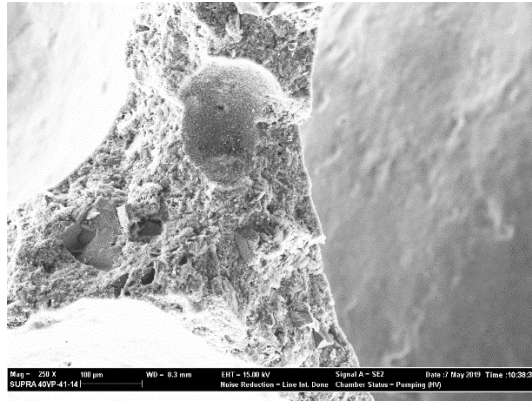
Şekil 4.26. %25 uçucu kül katkıli numunenin sem görüntüsü (60x).



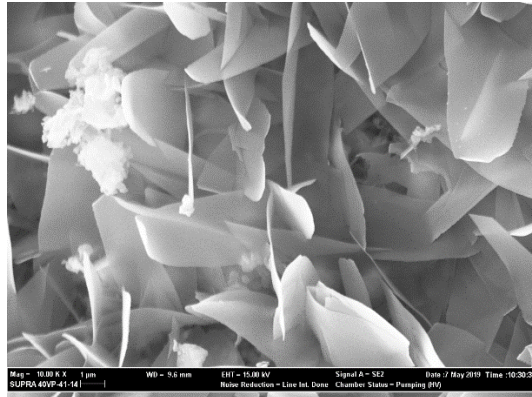
Şekil 4.27. %25 uçucu kül katkıli numunenin sem görüntüsü (250 x).



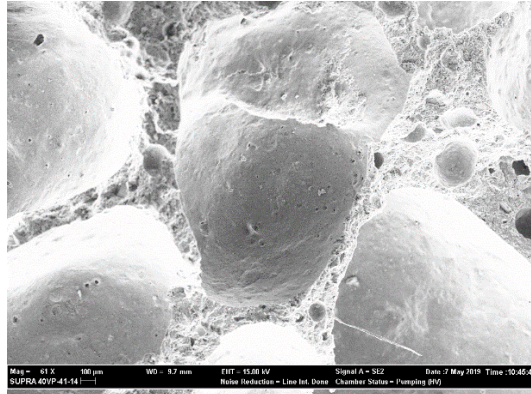
Şekil 4.28. %25 perlit katkıli numunenin sem görüntüsü (10k x).



Şekil 4.29. %25 perlit katkıli numunenin sem görüntüsü (250 x).



Şekil 4.30. %25 riyolit katkıli numunenin sem görüntüsü (10k x).

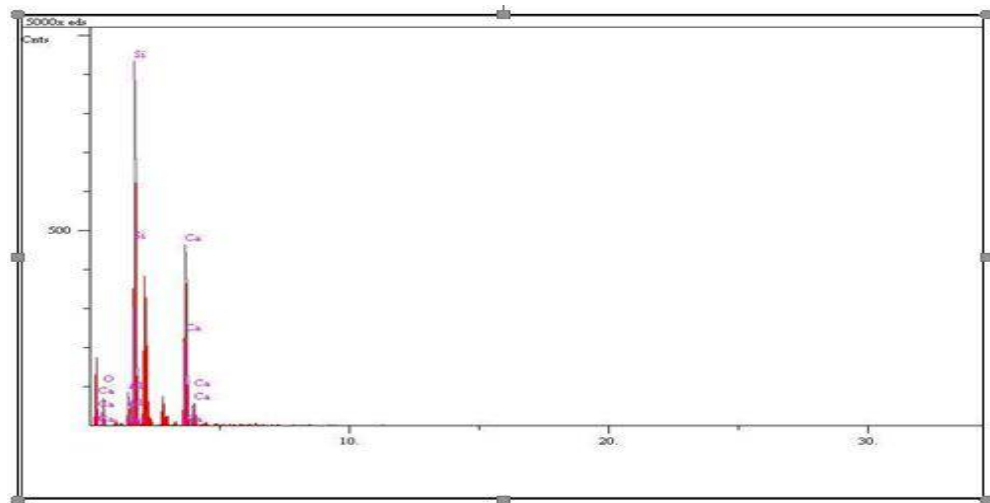


Şekil 4.31. %25 riyolit katkılı numunenin sem görüntüsü (60 x).

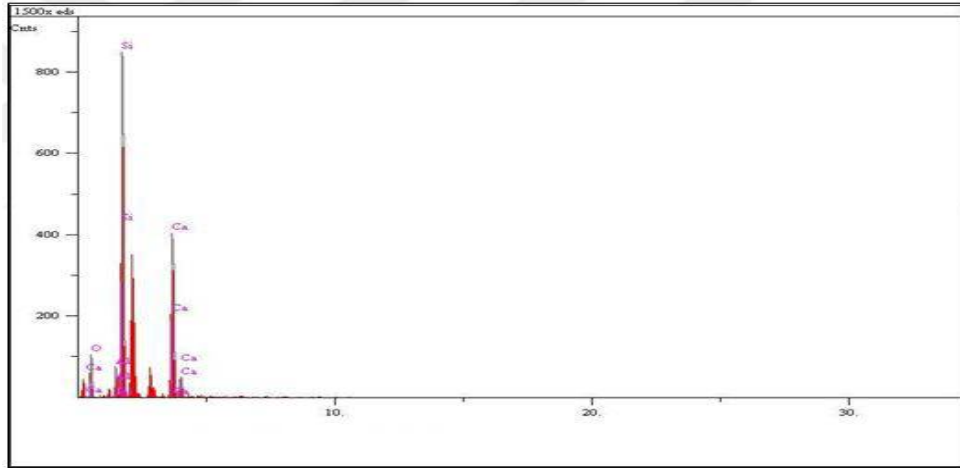
4.3.2. EDS deneyi sonuçları

Aynı oranda perlit, riyolit ve uçucu kül içeren gazbeton numunelerinde elde edilen EDS analiz sonuçları Şekil 4.32, Şekil 4.33 ve Şekil 4.34’de verilmiştir. EDS sonuçlarına göre, %25 katkılı perlit, riyolit ve uçucu kül numunelerinde kimyasal bileşenleri sırasıyla %33 Ca-%44 Si, %36 Ca-%47 Si ve %36 Ca-%33 Si olarak bulunmuştur.

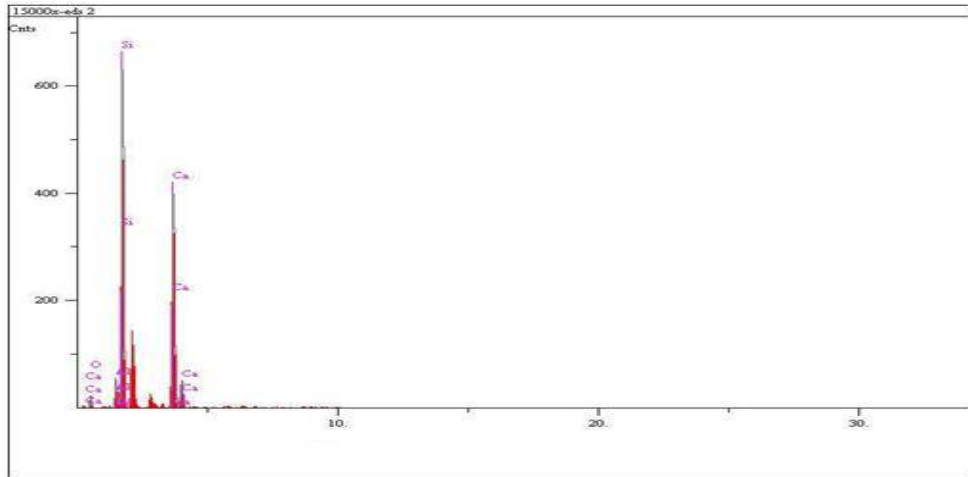
EDS analizleri sonucunda elde edilen verilere göre uçucu kül içeren numuneye ait Ca/Si oranı 1,1, perlit içeren numuneye ait Ca/Si oranı 0,75, riyolit içeren numuneye ait Ca/Si oranı ise 0,77 olarak bulunmuştur. Mineral katkı içeren gazbeton numunelerinde elde edilen Ca/Si oranlarının ideal değer olan 0,8-1 aralığından saptığı görülmüştür. Mineral katkı kullanımı ile oluşan tobetmorit yapısında meydana gelen değişimler sebebiyle mineral katkı içeren gazbeton numunelerinin dayanımlarının daha düşük elde edildiği düşünülmektedir.



Şekil 4.32. %25 perlit katkılı gazbeton numuneye ait eds grafiği ve değerleri.



Şekil 4.33. %25 riyolit katkıli içeren numuneye ait eds grafiği ve değerleri.



Şekil 4.34. %25 uçucu kül katkıli numuneye ait eds grafiği ve değerleri.

5. GENEL SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Geleneksel gazbeton karışımlarında doğal mineral katkı olarak perlit, riyolit ve yapay mineral katkı olarak uçucu kül kullanılarak üretilen gazbeton numunelerde yapılan deneylerin sonuçları ayrı ayrı olarak aşağıda verilmiştir.

- Yayılma tablası deney sonuçlarına göre, katkı oranı arttıkça yayılma değerlerinin azaldığı görülmüştür. Aynı mineral katkı oranındaki gazbeton karışımlarda çimento oranı arttıkça yayılma değerleri azalmıştır. Mineral katkılı gazbeton karışımlarında, silis kumu oranı arttıkça yayılma çapı değerlerinde artış meydana gelmiştir. Perlit, riyolit ve uçucu kül katkı oranı en fazla olan karışımlarda yayılma çapı değerlerinde sırasıyla ortalama %15, %14 ve %21 oranında azalma görülmüştür.
- Penetrasyon sertliği deney sonuçlarına göre, 3 farklı oranda çimento ve silis kumu içeren karışımlarda perlit, riyolit ve uçucu kül oranı arttıkça penetrasyon sertliği değerlerinin azaldığı görülmüştür. Perlit ve riyolit katkılı gazbeton karışımlarında (2.grup), silis kumu oranı azalırken çimento miktarı arttığı için penetrasyon sertliğinde artışlar meydana gelmiştir. Perlit, riyolit ve uçucu kül katkı oranı en fazla olan karışımlarda penetrasyon sertliği değerlerinde sırasıyla ortalama %19, %10 ve %25 oranında azalma görülmüştür.
- Basınç deneyi sonuçlarına göre, 3 farklı oranda çimento ve silis kumu içeren karışımlarda perlit, riyolit ve uçucu kül oranı arttıkça basınç dayanımının azaldığı görülmüştür. Perlit ve riyolit katkılı gazbeton karışımlarında (2.grup), artan çimento miktarına bağlı olarak basınç dayanımında artışlar elde edilmiştir. DIN 4165'e göre perlit, riyolit ve uçucu kül katkılı numunelerde sırasıyla G2/04-G2/05, G2/04-G2/05 ve G1/05-G2/05 sınıfı gazbetonlar elde edilmiştir. DIN 4165'e göre 2.5MPa basınç dayanımını sağlayan gazbeton numuneler, %23 silis kumu ve %32 çimento oranlı karışımlarında %15 ve %22 oranında perlit ve riyolit kullanılarak elde edilmiştir. Farklı mineral katkı ve bileşen oranlarındaki gazbeton numunelerinde basınç dayanımında meydana gelen değişimler Çizelge 5.1 ve Çizelge 5.2'de verilmiştir.

Çizelge 5.1. Mineral katkı türü ve oranına göre gazbeton basınç dayanımı değişimi.

Karışım No	Katkı Türü	Katkı Oranı, %	Ortalama Basınç Dayanımı Değişimi, %		
			Perlit Katkılı	Riyolit Katkılı	Uçucu Kül Katkılı
R1	-	-	100	100	100
P/R/UÇ25	Perlit Riyolit Uçucu Kül	25	95	95	97
P/R/UÇ45		45	95	94	93
P/R/UÇ65		65	90	94	88
P/R/UÇ85		85	89	91	81
R2	-	-	100	100	100
P/R/UÇ25	Perlit Riyolit Uçucu Kül	25	94	94	97
P/R/UÇ45		45	93	93	94
P/R/UÇ65		65	89	92	91
P/R/UÇ85		85	87	90	88
R3	-	-	100	100	100
P/R/UÇ25	Perlit Riyolit Uçucu Kül	25	96	94	97
P/R/UÇ45		45	93	92	93
P/R/UÇ65		65	92	93	91
P/R/UÇ85		85	88	90	88

Çizelge 5.2. Farklı bileşen oranlarına göre gazbeton basınç dayanımı değişimi.

Karışım No	Katkı Türü	Katkı Miktarı %	Çimento		Kuvars Kumu		Ort. Basınç Dayanımı Değişimi, %	
			Oranı	Miktar %	Oran	Miktar %	Perlit Katkılı	Riyolit Katkılı
43P/R20/30	Perlit Riyolit	43	20	11	30	23	100	100
30P/R20/50		30		7.6	50	38	97	97
18P/R20/70		18		4.5	70	53	93	92
32P/R40/30		40	32	21	30	23	112	112
23P/R40/50			23	15	50	38	106	105
14P/R40/70			14	9	70	53	98	98
21P/R60/30		60	21	32	30	23	115	115
15P/R60/50			15	23	50	38	113	114
9P/R60/70			9	14	70	53	102	102

- Kuru birim hacim ağırlık deney sonuçlarına göre, 3 farklı oranda çimento ve silis kumu içeren karışımlarda perlit, riyolit ve uçucu kül oranı arttıkça kuru birim hacim ağırlığının azaldığı görülmüştür. Perlit ve riyolit katkıli gazbeton numunelerde daha düşük kuru birim hacim ağırlık değerleri elde edilmiştir. Perlit, riyolit ve uçucu kül katkıli gazbeton numunelerinde kuru birim hacim ağırlık değerleri sırasıyla 401-430 kg/m³, 393-421 kg/m³ ve 391-438 kg/m³ arasında değişmiştir. Mineral katkıli karışımlarda kuru birim hacim ağırlık ile basınç dayanımı doğru orantılı olarak değişmiştir. Farklı oranda çimento ve silis kumu

içeren karışımlarda perlit ve riyolit oranı azaldıkça (çimento/katkı oranı artıkça) kuru birim hacim ağırlık değerlerinin arttığı görülmüştür. Ayrıca her iki mineral katkılı gazbeton karışımlarında, silis kumu oranı artıkça kuru birim hacim ağırlığının arttığı belirlenmiştir.

- Kılcal su emme hızı deney sonuçlarına göre, farklı oranda çimento ve silis kumu içeren karışımlarda perlit, riyolit ve uçucu kül katkılı numunelerin referans numunelere göre kılcal su emme katsayısının arttığı görülmüştür. Tüm mineral katkılı karışımlarda kılcal su emme katsayısının %25 katkı oranından sonra azaldığı belirlenmiştir. Bu azalmanın, karışımdaki mineral katkı oranının fazla olması ile artan boşluk miktarına bağlı olduğu düşünülmektedir.
- Isı iletkenlik deney sonuçlarına göre; %22 çimento ve %62 silis kumu içeren karışımda perlit, riyolit ve uçucu kül katkı oranı artıkça ısı iletkenlik katsayısının arttığı gözlenmiştir. En yüksek ve en düşük ısı iletkenlik katsayı değerleri sırasıyla uçucu kül ve perlit katkılı gazbeton numunelerde elde edilmiştir. Aynı mineral katkı ve bileşen oranlarında, perlit katkılı gazbeton numunelerinin ısı iletkenlik katsayısının daha düşük olduğu belirlenmiştir.
- Perlit, riyolit ve uçucu külün %76 oranında kullanıldığı karışımlarda gazbeton numunesi elde edilememiştir. Ancak bu karışımlarda üretim sonrası daha yüksek sıcaklıkta nemli kür uygulanması halinde daha düşük dayanım sınıfında bile olsa gazbeton numunelerinin elde edilebileceği düşünülmektedir.
- Uygun bileşen oranlarına sahip karışımlarda, perlit ve riyolit %25'den düşük oranlarda kullanılması durumunda G2/05 veya G2/04 sınıfı gazbeton elde edilebileceği düşünülmektedir.
- Karışımlarda kullanılan uçucu küldeki silis oranının düşük olması nedeniyle yeterli dayanım elde edilememiştir. Bu nedenle silis oranı daha yüksek olan uçucu kül gibi mineral katkıların kullanımı ile gazbeton elde edilebilir.

KAYNAKLAR

- Alageyik P. Z., 2018, elyaf takviyesiyle gazbeton malzemenin ısı ve mekanik özelliklerinin iyileştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kırıkkale.
- Albayrak, M., Yorukoglu, A., Karahan, S., Atlihan, S., Aruntas, H. Y., & Girgin I. 2007, Influence of zeolite additive on properties of autoclaved aerated concrete. *Building and Environment*, 42, 3161–3165.
- Borhan, B., 1990, “Ytong El Kitabı-1” Ytong Teknik Yayınları No:1, İstanbul.
- Büyükcan İ. Ç., 2019, Gazbeton Üretiminde Mineral Katkı Kullanımı, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Cevizci E., 2017, Gazbeton Blokları ile Asimetrik Kabuk Sistemlerinin Tasarlanması, Yüksek Lisans Tezi, Yaşar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- DIN 4165,1996 , “Autoclaved Aerated Concrete Blocks And Flat Elements” Alman Standardı
- Ertokat, N., 2014, “Ytong Kitabı” Türk Ytong San A.Ş.
- Gökmen F., 2017, Donatılı Gazbeton Paneller ile Yapılmış Duvarların Sismik Davranışı, Yüksek Lisans Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Guo, M. B., & Zheng, X. 1999, Study on a new kind of aerated concrete containing efflorescence sand-phosphorus slag-lime. *J Build Mater.*, 2(3), 223–8.
- Güçlüer K., 2010, Uçucu Kül Den Üretilen Silis Dumanı Katkılı Gazbeton Örnekleri Üzerine Kür Etkisinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yapı Eğitimi Ana Bilim Dalı, Afyon.
- Gündoğdu C. B., 2001, Gazbeton ve Gazbeton Üretimindeki Bağlayıcı Malzemelerin Rötreye Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- Karaaslan K. Y., 2009, Gazbeton Yapı Malzemesinin Isıl Özelliklerinin Mevcut Standartlara Göre Deneysel Olarak İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kırıkkale.
- Karakurt, C., Kurama, H., & Topcu I. B. 2010, Utilization of natural zeolite in aerated concrete production. *Cement & Concrete Composites*, 32, 1–8.
- 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.
- Kurama H, Topçu I. B., & Karakurt C. 2009, Properties of the autoclaved aerated concrete produced from coal bottom ash. *J Mater Process Technology*, 209(2), 767–73.
- Mostafa N. Y. 2005, Influence of air-cooled slag on physicochemical properties of autoclaved aerated concrete. *Cem Concr Res*, 35(7), 1349–57.

- Öğdü K. M. 2018, Farklı Uzunluklarda Karbon Fiber Takviyeli Gazbetonun Mekanik ve Fiziksel Özelliklerinin Deneysel Olarak Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kırıkkale.
- Özel G., 2013, Uçuşu Külün Gazbeton Özelliklerine Etkisinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kırıkkale.
- Özel G., 2013, Uçuşu Külün Gazbeton Özelliklerine Etkisinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kırıkkale.
- Rózycka, A., & Pichór, W. 2016, Effect of perlite waste addition on the properties of autoclaved aerated concrete. *Construction and Building Materials*, 120, 65–71.
- Rudnai, G. 1963, Light weight concretes. Budapest: Akademi Kiado.
- Sezer H., 2010, Öğütülmüş Diatomitin Gazbeton Üretiminde Kullanımının Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yapı Eğitimi, Ana Bilim Dalı, Afyon.
- Short, A., & Kinniburgh, W. 1963, Light weight concretes. Asia Publishing House.
- Song, Y., Guo, C., Qian, J., & Ding, T. 2015, Effect of the Ca-to-Si ratio on the properties of autoclaved aerated concrete containing coal fly ash from circulating fluidized bed combustion boiler. *Construction and Building Materials*, 83, 136–142.
- Taghipour A., 2016, Düşey Donatılı Gazbeton Panel Duvarların Sismik Davranışı, Yüksek Lisans Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- TS 453, 1988, "Gaz ve Köpük beton Yapı Malzeme ve Elemanları", Türk Standartları Enstitüsü, Ankara
- TSE 825, 2013, "Binalarda Isı Yalıtım Kuralları" Türk Standartları Ankara
- TS EN 679, 2013, "Gazbeton Basınç Dayanımı Tayini" Türk Standartları Ankara
- TS EN 12504-4, 2011, "Beton Deneyleri-Bölüm 4: Ultrases Geçiş Hızının Tayini" Türk Standartları Ankara
- TS EN 1745, 2011, "Gazbeton Yapı malzemeleri ve elemanları" Türk Standartları Ankara.
- TS EN 678, 1995, "Gaz ve Köpük Beton Kuru Yoğunluk Tayini" Türk Standartları Ankara
- TS EN 771-4, 2015, "Gazbeton Kagir Birimler" Türk Standartları Ankara
- TS EN 772_1 , 2015, "Basınç Dayanımının Tayini" Türk Standartları Ankara
- TS EN 772_11 , 2012, "Betondan, gazbetondan, yapay ve doğal taştan yapılmış lagir birimlerde kapiler su emme ve kil kagir birimlerde ilk su emme tayini " Türk Standartları Ankara
- TS EN 772-13, 2002, "Kagir Birimler Deney Metotları" Türk Standartları Ankara
- Tuncer E., 2018, Lifli Polimer ile Donatılan Gazbeton Yapı Elemanlarının Davranışı, Yüksek Lisans Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Türkgazbeton Şirketi, url. <http://www.turkgazbeton.com>, Türkiye

Url, 09/05/2019, <http://insaateknigi.blogspot.com/2014/06/ultrasonik-testcihaz.html>

Valore, R. C. 1954, Cellular concretes-composition and methods of preparation. J Am Concr Inst, 25, 773-795.

Valore, R. C. 1954, Cellular concretes-physical properties. J Am Concr Inst, 25, 817-836.

Xella Baustoffe GmbH şirketine ait projeler, Almanya

Xian, L. F., Zhi, C. Y., & Zong, L. S. 2008, Experimental investigation on aerated concrete with addition of lead-zinc tailings. J Southwest Jiaotong Univ., 43(6), 810-5.

Yan, W., Jie, Y., Chun, C. J., & Qi, P. C. 2000, Aerocrete made with low silicon tailings of Cheng Chao iron ore mine. J Wuhan Univ Technol – Mater Sci, 15(2), 58-62.

ÖZGEÇMİŞ



İsim Soyisim : Orhan Yavuz Osmanoglu
Ünvan : İnşaat Mühendisi
Askerlik Durumu : Üstün hizmet belgesi alınarak
tamamlanmıştır. (12.09.2008)
E-Mail : yavuzosmanoglu@eskiinsaat.com
Toplam Tecrübe : 10 yıl üzeri

İş Deneyimleri

Firma Sahibi



OSMANOĞLU İNŞAAT
05.2016 - Halen devam etmektedir.

Yönetim Kurulu Başkanı / Kurucu



ESKİ İNŞAAT MİMARLIK MÜHENDİSLİK SAN. TİC. A.Ş.
03.2015- Halen devam etmektedir.



Satış Departmanı Bölge Satış Şefi
TÜRK YTONG SAN. A.Ş. 2008-2015



Teknik Departman/ Şantiye Mühendisi
TÜRK YTONG SAN A.Ş. 2007-2008



PB Prefabrike Beton İnşaat San. ve Tic. A.Ş. 2002-20

Eğitim

Derece	Alan	Üniversite	Yıl
Lise	Fen Bilimleri	Karamürsel Yabancı Dil Ağ Lisesi	1998
Lisans	İnşaat Mühendisliği	Ömer Halisdemir Üniversitesi	2002
Yüksek Lisans	İnşaat Mühendisliği	Eskişehir Teknik Üniversitesi & Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Ortak Yüksek Lisans Programı	-