



3 BOYUTLU YAZICILARIN KOMPOZİT GAZ BETON ÜRETİMİNDE KULLANILMASI

Büşra KADI

**2022
YÜKSEK LİSANS TEZİ
ENDÜSTRİYEL TASARIM MÜHENDİSLİĞİ**

**Tez Danışmanı
Dr. Öğr. Üyesi Hatice EVLEN**

**3 BOYUTLU YAZICILARIN KOMPOZİT GAZ BETON ÜRETİMİNDE
KULLANILMASI**

Büşra KADI

**T.C.
Karabük Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Endüstriyel Tasarım Mühendisliği Anabilim Dalında
Yüksek Lisans Tezi
Olarak Hazırlanmıştır**

**Tez Danışmanı
Dr. Öğr. Üyesi Hatice EVLEN**

**KARABÜK
Ocak 2022**

Büşra KADI tarafından hazırlanan “3 BOYUTLU YAZICILARIN KOMPOZİT GAZ BETON ÜRETİMİNDE KULLANILMASI” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Dr. Öğr. Üyesi Hatice EVLEN

Tez Danışmanı, Endüstriyel Tasarım Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından Oy Birliği ile Endüstriyel Tasarım Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 27/01/2022

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Dr. Öğr. Üyesi Murat AYDIN (KBÜ)

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Hatice EVLEN (KBÜ)

Üye : Dr. Öğr. Üyesi İjlal ŞİMŞEK (MSÜ)

KBÜ Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Hasan SOLMAZ

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”

Büşra KADI

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

3 BOYUTLU YAZICILARIN KOMPOZİT GAZ BETON ÜRETİMİNDE KULLANILMASI

Büşra KADI

Karabük Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Endüstriyel Tasarım Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Dr. Öğr. Üyesi Hatice EVLEN

Ocak 2022, 54 sayfa

Bu çalışmanın amacı, hayatımızın her alanında hızla yer bulan 3B yazıcı teknolojilerinin mimari uygulamalarda kullanımının yaygınlaştırılması, atık bir malzeme olan zeytin pirinasının geri dönüştürülerek mimari uygulamalarda kullanılabilirliğinin araştırılmasıdır. Bu amaç doğrultusunda, gaz beton üretimi sırasında harç karışımına pirina (zeytinyağı posası) katılmıştır. Bu çalışmada ayrıca boşluklu bir malzeme üretimi üzerinde çalışma yapılmıştır. Gözenek oluşturmak için 2 tip yöntem kullanılmıştır Birinci yöntem Alüminyum tozu ilavesiyle gerçekleşen kimyasal tepkime sonucu gözenekli bir yapı oluşturulmasıdır. İkinci yöntem olarak ise 3B yazıcı teknolojileri ile köpük yapısını kontrollü oluşturma uygulamasıdır. Ayrıca elde edilen malzemelerin fiziksel özelliklerinin tespiti için yoğunluk ölçümü, birim hacim ağırlığı ölçümü, porozite ölçümü; mekanik özelliklerinin tespiti için çekme-basma testleri ve morfolojik analiz için SEM ve EDS analizleri gerçekleştirilmiştir

Yapılan sertlik testleri sonucunda, bütün pirinalı karışımlarda en yüksek sertlik değerleri 3B printer kalıp yöntemi kullanılarak elde edilmiştir. Sertlik testi sonuçları genel olarak değerlendirildiğinde ise; pirina oranında azalmayla sertlik değerlerinde bir düşüş olduğu belirlenmiştir. Yapılan basma deneyi sonucunda ise her iki grubun karşılaştırılmasında en yüksek basma dayanımı 2. Grup gaz beton numunelerde elde edilmiştir. İki gruptaki 3 farklı oranda pirina içeren karışımlarda pirina oranı arttıkça basma dayanımının azaldığı görülmüştür. Pirina katkı oranının artması ile karışımdaki çimento oranının azalması basma dayanımında azalmaya neden olmuştur. SEM ile yapılan analizde gaz beton numunelerinde pirina miktarının artmasıyla mikro boşluklu yapının azaldığı %10 pirinalı numunedeki boşluk oranının diğer numunelere göre daha fazla olduğu görülmektedir. Bunu %20 pirinalı numune izlemiştir. %20 pirinalı numune boşluk oranı da %40 pirinalı numuneye göre oranla daha fazladır. EDS analizleri değerlendirildiğinde ise pirina takviye oranı arttığında kompozit yapıdaki C, Al, Si, S oranları artarken; O, Mg ve Ca oranlarında düzenli bir azalma olduğu görülmektedir. Bu durum karışımdaki pirina takviye oranı arttırılırken, çimento oranının azaltılmasından kaynaklanmaktadır. Kompozitin içerisinde Al ve Si oranlarının artması numune yüzeyindeki gözeneklerin daha küçük boyutlu ama daha yoğun oluşmasına neden olmuştur. Ayrıca yapılan SEM incelemesi esnasında gözenek boyut ölçümü de gerçekleştirilmiştir. Gözenek boyut ölçümü SEM analizleri beraber değerlendirildiğinde pirina takviye oranı arttıkça numunelerin yüzeyindeki gözeneklilik oranının azaldığı ve mevcut gözenek boyutlarının da küçüldüğü görülmektedir. Bu durum artan pirina takviye oranının gözeneklenmeyi olumsuz etkilediğini göstermektedir.

Anahtar Sözcükler : 3B yazıcı, gözenek, mimari malzeme, ytong malzeme, pirina, uçucu kül.

Bilim Kodu :

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

USING 3D PRINTERS IN THE PRODUCTION OF COMPOSITE GAS CONCRETE

Büşra KADI

**Karabük University
Institute of Graduate Programs
Department of Industrial Design Engineering**

Thesis Advisor:

Assist. Prof. Dr. Hatice EVLEN

January 2022, 54 pages

In this study, the use of 3D printer technologies, which are rapidly taking place in all areas of our lives, including architectural applications, is to investigate the use of olive pomace (a waste material) in architectural applications. For this purpose, olive pomace (olive oil pulp) was added to the mortar mixture during the production of gas concrete. This study was carried out on the production of a porous material. Two types of methods were used to create the pores. The first method is the controlled creation of the foam structure with 3D printer technologies. A second method is the formation of a porous structure as a result of the chemical reaction with the addition of aluminum powder. In addition, for the determination of the physical properties of the obtained materials, density measurement, unit volume weight measurement, porosity measurement; Tensile-compression tests for the determination of mechanical properties, hardness test and SEM and EDS analyzes for morphological analysis were performed.

As a result of the hardness tests, the highest hardness values in all olive pomace mixtures were obtained by using the 3D printer “mold” method. When the hardness test results are evaluated in general; It was determined that there was a decrease in hardness with a decrease in the pomace content. As a result of the compression test performed in the comparison of both groups, the highest compressive strength was obtained in Group 2 aerated concrete samples. It was observed that the compressive strength decreased as the pomace ratio increased in the mixtures containing 3 different amounts of pomace in the two groups. The increase in the pomace additive ratio and the decrease in the cement ratio in the mixture caused a decrease in the compressive strength. In the analysis made by SEM, it is seen that the micro-void structure of the gas concrete samples increases along with the increase in the amount of pomace, and the resulting void ratio of the 10% pomace sample is higher than the other samples. This was followed by the sample with 20% olive pomace. The void ratio of the sample with 20% olive pomace is also higher than the sample with 40% olive pomace. When the EDS analyses are evaluated, the pomace reinforcement ratio increases, the C, Al, Si, S ratios in the composite structure increase; It also is observed that there is a regular decrease in O, Mg and Ca ratios. This decrease is due to the reduction of the cement ratio while increasing the pomace reinforcement ratio in the mixture. Increasing the Al and Si ratios of the composite caused the pores on the sample surface to be smaller in size and more dense. Moreover, pore size measurement was also carried out during the SEM examination. When the pore size measurement and SEM analyses are evaluated together, it is seen that the porosity rate on the surface of the samples decreases and the existing pore sizes decrease as the pomace reinforcement ratio increases. This shows that the increased pomace supplement ratio negatively affects the porosity.

Key Word : 3D printer, pore, architectural material, ytong material, olive pomace, fly ash.

Science Code :

TEŞEKKÜR

Bu tez çalıőmasının planlanmasında, araőtırılmasında, yürütülmesinde ve oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalıőmamı bilimsel temeller ışığında őekillendiren sayın hocam Dr. Öğr. Üyesi Hatice EVLEN'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Gaz beton karışım deneylerinin ve testlerin yapılmasında yardımlarını esirgemeyen, Safranbolu Helka Beton'a teşekkür ederim.

Ayrıca yüksek lisans öğrenimim boyunca desteklerini hiç eksik etmeyen aileme tüm kalbimle teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xiv
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2	5
BETON	5
2.1. BETONUN TARİHÇESİ.....	5
2.2. BETONUN BİLEŞENLERİ.....	5
2.3. BETONDA ARANAN ÖZELLİKLER	6
2.4. BETONUN AVANTAJLARI VE DEZAVANTAJLARI	7
2.4.1. Betonun Avantajları.....	7
2.4.2. Betonun Dezavantajları	7
BÖLÜM 3	8
GAZ BETON	8
3.1. GAZ BETONUN TARİHÇESİ.....	9
3.2. GAZ BETON TÜRLERİ.....	9
3.3. GAZ BETON HAMMADESİ VE ÜRETİM SÜRECİ.....	10
3.4. GAZ BETONUN ÖZELLİKLERİ.....	10

	<u>Sayfa</u>
3.4.1. Gaz Betonun Fiziksel Özellikleri.....	10
3.4.2. Gaz Betonun Kimyasal Özellikleri.....	11
3.4.3. Gaz Betonun Mekanik Özellikleri.....	12
3.5. GAZ BETONUN KULLANIM ALANLARI.....	13
3.6. GAZ BETON BİLEŞENLERİ.....	13
3.7. GAZ BETONUN SAĞLADIĞI YARARLAR.....	14
3.8. GAZ BETON İLE İLGİLİ LİTERATÜR.....	15
BÖLÜM 4.....	16
PİRİNA.....	16
4.1. DÜNYADA VE TÜRKİYE’DE ATIK PİRİNA DURUMU.....	16
4.2. PİRİNANIN KULLANIM ALANLARI.....	16
4.3. PİRİNANIN GENEL BİLEŞİMİ.....	17
BÖLÜM 5.....	18
ÜÇ BOYUTLU YAZICI (3D PRINTER).....	18
5.1. 3B YAZICI KULLANIM ALANLARI.....	18
5.1.1. 3B Yazıcıların İnşaat Sektöründe Kullanımı.....	18
5.1.2. Mimari Yapılarda 3B Yazıcıların Katkısı.....	19
BÖLÜM 6.....	20
DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	20
6.1. KULLANILAN KİMYASAL MALZEMELER.....	20
6.2. NUMUNE HAZIRLAMA.....	22
6.3. UYGULANAN TESTLER.....	29
6.3.1. Birim Hacim Ağırlığı Ölçümü.....	29
6.3.2. Basma Testi.....	30
6.3.3. Sertlik Testi.....	30
6.3.4. SEM Analizi.....	31

	<u>Sayfa</u>
BÖLÜM 7	32
DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....	32
7.1. BİRİM HACİM AĞIRLIĞI ÖLÇÜMÜ	32
7.2. BASMA TESTİ.....	34
7.3. SERTLİK TESTİ.....	37
7.4. SEM ANALİZİ.....	38
BÖLÜM 8	41
SONUÇLAR	41
KAYNAKLAR	43
EK AÇIKLAMALAR A. NUMUNE SONUÇLARI	49
ÖZGEÇMİŞ	54

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 3.1. Gaz betonun gözenekli yapısı	7
Şekil 3.2. Gaz beton üretiminde sulu harcın kalıba dökülmesi ve kabarma süreci ...	9
Şekil 6.1. Pirina elemek için kullanılan titreşimli elek.....	23
Şekil 6.2. Betoniyer harç karma makinası.....	23
Şekil 6.3. Gaz beton homojen karışımı	24
Şekil 6.4. Gaz beton karışımının küp kalıplara doldurulması	24
Şekil 6.5. Nüve laboratuvar tip otoklav cihazı	25
Şekil 6.6. Gaz beton döküm hamurunun kabarması.....	25
Şekil 6.7. Üretilen 3B yazıcı kalıp ve 3B yazıcı makinesi	26
Şekil 6.8. Numunelerin 3B boşluklu kalıplara yerleştirilmesi	28
Şekil 6.9. Numunelerin etüvde kurutma işlemi	28
Şekil 6.10. PVA plastik kalıbın suda çözünme aşaması.....	28
Şekil 6.11. Elektronik hassas terazi.....	29
Şekil 6.12. Basma testi cihazı.....	30
Şekil 6.13. Beton test çekiçi (Schmidt çekiçi).....	30
Şekil 6.14. Zeiss ultra plus scanning elektron mikroskop (SEM)	31
Şekil 7.1. Birinci grup karışımlar için basma dayanımı karşılaştırılması.....	35
Şekil 7.2. İkinci grup karışımları için basma dayanımı karşılaştırılması.	36
Şekil 7.3. Hazırlanan tüm karışımların basma dayanımı karşılaştırılması.	36
Şekil 7.4. Schmidt beton test çekiçi.	37
Şekil 7.5. Pirina katkılı gaz beton numunelerinin mikroyapı görüntüsü ve EDS analizleri, a) %10 pirina ikameli, b) %20 pirina ikameli , c) %40 pirina ikameli numune mikroyapıları.	39
Şekil 7.6. Gözenek boyut ölçümü SEM fotoğrafları ve boyut ölçüm grafiği.	40
Şekil Ek A.1. Elemental analizi test sonuçları	49
Şekil Ek A.2. Basma dayanımı testi sonuçları	51
Şekil Ek A.3. 3B yazıcı basma testi sonuçları	53

ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 3.1. Gaz beton porozite oranları.....	11
Çizelge 3.2. Gaz betonun mekanik özellikleri	12
Çizelge 3.3. Gaz beton basma dayanımı sınıfları (DIN 4165).....	13
Çizelge 3.4. Kuru yoğunluğa göre gaz beton yaklaşık hammadde miktarları (1m ³).14	14
Çizelge 4.1. Yıldız zeytinyağı fabrikasından alınan pirina örneğine ait analiz sonuçları.....	17
Çizelge 6.1. Gaz beton üretiminde kullanılan malzeme oranları.....	22
Çizelge 6.2. 3B yazıcıda kullanılan yazdırma parametreleri.	27
Çizelge 7.1. Numunelerin birim hacim ağılıkları (yoğunluk).....	32
Çizelge 7.2. Numunelerin kuru birim hacim ağılıkları.	33
Çizelge 7.3. Basma dayanım test sonuçları.....	35
Çizelge 7.4. Numunelerin yüzeyine uygulanan Schmidt sertlik değerleri.....	38

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

Al	: alüminyum
HCl	: hidroklorik asit
CaO	: sönmemiş kireç
H ₂	: hidrojen gazı
O	: oksijen
C	: karbon
S	: kükürt
Fe	: demir
Ca	: kalsiyum
Mg	: magnezyum
Si	: silisyum
PVA	: polivinil alkol
µm	: mikrometre
Sk	: birim hacim ağırlığı
W	: numunenin etüv kuru ağırlığı
V	: numunenin hacmi
Σ _b	: basma dayanımı
P _{max}	: maksimum kuvvet
A _o	: yüzey alanı

KISALTMALAR

TS : Türk Standardı

EN : Europeane Norm (Avrupa Normu)

SEM : Scanning Elstron Microscope (Taramalı Elektron Mikroskobu)

EDS : Enerji Dağılım Spektroskopisi

DIN : Alman Standardı (Deutsche Institute für Normunge.V.)

STL : Stereolitography (3B Baskı Dosyası Formatı)

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Bugün dünyada çok sayıda mimari yapının ve farklı yapı türlerinin inşasında beton en başta gelen seçenektir. Bu durum betonun nispeten kolay temin edilebilir olması, daha ucuz bir malzeme olması, çok yönlü olması ve sürekli geliştirilen bir malzeme olmasından kaynaklanmaktadır [1].

Beton, agrega, çimento, su ve gerektiğinde katkı maddelerinin uygun oranlarda bir araya getirilmesiyle oluşan kompozit bir malzemedir. Beton yapı sisteminde çimento hamuruna uygulanan katkı maddelerinin betonun davranışını etkilediği gözlemlenmiştir. Buradan hareketle ağır beton, hafif beton ve normal beton kavramları oluşmuştur [2].

Günümüzde ise yapılarda yalıtım özelliklerini iyileştirme amacıyla yapılan gözenekli yapıdaki gaz beton yapı malzemelerin kullanımı oldukça yaygındır. Gaz beton malzemeler, günümüzde yüksek katma değerli ürünlere dönüşen (yüksek yalıtım, düşük yoğunluk, kolay şekil alma, düşük maliyetli,) devrim niteliğinde çevre dostu malzemelerdir. Yapılan çalışmalarda bir diğer faktör ise depreme dayanıklılıktır. Depremler, yapılar üzerinde ciddi hasarlar bırakan, can ve mal kayıplarına neden olan doğal afetlerdir. Bu hasarları azaltmak, için birçok araştırma yapılmaktadır. Depreme dayanıklı yapılar ve inşaat teknikleri konusunda yapılan araştırmalar bu sektörde gelişmelere önemli katkıda bulunmaktadır. Buna ek olarak depreme karşı düşük özgül ağırlığı sayesinde daha hafif yapıların inşasına olanak sağlaması gaz betonun gelişimi açısından önemli bir dönüm noktasıdır [3].

Ayrıca son yıllarda, gaz betonların hazırlanmasında silis dumanı, cüruf ve uçucu kül gibi silisli malzemelerin birleşimi; atık malzemelerin değerlendirilmesi ve enerji korunumu bakımından önemlidir [4].

Atık malzeme ile doğaya uyumlu ve geri dönüşümlü beton üretilebilir. Kaliteli bir beton, kullanımı süresince, çevre etkilerine ve depreme karşı dayanıklılığı olan bir betondur. Bu nedenle gaz betonun dayanıklılığını artıran zeytinyağı pirinasının kullanımı araştırılmıştır. Zeytinlerin sıkılma işleminden sonra geriye kalan katı atık ülkemizde pirina olarak adlandırılmaktadır. Bugün Türkiye’de ortaya çıkan pirina miktarı 42.000 ton civarındadır [5].

Pirina özellikle ülkemizde, ısınma amacıyla kullanılmaktadır. Bu da çevreye zararlı gaz salınımını arttırmaktadır [6].

Literatür çalışmalarından anlaşılacağı üzere gaz betonun üretiminde farklı yöntemlerin uygulandığı görülmektedir. Bu yöntemlere göre gaz betonu oluşturan bileşenler oda şartlarında H₂ gazı oluşumu için yüksek miktarda su ile karıştırılıp, kalıplanır, daha sonra doymuş buhar basıncı altında birkaç saat bekletilir [7].

Alüminyum tozu ilavesiyle gerçekleşen kimyasal tepkimede karışımın hacmi iki katına kadar genişler ve oldukça gözenekli bir yapı oluşur [8].

Gaz betonun yoğunluğu Al tozu miktarından ve özellikle karışım oranlarından büyük ölçüde etkilendiği, buna karşılık otoklav kürü basma dayanımını büyük ölçüde arttırdığı vurgulanmıştır [7].

Bu tez çalışması, mimari yapılarda 3B (3 Boyutlu) baskı teknolojinin kullanımı ve kapsamı hakkındadır. 3B baskı teknolojisi ile sadece mimarlık konularında değil, malzeme bilimi konularında da çalışmayı gerekli kılmaktadır. Bu çalışmalar sayesinde 3B baskı ile çimento karışımlı malzemelerin oluşturulması sağlanmıştır.

Gerçekleştirilen çalışmanın amaçları;

- Hayatımızın her alanında hızla yer bulan 3B yazıcı teknolojilerinin mimari uygulamalarda kullanımının yaygınlaştırılması,
- 3B yazıcı teknolojilerinin kullanımı ile yenilikçi inşaat yapı malzemelerinin geliştirilmesi,

- Geleneksel yöntemlerle üretilen hafif beton yapılar ile 3B yazıcı teknolojileriyle üretilen yapıların termal ve mekanik özellikler açısından kıyaslanması,
- Atık bir malzeme olan zeytin pirinasının geri dönüştürülerek mimari uygulamalarda kullanılabilirliğinin araştırılmasıdır.

Bu amaçlar doğrultusunda, beton üretimi sırasında harç karışımına pirina (zeytinyağı posası) katılmıştır. Literatürde beton-pirina çalışmaları sınırlı sayıdadır. Bu çalışmada ayrıca boşluklu bir malzeme üretimi üzerinde durulmuştur. Gözenek oluşturmak için 2 tip yöntem kullanılmıştır. Birinci yöntem; 3B yazıcı teknolojileri ile köpük yapısının kontrollü oluşturulmasıdır. İkinci yöntem ise; Alüminyum tozu ilavesiyle oluşan kimyasal tepkime sonucu gözenekli bir yapı oluşturulmasıdır (gaz beton, köpük beton). Ayrıca elde edilen malzemelerin fiziksel özelliklerinin tespiti için yoğunluk ölçümü, birim hacim ağırlığı ölçümü, porozite ölçümü; mekanik özelliklerinin tespiti için çekme-basma testleri ve morfolojik analiz için SEM ve EDS analizleri gerçekleştirilmiştir.

Çalışma yedi bölümden oluşmaktadır. Bu bölümler sırasıyla,

- İlk bölüm “Giriş bölümü” olup, burada araştırmanın problemi tanımlanarak çalışmanın kısa özeti, kapsamı ve yöntemi belirlenmiştir.
- İkinci, Üçüncü ve Dördüncü bölümde, bu çalışmada kullanılan beton, gaz beton ve pirina geniş literatür taramasıyla anlatılmıştır.
- Beşinci bölümde gelişen teknolojik yöntemlerinin mimari yapılara getirdiği yeni kazanımlar anlatılmış, mimari yapılarda 3B yazıcıların katkısı araştırılmıştır.
- Altıncı bölümde, farklı oranlarda pirina katkılı gaz beton malzemeler 2 farklı yöntemle (3B yazıcı ve kimyasal yöntem) üretilip, malzemelerin mekanik, fiziksel, termal ve kimyasal özellikleri incelenmiştir.
- Yedinci bölümde, malzemelerin özellikleri kıyaslanıp sonuçlar değerlendirilmiştir. Optimum özelliklere sahip yapı malzemesi ve üretim tekniği belirlenmiştir. Bütün bulgular sonuç kısmında deney sonuçlarına göre değerlendirilmiştir.

BÖLÜM 2

BETON

İnşaat sektöründe kullanılan beton, hammaddesi çimento, su, kimyasal ve mineral katkılardan oluşan kolayca istenilen şekli alabilen, dayanıklı, ekonomik bir yapı malzemesidir. Beton günümüzde dünya nüfusunun hızla artması ve inşaat teknolojisinin büyük bir hızla gelişmesi ile beraber başta konutlar olmak üzere birçok alanda yaygın olarak kullanılmış, bu özellikle betonun önemini daha da artırmıştır [9].

Beton önceleri Mısır Piramitleri'nin inşasında, Çin Seddi'nin yapımında, Romalılar döneminde pek çok mimari yapılarda kullanıldığı bilinmektedir. Günümüzde özellikle kimyasal ve mineral katkıların, liflerin betonda kullanılması ile yüksek dayanımlı betonlar üretilmektedir ve bu nedenle beton teknolojisi önemli bir yere sahiptir [10].

2.1. BETONUN TARİHÇESİ

Beton, insanlık tarihinin gelişiminde ve eski medeniyetlerden günümüze kadar gelen dönemde önemli bir yere sahiptir [11].

Hazır beton dünyada ilk kez 1903 yılında Almanya da ortaya çıkmıştır. Daha sonra ABD'de kullanılmaya başlanmıştır. Stephanian beton taşıma amaçlı transmikser aracının geliştirilmesi (1914 yılında) ile beton endüstrisinin Amerika'daki yaygınlığı artmıştır [12].

2.2. BETONUN BİLEŞENLERİ

Betonu meydana getiren bileşenler;

- Çimento
- Agregas
- Su
- Katkılar

Beton, bileşim olarak agrega, çimento ve sudan meydana gelir. Bununla birlikte betonun içinde bir miktar hava bulunur. Ayrıca, betonun belirli özelliklerini değiştirmek amacıyla, çeşitli mineral ve kimyasal katkı maddeleri de kullanılabilir. Bu özellikler; işlenebilirliğin artırılması, priz süresini değiştirmek, az su ihtiyacı olan beton imalidir [13].

Beton da kullanılan agregalar betonun %70–75'ini oluşturur. Bu maddeler birbirleriyle uygun oranlarda karıştırılması sonucunda, betonun taze haldeyken plastik bir kıvama sahip olmasını sağlar. Bu durum sonucunda da beton sertleştiğinde içine konulan kalıbın şeklini alır.

2.3. BETONDA ARANAN ÖZELLİKLER

- Beton diğer birçok yapı malzemesine göre çevre şartlarına karşı oldukça dayanıklı bir malzemedir ve fazla bakım masrafı yoktur.
- Betonarme yapılarını uygun malzeme ve tekniklerle çevre şartlarına karşı dayanıklı ve en az 100 yıl ömrü olan bir malzeme haline getirmek mümkündür.
- Betonun en önemli özelliklerinden birisi basma dayanımına karşı son derece mukavemetli olmasıdır [1].

2.4. BETONUN AVANTAJLARI VE DEZAVANTAJLARI

2.4.1. Betonun Avantajları

Beton diğer yapı malzemelerine göre, estetik amaçla kullanılmaya uygun ekonomik bir yapı malzemesidir. Taze betonla istenilen şekil ve boyutlardaki elemanlar kolayca üretilebilir. Beton çelik donatılarla çok iyi aderans (kenetlenme) gösterebilecek bir özelliğe sahiptir. Beton sertleştiğinde oldukça yüksek basma dayanımına ulaşır ve

Çevreden gelen zorlayıcı kuvvetlere karşı diğer yapı malzemelerine göre daha dayanıklıdır.

2.4.2. Betonun Dezavantajları

Sertleşmiş beton, çekme dayanımı düşük, gevrek özelliğe sahip bir yapı malzemesidir. Beton, çevrenin neden olduğu yağış veya sıcaklık değişiklikleri karşısında bir miktar hacim değişikliğine sahiptir. Beton, birçok yapı malzemesinde olduğu gibi, sabit yükler altında zamanla kalıcı deformasyonlar göstermektedir. Beton, mükemmel bir geçirimsizlik özelliğine sahip değildir. Betonlardaki “dayanım/ağırlık” oranı, elik yapılardaki kadar iyi değildir [14].

BÖLÜM 3

GAZ BETON

Gaz beton, hafif beton sınıfına ait, gözenekli ve içerisinde çimento, kum, kireç, alüminyum tozu ve su barındıran bir yapı malzemesidir [15].

Şekil 3.1’de Gaz betonun gözenekli yapısı verilmiştir.



Şekil 3.1. Gaz betonun gözenekli yapısı [15].

Gaz beton ile ilgili birçok tanım vardır. Gaz beton, genellikle boşluklu, daha düşük yoğunluğa ve dayanıma, daha yüksek ısı yalıtımı özelliklerine sahip olan bir beton çeşididir [16].

TS EN 206 (2014) ise, hafif betonu; etüv kurusu durumdaki yoğunluğu 800 kg/m^3 'ten büyük, 2000 kg/m^3 'ten küçük olan beton olarak tanımlamıştır [17].

Yapılarda taşıyıcı özellik gerektirmeyen ve ilave yük istenmeyen durumlarda dolgu amaçlı olarak kullanılırlar [18].

3.1. GAZ BETONUN TARİHÇESİ

Hafif betonların ilk kullanımı MÖ 3000 yıl öncesine dayanmaktadır. Avrupa’da ise 2000 yıl öncesinde Romalılar tapınak ve heykellerini hafif beton kullanarak inşa etmişlerdir [19].

Hafif beton çeşidi olan gaz betonun keşfi ise 1919-1920 yılında beton harcına kabartıcı madde olarak alüminyum tozu katılarak, basınçlı buhar kürünün betonun sertleşmesinde olumlu etkilerinin tespiti ile başlamıştır [20].

İsveçli Mimarlık Bilimi öğretim görevlisi Johan Axel Eriksson 1923 yılında bazı gözenekli beton örnekler üzerinde çalışırken kür sürecini hızlandırmada otoklava örnekleri yerleşmesi ile gaz beton bulunmuştur. Dünya pazarında, ısı geçirgenliğinin ve birim hacim ağırlığının normal betona göre beşte bir düzeyinde olması ile sağladığı üstünlükler nedeniyle yapı sektöründe geniş kullanım alanı bulunmaktadır [21].

Türkiye’de ise gaz beton, ilk olarak 1950’li yıllarda kullanılmıştır. 1965 yılında ilk gaz beton fabrikası İstanbul’da üretime başlamıştır. Bu tarihten günümüze kadar, yaklaşık 50 yıldır, yapı sektöründe gaz beton kullanımı gelişmiş, üretim kapasitesi ve kullanım potansiyeli yükselmiştir [22].

3.2. GAZ BETON TÜRLERİ

Gaz betonların sınıflandırılması priz esnasında gördüğü muameleye göre yapılmaktadır. Üç farklı türde üretimi gerçekleştirilmektedir. Bunlar;

- Basınçlı buharda priz yapan gaz beton
- Yüksek ısıda ve buhar altında priz yapan gaz beton
- Açık havada priz yapan gaz beton olarak sayılabilir [23].

3.3. GAZ BETON HAMMADESİ VE ÜRETİM SÜRECİ

Gaz beton endüstriyel yöntemlerle üretilmektedir. Gaz betonun içerisinde hacimce %15-30 oranında çimento, %0,05-0,10 alüminyum tozu, %70-85 oranında kum-kireç ve su bulunmaktadır. Çimento, kireç, alüminyum tozu ve su kıvam alana kadar karıştırılır ve çelik kaplara dökülür. Kaplara dökülen karışım kabarmaya başlar ve sertleşir. Sertleşme işleminden sonra gaz beton kesim işlemine alınır. Kesim işleminden geçen gaz beton “otoklav” adı verilen ünitelerde, doymuş buhar basıncı ile sertleştirilir [15].

Yapılan literatür çalışmalarında ise gaz betonun üretiminde değişik yöntemlerin uygulandığı tespit edilmiştir. Bu yöntemlerden birinde gaz betonu oluşturan bileşenler normal atmosfer basıncı altında yüksek miktarda su ile karıştırılıp kalıplanmış, beton oluşumundan sonra doymuş buhar basıncı altında birkaç saat bekletilmiştir [24].

Bir diğer çalışmada, Alüminyum tozu ilave edilerek elde edilen beton karışımın hacminin iki katı kadar genişlemiş olduğu ve oldukça gözenekli bir yapı oluşturduğu gözlenmiştir [25].

Şekil 3.2’de gaz beton üretimi esnasında harcın kalıba dökülmesi ve kabarma süreci görülmektedir.



Şekil 3.2. Gaz beton üretiminde sulu harcın kalıba dökülmesi ve kabarma süreci [26].

3.4. GAZ BETONUN ÖZELLİKLERİ

Hafif beton, büyük ilgi uyandıran ve çok yönlü bir malzeme olarak kabul edilir. Son yıllarda çok çeşitli inşaat projelerinde, büyük endüstriyel yapılarda talep edilmeye başlanmıştır. Geleneksel (normal ağırlıklı agrega) betondan daha hafiftir [27].

Hafif beton yaklaşık 300 ila 2000 kg/m³'ü aşmayan kuru yoğunluk aralığına sahiptir. Yaklaşık 0,2 ila 1,0 W/mk termal iletkenliğe sahiptir. Bu değerler yaklaşık 2100–2500 kg/m³ olan normal ağırlıktaki betonlarla karşılaştırılabilir [28].

Hafif beton, inşaat da mükemmel bir ürün haline gelmiştir. 1000 ile 1600 kg/m³ arasında değişen yoğunluklarda yalıtım gibi avantajlar sunduğu için bu malzemeler, normal ağırlıktaki betona kıyasla ısı ve ses yalıtımında daha iyidir ve yangına karşı iyi koruma sağlar [29].

Normal olarak gaz beton, kum, kireç, çimento, alçı, su ve karışımından oluşur [30].

3.4.1. Gaz Betonun Fiziksel Özellikleri

Gaz beton malzemesinin yapısında 0,5-1,5 mm arasında küresel makro gözenekler bulunur. Gaz beton rengi, kullanılan silisli hammaddenin cinsine bağlı olarak beyaz, gri veya pembe renklerinde olabilir. Yaygın olarak kuvarsit kullanıldığı için renkleri beyazdır [31].

Fiziksel özellikleri;

- Özgül ağırlığı: Gaz beton malzemenin ortalama boşluksuz özgül ağırlığı 2,60 kg/dm³ 'dür [32].
- Porozite: Gaz betonun porozitesi (gözenekliliği) kuru yoğunluk ile ters orantılı olarak değişmektedir. Gaz beton kuru hacim ağırlığı-porozite oranları Çizelge 3.1'de verilmektedir.

Çizelge 3.1. Gaz beton porozite oranları [33].

Birim Hacim Ağırlığı (kg/m³)	Porozite (%)
310-400	85-88
410-500	81-85
510-600	77-81
610-700	73-77
710-800	69-73

- Isıl genleşme: Gaz betonun ısı genleşme katsayısı, 20-100 °C arasında 0,008 mm/m°C'dir.
- Erime noktası: Gaz beton, 1000 °C civarında sinterleşmeye başlar. 1100-1200 °C civarında da erimeye başlar.
- Ses yalıtımı: Birim alan ağırlıklarına göre ortalama ses yalıtım değerinin gaz beton malzemelerde diğer bazı yapı malzemelerine göre 2 Db daha yüksek olduğunu göstermektedir [34].
- Yangına karşı dayanım: Gaz betonun yangına dayanıklılığı sıradan betonlardan gibi ya da daha iyidir. Bunun nedeni gaz betonun sıradan betona göre daha homojen olması, sıradan betondaki kaba agreganın farklı oranlardaki genleşme, çatlama ve parçalanmalarıdır. Gaz betonun yanmadığı kabul edilir. Fakat 225-450 °C arasında basma mukavemetine etki etmeyen kılcal çatlaklar oluşmaktadır [35].

3.4.2. Gaz Betonun Kimyasal Özellikleri

- Gaz betonun kimyasal etkenlere karşı direnci, gaz beton alkali bir yapıya sahiptir ve pH değeri 9.5-11.0 arasında değişir. Bu bakımdan asidik ortamlardan olumsuz yönde etkilenir. Sülfürik asit, hidroklorik asit ve asetik asit malzeme yapısını bozarlar [36].
- Gaz betonun suda çözünme özelliği; gaz beton mukavemetini sağlayan hidro silikatlar suda çözülmezler. Ancak üretime giren diğer maddeler (kum, kireç, çimento veya su) suda çözülebilen tuzlar içerirlerse, ortam koşullarına göre bu tuzlar malzeme yüzeyinde kristalleşerek çiçeklenme yapabilirler [37].

3.4.3. Gaz Betonun Mekanik Özellikleri

Gaz betonun basma dayanımına etki eden faktörler arasında şekli ve boyutu, boşluk oluşturma yöntemi, beton yaşı, su miktarı, kütleme yöntemi yer alır. Basma dayanımı, gözeneklerin azalmasıyla beraber artan yoğunluk ile lineer olarak artmaktadır.

Gaz beton A1 sınıfı yanmaz yapı malzemesidir ve düşük gözenekli yapısı dolayısıyla çok düşük buhar geçirgenlik direncine sahiptir. Düşük ısı iletkenlik değeri yanında, düşük ısı nüfuz katsayısına sahip olması gaz beton ile yapılan yapıların beton veya tuğla gibi malzemelere göre ısı depolama yeteneği daha yüksektir. Farklı özelliklerdeki gaz betonların mekanik özellikleri Çizelge 3.2’de verilmiştir.

Çizelge 3.2. Gaz betonun mekanik özellikleri [38].

Malzeme mukavemet sınıfı	G2	G3	G4	
Ortalama basınç dayanımı (kgf/cm ²)	25	35	50	
En yüksek kuru birim hacim ağırlığı (kg/m ³)	400	500	600	700
Isı iletkenliği (W/mK)	0,15	0,17	0,20	0,23
Elastisite modülü (kgf/cm ²)	12500	17500	22500	27500

Basma mukavemeti: Basma mukavemeti, malzemeye aynı doğrultuda 2 farklı kuvvetin malzeme üzerinde basma etkisi oluşturacak şekilde uygulanması sonucunda malzemenin kırılmadan dayanabileceği maksimum gerilme miktarı olarak tanımlanır [39]. Gaz beton basma dayanımı sınıfları Çizelge 3.3’te verilmiştir.

Çizelge 3.3. Gaz beton basma dayanımı sınıfları (DIN 4165) [33].

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

3.5. GAZ BETONUN KULLANIM ALANLARI

Gaz beton yapı sisteminde donatılı gaz beton yapı malzemeleri kullanarak çok katlı yığma yapı inşa edilebilir. Gaz beton elemanları taşıyıcı duvar elemanı, döşeme elemanı, çatı elemanı ve lento olarak kullanılır. Gaz beton yapı sistemi deprem yönetmeliğinin belirlediği deprem bölgelerine göre 4 kata kadar yığma bina olarak inşaa edilmesi mümkündür [40].

Gaz betonun özellikle en yaygın kullanımı binaların dolgu duvarlarında kullanımındır. Fabrika türü yapıların duvarlarında yatay ve düşey duvar panelleri olarak kullanılabilirler. Her bir elemanın ayrıca montajı yapıldığından bina ne kadar yüksek olursa olsun yükseklik sınırı olmadan kullanılabilir. Gaz betonlar yangının çok önemli olduğu kimyasal malzeme üreten fabrikalar ve mobilya üreticileri gibi fabrikaların duvarlarında panel kullanımları yaygındır.

3.6. GAZ BETON BİLEŞENLERİ

Gaz betonun ağırlığının %60'ı katı malzemeler iken, geriye kalan %40'ı sudur. Gaz betonun bileşenleri üretilen gaz beton sınıfına göre değişmektedir. Çizelge 3.4'te kuru yoğunluğa göre gaz beton yaklaşık hammadde miktarları verilmiştir.

Çizelge 3.4. Kuru yoğunluğa göre gaz beton yaklaşık hammadde miktarları (1m³).

Hammaddeler ve Kuru Yoğunlukluklar	400 kg/m ³	500 kg/m ³	600 kg/m ³
Kuvars Kumu	210 kg	292 kg	352 kg
Sönmemiş Kireç	50 kg	62 kg	98 kg
Çimento	99k g	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

Geleneksel gaz beton üretiminde kullanılan malzemeler şunlardır;

- Kuvarsit ve alçıtaşı
- Sönmemiş kireç
- Çimento
- Alüminyum tozu
- Mineral katkı malzemeleri (uçucu kül, silis dumanı, perlit vb.) [33].

3.7. GAZ BETONUN SAĞLADIĞI YARARLAR

Yapı yükünün azaltılması, kullanılan donatı miktarında azalma ve daha büyük açıklıkların geçilebilmesini sağlamıştır. Bunun sonucu olarak inşaat maliyetinin düşüşü sağlanmıştır.

Gaz beton yapı sistemleri; prefabrik elemanlar yapımına olanak vererek inşaat yapım hızını arttırmakta, işçilik ve zamandan kazanç sağlanabilmektedir.

Gaz beton yapı ürünleri hafif olduğundan binanın taşıyıcılarına gelen yükü azaltır ve dolayısı ile bina taşıyıcıları tasarımda daha ince olarak tasarlanır [41].

Gelişmiş bir teknoloji ile üretilen gaz betonun gelişmiş kesim teknolojisi ile ölçüleri milimetrik hassasiyettir [42].

3.8. GAZ BETON İLE İLGİLİ LİTERATÜR

Gaz beton normal betona oranla daha iyi yalıtım değerine sahiptir. Bu nedenle mevcut diğer inşaat malzemelerinden daha değerlidir. Düşük yoğunluk çevre üzerinde olumlu etkilere sahiptir, çünkü daha düşük yoğunluk, daha fazla ürünün taşınması mümkün olmakta ve ayrıca daha az atık anlamındadır [43].

N. Narayanan ve K. Ramamurthy vd.'nin 2000 yılında yaptıkları çalışmaya göre, gözenek oluşturma ve kütleme yönteminin malzemenin mikroyapısında ve özelliklerinde önemli bir rol oynadığını, mekanik özelliklerin yoğunluktan etkilendiğini vurgulamışlardır [44].

Ayda S. Agar-Ozbek vd.'nin 2013 yılında yaptıkları çalışmaya göre, farklı ölçeklerde gözenekli betonların tasarlanması amaçlanmıştır. Çalışmalarında gözenekli betonun özelliklerini etkileyen çok sayıda faktör araştırılmıştır. Çalışmanın sonucunda, araştırılan tüm parametreler arasında, gözenekli betonun mekanik özellikleri üzerinde agrega özelliklerinin en baskın etkiye sahip olduğu belirtilmiştir. Bununla birlikte, yoğun makine sıkıştırması, çekici döndürerek her bir sıkıştırma ile partiküllerin oryantasyonu ve dolayısıyla gözenekliliğin beton numunelerin dayanımlarını iyileştirdiğini vurgulamışlardır. Gözenekli betonda kullanılan silis dumanının ise gözenekliliği küçülttüğü, çekme mukavemeti değerlerini bir miktar düşürdüğü belirtilmiştir [45].

BÖLÜM 4

PİRİNA

Pirina zeytinyağı fabrikalarının bir atığı olup Akdeniz ülkelerinde görülen önemli bir biyokütle çeşididir. Pirina atık bir madde olduğu için dikkate alınmaması durumunda ve diğer atıklar gibi uygun bir kullanımının olmaması halinde problem oluşturmaktadır [46].

4.1. DÜNYADA VE TÜRKİYE'DE ATIK PİRİNA DURUMU

Ülkemizde zeytinyağı sanayi sonucu oluşan katı atık pirina miktarı yılda yaklaşık 200.000 ton civarındadır. Günümüzde ülkemizde, halen pirinayı değerlendiren bir sanayi kolu mevcut değildir. Ticari olarak değerlendirilemeyen pirinanın bir kısmı yakıt olarak kullanılırken, büyük bir çoğunluğu da boş arazilere dökülmektedir. Bu durum çevre sorunu oluşturmaktadır [47].

4.2. PİRİNANIN KULLANIM ALANLARI

Günümüzde pirinanın kullanım yerleri ekstraksiyon fabrikalarında, zeytinyağı üretim bölgelerinde, zeytinyağı fabrikalarında, kireç ocaklarında, merkezi kalorifer sistemlerinde ve sanayi kuruluşlarında buhar, kızgın yağ kazanlarında yakıt olarak kullanılmaktadır [48].

Yağsız kuru pirina, 2800 kcal/kg alt ısı değerinde olup, yakıt olarak kullanımını ülke ekonomisine katkıda bulunacaktır. Ayrıca son yıllarda yapılan çalışmalarla pirinanın çok değişik alanlarda kullanılabileceği öngörülmektedir [49].

4.3. PİRİNANIN GENEL BİLEŞİMİ

Çizelge 4.1’de Osmaniye ili, Yıldız Zeytin Yağı fabrikasında çalışmada kullanılan pirinanın ph, bakır, demir, çinko, kurşun, krom, nitrat, nikel, kadmiyum, toplam fosfor, toplam azot miktarları analiz sonuçları verilmiştir.

Çizelge 4.1. Yıldız zeytinyağı fabrikası’ndan alınan pirina örneğine ait analiz sonuçları.

Parametreler	Değerler (mg/l)
pH	5.70
İletkenlik	2260 μ s/cm
Bakır	< 0.1 (0.01)
Demir	< 0.2 (0.12)
Çinko	< 0.2 (0.067)
Kurşun	< 0.1 (0.045)
Krom	< 0.03 (0.028)
Nitrat	< 22 (10.4)
Nikel	< 0.1 (-)
Kadmiyum	< 0.024 (-)
Toplam Fosfor	17.44
Toplam Azot	193.2

BÖLÜM 5

ÜÇ BOYUTLU YAZICI (3D PRINTER)

Üç boyutlu yazıcı (3B Printer), 3 boyutlu bilgisayar datasını katı, eli ile tutulabilecek gerçek nesnelere dönüştüren bir makinedir. Bu teknolojiyle birçok geometriye sahip parçalar üretilebilmektedir [50].

3B yazıcılar genel olarak, nesnelerin bilgisayar modellerini 3 boyutlu olarak yazdırır. Farklı malzemeler kullanılarak katman katman baskı yapılmaktadır. 3B baskı teknolojilerinde farklı malzemeler kullanıldığı için farklı yapılarda 3 boyutlu yazıcılar vardır [51].

5.1. 3B YAZICI KULLANIM ALANLARI

Üç boyutlu yazıcılar, sektörün birçok alanında yaygınlaşmıştır. Tıp, uzay ve havacılık, kalıpcılık, otomotiv, dişçilik, askeri donanım, mimari, kişisel araç gereç, heykeltçilik, kuyumculuk ve eğitim alanına kadar pek çok farklı alanda kullanılmaktadır [52].

Günümüzde ise 3 boyutlu yazıcılar evlerimizde, kendi tasarımlarımızı, ihtiyaç duyduğumuz parçaları ve birçok ürünü üretmemize imkân oluşturmaktadır. İnşaat sektöründe de yerini almış olan 3 boyutlu yazıcılar ile daha hızlı ve maliyeti düşük olan evlerin inşası mümkün olmaktadır [53].

5.1.1. 3B Yazıcıların İnşaat Sektöründe Kullanımı

3B yazıcı teknolojisi, günümüzün en önemli gelişmelerinden biridir. Yapı endüstrisinde bu teknoloji benimsenmekte ve büyük ölçekte üretimlerde kullanması

Hedeflenmektedir. 3B beton yazıcı teknolojisi ile hem mimari hem de yapısal tasarımda özgürlük sağlayan, düşük maliyetli ve yüksek hızlı inşaat yöntemi sunmaktadır [54].

İnşaat sektörü teknolojiye ihtiyaç duymaktadır. İnşaat projelerinin uzun zamanlar alması ve maliyetinin çok büyük olması nedeniyle son yıllarda 3B yazıcı kullanımı önemini arttırmıştır. 3B yazıcılar hızlı üretim sağlayabilmesi ve insan vücuduyla kıyaslandığında 7 gün 24 saat çalışabilmesiyle inşaat sektöründeki bu beklentilere cevap vermektedir. Bunun yanı sıra inşaat sektörü çevreyi ciddi anlamda kirletmesiyle bilinir. Normal inşaat ile 3B yazıcı kullanan inşaat karşılaştırıldığında 3B baskı, malzeme israfını ve çevre kirliliğini azaltmaktadır [55].

5.1.2. Mimari Yapılarda 3B Yazıcıların Katkısı

Gelişen teknoloji ile birlikte sürekli yenilenen mimarlık alanında üç boyutlu yazıcılar önemli bir yer tutmaktadır. Üç boyutlu yazıcı teknolojisi ile mimari anlamda etkili çözümler üretilmektedir. Bunlar; maket yapımı, ürün ve mekan tasarımı ve ayrıca daha büyük ebatlı, serbest ve karmaşık yapılarda üretilebilmektedir [56].

Üç boyutlu yazıcı ile baskı detayı yüksek olan tasarımlar, kompleks cepheler, çevresel elemanlar (araba, ağaç, insan) ve çatı tasarımları ile ilgili baskıları almak kolaylaşmıştır [57].

Mimarlıkta genellikle etkileyici yapıların karmaşık tasarımları bulunmaktadır. Birçok tasarım, mimarın stilini temsil eden sanatsal bir yorumu göstermektedir. Bütün bu sanatsallığın içinde 2 boyutlu çizimler, bir yapının son halinin nasıl görüneceği hakkında fazla bilgi vermez. Bu yüzden mimarlar tasarımlarını göstermek için konsept modellere ihtiyaç duyarlar. Geçmişte konsept modeller üretmek uzun ve zahmetli bir iş olsa da bugün, tüm bu süreç mimarlar için çok daha kolay, daha ucuz ve daha hızlı hale gelmiştir.

BÖLÜM 6

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu bölümde, çalışmada kullanılan malzemeler, bu malzemelerin fiziksel özellikleri, gaz beton üretiminde kullanılan karışım oranları ve hesapları ile deneysel çalışmalarda kullanılan cihazlar ve uygulanan testler açıklanmıştır.

Gerçekleştirilen çalışmada, gaz beton çalışmaları hakkında bir literatür araştırması yapılmış ve belirtilen yöntemlerle farklı fiziksel özellikli gaz betonların üretimi yapılabileceği düşünülerek pirina katkılı seçenekler üzerinde durulmuştur. Denemelerde kabarma sağlayarak boşluk oluşturucu olarak alüminyum tozu ve sönmemiş kireç katkısı ile gaz beton üretim yöntemleri araştırılmıştır. Araştırmada kabarmayı sağlayıcı yöntemler olarak Hauser ve Karakurt tarafından deneysel çalışmalarda kullanılan yöntem izlenmiştir [7,8].

Buna göre gaz beton bileşenleri oda şartlarında belli miktarda su ile harç oluşturulup kalıplara yerleştirilmiştir. Beton oluştuktan sonra 200 °C'de doymuş buhar basıncı altında birkaç saat kür edilmiştir. Oldukça gözenekli yapı oluştuğu belirtilmiştir.

6.1. KULLANILAN KİMYASAL MALZEMELER

Bu çalışmada, sönmemiş kireç, alçı taşı, çimento, baca külü, Al tozu, seyreltilmiş hcl-su karışımı, sertlik ve iyi mukavemet açısından %10, %20, %40 oranlarında pirina malzemesi kullanılmıştır.

- Çimento: Otoklavlanmamış gaz beton numuneleri hazırlanırken, bağlayıcı işlevinin gerçekleştirilmesi amacıyla TS EN 197-1 standartlarında III/A 32,5 N

- Standardına uygun Cem çimentosu kullanılmıştır. Çimento Karabük Kardemir'in yan ürünü olan Karçimsa tesisinden temin edilmiştir.
- Sönmemiş Kireç (cao): Hazırlanan karışımlarda toz halindeki eleme işlemi gerçekleştirilen sönmemiş kireç kullanılmıştır. Sönmemiş kireç, açığa çıkardığı ısıyla birlikte karışımdaki alüminyum tozları ile reaksiyona girerek, gaz boşluklarının oluşmasını sağlamaktadır [58].
- Alüminyum Tozu: Numunelerin üretiminde %99.9 saflık derecesinde ve nano boyuttaki Al tozu ticari piyasadan temin edilmiştir. Alüminyum tozu genişletirici olarak kullanılmıştır.
- Alçı Tozu: Numunelerin hazırlanmasında toz alçı kullanılmıştır. Alçı tozu piyasadan temin edilmiştir.
- Baca Külü: Karabük Kardemir'in yan ürünü olan Karçimsa tesisinden temin edilmiştir. Kömürün yanması ile açığa çıkan küllerin %20-25'i ocak tabanında birikirken, %75-80'i bacadan dışarıya çıkmaktadır. Bacadan çıkan bu küllere "uçucu kül" adı verilmektedir [59]. Baca külü mukavemet artırıcı özelliğinden dolayı tercih edilmiştir.
- Pirina: Atık zeytin posalarının diğer adıyla pirina Osmaniye Yıldız Zeytinyağı Fabrikasından temin edilmiştir. Pirinanın kullanılma amacı gaz beton numunenin mukavemetini artırmaktır. Aynı zamanda geri dönüşüm olarak değerlendirmektir.
- HCl: Hidroklorik asit Alüminyumla tepkimeye girerek H₂ gazı açığa çıkarır.
(Al + 3HCl → AlCl₃ + 3/2H₂).
HCl gaz beton numunenin içinde boşluk oluşturmak için kullanılmıştır.
Çalışma kapsamında, piyasadan % 37'lik HCl temin edilmiştir.

6.2. NUMUNE HAZIRLAMA

Bu tez çalışmasında kimyasal yöntemle 3 farklı oranda (%10, %20 ve %40) pirina takviyeli beton numunesi 2 farklı kalıpta (hazır plastik küp kalıp ve 3B yazıcı teknolojisi ile üretilen içi boşluklu küp kalıp) bekletilerek gaz beton üretimi gerçekleştirilmiştir. Gaz beton üretiminde basma dayanımını artırmak amacıyla çimento/su oranı düşük seviyede 0,31-0,50 arasında tutulmuştur. Test numunelerinin üretiminde %12,5 oranında seyreltik HCl-Su karışımı kullanılmıştır. Ayrı ayrı %10, %20 ve %40 oranında pirina takviye edilerek, herbirinden 3'er karışım elde edilmiş, plastik küp kalıplara konularak 24 saat 75 °C'de etüv fırında bekletilmiştir. Çizelge 6.1'de numune üretiminde kullanılan kimyasal malzemelerin oranları verilmiştir.

Çizelge 6.1. Gaz beton üretiminde kullanılan malzeme oranları.

	%10 Prinali	%20 Prinalı	%40 Prinalı
Prina (gr)	100gr	200gr	400gr
Çimento (gr)	400gr	350gr	250gr
Sönmemiş Kireç (gr)	400gr	350gr	250gr
Alçı taşı (gr)	50gr	50gr	50gr
Uçucu Kül (gr)	50gr	50gr	50gr
Al tozu (gr)	2,5gr	2.5gr	2.5gr
HCl-Su (ml)	800ml	800ml	800ml

Hafif beton bileşimlerini hazırlarken ilk olarak pirina ve sönmemiş kireç toz karışımı kullanıma uygun boyutlara getirilmiştir. Pirina 154 mikron (μm) gözenek boyutuna sahip elekte elenmiştir. Eleme işlemi için LOYKA-ESM-200 cihazı kullanılmıştır. Şekil 6.1'de eleme işlemi için kullanılan titreşimli elek gösterilmiştir.



Şekil 6.1. Pirina elemek için kullanılan titreşimli elek.

Pirina, çimento, uçucu kül, alçı tozu karışımı Çizelge 6.1’de verilen oranlarda Betoniyer harç karma makinesinde karıştırılmıştır. Böylece karışımın daha homojen olması sağlanmıştır. Harç karma makinası Şekil 6.2’de gösterilmiştir.



Şekil 6.2. Betoniyer harç karma makinası.

Betoniyerle ön doyurma işlemi için belirlenen su miktarının $2/3$ ’ü ilave edilerek kıvam alana kadar karıştırılmıştır. Kalan su miktarı Al tozu ile birlikte karıştırılıp ortama bu şekilde ilave edilmiş ve karıştırma işlemine devam edilmiştir. Homojen bir karışım elde edildikten sonra karıştırma işlemi sonlandırılmıştır. Gaz betonun sertlik ve mukavemeti düşünüldüğünden yoğun bir kıvam elde edilmiştir. Karışım kıvamı Şekil 6.3’te gösterilmiştir.



Şekil 6.3. Gaz beton homojen karışımı.

Hazırlanan gaz beton karışımı ilk yöntem olan 10x10x10 cm ebatlarındaki küp kalıplara yerleştirilmiştir (Şekil 6.4).



Şekil 6.4. Gaz beton karışımının küp kalıplara doldurulması.

Kompozit gaz beton malzemesi ile doldurulan kalıplar Karabük Üniversitesi Isıl İşlem Laboratuvarında RK-55 etüv fırınına yerleştirilmiştir. 24 saat 75°C etüv fırınında bekletildikten sonra fırından alınan numuneler, buhar kürü için Karabük Üniversitesi Orman Fakültesi Fitopatoloji laboratuvarında yer alan Nüve Steam Art OT 90L otoklav fırınında 1 saat boyunca doymuş atmosfer basıncında 105°C sıcaklıkta otoklavlama işlemine tabi tutulmuştur. Otoklavlama işlemi için kullanılan kür fırını Şekil 6.5’de gösterilmiştir.



Şekil 6.5. Nüve laboratuvar tip otoklav cihazı.

Bu işlemlerden sonra gaz beton numunede bir miktar daha kabarma gözlemlenmiştir (Şekil 6.6). Otoklav ile kür işleminden sonra gaz beton numunelerinin fiziksel ve mekanik özelliklerinin belirlenmesi için testlere tabi tutulmuş ve mikro yapısının incelenmesi için SEM görüntüleri alınmıştır.

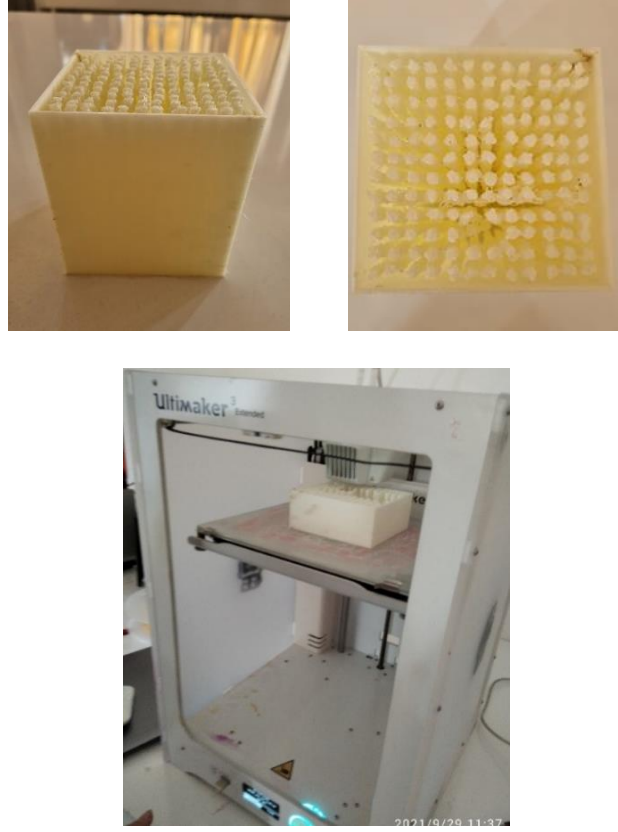


Şekil 6.6. Gaz beton döküm hamurunun kabarması.

Çalışmanın 2. Aşamasında ise 3 boyutlu yazıcıda üretilen boşluklu kalıplara gaz beton karışımının doldurulmasıyla numune üretimine geçilmiştir. İlk yöntemde uygulanan karışımlar ve işlemler aynı olarak burdada kullanılmış olup tek farkı kullanılan küp kalıbın 3 boyutlu yazıcıda üretilmiş olmasıdır.

Bu aşamada önceden 3 boyutlu bir katı model programında çizilen 10x10x10 cm boyutundaki gözenekli numune katı modeli STL formatında kaydedilmiştir. STL model dilimleme işlemine tabi tutulmuş ve yazıcı arayüz programında G-kodları oluşturulmuştur. G-kod dosyası kullanılarak Karabük Üniversitesi Endüstriyel

Tasarım Mühendisliği laboratuvarlarında yer alan 3B yazıcı kullanılarak PVA malzemeden boşluklu kalıplar üretilmiştir. Kalıp üretiminde kullanılan Ultimaker S3 Extended 3B yazıcı ve üretilen kalıplar Şekil 6.7’de, parçanın yazdırılmasında kullanılan parametreler ise Çizelge 6.2’de gösterilmiştir.



Şekil 6.7. Üretilen 3B yazıcı kalıp ve 3B yazıcı makinesi.

Çizelge 6.2. 3B yazıcıda kullanılan yazdırma parametreleri.

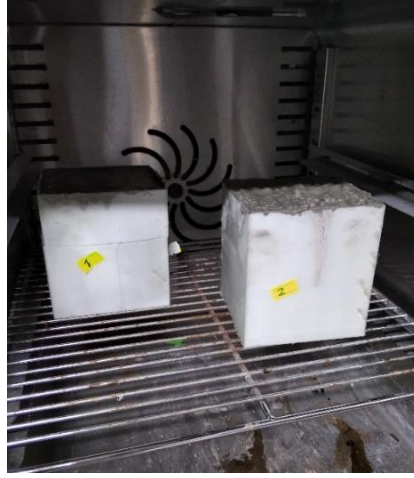
Basılan numune boyutları	100x100x100mm
Gözenek boyutu	2mm
Doluluk oranı	%5
Baskı Malzemesi	PVA
Baskı Hızı	35mm/s
Katman yüksekliği	0.15mm
Baskı nozul sıcaklığı	215°C
Baskı yatağı sıcaklığı	60°C
Kullanılan malzeme miktarı (1 numune için)	39,64m
Baskı süresi (1 numune için)	3 gün 13 saat

Hazırlanan gaz beton karışımları 10x10x10 cm boyutundaki boşluklu küp kalıplara doldurulmuş (Şekil 6.8), 75°C’de 1 gün etüv fırınında kurutulmuştur (Şekil 6.9). Daha sonra otoklavda 105°C’de doymuş buhar basıncında bekletilmiştir. Son aşamada beton numuneler, PVA kalıbın çözülüp dağılarak betondan ayrılması için su içinde bekletilmiştir.

3B yazıcı ile 10x10x10 cm ebatlarında üretilen gaz beton numunelerinden her seri (%10 pıralı, %20 pıralı, %40 pıralı) için 3’er adet toplamda 9 küp numune kalıbı kullanılmıştır. PVA malzemeden üretilen ve içi gaz beton karışımıyla doldurulan 3B baskı kalıplar PVA malzemenin çözünmesi için su dolu kap içerisinde 3 hafta bekletilmiştir. Suda bekletme işleminde numunelerin çözülme aşaması Şekil 6.10’da gösterilmiştir.



Şekil 6.8. Numunelerin 3B boşluklu kalıplara yerleştirilmesi.



Şekil 6.9. Numunelerin etüvde kurutma işlemi.



Şekil 6.10. PVA plastik kalıbın suda çözünme aşaması.

6.3. UYGULANAN TESTLER

6.3.1. Birim Hacim Ağırlığı Ölçümü

Birim hacim ağırlıklarının tespiti için ilk yöntem olarak; ölçüleri 35x10mm (R=35 mm, h=10mm) olan silindirik silikon kalıplarda her seri için (%10 pıralı, %20 pıralı, %40 pıralı) üç adet, toplamda 9 adet numuneden ölçüm işlemi gerçekleştirilmiştir. Numuneler hassas terazide tartılarak Eşitlik 6.1’de yerine yazılmış, kuru birim hacim ağırlıkları belirlenmiştir. Formülde bulunan S_k ; Sertleşmiş gaz betonun birim hacim ağırlığını (kg/m^3), W ; Numunenin etüv kurusu ağırlığını (kg), V ; Numune hacmini (m^3) ifade etmektedir.

$$S_k = W/V \quad (6.1)$$

Diğer bir yöntemde; sertleşmiş gaz betonun birim hacim ağırlığı, hassas terazi yardımı ile bulunmaktadır. Bu kapsamda, hassas terazi yardımıyla malzemenin suyun içinde değerler sabitlenene kadar 1 saat bekletilerek malzeme yoğunluğu hesaplanmıştır. Elektronik hassas terazi markası Precisia XB 220A Şekil 6.11’de gösterilmiştir.



Şekil 6.11. Elektronik hassas terazi.

6.3.2. Basma Testi

TS EN 679'a göre kp gaz beton malzemelerin basma mukavemeti, basma testi cihazında (MTS 100 kn servohidrolik dinamik test cihazı) tespit edilmiştir. Malzemenin basma mukavemetini ölçmeden önce 10x10x10 cm boyutlarındaki beton numunelerin ağırlıkça %10 neme erişinceye kadar kuruması sağlanmıştır [60]. Kullanılan basma testi cihazı Şekil 6.12'de verilmiştir.



Şekil 6.12. Basma testi cihazı.

6.3.3. Sertlik Testi

Malzemenin kabarma aşamasından sonra, sertleşmesinin kontrol edilmesi amacıyla sertlik testi yapılmaktadır. Beton yüzey sertliği testi ile yaklaşık beton dayanımının tayini için Beton Test ekici PCE-HT 225A (N/mm^2 beton yüzey sertliği) kullanılmıştır (Şekil 6.13).



Şekil 6.13. Beton test ekii (Schmidt ekii).

6.3.4. SEM Analizi

Taramalı elektron mikroskobu (SEM), numune yüzeyini nano ölçeğe kadar analiz etmek için bir elektron ışını probunu kullanan, yüksek çözünürlükte tahribatsız bir malzeme muayene tekniğidir. Malzemelerin hem topografik hem de içerik analizini sağlamaktadır [32].

%10, %20, %40 pirina katkılı gaz beton numunelerinin SEM analizleri, Karabük Üniversitesi'ne ait MARGEM Araştırma Laboratuvarı'nda yapılmıştır. Beton numunelerin SEM görüntüsü için Zeiss Ultra Plus Scanning Elektron Mikroskop (SEM) cihazı kullanılmıştır. SEM cihazı Şekil 6.14'de verilmiştir.



Şekil 6.14. Zeiss ultra plus scanning elektron mikroskop (SEM).

BÖLÜM 7

DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Çalışmada 3 farklı oranda (%10, %20 ve %40) pirina kullanılarak 2 farklı yöntemle (kimyasal yöntem ve 3B yazıcı teknolojisi ile) gaz beton numuneler oluşturulmuştur. Elde edilen numuneler için birim hacim ağırlığı ölçümü, basma testi, sertlik testi ve SEM analizleri sonuçları verilmiştir.

7.1. BİRİM HACİM AĞIRLIĞI ÖLÇÜMÜ

Çizelge 7.1’de ilk yöntem olan kuru birim hacim ağırlığı yöntemi ile ölçülen ve Eşitlik 6.1’e göre hesaplanan numunelerin etüv kuru birim hacim ağırlığı (yoğunluk) bilgileri verilmiştir.

Çizelge 7.1. Numunelerin birim hacim ağırlıkları (yoğunluk).

Numune	Numunenin Etüv Kuru Ağırlığı (g)	Numune Hacmi (cm ³)	Gaz Betonun Birim Hacim Ağırlığı (kg/m ³)	Gaz Betonun Birim Hacim Ağırlığı Ortalaması (kg/m ³)
%10 Pirinalı/1	8,58	8,138	1050	894
%10 Pirinalı/2	9,98	10,174	980	
%10 Pirinalı/3	8,14	12,501	651	
%20 Pirinalı/1	12,72	12,208	1041	869
%20 Pirinalı/2	8,53	9,075	939	
%20 Pirinalı/3	6,83	10,890	627	
%40 Pirinalı/1	11,06	10,677	1035	864
%40 Pirinalı/2	8,52	9,075	938	
%40 Pirinalı/3	7,47	12,038	621	

Çizelge 7.1’de %10, %20 ve %40 pıralı numunelerin birim hacim ağırlık ortalamaları karşılaştırıldığında değerlerin 864-894 kg/m³ arasında olduğu görülmektedir. Hafif beton, TS EN 260-1 standardına göre etüv kurusu yoğunluğu 800-2000 kg/m³ aralığındaki beton olarak tanımlanır. Taşıyıcı hafif beton ise, Amerikan Beton Enstitüsü tarafından yayınlanan ACI 213R-87 raporuna göre, hava kurusu birim hacim ağırlığı 1440-1850 kg/m³ arasında olan ve 28 günlük basma dayanımı en az 17.2 mpa olan beton olarak tanımlanmıştır. Birim ağırlıkları genellikle 800 kg/m³ 'ten az olan betonlar, düşük dayanımlı yalıtım veya dolgu betonu olarak ifade edilir [60].

Buna göre yukarıdaki tanımlamalar karşılaştırılırsa ürettiğimiz beton hafif beton tanımına girmektedir. Diğer yöntem olan Elektronik hassas terazi kullanılarak numunelerin belirlenen yoğunlukları Çizelge 7.2’de verilmiştir.

Çizelge 7.2. Numunelerin kuru birim hacim ağırlıkları.

Numune	Gaz Betonun Birim Hacim Ağırlığı (kg/m ³)	Gaz Betonun Birim Hacim Ağırlığı Ortalaması (kg/m ³)
%10 Pıralı/1	1376	1350
%10 Pıralı/2	1324	
%20 Pıralı/1	1311	1267
%20 Pıralı/2	1224	
%40 Pıralı/1	1219	1205
%40 Pıralı/2	1191	

Gaz beton içi hava dolu olduğu için hafif ve yoğunluğu düşük bir malzemedir. Gaz beton yoğunluğu 350 kg/m³'ten başlar. Bu değerler betonda 2400 kg/m³'tür. Çizelge 7.2’de etüv kurusu yoğunluklarının ortalama 1205-1350 kg/m³ civarında olduğu görülmektedir.

Çizelge 7.1 ve Çizelge 7.2’deki birim hacim ağırlık ortalama değerleri karşılaştırıldığında, formül yoluyla bulunan değerlerin daha düşük değerler olduğu görülmektedir. Suda bekletme yöntemiyle bulunan değerlerin doğruluğu daha yüksektir. Bu nedenle 1205-1350 kg/m³ aralığındaki değerlerden, gaz beton

standartlarına uygun olduğu ve inşaat uygulamalarında gaz beton olarak kullanılabilceği sonucuna varılmıştır.

İlk yöntemdeki 3 farklı oranda pirina içeren karışımlarda pirina oranı artıkça imento miktarındaki azalmaya da bağlı olarak numunenin etüv kurusu yoğunluğu azaldığı görülmüştür. Çimento oranının azalması yoğunlukta azalmaya neden olduğu için daha düşük yoğunluk oranına sahip gaz beton numuneler elde edilmiştir.

7.2. BASMA TESTİ

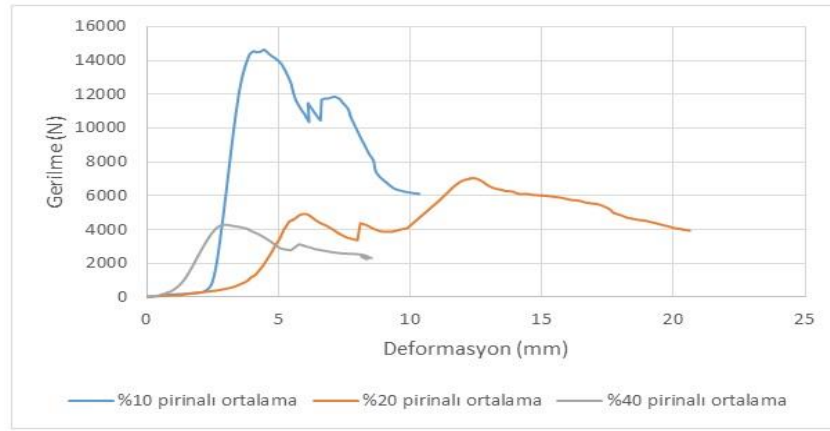
Basma mukavemeti, maksimum kuvvet deperinin (P_{max}), kesit alanına (A_o) bölünmesiyle elde edilmektedir [61].

$$\text{Basma dayanımı } (\sigma_b) = P_{max} / A_o \text{ (N/mm}^2\text{)} \quad (7.1)$$

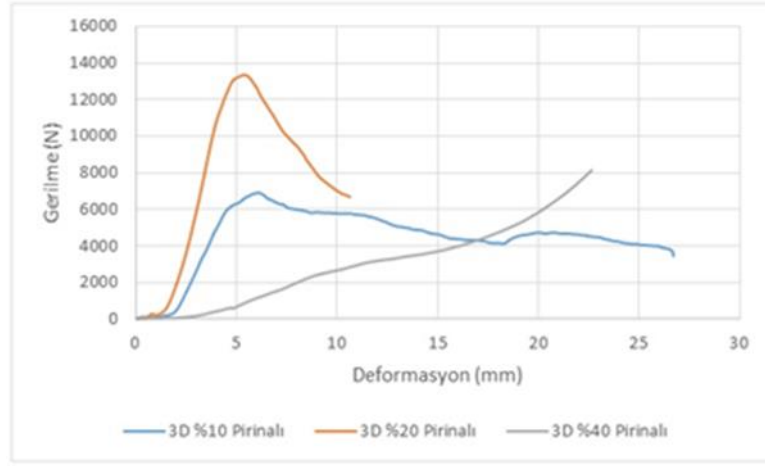
Deney sonucunda elde edilen basma kuvvetleri ve Eşitlik 7.1' den hesaplanan basma mukavemeti değerleri izelge 7.3'te verilmiştir. Çimento- pirina katkı oranlarının, sertleşmiş gaz beton numunelerinin basma dayanımı değerleri üzerine etkisi karşılaştırıldığında; 1. Grup numuneler için şekil 7.1'de, 2. Grup numuneler için şekil 7.2'de ve tüm karışımların basma dayanımı karşılaştırılması ise şekil 7.3'de verilmiştir.

Çizelge 7.3. Basma dayanım test sonuçları.

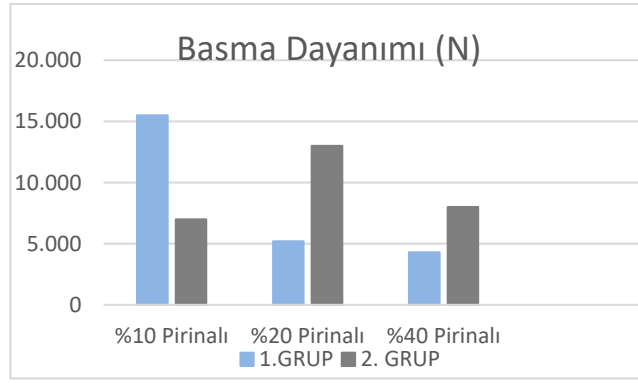
Grup	Numune	Kesit Alanı (mm ²)	Dayanıma Ulaştığı Max. Kuvvet (N)	Ortalama Basma Dayanımı (mpa)
Birinci Grup	%10 PR-1	10000	18500	1,55
	%10 PR-2	10000	16100	
	%10 PR-3	10000	12000	
	%20 PR -1	10000	8000	0,51
	%20 PR-2	10000	4800	
	%20 PR-3	10000	2750	
	%40 PR-1	10000	4500	0,43
	%40 PR-2	10000	4500	
	%40 PR-3	10000	4100	
İkinci Grup	3B-%10-1	10000	7000	0,70
	3B-%20-1	10000	13000	1,30
	3B-%40-1	10000	8000	0,80



Şekil 7.1. Birinci grup karışımlar için basma dayanımı karşılaştırılması.



Şekil 7.2. İkinci grup karışımları için basma dayanımı karşılaştırılması.



Şekil 7.3. Hazırlanan tüm karışımların basma dayanımı karşılaştırılması.

Üç farklı oranda pirina takviye edilerek (%10, %20 ve %40) ve 2 farklı kalıp kullanarak (normal hazır kalıp ve 3B yazıcı ile üretilen boşluklu kalıp) üretilen gaz beton numunelerine TS EN-649 standardına göre uygulanan basma testlerinin sonuçları elde edilmiştir. Şekil 7.1’de verilen Birinci Grup basma testi grafiklerine göre normal kalıplama yöntemiyle üretilen numunelerde pirina takviye oranı arttırıldıkça numunelerin basma dayanımlarının azaldığı görülmüştür. 3B yazıcıyla üretilen boşluklu kalıpta hazırlanan ikinci grup numunelerde ise pirina takviyesinin artmasıyla malzemenin basma dayanımının önce artıp daha sonra tekrar azaldığı görülmektedir. 1. Yönteme göre üretilen numunelerde en yüksek basma gerilmesi %10 pirinalı numunelerde 1,55 MPa elde edilirken, en düşük basma gerilmesi değeri %40 pirinalı numunelerde 0,43 MPa olarak ölçülmüştür. 2. Yönteme göre üretilen numunelerde ise en yüksek basma gerilmesi değeri %20 pirinalı numunede 1,3 MPa

olarak elde edilirken, en düşük basma gerilmesi %10 pıralalı numunelerde 0,7 MPa olarak tespit edilmiştir.

2. Yönteme göre basma gerilmesi değerleri literatür değerleri ile karşılaştırıldığında belli bir orana kadar yapılan pırına takviyesinin kompozit gaz beton yapısının mukavemetini arttırdığı, ancak takviye oranı arttırıldıkça mukavemetin düşmesine neden olduğu söylenebilir.

7.3. SERTLİK TESTİ

Şekil 7.4'te Schmidt beton test çekici Çizelge 7.4'te ise numune yüzeyine uygulanan Schmidt çekici testi sonucunda okunan batma miktarına göre sertlik değerleri gösterilmiştir.



Şekil 7.4. Schmidt beton test çekici.

Çizelge 7.4. Numunelerin yüzeyine uygulanan Schmidt sertlik değerleri.

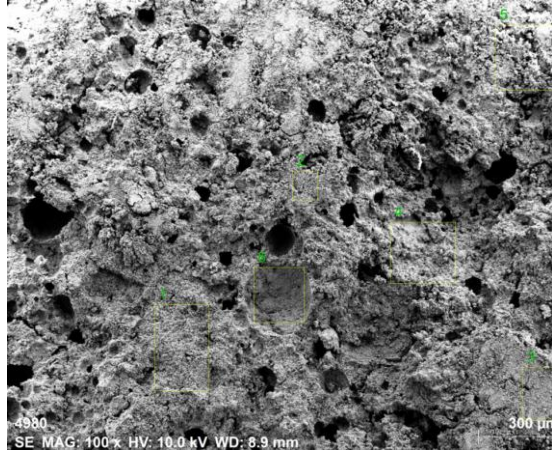
Numune	Hazır kalıpta üretilen Numunenin Yüzey Sertlik Ölçüm Ortalaması (N/ mm ²)	3B Yazıcı İle Hazırlanan boşluklu kalıpta Üretilen Numunenin Yüzey Sertlik Ölçüm Ortalaması (N/ mm ²)
%10 Pirinalı	5	8
%20 Pirinalı	6	10
%40 Pirinalı	7	12

Çizelge 7.4'te beton numunelerinin sertlik özelliği sonuçları verilmiştir. Pirina oranı artışı ile sertlik değeri oranı değişimini gösteren çizelge incelendiğinde, pirina oranı artışı ile yüzey sertliğinin de arttığı görülmektedir.

7.4. SEM ANALİZİ

Taramalı elektron mikroskopisi (SEM) ile hafif betonda topografik ve içerik analizi uygulaması yapılmıştır.

Şekil 7.5'de verilen SEM görüntüsü incelendiğinde, malzemenin makro boşluklu ve düzenli bir yapıda olduğu görülmektedir. SEM görüntüleri incelendiğinde gaz beton numuneleri pirina miktarının artmasıyla mikro boşluklu yapının azaldığı %10 pirinalı numunenin sonuçlanan boşluk oranının diğer numunelere göre daha fazla olduğu görülmektedir. %20 oranında pirina katkılı gaz beton numunesinin %10 pirinalı numuneye oranla daha az mikro boşluklu yapıda olduğu %40 oranında pirina katkılı numunede mikro boşluklu yapının daha da azaldığı görülmektedir.

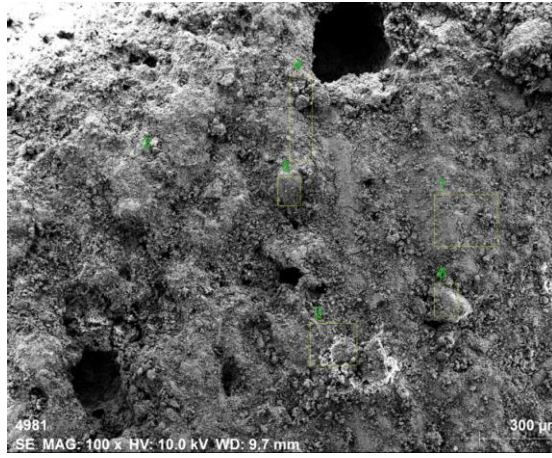


Atomic percent (%)

Spectrum	C	O	Mg	Al	Si	S	Ca	Fe
1	4.34	65.41	0.12	0.00	0.24	0.00	29.45	0.43
2	7.86	63.09	0.22	0.40	2.63	0.53	24.24	1.02
3	4.33	67.51	0.44	0.00	0.76	0.11	26.85	0.00
4	7.83	65.51	0.99	0.51	2.08	1.18	21.03	0.87
5	9.05	60.41	0.38	0.85	3.64	0.39	24.70	0.58
6	2.13	66.64	0.60	0.04	2.17	1.23	24.87	2.33

Mean value: 5.92 64.76 0.46 0.30 1.92 0.57 25.19 0.87
 Sigma: 2.71 2.60 0.31 0.35 1.24 0.52 2.81 0.80
 Sigma mean: 1.10 1.06 0.13 0.14 0.51 0.21 1.15 0.33

a)

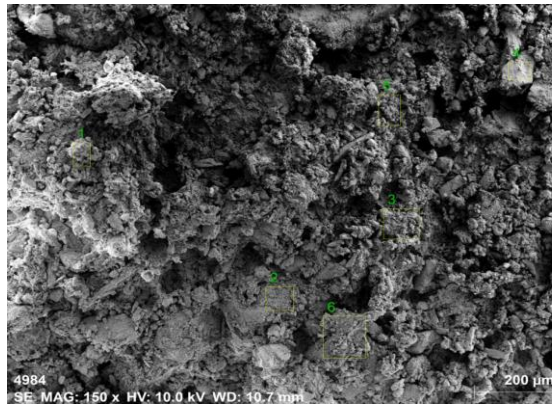


Atomic percent (%)

Spectrum	C	O	Mg	Al	Si	S	Ca	Fe
1	10.99	63.08	0.00	0.74	0.64	0.48	22.47	1.60
2	9.16	59.95	0.40	0.78	3.32	0.93	23.75	1.71
3	7.29	60.83	0.86	0.48	2.29	0.33	24.83	3.09
4	11.70	55.95	0.00	0.24	2.90	0.90	23.43	4.88
5	3.57	63.59	0.18	0.00	1.72	1.26	29.68	0.00
6	21.99	59.81	0.43	0.48	0.97	0.00	16.32	0.00

Mean value: 10.78 60.54 0.31 0.45 1.97 0.65 23.41 1.88
 Sigma: 6.22 2.75 0.33 0.30 1.06 0.46 4.30 1.88
 Sigma mean: 2.54 1.12 0.13 0.12 0.43 0.19 1.76 0.77

b)



Atomic percent (%)

Spectrum	C	O	Mg	Al	Si	S	Ca	Fe
1	29.71	51.58	0.00	0.63	3.56	3.78	10.73	0.00
2	37.71	50.28	0.00	0.59	2.85	2.30	6.28	0.00
3	33.11	51.21	0.27	0.48	3.28	3.35	7.34	0.95
4	20.35	60.09	0.42	0.00	0.73	8.71	9.70	0.00
5	25.00	55.17	0.00	0.27	5.38	4.13	9.55	0.51
6	15.15	66.97	0.05	2.19	0.00	0.66	14.97	0.00

Mean value: 26.84 55.89 0.12 0.69 2.63 3.82 9.76 0.24
 Sigma: 8.34 6.53 0.18 0.77 1.97 2.70 3.04 0.40
 Sigma mean: 3.41 2.66 0.07 0.31 0.80 1.10 1.24 0.16

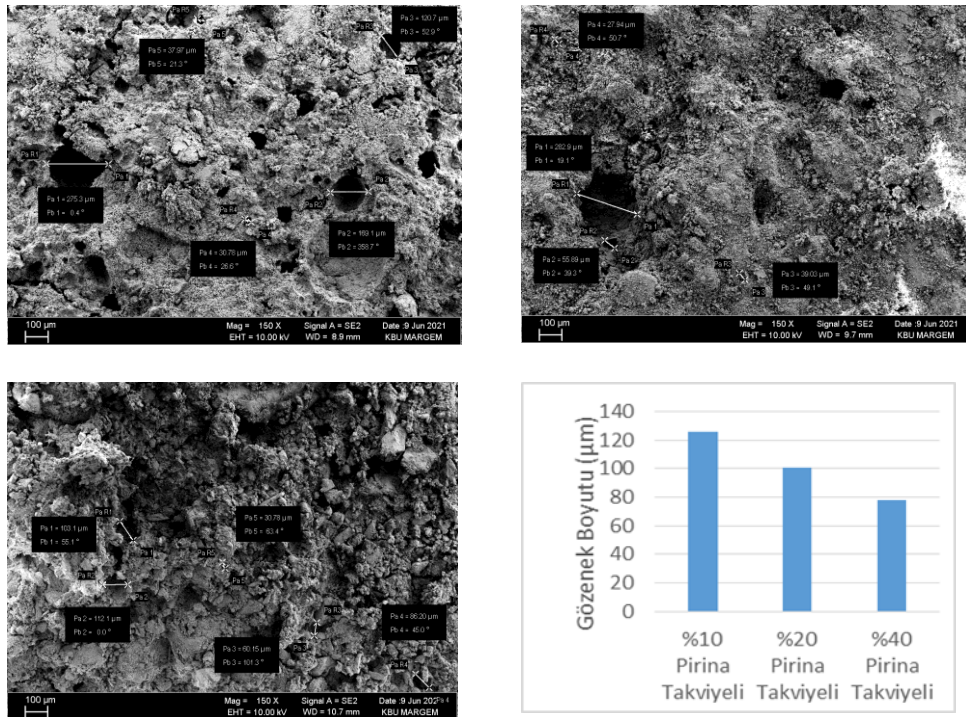
c)

Şekil 7.5. Pirina katkıli gaz beton numunelerinin mikroyapı görüntüsü ve EDS analizleri, a) %10 pirina ikameli, b) %20 pirina ikameli, c) %40 pirina ikameli numune mikroyapıları.

EDS analizleri değerlendirildiğinde ise pirina takviye oranı arttığında kompozit yapıdaki C, Al, Si, S oranları artarken; O, Mg ve Ca oranlarında düzenli bir azalma

olduğu görülmektedir. Bu durum karışımdaki pirina takviye oranı artırılırken, çimento oranının azaltılmasından kaynaklanmaktadır. Kompozitin Al ve Si oranlarının artması numune yüzeyindeki gözeneklerin daha küçük boyutlu ama daha yoğun oluşmasına neden olmuştur. Bu durum Şekil 7.5’de yer alan SEM analizlerinde de görülmektedir.

Ayrıca yapılan SEM incelemesi esnasında gözenek boyut ölçümü de gerçekleştirilmiştir. Her bir numuneden beşer adet gözenek boyut ölçümü gerçekleştirilmiştir. SEM ile gözenek boyut ölçümü görüntüleri ve ortalama sonuçları **Hata! Başvuru kaynağı bulunamadı.**’da verilmiştir. **Hata! Başvuru kaynağı bulunamadı.**’da yer alan gözenek boyut ölçümü ve Şekil 7.5’de yer alan SEM analizleri beraber değerlendirildiğinde pirina takviye oranı arttıkça numunelerin yüzeyindeki gözeneklilik oranının azaldığı ve mevcut gözenek boyutlarının da küçüldüğü görülmektedir. Bu durum artan pirina takviye oranının gözeneklenmeyi olumsuz etkilediğini göstermektedir.



Şekil 7.6. Gözenek boyut ölçümü SEM fotoğrafları ve boyut ölçüm grafiği.

BÖLÜM 8

SONUÇLAR

Bu çalışmada, iki tür kalıp kullanılmıştır. Kalıplardan biri hazır plastik kalıp olarak temin edilmiş olup, diğer kalıp 3B yazıcı teknolojileri ile PVA kullanılarak boşluklu yapıda üretilmiştir. 2 farklı yöntemle (kimyasal yöntem ve 3B yazıcı teknolojileri ile) %10 pirinalı, %20 pirinalı ve %40 pirinalı gaz beton küp numuneler oluşturulmuştur. Beton küp numunelere yoğunluk, sertlik, basma testleri uygulanmıştır. Ayrıca gaz beton numunelerin gözenekli yapısını ve içeriğini tespit amacıyla SEM ve EDS analizi yapılmıştır. Farklı pirina oranlarının mekanik özelliklere etkisinin araştırılması sonucunda;

- Birim Hacim Ağırlığı Ölçümüne göre, ilk yöntemde 3 farklı oranda pirina içeren karışımlarda pirina oranı arttıkça çimento miktarındaki azalmaya da bağlı olarak numunenin etüv kurusu yoğunluğu azaldığı görülmüştür. Çimento oranının azalması yoğunlukta azalmaya neden olduğu için daha düşük yoğunluk oranına sahip gaz beton numuneler elde edilmiştir.
- Sertlik test sonuçlarına göre, bütün pirinalı karışımlarda en yüksek sertlik değerleri 3B yazıcı kalıp yöntemi kullanılarak elde edilmiştir. Sertlik testi sonuçları genel olarak değerlendirildiğinde ise; pirina oranında azalmayla yüzey sertliğinde bir düşüş olduğu belirlenmiştir. %40 pirina oranındaki numune yüzey sertliği en yüksek belirlenmiştir onu sırasıyla %20 ve %10 pirinalı küp numune takip etmiştir.
- Verilen basma testi sonuçlarına göre normal kalıplarda üretilen numunelerde pirina takviye oranı arttırıldıkça numunelerin basma gerilmesinin azaldığı görülmüştür. 3B yazıcıyla boşluk oluşturarak üretilen kalıplarda üretilen numunelerde ise pirina takviyesinin artmasıyla malzemenin basma gerilmesinin

- önce artıp daha sonra tekrar azalma olduğu görülmektedir. Kalıplama yöntemiyle üretilen numunelerde en yüksek basma gerilmesi %10 pıralı numunelerde 1,55 mpa elde edilirken, en düşük basma gerilmesi değeri %40 pıralı numunelerde 0,43 mpa olarak ölçülmüştür. 3B yazıcı kullanarak boşluklu kalıpta üretilen numunelerde ise en yüksek basma gerilmesi değeri %20 pıralı numunede 1,3 mpa olarak elde edilirken, en düşük basma gerilmesi %10 pıralı numunelerde 0,70 mpa olarak tespit edilmiştir. Pıralı numunelerin basma gerilmesi değerleri literatürde yer alan gaz beton numunelerin basma gerilmeleriyle karşılaştırıldığında ise belli bir orana kadar yapılan pırına takviyesinin kompozit gaz beton yapısının mukavemetini arttırdığı, ancak takviye oranı arttırıldıkça mukavemetin düşmesine neden olduğu söylenebilir.
- SEM ile gözenek boyut ölçümü SEM analizleri beraber değerlendirildiğinde pırına takviye oranı arttıkça numunelerin yüzeyindeki gözeneklilik oranının azaldığı ve mevcut gözenek boyutlarının da küçüldüğü görülmektedir. Bu durum artan pırına takviye oranının gözeneklenmeyi olumsuz etkilediğini göstermektedir. SEM ile yapılan analizde gaz %10 pıralı numunenin sonuçlanan boşluk oranının diğer numunelere göre daha fazla olduğu görülmektedir.
- EDS analizleri değerlendirildiğinde ise pırına takviye oranı arttığında kompozit yapıdaki C, Al, Si, S oranları artarken; O, Mg ve Ca oranlarında düzenli bir azalma olduğu görülmektedir. Bu durum karışımdaki pırına takviye oranı arttırılırken, çimento oranının azaltılmasından kaynaklanmaktadır. Kompozitin Al ve Si oranlarının artması numune yüzeyindeki gözeneklerin daha küçük boyutlu ama daha yoğun oluşmasına neden olmuştur.
- 3B yazıcı yöntemiyle oluşturulan karışımlarda PVA kalıp suda 3 hafta bekletilmiş numune de bir miktar kopmalar meydana gelmiştir. Karışımlarda PVA kalıbın tamamı suda çözünmesi sağlanamamıştır. Küpün iç kısmında kısmen PVA erimeden kalmıştır.

KAYNAKLAR

1. Sağlık, A., “Beton ve Özellikleri”, *DSİ-TAKK Dairesi*, Beton-Malzeme Lab. Şb. Md.
2. Topçu, İ. B., Abdullah Demir, Cenk Karakurt, “Gaz beton Kırıklarının Betonda Agrega Olarak Kullanılması”, *Deprem Sempozyumu*, Kocaeli (2005).
3. Özeren Ö., “Donatılı Gaz Beton Paneller ve Bu Paneller ile Yapılan Binaların Düşey ve Yatay Yükler Altında Davranışı”, *İTÜ İnşaat Mühendisliği Bölümü*, İstanbul (2016).
4. Narayanan, N., Ramamurthy, K., 2000, “Structure and Properties of Aerated Concrete A Review”, *Cement and Concrete Composites, Building Technology and Construction Management Division, Department of Civil Engineering, Indian Institute of Technology Madras*, India (2000).
5. Öztürk, F., Yalçın, M., Dıraman, H., “Türkiye Zeytinyağı Ekonomisine Genel Bir Bakış”, *Gıda Teknolojileri Elektronik Dergisi*, vol. 4, p. 35-51 (2009).
6. Naghmouchi, I., Mutjé, P., Boufi, S., “Polyvinyl Chloride Composites Filled with Olive Stone Flour: Mechanical, Thermal, and Water Absorption Properties”, *Journal of Applied Polymer Science*, vol. 131 (2014).
7. Hauser, A., Eggenberger, U., Mumenthaler, T., 1999, “Fly Ash From Cellulose Industry as Secondary Raw Material in Autoclaved Aerated Concrete”, *Cement and Concrete Research*, Switzerland, 297-302 (1999).
8. Karakurt, C., Kurama, H., Topçu, İ. B., “Utilization of Natural Zeolite in Aerated Concrete Production”, *Cement and Concrete Composites*, 1–8 (2010).
9. *MEGEP (Mesleki Eğitim ve Öğretim Sisteminin Güçlendirilmesi Projesi)*, “İnşaat Teknolojisi Beton1”, Ankara (2007).
10. Ünsal, A., Şen, H., “Beton ve Beton Malzemeleri Laboratuvar Deneyleri”, *Teknik Araştırma Dairesi Başkanlığı Malzeme Lab. Şubesi Müdürlüğü*, Ankara (2008).
11. Karakule, F. Ve Akakın, T., “Hazır beton sektörü’nün gelişimi ve özel beton uygulamalarında Türkiye’deki durum”, *6. Ulusal Beton Kongresi*, İstanbul (2005).
12. Demiryürek, B. E., “Türkiye’de Hazır Beton Sektörü ve Sektördeki Büyüme”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul (2007).

13. Özkul, H., Taşdemir, M.A., Tokyay, M., Uyan, M., “Her Yönüyle Beton”, *Türkiye Hazır Beton Birliği*, İstanbul (1999).
14. Prof. Dr. Erdoğan, T. Y., “Beton”, *Ortadoğu Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü*, Ankara (2003).
15. Özeren, Ö., “Donatılı Gaz Beton Paneller ve Bu Paneller ile Yapılan Binaların Düşey ve Yatay Yükler Altında Davranışı”, Yüksek Lisans Tezi, *İTÜ İnşaat Mühendisliği Bölümü*, İstanbul (2016).
16. Neville, A.M., “Properties of Concrete”, *Pitmann Publishing*, London (1975).
17. Postacıoğlu, B., “Bağlayıcı Maddeler, Agregalar ve Beton”, *İstanbul Teknik Üniversitesi Marbaası*, İstanbul, 177-402 (1975).
18. Kan, A., Demirboğa, R., “A novel material for lightweight concrete production” *Cement & Concrete Composites*, 489–495 (2009).
19. Aitcin, P.C., “High–Performance Concrete”, *E and FN Spon Publisher*, London, 650p (1998).
20. Sezer, H., “Öğütülmüş Diatomitin Gaz Beton Üretiminde Kullanımının Araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Afyon (2010).
21. İnternet: Türk Ytong Sanayi A.Ş., “Gaz Beton Katalog”, www.ytong.com.tr (2016).
22. İnternet: Yapı Endüstrisi Merkezi (YEM), “Türk Yapı Sektörü Raporu”, <http://www.yapi.com.tr/turkyapisektoruraporu2016/files/assets/basic-html/index.html#1> (2016).
23. Ünverdi, A., “Yüksek Sıcaklık Altında Gaz Beton Kırıklarının İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Osman Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Tokat (2006).
24. Hauser A., Eggenberger U., Mumenthaler T., “Fly Ash From Cellulose İndustry as Secondry Raw Material in Autoclaved Aerated Concrete”, *Cementand Concrete Research*, Switzerland, 297-302 (1999).
25. Karakurt C., Kurama H., Topçu İ. B., “Utilization of Natural Zeolite in Aerated Concrete Production”, *Cementand Concrete Composites*, 1–8 (2010).
26. İnternet: “Autoclaved Aerated Concrete (AAC, Aircrete)”, <http://www.understanding-cement.com/autoclaved-aerated-concrete.html> (2005).

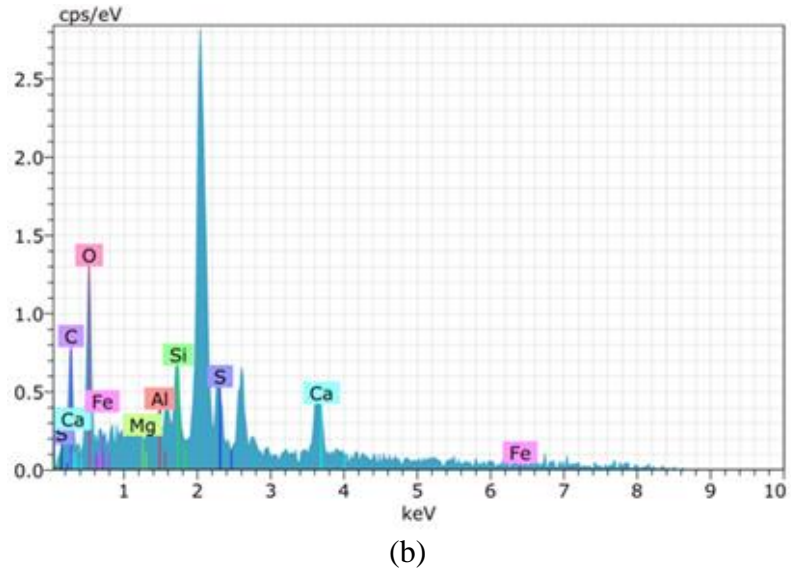
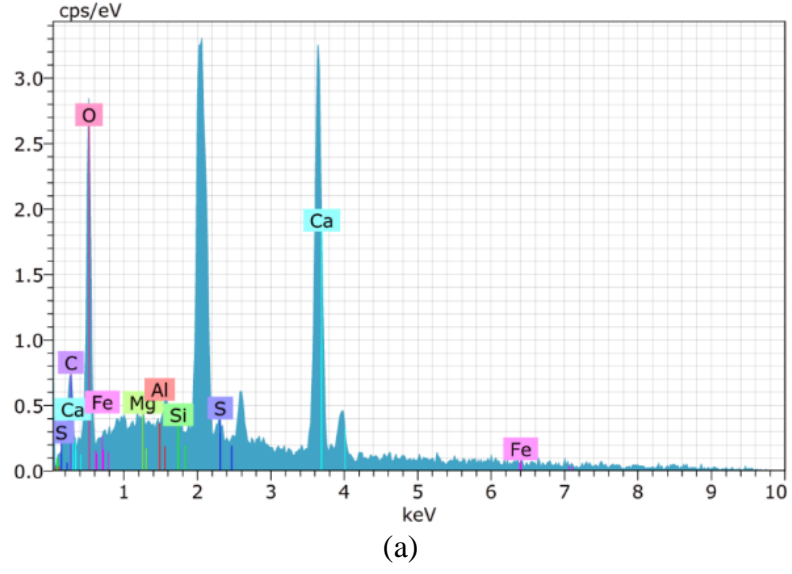
27. El Zareef, M. A., “Conceptual and structural design of buildings made of lightweight and infra lightweight concret”, phd thesis, *Berlin University of Technology*, Berlin (2010).
28. Newman, J., Choo, B. S. And Owens, P., “Advanced Concrete Technology Processes”, *Elsevier Ltd*, (2003).
29. Lim, S.K., Tan, C.S., Lim, O.Y. and Lee, Y.L., “Fresh and hardened properties of lightweight foamed concrete with palm oil fuel ash as filler”, *Constr.Build. Mater.*, 39–47 (2013).
30. Karakurt, C., Kurama, H. And. Topçu I.B., “Utilization of natural zeolite in aerated concrete production”, *Journal of Cement and Concrete Composite*, 1-8 (2010).
31. Borhan, B., “Ytong El Kitabı-1”, *Teknik Yayınları*, İstanbul (1987).
32. Kozak, Ş., “Gaz beton Üretiminde Uçucu Külün Hammadde Olarak Kullanımının Araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Yapı Eğitimi Anabilim Dalı, Afyon (2010).
33. Osmanoğlu, O. Y., “Farklı Minarallerin ve Uçucu Külün Gaz Beton Üretiminde Değerlendirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Bilecik (2019)
34. Borhan, B., “Ytong El Kitabı-1”, *Teknik Yayınları*, İstanbul (1987).
35. Kozak, Ş., “Gaz Beton Üretiminde Uçucu Külün Hammadde Olarak Kullanımının Araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Afyon (2010).
36. Sezer, H., “Öğütülmüş Diatomitin Gaz Beton Üretiminde Kullanımının Araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Afyon (2010).
37. Karagüler, M. Ç., Çiçek, Y.E., “Pişmiş Toprak Tuğla, Bimsbeton, Gaz beton ve Perlitli Yapı Malzemelerinin Fiziksel, Kimyasal ve Mekanik Özelliklerinin Karşılaştırmalı Olarak İncelenmesi”, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul (2002).
38. Savaş, M., “Sepiyolitinin Gaz Beton Özelliklerine Etkisinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kırıkkale (2013).
39. İnternet: Artı 90, 3B Dijital Fabrika, “Malzemenin Mekanik Özellikleri”, <https://arti90.com/wp-content/uploads/2018/07/Malzemenin-Mekanik-%C3%96zellikleri.pdf>
40. İnternet: Türkiye Gaz Beton Üreticileri Birliği, Teknik Bilgiler Kataloğu, “Gaz Betonla Fark Yaratan Binalar”, <http://tgub.org.tr/>

41. Gündoğdu B.C., “Gazbeton ve Gazbeton Üretimindeki Bağlayıcı Malzemelerin Rötreye Etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Sakarya (2001).
42. İnternet: Hasol Doğan, Yapının Endüstrileşmesi, Mimarlık Dergisi, <http://www.doganhasol.net/yapinin-endustrilesmesi-2.html> (1967).
43. Walczaka, P., Szymańskib, P., Rózyckac, A., “350 kg/m³ Yoğunlukta Uçucu Kül Bazlı Otoklavlanmış Gaz Beton Enerji Verimliliği İçin Çevre Dostu Bir Malzeme Olarak Yapılar”, *Sürdürülebilir Kalkınma ve İnşaat Mühendisliğinde Yöneylem Araştırması - EURO toplantısı çalışma grubu ve 15. Alman-Litvanya-Polonya kolokiyumu*, ORSDCE Polanya (2015).
44. Narayanan, N., Ramamurthy, K., “Gaz Betonun Yapısı ve Özellikleri: Bir İnceleme”, *Hindistan Teknoloji Enstitüsü*, Madras, Hindistan (2000).
45. Agar-Ozbek, A.S., Weerheijm, J., Schlangen, E., Breugel, K.V., “Mukavemeti Artırılmış Gözenekli Betonun Araştırılması Farklı Ölçeklerde Test”, *Delft Teknoloji Üniversitesi İnşaat Mühendisliği ve Yerbilimleri Fakültesi*, Delft, Hollanda (2013).
46. Eroğlu, F., “Pirinadan Özütleme ile Furfural Üretimi İçin Uygun Koşulların Belirlenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara (2006).
47. Demirtepe, M., “Balık Yemlerinde Pirina ve Pirina Yağı Kullanımı Üzerine Araştırmalar”, Yüksek Lisans Tezi, Su Ürünleri Yetiştiriciliği Ana Bilim Dalı, *Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İzmir (2008).
48. Kurtuluş, E., Günerhan, H., “Pirinanın Bir Yakıt Olarak Kullanımı ve Eldesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İzmir, 14-25 (2004).
49. Altınköprü, N., “Bor Endüstri Atıkları ve Pirina Atıklarının Çimento Üretiminde Katkı Maddesi Olarak Değerlendirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kütahya (2010).
50. Topçuk, H., “3B yazıcı”, Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük (2016).
51. Ahmed, W., Alabdouli, H., Alqaydi, H., Mansour, A., Khawaja, H.A., “Open Source 3D Printer”, Mechanical Engineering Department, College of Engineering United Arab Emirates, *University Al Ain, Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management Dubai, UAE, 10-12 (2020)*.

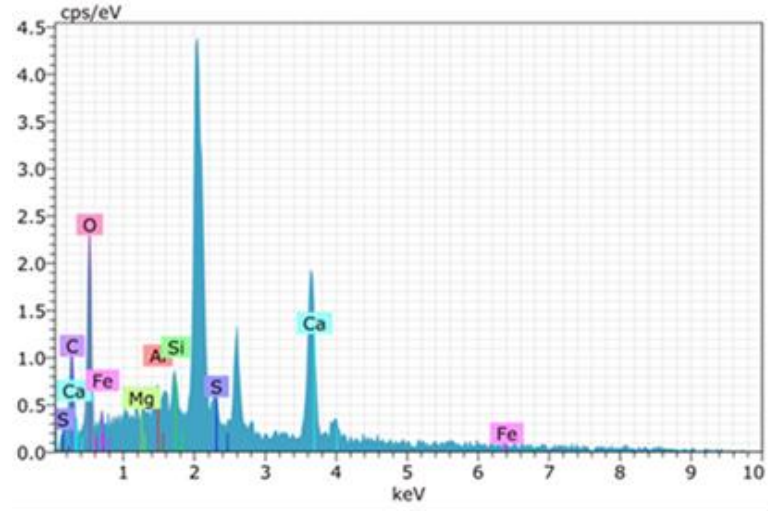
52. Lohfeld, S., mchugha, P., Serban, D., Boyleb, D., O'Donnell, G., and Peckitt, N., "Engineering Assisted Surgery TM: A Route for Digital Design and Manufacturing of Customised Maxillofacial Implants", *Journal of Materials Processing Technology*, 333–338 (2007).
53. Akbaba, A. Ve Akbulut, E., "3 Boyutlu Yazıcılar ve Kullanım Alanları", *ETÜ Sentez İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 19-46. (2021).
54. Wolf, R. J. M., "3D Printing of Concrete Structures", *Eindhoven University of Technology Department of the Built Environment*, Master's Thesis Holland (2015).
55. İnternet: ARCİLAB, "3B Yazıcıların İnşaat Sektöründe Yeri Nedir" <https://www.arcilab.com/3d-yazicilarin-insaat-sektorunde-yeri-nedir>
56. Tümer, M. B., "Üç boyutlu Yazıcılar ve Günümüz Mimarisinde Kullanımı", Yüksek Lisans Tezi, *Işık Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü*, İstanbul (2020).
57. İnternet: 3D printing for Architects Leapfrog, "3B Baskının Mimarlar İçin Faydaları", <http://www.lpfrg.com/en/professionals/architects> (2016).
58. Özcan, Ş. P., Gündüz, L., "Otoklavsız Gaz beton Kâgir Blok Elemanlarının Üretiminde Endüstriyel Atık Liflerin Kullanımı Üzerine Teknik Bir Analiz", *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi Özel Sayı*, 202-212 (2021).
59. Yılmaz, Y., "Beton Üretiminde Uçucu Kül ve Yüksek Fırın Cürufu Kullanılmasının Etkileri ve Maliyet Analizi", Yüksek Lisans Tezi, *Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Tekirdağ (2014).
60. Neville, A., "Properties of Concrete, Fourth Edition", *John Wiley & Sons Inc.*, New York, 535 pp. (1999)
61. İnternet: "Bilecik Şeyh Edebalı Üniversitesi Mühendislikte Deneysel Metodlar Dersi, Metalik Malzemelerin Basma Deneyi" <http://w3.bilecik.edu.tr/wp-content/uploads/sites/119/2016/12/Basma-Deneyi.pdf>

EK AÇIKLAMALAR A.

NUMUNE SONUÇLARI

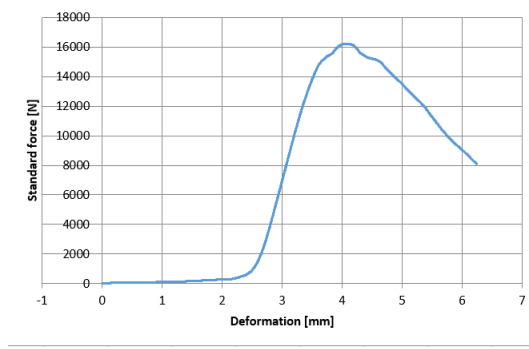
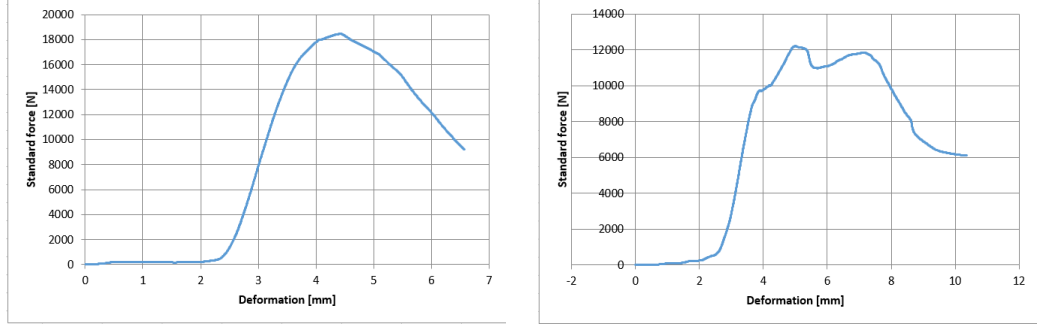


Şekil Ek A.1. Elemental analizi test sonuçları, a) %10 pirina ikameli, b) %20 pirina ikameli , c) %40 pirina ikameli numune.

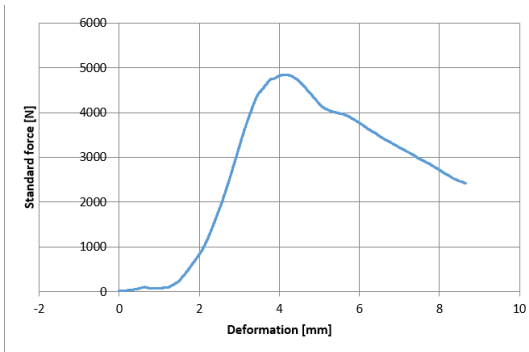
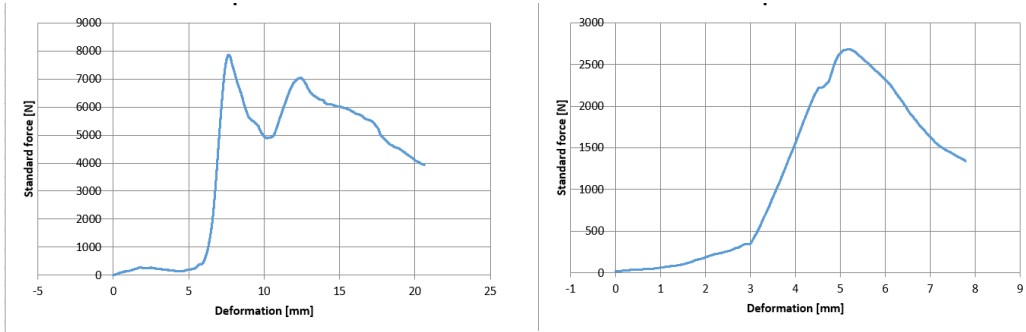


(c)

Şekil Ek A.1. (devam ediyor).

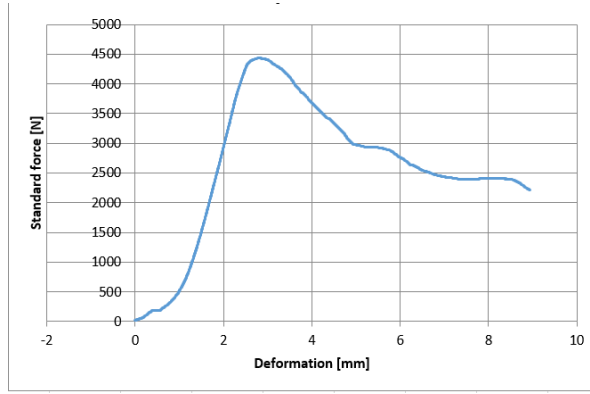
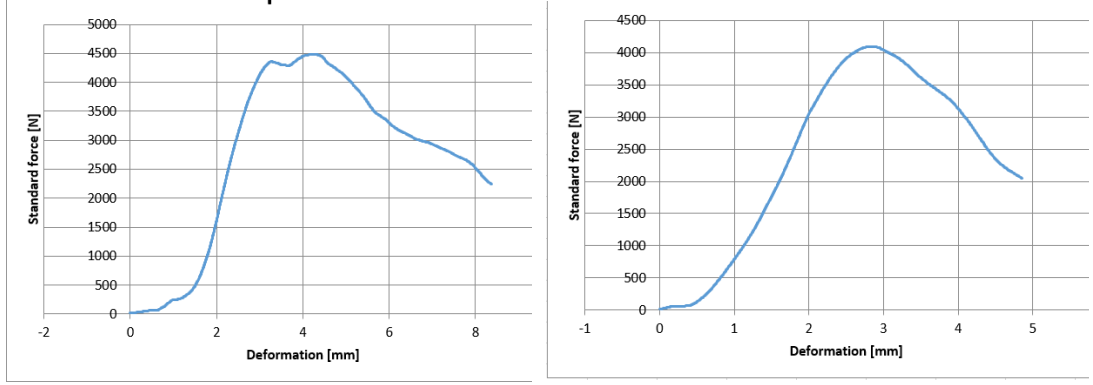


(a)



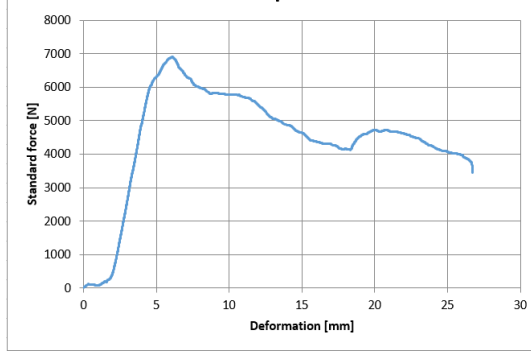
(b)

Şekil Ek A.2. Basma dayanımı testi sonuçları, a) %10 pirina ikameli, b) %20 pirina ikameli, c) %40 pirina ikameli numune.

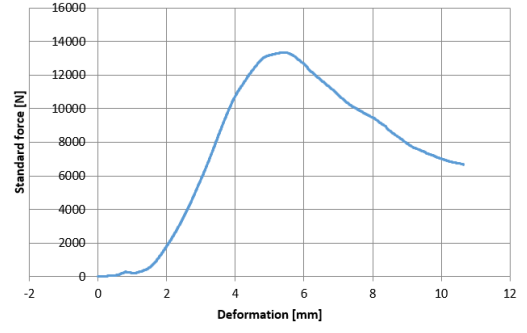


(c)

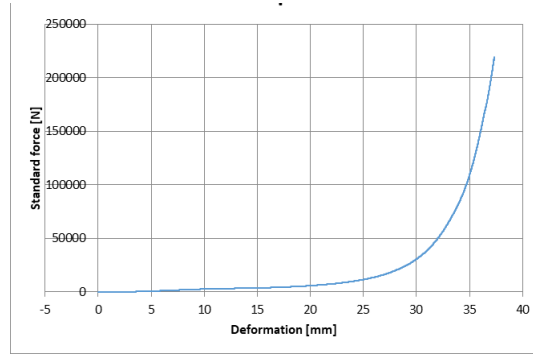
Şekil Ek A.2. (devam ediyor).



(a)



(b)



(c)

Şekil Ek A.3. 3B yazıcı basma testi sonuçları, a) %10 pirina ikameli, b) %20 pirina ikameli, c) %40 pirina ikameli numune.

ÖZGEÇMİŞ

Büşra KADI ilk, orta, lise ve üniversite öğrenimini Karabük'te tamamladı. Vakıfbank Zübeyda Hanım Anadolu Lisesi Sayısal Bölümü'nden mezun oldu. 2010 yılında Safranbolu Fethi Toker Güzel Sanatlar ve Tasarım Fakültesi Mimarlık Bölümü'nde öğrenime başlayıp 2016 yılında mezun oldu. 2019 yılında Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstriyel Tasarım Mühendisliği Anabilim Dalı'nda başlamış olduğu yüksek lisans programını 2022 yılında tamamladı.