

**FARKLI KATKI MALZEMELERİ KULLANILARAK  
ERZURUM-PASINLER POMZASIYLA ÜRETİLEN  
GAZ BETONUN TARIMSAL YAPILARDA  
KULLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI**

**Selçuk MEMİŞ**

**Doktora Tezi  
Tarımsal Yapılar ve Sulama Ana Bilim Dalı  
Prof. Dr. İbrahim ÖRÜNG  
2013  
Her hakkı Saklıdır**

**ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**DOKTORA TEZİ**

**FARKLI KATKI MALZEMELERİ KULLANILARAK ERZURUM-  
PASİNLER POMZASIYLA ÜRETİLEN GAZ BETONUN  
TARIMSAL YAPILARDA KULLANILABİLİRLİĞİNİN  
ARAŞTIRILMASI**

**Selçuk MEMİŞ**

**TARIMSAL YAPILAR VE SULAMA ANA BİLİM DALI**

**ERZURUM  
2013**

**Her hakkı saklıdır**



T.C.  
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



TEZ ONAY FORMU

FARKLI KATKI MALZEMELERİ KULLANILARAK ERZURUM-PASİNLER POMZASIYLA  
ÜRETİLEN GAZ BETONUN TARIMSAL YAPILARDA KULLANILABİLİRLİĞİNİN  
ARAŞTIRILMASI

Prof. Dr. İbrahim ÖRÜNG danışmanlığında, Selçuk MEMİŞ tarafından hazırlanan bu çalışma 11/06/2013 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalı'nda Doktora tezi olarak ~~oybirliği/oy çokluğu (.../...)~~ ile kabul edilmiştir.

Başkan : Prof. Dr. İbrahim ÖRÜNG

İmza :

Üye : Prof. Dr. Mustafa OKUROĞLU

İmza :

Üye : Prof. Dr. Yusuf DEMİR

İmza :

Üye : Prof. Dr. Sırrı ŞAHİN

İmza :

Üye : Prof. Dr. Yıldırım YILDIRIM

İmza :

Yukarıdaki sonucu onaylıyorum

Prof. Dr. İhsan EFEOĞLU  
Enstitü Müdürü

Bu çalışma BAP, projeleri kapsamında desteklenmiştir.  
Proje No: 2009-224

**Not:** Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaklardan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak olarak kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

## ÖZET

Doktora Tezi

### FARKLI KATKI MALZEMELERİ KULLANILARAK ERZURUM-PASINLER POMZASIYLA ÜRETİLEN GAZ BETONUN TARIMSAL YAPILARDA KULLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI

Selçuk MEMİŞ

Atatürk Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Tarımsal Yapılar ve Sulama Ana Bilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. İbrahim ÖRÜNG

Beton teknolojisinin hızla gelişerek, farklı özelliklerde beton tür ve sınıflarının oluşmasına, üretiminde bilinen hammaddelerin yerine farklı hammaddeler kullanılarak istenilen özelliklerde betonlar üretilmesine olanak veren, bu amaçla sürekli yeni araştırmalar yapılmasına gereksinim duyulan beton, yapı alanında kullanılan en önemli malzemelerden biridir. Dünyada yaygın olarak kullanımı ile birlikte daha hafif, ucuz ve iyi yalıtım özelliği olan hafif betonlar, bu araştırmaların bir sonucu olarak kullanım alanını giderek arttırmıştır. Gaz beton, köpük beton gibi farklı isimler ile adlandırılan hafif betonların üretilmesi; özellikle hafif agregası, kumsuz agregası veya beton birim ağırlığını azaltıcı malzemelerin kullanımı ile mümkündür.

Bu tez kapsamında, hafif beton çeşitlerinden gaz beton yapımında ana hammaddesi kuvars kumu yerine ülkemizde potansiyeli yüksek olan pomza kullanılarak üretilebilirliği ve inşaat sektöründe; özellikle de çevre koşullarının arandığı tarımsal yapıların yarı taşıyıcı veya taşıyıcı olmayan yapı unsurlarında yapı elemanı olarak kullanılabilme potansiyeli araştırılmıştır.

Gaz beton üretiminde agregası olarak Erzurum ili Pasinler yöresinde ekonomik potansiyeli bulunan pomzanın 1 mm elek altı, boşluk oluşturuca katkı maddesi olarak %0, %1, %2 ve %5 oranlarında hidrojen peroksit ile atık alanlardan toparlanan alüminyum kutu ve kapların öğütülmesi ile elde edilen alüminyum tozu kullanılmıştır. Gaz betonlar 250 ve 350 kg/m<sup>3</sup> dozajlı ve çimento ağırlığının %20, %40 ve %60 oranlarında ilave kireç kullanılarak üretilmiştir. Bu üretilen gaz betonların buhar kuru ve su kuru uygulamalarından sonra, bazı fiziksel ve mekanik özellikleri incelenmiştir.

Yapılan deneysel çalışmalardan elde edilen bulgular ve değerlendirmeler ışığında, kırsal alanda gaz beton üretiminin yapılabilmesi, özellikle ülkemizde hammadde potansiyeli yüksek olan pomzanın kullanılarak gaz beton üretilebileceği ve bu malzemenin kırsal alandaki tarımsal yapılarda kullanılmasının, başta ekonomik olmak üzere yararlar sağlayabileceği kanısına varılmıştır.

**2013, 179 sayfa**

**Anahtar Kelimeler:** Gaz beton, pomza, hafif beton, tarımsal yapılar, fiziksel ve mekanik özellikler.

## ABSTRACT

Ph.D. Thesis

### INVESTIGATING THE USABILITY OF GAS CONCRETE, PRODUCED UTILIZING VARIOUS ADDITIVES FROM ERZURUM-PASINLER PUMICE, ON AGRICULTURAL BUILDINGS

Selçuk MEMİŞ

Atatürk University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Development of Agricultural Buildings and Irrigation

Supervisor: Prof. Dr. İbrahim ÖRÜNG

Concrete, which the rapid development of concrete technology, the formation of different specifications of concrete types and classes, instead of using different raw materials known to the production of raw materials, production of concrete that allows the desired properties used in construction and for this purpose constantly making new research needed, is one of the most important materials. As a result of the research, less costly lightweight concretes, with better insulation features, are widely used around the world. The production of lightweight concretes, also referred to under various names such as gas concrete or foamed concrete, is possible with particularly lightweight aggregate, non-sand aggregate or materials reducing concrete unit weight.

Within this thesis, the potential to produce gas concrete, a lightweight concrete type, from pumice, abundantly available in our country, instead of quartz as the main raw material and its usability in construction, particularly as semi-bearing and non-bearing construction element on agricultural buildings where environmental requirements are wanted, were investigated.

In the production of the gas concrete, 1 mm undersize grain pumice, with economical potential in Erzurum-Pasinler region, as aggregate; 0, 1, 2, and 5% hydrogen peroxide and aluminum powder, made by grinding waste aluminum cans and containers, as space maker additive, were used. Gas concrete samples were produced in 250 and 350 kg/m<sup>3</sup> dosages by using additional extra lime in 20, 40, and 60% of the concrete weight. Some physical and mechanical characteristics of the produced gas concrete, after steam curing and water curing, were examined.

In the light of findings of the experimental studies and evaluations, it is concluded that gas concrete can be produced in rural areas; it can be produced particularly by using the pumice of high raw material potential in our country; and the use of this material on agricultural buildings in rural areas can provide, particularly economical, benefits.

**2013, 179 pages**

**Keywords:** Gas concrete, pumice, lightweight concrete, agricultural structures, physical and mechanical properties.

## TEŞEKKÜR

Çalışmamın her aşamasında destek olan, değerli bilgi ve deneyimlerinden faydalandığım danışman hocam Sayın Prof. Dr. İbrahim ÖRÜNG'e teşekkürü bir borç bilir, saygılarımı sunarım. Ayrıca bu süreçte yardımlarını esirgemeyen tez jüri üyeleri Sayın Prof. Dr. Sırrı ŞAHİN başta olmak üzere Sayın Prof. Dr. Yıldırım YILDIRIM, Sayın Prof. Dr. Yusuf DEMİR ve Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalı Başkanı Sayın Prof. Dr. Mustafa OKUROĞLU'na teşekkür ederim.

Bu çalışmamda emeği geçen Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü öğretim üyelerine teşekkür eder, saygılarımı sunarım.

Tez çalışmam boyunca manevi desteklerini esirgemeyen, varlıklarını hep yanımda hissettiğim annem ve babam Zehra-Ahmet MEMİŞ'e, eşimin ailesi ve kardeşlerime sonsuz teşekkür ediyorum.

Son olarak tez çalışmam boyunca maddi ve manevi desteği ile hep yanımda olan, yardımlarını esirgemeyen hayat arkadaşım, canım, biricik eşim Yrd. Doç. Dr. Esra Kabataş MEMİŞ'e teşekkür ederim. İyi ki varsın hep yanımdasın birtanem...

Selçuk MEMİŞ

Haziran-2013

## İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	ii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ.....	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	x
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xiv
<b>1. GİRİŞ.....</b>	<b>1</b>
<b>2. KAYNAK ÖZETLERİ.....</b>	<b>6</b>
2.1. Agregalar.....	6
2.1.1. Hafif agregalar.....	8
2.1.1.a. Pomza.....	9
2.2. Beton.....	18
2.2.1. Hafif beton.....	19
2.2.1.a. Hafif beton üretiminde hava boşluğu oluşturma yöntemleri.....	23
2.2.1.b. Hafif betonun sınıflandırılması.....	26
2.2.2. Gaz beton.....	28
2.2.2.a. Gaz betonun tarihçesi.....	31
2.2.2.b. Gaz beton türleri.....	34
2.2.2.c. Gaz beton hammaddesi ve üretim süreci.....	35
2.2.2.d. Gaz betonun özellikleri.....	43
2.2.2.e. Gaz beton kullanım alanları.....	50
2.2.2.f. Gaz beton bileşenlerin ve elemanların sınıflandırılması.....	50
2.2.2.g. Gaz betonun sağladığı yararlar.....	57
2.3. Bağlayıcı Malzemeler.....	58
2.3.1. Çimento.....	59
2.3.2. Kireç.....	62
2.3.3. Alçı.....	62
2.4. Konu ile İlgili Yapılan Araştırmalar.....	63
<b>3. MATERYAL ve YÖNTEM.....</b>	<b>76</b>

3.1. Materyal.....	76
3.1.1. Kullanılan malzemeler .....	76
3.1.1.a. Pomza .....	76
3.1.1.b. Çimento .....	78
3.1.1.c. Kireç .....	79
3.1.1.d. Boşluk oluşturuvcu katkı maddeleri .....	79
3.1.1.e. Su .....	80
3.2. Yöntem .....	80
3.2.1. Agrega deneyleri .....	81
3.2.2. Agreganın elde edilmesi .....	82
3.2.3. Agrega üzerinde yapılan deneyler .....	82
3.2.3.a. Agrega özgül ağırlık ve su emme oranı tayini deneyi .....	82
3.2.3.b. Agrega birim hacim ağırlık deneyi.....	83
3.2.3.c. Agrega tane büyüklüğü dağılımı tayini deneyi.....	84
3.2.3.d. Agrega ince madde oranı tayini deneyi .....	84
3.2.4. Gaz beton seçeneklerinin belirlenmesi.....	85
3.2.5. Gaz beton karışım hesapları .....	87
3.2.6. Gaz beton örneklerin hazırlanması.....	91
3.2.7. Gaz beton örneklerin bakımı .....	93
3.2.8. Sertleşmiş beton (gaz beton) deneyleri .....	95
3.2.8.a. Birim hacim ağırlık, su emme oranı ve porozitenin belirlenmesi .....	95
3.2.8.b. Basınç dayanımı deneyi.....	95
3.2.8.c. Donma – çözülme dayanıklılığı.....	95
3.2.8.d. Isı iletkenlik deneyi .....	96
3.2.9. Sonuçların değerlendirilmesinde uygulanan istatistik yöntemler .....	97
<b>4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA.....</b>	<b>98</b>
4.1. Agrega Özellikleri .....	98
4.1.1. Elek analizi ve granülometrik bileşim.....	98
4.1.2. Birim hacim ağırlık .....	100
4.1.3. Özgül ağırlık ve su emme oranı .....	101
4.1.4. İnce madde oranı .....	102
4.2. Sertleşmiş Beton Özellikleri.....	103



4.2.1. Birim hacim ağırlık .....	103
4.2.2. Su emme oranı.....	116
4.2.3. Porozite.....	128
4.2.4. Basınç dayanımı .....	138
4.2.5. Donma-çözülme dayanıklılığı .....	148
4.2.6. Isı iletkenlik katsayısı .....	155
<b>5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER .....</b>	<b>167</b>
5.1. Sonuçlar.....	167
5.2. Öneriler.....	169
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>172</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>	<b>180</b>

## SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

A <sub>1...18</sub>	Farklı oranlarda alüminyum tozu katkılı grup sembolü
AAC	Autoclaved Aerated Concrete (Gaz beton)
ASTM	Amerikan Standartları
atm	Atmosfer basıncı birimi
B	Buhar kür uygulanmış grup sembolü
BHAg	Gevşek birim hacim ağırlık
BHAs	Sıkışık birim hacim ağırlık
dB	Ses şiddeti birimi
D	Dozaj
df	Serbestlik derecesi
DIN	Alman Standartları
F	F testi değeri
G <sub>1</sub>	Örnek ağırlığı
G <sub>Ei</sub>	Deney öncesi etüv kurusu ağırlık
G <sub>Es</sub>	Deney sonrası etüv kurusu ağırlık
G <sub>2g</sub>	Kap içerisine gevşek doldurulmuş örnek ağırlığı
G <sub>2s</sub>	Kap içerisine sıkıştırılarak doldurulmuş örnek ağırlığı
G <sub>a</sub>	Agreganın ağırlığı
G <sub>ç</sub>	Çimentonun ağırlığı
G <sub>DK</sub>	Örneğin doygun kuru yüzey durumundaki ağırlığı
G <sub>KN</sub>	Kap ve örnek toplam ağırlığı
G <sub>ks</sub>	Kap ve suyun toplam ağırlığı
G <sub>Ö</sub>	500 ml çizgisine kadar su ile dolu ölçü kabı ağırlığı
G <sub>Öb</sub>	Ölçü kabı boş ağırlığı
G <sub>T</sub>	Ölçü kabı, su ve örneğin toplam ağırlığı
h	Saat
H	Toplam hava miktarı
H <sub>1...18</sub>	Farklı oranlarda hidrojen peroksit katkılı grup sembolü
K	Kür

K <sub>1..6</sub>	Kontrol grubu sembolü
K/Ç	Kireç Çimento Oranı
KO	Karışıma ilave edilen katkı oranı
LC	Lightweight Concrete
m	Su emme oranı
MOHS	Sertlik skalası
MPa	Basınç birimi
MS	Kareler ortalaması
M <sub>y</sub>	Yıkanabilir ince madde miktarı
N	Gruba ait örnek adedi
ns	İstatistik açıdan önemsiz fark
P	Önem seviyesi
PÇ	Portland Çimentosu
PET	Polietilen Tereftalat
pH	Asidik veya bazik durumu ifade eden ölçü birimi
Q	Isı kaybı
S	Su kürü uygulanmış grup sembolü
SEM	Taramalı Elektron Mikroskobu
SS	Kareler toplamı
t <sub>2</sub> /t <sub>1</sub>	Ölçülen zaman aralığı
T <sub>2</sub> /T <sub>1</sub>	t <sub>2</sub> ve t <sub>1</sub> zamanlarında ölçülen sıcaklık değerleri
TS	Türk Standartları
U	Isı iletkenlik katsayısı
u	Buhar geçirgenlik direnci
V	Örnek hacmi
V <sub>k</sub>	Ölçü kabı hacmi
V <sub>s</sub>	Suyun hacmi
W/C	Su / Çimento Oranı
XRD	X-ray kırınım tekniği
γ <sub>a</sub>	Agreganın özgül ağırlığı
γ <sub>c</sub>	Çimentonun özgül ağırlığı
γ <sub>d</sub>	Agrega doygun kuru yüzey özgül ağırlığı

$\gamma_g$	Agrega görünen özgül ağırlığı
$\gamma_k$	Agrega kuru özgül ağırlığı
$\lambda$	Isı iletkenlik katsayısı
$^{\circ}$	Derece
$\mu\text{m}$	Mikro metre
$\eta^2$	Etki boyutu

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Pomza taşının oluşum mekanizması.....	10
Şekil 2.2. Pomza agregasının gözenekli yapısı.....	11
Şekil 2.3. Pomzanın genel kimyasal bileşim oranları.....	11
Şekil 2.4. Asidik ve bazik pomza örnekleri.....	12
Şekil 2.5. Volkanik malzeme potansiyeli bulunan alanlar.....	13
Şekil 2.6. Pomza kullanım alanları.....	15
Şekil 2.7. Pomzanın hafif yapı elemanı olarak kullanım alanları.....	18
Şekil 2.8. Betonda hapsolmuş hava boşlukları.....	23
Şekil 2.9. Üretim sürecine göre gözenekli betonun sınıflandırılması.....	25
Şekil 2.10. Gaz betonun sembolik görünümü.....	29
Şekil 2.11. Bazı yapı malzemelerinin ısı yalıtım katsayıları.....	31
Şekil 2.12. Türkiye gaz beton üretimi yapılan iller.....	33
Şekil 2.13. 2009 yılı gaz beton üretim (m <sup>3</sup> ) miktarları.....	34
Şekil 2.14. Gaz beton gözenekli yapısı.....	36
Şekil 2.15. Gaz betonun şematik üretim süreci.....	37
Şekil 2.16. Gaz beton üretiminde sulu harcın kalıba dökülmesi ve kabarma süreci.....	39
Şekil 2.17. Gaz beton döküm arabası.....	40
Şekil 2.18. Gaz betonların üretim sürecinde buhar kürü ve kesim vinci.....	41
Şekil 2.19. Gaz beton buhar kürü (otoklav) makinesi.....	42
Şekil 2.20. Gaz betonun telle kesim süreci.....	42
Şekil 2.21. Gaz betonun taşıma süreci.....	43
Şekil 2.22. Gaz betonun zamana bağlı sıcaklık değişimi.....	47
Şekil 2.23. Gaz betonun ses yutma özelliğinin şematik görünümü.....	48
Şekil 2.24. Gaz beton yapı elemanları.....	52
Şekil 2.25. Düz duvar blok ve geçmeli duvar blokları.....	53
Şekil 2.26. Asmolen bloklar.....	54
Şekil 2.27. U bloklar.....	54
Şekil 2.28. Yalıtım plakları.....	55
Şekil 2.29. Çatı ve döşeme elemanları.....	56

<b>Şekil 2.30.</b> Taşıyıcı yatay ve düşey duvar elemanları.....	56
<b>Şekil 2.31.</b> Lentolar .....	57
<b>Şekil 3.1.</b> Erzurum - Pasinler agrega ocağı.....	77
<b>Şekil 3.2.</b> Araştırmada kullanılan pomzanın bulunduğu bölge.....	78
<b>Şekil 3.3.</b> Alüminyumun parçalanmasında kullanılan kırma makinesi ve değirmen ....	80
<b>Şekil 3.4.</b> Kabarma sağlayıcı katkı maddeleri (alüminyum tozu ve hidrojen peroksit)..	80
<b>Şekil 3.5.</b> Gaz beton örnekleri hazırlama aşaması .....	92
<b>Şekil 3.6.</b> Gaz beton örneklerin karışımı ve arabaya aktarımı.....	92
<b>Şekil 3.7.</b> Gaz beton örneklerin kalıplara dökümü .....	93
<b>Şekil 3.8.</b> Gaz beton örneklerin bakımı (su ve buhar kürü uygulaması).....	94
<b>Şekil 3.9.</b> Buhar kürü uygulama şeması .....	94
<b>Şekil 3.10.</b> Buhar kürü sonrası örneklerin bakımı .....	94
<b>Şekil 3.11.</b> Isı iletkenlik ölçüm aleti .....	97
<b>Şekil 4.1.</b> Agrega ve parçalanmış alüminyuma ilişkin granülometri eğrisi.....	100
<b>Şekil 4.2.</b> Alüminyum katkılı betonların birim hacim ağırlık değerlerindeki değişim .	106
<b>Şekil 4.3.</b> Hidrojen peroksit katkılı betonların birim hacim ağırlık değerlerindeki değişim .....	107
<b>Şekil 4.4.</b> Gaz beton örneklerde birim hacim ağırlık değerlerine dozajın etkisi.....	109
<b>Şekil 4.5.</b> Gaz beton örneklerde katkıya göre artan kireç oranına bağlı birim hacim ağırlıktaki değişim.....	109
<b>Şekil 4.6.</b> Gaz beton örneklerde dozaja göre artan kireç oranına bağlı birim hacim ağırlıktaki değişim.....	110
<b>Şekil 4.7.</b> Artan katkı oranına göre alüminyum ve hidrojen peroksit katkılı gaz beton örneklerin birim hacim ağırlık değerlerindeki değişim.....	111
<b>Şekil 4.8.</b> 250 ve 350 kg/m <sup>3</sup> dozajlı gaz beton örneklerin artan katkı oranına göre birim hacim ağırlıktaki değişimi .....	111
<b>Şekil 4.9.</b> Katkı oranı ile birim hacim ağırlık arasındaki ilişki.....	116
<b>Şekil 4.10.</b> Alüminyum katkılı betonların su emme oranı değerlerindeki değişim .....	119
<b>Şekil 4.11.</b> Hidrojen peroksit katkılı betonların su emme oranı değerlerindeki değişim .....	120
<b>Şekil 4.12.</b> Gaz beton örneklerde su emme oranına dozajın etkisi .....	122
<b>Şekil 4.13.</b> Gaz beton örneklerde katkıya bağlı su emme oranındaki değişim .....	122

<b>Şekil 4.14.</b> Gaz beton örneklerde su emme oranına katkı oranının etkisi.....	123
<b>Şekil 4.15.</b> Alüminyum katkılı örneklerde birim hacim ağırlık - su emme oranı arasındaki ilişki .....	128
<b>Şekil 4.16.</b> Hidrojen peroksit katkılı örneklerde birim hacim ağırlık - su emme oranı arasındaki ilişki .....	128
<b>Şekil 4.17.</b> Alüminyum katkılı betonların porozite değerlerindeki değişim.....	131
<b>Şekil 4.18.</b> Hidrojen peroksit katkılı betonların porozite değerlerindeki değişim.....	132
<b>Şekil 4.19.</b> Gaz beton örneklerde katkı oranının poroziteye etkisi .....	136
<b>Şekil 4.20.</b> Alüminyum katkılı örneklerde su emme – porozite arasındaki ilişki.....	137
<b>Şekil 4.21.</b> Hidrojen peroksit katkılı örneklerde su emme – porozite arasındaki ilişki	137
<b>Şekil 4.22.</b> Alüminyum katkılı betonlarda basınç dayanımı değerlerindeki değişim ...	140
<b>Şekil 4.23.</b> Hidrojen peroksit katkılı betonlarda basınç dayanımı değerlerindeki değişim .....	140
<b>Şekil 4.24.</b> Artan katkı oranının basınç dayanımı değerlerindeki azalışa etkisi .....	141
<b>Şekil 4.25.</b> Basınç dayanımına kür koşullarının etkisi.....	145
<b>Şekil 4.26.</b> Basınç dayanımı ile porozite arasındaki ilişki .....	146
<b>Şekil 4.27.</b> Alüminyum katkılı örneklerde birim hacim ağırlık - basınç dayanımı arasındaki ilişki .....	147
<b>Şekil 4.28.</b> Hidrojen peroksit katkılı örneklerde birim hacim ağırlık - basınç dayanımı arasındaki ilişki .....	147
<b>Şekil 4.29.</b> Alüminyum katkılı betonlarda donma-çözülme sonrası dayanımı değerlerindeki değişim .....	150
<b>Şekil 4.30.</b> Hidrojen peroksit katkılı betonlarda donma-çözülme sonrası dayanım değerlerindeki değişim .....	150
<b>Şekil 4.31.</b> Donma-çözülme sonrası dayanımı değerlerindeki değişim.....	151
<b>Şekil 4.32.</b> Alüminyum katkılı betonlarda donma-çözülme dayanıklılığı değerlerindeki % değişim oranları .....	154
<b>Şekil 4.33.</b> Hidrojen peroksit katkılı betonlarda donma-çözülme dayanıklılığı değerlerindeki % değişim oranları .....	155
<b>Şekil 4.34.</b> Alüminyum katkılı betonlarda ısı iletkenlik katsayısı değerlerindeki değişim .....	158
<b>Şekil 4.35.</b> Hidrojen peroksit katkılı betonlarda ısı iletkenlik katsayısı değerlerindeki	

değişim .....	158
<b>Şekil 4.36.</b> Farklı K/Ç oranlarına göre ısı iletkenlik katsayısı değerindeki değişim .....	159
<b>Şekil 4.37.</b> Katkı çeşidinin ısı iletkenlik katsayısına etkisi.....	160
<b>Şekil 4.38.</b> Isı iletkenlik katsayısının katkı oranına göre değişimi .....	163
<b>Şekil 4.39.</b> Alüminyum katkılı betonlarda ısı iletkenlik katsayısı – birim hacim ağırlık arasındaki ilişki .....	164
<b>Şekil 4.40.</b> Hidrojen peroksit katkılı betonlarda ısı iletkenlik katsayısı - birim hacim ağırlık arasındaki ilişki .....	165
<b>Şekil 4.41.</b> Alüminyum katkılı betonlarda ısı iletkenlik katsayısı-porozite arasındaki ilişki.....	165
<b>Şekil 4.42.</b> Hidrojen peroksit katkılı betonlarda ısı iletkenlik katsayısı-porozite arasındaki ilişki .....	166



## ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Türkiye pomza rezerv dağılımı.....	13
Çizelge 2.2. Ülkemiz pomza kayaçlarının genel fiziksel özellikleri .....	14
Çizelge 2.3. Ülkemiz pomza kayaçlarının genel kimyasal özellik ve bileşenleri.....	14
Çizelge 2.4. Hafif betonların sınıflandırılması .....	26
Çizelge 2.5. Farklı standartlara göre hafif beton sınıfları .....	27
Çizelge 2.6. TS 206-1'e göre hafif beton sınıfları .....	28
Çizelge 2.7. Gaz betonun çeşitli birim hacim ağırlıkları için porozitesi .....	44
Çizelge 2.8. Kuru gaz betonun ısı iletkenlik değerleri.....	44
Çizelge 2.9. Gaz betonun kuru birim hacim ağırlığı-elastisite modülü değerleri.....	49
Çizelge 2.10. Gaz betonun birim hacim ağırlığı-kayma gerilmesi değerleri.....	50
Çizelge 2.11. Gaz beton basınç dayanımlarına göre karakteristik özellikler.....	52
Çizelge 2.12. Çimento sınıfları .....	60
Çizelge 2.13. Türkiye'deki çimento tipleri, sembolleri ve ilgili standart numarası .....	61
Çizelge 3.1. Kuvars kumunu oluşturan kimyasal bileşenlerin limit değerleri.....	77
Çizelge 3.2. Erzurum-Pasinler pomzası kimyasal analiz sonuçları .....	77
Çizelge 3.3. Araştırmada kullanılan çimentonun (CEM II /A-M (P-LL) 42.5N) kimyasal analiz değerleri ile fiziksel ve mekaniksel özellikleri .....	78
Çizelge 3.4. Kirece ilişkin kimyasal analiz raporu .....	79
Çizelge 3.5. Çalışma konusunu oluşturan gaz beton karışım parametreleri .....	87
Çizelge 3.6. Araştırmada kullanılan temel karışım grupları .....	89
Çizelge 3.7. Pomza ile üretilen 1 m <sup>3</sup> 'lük beton karışımına giren malzeme miktarları ...	91
Çizelge 3.8. İstatistik hesaplamalarda kullanılan değişkenler .....	97
Çizelge 4.1. Pomzaya ilişkin elek analizi sonucu .....	98
Çizelge 4.2. Alüminyum tozuna ilişkin elek analizi sonucu.....	99
Çizelge 4.3. Agrega ve alüminyum birim hacim ağırlık deney sonuçları .....	100
Çizelge 4.4. Pomzaya ilişkin özgül ağırlık ve su emme oranı deney sonuçları.....	101
Çizelge 4.5. Piknometre yoğunluk faktörü deney sonucu .....	102
Çizelge 4.6. Yıkanabilir ince madde oranı.....	102
Çizelge 4.7. Buhar kürü örneklerinde birim hacim ağırlık değerleri.....	104

<b>Çizelge 4.8.</b> Su kürü örneklerinde birim hacim ağırlık değerleri .....	105
<b>Çizelge 4.9.</b> Kür, K/Ç oranı, katkı oranı ve dozaj bağımsız değişkenlerinin alüminyum ve hidrojen peroksit katkılı örneklerin birim hacim ağırlık değerlerine olan etkilerine ilişkin varyans analizi (ANOVA) sonuçları .....	112
<b>Çizelge 4.10.</b> Katkı çeşidi, kür, K/Ç oranı, katkı oranı ve dozaj bağımsız değişkenlerinin gaz beton örneklerin birim hacim ağırlık değerlerine olan etkilerine ilişkin varyans analizi (ANOVA) sonuçları .....	113
<b>Çizelge 4.11.</b> Buhar kürü örneklerinde su emme oranı değerleri .....	117
<b>Çizelge 4.12.</b> Su kürü örneklerinde su emme oranı değerleri.....	118
<b>Çizelge 4.13.</b> Kür, K/Ç oranı, katkı oranı ve dozaj bağımsız değişkenlerinin alüminyum ve hidrojen peroksit katkılı örneklerin su emme oranı değerlerine olan etkilerine ilişkin varyans analiz sonuçları .....	124
<b>Çizelge 4.14.</b> Katkı çeşidi, kür, K/Ç oranı, katkı oranı ve dozaj bağımsız değişkenlerinin gaz beton örneklerin su emme oranı değerlerine olan etkilerine ilişkin varyans analiz sonuçları .....	125
<b>Çizelge 4.15.</b> Buhar kürü örneklerinde porozite değerleri.....	129
<b>Çizelge 4.16.</b> Su kürü örneklerinde porozite değerleri .....	130
<b>Çizelge 4.17.</b> Kür, K/Ç oranı, katkı oranı ve dozaj bağımsız değişkenlerinin alüminyum ve hidrojen peroksit katkılı örneklerin porozite değerlerine olan etkilerine ilişkin varyans analiz sonuçları .....	133
<b>Çizelge 4.18.</b> Katkı çeşidi, kür, K/Ç oranı, katkı oranı ve dozaj bağımsız değişkenlerinin gaz beton örneklerin porozite değerlerine olan etkilerine ilişkin varyans analiz sonuçları .....	134
<b>Çizelge 4.19.</b> Buhar kürü örneklerinde basınç dayanımı değerleri.....	138
<b>Çizelge 4.20.</b> Su kürü örneklerinde basınç dayanımı değerleri .....	139
<b>Çizelge 4.21.</b> Kür, K/Ç oranı, katkı oranı ve dozaj bağımsız değişkenlerinin alüminyum ve hidrojen peroksit katkılı örneklerin basınç dayanımı değerlerine olan etkilerine ilişkin varyans analiz sonuçları .....	143
<b>Çizelge 4.22.</b> Katkı çeşidi, kür, K/Ç oranı, katkı oranı ve dozaj bağımsız değişkenlerinin gaz beton örneklerin basınç dayanımı değerlerine olan etkilerine ilişkin varyans analiz sonuçları .....	144

<b>Çizelge 4.23.</b> Buhar kürü örneklerinde donma-çözülme sonrası dayanım değerleri....	148
<b>Çizelge 4.24.</b> Su kürü örneklerinde donma-çözülme sonrası dayanım değerleri .....	149
<b>Çizelge 4.25.</b> Kür, K/Ç oranı, katkı oranı ve dozaj bağımsız değişkenlerinin alüminyum ve hidrojen peroksit katkılı örneklerin donma-çözülme sonrası dayanım değerlerine olan etkilerine ilişkin varyans analiz sonuçları .....	152
<b>Çizelge 4.26.</b> Katkı çeşidi, kür, K/Ç oranı, katkı oranı ve dozaj bağımsız değişkenlerinin gaz beton örneklerin donma-çözülme sonrası dayanım değerlerine olan etkilerine ilişkin varyans analiz sonuçları .....	153
<b>Çizelge 4.27.</b> Buhar kürü örneklerinde ısı iletkenlik katsayısı değerleri.....	156
<b>Çizelge 4.28.</b> Su kürü örneklerinde ısı iletkenlik katsayısı değerleri .....	157
<b>Çizelge 4.29.</b> Kür, K/Ç oranı, katkı oranı ve dozaj bağımsız değişkenlerinin alüminyum ve hidrojen peroksit katkılı örneklerin ısı iletkenlik katsayısı değerlerine olan etkilerine ilişkin varyans analiz sonuçları ...	161
<b>Çizelge 4.30.</b> Katkı çeşidi, kür, K/Ç oranı, katkı oranı ve dozaj bağımsız değişkenlerinin gaz beton örneklerin ısı iletkenlik katsayısı değerlerine olan etkilerine ilişkin varyans analiz sonuçları .....	162

## 1. GİRİŞ

İnsanoğlu var oluşundan bu yana hayatını sürdürebilmek, doğa olaylarından ve tehlikelerden kendisini koruyabilmek için daima güvenli bir barınağa ihtiyaç duymuştur. Başlangıçta barınılacak yer; mağara, ağaç kovuğu veya sazlardan yapılan bir kulübe olmuştur (Aruntaş 1988; Şimşek 2009). Sonraları, geniş hacimli yapılara ihtiyaç duyulmuş ve bu yapılarda ahşap, kerpiç, taş ve tuğla inşaat malzemesi olarak kullanılmıştır. İnsanların ferdi yaşamdan toplu yaşama geçmeleri, nüfusun hızla artması, ihtiyaçların çeşitlenerek çoğalması insanları yeni arayışlara yöneltmiştir. Bu arayışlar sonucu bilim ve teknolojinin her sahasında gelişmeler olmuş, inşaat sektöründe de yeni malzemeler ortaya çıkartılmıştır. Bu malzemelerden biri de betondur. Günümüzden yaklaşık iki asır önce bir dizi çalışma sonucu ortaya çıkarılan beton, yapı alanında köklü değişiklik meydana getirmiş ve inşaat denilince ilk akla gelen malzemelerden biri olmuştur (Aruntaş 1988).

Bulunuş tarihi kesin olarak bilinmemekle birlikte Eski Roma dönemine kadar dayanan beton (Ersoy 2001), çimentonun 1824 yılında keşfi ile başlayan süreçte, su ile karışımı sonucu sertleşerek dayanım kazandığı ve içerisine ilave edilen agrega ile yekpare taş benzeri malzeme elde edilebileceği 1845’li yıllarda saptanmış bir kompozit malzemedir. Bunu takiben 1852 yılında da ilk betonarme binanın yapımı ile inşaat alanında kullanılmaya başlanmıştır (Güner 1999; Şimşek 2009). Birçok araştırmada bahsedildiği gibi beton; çimento, agrega ve suyun belirli oranlarda karıştırılmasıyla elde edilen ve belirli bir süre sonunda sertleşerek yüksek dayanım kazanan, günümüzde kullanılan en önemli yapı malzemesidir (Ululata 1981; Ekmekyapar ve Örüng 1997; Erdoğan 2003).

Betonun ilk bulunuşu 19. yy olmasına karşın gelişimi II. dünya savaşından sonraki yıllara rastlamaktadır. Bununla birlikte betonu geliştirme çalışmaları günümüzde de hızla devam etmektedir. Bu çalışmalar betonun üstünlük ve sakıncalara sahip olduğunun bir göstergesidir (Güner 1999). Betonun yüksek dayanıma sahip olması yapı malzemesi olarak kullanılmasında önemli bir üstünlük olmasına karşın, özellikle birim ağırlığının

yüksek olması sonucu betonarme yapılarda hareketli yükün yapının kendi ağırlığının oluşturduğu sabit yüke yakın olması durumunda ekonomik olmayan, zorlu deprem ve temel problemlerinin oluşması da sakıncalarından biridir (Sönmezoğlu, 2005). Betonun sahip olduğu bu özellikler yapı malzemesi olarak kullanılmasında yararlar ve sakıncalar doğurmaktadır. Ekmekyapar ve Örüng (1997) betonun yararlarını ve sakıncalarını aşağıdaki gibi belirtmişlerdir:

Betonun yararları:

- Beton harcına istenilen şekil verilebilir.
- Beton iskeletini oluşturan agrega kolayca bulunabilir.
- Beton işçiliği için her işçinin ihtisaslaşmasına gerek olmayıp bir uzmanın bulunması beton üretimi için yeterlidir, yani yapımı kolaydır.
- Betondan istenilen boyutta yekpare yapı kısımları yapılabilir.
- Betonun dayanımı taş, tuğla, briket ve kerpice oranla yüksek olduğundan yapı elemanlarının boyutları küçültülebilir ve böylece yapı alanından ekonomi sağlanmış olur.
- Gerekli önlem alındığında su içinde yapı elemanlarının yapımına olanak verir.
- Beton yapı elemanları, sıva yapılmaksızın kullanılabilmesi gibi çeşitli yapı malzemeleriyle kaplanarak ta kullanılabilir.

Betonun sakıncaları:

- Beton çok yüksek sıcaklığa dayanamaz ve gerekli önlemler alınmazsa sesi, ısıyı ve nemi iletir.
- Sökülüp tekrar kullanılma özelliği yoktur.
- Onarılması zor ve olanaksızdır.
- Betonarme yapı elemanları diğer yapı malzemeleriyle yapılanlara kıyasla daha ağırdırlar.

Betonun sahip olduğu bu özellikler, kullanılan çimento ve agreganın çeşidine bağlı

olarak değişikler gösterir. Kum, akıl, kırmataş gibi agregalarla üretilen normal beton, bulunuşundan bugüne kadar yapı endüstrisinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Turgutalp 1978). Bu yüzden betonun sakıncalı yönlerini giderebilmek, daha ekonomik ve kullanışlı betonlar elde edebilmek için yeni özelliklere sahip betonlar üretme yoluna gidilmiştir (Düzgün 2001).

Dünyada yapı malzemesi olarak beton kullanımının yaygınlaşması ile birlikte betonun özelliklerinin geliştirilerek, daha hafif, daha ucuz ve daha iyi yalıtım özelliği olan betonlar üretmek için çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışmalarda öne çıkan unsur, hafif agrega kullanılarak veya değişik yöntemler uygulanarak betonun birim ağırlığının azaltılması yoluyla hafif beton üretimidir. Hafif beton son yıllarda önemini arttıran (Türkmen 1997) ve kullanımı birçok uygulamalarda önem kazanmış bir yapı malzemesidir (Turgutalp 1978).

Hafif beton üretiminde; hafif agrega kullanımı, kumsuz agrega kullanımı, beton birim ağırlığını azaltıcı malzemeler kullanılarak oluşturulan köpük beton ve gaz beton gibi değişik yöntemler vardır (Baradan 1994). Hafif beton üretiminde en yaygın yöntem hafif agrega kullanımı olup, hem taşıyıcı hem de taşıyıcı olmayan yapı elemanlarının birim ağırlığını azaltmak amacıyla kullanılan önemli bir malzemedir. Betonun birim ağırlığını azaltmada hafif agrega, normal ağırlıktaki agreganın bir kısmı veya tamamı ile yer değiştirilerek kullanılmaktadır (Akçaözoğlu 2008). Hafif beton üretiminde kullanılan bu yöntemleri üç başlık altında toplamak olasıdır (Arıcı 1997; Sönmezoğlu 2005; Serin vd 2007);

1. Normal ağırlıklı agrega yerine, boşluklu hafif agrega kullanmak,
2. Betonda fiziksel veya kimyasal yolla geniş boşluklar oluşturmak,
3. Betonun ince agregasının çıkartılmasıyla betonda büyük boşluklar oluşturmaktır.

Tüm yöntemlerde betonun yoğunluğundaki düşüşün nedeni, meydana getirilen hava boşlukları ile oluşan gözenekli yapı sayesinde. Beton mukavemetini düşüşüne de neden olan bu boşluklar agreganın içinde, harç içinde veya iri agregaların arasında

olabilir (Arıcı 1997; Serin 1999). Bu yöntemlerin bir ürünü olan gaz beton ise, ince ve silisli bir agrega ve inorganik bir bağlayıcı madde (kireç veya çimento) ile hazırlanan karışımın, gözenek oluşturucu bir madde katılarak hafifletilmesi ve buhar kürüyle sertleştirilmesi ile elde edilen gözenekli bir hafif betondur. Hafiflendirme, çimento ve kirecin alkalileri ile alüminyum tozu arasında oluşan kimyasal tepkime sonucunda ortaya çıkan hidrojen gazının beton yapısını kabartması ile sağlanır. Hafif beton sınıfına giren gaz beton teknik özelliklerinin iyileştirilmesi amacı ile yüksek basınçta buhar kürüne (otoklav) tutulduktan sonra piyasaya sürülen bir inşaat malzemesidir (Sancak 1998).

Demirboğa (1999), hafif inşaat malzemelerinin deprem, ekonomi, ısı ve ses izolasyonu, ateşe karşı dayanıklılık gibi birçok problemi birlikte çözmesi ve bu malzemelerin başında gelen pomzanın Erzurum bölgesinde de yeterince bulunması, katkı maddelerinin etkilerinin de hafif beton üretiminde araştırılması gerekliliğini belirtmektedir. Ayrıca kentsel yapılarda gittikçe artan bir şekilde kullanılan hafif betonun kırsal alandaki tarımsal yapılarda da kullanımı önem kazanmaktadır.

Tarımsal yapılar; tarım işletmelerinde çeşitli amaçlar için kullanılan konut, depo ve koruma yapıları, hayvan barınakları ve ürün değerlendirme tesisleri olarak tanımlanır. Bu yapıların fonksiyonlarını yerine getirebilmeleri için çevre koşulları, işletme tipi, yapım amacı, yapı malzemesi ve işçilik ekonomisi gibi etmenlerin araştırılması gerekir (Balan ve Şen 1988).

Ülkemizde özellikle kırsal yerleşimlerde tarımsal yapılar, malzeme özellikleri ve yapım teknikleri nedeniyle gerekli koşulları sağlayamayan, doğal afetlere özellikle de depreme karşı dayanım gösteremeyen yapı teknolojisine sahiptir. Tarımsal yapıların çevre koşulları ve dayanım bakımından günümüzün gerektirdiği standartlara sahip olması, ancak hafif beton elemanlarının iyi bir şekilde kullanılmasıyla mümkündür (Turgutalp 1978). Ancak tarımsal yapıların inşasında malzeme özelliklerinin ve yapım tekniğinin beklentileri karşılamada yetersiz oluşu ön plana çıkmaktadır (Örüng vd 1997). Çevre koşullarının sağlanması açısından tarımsal yapılarda kullanılması gerekli, yalıtım

özelliği olan malzemelerin (gaz beton, styropor gibi) maliyetinin yüksek oluşu ve kırsal alana nakliyesi ise ön plana çıkan diğer olumsuz etkindir.

Turgutalp (1978), sahip olduğumuz doğal kaynakların değerlendirilmesinde, yeni teknolojik gelişmelerin ışığı altında ülkemizde yaygın bir şekilde bulunan bazı doğal hafif agregalar ile belirli amaçlara yönelik ayrıntılı çalışmaların yapılması gerekliliğini, hafif agregaların tarımsal yapılarda kullanılabilirliğinin araştırılmasını ve sonuçların uygulama alanlarına aktarılabilmesi ile kırsal yerleşimlerin kalkınmasında katkıda bulunacağını ifade etmektedir.

Bu çalışmanın amacı; tarımsal yapıların inşasında hali hazırda kullanılan ve kullanılması olası yapı malzemeleri üzerine olan çalışmalar incelendiğinde farklı özelliklerde hafif betonlar üzerine çalışmaların olmasına karşın, bir hafif beton çeşidi olan gaz betonla ilgili çalışmanın olmaması başta olmak üzere, kırsal alanlarda kullanılabilir, ekonomik ve yeterli koşulları sağlayan, hatta inşaat alanında üretilebilecek bir yapı malzemesinin üretilebilirliğinin araştırılmasıdır. Bu çalışma ile agrega olarak Erzurum-Pasinler pomzası, boşluk oluşturuıcı malzeme olarak da kaynak taraması sonucu belirlenen hidrojen peroksit ve atık alanlardan elde edilecek alüminyum tozu katkısı ile farklı kür şartları, farklı dozaj (250 ve 350 kg/m<sup>3</sup>), farklı kireç oranı (0,20, 0,40 ve 0,60 K/Ç) ve farklı katkı oranı (%0, %1, %2 ve %5) kullanılarak üretilecek gaz betonların fiziksel ve mekaniksel özelliklerinin değerlendirilmesi sonucu ideal karışım oranı belirlenmiş ve tarımsal yapılarda kullanılabilirliği araştırılmıştır.



## 2. KAYNAK ÖZETLERİ

Bu bölümde beton üretiminde kullanılan agrega, karışımda kullanılacak katkı maddeleri ve bağlayıcı ile, çalışmanın ana kaynağını oluşturun hafif beton ve hafif beton türlerinden gaz beton hakkında genel bilgiler ile yapılan araştırmalar sunulmaktadır.

### 2.1. Agregalar

Agrega; genellikle 100 mm'ye kadar çeşitli büyüklüklerde olan, tabii ve yapay mineral malzemelerin veya her iki cins malzemenin oluşturduğu kırılmış veya kırılmamış tanelerin bir yığındır (Ekmekyapar ve Örüng 1997; Şimşek 2003). Bir başka ifade ile beton hacminin yaklaşık %75'ini oluşturan, beton yapımında çimento ve su ile birlikte kullanılan, kum, çakıl, kırmataş gibi taneli malzemelere verilen genel bir addır. Betonun oluşturan temel malzemeler içerisinde en pahalı ürün olan çimentodan sonra gelir. Bu nedenle istenilen kalitede ve ekonomik bir betonun üretilebilmesi agrega kullanımı ile mümkündür (Erdoğan 2003).

Agrega, yaygın olarak kullanılan bir yapı malzemesi olması nedeniyle yapı maliyetlerini büyük ölçüde etkilemektedir. Bu nedenle uygun niteliklerdeki agregayı yeterli miktarda ve en yakın ocaktan, en ekonomik şekilde elde edebilmek mühendislik açısından önemli bir konudur (Baradan 1994). Betonun en önemli bileşeni olan agrega, sertleşen betonun hacim değişikliğini önler veya azaltır, betonun aşınmaya karşı dayanımını artırır, çevre etkilerine karşı dayanıklılığını ve kendi dayanım gücü nedeniyle de betonun taşımakta olduğu yüklere karşı dayanımını artırır. Yapı betonlarında kullanılan agregaların tane büyüklüğü genellikle 63 mm'yi geçmemektedir (Erdoğan 2003).

Sahin (2002), agrega özelliklerinin yapılacak olan beton özelliklerini etkilediğini, bu nedenle agregaların fiziksel dayanımı, tanelerin şekli ve yüzey yapısı, birim hacim ağırlığı ve su emmesi, granülometrisi, nem etkisiyle oluşan boyut değişimleri ve ısı ile ilgili özellikleri beton yapımında önem taşıdığını ifade etmektedir. Bu özelliklere bağlı

olarak beton özellikleri ile çimento niteliği, karışım oranları ve sıkıştırma derecesi de beton özelliklerini etkilemektedir. İyi bir beton elde edebilmek için agregaların bazı özelliklere sahip olması gerekir. Agregalarda bulunması gereken özellikler ise şu şekilde sıralanabilir (Ekmekyapar ve Örüng 1997; Şimşek 2003).

- Sağlam ve dayanıklı olmalı, aşınmamalı, su etkisi ile yumuşamamalı ve dağılmamalı,
- Çimento bileşenleriyle zararlı bileşikler meydana getirmemeli ve donatının korozyona karşı korunmasını tehlikeye düşürmemeli,
- Tanelerin biçimi ve dokusu iyi olmalı,
- Tanelerin büyüklük bakımından dağılımı, amaca ve standartlara uygun olmalı,
- Agregada içinde zararlı maddeler bulunmamalıdır.

Uluata (1981), agregaları doğal agregalar, yapay agregalar ve özel agregalar olmak üzere üç kategoriye ayırmasına karşın farklı kaynaklarda agreganın sahip olduğu özelliklere göre farklı sınıflamalar yapılmıştır. Buna göre agregalar (Erdoğan 1995, 2003):

- Kaynağına göre: doğal agregada, yapay agregada
- Özgül ağırlık veya birim hacim ağırlıklarına göre: hafif, normal ve ağır agregada
- Tane büyüklüğüne göre: iri agregada ve ince agregada
- Tane şekline göre: yuvarlak, köşeli, yassı ve uzun agregada
- Yüzey dokusuna göre: düzgün, granüler, pürüzlü, kristalli ve petekli agregada
- Elde edilışlerine göre: doğal (kum, çakıl, kırmataş), yan ürün (yüksek fırın cürufu) ve ısıl işleme tabi tutulmuş (genleştirilmiş perlit) agregada
- Jeolojik orijinlerine göre: volkanik, tortul ve metamorfik agregada
- Mineralojik yapılarına göre: silis mineralli, karbonat mineralli, mikalı vb. agregada
- Agregaların yapılarında, çimento içerisinde bulunabilecek alkalilerle reaksiyona girerek genleşme yaratabilecek reaktif silis içerip içermediklerine göre: reaktif ve reaktif olmayan agregada olarak sınıflandırmak mümkündür.

### 2.1.1. Hafif agregalar

Hafif agrega, oluşumları sırasında gözenekli bir yapı kazanmış bulunan, tuf, bims (pomza), sünger taşı, lav cürufu, diatomit vb. su, çimento ve gerektiğinde katkı maddeleri ile karıştırılarak hafif betonun üretiminde kullanılan, gevşek birim hacim ağırlığının en büyük değeri  $1200 \text{ kg/m}^3$ 'ü aşmayan, kırılmış veya kırılmamış inorganik agregadır (Anonymous 1986; Öztütüncü 1992). Başka bir anlatımla hafif agrega; normal beton üretiminde geleneksel olarak kullanılan kum, çakıl, kırmataş gibi malzemelerin yerine, betonun kuru birim hacim ağırlığını düşürmek amacıyla kullanılan agrega türü olarak ta tanımlanabilir (Okuyucu 2005). Ayrıca hafif agregaları; kuru birim hacim ağırlığı  $400 \text{ kg/m}^3$ 'e kadar olan agregalar yalıtım betonlarında,  $400-650 \text{ kg/m}^3$  arası olan agregalar yalıtım ve orta mukavemetli betonlarda,  $650 \text{ kg/m}^3$ 'den büyük olan agregalar da taşıyıcı betonlarda kullanılabilen agrega şeklinde de tanımlamak olasıdır (Ceylan 2005; Sönmezoğlu 2005).

Hafif agregalar kökenlerine göre farklı kimyasal ve fiziksel özelliklere sahiptir. En önemli özellikleri yüksek boşluk oranları nedeniyle düşük hacim yoğunluğa sahip olmalarıdır. Düşük yoğunluğa sahip hafif agregalar yapay ve doğal olmak üzere iki sınıfa ayrılırlar (Turgutalp 1978).

Yapay hafif agrega; genellikle ısıtma, sinterleşme, gaz ve köpük oluşturma yolu ile gözenekleştirilerek elde edilen kırılmış ya da kırılmamış agrega türüdür. Yapay hafif agregaya yüksek fırın cürufu, genleştirilmiş kil, uçucu kül, kuvarsit, perlit, obsidijen, vermikülit, şist, arduvaz başta olmak üzere inorganik malzemeler örnek olarak verilebilir (Öztütüncü 1992; Türkmen 1997; Düzgün 2001). Doğal hafif agrega ise; oluşumları sırasında volkanik aktivite gibi nedenlerden dolayı gözenekli bir yapı kazanan, kırılmış veya kırılmamış agrega türüdür. Doğal hafif agregalara örnek olarak tuf, pomza (bims), sünger taşı, lav cürufu, diatomit, vb. inorganik malzemeler sayılabilir (Öztütüncü 1992; Türkmen 1997).

Okuyucu (2005) tarafından yapılan diğer bir sınıflandırma ise hafif agregaları beş

grupta toplamıştır.

- Doğal hafif agregalar: pomza, volkanik tuf, volkanik cüruf,
- Doğal malzemelerden üretilen yapay hafif agregalar: genişletilmiş perlit, genişletilmiş kil, şist ve arduvaz,
- Endüstriyel artıklardan oluşan hafif agregalar: cüruf, uçucu kül,
- Organik hafif agregalar: hububat tanecikleri, ağaç parçacıkları gibi malzemeler,
- Polimer kökenli malzemeler: stropor vb.

Doğal hafif agregaların yurdumuzda en yaygın olanları pomza, volkanik tuf, volkanik cüruf ve perlittir.

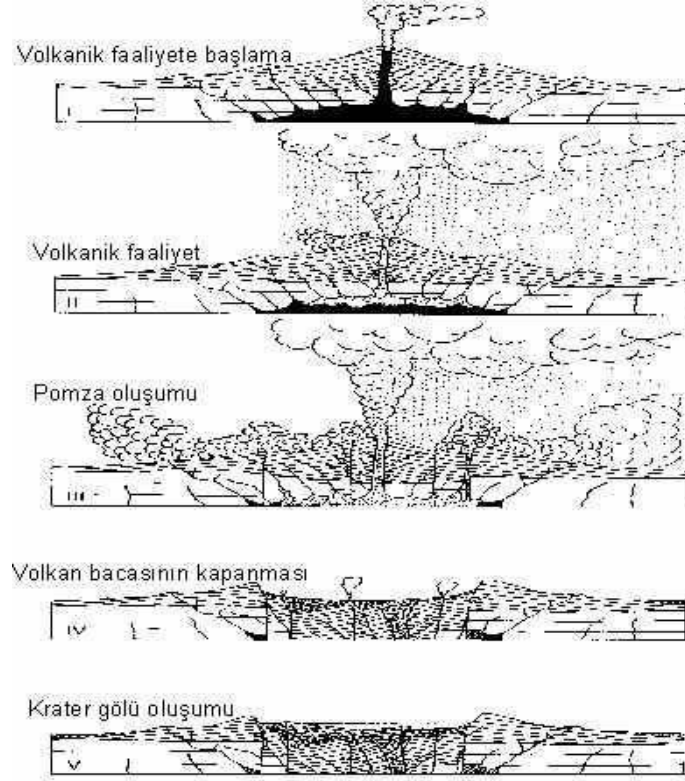
#### **2.1.1.a. Pomza**

Doğal hafif agrega olarak nitelendirilen pomza taşından kırma, eleme ve boyutlandırma ile elde edilmiş farklı tane boyutlarındaki malzemeye pomza agregası adı verilmekte olup kısaca pomza denilmektedir (Gündüz 2005; Toklu 2009).

Pomzayı tanım olarak açıklamak gerekirse; volkanik aktiviteler sonucu oluşmuş silikat esaslı, amorf yapıda, camsı, süngerimsi görünümlü, birim hacim ağırlığı küçük, sertliği Mohs skalasına göre yaklaşık 6 olan doğal bir volkanik kayadır. Dilimizde sünger taşı, hışır taşı, topuk taşı gibi adlar alan bu kayaç, İngilizcede pumice (iri taneli) veya pumicite (ince taneli), Almancada ise bims (iri taneli) veya bimstein (ince taneli), Fransızca ponce ve İtalyanca'da ponza olarak bilinmektedir (Köse vd 1997; Gündüz 2005). Diğer dillerin ve teknoloji ithalinin etkisiyle Tükçe'de pomza, ponza, bims, pümis ve pümisit gibi terimlerle ifade edilir (Serin 1999).

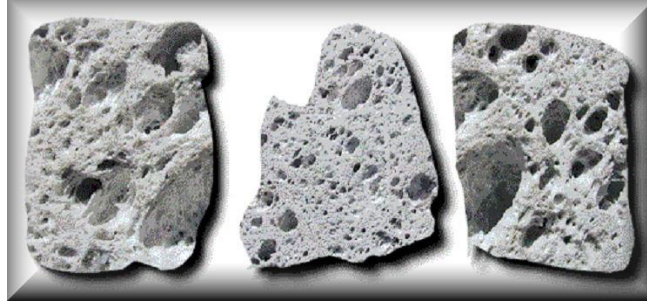
Bir başka tanıma göre pomza, birbiriyle bağlantısız boşluklu, süngerimsi, silikat esaslı, volkanik olaylar sonucunda oluşmuş (Şekil 2.1), fiziksel ve kimyasal etkenlere karşı dayanıklı, birim hacim ağırlığı  $1 \text{ g/cm}^3$ 'ten küçük, gözenekli ve camsı bir kayadır (Uygunoğlu ve Ünal 2007; Uygunoğlu 2008; Anonymous 2012b). Endüstriyel kullanım

açısından tanımlandığında ise; boşluklu, süngerimsi, volkanik olaylar sonucunda oluşmuş fiziksel ve kimyasal özelliklere karşı dayanıklı, zararsız, uzun ömürlü, ısı ve ses yalıtım özelliği sağlayan, yüksek sıcaklıklara dayanıklı, camsı özelliğe sahip volkanik bir kayaç olarak da tanımlanabilir (Gündüz 2005).



**Şekil 2.1.** Pomza taşının oluşum mekanizması (Anonymous 2012a)

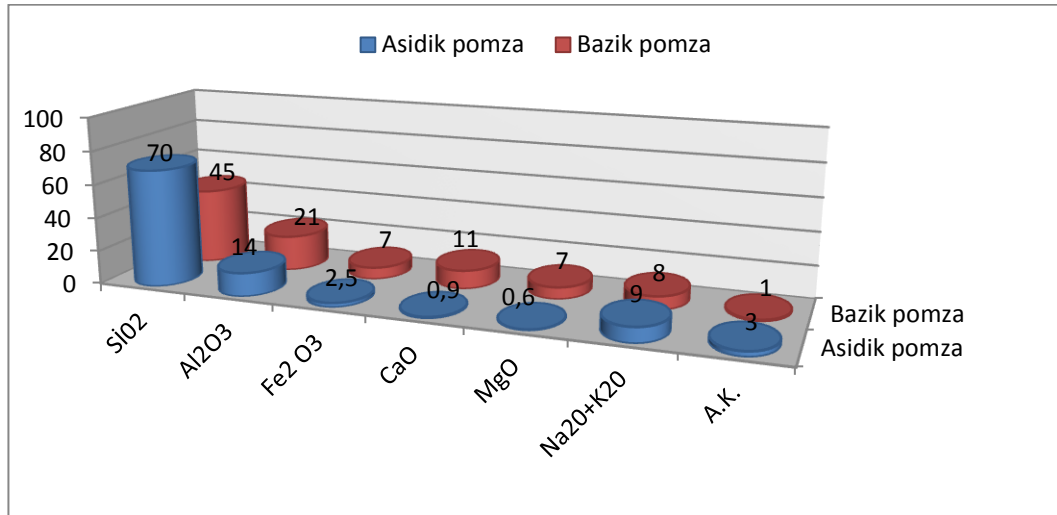
Pomza, oluşumu sırasında bünyesindeki gazların ani olarak dışarı çıkması ve hızlı bir şekilde de soğuması nedeniyle, makro ölçekten mikro ölçüğe kadar sayısız gözenek içerir (Güzel 1993; Çevikbaş ve İlgün 1997). Bir anlamda pomza, volkanik tüf olup erimiş halde iken absorbe ettiği gazları soğuma sırasında külesinden ayrılan boşluklu (Şekil 2.2) bir malzemedir (Ağırdır 1989). Genelde gözenekler arasının bağlantısız olması ve gözeneklerin yarı açık veya kapalı olmasından dolayı geçirgenliği düşük, ısı ve ses yalıtımı oldukça yüksektir (Güzel 1993; Çevikbaş ve İlgün 1997).



**Şekil 2.2.** Pomza agregasının gözenekli yapısı (Anonymous 2012b)

Pomzanın kimyasal bileşimi, bulunduğu yöreye göre bazı farklılıklar göstermekle birlikte genel olarak %75'e varan silis ( $\text{SiO}_2$ ) içeriğine (Şekil 2.3) sahiptir (Serin 1999; Yanık 2007). Pomza, volkanik oluşum mekanizmasının asidik ve/veya bazik oluşu ve meydana gelen kayacın yapısal özelliğine göre iki türe ayrılabilir (Gündüz 2005; Toklu 2009). Bunlar;

- Asidik karakterli pomza
- Bazik karakterli pomza



**Şekil 2.3.** Pomzanın genel kimyasal bileşim oranları

Yeryüzünde en yaygın bulunan ve kullanım türü geniş olan asidik pomza, beyaz ve kirli renge (Şekil 2.4) sahip olanıdır. Bazik pomza ise siyahımsı renkteki pomza türüdür.

Asidik karakterli pomzalarda silis oranı daha yüksektir ve inşaat sektöründe yaygın kullanım alanı bulabilmektedir. Diğer taraftan bazik karakterli pomzalarda alüminyum, demir, kalsiyum ve magnezyum bileşenleri daha yüksek oranda bulunması nedeniyle diğer endüstriyel alanlarda da kullanımı bulunmaktadır. Her iki pomza türü de oluşum sırasında ani soğuma ve gazların bünyeyi hızlı bir şekilde terk etmesi sonucu oldukça gözenekli bir yapı kazanmışlardır (Gündüz 1998).



**Şekil 2.4.** Asidik ve bazik pomza örnekleri

Pomza uluslararası birçok alanda yıllardır kullanılan, volkanik kökenli, endüstriyel bir hammaddedir. Ancak ülkemizde yapı sektöründe kullanımı çok eski değildir. Doğal yapısı sayesinde ses ve ısı izolasyonu sağlayarak ciddi oranda enerjiden tasarruf sağlamaktadır. Alternatifi olan gaz beton ve benzeri yapı elemanlarına göre ekonomik oluşu nedeniyle inşaat sektöründe kullanımı giderek artmaktadır (Toklu 2009). Endüstriyel bir hammadde olan pomza, 50'den fazla sektörde amacına göre ya ana hammadde ya da katkı malzemesi olarak ta kullanılmaktadır (Varol 2012).

### **1. Ülkemiz pomza potansiyeli**

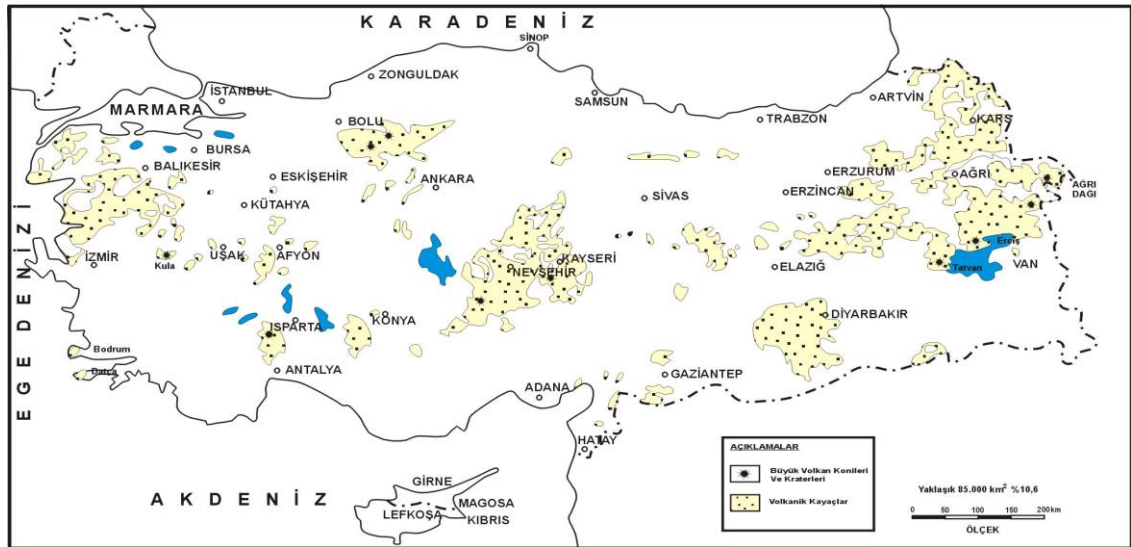
Ülkemiz, birçok endüstriyel hammadde ve yeraltı kaynakları yönünden önemli bir potansiyele sahiptir. Bununla birlikte 18 milyar m<sup>3</sup> dolayında olan dünya pomza rezervlerinin yaklaşık %40'ı (7.4 milyar m<sup>3</sup>'den fazla) ülkemizde bulunmakta ve bu rezervin genel dağılımı Çizelge 2.1'de gösterilmektedir (Serin 1999; Toklu 2009; Varol 2012).

**Çizelge 2.1.** Türkiye pomza rezerv dağılımı

Yeri	Rezerv Miktarı (m <sup>3</sup> )	Rezerv Kategorisi
Nevşehir-Avanos-Ürgüp	400 412 834	A+B
Derinkuyu	48 660 500	C
Kayseri-Gömeç	13 250 000	A+B
Kayseri-Talas-Tomarza	525 000 000	A+B
Bitlis-Tatvan	1 100 000 000	A+B
Bitlis-Ahlat	210 000 000	A+B
Van-Erciş-Kocapınar	154 625 000	A+B
Van-Mollakasım	5 950 000	A+B
Ağrı-Patnos	27 812 000	A+B
Ağrı-Doğubeyazıt	26 875 000	A+B
Kars-Iğdır-Kavaktepe	40 156 250	B
Kars-Digor	11 718 750	B
Kars-Sarıkamış	1 875 000	B
Ankara-Güdül-Tekköy	8 070 000	A+B
Isparta-Gölcük	30 983 250	A+B+C

A: görünür rezerv, B:olası rezerv, C:potansiyel rezerv

Volkanik olaylar sonucuna oluşmuş pomza, bulunduğu rezerv alanları açısından İç Anadolu bölgesi başta olmak üzere Akdeniz ve Doğu Anadolu bölgelerinde de önemli miktarda üretimi yapılmaktadır. Ülkemizde volkanik malzeme potansiyeli bulunan alanlar (Şekil 2.5) incelendiğinde Çizelge 2.1’de gösterilen pomza rezervlerini görmek mümkündür. Ancak pomza rezerv alanları ve potansiyeli bulunan alanların tamamı kapasitesinde üretim yapmamaktadır (Anonymous 2006).

**Şekil 2.5.** Volkanik malzeme potansiyeli bulunan alanlar



## 2. Pomzanın özellikleri

Pomza, birbiriyle bağlantılı olmayan ve gözle görülebilecek makro boyuttan mikro boyuta kadar sayısız gözenek yapısından oluşur. Bu gözenekli yapı nedeniyle sudan hafif, yalıtım özelliği yüksek bir yapı kazanır. Ülkemizde bulunan pomzanın genel yapısı Çizelge 2.2 ve Çizelge 2.3’de gösterilmiştir (Anonymous 2006; Toklu 2009).

**Çizelge 2.2.** Ülkemiz pomza kayalarının genel fiziksel özellikleri

<b>Fiziksel Özellikler</b>	
Renk	Açık griden kirli beyaza
Kristal şekli	Amorf
Kristal suyu	Yok
Sertlik (MOHS)	5.5 – 6.0
Birim hacim ağırlığı (g/cm <sup>3</sup> )	0.32 – 0.97
Özgül ağırlığı (g/cm <sup>3</sup> )	2.15 – 2.65
Porozite (%)	45 – 90
Rötre (mm/m)	<1
Isı iletkenlik katsayısı (W/m <sup>°K</sup> )	0.08 – 0.20
Isınma ısısı (cal/g °C)	0.24 – 0.28
Ses yalıtımı (dB)	40 – 55
Ağırlıkça su emme (%)	30 – 70
Buhar diffüzyon katsayısı	5 - 10

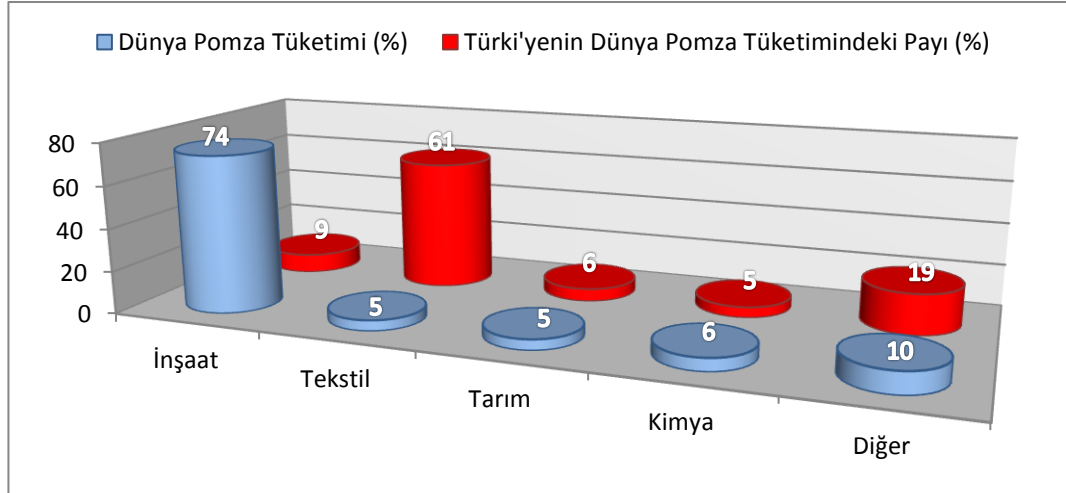
**Çizelge 2.3.** Ülkemiz pomza kayalarının genel kimyasal özellik ve bileşenleri

<b>Kimyasal Özellikler</b>		<b>Kimyasal Bileşenler</b>	
pH	7 – 7.3	Silisyum dioksit (SiO <sub>2</sub> )	52 – 75
Radyoaktivite	Yok	Alüminyum oksit (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	11.0 – 17.0
Suda çözünen madde miktarı (ağırlıkça %)	≤ 0.15	Demir oksit (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	0.5 – 5.0
Asitte çözünen madde miktarı (ağırlıkça %)	≤ 2.9	Kalsiyum oksit (CaO)	1.0 – 8.0
Uçucu madde (ağırlıkça %)	Yok	Magnezyum oksit (MgO)	0.5 – 3.0
Alevlenme derecesi (°C)	Yok	Sodyum oksit + Potasyum oksit (Na <sub>2</sub> O + K <sub>2</sub> O)	3.0 – 9.0
Ergime derecesi (°C)	>900	Titanyum oksit (TiO <sub>2</sub> )	<1
		Sülfür trioksit (SO <sub>3</sub> )	<1

## 3. Pomza kullanım alanları

Dünyada ve ülkemizde üretilen pomzanın büyük bir çoğunluğu (Şekil 2.6) inşaat sektöründe, hafif yapı elemanı üretiminde kullanılmaktadır. Çok az bir oranda tekstil ve tarım sektöründe kullanımının yanında, farklı endüstriyel alanlarda doğrudan veya yarı

mamul olarak da kullanılmaktadır (Serin 1999; Anonymous 2006; Yanık 2007; Varol 2012).



**Şekil 2.6.** Pomza kullanım alanları

İNŞAAT sektöründe pomzanın, hristiyanlıktan çok önce (ilk olarak Yunanlılar ve daha sonra da Romalılar tarafından) duvarlarının inşası ve su kanallarının yapımında kullanılmaya başlandığı kabul edilir. İlk olarak kullanımı daha eski olsa da günümüzdeki kullanımının ilk temelleri, Kaliforniya'da 1851 yılında boyutlandırılmış pomzanın agrega olarak kullanılmasıyla başlamaktadır. Pomzanın çimento ile karıştırılarak ilk kullanımı A.B.D`de 1908–1918 yılları arasında Los Angeles su kemerinin yapımı olmasına karşın, hafif-yalıtımlı beton agregası olarak kullanımı 1935 yılıdır ve pomza günümüzde bile önemini kaybetmemiş bir malzemedir. (Anonymous 2006).

Pomzanın ülkemizde ve dünyada geniş anlamda inşaat endüstrisinde kullanılma nedeni düşük birim hacim ağırlığı, yüksek ısı ve ses yalıtımı, iklimlendirme özelliği, kolay sıva tutması, mükemmel akustik özelliği, deprem yük ve davranışları karşısındaki elastikiyeti ve alternatiflerine göre daha ekonomik oluşu ile açıklanabilir (Uygunoğlu ve Ünal 2007; Varol 2012).

İnşaat sektöründe pomzanın genel olarak kullanım alanları aşağıda verildiği gibidir (Anonymous 2006; Anonymous 2008).

- a) Prefabrike yapı elemanları üretimi
- b) Çatı ve dekoratif kaplama elemanları
- c) Çatı ve döşeme izolasyon dolgusu
- d) Hafif beton üretimi
- e) Hafif hazır sıva ve harç üretimi
- f) Hafif yapı elemanları üretimi

#### **a) Prefabrike yapı elemanları üretimi**

Prefabrike yapı elemanları üretiminde pomza kullanımı ülkemizde gelişmekte olan bir sektör olup, pek çok Avrupa ülkesinde ve Amerika'da yıllardır inşaat sektöründe kullanılmaktadır. Prefabrike yapı elemanları üretiminde yekpare mekanlar elde etmede, entegre bölümlerden oluşan mekanların yapımı ile panel duvar ve döşeme elemanlarının imalatında yararlanılmaktadır (Kotan 2009).

#### **b) Çatı ve dekoratif kaplama elemanları**

İnşaat ve yapı endüstrisinde daha çok estetik açıdan pomza, akrilik kaplı, dekoratif, renkli beton kiremit üretiminde kullanılmaktadır. Ayrıca kaplama elemanlarında arandığı donma-çözülme dayanıklılığı, yüzeysel suların drenajı, aşınma etkilerinden minimum düzeyde etkilenme gibi özelliklere sahip olan pomzalı hafif betonun kullanımı, geleneksel kalker agregalı suni kaplama malzemelerinin yerini almaya başlamıştır (Kotan 2009).

#### **c) Çatı ve döşeme yalıtım dolgusu**

Isı yalıtımı yönünden diğer malzemelere oranla ekonomik olan pomzanın bina temel aralarında, düşük döşemelerde ve kapalı çatı altında (son kat tabliye üstünde) serbest

taban örtüsü olarak, 3–16 mm arasında tane boyutuna sahip pomzanın kullanım olanağı bulunduğu başka bir alandır (Kotan 2009).

#### **d) Hafif beton üretimi**

Ülkemizde halen çok yaygın bir şekilde kullanılmamasına karşın, dünyada pomzanın hazır beton endüstrisinde kullanımı oldukça yaygındır. Özellikle tek katlı veya iki katlı konutlarda, gürültü kirliliğinin yoğun olduğu havaalanları ve otoyollarının çevreden ayrılması amacıyla yapılan çevre duvarlarının inşasında, konser, tiyatro, sinema gibi akustiğin ve ses yalıtımının ön plana çıktığı sosyal ve kültürel mekanların inşasında yaygın olarak kullanılmaktadır (Varol 2012).

#### **e) Hafif hazır sıva ve harç üretimi**

Hafif yapı elemanlarında olduğu gibi, özellikle ısı ve ses yalıtımı amaçlı duvar kesitlerinin elde edilmesinde hafif sıva ve örgü harçları, mühendislik uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Değişik yapay veya doğal boşluklu agrega türleri, bu tip sıva harcı karışımlarında kullanılmakta olup bunlar arasında en popüler olanlardan bir tanesi pomzadır. Pomzadan mamul hafif akustik sıva, hafif izolatif sıva ve pomza harcı yüksek ısı ve ses yalıtım sağlaması ve çok iyi akustik özellik göstermesi nedeni ile kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır (Varol 2012).

#### **f) Hafif yapı elemanları üretimi**

Pomzadan imal edilen yapı malzemelerinin en önemlisi ve en yaygın olanı bims bloklardır. Bims bloklar yüksek ısı ve ses yalıtımı, yüksek mukavemet göstermeleri ve depreme dayanıklı mekânları en ucuza mal etme gibi özelliklerinden dolayı vazgeçilmez bir malzemedir (Varol 2012). Ayrıca normal betona kıyasla 1/2 - 2/3 oranında daha hafif olan pomza betonunda, inşaat demirinden %13-17, işçilikten ise %30 oranında tasarruf sağlanır. Normal bir betonun ısı iletkenlik değeri ortalama 2.0 kcal/mh°C olmasına karşın pomzalı hafif betonun 0.3–0.5 kcal/mh°C gibi daha düşük bir

değerdedir. Pomza katkılı betonlar normal betona oranla yangına karşı %20 daha dayanıklıdır. Hafif yapı elemanları üretiminde pomza; donatılı duvar dolu blokları, donatısız duvar dolgu blokları ve döşeme elemanları yapımında (Şekil 2.7) kullanılmaktadır (Kotan 2009).



**Şekil 2.7.** Pomzanın hafif yapı elemanı olarak kullanım alanları

## 2.2. Beton

Beton; çimento, agrega, su ve gerektiğinde katkı maddelerinin belirli oranlarda homojen olarak karıştırılmasıyla elde edilen, zamanla plastik kıvamını kaybederek sertleşen kompozit bir malzemedir (Arslan 2008). Başka bir anlatımla beton; çimento, agrega ve suyun belirli oranlarda karıştırılmasıyla elde edilen ve belirli bir süre sonunda sertleşerek yüksek dayanım kazanan bir yapı malzemesidir (Uluata 1981: Ekmekyapar ve Örüng 1997). Ayrıca beton; çimento, beton agregası, su ve uygun katkı maddelerinin hesaplar sonucunda ve belirli bir üretim teknolojisine uygun olarak belirli oranlarda karıştırılmasıyla elde edilen, başlangıçta plastik kıvamda olup zamanla çimentonun hidrasyonu sonucu katılaşıp, istenilen şekli alarak sertleşen kompozit bir yapı malzemesi olarak da Şimşek (2009) tarafından tanımlanmıştır.

Betonu oluşturan malzemelerin (su-çimento-kum-çakıl) oranları değiştirilerek dayanımı farklı betonlar elde edilebilir. Buna ek olarak özel üretilmiş çimentolar, özel

agrega (hafif agrega, ağır agrega), katkı maddeleri ve özel kür koşulları kullanılarak farklı özelliklerde betonlar da elde etmek olasıdır (Kaplan 2003). Farklı özelliklerdeki betonlar; yoğunluğuna, dayanımına ve üretim yerine göre üç farklı şekilde gruplandırılabilir (Arslan 2008).

Sertleşmiş beton yoğunluğu; beton etüv kuru kütlelerinin görünür hacme oranıdır. Beton yoğunluğu kullanılan agreganın kaynağına, türüne ve granülometrik yapısına bağlı olarak değişiklikler gösterir. Bu duruma göre hafif, normal ve ağır betonlar olmak üzere üç gruba ayrılır (Arslan 2008; Şimşek 2009).

TS EN 206-1 göre 3 sınıfa ayrılan betonun özellikleri aşağıdaki şekilde tanımlanabilir (Anonymous 2002a):

1. **Hafif beton:** Etüv kurusu durumdaki birim hacim ağırlığı  $800 \text{ kg/m}^3$  ile  $2000 \text{ kg/m}^3$  arasında olan beton.
2. **Normal beton:** Etüv kurusu durumdaki birim hacim ağırlığı  $2000 \text{ kg/m}^3$  ile  $2600 \text{ kg/m}^3$  arası olan beton.
3. **Ağır beton:** Etüv kurusu durumdaki birim hacim ağırlığı  $2600 \text{ kg/m}^3$ 'ten daha büyük olan beton.

### 2.2.1. Hafif beton

Hafif beton farklı kaynaklarda farklı şekillerde tanımlanmış olup, kısaca etüv kurusu yoğunluğu  $0.8\text{--}2.0 \text{ kg/dm}^3$  arasında olan beton çeşididir (Arslan 2008; Kotan 2009). Arslan (2008)'a göre hafif beton; üretiminde hafif agrega (pomza, diaotomit v.b.) kullanılan ya da karışımında  $4 \text{ mm}$ 'lik elek üzeri malzemesi hafif agrega,  $4 \text{ mm}$ 'lik elek altı malzemesi de doğal kum ve/veya hafif agrega kırıntıları olan beton olarak açıklanmıştır. Ekmekyapar ve Örüng'e (1997) göre hafif beton; dayanımın yanı sıra hafiflik, ısı yalıtımı gibi özelliklerin arandığı yerlerde kullanılan, birim hacim ağırlıkları  $400\text{--}2000 \text{ kg/m}^3$  arasında değişen betonlar olarak tanımlanmıştır. Demirboğa (1999)'a

tarafından yapılan diğer bir tanımlama da ise geleneksel agrega yerine hafif agrega kullanmak suretiyle ya da sadece iri agrega kullanarak veya bağlayıcı çimento hamurunun geniştirilmesi (gaz beton gibi) ile de üretilebilen malzeme olarak tanımlamıştır.

Şimşek (2003) tarafından yapılan diğer bir tanımda hafif betonlar, atık maddeleri değerlendirmek veya yapı elemanında ses, ısı ve hafiflik özelliklerinin arandığı durumlarda yapılan, ayrıca hafif beton kullanılmasıyla yapı elemanının ses, ısı ve ölü yükün azalmasında önemli üstünlükler sağlayan bir beton çeşidi olarak açıklamıştır.

Hafif betonun sahip olduğu bu üstünlükler aşağıda verilmiştir (Türkmen 1997).

- Eğilme etkisindeki elemanlarda donatı ekonomisi sağlar.
- Prefabrike yapı elemanlarının imalat koşulları daha iyidir.
- Hafif beton ile üretilen yapılar depremden daha az etkilenir.
- Isı yalıtkanlığı daha iyidir.
- Donma-çözölmeye ve ataşe karşı dayanıklılığı daha iyidir.
- Eğilme etkisindeki ön gerilmeli yapı elemanlarında kritik açıklığın daha büyük olması gerekir.

Ancak hafif betonun sağladığı bu üstünlüklere karşın bazı olumsuz yönleri şu şekildedir (Turgutalp 1978; Düzgün 2001);

- Boşluk oranının fazla olması
- Mukavemetinin geleneksel betonlara göre daha düşük olması
- Yüksek rötre göstermesi
- Yerleştirmede daha fazla özen göstermesidir.

Sahip olduğu bu olumlu ve olumsuz yönlerine karşın hafif betonlar, yeterli basınç dayanımının sağlanması koşuluyla ya da kullanım alanlarına göre normal betonların

yerine kullanılabilen ve bu sayede düşük birim hacim ağırlık ve yüksek ısı yalıtımı sağlanabilen önemli bir yapı malzemesidir (Turgutalp 1978).

Hafif beton üretiminde en yaygın yöntem hafif agrega kullanmaktır. Hafif agrega, hem taşıyıcı hem de taşıyıcı olmayan ve betonun birim ağırlığını azaltmak amacıyla kullanılan önemli bir malzemedir. Betonun birim ağırlığını azaltmak için normal ağırlıktaki agreganın bir kısmı veya tamamı, daha düşük birim ağırlıklı hafif agregalarla yer değiştirilerek kullanılabilir (Akçaözoğlu 2008). Hafif beton üretiminde en yaygın kullanılan agrega pomza olmakla birlikte cüruf, diatomit gibi doğal hafif agregalar da kullanılmaktadır (Anonymous 2011c). Hafif betonlarda hafif agregaların kullanılmasında ana amaç ısı yalıtım değeri yüksek ve birim ağırlığı düşük malzeme elde etmektir (Ekmekyapar ve Örüng 1993; Türkmen 1997).

Hafif beton benzeri malzeme üretimi, hafif agrega ile kireç veya puzolonik bir bağlayıcı kullanılarak M.Ö. 3000 yıl öncesine kadar dayanmaktadır (Kotan 2009). Ancak hafif beton, çimentonun bağlayıcı malzeme olarak yaygın bir şekilde kullanılmasından sonra özellikle son elli yıl içerisinde birçok uygulamada büyük önem kazanmış bir malzeme olup basınç dayanımları açısından birçok sınıflandırılma yapılmıştır. Bunun nedeni hafif agregalı beton üretiminde dayanımları birbirinden farklı olan hafif agregaların kullanılmasıdır (Düzgün 2001). Ayrıca üretim yöntemlerine göre hafif betonlar üç grup altında sınıflandırılabilir. Bu yöntemler (Şahin 1996; Türkmen 1997; Serin 1999; Visagie 2000).

1. Normal ağırlıklı agrega yerine, boşluklu hafif agrega kullanılmak: Bu tip hafif betonlar kullanılan hafif agrega cinsine göre adlandırılırlar. Genişletilmiş kil, şist gibi taşıyıcı betonlar ile perlit betonu, pomza taşı betonu gibi yalıtım veya orta mukavemetli betonlar örnek olarak verilebilir.

2. Betonda fiziksel veya kimyasal yolla geniş boşluklar oluşturmak: Bu boşlukları hava sürükleyici katkı maddeleri ile elde etmek en yaygın yöntemlerden bazılarıdır. Bu tip betonlar gaz betonu, köpük betonu veya hava sürüklenmiş beton olarak adlandırılır.



3. Betonun ince agregasının çıkartılmasıyla betonda büyük boşluklar oluşturmak: Bu tip betonlar genellikle kumsuz betonlar olarak adlandırılmakta olup, iri agregalar birbirlerine 1-3 mm kalınlıkta çimento hamuruyla bağlıdırlar ve çimento dozajı yaklaşık  $70 \text{ kg/m}^3 \sim 130 \text{ kg/m}^3$ tür.

Şimşek (2003), hafif betonun mekanik özelliklerinin normal betonlara göre düşük olması nedeniyle hafif beton üretimlerini iki şekilde sınıflandırılabilceğini de belirtmektedir. Bu sınıflandırma;

a) Doğal ve/veya hafif agrega ile üretilen hafif betonlar;

- Perlit betonu
- Yüksek fırın cürufu ile üretilen beton
- Vermikulit betonu
- Genleştirilmiş kil ve şist betonu
- Tüf, uçucu kül ve sünger taşı (pomza veya bims taşı)
- Odun talaşı veya ahşap yonga ile üretilen beton

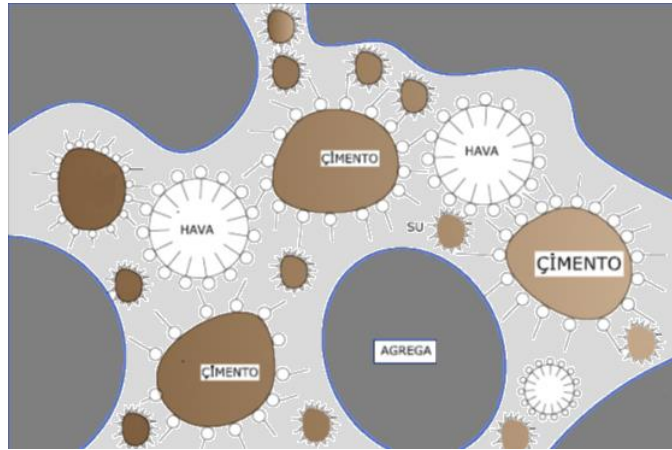
b) Kimyasal katkı maddesiyle üretilen hafif betonlar;

- Taze beton içerisine hava sürükleyici ekleyerek üretilen beton
- Taze beton içerisine çimento ile birlikte alüminyum tozu katılarak üretilen beton
- Taze beton içerisine hidrojen peroksit ve beyazlatma tozu konarak üretilen beton.

Hafif betonlar, geçmişten bugüne kadar çok çeşitli yöntemlerle üretimi gerçekleştirilmektedir. Bu yöntemler yukarıda açıklandığı gibi hafif agrega kullanımından başka kimyasal köpük kullanma, kum kullanılmaksızın sadece iri agrega kullanma ve kimyasal yollarla gaz oluşumunun sağlanması şeklinde sayılabilir (Ersoy 2001; Şimşek 2009). Kimyasal köpük kullanılmada esas unsur bağlayıcı hamurun genleştirilmesiyle gaz kabarcıkları oluşturmaya dayanmaktadır (Hüsem 1995).

### 2.2.1.a. Hafif beton üretiminde hava boşluğu oluşturma yöntemleri

Betondaki hava miktarı (Şekil 2.8) birçok faktöre bağlı olarak değişiklik gösterebilir. Bu faktörler; betonda kullanılan malzemeler (çimenton, uçucu kül ve cüruf gibi ek bağlayıcı maddelerin miktarı, vb.), kimyasal oluşumu ve inceliği, kimyasal katkıları (akışkanlaştırıcılar, priz geciktiriciler, vb.), agregaların miktarları, tane büyüklüğü ve tane boyutu dağılımı, karışım suyundaki kimyasal maddeler, su-çimento oranı, su miktarı ve kıvamı, imalat yöntemleri (malzemelerin ekleniş sırası, vb.), karıştırıcı kapasitesi, karıştırma süresi ve hızı, yapım yöntemleri ve saha koşulları sayılabilir (Özyıldırım 2007).



**Şekil 2.8.** Betonda hapsolmuş hava boşlukları

Hafif betonlarda gözenek oluşum mekanizmasının çeşitli yolları vardır. Bunlar içerisinde kabul gören yöntemler; köpük oluşturma, hava sürüklenme ve bağlantılı gözenek oluşturma yöntemidir (Narayanan and Ramamurty 2000).

Köpük oluşturma yöntemi, çimento veya kireç harcına çırpılmış köpük malzeme karıştırılarak yapılır. Köpük maddeleri içerisinde çok kullanılanlar; yapışkan reçine köpük maddesi (çam reçinesi ve tutkal solüsyonu), ayrıştırılmış reçine köpük maddesi (sabun içerikli bitki (saponin)), alüminosülfat köpük maddesi (parafin sülfat asit), hidrolize kan köpüğü maddesi (kan + demir sülfat karışımı), hidrolize keratin köpük

maddesi (işlem görmüş saç, tüy, boynuz gibi atıklar) ve deterjanlar bilinenler arasındadır (Rundai 1963; Narayanan and Ramamurty 2000; Özyıldırım 2007). Ekonomik ve gözenek oluşumu kontrol edilebilen bu yöntemde kimyasal reaksiyonlar bulunmaz. Bunun yerine karışıma mekaniksel yolla karıştırılırlar (Narayanan and Ramamurty 2000). Hava sürükleme yöntemi, yarı sertleşmiş çimento veya kireç harcına hacim ve gözenek artışını doğrudan destekleyen kimyasallar karıştırılmasından meydana gelen kimyasal bir yöntemdir. Burada en çok bilinen yöntemler; toz haline getirilmiş alüminyum hava sürükleme maddesi, hava sürükleyici hidrojen peroksit maddesi, beyazlatma maddesi ve hava sürükleyici kalsiyum karpit maddesi sayılabilir. Bu maddeler karışımda kimyasal reaksiyona girerek malzeme içinde oksijen, hidrojen veya asetilen gazı oluşturmaları sayesinde betonun gözenekli yapısının ortaya çıkmasını sağlarlar. Ancak en çok kullanılan hava sürükleyici malzeme alüminyum tozudur. Bağlantılı gözenek oluşturma yöntemi ise, köpük oluşturma ve hava sürüklemenin birlikte uygulandığı yöntemdir (Rundai 1963; Narayanan and Ramamurty 2000).

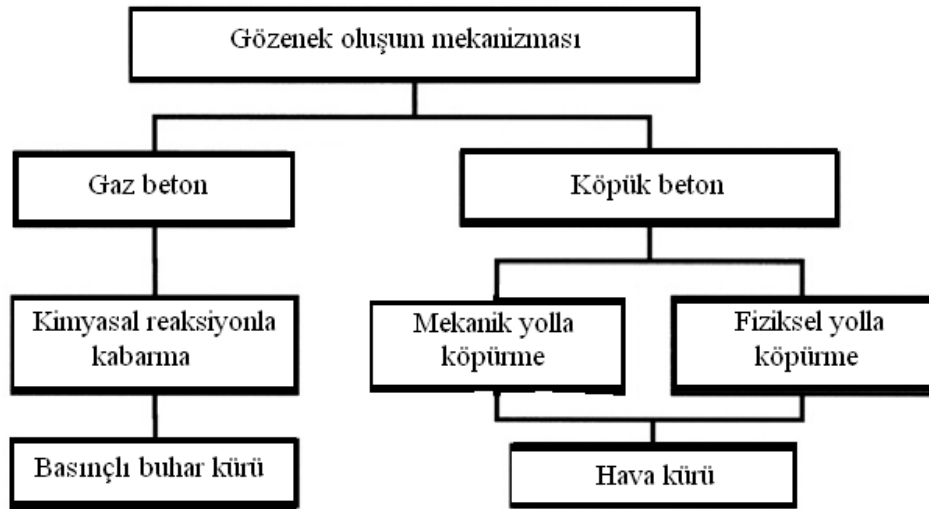
Bu yöntemlerden birincisi hava sürükleyici kimyasal maddeleri karışıma eklemek veya yarı sertleşmiş harca çırpılmış köpük karıştırmaktır. Diğer yöntem ise fazla su katılması ve suyun buharlaşması sonucunda boşluk oluşumudur. Hafif beton üretiminde kullanılabilecek hava sürüklemeyi sağlayan katkı maddelerini Erdoğan (2003) ve Özyıldırım (2007) ise aşağıdaki şekilde sıralamışlardır.

1. Ağaç reçinelerinin tuzları (çam kütüklerinden)
2. Sentetik deterjanlar (petrol fraksiyonlarından)
3. Linyosülfanatlar (kağıt endüstrisinden)
4. Petrol asitleri tuzları (petrol arıtmadan)
5. Proteinli malzemelerin tuzları (hayvan derisinden)
6. Yağlı ve reçineli asitler ve tuzları (kağıt endüstrisi ve hayvan dersinden)
7. Sülfonatlaştırılmış hidrokarbonların organik tuzları (petrol arıtmadan)

Hava sürükleyici olarak kullanılan malzemelerin büyük bir bölümü yukarıda birinci grupta yer alan malzemelerden özellikle çam kütüğünden elde edilen, ticari ismiyle

Vinsol Resin (Vinsol Reçinesi) maddesidir. Bunun yanı sıra kimyasal olarak aril-alkil-sülfonat grubuna dahil olan sentetik deterjanlar da büyük miktarlarda kullanılmaktadır (Erdoğan 2003).

Betonda hava boşluklarının oluşturulabilmesi için yukarıda sayılan yöntemler kullanılmakta ve üretilen hafif betonlar da bu yöntemlere bağlı olarak “Gaz Beton” ve “Köpük Beton” olarak adlandırılmaktadır. Bu yöntemlerde üretim aşamasında katkı maddeleriyle kabartılarak gaz beton elde edilir. Çeşitli yapı malzemesi ve elemanın üretildiği, daha çok yapı malzemesi sanayiinde kullanılan bu malzemeye örnek Ytong, Çimtaş gibi kuruluşların ürünleri gösterilebilir. Köpük beton ise çeşitli katkı ve işlemlerle taze karışımın köpürtülmesiyle elde edilir (Ersoy 2001). Just and Middendorf (2009), gaz beton ile köpük beton arasındaki farkı Şekil 2.9’da kısaca açıklamışlardır.



**Şekil 2.9.** Üretim sürecine göre gözenekli betonun sınıflandırılması

Gaz beton veya köpük beton üretim aşamasında kabarmayı sağlayıcı katkı maddeleri iki yöntemle karışımda kullanılır. Bu yöntemlerden birincisi; çimento ve su ile oluşturulan harca karıştırılarak, ikincisi kum, çimento, su ve varsa mineral katkı maddeleri ile oluşturulan harcın kıvamını aldıktan sonra alümiyum tozu veya hidrojen peroksit gibi kabarmayı sağlayan katkıların karışıma sonradan eklenerek karışımın hazırlanması

şeklindedir. Genelde gaz beton üretiminde tercih edilen ikinci yöntemdir (Anonymous 2011c).

### 2.2.1.b. Hafif betonun sınıflandırılması

Hafif betonların sınıflandırılması genelde birim hacim ağırlık ve basınç dayanımları esas alınarak (Çizelge 2.4) yapılmaktadır (Düzgün 2001; Kozak 2010). Ancak ülkelerin standartlarına göre sınıflandırılmasında değişiklikler göstermektedir (Okuyucu 2005).

**Çizelge 2.4.** Hafif betonların sınıflandırılması

	Yalıtım Betonları	Yarı Taşıyıcı Betonlar	Taşıyıcı Betonlar
Birim ağırlık ( $\text{kg/m}^3$ )	250	800	1400
Basınç mukavemeti ( $\text{kg/cm}^2$ )	<70	70 - 175	>175
Hafif agrega tipi	VERMİKÜLİT	POMZA	SINT. UÇUCU KİL
			GENLEŞTİRİLMİŞ KİL
	PERLİT	CÜRUF	KÖP. CURUF
	HAVA KATKILI BETONLAR		
		İNCE AGREGASIZ HAFİF BETONLAR	
Diğer hafif betonlar			

**a. Taşıyıcı hafif betonlar:** ASTM (C330-77) standardına göre 28 günlük basınç dayanımı 17 MPa değerinden küçük olmayan ve birim ağırlığı da  $1350 - 1900 \text{ kg/m}^3$  arasında değişen yapısal hafif betonlar taşıyıcı beton olarak kabul edilir. Taşıyıcı hafif betonlarda amaç, betonarme yapılarda kullanılması ile kendi ağırlığının oluşturduğu sabit yükün azalmasını sağlamasıdır. Yapın sabit yükünün azalması statik ve dinamik yük etkilerinin azalmasına neden olur ve taşıyıcı eleman kesitlerinin küçültülmesiyle yapının ekonomikliği sağlanabilir (Uğur 2003).

**b. Yarı taşıyıcı hafif betonlar:** ASTM (C330-77) standardına göre 28 günlük basınç dayanımı 7-17 MPa arasında olan ve ısı yalıtım özelliği bakımından da taşıyıcı ve yalıtım amaçlı hafif beton sınıfları arasında kalan beton çeşididir. Yarı taşıyıcı hafif betonlar, konsantre yüklerden ziyade yayılı yük aktarımının söz konusu olduğu duvar ve çatı paneli gibi yapı elemanlarının oluşturulmasında kullanılmaktadır. Yapısal elemanların üretiminde yarı taşıyıcı hafif beton kullanımıyla, yük aktarımının yanında ısı yalıtımı ve zamandan tasarruf sağlanabilir (Uğur 2003).

**c. Yalıtım amaçlı hafif betonlar:** Yapısal amaçlı olmayan, birim hacim ağırlıkları 300–800 kg/m<sup>3</sup> arasında değişen, yüksek ısı yalıtımının sağlandığı ve ASTM (C330-77) standardına göre 28 günlük minimum basınç dayanımı 2.5 MPa olan hafif beton çeşididir. Bu tür betonlar, taşıyıcı olmayan duvar dolgu elemanlarının üretilmesinde kullanılırlar (Uğur 2003).

Hafif betonların kuru birim hacim ağırlığındaki değişiklikler mekanik ve termik özelliklerini doğrudan etkiler ve düşük ağırlıktaki bu betonlarda, ısı yalıtımı iyi iken yüksek ağırlıklarda da ısı yalıtımı zayıftır (Kotan 2009).

Hafif betonlar bağlayıcı özelliklerine göre iki gruba ayrılabilir. Bunlar çimentoyla yapılan köpüklü veya gaz betonlar ile kireçle yapılan köpüklü veya gaz silikatlarıdır. Hafif betonların sınıflandırılmasında ülkelere ve standartlarına göre de farklılıklar görülür. Bu farklılıklar TS, ASTM ve DIN standartlarına göre Çizelge 2.5'te verilmiştir. (Hüsem 1995; Kotan 2009).

**Çizelge 2.5.** Farklı standartlara göre hafif beton sınıfları

Standartlar	Birim Hacim Ağırlık (kg/m <sup>3</sup> )	Dayanım (MPa)
TS 2511	≤ 1900	≥ 16
ASTM C330	≤ 1840	≥ 17
DIN 1045	≤ 2000	≥ 16
ACI 213R	≤ 1840	≥ 17
CEB -FIB	≤ 1900	≥ 16

Hafif betonlar, birim hacim ağırlıkları  $1840 \text{ kg/m}^3$ 'ü geçmeyen, 28 günlük silindir basınç dayanımı  $17 \text{ MPa}$ 'yı aşan betonlardır. Ülkelere göre değişen standart değerlerinde hafif beton birim hacim ağırlığı  $1900 \text{ kg/m}^3$ 'e kadar çıkmasına karşın pratikte değişim aralığı  $300\text{--}1840 \text{ kg/m}^3$  arasındadır (Kotan 2009).

Hafif betonların sınıflandırılması birim hacim ağırlığın yanı sıra basınç dayanımına göre de yapılmaktadır (Düzgün 2001). Hafif betonların basınç dayanımına ilişkin sınıflama TS EN 206-1'e göre Çizelge 2.6 'da verilmiştir (Anonymous 2002a).

**Çizelge 2.6.** TS 206-1'e göre hafif beton sınıfları

Basınç dayanımı sınıfı	En düşük karakteristik silindir dayanımı, $f_{ck}$ ( $\text{N/mm}^2$ )	En düşük karakteristik küp dayanımı, $f_{ck}$ ( $\text{N/mm}^2$ )
LC 8/9	8	9
LC 12/13	12	13
LC 16/18	16	18
LC 20/22	20	22
LC 25/28	25	28
LC 30/33	30	33
LC 40/44	40	44
LC 45/50	45	50
LC 50/55	50	55
LC 55/60	55	60
LC 60/66	60	66
LC 70/77	70	77
LC 80/88	80	88

### 2.2.2. Gaz beton

Gaz beton, beton veya geleneksel kagir malzemelere oranla hafif, içindeki hava kabarcıkları nedeniyle ısı yalıtım özelliği yüksek olan bir malzemedir. Bir tür hafif beton olarak bilinir ve yapısındaki hava kabarcıkları nedeniyle gaz beton adı da verilmiştir (Anonymous 2008). Gaz beton, ince silisli bir agrega ve inorganik bir bağlayıcı madde (kireç veya çimento) ile hazırlanan karışıma, gözenek oluşturuvcu bir maddenin de eklenerek hafifletilmesi ve buhar kürüyle sertleştirilmesi ile elde edilen bir hafif beton türüdür (Serin 1999; Önal vd 2007; Şimşek 2009; Sezer 2010).

Aksoy (2008) ile Ünal vd (2011) gaz betonu, hafif beton sınıfına giren, silisyum, kum, çimento, kireç ve alüminyumun farklı oranlarda ki karışımından elde edilen bir yapı malzemesi olarak tanımlarken, Al-Kahaled (2002) yapı sistemlerinin tamamlanmasında farklı elementlerin bir araya getirilmesiyle elde edilen hafif bir yapı malzemesi olarak tanımlamıştır. TS 453'e göre gaz beton; ince öğütülmüş silisli bir agrega ve inorganik bir bağlayıcı madde (kireç ve/veya çimento) ile hazırlanan karışımın gözenek oluşturuvcu bir katkı maddesi eklenmesi ile hafifletilmesi ve buhar kuru ile sertleştirilmesi ile elde edilen (Şekil 2.10) gözenekli hafif beton olarak tanımlanmıştır (Anonymous 1988; Karaaslan 2009).



**Şekil 2.10.** Gaz betonun sembolik görünümü

Yapısındaki hava kabarcıklarından dolayı malzemeye adı verilen ve İngilizce adı “Autoclaved Aerated Concrete - AAC”, Almanca adı ise “Porenbeton” olarak (Anonymous 2009b; Sezer 2010) tanımlanan, Türkçe karşılığı “otoklavlı gaz beton” olarak geçen ve kısaltılarak gaz beton şeklinde dilimizde yer etmiş olan bu malzeme, bloklar halinde kesilen veya daha büyük plakalar ve panolar oluşturmada kullanılan hafif beton yapı malzemesidir (Domingo 2008).

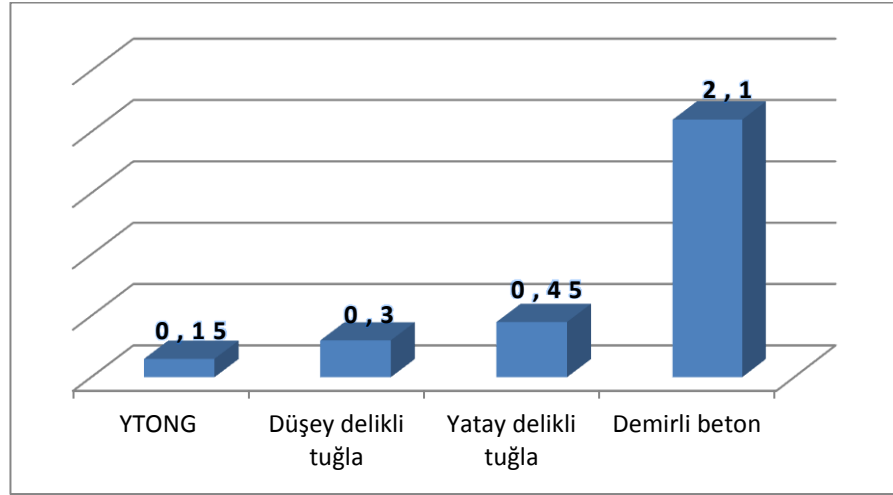
Gaz betonun endüstrileşmiş üretiminde, genellikle silisli agrega olarak silisçe zengin olan kum, kuvarsit veya uçucu kül, gözenek oluşturuvcu katkı olarak ta alüminyum tozu veya macunu kullanılmaktadır (Kozak 2010). Beton veya geleneksel kagir malzemelere oranla çok hafif olan gaz beton, içindeki hava kabarcıkları nedeniyle yüksek ısı yalıtım



özelliğine sahip, depreme ve yangına karşı dayanıklı bir tür hafif beton olarak yapı sektöründe kullanım alanı olan bir malzemedir (Anonymous 2009b; Sezer 2010). Sahip olduğu yapısındaki hava kabarcıklarının bir sonucu olarak günümüzde orijinal adı gaz beton olmasına rağmen küçük farklılıklar ile köpük beton (foamed concrete), gözenekli beton (cellular concrete), havalı beton (aerated concrete) ve otoklavlanmış havalı beton (autoclaved cellular concrete) gibi farklı isimler ile de tanımlanabilmektedir (Anonymous 2011c).

Gaz beton (AAC) İsveç'te geliştirilen, mevcut bölgesel malzemelerden üretilebilen, çok iyi termal özelliklere sahip hafif bir yapı malzemesidir. Çatı ya da döşeme bileşenleri veya duvar elemanları olarak kullanımı yaygındır (Domingo 2008). Ayrıca sahip olduğu özellikleri ile de diğer yapı malzemelerine göre bazı üstünlüklere sahiptir. Gaz betonun sahip olduğu bu üstünlükler (Anonymous 2008);

- Gaz betonun ısı yalıtım gücü çok yüksek (Şekil 2.11), pratik ve ekonomik bir duvar örgü malzemesi olması
- Piyasada satılan gaz beton üretiminin ileri teknoloji standartlarıyla modern tesislerde yapılması
- Çevreye uyumlu bir malzeme olması
- Yüksek yangın güvenliği performansına sahip olması
- Hafiflik özelliği ile depremin etkilerini azaltması
- Kolaylıkla işlenebilme özelliği sayesinde istenilen boyutlarda üretilebilmesi ya da boyutlarının değiştirilebilmesi
- Uygulanması kolay olduğundan işçilikten ve zamandan tasarruf sağlaması sayılabilir.



**Şekil 2.11.** Bazı yapı malzemelerinin ısı yalıtım katsayıları (Anonymous 2009c)

Gaz betonun oluşturan ana maddelerden biri kuvarsittir. Genel olarak kuvarsit, kuvars kumu tanelerinin silisten meydana gelmiş doğal çimento ile birbirlerine çok sağlam şekilde bağlanmalarıyla oluşmuş bir kayadır. Sedimenter ve melaformik olmak üzere 2 çeşidi vardır. Kuvarsit; direnci yüksek, sağlam ve aşındırıcı ve öğütülmesi oldukça güç ve pahalı bir kayadır. Bu nedenle kuvarsit üretimi, aynı kimyasal bileşimde bulunan kuvars kumu ve kumtaşından daha saf olan kuvarstan sonra tercih edilmektedir. Kuvarsitin kimyasal bileşimi, kuvars, kum taşı ve kuvars kumu gibi  $SiO_2$  olup, ancak içerisinde çeşitli miktarlarda feldspat, mika, kil, manyetit, hematit, granat, rutil, kireçtaşı vb bulunabilir. Gaz beton üretiminde kullanılan kuvarsitte,  $SiO_2$  miktarının en az %90 ve Fe miktarının en fazla %2 olması istenir (Çiçek 2002; Sezer 2010).

### 2.2.2.a. Gaz betonun tarihçesi

On iki bin yılı aşan insanlık tarihinde Mısır piramitleri, Mayalar gibi tarihte var olan uygarlıkların yapıları göz önüne alındığında, gaz beton yapı ürünlerinin kullanımı, zaman dilimi içerisinde çok daha sonraki tarihlere rastlamaktadır (Domingo 2008). Buna rağmen, yapılarda kullanılan hafif ve gözenekli doğal malzemelerin yapay olarak üretilbileceği düşüncesi ile 10. yüzyılın sonlarına rastlamaktadır.

Gözenekli malzemelerin üretimi çimento ve betonun keşfinden sonra gaz meydana getiren bir katkı eklenmesiyle gözenekli harç imalatı için ilk patent 19. yüzyılda (1889) alınması ile başlar (Sezer 2010). Ancak hafif beton üretiminde bu malzemelerin kullanılabilmesi görüşü ilk olarak; 1914 yılında Amerikalı Aylswort ve Dyer tarafından çimento katkılı harca kabartıcı maddesi olarak alüminyum tozu, çinko tozu veya diğer madeni tozlar ile kalsiyum hidroksit katılabilmesinin, 1929 yılında da Amerikalı Adolf ve Pohl'un hidrojen peroksit ile sodyum veya kalsiyum hipoklorit de eklendiğinde aynı reaksiyonların oluşacağını patentlerini almaları ile ortaya çıkmıştır (Witmann 1992). 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 (Sezer 2010).

İsveçli Mimarlık Bilimi öğretim görevlisi Johan Axel Eriksson 1923 yılında bazı gözenekli beton örnekler üzerinde çalışırken kür sürecini hızlandırmada otoklava örnekleri yerleştirmesi ile tesadüfen gaz beton bulunmuştur (Witmann 1992; Domingo 2008). İçerisindeki kimyasal reaksiyonlar ile oluşan hidrojen kabarcıkları nedeniyle literatür adıyla anılacak buluşunu malzemeyi geliştirdiği yerin adı olan küçük İsveç kasabasından almıştır. "Yxhult" kasabasının ve İsveç dilinde beton anlamına gelen "Betong" kelimesinin karışımından elde edilen "YTONG" ticari marka adı ile 1924 yılında patenti alınarak, 1924-1929 yılları arasında geliştirme sürecini tamamlamış ve piyasaların duyması ile de popülaritesini artırarak tanınan bir malzeme olmuştur. Daha sonra Amerika ve Asya pazarının etkisi ile Ytong şirketi başta olmak üzere, günümüzde Avrupa piyasasında halen satış yapan Hebel ve H+H Celcon şirketleri bu pazarın gelişmesinde önemli rol oynamışlardır (Bagheri 2006).

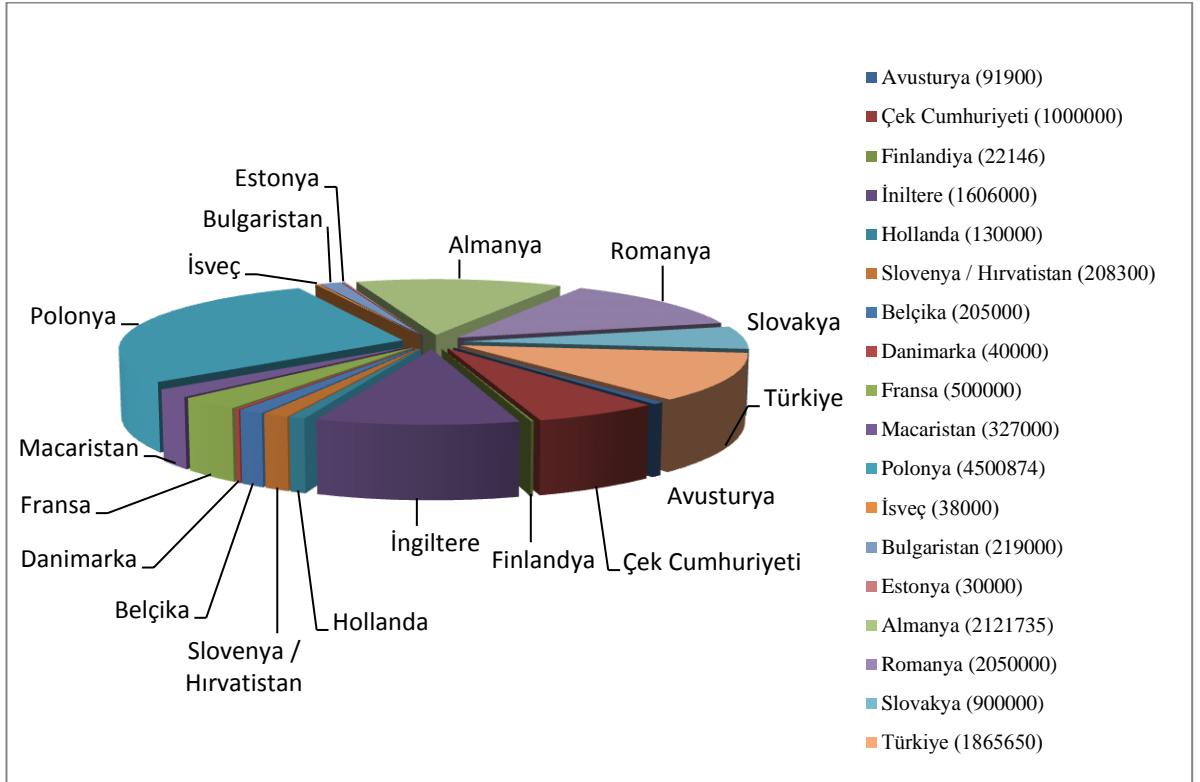
Dünya pazarında, ısı geçirgenliğinin ve birim hacim ağırlığının normal betona göre beşte bir düzeyinde olması ile sağladığı üstünlükler nedeniyle yapı sektöründe kullanım alanı bulmuştur (Anonymous 2009c). Bunun bir sonucu olarak, farklı ticari isimler ile üretim yapan Hollanda'da Durox, İsveç'te Siporex, İngiltere'de Termalite şirketleri gibi gaz beton üreticisi birçok firma sayesinde de kullanımı her geçen gün artmaktadır (Witmann 1992).

Türkiye’de ise ilk gaz beton 1950’li yıllarda Almanya’dan ithal edilerek kullanılmış ve 1965 yılında ilk gaz beton fabrikası İstanbul’da üretime başlamıştır. Bu tarihten günümüze, yaklaşık 50 yıldır, yapı sektöründe gaz beton kullanımını geliştirerek, üretim kapasitesi ve kullanım potansiyeli yüksek ülkelerden biri olmuştur. Türkiye’de kabul görmesi ile birçok ilde (Şekil 2.12) üretimi gerçekleştirilmektedir (Anonymous 2008).



**Şekil 2.12.** Türkiye gaz beton üretimi yapılan iller (Damla *et. al.* 2009)

Türkiye’nin yaklaşık 2 milyon m<sup>3</sup>’lük yıllık tüketimi ile Avrupa’da dördüncü sırada yer alması yüksek kullanım potansiyelinin bir sonucudur. Bugün gaz beton, çeşitli isimler altında dünya üzerindeki birçok ülkede, yıllık 15 milyon m<sup>3</sup> dolayında üretilmektedir (Anonymous 2008). Bu değer Avrupa için 2009 yılı istatistiklerine göre Şekil 2.13’deki gibi olmuştur.



Şekil 2.13. 2009 yılı gaz beton üretim (m<sup>3</sup>) miktarları (Anonymous 2011b)

### 2.2.2.b. Gaz beton türleri

Gaz betonlar üretim yöntemlerine göre kimyasal ve mekaniksel olarak iki sınıfa ayrılmaktadır. Kimyasal süreçte, metalik tozların reaksiyona girmesi ile kabarma gerçekleşirken mekaniksel süreç ise genişlemeyi sağlayan köpük malzemelerinin taneler arasında boşluk oluşturmaya dayanmaktadır (Ungkoon 2007). Ancak gaz betonların sınıflandırılması priz esnasında gördüğü muameleye göre yapılmakta ve üç farklı türde üretimi gerçekleştirilmektedir. Bunlar (Ünverdi 2006);

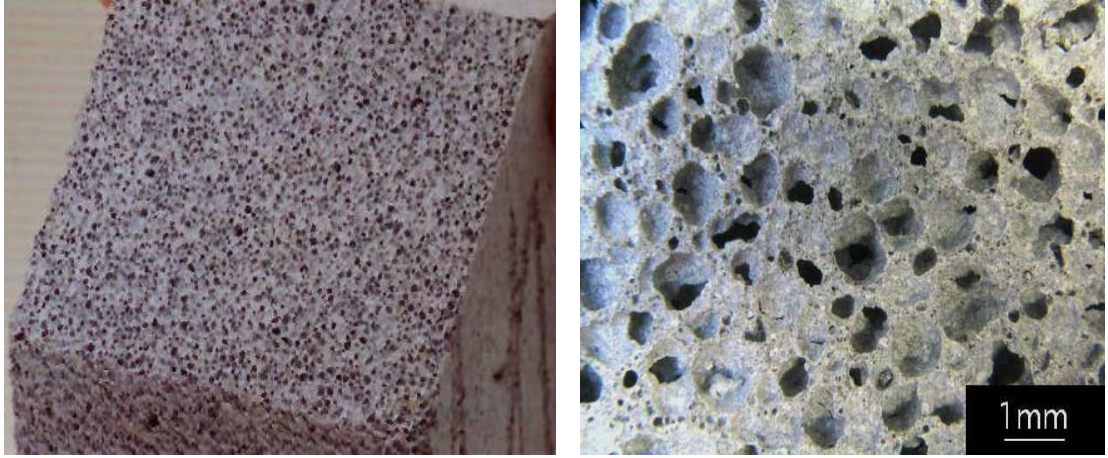
- Basınçlı buharda priz yapan gaz beton
- Yüksek ısıda ve buhar altında priz yapan gaz beton
- Açık havada priz yapan gaz beton olarak sayılabilir.

### 2.2.2.c. Gaz beton hammaddesi ve üretim süreci

Gaz beton, gözenekli bir yapı malzemesi olup hammaddesi kuvarsit, bağlayıcıları ise çimento ve kireçtir. Çok ince toz kıvamında bilyalı bir değirmende öğütülen bu malzemeler, en son aşamasında su ve alüminyum tozu ile karıştırılarak döküm arabalarına aktarılır (Al-Kahade 2002). Lidman'ın 1931 yılında ve Shalbergs'in de 1937 yılında yaptıkları deneysel çalışmalar ile kuvarsitin yerine silisli bir malzeme olan uçucu külün hammadde olarak kullanılabilceğinin patentini alarak farklı malzemelerin de kullanılabilceğini göstermişlerdir (Witmann 1992). Bu çalışmalardaki ortak nokta, yanmış kirecin su ile reaksiyona girmesi sonucu açığa çıkan yüksek ısı ile alüminyum tozunun reaksiyona girerek hidrojen gazı açığa çıkarmasıdır. İnce toz taneleri halindeki alüminyum tozunun açığa çıkardığı bu gaz tanecikleri, gaz beton döküm hamurunun kabarmasına ve ana özelliği olan mikro gözenekli yapısına kavuşmasını sağlar.

Türkçü (2010) üretim sürecini; istenen dozda harmanlanan öğütülmüş kireç, öğütülmüş kuvarsit ve çimentonun su ile karıştırılarak, karışım sıcaklığının ve viskozitesinin gerekli düzeye geldiğinde gözenek oluşturucu şerbet eklenerek hazırlanan akıcı kıvamdaki karışım olarak ifade etmektedir.

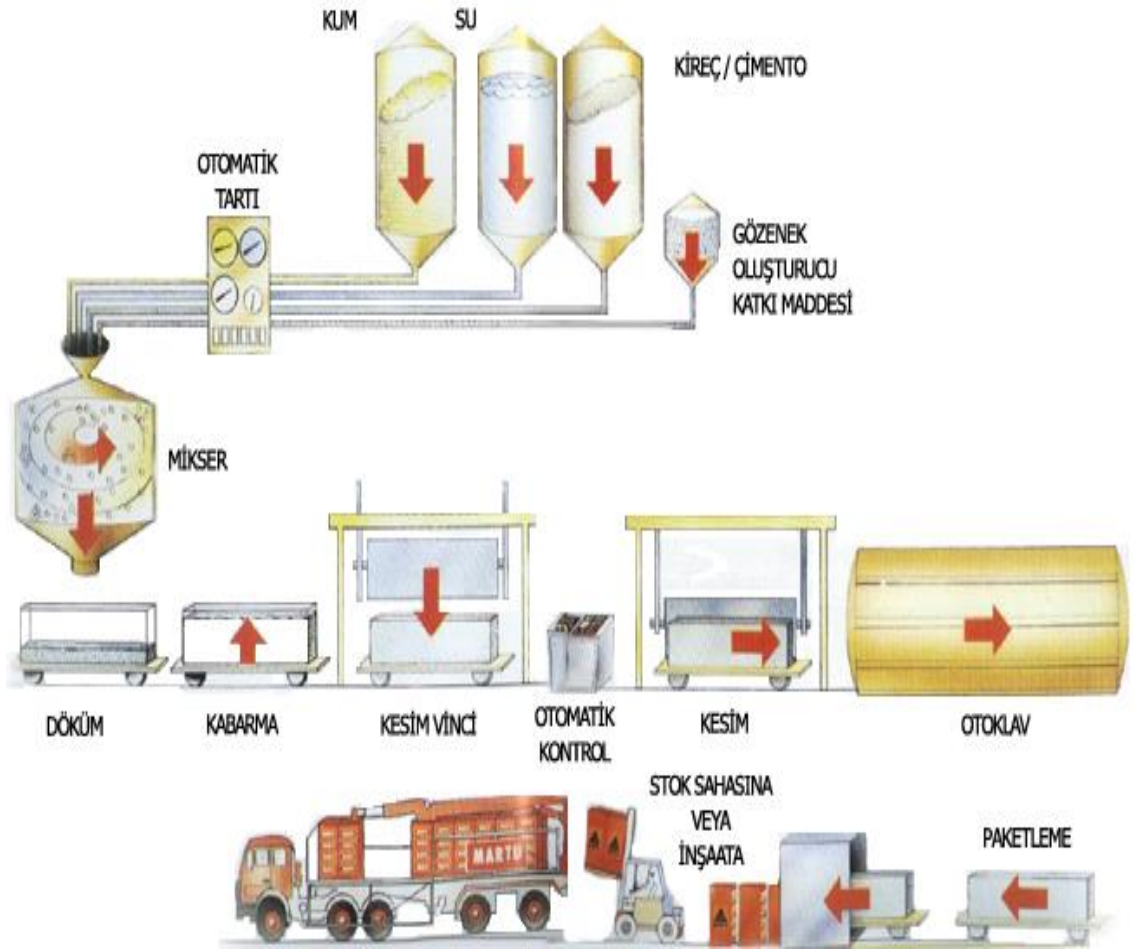
Gaz beton üretiminde; kum, kireç, çimento, alçıtaşı, su ve genleştirici bir madde kullanılarak üretilen betonda boşluklu bir yapı oluşması sağlanmış olur. Genleştirici olarak toplam katı hacminin %0.05-%0.08 oranlarında alüminyum tozu kullanılır. Üretim süreci, karışımındaki maddelerin her birinin ölçülmüş miktarlarının karıştırılmasıyla başlar. Bu karışımın kalıplara dökülmesiyle birçok kimyasal reaksiyon meydana gelir. Kimyasal reaksiyon olmasının önemi; alüminyum tozu, kalsiyum hidroksit ve suyla reaksiyona girerek hidrojen çıkışına sebep oluşu ve bu hidrojen çıkışı sulu beton içinde baloncuklar oluşturarak hacminin artmasını sağlamasıdır. Böylece beton kabarak boşluklu bir yapı (Şekil 2.14) kazanır (Serin 1999; Ünverdi 2006).



**Şekil 2.14.** Gaz beton gözenekli yapısı (Anonymous 2012f)

Gaz beton üretim süreci kilden üretilmiş duvar ürünleri veya ön gerilmeli betonun üretim sürecine benzerken, gaz betonda kullanılan malzemelerin yapısal bileşenleri de normal betona benzemektedir. Gaz beton üretim süreci (Şekil 2.15) sanki ekmek üretim süreci örneği gibidir ve beş ana adımda özetlenebilir (Domingo 2008).

- a) Birleştirme ve ham maddelerin karıştırılması
- b) Kabarma sağlayacak katkı eklenmesi
- c) Kabarma, biçimlendirme, ön kür ve kesme süreci
- d) Otoklav kullanarak final kürü
- e) Paketleme ve taşıma sürecinden oluşur.



Şekil 2.15. Gaz betonun şematik üretim süreci (Anonymous 2012c)

#### a) Birleştirme ve ham maddelerin karıştırılması

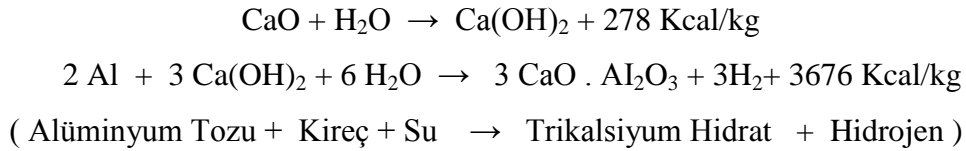
Gaz beton üretimi silika, çimento, kireç ve su hammaddeleri ile başlayan bir süreçtir. Agrega olarak kullanılacak silika, ince öğütülmüş kuvars kumundan yapılarak kullanılabilirdiği gibi ince kum da silika yerine kullanılabilir. Ayrıca uçucu kül, cüruf, veya maden atıkları silika ile birlikte agrega olarak kullanılacak malzemeler arasındadır. Bu malzemeler karışıma ince agrega olarak karıştırılır ve karışıma girecek malzemelerin incelik gradasyonunun olması gerekir. Çünkü iri veya gradasyonu uygun olmayan malzemeler 2. adımda üretimde kullanılacak olan kabarma oluşturuvcu katkı malzemesinin etkili olmasına engel teşkil eder. Çimento kullanımı ise normal beton üretim sürecindeki gibidir ve agregalarla katkı malzemelerini birlikte tutan bağlayıcı



unsurdur. Çimentonun su ile reaksiyonu sonucu oluşan hidratasyon olayı ve sertleşme ile birlikte katı bir malzemeye dönüşür. Gaz beton üretiminde tüm bu malzemeler su ile birlikte karıştırılır (Domingo 2008).

### **b) Kabarma sağlayacak katkı ilavesi**

Gaz beton üretim sürecinde kabarma, ekmek yapımında mayanın hamuru kabartması için karışıma eklenmesi gibi kabarmayı sağlayıcı katkı malzemesi de hacminin arttırılmasında beton karışımına katılır. Buradaki amaç, mayanın hamuru kabartmasında karbondioksit üretmesine benzer betonda kabarma sağlayıcı olarak kullanılan alüminyum tozu veya macunun da karışıma giren kireç ve su ile reaksiyona girerek çok fazla sayıda küçük hidrojen balonu oluşmasını sağlamaktır (Domingo 2008). Ayrıca kimyasal katkılar (alüminyum, çinko gibi metalik tozlar veya likit H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (hidrojen peroksit) veya mekaniksel kabarma sağlayıcı (köpük maddeleri (foaming agent)) kullanılabilir (Chen *et. al.* 2006). Gaz betonun geçirdiği kimyasal reaksiyonlar sonucu boşluk oluşum mekanizması alüminyum katkısı için özet olarak aşağıda verilmiştir (Mostafa 2005; Sezer 2010).

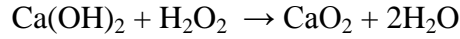


Bu süreç sonucu oluşan hidrojenler karışımdan dışarı doğru hareket ederlerken yerlerini hava alır. Bu süreç daha hafif bir gaz olan hidrojenin yükselerek kendisinden daha yoğun olan hava ile yer değiştirmesi ile gerçekleşir. Kabarma sağlayıcı olarak alüminyum tozu gibi katkı malzemeleri karışıma eklenerek iyice karıştırılmalı ve her tarafa eşit dağılma sağlanmalıdır. Buradaki amaç, hidrojen kabarcıklarının oluşması sonucu normal hacminin yaklaşık 2-5 katı arasında genişleyerek (Şekil 2.16) malzemenin her tarafında eşit hacim artışı sağlamasıdır. Bu hacim artışı karışıma eklenen kirece bağlı olduğu gibi alüminyum tozu veya macununa da bağlıdır (Domingo 2008).

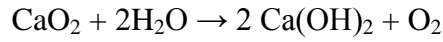


**Şekil 2.16.** Gaz beton üretiminde sulu harcın kalıba dökülmesi ve kabarma süreci (Anonymous 2012f)

Boşluk oluşum mekanizması hidrojen peroksit katkısı için de alüminyum katkısı ile benzerlik göstermektedir. Ancak beton içerisindeki gözenek oluşumu, hidrojen peroksitin kimyasal yapısında bulunan zayıf oksijen bağları nedeniyle oluşan ikili reaksiyon sonucunda gerçekleşmektedir ve bu reaksiyonlar aşağıda verilmiştir



(Sönmüş Kireç + Hidrojen Peroksit → Kalsiyum Peroksit + Su)



(Kalsiyum Peroksit + Su → Sönmüş Kireç + Oksijen)

Her iki katkıda da daha az kabarma ve yoğunluğu fazla bir malzeme elde edilmesini sağlarken; daha çok kabarma, yoğunluğu daha az bir malzeme elde edilmesini sağlar. Yoğunluğun daha az olması, mikroskobik hava kabarcıklarının fazla olmasından kaynaklanmasına karşın bu durum malzemede daha yüksek ısı direnç özelliklerinin olmasını sağlar (Domingo 2008).

### c) Kabarma, biçimlendirme, ön kür ve kesme süreci

Sulu kıvamdaki karışıma eklenen alüminyum tozunun reaksiyona girerek oluşturduğu hidrojen kabarcıkları malzemenin en az iki katına ulaşmasını sağlar. Bu süreç

sertleşmenin gerçekleşeceği 30 dakika ile 4 saat arasında değişen sürede oluşur (Karaaslan 2009).

Karıştırma işleminden sonra oluşan sulu çimento kalıpların sadece 2/3'ü dolduracak biçimde döküm arabasına koyulur (Şekil 2.17) ve karışımın kabarması beklenir. Birkaç saat sonra oluşan tepkimeler sonucu çıkan hidrojenin oluşturduğu baloncuklar ile kabaran ve kısmen katılmış gaz beton bloğu kesim makinesine (Şekil 2.18) gönderilir. Son adım kesilen bloklara yaklaşık 10 saatlik buhar kürü uygulamasıdır. Bu işlemler sonucunda gaz beton üretimi tamamlanarak paketleme yapılır (Serin 1999; Ünverdi 2006).



**Şekil 2.17.** Gaz beton döküm arabası (Anonymous 2012e)

Kabarmayı sağlayıcı katkı malzemesinin karıştırılmasından sonra karışım, malzemenin kabarmasına izin verecek metal kalıplara dökülür. Eğer panel veya döşeme olarak dökülecekse, dökümden önce demir donatının yerleştirilmesi ve daha sonra karışımın kalıba dökülmesi gerekir. Karışım 20 feet (6.10 m) x 4 feet (1.22 m) x 2 feet (0.61 m) boyutlarında kalıplara dökülerek, ilk kabarmasının gerçekleşmesi için birkaç saat bekletilir. Malzemenin kalıp dışında şeklini koruması bu ön kür sayesinde sağlanmaktadır. Bu şekilde kurutulmuş blok, istenen şekillerde ve ince tel kullanan bir cihaz kullanılarak (Şekil 2.18) kesilebilir. Standart gaz beton blok boyutları 8 inch (20 cm) genişlik, 24 inch (61 cm) uzunluk ve kalınlığı ise 4-12 inch (10-30 cm) arasında değişen boyutlara sahip olabilir (Domingo, 2008). Büyük bloklar, beton kagir birimlere

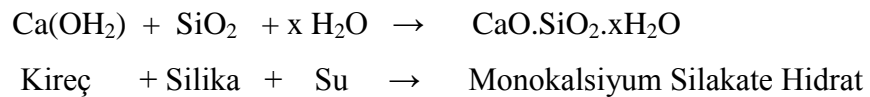
benzer şekilde dolu tuğla bloklar halinde kesilir. Beton kağır birimlerin aksine gaz beton malzemeler ağırlıkları nedeniyle daha büyük kesilebilirler.



**Şekil 2.18.** Gaz betonların üretim sürecinde buhar kürü ve kesim vinci (Anonymous 2012e)

#### **d) Otoklav kullanarak final kürü**

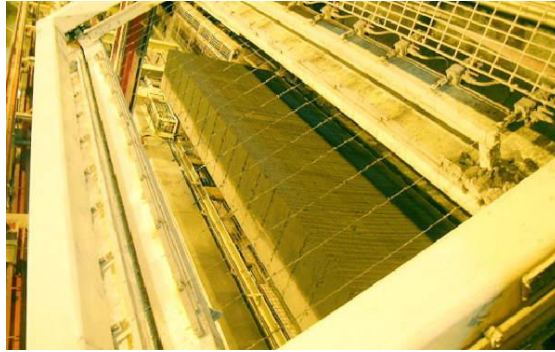
Otoklav; sağlam, basınçlı, sıcak buhar kazanı şeklinde tanımlanabilir (Şekil 2.19). Sıcak basınçlı buhar kürü kazanı, gaz betonun kürü esnasında düdüklü tencereye benzer şekilde çalışır. Bu aşamada yüksek basınçlı buhar kürü ile otoklavlanan bloklar çimento ve suyun kimyasal tepkimesi olan hidrasyonuyla hızlı bir şekilde dayanım kazanırlar. Bu sayede kuvars kumu kalsiyum hidroksit ile reaksiyona girer ve malzemenin fiziksel mukavemet özelliklerinin sebebi olan kalsiyum silika hidrat sürekli olarak gelişir (Domingo 2008). Gaz betonun düşük yoğunlukta yüksek basınç mukavemeti, otoklavlardaki buhar sertleşmesi sonucu elde edilir. Kesimden geçen döküm arabaları otoklavlara alınarak, doymuş buharda 12 atm basınç ve 190°C sıcaklık altında 10-12 saat süre ile sertleştirilir. Böylece malzeme, otoklav çıkışında son mukavemetine ve hacim sabitliğine erişmiş olur (Holt and Raivio 2005; Ungkoon, 2007; Anonymous 2012d). Witmann (1992) ve Holt and Reivo (2005) dayanım kazanan gaz betonun otoklavda oluşan reaksiyonunu aşağıdaki şekilde açıklamaktadırlar.





**Şekil 2.19.** Gaz beton buhar kürü (otoklav) makinesi (Anonymous 2012f)

Gaz betonun buhar kürüne alınmasında amaç normal betonun 28 gün boyunca  $21^{\circ}\text{C}$ 'de su kürüne tabi tutularak ulaşabileceği sertliğe otoklavlama sayesinde 8–14 saat arasında değişen sürede ulaşmaktır (Karaaslan 2009). Malzemede oluşan kalsiyum hidrosilikat ve alüminyum hidrosilikat sonucunda sertleşme süreci başlar. Belli bir mukavemet derecesine erişildiğinde otomatik çalışan bir kesme makinesinde özel çelik teller aracılığıyla istenen ölçülerde (Şekil 2.20) kesilir (Anonymous 2012f).



**Şekil 2.20.** Gaz betonun telle kesim süreci

#### **e) Paketleme ve taşıma süreci**

Yaklaşık 12 saat kür edilen gaz beton otoklavdan çıkartılarak, paketleme ve taşıma süreci ile pazara sevk edilir (Şekil 2.21). Ancak otoklavdan çıkan malzemenin soğuması

için bir sürecin de olması gerekmektedir. Paketlemeye kadar geçen sürenin soğuma için yeterli olduğu veya paketlemeden önce bir soğuma evresi geçirmesi gerektiği düşüncesi üreticilere göre farklılık göstermektedir (Anonymous 2012f).



**Şekil 2.21.** Gaz betonun taşıma süreci

#### **2.2.2.d. Gaz betonun özellikleri**

Bu başlık altında gaz betonun fiziksel, kimyasal ve mekanik özellikleri ele alınacaktır.

##### **A. Fiziksel özellikler**

Gaz beton malzemesinin fiziksel özellikleri konusunda malzeme rengi ve iç yapısı, özgül ağırlık, porozite, ısı iletkenlik, ısıl genleşme, erime noktası, rötre, denge nemi, su emme ve kuruma, buhar geçirgenlik, dona karşı dayanıklılık, ateşe karşı dayanıklılık, ses yalıtımı ve ses yutma özellikleri aşağıda açıklanmıştır.

**Malzeme iç yapısı, rengi ve yüzey yapısı:** Gaz beton malzemesinin yapısı 0.5-1.5 mm arasında dairesel makro gözeneklidir. Bu makro gözenekler mikro gözeneklerle çevrelenmiştir. Gaz beton kullanılan silisli hammaddenin cinsine bağlı olarak beyaz, gri veya pembe renklerde olabilir. Yaygın olarak kuvarsit kullanıldığından genellikle beyaz renklidir. Yüzey yapısı ise kesme makinalarında kullanılan çelik tellerin özelliklerine bağlı olarak düz veya çizgili – pürüzlü olabilir (Ünverdi 2006).

**Özgül ağırlık:** Gaz beton malzemesinin ortalama boşluksuz özgül ağırlığı 2.60 kg/dm<sup>3</sup>'tür (Kozak 2010).

**Porozite:** Gaz betonun porozitesi ise kuru birim hacim ağırlığı ile ters orantılı olarak değişmektedir Çizge 2.7'de çeşitli birim hacim ağırlıkları için porozite değerleri görülmektedir (Kozak 2010).

**Çizelge 2.7.** Gaz betonun çeşitli birim hacim ağırlıkları için porozitesi

Birim Hacim Ağırlığı t/m <sup>3</sup>	Porozite %
0.31-0.40	85-88
0.41-0.50	81-85
0.51-0.60	77-81
0.61-0.70	71-77
0.71-0.80	69-73

**Isı iletkenlik:** Gaz betonun %80'ini oluşturan mikro ve makro gözenekleri nedeniyle ısı iletkenlik değeri düşüktür. Kuru gaz betonun ısı iletkenlik değerleri Çizelge 2.8 'de verilmiştir.

**Çizelge 2.8.** Kuru gaz betonun ısı iletkenlik değerleri

Kuru Birim Hacim Ağırlığı Kg/m <sup>3</sup>	Isı İletkenlik Değeri W/m <sup>o</sup> K
300	0.08
400	0.09
500	0.12
600	0.14
700	0.18
800	0.19

**Isıl genleşme:** Gaz betonun ısıl genleşme katsayısı. 20-100°C arasında 0.008 mm/m°C' dir.

**Özgül ısı:** Özgül ısı katsayısı, malzemenin ağırlıkça %2-5 denge neme sahip olduğu durumda 0.24-0.26 Kcal/kg°C' dir.



**Erime noktası:** Gaz beton, 1000°C dolayında sinterleşmeye (camsılaşmaya), 1100-1200°C dolayında da erimeye başlamaktadır.

**Rötre:** Gaz beton, bünyesindeki nem miktarı azaldıkça hacim kaybetmekte, arttıkça da hacim kazanmaktadır (Sezer 2010).

**Denge nemi:** Yapı malzemeleri, başlangıçla içerdikleri üretim, nakliye ve inşaat nemini zaman içinde atarak, belli bir sabit nem derecesine gelirler. Denge nemi adı verilen bu durum, gaz betonun kuru birim hacim ağırlığına ve ortamın bağıl hava nemine bağlı olarak küçük farklılıklar gösterir.

**Su emme ve kuruma:** Yapay taş malzemelerin su emmesinin başlıca nedeni, üretim suyunun açığa çıkan kısmının bünyeden atılırken oluşturduğu kılcal yapıdır. Üretim sırasında karışıma verilen suyun pek az miktarı kimyasal bağlantı ile bünyede kalmakta, serbest kalan diğer kısım buharlaşma yolu ile bünyeden atılmaktadır. Atılan su miktarı gaz betonda %50 dolayındadır. Bu arada bir diğer önemli nokta da bu suyun bünyeden atılış hızıdır. Kuruma ne kadar hızlı olursa, bünyede oluşan kılcal yapı da o kadar gelişmiş olacaktır. Gaz beton üretiminde açığa çıkan suyun az olması, üretim sırasında kurutma ve pişirme işlemi olmayıp, tersine yoğun su buharında kimyasal sertleştirme işlemi olmasından ileri gelmektedir. Bunun sonucunda zayıf bir kılcal yapı oluşmakta ve suyun hareketi gözenekler sayesinde engellenmektedir.

Suya doymuş duruma gelen yapı malzemesinin içerdiği nem miktarı, o malzemenin su kapasitesini belirlemektedir. Yapı malzemelerinde su kapasitesi toplam boşluk miktarına yaklaştığı oranda, malzeme donmaya karşı hassas duruma gelmekte ve nemin etkisi ile de ısı yalıtım özelliğini kaybetmektedir. Gaz beton malzemenin, suya doymun durumdayken bile bünyesindeki boşlukların yaklaşık %60'ının kuru kaldığı belirtilmektedir (Kozak 2010).

**Buhar geçirgenlik:** Gaz beton, gözenekli yapısı sayesinde birim kalınlıktaki malzemenin buhar geçişine gösterdiği direncin aynı kalınlıktaki hava tabakasının buhar

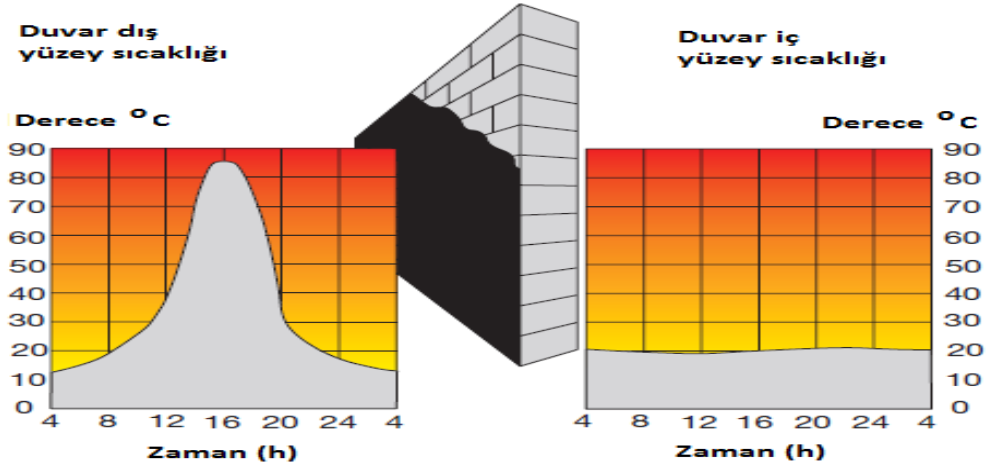


geçişine gösterdiği dirence oranını ifade eden düşük bir buhar geçirgenlik direncine ( $u=5-7$ ) sahiptir. Bu özellik, malzemenin yapıda rahatlıkla nefes almasını sağlamaktadır. Ancak don bölgelerinde, gaz beton duvar korumasız bırakıldığı durumlarda, bu özelliğin malzemenin bünyesine büyük zarar verebildiği gözlemlenmiştir (Sezer 2010).

**Dona karşı dayanıklılık:** Normal betonda suyun bulunacağı yerler genellikle çimento hamuru içerisindeki jel ve kapiler boşluklar ile agregalar içinde ve arasındaki boşluklardır. Agregalarda donma sonucunda buza dönüşen suyun hacmi yüzde 9 artar. Bu hacim genişmesini karşılayacak boşluğu olmayan beton, kritik doygunluğa erişir ve hacim genişmesi sonucu itilen suyun yaptığı hidrolik basınç yüzünden yüksek gerilmeler meydana gelmesiyle beton dayanımını kaybederken çatlama ve beton yüzeyinde dökülmeler dahi olabilir (Özyıldırım 2007). Normal koşullarda hafif beton malzemenin nem miktarına bağlı olarak suya doymuş gaz beton malzemenin erişebileceği en yüksek nem miktarının hacimce %30-35 dolayındadır. Gaz betonun bünyesindeki toplam boşluk miktarının hacimce %70-85 olduğu göz önüne alınırsa, malzeme bünyesinde buz kristallerinin genişleyebileceği kuru bir hacim bulunur. Bu durum ise malzemeye dona karşı dayanım sağlamaktadır.

Bunun yanında, özellikle şiddetli bir yağış sonrası ani bir don durumunda, malzemenin keskin kenar, köşe ve profillerinde suya doymuş durum oluşarak kritik nem miktarı aşılabileceğinden, bu bölgelerde don hasar yapabilmektedir. Kış aylarında, yapıdaki malzemenin bir yüzey kaplaması ile korunması bu sorun ile ilgili iyi bir çözüm olabilmektedir (Kozak 2010).

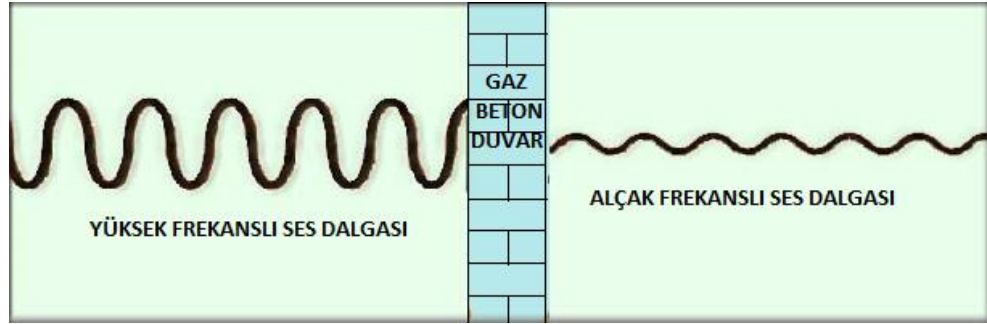
**Ateşe karşı dayanım:** Gaz beton yanmadığı kabul edilen, herhangi bir yapı malzemesine göre santimetre başına en yüksek saatlik ateşe karşı dayanıklılık derecesine sahip bir malzemedir (Şekil 2.22) (Anonymous 2011d). Çelik kolonlar ve çelik kirişler çevresinde yangından koruma için ideal bir malzeme olarak kullanım alanına sahiptir (Sezer 2010).



Şekil 2.22. Gaz betonun zamana bağlı sıcaklık değişimi (Anonymous 2012g)

**Ses yalıtımı:** Gaz beton malzemelerin yüksek gözenekli bir yapıya sahip olmasından ve bu gözeneklerde ses enerjisinin kolaylıkla ısı enerjisine dönüşebilmesinden dolayı, birim alan ağırlıklarına göre ortalama ses yalıtım değerlerinin, gaz beton malzemelerde diğer bazı yapı malzemelerine göre 2dB daha yüksek olduğunu göstermektedir (Sezer 2010).

**Ses yutma:** Malzeme yüzeyine çarpan ses enerjisinin bir kısmı yapı elemanının malzeme cinsine ve yüzey yapısına bağlı olarak yutulmakta, kalanı ise yansıtılmaktadır (Şekil 2.23). Yutulan ses enerjisinin yüzeye gelen ses enerjisine oranı olan ses yutma katsayısının 1'e yaklaşması ile malzemenin ses yutma özelliği artmakta, 1 olduğunda tüm gelen ses enerjisi yutulmaktadır. Gaz beton, gözenekli yüzeyi ve yüksek porozitesi nedeniyle ses yutma özelliği bakımından iyi bir malzemedir. Frekansın 125-4000 Hz arasındaki değişiminde, gaz beton 0.10-0.27 arasında bir ses yutma katsayısına sahip olmaktadır (Sezer 2010).



Şekil 2.23. Gaz betonun ses yutma özelliğinin şematik görünümü (Anonymous 2012g)

## B. Kimyasal özellikler

Kimyasal özellikleri açısından gaz betonları kimyasal etkenlere gösterdiği direnç ve suda çözülme olarak iki başlık altında incelemek olasıdır.

**Kimyasal etkenlere karşı direnç:** Gaz beton, silika hidratlardan oluşan 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, kloridler, sülfatlar ve nitratlar ise donatıyı hasara uğrattırlar. Bu bakımdan da gaz beton deniz suyuna karşı korunmalıdır. Ortamda yoğun ve devamlı kimyasal agresif maddelerin bulunması durumunda, gaz beton malzemesi bu maddelere dayanıklı yüzey kaplamaları ile korunmalıdır (Sezer 2010).

**Suda çözülme:** Gaz betonun 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 yaratabilirler. Çiçeklenme, öncelikle eriyik tuz miktarına bağlı olmayıp gaz beton bünyesindeki kılcal su hareketinin hızına ve yüzeydeki kuruma hızına bağlıdır (Çiçek 2002).

### C. Mekanik özellikler

Betonların mekanik özellikleri olan basınç mukavemeti, çekme mukavemeti, kayma mukavemeti ve elastisite modülü özellikleri gaz beton için de geçerli olup, ayrıca gaz betonun kendine has mekanik özellikleri aşağıda açıklanmıştır.

**Basınç mukavemeti:** Gaz betonun basınç mukavemeti, kuru birim hacim ağırlığına ve içerdiği nem miktarına bağlıdır. TS 453'e göre gaz beton malzemelerin basınç mukavemeti küp deneyine göre belirlenir. Bu deneyde, malzemenin basınç mukavemeti 15x15x15 cm boyutlarındaki küplerin ağırlıkça % 10 neme erişinceye kadar kurummasının ardından kırılması ile bulunur. Gaz beton, içerdiği nem oranında mukavemet kaybetmektedir. Bu kayıp, tam kuru malzeme ile suya doymuş malzeme arasında %35'e varan oranlarda gerçekleşmektedir (Ünverdi 2006).

**Çekme mukavemeti:** Gaz betonun çekme mukavemeti, basınç mukavemetinin yaklaşık 1/6'sı, yani 2-12 kg/cm<sup>2</sup> arasında değişmektedir.

**Elastisite modülü:** Gaz betonun elastisite modülü, kuru birim hacim ağırlığına ve küp mukavemetine bağlı olarak değişmektedir. Bu değişim Çizelge 2.9'da verilmiştir (Kozak 2010).

**Çizelge 2.9.** Gaz betonun kuru birim hacim ağırlığı-elastisite modülü değerleri

Kuru Birim Hacim Ağırlığı Kg/m <sup>3</sup>	Elastisite Modülü Kg/cm <sup>2</sup>
300	3 800
400	7 500
500	12 500
600	20 000
700	30 000
800	42 000

**Eğilme-çekme mukavemeti:** Gaz betonun eğilme-çekme mukavemeti, basınç mukavemetinin 1/5'i, yani 3-15 kg/cm<sup>2</sup> arasında değişmektedir (Kozak 2010).

**Kayma mukavemeti:** Gaz betonda izin verilen en yüksek kayma gerilmesi Çizelge 2.10'da verilmiştir.

**Çizelge 2.10.** Gaz betonun birim hacim ağırlığı-kayma gerilmesi değerleri

Birim Hacim Ağırlığı Kg/m <sup>3</sup>	Kayma Gerilmesi Kg/cm <sup>2</sup>
300-500	0.8
400-600	0.8
500-700	1.2
600-800	1.2

**Sünme:** Devamlı yük altında gaz beton sünme yapmaktadır. Yapılan araştırmalar, izin verilen yük sınırları içinde gaz betonun sünmesinin, ağır betondan daha az olduğunu ortaya koymuştur. Bunun nedeni, gaz betonun otoklav çıkışında kimyasal bağlantılarını tamamlamış olmasıdır. Ağır betonun yük altında kristal değişime uğramasının yanında, uzun süre bünyesinde kimyasal değişimin devam etmektedir (Sezer 2010).

#### 2.2.2.e. Gaz beton kullanım alanları

Avrupa'da yıllardır kullanılan ve ülkemizde de son yıllarda kullanımı artan gaz betonun inşaat sektöründe kullanımı yaygındır. Üretilen gaz beton, yapı elemanları (harçlı ve tutkallı duvar blokları, ısı blokları, asmolon bloklar, yalıtım plakları, kapı ve pencere lentoları, bölme elemanları, hazır duvar, taşıyıcı çatı ve döşeme elemanları) şeklinde kullanılmaktadır (Çiçek 2002).

#### 2.2.2.f. Gaz beton bileşenlerin ve elemanların sınıflandırılması

Gaz beton yapı elemanları Türkçü (2010) tarafından; donatı varlığı, basınç dayanımı,

özgül ağırlık, örgüyü sağlayan bağlayıcısı ve blokların türüne göre beş sınıfa ayrılmıştır.

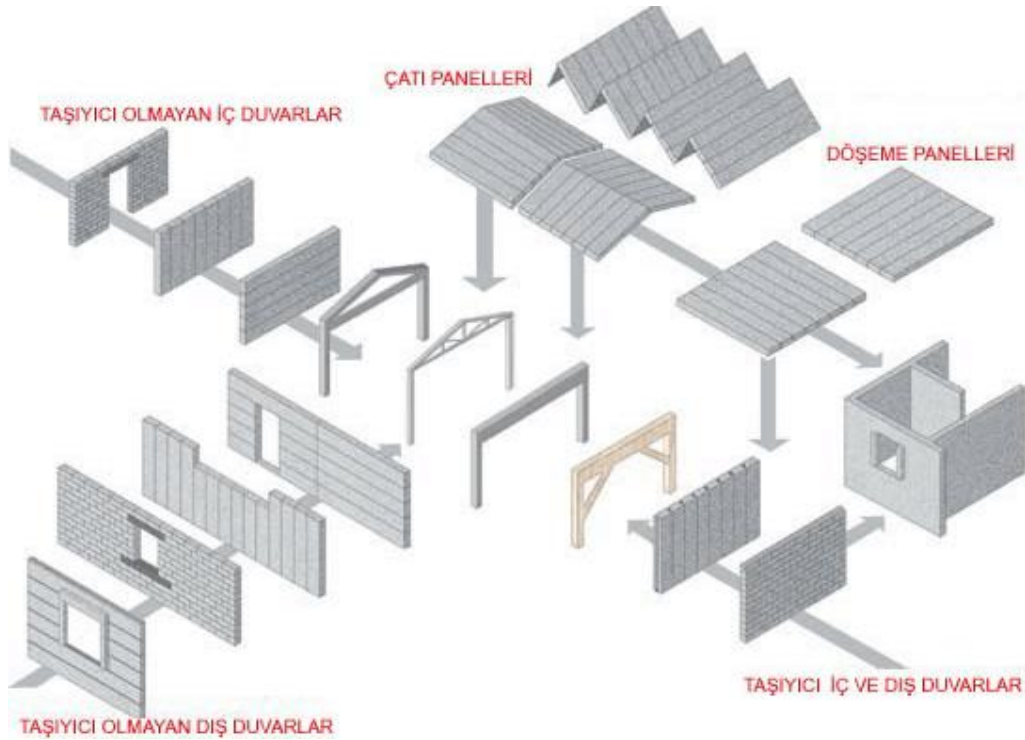
Bu sınıflama;

- |  |  |
|--|--|
| <p>a) Donatı durumuna göre</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Donatısız gaz beton<br/>(Yapı malzemesi)</li> <li>• Donatılı gaz beton<br/>(Yapı elemanı)</li> </ul>   | <p>c) Özgül ağırlıklarına göre</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Grup 0.4 kg/dm<sup>3</sup></li> <li>• Grup 0.5 kg/dm<sup>3</sup></li> <li>• Grup 0.6 kg/dm<sup>3</sup></li> <li>• Grup 0.7kg/dm<sup>3</sup></li> <li>• Grup 0.8 kg/dm<sup>3</sup></li> </ul>                                 |
| <p>b) Basınç dayanımlarına göre<br/>(Çizelge 2.11)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• G1 : 1.5 N/mm<sup>2</sup></li> <li>• G2 : 2.5 N/mm<sup>2</sup></li> <li>• G3 : 3.5 N/mm<sup>2</sup></li> <li>• G4 : 5.0 N/mm<sup>2</sup></li> <li>• G5 : 7.5 N/mm<sup>2</sup></li> </ul> | <p>d) Örgüyü sağlayan bağlayıcısına göre</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Tutkalla örülen (T)</li> <li>• Harçla örülen (H)</li> </ul> <p>e) Blokların türüne göre</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Düz bloklar</li> <li>• Geçmeli bloklar</li> <li>• Zıvanalı bloklar</li> </ul> |

Bu sınıflamaya ek olarak özel amaçlı üretilen asmolen bloklar, yalıtım plakları, kapı ve pencere lentoları, döşeme plakları, çatı panelleri ile düşey ve yatay duvar elemanları da (Şekil 2.24) üretilmektedir (Türkçü 2010).

**Çizelge 2.11.** Gaz beton basınç dayanımlarına göre karakteristik özellikler (Yıldırım 2002)

Sınıfı	Ortalama En Küçük Basınç Mukavemeti Değeri Kgf/cm <sup>2</sup> (N/mm <sup>2</sup> )	En Küçük Basınç Mukavemeti Değeri Kgf/cm <sup>2</sup> (N/mm <sup>2</sup> )	Birim Hacim Ağırlığı (kg/dm <sup>3</sup> )	Ortalama Birim Hacim Ağırlığı (kg/dm <sup>3</sup> )	Sınıf İşareti
G1	15 (1.5)	10 (1.0)	0.4	0.31 ile 0.40	G 1/0.4
			0.5	0.41 ile 0.50	G 1/0.5
G2	25 (2.5)	20 (2.0)	0.4	0.31 ile 0.40	G 2/0.4
			0.5	0.41 ile 0.50	G 2/0.5
G3	35 (3.5)	30 (3.0)	0.5	0.41 ile 0.50	G 3/0.5
			0.6	0.51 ile 0.60	G 3/0.6
G4	50 (5.0)	40 (4.0)	0.6	0.51 ile 0.60	G 4/0.6
			0.7	0.61 ile 0.70	G 4/0.7
G5	75 (6.0)	50 (5.0)	0.7	0.61 ile 0.70	G 6/0.7
			0.8	0.71 ile 0.80	G 6/0.8



**Şekil 2.24.** Gaz beton yapı elemanları

Diğer bir sınıflama da donatısız yapı malzemeleri ve donatılı yapı elemanları olarak yapılmıştır (Kömürlü ve Önel 2007). Bunlar;

## a) Donatısız yapı malzemeleri

- Duvar blokları
- Düz bloklar
- Geçmeli bloklar
- U Bloklar
- Asmolen bloklar
- Yalıtım blokları

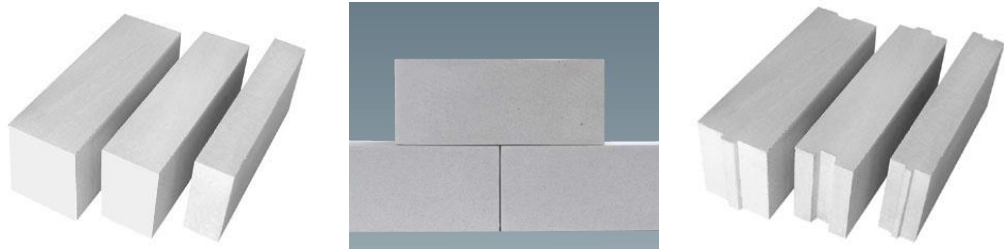
## b) Donatılı yapı elemanları

- Taşıyıcı elemanlar
- Döşeme plakları
- Çatı plakları
- Düşey duvar elemanları
- Lentolar
- Taşıyıcı olmayan Elemanlar
- Yatay duvar elemanları
- Düşey duvar elemanları
- Bölme duvar elemanları

**a. Donatısız yapı elemanları**

Bu malzemeler duvar blokları, asmolen bloklar, U bloklar ve yalıtım plakları olarak dört gruba ayrılır.

**Duvar blokları:** Hafif yığma yapılarda ince bir sıva ile birlikte yığma duvar ve betonarme yapılarda da dolgu duvar yapımında (Şekil 2.25) kullanılırlar. Duvar blokları üretiminde düz blok ve geçmeli blok olmak üzere iki ayrı üretimi de bulunur (Anonymous 2011a; Anonymous 2012d)

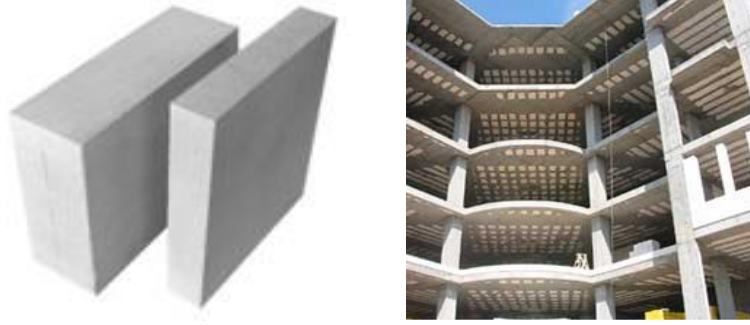


**Şekil 2.25.** Düz duvar blok ve geçmeli duvar blokları

**Asmolen bloklar:** Gaz beton asmolen blokları 20 cm kalınlıktan 60 cm kalınlığa kadar 40x30 cm, 40x60 cm boyutlarında üretilen yapı malzemeleridir. Asmolen blokları



(Şekil 2.26) özellikle ortalama ısı yalıtım değerinin yüksek olması istenilen dışı döşemelerde asmolen dolgu malzemesi olarak kullanılmaktadır (Anonymous 2012d).



**Şekil 2.26.** Asmolen bloklar

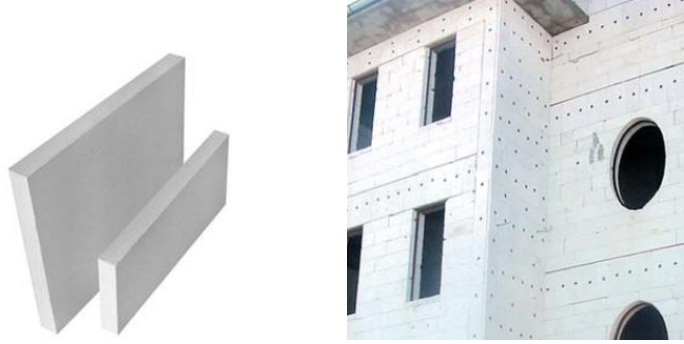
**U bloklar:** Duvarlar içinde bulunması gereken betonarme hatıl, kolon veya kirişlerin üretilmesinde ahşap kalıp yerine (Şekil 2.27) kullanılırlar. Özellikle yığma yapıların duvar üst betonarme hatılının üretiminde kullanılarak iç ve dış duvarda homojen bir yüzey oluşmasını sağlar. Bu kullanımının yanı sıra yüksek duvarlarda ara hatıl üretiminde, çatı kalkan duvarlarının üst hatıl üretiminde, baca üretiminde, yağmur iniş borularının gizlenmesinde ve yangın duvarları yapımındaki betonarme yüzeylerin gizlenmesinde de kullanılabilirler (Anonymous 2012d).



**Şekil 2.27.** U bloklar

**Yalıtım plakları:** Yalıtım plakları (Şekil 2.28) üzerinde gezinilen yüzeylerin yalıtılmasında, ısı yalıtımı yetersiz kalan eski veya yeni dış duvarların ısı yalıtımında ve

yatay veya düşey beton dış yüzeylerin yalıtımında kullanılırlar (Anonymous 2011a; Anonymous 2012d).



**Şekil 2.28.** Yalıtım plakları

## **b. Donatılı yapı elemanları**

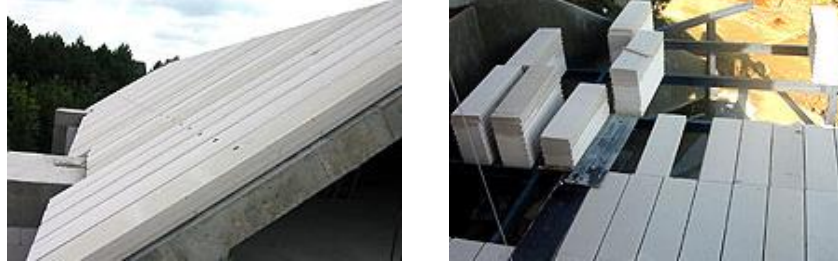
Gaz beton donatılı yapı elemanları çift sıra çelik hasır donatılı olarak üretilmekte ve düz, lamba, zıvana geçmeli, kırlangıç kuyruğu ve serbest kanallı olarak profillendirilmektedir. Bu elemanlar yapıların inşasında kalıp ve demir hazırlanması, priz müddeti gibi sorunları ortadan kaldırdığı için işçilik ve zamandan tasarruf sağlamakta, bu olanakları nedeniyle her türlü hava koşullarında inşaat yapılabilmektedir.

Donatılı yapı elemanları taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan şekilde iki gruba ayrılmasına karşın çatı ve döşeme elemanları, düşey ve yatay duvar elemanları, bölme duvar elemanları ve lentolar olmak üzere dört kategoride incelemek mümkündür.

### **I. Çatı ve döşeme elemanları**

Gaz beton döşeme ve çatı plakları (Şekil 2.29) 10 cm kalınlıktan 30 cm kalınlığa ve en fazla yapıların boyu kadar üretilen yapı elemanlarıdır. Yığma ve karkas yapıların ahşap, beton veya çelik mesnetleri üzerinde çatı ve döşeme oluşumu için kullanılmaktadır. Çatı plakları, başta sanayi yapıları ve konutlar olmak üzere, tüm yapıların masif çatıları için

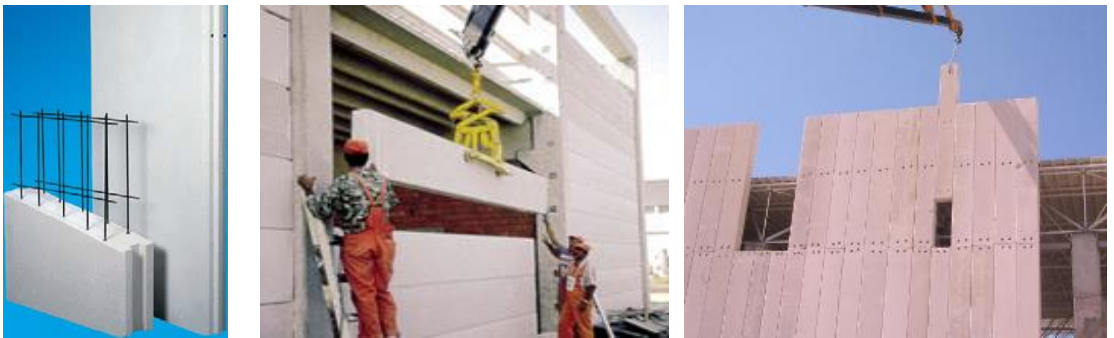
üretilem donatılı, taşıyıcı prefabrike yapı elemanlarıdır. Çatı plakları düz, eğimli, havalandırılmış ve havalandırılmamış pek çok çatı uygulamaları için kullanılır (Anonymous 2009c).



**Şekil 2.29.** Çatı ve döşeme elemanları

## II. Taşıyıcı düşey ve yatay duvar elemanları

Taşıyıcı olarak iç ve dış duvarlarda (Şekil 2.30) kullanılmakta, 15 cm kalınlıktan 25 cm kalınlığa ve en fazla 3 metre boya kadar üretilen yapı elemanları olup,  $90 \text{ kg/m}^2$  rüzgar yüküne dayanıklıdır. 3 tam kata kadar konut ve dinamik yüklerin önemli olmadığı yapılarda taşıyıcı iç ve dış duvar yapımında kullanılırlar. Düşey duvar elemanları zemin kotundan takriben 30 cm yükseltilmiş betonarme su basman hatlı üzerine oturtulurlar.



**Şekil 2.30.** Taşıyıcı yatay ve düşey duvar elemanları (Anonymous 2012d)

## III. Bölme duvar elemanları

Gaz beton bölme panoları 10 cm kalınlıktan 25 cm kalınlığa ve en fazla 6 metre boya

kadar üretilen yapı elemanları olup  $90 \text{ kg/m}^2$  rüzgar yüküne dayanıklıdır. Bu elemanlar boyuna, pahlı (bir yapı elemanında eğik bir yüzey elde etmek amacıyla keskinliği giderme) veya pahsız, küt veya lamba-zıvana profili olarak üretilen malzemelerdir.

#### IV. Lentolar

Kapı ve pencere üstlerinde kullanılan ve donatılı olarak üretilen (Şekil 2.31) gaz beton yapı elemanlarıdır. Lentolar her iki tarafa eşit bindirme payı ile yerleştirilir. Taşıyıcı olmayan lentolar asgari 15 cm, taşıyıcı lentolar ise asgari 20 cm bindirme payı olacak tarzda gaz beton tutkalı veya çimento harç ile mesnetlenir.



Şekil 2.31. Lentolar (Anonymous 2012c)

#### 2.2.2.g. Gaz betonun sağladığı yararlar

Gaz beton ürünlerinin diğer benzer duvar malzemelerine göre bazı üstünlüklere sahiptir. Bu üstünlükler tasarımda, yapımda ve yapıda sağladığı yararlar olarak üç gruba ayrılır (Kozak 2010).

Tasarımda sağladığı yararlar;

- Projelendirmede kolaylık sağlaması
- Dış duvar kalınlıklarının azalması
- Bina taşıyıcılarının incilmesi

Yapımda sağladığı yararlar;

- Kolay işlenilebilir özellikte olması
- Ölçülerinin milimetrik hassasiyette üretilebilmesi
- Hafif bir malzeme olması
- Taşımaya uygun paketli üretimin olması

Yapıda sağladığı yararlar;

- Geniş kapsamlı özellikleri olan bir yapı malzemesi olması
- Hafif bir yapı malzemesi olmasına karşın yine de masif bir yapı malzemesi olması
- Gaz beton sınıflarına göre değişmekle birlikte yeterli basınç dayanımına sahip olması
- Uygun ısı yalıtım özelliklerine sahip masif bir yapı malzemesi olması
- Dengeli ısı depolama özelliğinin olması
- Örnek olabilecek difüzyon davranışına sahip olması
- Yangından korunma özelliklerinin iyi olması
- Şekil hacim stabilitesine sahip bir malzeme olması
- Düşük su emme özelliğine sahip olması
- Düşük don hassasiyetine sahip olması
- Ses yalıtım özelliğinin iyi olması
- Toksik madde içermemesi
- Hafifliğinin yanı sıra depreme dayanıklı olması
- Çevre dostu bir malzeme olması
- Kolay temizlenebilme, onarılabilme ve bakım – onarım maliyetinin düşük olmasıdır.

### **2.3. Bağlayıcı Malzemeler**

Bağlayıcı malzeme; su ile karıştırıldığında elde edilen plastik hamurun zamanla katılaşarak mukavemet kazanan malzemelere verilen genel addır. Bağlayıcı maddelerin mukavemet kazanması ise hidratasyonu (su ile yapmış olduğu kimyasal reaksiyon),

katılaşma (priz) ve sertleşme olayları sonucu gerçekleşen bir durumdur (Uluata 1981).

### 2.3.1. Çimento

Çimento, belirli oranlarda karıştırılan kil ve kalker karışımının çeşitli sıcaklık derecelerinde (1250-1450°C) pişirilmesi sonucu elde edilen havada ve suda katılaşma özelliği gösteren gri ve beyaz renkli inorganik esaslı bağlayıcı türüdür (Akman 1990). Kelime anlamı olarak incelendiğinde ise yapıştırıcı ve bağlayıcı özelliği olan ve mineral parçaları bağlayarak yekpare bir bütün malzeme şekline gelebilme yeteneğine sahip bir bağlayıcı olarak da tanımlanabilir (Şimşek 2003, 2009).

Çimento üretimi karışıma giren kalkerin sıcaklık etkisiyle ayrışarak kirece (CaO), kilin ise silis ve alümine (SiO<sub>2</sub> ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) dönüşmesi, içerisine katılan kil ve ergitici toprakta bulunan demirin ise demir oksit (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) şeklinde ortaya çıkması sonucu bağlayıcılık özelliği sağlanan bir süreçtir (Akman 1990). Çimento üretimi kısaca aşağıdaki gibi açıklanabilir (Uluata 1981).

Kalker + Kil	<b><u>Yüksek ısı</u></b>	Klinker	<b><u>Öğütme</u></b> Çimento + (%2-4 alçıtaşı)
Kalker + CaCO <sub>3</sub>	<b><u>ısı</u></b>	CaO + CO <sub>2</sub> + Diğer Maddeler	
Kil + Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (Alümin)	<b><u>ısı</u></b>	SiO <sub>2</sub> (Silis) + Demir oksit (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) + Diğer maddeler	

Çimento, uygulamada gerekli özellikleri sağlayacak bağlayıcı malzeme elde edilmesinde ana maddelerine ve bileşenlerinin oranlarına göre sınıflandırılırlar (Çizelge 2.12) (Ersoy 2001). Bu sınıflardan biri olan portland çimentosu, kalker ve kil karışımı hammaddelerin pişirilmeleri ile ortaya çıkan ve “klinker” olarak adlandırılan malzemenin çok az miktarda alçıtaşı ile birlikte öğütülmesi sonunda elde edilen bir üründür ve çimento su ile birleştirildiğinde hidrolik bağlayıcılık özelliği kazanmaktadır. Hidrolik bağlayıcı ise su altında da sertleşebilen ve suda erimeyen bağlayıcıya verilen genel bir addır (Erdoğan 2003).

Çizelge 2.12. Çimento sınıfları (Anonymous 2002b; Şimşek 2009)

Ana Tip	Genel Çimento Tipleri		Bileşim( kütlece %olarak)										
			Ana Bileşenler										
			Klinker (K)	Yüksek Fırın Curufu (S)	Silis Dumanı (D)	Puzolan		Uçucu Kül		Pişmiş Şist (T)	Kalker		
Doğal (P)	Kalsine Edilmiş (Q)	Silisli (V)				Kalkersi (W)	(L)*	(LL)**					
CEM I	Portland Çimento	CEM I	95-100										
CEM II	Portland Curufu Çimento	CEM II/A-S	80-94	6-20									
		CEM II/B-S	65-79	21-35									
	Portland Silis Dumanlı Çimento	CEM II/A-D	90-94	-	6-10	-	-	-	-	-	-	-	-
	Portland Puzolan Çimento	CEM II/A-P	80-94			6-20							
		CEM II/B-P	65-79			21-35							
		CEM II/A-Q	80-94				6-20						
		CEM II/B-Q	65-79				21-35						
	Portland Uçucu Küllü Çimento	CEM II/A-V	80-94					6-20					
		CEM II/B-V	65-79					21-35					
		CEM II/A-W	80-94						6-20				
		CEM II/B-W	65-79						21-35				
	Portland Pişmiş Şistli Çimento	CEM II/A-T	80-94							6-20			
		CEM II/B-T	65-79							21-35			
	Portland Kalkerli Çimento	CEM II/A-L	80-94							6-20			
		CEM II/B-L	65-79							21-35			
		CEM II/A-LL	80-94									6-20	
CEM II/B-L		65-79										2135	
Portland Kompoze Çimento	CEM II/A-M	80-94					6-20						
	CEM II/B-M	65-79					21-35						
CEM III	Yüksek Fırın Curufu Çimento	CEM III/A	35-64	36-65									
		CEM III/B	20-34	66-80									
		CEM III/C	5-19	81-95									
CEM IV	Puzolanik Çimento	CEM IV/A	65-89			11-35							
		CEM IV/B	45-64			36-55							
CEM V	Kompoze Çimento	CEM V/A	40-64	18-30	-		18-30	-	-	-	-	-	
		CEM V/B	20-38	31-50	-		31-50	-	-	-	-	-	

A: Az mineral katkı içeren, B: Fazla mineral katkı içeren, C: Daha fazla mineral katkı içeren çimento tipi  
\* Toplam organik karbon içeriği %0.2 ; \*\* Toplam organik karbon içeriği %0.5

Asit ve bazik özellikleri olan bu öğeler birbirleriyle birleşerek çimentoda olması gerekli 4 ana bileşeni oluştururlar. Bunlar  $2CaO_2.SiO_2$  (dikalsiyum silikat),  $3CaO.SiO_2$  (trikalsiyum silikat),  $3CaO.Al_2O_3$  (trikalsiyum alüminat),  $4CaO.Al_2O_3.Fe_2O_3$  (tetrakalsiyum alümino-ferrit)'tir (Akman 1990).

Kullanım amacına göre çeşitli özelliklere sahip çimento ve su birleştiği anda aralarında “hidratasyon” olarak adlandırılan kimyasal reaksiyonlar başlamakta ve sürmektedir. Önceleri, yumuşak plastik durumda olan çimento hamuru, zaman ilerledikçe daha az plastik duruma gelmekte ve katılaşp, sertleşmektedir. Çimento hamurunun içerisindeki su ve çimento arasındaki kimyasal reaksiyonlar, uygun sıcaklık ve nemlilik ortamında devam etmekte ve kazanılan dayanım miktarında artma olmakta ve bu durum sonucunda dayanım ve dayanıklılık kazanmaktadır (Ersoy 2001).

Betonun dayanım ve dayanıklılık kazanmasında çimento hamuru, beton karışımının içerisinde yer alan agrega tanelerinin yüzeyini kaplamakta, aralarındaki boşlukları doldurarak, taneleri bağlayarak malzemenin tek bir malzeme gibi davranmasını sağlamsı ile gerçekleşmektedir (Erdoğan 2003).

Çimentonun, içine katılan katkı maddeleri ve kazandığı özelliklere göre Türk Standartları’nda belirtilen farklı türleri vardır (Çizelge 2.13).

**Çizelge 2.13.** Türkiye’deki çimento tipleri, sembolleri ve ilgili standart numarası (Erdoğan 2003; Anonim 2013)

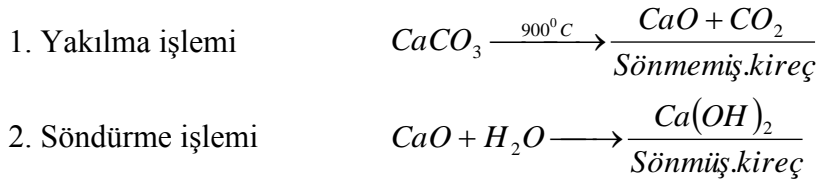
Çimento Tipleri	Sembolü	Eski Standart No	Yürürlükteki Standart No
Portland çimentosu	PÇ	TS 19	TS EN 197-1
Cürüflu çimento	CÇ	TS 20	TS EN 197-1
Beyaz portland çimento	BPCÇ	TS 21	TS 21
Harç çimentosu	HÇ	TS 22	TS EN 413-1
Traslı çimento	TÇ	TS 26	TS EN 197-1
Uçucu küllü çimento	UÇK	TS 640	TS EN 197-1
Süper sülfat çimentosu	SSÇ	TS 809	TS EN 197-1
Erken dayanımı yüksek çimento	EYÇ	TS 3646	TS EN 197-1
Katkılı çimento	KÇ	TS 10156	TS EN 197-1
Sülfata dayanıklı çimento	SDÇ	TS 10157	TS EN 197-1
Çimento-Portland cürüflu	PCÇ	TS 12139	TS EN 197-1
Çimento-Portland kalkerli	PLÇ	TS 12140	TS EN 197-1
Çimento-Portland slika füme	PSFÇ	TS 12141	TS EN 197-1
Çimento kompoze	KZÇ	TS 12142	TS EN 197-1
Çimento-Portland kompoze	PKÇ	TS 12143	TS EN 197-1
Çimento puzolonik	PZÇ	TS 12144	TS EN 197-1



### 2.3.2. Kireç

Kireç sadece havada dayanım kazanan, suya dayanıksız ve düşük mukavemetli, çimento ve alçı gibi çok eski bir bağlayıcıdır. Kirecin hammaddesi; kalker taşı, tebeşir vb. gibi  $CaCO_3$  (kalsiyum karbonat) kökenli kütleler veya dolomit gibi  $CaCO_3$ ,  $MgCO_3$  (kalsiyum ve magnezyum karbonat) 'ten oluşan kütlelerdir. Birinci gruptan elde edilen kireç beyaz renklidir, ikinciden elde edilen ise esmer renklidir ve dayanımı oldukça yüksektir (Ersoy 2001).

Kireç üretiminde kireçtaşının yakılması ve söndürülmesi işlemi olarak iki aşama vardır.



Kirecin sertleşmesi ise üç aşamada olur: Bunlar kuruma aşaması,  $Ca(OH)_2$  formunda kristalleşme aşaması ve havanın  $CO_2$ 'i ile birleşerek karbonatlaşma aşamasıdır. Kuruma ve kristalleşme geçici iken asıl sertleşme karbonatlaşma aşamasında olur. Bu reaksiyon çok yavaştır ve havanın  $CO_2$ 'nin varlığı zorunludur. Bu nedenle kireç, havada sertleşen bir bağlayıcıdır (Akman 1990).

### 2.3.3. Alçı

Alçı, çimento ve kireçle birlikte, bağlayıcı olarak kullanılan inorganik bir malzemedir. Kalsiyum esaslı bir malzeme olan alçının hammaddesini doğada yaygın olarak bulunan doğal alçıtaşı (jips) oluşturmaktadır ve alçıtaşının öğütülüp pişirilmesi ile bağlayıcılık özelliği kazanan bir bağlayıcı türüdür.

Alçı temel olarak, kalsiyum sülfat ( $CaSO_4$ )'tan oluşan, gerektiğinde sertleşme süresini düzenleyici kakırlar da içerebilen, bileşiminde en az %70  $CaSO_4 \cdot 2H_2O$  bulunan doğal bir

kristalize taştan öğütme ve pişirme süreci ile elde edilen bir bağlayıcı malzemedir (Ersoy 2001).

Alçı pişirme, öğütme şekilleri ve üretimlerinde kullanılan maddelerin saflığına göre 6 sınıfa ayrılır (Güner 1999).

- a) Kaba (adi) alçı: içerisinde bulunan yabancı madde miktarı %40 yaklaşan, kaba olarak öğütülmüş, tavan ve duvar sıvalarında ve onarım işlerinde kullanılan alçı türüdür.
- b) Birinci alçı: İçerdiği yabancı madde miktarı kaba alçıya göre az olan sıva alçısı türüdür.
- c) Ekstra alçı: İçerisindeki yabancı madde miktarı %5-10 arasında olan, beyaz renkli, ince öğütülmüş alçı türüdür.
- d) Ekstra-ekstra alçı: İçerisindeki yabancı madde miktarı %5'i geçmeyen, pişirilmesinde özen gösterilen ince öğütülmüş alçı türüdür.
- e) Şaplı alçı: Alçı taşının önce adi alçıdaki gibi pişirilip öğütülmesinden sonra içerisinde %10-12 şap bulunan su ile karıştırılarak briket halindeki kalıplarda 1100–1200°C sıcaklıkta tekrar pişirilerek elde edilen briket halindeki kalıpların tekrar ince olarak öğütülmesi ile elde edilen alçı türüdür. Bu alçı türü özellikle neme maruz kalacak yüzeylerde kullanılır.
- f) Döşeme alçısı: Alçı taşının 1100–1200°C sıcaklıkta pişirilirken içerisinde bulunan veya karışıma sonradan eklenen kükürt trioksit ve kalsiyum oksidin ayrışması sonucu bir miktar serbest kireç açığa çıkar ve kireç, alçı içerisinde dağılır. Bu sayede geç donan ve normal alçıdan daha yüksek dayanıma sahip bir alçı türü olarak kullanılmaktadır.

#### **2.4. Konu ile İlgili Yapılan Araştırmalar**

Hafif beton sınıfına giren, gözenek oluşum mekanizmasına göre farklı isimler ile adlandırılan gaz beton üzerine farklı birçok araştırma yapılmış olup, yapılan bazı çalışmalar incelenmiştir.

Saygılı ve Baykal (2011), alüminyum katkılı yüksek ısı yalıtım özelliğine sahip gaz

betonların gözenekli yapısının oluşturulmasında kar veya parçalanmış buzun gözenek oluşumunda kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Bu çalışmalarında uçucu kül katkılı briketlerde %10 ve %20 parçalanmış buzun karışıma son aşamasında katılarak briketlerin priz alması süresine kadar içerisine katılan kar veya buzun beton harcında yer kaplaması ve sonra eriyip buharlaşması ile boşluk oluşturması hedeflenmiştir. Sonuçlar incelendiğinde, artan buz parçacığı oranına göre birim hacim ağırlıklarının %12 ile %17 oranında azaldığı, gözenek hacminin %30 ile %45 oranlarında arttığı buna bağlı olarak ısı iletkenliğinde  $0.329 \text{ W/m}^\circ\text{K}$  değerinden  $0.272 \text{ W/m}^\circ\text{K}$  değerine düştüğünü belirlenmiştir.

Laukaitis and Fiks (2006), gaz beton üretiminde kuvars kumu ile bağlayıcısı çimento ve çimento-kireç olan gruplarda alüminyum katkılı, çimento bağlayıcılı diğer bir grupta da kabarma sağlayıcı köpük kullanımı ile üretilen betonların akustik ses yalıtım özelliğini araştırmışlardır.

Karakurt *et. al.* (2006) tarafından yapılan çalışmada alüminyum açısından zengin olan zeolit ile gaz beton üretimini araştırmışlardır. Çalışmalarında kuvars kumu %0, %25, %50, %75 ve %100 oranlarında zeolitle yer değiştirilerek hem alüminyum katkılı ( $0.25\text{kg/m}^3$ ) hem de alüminyum katkısı olmayan örneklerde beton birim hacim ağırlık, basınç dayanımı ve ısı iletkenlik değerlerini gaz beton örneklerle karşılaştırmışlar ve zeolit her iki grupta da %50 oranında kullanılabileceğini saptamışlardır.

Araujo and Tenerio (2005), atık folyolardan elde edilmiş alüminyum tozu katılarak üretilen otoklavlanmış hafif betonun özelliklerini araştırmışlardır. Bu araştırmalarında alüminyum tozunun kuvars kumu ile karıştırıldığında gaz oluşum mekanizması ve ortalama boşluk boyutu ile basınç dayanımları değerlendirilmiştir. Çalışma sonucunda atık alüminyumlar ile de yüksek kaliteli gözenekli beton üretimi yapılabileceği saptanmıştır.

Holt and Raivio (2005), alüminyum açısından zengin iki farklı filtre tozu hava katkılı otoklavlanmış hafif betonun uygunluğunu test ettikleri çalışmalarında, karışıma çimento

ağırlığının %'si olarak farklı oranlarda alüminyum tozu katmışlardır. Çalışmalarında üretimde fazla gaz oluşumunu önlemek ve gereğinden fazla alüminyum tozu kullanmamak için gereksinim duyulan toz miktarını belirlemeye çalışmışlardır. Çalışma sonucunda karışıma alüminyum tozunun %1-3 oranlarında karıştırılmasının ekonomik beton üretimi için uygun olacağını öngörmüşlerdir.

Bertolini *et. al.* (2004), belediyelere ait katı atık yakma tesislerinden elde edilen hem uçucu kül hem de alt külünün portland çimentosu yerine kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Farklı oranlarda sıradan kömür külü katılarak betonlar yapılmıştır. Bu şekilde hazırlanan taze ve sertleşmiş betonlarda bu külün etkisi ve diğer üstünlükleri karşılaştırılmıştır. Uçucu kül klorür içeriğini azaltıcı işlem gördüğünden, elek altı atık malzeme hem ıslak hem de kuru olarak öğütülüp kullanılmıştır. Sonuç olarak bu kül potansiyel beton üretiminde mineral katkısı olarak kullanılması ancak içerisinde bulundurduğu alüminyum parçacıkların korozyonu sonucunda oluşacak reaksiyon ile ortaya çıkan gaz oluşumun önlenmesi koşuluyla potansiyel olarak çekici olduğunu belirtmektedirler. Buna karşın yanmış katı atık altı malzeme iyi bir puzolonik aktivite göstermekte ve betonun geçirimsizliği ile dayanımına önemli katkı sağladığını da gözlemlemişlerdir.

Jasiczak and Zielinski (2006), betona protein (kan unu) katkısının betona etkilerini incelemişlerdir. Bu çalışmalarında iki farklı çimento tipi ile %0-2 oranlarında protein katkılı farklı örnek grupları hazırlanmış ve proteinin hava sürükleyici katkı olarak kullanılabilirliği ile taze ve sertleşmiş betonun özellikleri incelenmiştir. Sonuç olarak çimento tipinin taze ve sertleşmiş betonda önemli değişiklikler göstermediği fakat taze betonda kür zamanını uzattığı, kıvamın ve hacim ağırlığının azaldığı görülürken sertleşmiş betonda eğilme ve nihai basınç dayanımının azaldığı, büzülme ve donma-çözülme dayanımının arttığı görülmüş olup hava sürükleyici olarak uygun olduğunu belirtmişlerdir.

Aamr-Daya *et. al.* (2008) çalışmalarında hafif yapı malzemesinin geliştirilmesinde agregaya ek olarak çimento harcına keten tohumu katılmasının etkilerini

araştırmışlardır. Protein esaslı hava sürükleyici olarak %0-10 arasında keten kullanımının taze ve sertleşmiş betonda olumlu ve olumsuz yönlerini incelemişlerdir. Araştırma sonuçları taze betonda keten tohumu kullanımı arttıkça hava miktarının arttığı ve işlenebilirliğin iyileştiği, sertleşmiş betonda ise birim hacim ağırlığının azaldığı, ısı ve ses yalıtımında olumlu azalmanın olduğu ancak basınç ve eğilme gibi mekaniksel özelliklerinde düşüşün olduğu görülmüştür.

Rubio-Avolos *et. al.* (2005), gaz beton üretiminde gözenek oluşturucu katkı maddesi olarak sodyum bikarbonat (kabartma tozu) kullanmışlar ve betonun özelliklerini incelemişlerdir. Su/alçı oranı 0.50 alınarak, su ağırlığının %1 ve 1.5 oranında sodyum bikarbonat kullanımıyla örnekler hazırlanmıştır. Betonun 3, 7, 14 ve 45 günlük özellikleri incelendiğinde kabartma tozu katkısının ısı iletkenlik katsayısını iyileştirerek iyi bir yalıtım özelliği sağladığı, ancak mekaniksel özelliklerde düşüşe neden olduğunu belirtmişlerdir. Buna karşın ekonomik ve çevre dostu olan bir malzeme olabileceğini vurgulamışlardır.

Abdullah *et. al.* (2006) yağ üretiminde hammadde olarak kullanılan palmiye ağacı atıklarının yakacak olarak kullanımından sonra son atık ürünü olan külün (palm oil fuel ash (POFA)) gaz betonda çimento yerine kullanım potansiyelini araştırmışlardır. Bu külün kimyasal analizlerinde puzolonik bir malzeme göstermesi sonucu %0, %10, %20, %30, %40 ve %50 oranlarında gaz beton üretiminde çimento yerine kullanımını araştırmışlardır. Bu çalışmada agrega olarak ince kum, gaz oluşumu için alüminyum tozu ve akışkanlaştırıcı kullanılarak hazırlanan gaz beton örneklerin basınç dayanımına etkisini incelemişlerdir. Sonuçlar incelendiğinde 7 ve 28 günlük kürede bekletilen gaz betonlarda artan kül miktarına bağlı olarak dayanımın çok düştüğü, ancak karışıma maksimum %10-35 oranları arasında katılarak kullanılmasının uygun olacağı sonucuna varmışlardır.

Yang *et. al.* (2000), ticari marka ismi SJ-12 olarak piyasada bulunan kimyasal hava sürükleyici ile piyasadaki çam sakızı reçinesi ve bitkisel sabun esaslı bitkisel hava sürükleyicilerin gaz beton oluşumundaki etkilerini karşılaştırdıkları çalışmalarında,

bağlayıcı olarak PÇ 52,5 (330 kg/m<sup>3</sup>) portland çimentosu, agrega olarak incelik modülü 2,57 olan kuvars kumu ve 5-25 mm elekler arası kalan kırma agrega ile %1 oranında hava sürükleyici katılmış beton örneklerin fiziksel ve mekaniksel özelliklerini incelemişlerdir. Laboratuvar koşullarında 10x10x10 cm ve 10x10x40 cm olarak hazırlanan örnekler kür edildikten sonra basınç dayanımı, çekme dayanımı, donma-çözülme dayanımı ve gözenek yapıları incelenmiştir. Sonuç olarak kullanılan üç hava sürükleyici malzemeden elde edilen örneklerinin basınç dayanımı, çekme dayanımı ve hava içeriğinin hemen hemen aynı olduğu fakat SJ-12 kimyasal hava sürükleyicisi ile dökülen betonların donma çözülme dayanımının diğer örneklere göre daha iyi olduğu ve gözenek yapısının da diğer betonlara göre mikro gözeneklerin fazla, makro gözeneklerin ise az olduğunu ifade etmişlerdir.

Goual *et. al.* (1999), gaz beton olarak da tanımlanabilecek yeni bir malzemenin üretiminde, ince kuvars kumu ile hemen hemen aynı incelikte kaolin tipi kil ve toplam katı ağırlığın %0 ile %1 oranları arasında olacak şekilde %0.2 artan oranlarda (<100µm) alüminyum tozu kullanılarak farklı örnek grupları hazırlamışlar ve betonların ısı iletkenlik özellikleri ile bu malzemeye uygun sayısal model belirlemeye çalışmışlardır.. Deney sonuçları incelendiğinde, artan katkı oranı ile birim hacim ağırlık ve ısı iletkenliğin azaldığı, porozitenin ise arttığını ve değerler ile modelin gaz beton konusunda daha önce yapılan sayısal modellerle uygunluk içerisinde olduğunu saptamışlardır.

Goual *et. al.* (2000), çalışmalarında %75 kil ve %25 çimento oranı ile alüminyum tozu katkılı gaz betonların su emme potansiyellerini, bileşenlerin ağırlıklarının ölçülmesi (gravimetrik yöntem) ile modellemeye çalışmışlardır. Çalışma sonucu gözenekli malzemelerin su emme potansiyellerinin bu yöntemle güvenilecek düzeyde doğru sonuçlar verdiği ve bileşenlerin ağırlıklarının ölçülmesiyle bu modellemenin kullanılmasında faydalar sağlayabileceğini belirtmişlerdir.

Aksoy (2008) tarafından Türkiye'nin soğuk şehirlerinden biri olan Elazığ'daki (TS 825-3.Bölge) sandviç ve gaz beton duvar uygulamalarının, ortalama ısı geçirgenlik katsayısı

( $U_{ort}$ ) ve ısı kaybını ( $Q$ ) araştırdığı çalışmasında, mevcut durum ve yönetmelikteki uygulamalardaki ortalama  $U$ -değerleri ile ısı kaybını hesaplanmış ve sonuçları karşılaştırmıştır. Gaz beton duvar uygulamalarında  $U_{ort}=0.99$  ve  $1.21$   $W/m^2K$  ve sandviç duvar uygulamalarında ise  $U_{ort}=0.94-1.13$   $W/m^2K$  olarak hesaplanmış ve 3. bölge için istenen  $U=0.5$   $W/m^2K$  göre detaylandırılan duvar uygulamalarında ısı kayıplarının yaklaşık %35-55 azaldığını bulmuşlardır.

Uygunoğlu ve Ünal (2007)'in yapmış oldukları buhar kÜRü uygulanmış hafif betonun özellikleri konulu çalışmalarında, mekaniksel ve fiziksel özelliklere suda ve havada kÜR ile otoklavda basınçlı buhar kÜRünün etkilerini araştırmışlardır. Beton oluşumunda 0-4 mm boyutlarındaki Isparta yöresi pomzası ile  $300$   $kg/m^3$  dozajlı, su/imento oranı 0.15 olan beton örnekler hazırlanmıştır. TS 3648'de uygun görülen 2, 4, 6, 8 ve 10 saat süreyle basınçlı buhar kÜRünde ve 7 ile 28 su ve hava kÜRünde örnekler bekletilerek basınç dayanımı, birim hacim ağırlık, görünen porozite ve su emme değerleri belirlenmiştir. Sonuç olarak 8 saat süreyle buhar kÜRünde kalan örneklerin diğer örneklere göre daha iyi performans gösterdiklerini belirtmişlerdir.

Önal vd (2007) gaz betonun döküm sürecinde oluşan kabarmanın donatı aderansı ve basınç dayanımı üzerine etkisini araştırmışlar ve gaz betonun alt kısmına göre, orta ve üst kısımlarının daha düşük aderans ve basınç dayanımı gösterdiğini ortaya koymuşlardır.

Rahman *et. al.* (2010), çalışmalarında ince kum, imento, su ve köpük oluşturucu katkı eklenmesi ile oluşturulan köpük betonların basınç dayanımı test yöntemlerini incelemişler, normal yüklemenin köpük betonlar için uygun olmadığı ve beton özelliklerini doğru yansıtmayacağını saptamışlardır.

Coşkun vd (2006) uçucu külün hafif betonun mekanik özellikleri üzerine etkilerini araştırdıkları çalışmalarında, betonun ultrasonik ses geçirgenlik ve basınç dayanımı değerlerini incelemişlerdir. Beton örneklerinde mineral katkı olarak imento ağırlığının %15 oranında karışma uçucu kül eklenmiş ve  $150 \times 150 \times 150$  mm'lik kalıplarda

örnekler hazırlanmıştır. Hazırlanan örnekler 3, 7, 14 ve 28 gün  $20\pm 2$  °C'de su kürü ve hava küründe bekletilmiştir. Su kürünün ultrasonik ses geçirgenliğine etkisinin daha yüksek olduğu, uçucu kül katkısının ise basınç ve ses geçirgenliğine ek katkı sağladığını belirmişlerdir.

Ungkoon *et. al.* (2007) basınçlı ve basınçsız buhar kürü ile üretilen ve duvar yapımında kullanılan gaz betonların yapısal özelliklerini optik mikroskop, elektron mikroskobu ve kimyasal özelliklerini belirlemede ise X-ray cihazları kullanarak incelemişler ve örnek betonların birim hacim ağırlık, basınç dayanımı, eğilme dayanımı ve ısı iletkenlik değerlerindeki değişimleri saptamışlardır. Basınçlı buhar kürüne uygulanan örneklerin basınç ve eğilme dayanımlarının aynı özelliklerdeki diğer gruba göre daha yüksek, birim hacim ağırlık ve ısı iletkenlik değerlerinin de düşük olduğunu saptamışlardır.

Cabrillac *et. al.* (2006) basınçlı buhar kürü kullanmaksızın üretilebilecek gaz betonların bazı mekaniksel ve fiziksel özelliklerinin belirlenerek, kür koşullarının karışım kompozisyonlarına etkilerini saptamaya çalışmışlardır. Sonuçlar incelendiğinde bağlayıcı oranına göre kireç ve alüminyum karıştırılarak oluşturulan farklı gruplarda, artan kireç ve alüminyuma göre kür koşulları beton özelliklerinde değişiklikler gösterdiği saptanmıştır.

Hauser *et. al.* (1999), çalışmalarında serbest kireç ve sülfat içeren selüloz sanayi atıklarının gaz betonda kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Kireç sülfat külü ve alüminyum içeren atık küller ile örnek grupları oluşturularak beton basınç dayanımları karşılaştırılmıştır. Beton karışımında toplam hacmin %60'ı kum, %25'i çimento, %11'i kireç ve %4'ünde sülfat ile gaz oluşumu için toplam katı ağırlığının %0.06 da toz alüminyum olacak şekilde karışımlar oluşturulmuştur. Kireç sülfat külü ile oluşturulan grupların daha yüksek basınç dayanımına ulaştıkları belirlenmiştir.

Gaz beton üretiminde kullanılan ana hammaddelerden biri olan kuvars yerine, bu madde miktarı sabit tutulmak ve diğer bileşenlerin miktarları değiştirilmemek üzere, öğütülmüş kuvars ve ham perlit belirli oranlarda karıştırılarak hazırlanan deneme dökümleri



üzerinde basınç dayanımı ve rötre deneyleri yapılmış ve fiziksel özellikler belirlenmiştir. Sonuçlar normal gaz beton özellikleriyle karşılaştırılmış ve gaz beton üretiminde kullanılabilir ideal ham perlit oranının %30 olduğu belirlenmiştir (Özgenç ve Sarıözen 1999).

Matsui *et. al.* (2011) farklı yerlerden sağlanan kuvars kumları ve farklı oranlarda alüminyum katkısı ile üretilmiş gaz betonların X-ray cihazı ile malzeme yapısal analizlerini incelemişlerdir. Sonuçlar incelendiğinde daha az reaktif silis içeren malzemelerin de gaz beton üretiminde kullanılabilirliğini ortaya koymuşlardır.

Mostafa (2005), gaz betonda kireç ve kum yerine belirli oranlarda havada soğumuş cüruf kullanarak %0.05 alüminyum katkısı ile oluşturduğu farklı gaz beton gruplarında 183°C sıcaklıkta 10 bar basınç altında 2, 4, 6 ve 12 saatlik buhar kürünün beton yapısal özelliklerini XRD ve SEM cihazları ile belirlemiştir.

Ramamurthy and Narayanan (2000), kum ve uçucu kül ile üretilen hava katkılı (gaz beton) ve normal betonlarda kuruma büzülmesi üzerine malzeme kompozisyonu ve kür koşullarının etkisini istatistiksel açıdan değerlendirerek incelemişlerdir. Artan kireç/çimento oranı ve uçucu külün kuruma büzülmesini düşürdüğünü saptamışlardır.

Nambiar and Ramamurthy (2006), gaz beton veya köpük beton üretiminde karışım oranlarının belirlenmesinin genelde çimento/kum oranına göre yapılan çalışmaların aksine, çalışmalarında toplam dolgu malzemesi (kum ve uçucu kül gibi) / çimento oranını dikkate alarak tane boyutu ve dolgu malzemesinin nemli beton özelliklerine etkisini araştırmışlardır. Tasarlanan betonların dolgu malzemesine bağlı olarak birim hacim ağırlıklarının birbirleri ile uyumlu olduğu, taze beton akışkanlığını köpük hacminin etkilediğini ve tane boyutunun basınç dayanımına etkisinin olduğu ancak uçucu külün de basınç dayanımını arttırdığını belirlemişlerdir.

Beben and Manko (2011), su itici özelliği olan hidrofob kil katkısı yapılabilecek gözenekli betonun (autoclaving cellular concrete) terleme, basınç dayanımı ve nem

tutma özelliklerini araştırmışlardır. Basınç dayanımlarının bir miktar arttığı ve nem tutma özelliklerinin azaldığı saptanmıştır. Sonuç olarak bu tür betonların yapıların modernizasyonunda ve yapı uygulamalarında kullanılabileceğini ortaya koymuşlardır.

Albayrak *et. al.* (2007) gaz beton üretiminde kuvars kumu yerine zeolitin kullanılabilirliğini araştırmışlar ve zeolit kullanımının basınç dayanımı, birim hacim ağırlık ile ısı iletkenlik değerlerine etkilerini incelemiştir. Zeolit ile üretilen gaz betonları fabrika ürünü olan gaz betonlarla karşılaştırdıklarında, artan alüminyum oranına göre birim hacim ağırlığın azaldığı, birim hacim ağırlık - basınç dayanımı ve birim hacim ağırlık - ısı iletkenlik değerlerindeki değişimin ise artan birim hacim ağırlığa paralel olarak hem basınç dayanımı hem de ısı iletkenlik değerlerinde artış gösterdiğini bulmuşlardır.

Puttappa *et. al.* (2008), çalışmalarında normal kum ile üretilecek köpük betonun, kuvars kumu tozu ve uçucu kül eklenerek üretilen köpük betonlarla karşılaştırdıkları çalışmalarında, farklı kür sürelerinde hazırlanan örneklerin basınç dayanımı, eğilme dayanımı ve beton durabilitesindeki değişimlerine etkisini araştırmışlardır. Sadece çimento kullanılarak üretilen köpük betonlardaki basınç dayanımının kür süresi ile orantılı olarak hızlı artış gösterdiği ancak diğer gruplardaki artışın daha yavaş olduğunu, eğilme dayanımı değerlerinin çok değişken sonuçlar verdiği ve yeniden araştırılması gerektiği, durabilitenin ise sülfat etkisine karşı normal betonlardan daha iyi olduğunu saptamışlardır.

Guglielmi *et. al.* (2010) toplam ağırlığın %75'i oranında kaolinit kil, toplam ağırlığın %65'i oranında da akıcı kıvamı sağlayacak su ve %0.2-0.8 oranında da alüminyum solüsyonu (macunu) kullanarak 180°C sıcaklıkta 12 atm basınçlı buhar kürü ile hazırladıkları örnek gruplarında porozite, birim hacim ağırlık, basınç dayanımı ile malzemenin mikro yapı ve şeklini incelemiştir. Sonuçlar incelendiğinde %0.4'e kadar alüminyum kullanılması ile porozitede artış olduğu ancak artan alüminyum oranı ile porozitenin azaldığı, birim hacim ağırlık ve dayanımında buna paralel olarak değerlerde artış ve azalışlar olduğunu belirterek, sonuçların yapısal özelliklerdeki

değişimler ile açıklamışlardır.

Aidan *et. al.* (2009), agrega olarak 70-110 µm tane boyutunda kum ve uçucu kül, bağlayıcı olarak çimento, kireç ve bir miktar alçı ile kabarma sağlayıcı malzeme olarak alüminyum tozu kullanımı ile deneme grupları oluşturmuşlar ve birim hacim ağırlık, basınç dayanımı, eğilme dayanımı, elastikiyet modülü ile ısı iletkenlik değerlerini incelemişlerdir. Deneme gruplarında artan tane boyutu ile malzeme özelliklerinin (birim hacim ağırlık, basınç dayanımı, eğilme dayanımı, elastikiyet modülü, ısı iletkenlik değeri) arttığını, bu artışın tane boyutunun 70 µm'den 110 µm'ye çıkması ile yaklaşık iki kat olarak gerçekleştiğini belirtmişlerdir.

Zihihua *et. al.* (2007), uçucu kül, yüksek fırın cürufu ve silis dumanı ile agrega karışımlarından oluşan çimento bağlayıcılı karışımlarda, protein esaslı EAB şirketinden elde edilen köpük malzemesi kullanılarak farklı köpük beton grupları hazırlamışlardır. Örnekler tüm gruplarda aynı özellikte olması için su/çimento oranı 0.70 olarak alınmış ve birim hacim ağırlık, basınç dayanımı ile ısı iletkenlik özellikleri incelenmiştir. Artan köpük oranı ile birim hacim ağırlık, basınç dayanımı ve ısı iletkenlik değerlerinin azaldığı, ancak tüm gruplar karşılaştırıldığında kum kullanılan gruplarda değerlerin diğer gruplara göre yüksek çıktığını ortaya koymuşlardır.

Topçu and Uygunoğlu (2007) 0-4 mm tane aralığında bulunan diatomit ve pomza ile üretilebilecek hafif betonlarda kür koşullarının etkisini araştırmışlardır. Su kürü ile 2, 4, 6, 8 ve 10 saat basınçlı buhar küründe bekletilen örneklerin bazı fiziksel, mekanik ve beton yapısal özelliklerini incelemişlerdir. Birim hacim ağırlıkta kürün etkisinin bulunmadığını, ısı iletkenlik değerlerinde değişimin önemli düzeyde olmadığını ancak basınç dayanımlarını karşılaştırdıklarında su küründe bulunan örneklerin daha yüksek dayanım değerlerine ulaştıklarını saptamışlardır.

Kurama *et. al.* (2009), farklı oranlarda kuvars kumu yerine Tunçbilek termik santrali taban külü kullanımının alüminyum katkılı gaz betonların üretiminde agrega olarak kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Ayrıca çalışmalarında fiziksel, mekaniksel ve

yapısal özellikler üzerine 8 ve 18 saatlik basınçlı buhar kürünün etkisini de incelemişler, artan katkı oranına göre birim hacim ağırlığı ve ısı iletkenliklerinin azaldığı ancak %50 oranında taban külü katılmasında maksimum basınç dayanımının sağlandığını belirtmişlerdir. Kür sürelerinde ise tüm gruplarda 18 saat buhar küründe kalan örneklerin daha iyi sonuçlar verdiğini, özellikle 18 saat kürde bulunan örneklerin %10-16 arasında değişen oranlarda basınç dayanımlarının arttığını saptamışlardır.

Narayanan and Ramamurthy (2000), gözenekli betonların yapısı ve özellikleri ile ilgili yapılan çalışmaları değerlendirmişler ve gözenekli betonunun hangi katkıları ile üretilebileceği ve yapılan çalışmalarda birim hacim ağırlık, ısı iletkenlik gibi parametrelerin sınır değerlerini incelemişlerdir.

Kearsley and Wainwright (2001), protein esaslı köpük kullanılarak elde edilecek gözenekli betonlarda çimento yerine yüksek oranda uçucu kül kullanımının 1 yıllık farklı kür periyotları içerisinde beton basınç dayanımı üzerine etkisini araştırdıkları çalışmalarında, yüksek oranda çimento kullanılarak yapılacak betonlarda beton basınç dayanımını çok fazla etkilemeyen oranda (çimento yerine %67 oranına kadar) uçucu külün kullanılabilirliğini belirtmişlerdir.

Kearsley and Wainwright (2002), çalışmalarında farklı su/çimento oranlarında hacimce suyun 1/40'ı oranında karışıma eklenecek köpük maddesi ile oluşturulan köpük betonların, artan köpük oranına göre porozitedeki değişime etkilerini incelemişlerdir. Bu çalışmalarında su/çimento oranını 0.30 ile 1.17 arasında değişen gruplar hazırlanmış ve bu gruplar karşılaştırıldıklarında köpük maddesinin artmasıyla basınç dayanımı ve birim hacim ağırlığın azaldığı buna karşın porozite değerlerinde yaklaşık %28'den %63'e varan oranda artış gerçekleştiğini ortaya koymuşlardır.

Çelik (2005), uçucu külün gaz beton üretiminde kullanılabilirliğini araştırmıştır. Gazbeton üretiminde kullanılan çimento yerine %0, %5, %10, %15, %20, %25 ve %30 oranlarında uçucu kül katarak, katkılı ve katkısız gaz beton örnekleri üretmiştir. Sonuç olarak gaz beton üretiminde çimento yerine %15 oranına kadar uçucu külün kullanımı ile G2 sınıfı gaz

beton, %30 oranına kadar kullanımıyla da G1 sınıfı gaz beton üretilebileceğini saptamıştır.

Ünal vd (2011), gaz beton üretiminde ana hammadde olan silis kumu yerine %3, %6, %9 ve %12 oranlarında uçucu kül, çimento yerine de silis dumanı koyarak gaz beton örneklerinin üretilebilirliğini araştırdıkları çalışmalarında, örneklerin fiziksel ve mekanik özelliklerini belirleyerek mikro yapılarını SEM ve XRD analiz yöntemleriyle incelemişlerdir. Ticari gaz beton üretiminde kullanılan silis kumu-çimento-kireç-alüminyum tozu sistemi yerine uçucu kül-çimento-kireç sisteminde örnekler üretilmiş ve birim hacim ağırlık ve basınç dayanım değerlerinde ticari gaz betonlarla benzer değerler gözlemlemişlerdir.

Demir vd (2011), kabarma sağlayıcı malzeme olarak alüminyum tozu ile üretilecek gaz betonları, kuvars yerine uçucu kül, mineral katkı malzemesi olarak geniş rezervlere sahip geliştirilmiş perlit, bağlayıcısı çimento, kireç ve alçı olan karışımlar hazırlayarak hafif yapı malzemesi üretimini araştırmışlardır. Çalışmada buhar ve otoklav kürleri kullanılarak kür edilen örnekler üzerinde mekanik özellikler belirlenmiştir. Sonuçlar değerlendirildiğinde birim hacim ağırlık ve gözeneklilik değerlerinin ticari gaz beton değerlerine uyum sağladığı, bununla birlikte basınç dayanım değerlerinin standart değerlerin bir miktar altında kaldığını bulmuşlardır.

Demir (2012)'in seytömer uçucu külü, kireç ve alüminyum tozu kullanarak farklı otoklav sıcaklığında ve farklı su/katı oranına göre hazırlanan örneklerin gaz beton üretimine uygunluğunu araştırdığı çalışmasında, birim hacim ağırlık ve basınç dayanımı değerlerine göre ideal karışım oranlarını belirlemeye çalışmıştır. Sonuçlar toplam katı hacmindeki su içeriği için incelendiğinde %58 sulu karışımın en iyi sonucu verdiği, azalan su oranlarında beton örneklerin katı kıvamda olduğu, artan alüminyum oranının dayanımı düşürdüğü ve çimentonun yaklaşık %50'si oranında kireç kullanımının en ideal sonuçları verdiği, ancak artması durumunda dayanım değerlerinin azaldığını ortaya koymuştur.

Remadnia *et. al.* (2009), çalışmalarında hem kentsel bir atık olan PET şişelerin agrega olarak kullanımını hem de bir anlamda hayvansal atık ürünü olan kandan elde edilen hemoglobin olan (kan unu) protein esaslı katkı malzemesinin harçta kullanımı üzerine etkisini araştırmışlardır. Bu katkı malzemelerinden birim hacim ağırlık ve basınç

dayanımı değerlerinin olumsuz etkilendiği, ancak ısı iletkenlik değerinde olumlu bir gelişme olduğu saptanmıştır.

Chen *et. al.* (2006), agrega olarak iki farklı taş ocağından elde edilen ve kimyasal iğeriği özellikle de kil oranı birbirlerinden farklı olan 80 µm elek altı malzeme, bağlayıcı olarak imento, kireç ve alçı, kabarma sağlayıcı olarak alüminyum tozu ve akışkanlaştırıcı kullanılarak örnekler hazırlamışlardır. Örnek grupları oluşturulurken, su / bağlayıcı oranı 0.64, akışkanlaştırıcı oranı %9, alüminyum tozu %0.095 ve %0.14 oranlarında kullanılırken, hazırlanan beton karışımlarında toplam katı hacminin farklı oranlarında (%10 ile %20 arası 5 farklı grup) imento kullanılarak ana gruplar oluşturulmuş ve bu gruplarda belirlenen imento oranlarına göre kireç ve alçı kullanılmıştır. Örnekler üzerinde basınç dayanımı değerleri incelenerek örneklerin X-ray cihazı ile yapısal analizi yapılmıştır.

### **3. MATERYAL ve YÖNTEM**

Bu bölümde, çalışmada kullanılan malzemeler, bu malzemelerin kimyasal bileşimleri, fiziksel özellikleri, gaz beton üretiminde kullanılan karışım oranları ve hesapları ile deneysel çalışmaları belirlemede kullanılan materyal ve uygulanan yöntemler açıklanmıştır.

#### **3.1. Materyal**

##### **3.1.1. Kullanılan malzemeler**

Araştırma konusu olan ve gaz beton üretiminde kullanılan pomza, çimento, kireç, karışım suyu ve boşluk oluşturucu katkı maddeleri (alüminyum tozu, hidrojen peroksit) bu bölümde açıklanmıştır.

##### **3.1.1.a. Pomza**

Gaz beton üretiminde kullanılacak kuvars kumu ve kuvarsitin Anonymous (2001)'de silisyum oksit ( $\text{SiO}_2$ ) oranının en az %75.5 olması gerektiği belirtilmiştir. Ancak Sezer (2010) ve Çiçek (2002) tarafından bu oranın en az %90 olması gerektiği aktarılmıştır. Bu çalışmada volkanik olaylar sonucu oluşmuş, İç Anadolu bölgesi başta olmak üzere Akdeniz ve Doğu Anadolu bölgelerinde önemli bir rezervi bulunan (Anonymous 2006) ve silisyum oksit ( $\text{SiO}_2$ ) oranı kuvars kumu gibi yüksek (Çizelge 3.1) ve kuvarsite yakın olan (Çizelge 3.2) pomza, araştırmanın ana materyalini oluşturmaktadır.

**Çizelge 3.1.** Kuvars kumunu oluşturan kimyasal bileşenlerin limit değerleri (Kuşun ve İpekoğlu 1995)

Kimyasal Bileşeni	%
SiO <sub>2</sub>	95-99
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.3-1.3
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.1-2.8
CaO	0.2-2.4
Na <sub>2</sub> O+K <sub>2</sub> O	0.2-1.5

**Çizelge 3.2.** Erzurum-Pasinler pomzası kimyasal analiz sonuçları (Kocaman 2000; Şahin 2002)

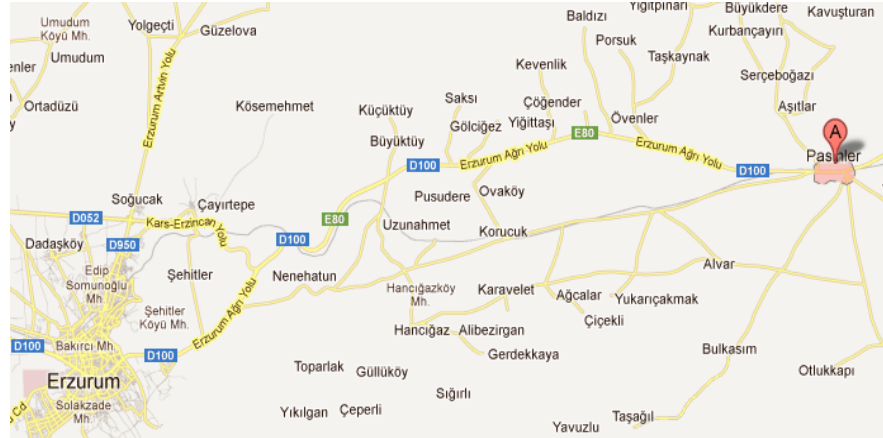
Kimyasal Bileşenler	%Oran
MgO	0.02
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12.99
SiO <sub>2</sub>	70.33
CaO	1.75
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.51
SO <sub>3</sub>	0.29
K <sub>2</sub> O	5.80
Na <sub>2</sub> O	3.90
TiO <sub>2</sub>	0.35
Kızdırma kaybı	3.06

Bu çalışmada, piyasadan sağlanan, 1 100 000 m<sup>3</sup> rezerve sahip (Kocaman 2000; Şahin 2002) Erzurum-Pasinler yöresi volkanik cüruf ocağı pomzası (Şekil 3.1 ve Şekil 3.2) kullanılmıştır.



**Şekil 3.1.** Erzurum - Pasinler agrega ocağı





**Şekil 3.2.** Araştırmada kullanılan pomzanın bulunduğu bölge

### 3.1.1.b. Çimento

Gaz beton deney karışımlarında Laukaitis and Fiks (2006), Karakurt *et. al.*, (2010)'da kullanılan tipte ve Erzurum Aşkale Çimento Fabrikası ürünü olan TS EN 197-1 (Anonymous 2002b) standardına uygun Portland Kompoze (CEM II /A-M (P-LL) 42.5N) çimentosu kullanılmıştır. Aşkale Çimento Fabrikasından alınan çimentonun kimyasal analiz değerleri ile fiziksel ve mekanik özellik değerleri Çizelge 3.3'de verilmiştir.

**Çizelge 3.3.** Araştırmada kullanılan çimentonun (CEM II /A-M (P-LL) 42.5N) kimyasal analiz değerleri ile fiziksel ve mekanik özellikleri (Anonymous 2012h)

Kimyasal analiz		Fiziksel ve mekanik özellikler	
SiO <sub>2</sub>	18.59	İncelik	45 µ elek üstü % 8.58
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4.69	Özgül Ağırlık (g/cm <sup>3</sup> )	3.05
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.04	Özgül Yüzey (cm <sup>2</sup> /g)	4145
CaO	60.34	Priz Başlangıcı (saat-dk)	2sa-33dk
MgO	1.92	Priz Sonu (saat-dk)	3sa-18dk
SO <sub>3</sub>	2.89	Hacim Genleşmesi (mm)	0,7
Kızdırma Kaybı	7.19	Basınç Dayanımı (N/mm <sup>2</sup> )	2.Gün 23.9
Na <sub>2</sub> O	0.11		28.Gün 51.1
K <sub>2</sub> O	0.64	Su İhtiyacı (%)	29,9
Cl	0.0189		
Ölçülemeyen	0.57		
Toplam	100		
s.CaO	0.38		
Katkı (%)	17.87		

### 3.1.1.c. Kireç

Kireç, katkı maddesi olarak alüminyum tozu ve hidrojen peroksitin katıldığı gruplarda kullanılmıştır. Bu gruplarda kullanılmasının amacı, alüminyum tozu ve hidrojen peroksitin kireçle reaksiyona girerek gaz oluşumunu sağlamaktır. Piyasada bulunan, inşaat ve yapı malzemeleri imalatında kullanılan yoğunluğu  $2.20-2.45 \text{ g/cm}^3$ , birim hacim ağırlığı  $0.60-0.75 \text{ g/dm}^3$  olan CL-80-S tipi söndürülmüş toz kalker kireci kullanılmıştır. Karışımlarda kullanılan kirece ait kimyasal analiz raporu Çizelge 3.4'de verilmiştir.

**Çizelge 3.4.** Kirece ilişkin kimyasal analiz raporu (Anonymous 2012i)

<b>Kimyasal analiz</b>		
Kalsiyum hidroksit ( $\text{CaOH}_2$ )		> %90
Magnezyum hidroksit ( $\text{Mg}(\text{OH}_2)$ )		< %1
Silisyum dioksit ( $\text{SiO}_2$ )		< %0.1
Metal oksitler ( $\text{Fe}_2\text{O}_3+\text{Al}_2\text{O}_3$ )		< %0.5
Nem miktarı		< %1
İncelik	100 mesh elek üstü	%0
	200 mesh elek üstü	< %2

### 3.1.1.d. Boşluk oluşturuvcu katkı maddeleri

Bu çalışmada gözenek artışını doğrudan destekleyen ve kimyasal yöntemle boşluk oluşturmalarını sağlayan alüminyum tozu ve hidrojen peroksit çalışmada kullanılan katkı maddeleri olarak seçilmiştir. Alüminyum tozu; atık alüminyum kutu ve kaplar ile alüminyum talaşı gibi malzemelerin, laboratuvarında kırma makinası ve değirmen (Şekil 3.3) olmak üzere en az iki aşamada 1 mm elek göz açıklığından geçecek şekilde parçalanarak (Şekil 3.4) elde edilmiştir. Hidrojen peroksit ise piyasadan temin edilerek (Şekil 3.4) karışıma karışım suyun yüzdesi şeklinde belirlenen oranlarda eklenerek kullanılmıştır.



**Şekil 3.3.** Alüminyumun parçalanmasında kullanılan kırma makinesi ve değirmen



**Şekil 3.4.** Kabarma sağlayıcı katkı maddeleri (alüminyum tozu ve hidrojen peroksit)

### 3.1.1.e. Su

Beton karışımında kullanılacak olan suyun temiz olması ve olumsuz bir etki yapmaması gerekmektedir. İçilebilir sular beton karışım suyu olarak rahatlıkla kullanılabilir (Ekmekyapar ve Örüng 1997). Karışım suyu olarak Atatürk Üniversitesi içme ve kullanma suyu kullanılmıştır.

### 3.2. Yöntem

Bu çalışma Atatürk üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü

Mukavemet laboratuvarında yapılmıştır. Gaz beton üretiminde kullanılan pomza özelliklerinin belirlenmesi, kullanılan katkı malzemelerinin özelliklerinin tanıtılması ve bu malzemelerle üretilen beton karışım seçeneklerinin hazırlanmasındaki ilkelerle, karışım oranlarının hesaplanması, sertleşmiş beton özelliklerinin belirlenmesi, üretim işleminde uygulanan yöntemler bu bölümde açıklanmıştır.

### **3.2.1. Agrega deneyleri**

Deneylerde kullanılmak üzere Erzurum İli Pasinler yöresi pomza ocağından sağlanan agregadan deney örnekleri hazırlanmıştır. Deney örneği hazırlama işinde TS 706 EN 12620+A1'e (Anonymous 2009a) uygun olarak dörde bölme (çeyrekleme) işlemi uygulanmıştır. Bu yöntemde yığının özelliğini gösterecek şekilde alınan örnekler iyice karıştırılmış, sonra düz bir zemin üzerinde taban çapı yüksekliğinin yaklaşık dört katı olacak şekilde kesik koni olarak biçimlendirilmiştir. Örnek alanı bir malanın kenarı ile dört eşit parçaya ayrılmıştır. Bu dört parçanın karşılıklı iki parçası atılmış, kalan iki parça birleştirilerek bu karışımın üzerinde de aynı şekilde çeyrekleme işlemi yapılmıştır. Bu işlem her bir deney için gereken agregam miktarına ulaşıncaya kadar sürdürülmüştür.

Agrega ile ilgili deneylerin tamamında TS 1114 EN 13055-1 standardına göre (Anonymous 2004a) belirtilen ölçülerde agregam örneği alınarak deneyler ilgili standartlara uygun olacak şekilde üç kez tekrarlanmış ve bulunan sonuçlardan birbirine yakın ve standartların ön gördüğü aralıkta olanların ortalaması alınarak agregaların fiziksel özellikleri belirlenmiştir

Araştırmada kullanılan agregam üzerinde tane büyüklüğü dağılımı deneyi, birim hacim ağırlık deneyi, özgül ağırlık ve su emme oranı deneyleri gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla tane büyüklüğü dağılımı deneyi TS EN 993-1 (Anonymous 2012i), gevşek birim hacim ağırlık deneyi ve sıkışık birim hacim ağırlık deneyleri TS 1114 EN 13055-1 (Anonymous, 2004a), ince madde oranı TS 706 12620+A1 (Anonymous 2009a), özgül ağırlık ve su emme oranı da ASTM C 128 (Anonymous 1998d) standardına göre belirlenmiştir.

### 3.2.2. Agreganın elde edilmesi

Çalışmada en büyük tane boyutu 1 mm olarak seçilmesi nedeniyle piyasada şaplık malzeme olarak adlandırılan, en büyük tane büyüklüğü 4 mm'lik malzeme elenerek 1 mm elek altı malzeme kullanılmıştır.

### 3.2.3. Agregada üzerinde yapılan deneyler

#### 3.2.3.a. Agregada özgül ağırlık ve su emme oranı tayini deneyi

TS 706 EN 12620+A1'e (Anonymous 2009a) uygun ve yaklaşık olarak ASTM C 128'de (Anonymous 1998d) belirtilen miktarda alınan örnek, 24 saat su içerisinde bekletilmiştir. 24 saat sonunda örneğin suyu süzülerek doymuş kuru yüzey durumuna gelinceye kadar beklenilmiş ve tartılarak doymuş kuru yüzey durumundaki özgül ağırlığı ( $G_{DK}$ ) belirlenmiştir. Bu işlem sonrasında örnek 24 saat  $105 \pm 5^\circ\text{C}$ 'de etüvde, etüv kurusu duruma getirilerek, etüv kurusu ağırlığı ( $G_{Ei}$ ) belirlenmiştir. Ağırlığı bilinen ölçü kabı 500 ml çizgisine kadar su ile doldurularak ( $G_{\emptyset}$ ) ağırlığı belirlenmiş ve etüv kurusu durumundaki örnek ölçü kabının içerisine doldurularak hava kabarcıklarının çıkması sağlanmıştır. Hava kabarcıklarının çıkmasından sonra tartılarak ( $G_T$ ) ağırlığı belirlenmiştir (Anonymous 1998a). Bu işlemler sonunda standartta da belirtilen aşağıdaki eşitlikler yardımı ile özgül ağırlık ve su emme değerleri hesaplanmıştır.

$$\begin{aligned} \text{Agregada kuru özgül ağırlığı} & : \gamma_k = \frac{G_{Ei}}{G_{DK} + G_{\emptyset} - G_T} \\ \text{Agregada doymuş kuru yüzey özgül ağırlığı} & : \gamma_d = \frac{G_{DK}}{G_{DK} + G_{\emptyset} - G_T} \\ \text{Agregada görünen özgül ağırlığı} & : \gamma_g = \frac{G_{Ei}}{G_{Ei} + G_{\emptyset} - G_T} \\ \text{Su emme oranı} & : m = \frac{G_{DK} - G_{Ei}}{G_{Ei}} \times 100 \end{aligned}$$

Eşitliklerde;

$\gamma_k$  = Agreganın kuru özgül ağırlığı

$\gamma_g$  = Agreganın doymuş kuru yüzey özgül ağırlığı

$\gamma_d$  = Agreganın görünen özgül ağırlığı

$m$  = Agreganın su emme oranı (%)

$G_{Ei}$  = Örneğin etüv kurusu ağırlığı (g)

$G_{DK}$  = Örneğin doymuş kuru yüzey durumundaki ağırlığı (g)

$G_{\text{ö}}$  = 500 ml çizgisine kadar su ile dolu ölçü kabı ağırlığı (g)

$G_T$  = Ölçü kabı, su ve örneğin toplam ağırlığı (g)

### 3.2.3.b. Agreganın birim hacim ağırlık deneyi

Birim hacim ağırlık deneyi sıkışık ve gevşek olmak üzere iki aşamada yapılmıştır. Sıkışık birim hacim ağırlık belirlenirken doldurma işlemi her aşamada kap yüksekliğinin 1/3'ü olacak şekilde doldurulmuş ve şişleme çubuğuyla 25'er kez şişlenerek sıkıştırılması sağlanmıştır. Gevşek birim hacim ağırlık belirlenirken, standardın öngördüğü şekilde ve kendi ağırlığıyla sıkışmaması için kap üst yüzeyinden yaklaşık 5 cm olacak şekilde üstten doldurulmuştur. Her iki deneyde de kapların üst yüzeyleri sıyrılarak kap yüzeyine sıfırlanmıştır.

Deney, TS 706 EN 12620+A1'e (Anonymous 2009a) uygun ve yaklaşık olarak ASTM C 29/C29'da (Anonymous 1998a) belirtilen miktarda alınan örnek, hacmi (V) ve ağırlığı ( $G_1$ ) belirli olan kabın içerisine sıkışık ve gevşek olarak iki farklı biçimde doldurulmuş, sıkışık ve gevşek olmak üzere ağırlıkları ( $G_{2s}$  ve  $G_{2g}$ ) belirlenmiştir (Anonymous 1998b). Standartta da belirtilen aşağıdaki eşitlikler yardımıyla gevşek ( $BHA_g$ ) ve sıkışık ( $BHA_s$ ) birim hacim ağırlıkları bulunmuştur.

Sıkışık birim hacim ağırlık ( $\text{kg/m}^3$ ):

$$BHA_s = \frac{G_{2s} - G_1}{V}$$

Gevşek birim hacim ağırlık ( $\text{kg/m}^3$ ):

$$BHA_g = \frac{G_{2g} - G_1}{V}$$

### 3.2.3.c. Agregata tane büyüklüğü dağılımı tayini deneyi

İyice karıştırılarak homojen duruma ve çeyrekleme ile belirli miktara getirilmiş agregadan, bölgeçler yardımıyla, TS EN 993-1 (Anonymous 2012i) ve ASTM C 136-96'da (Anonymous 1998e) belirtilen miktara uygun deney örneği hazırlanmıştır. Örnek 24 saat  $105 \pm 5^\circ\text{C}$ 'de etüvde, etüv kurusu duruma getirilerek elek sarsma makinesi ile TS ISO 3310-1 (Anonymous 2009d) ve TS 1227 3310-1'ye (Anonymous 2009e) uygun kare gözlü eleklerden (0.09mm, 0.25 mm, 0.50 mm ve 1 mm göz açıklıklı kare delikli tel elekler) elenmiş ve her elek üzerinde kalan miktarlar belirlenerek elek üstünde kalan malzeme oranları ve eleklerden geçen yığışımli malzeme oranları % olarak belirlenmiştir (Anonymous 1998c). Elek analizi deneyinden ayrıca incelik modülü ve agreganın maksimum tane büyüklüğü saptanmıştır.

### 3.2.3.d. Agregata ince madde oranı tayini deneyi

TS 706 12620+A1'e (Anonymous 2009a) ve ASTM C 117-95'e (Anonymous 1998c) uygun, yaklaşık olarak standartta belirtilen miktarda alınan örnek üzerinde yıkama yöntemi ile yıkanabilir agregata ince madde oranı belirlenmiştir. Deney örneği etüv kurusu ağırlığı ( $G_{Ei}$ ) bulunarak 12 saat su içerisinde suya doymuş duruma getirilmiş ve deneyden önce örnek kuvvetlice 5 dakika iyice karıştırılmıştır. Bu karışım daha sonra küçükten büyüğe doğru dizilmiş 1, 0.5, 0.25 ve 0.063 mm'lik elek takımının içerisinde

doldurularak yıkanabilir maddelerden arınacak şekilde aşağıya doğru yıkama gerçekleştirilmiştir. Yıkama işlemi 75 µm'lik (200 nolu elek) elek altından berrak su çıkıncaya kadar devam edilmiş ve kalan örnek etüv kurusu ağırlığı ( $G_{Es}$ ) bulunarak aşağıdaki eşitlik yardımıyla yıkanabilir ince madde oranı ( $M_y$ ) belirlenmiştir (Anonymous 1998d).

$$M_y = \frac{G_{Ei} - G_{Es}}{G_{Ei}} \times 100$$

#### 3.2.4. Gaz beton seçeneklerinin belirlenmesi

Belirtilen yöntemlerle özellikleri saptanan ince agrega (pomza) ile farklı hafif betonların üretimi yapılabileceği düşünülerek, çeşitli seçenekler üzerinde durulmuştur. Bu agregadan; tarımsal yapılarda yapı malzemesi olarak kullanılabilmesi de düşünülerek, denemelerde kabarma sağlayarak boşluk oluşturucu olarak alüminyum tozu ve hidrojen peroksit katkısı ile farklı gaz beton üretim seçenekleri saptanmıştır.

Gaz beton üretim sürecinde kullanılan malzeme özelliklerinin ekonomik olması göz önünde bulundurulmuş, olanaklar ölçüsünde maliyet arttırıcı mekanik işlemlerden kaçınılmıştır. Bu sebeple kullanılan agrega doğal durumu ile en az işlem yapılarak uygun gaz beton üretiminin gerçekleştirilmesi temel ilke olarak benimsenmiş, silisyum içeriği kuvars kumuna yakın olan ve önemli bir rezervi bulunan pomzanın agrega olarak kullanılması kararlaştırılmıştır.

Gaz beton üretiminde Witmann (1992), Kearsley and Wainwright (2000), Al-Kahade (2002), Laukaitis and Fiks (2006), Karakurt *et. al.* (2010) tarafından yapılan çalışmalar ile piyasada bulunan ve kuvars kumu ile yapılan malzemeler de temel alınarak en büyük tane boyutu 1 mm olacak pomzanın kullanımı kararlaştırılmıştır. Bu boyutun seçilmesinde Serin (1999) ve Ünverdi (2006) gaz betonu ince ve silisli bir malzeme olarak ifade etmeleri göz önünde bulundurulmuştur.



Araştırmada kabarmayı sağlayıcı katkı maddesi olarak Rundai (1963), Narayanan and Ramamurty (2000) ve Karakurt *et. al.* (2010) tarafından deneysel çalışmalarda kullanılan alüminyum, çinko gibi metal tozları ile hidrojen peroksit gibi kabarma sağlayıcı başka malzemelerin de kullanılabileceği belirlenmiştir. Bu çalışmada alüminyum tozu ve hidrojen peroksit kullanılmıştır. Holt and Raivio (2005) ve Cabrillac *et. al.* (2006)'un çalışmaları incelendiğinde alüminyum tozunun çimento dozajının %'si olarak, Laukatis and Fiks (2006) kaynaklarında ise toplam katı hacminin %'si olarak kullanılabileceği belirtilmiştir. Hidrojen peroksit konusunda yapılan çalışmaların bulunmaması, Rundai (1963) ve Narayanan and Ramamurty (2000) gaz beton üretiminde hidrojen peroksitin kullanılabileceğini belirtmeleri göz önüne alınarak karışım suyunun %'si olarak kullanımının uygun olacağı saptanmıştır. Agregada olarak pomzanın gaz beton üretiminde kullanılabilirliğinin araştırıldığı bu çalışmada farklı karışım oranlarının etkisinin de değerlendirilebilmesi amacıyla alüminyum tozunun çimentonun %1, 2 ve 5'i oranlarında (Albayrak *et. al.* 2007), hidrojen peroksitin ise karışım için Kearsley and Wainwright (2002)'daki çalışmalara göre gerekli olan su hacminin %1, 2 ve 5'i oranlarında kullanımı uygun görülmüştür.

Betonun önemli özelliklerini oluşturan çimento dozajı büyük oranda maliyeti etkilen bir etmendir. Bu nedenle farklı çimento dozajlarına göre beton seçeneklerinin belirlenmesi öngörülmüştür. Gaz betonun tarımsal yapılarda farklı amaçlar doğrultusunda kullanılabilirliği ve pomzanın agregada olarak gaz beton üretiminde kullanıldığı bir çalışmanın olmaması da dikkate alındığında bağlayıcı olarak kullanılan çimento dozajı 250 ve 350 kg/m<sup>3</sup> olarak seçilmiştir.

Gaz betonda kabarmayı sağlayıcı katkı maddelerinin özellikle alüminyum tozunun karışımında hacim artışı gerçekleştirilebilmesi kireç ile yapmış olduğu reaksiyon sonucu gerçekleştiği Cabrillac *et. al.* (2006)'da tanımlanmaktadır. Farklı kireç oranlarının kabarmadaki etkisinin belirlenebilmesi amacıyla Cabrillac *et. al.* (2006) ve Ramamurthy and Narayanan (2000) tarafından yapılan çalışmalar da göz önüne alınarak çimento ağırlığının yüzdesi (K/C) olacak şekilde 0.20, 0.40 ve 0.60 oranlarında karışıma çimentoya ek olarak kireç karışımı farklı gruplar oluşturulmuştur.

Bu çalışmada, 180°C sıcaklık ve 12 atm basınç altında kür edilen gaz beton yerine, kırsal alanların ekonomik yapısı ve mevcut tarımsal yapıların durumu düşünülerek, prefabrik olarak üretilebileceği gibi kırsal alanlarda kurulacak şantiye koşullarında da üretimi yapılabilecek farklı kür koşullarının etkisinin araştırılması başlıca amaç olarak hedeflenmiştir. Bu nedenle Cabrillac *et. al.* (2006) çalışmalarında kullanılan ve mevcut olanaklara göre alınarak 50°C sıcaklıkta %90 bağıl nem koşullarında buhar kürü ve +20°C sıcaklıkta kirece doymuş su kürü kullanılarak beton seçenekleri belirlenmiştir.

Ramamurthy and Narayanan (2000) gaz beton üretiminde boşluk oluşumunun tamamlanabilmesi için akıcı kıvamda olması gerektiğini belirtmişlerdir. Ayrıca normal granülometriye sahip pomzanın gözenekli olması ve çok miktarda su emeceği düşünülmüştür. Çalışmanın ana konusu olan pomza doymuş kuru yüzey durumunda kullanılmıştır. Çalışma konusu gaz beton seçeneklerinin oluşturulmasında kullanılan ve istatistiksel açıdan bağımsız değişken olarak tanımlanan parametreler özet olarak Çizelge 3.5’de verilmiştir.

**Çizelge 3.5.** Çalışma konusunu oluşturan gaz beton parametreleri

BAĞIMSIZ DEĞİŞKENLER				
Kür Koşulları	Dozaj (kg/m <sup>3</sup> )	K/C Oranı	Katkı Çeşidi	Katkı Oranı (%)
Buhar Kürü	250	0.20	Alüminyum tozu	0
		0.40		1
Su Kürü	350		Hidrojen peroksit	2
		0.60		5

### 3.2.5. Gaz beton karışım hesapları

Beton karışım hesabı, istenilen dayanım, dayanıklılık, kıvam, işlenebilirlik, hacim sabitliği ve istenen özelliklere sahip ekonomik beton elde etmede agrega, su, çimento ve gerektiğinde katkı maddesi miktarlarının belirlenmesidir (Anonymous 1985). Turgutalp (1978), beton karışımlarında su/çimento oranı arasındaki ilişkinin agreganın miktarı ve nem durumunun bir fonksiyonu olduğunu, toplam su/çimento oranı arasında düzenli ve

kesin ilişkilerin bulunmadığını belirtmektedir. Bu nedenle gaz beton karışım hesapları yapılırken gaz betonun bir hafif beton çeşidi olduğu göz önüne alınmış ve karışım hesapları TS 2511'e (Anonymous 1977) göre yapılmıştır. Bu doğrultuda TS 2511'de belirtilen net su/çimento oranı bulunurken istenilen akıcı kıvamda beton elde edilmesinde ön deneme karışımlar yapılmış, su/çimento oranı her bir grup için aynı kıvamda olacak şekilde seçilmiştir. Ayrıca karışımlarda agreganın piknometre yöntemine göre saptanan 10 dakikalık özgül ağırlık faktörü kullanılmıştır.

Karışımların toplam hacmi, her gruptaki malzemenin kapladığı hacimleri bulunarak yapılmıştır. Karışıma giren çimento ve kirecin mutlak hacim hesabı yapılırken kuru ağırlık esas alınmıştır. Agreganın hacmi bulunurken ağırlıkları ve piknometre yoğunluk faktörü değerlerinden yararlanılmış, su hacmi ise karışıma eklenen su miktarına göre belirlenmiştir. Kabarmayı sağlayıcı katkı maddelerinin miktarlarının az olması nedeniyle karışım hesaplarında göz önüne alınmamış, yapılan karışım hesabı ile belirlenen malzeme miktarlarına ilave olarak karışımların son aşamasında karışıma katılmıştır.

Araştırmada farklı kür koşulları, çimento dozajı, kireç/çimento oranı, kabarmayı sağlayıcı katkı malzemelerine göre Çizelge 3.5'de gösterilen temel karışım grupları oluşturularak, bu gruplarda farklı oranlarda alüminyum tozu ve hidrojen peroksit karışımı araştırma konusu betonlar (Çizelge 3.6) üretilmiştir.

Üretimi gerçekleştirilen gaz beton karışımlarının hesaplanmasında  $250 \text{ kg/m}^3$  dozajlı, 0.20 K/C oranına sahip gruba ilişkin örnek oluşturacak beton karışım hesabı aşağıda verilmiştir.

Erzurum ili Pasinler yöresi pomzası ile yapılan beton karışım hesaplamalarında kullanılan özgül ağırlık faktörü piknometre yöntemine göre 1.74, laboratuvar koşullarında hava kurusu durumda bulunan agreganın nem içeriği ise %0.5 olarak saptanmıştır.

**Çizelge 3.6.** Araştırmada kullanılan temel karışım grupları

Tane boyutu (mm)	Dozaj Kg/m <sup>3</sup>	W/C	K/C	Katkı oranı (%)	Grup Sembolü	
					Alüminyum katkılı grup	Hidrojen Peroksit katkılı grup
0-1	250	0.98*	0.20	0	K1	
				1	A1	H1
				2	A2	H2
			5	A3	H3	
			0.40	0	K2	
				1	A4	H4
				2	A5	H5
			5	A6	H6	
			0.60	0	K3	
	1			A7	H7	
	2			A8	H8	
	5		A9	H9		
	350		0.20	0	K4	
				1	A10	H10
				2	A11	H11
			5	A12	H12	
			0.40	0	K5	
				1	A13	H13
2		A14		H14		
5		A15	H15			
0.60		0	K6			
	1	A16	H16			
	2	A17	H17			
5	A18	H18				

A: Alüminyum tozu katkı grupları, H: Hidrojen peroksit katkı grupları, K; Kontrol grupları

\* : Tüm gruplarda yaklaşık aynı çökme (slump) değerini veren ve ön deneme ile belirlenen ortalama oran

Özgenç ve Sarıözen (1999) ise gaz beton hammaddelerinin homojen olarak karıştırılabilmesi ve reaksiyonların düzenli oluşması için yoğurma suyu miktarı minimum %68-72 arasında olması gerektiğini belirtmişlerdir. Su miktarı saptanırken, Özgenç ve Sarıözen (1999) ve Ramamurthy and Narayanan (2000) tarafından ifade edilen %95–110 arasında kullanılabilmesi dikkate alınmış ve ön denemeler sonucu akıcı kıvamda olacak şekilde tüm gruplarda 5 cm ye kadar çökme sağlayacak ve çimento miktarının, sırasıyla 250 ve 350 dozajlı örneklerde %98, bir diğer anlatımla su/çimento oranı (w/c) 0.98 olarak hesaplamalarda kullanılmıştır. Hesaplamalar çimento, kireç, su ve hava hacmi; 1000 dm<sup>3</sup>'den çıkarılarak hesaplanan toplam agrega hacmi aşağıdaki eşitlik yardımıyla bulunmuştur (Erdoğan 2005).

$$V_s + \frac{G_c}{\gamma_c} + \frac{G_a}{\gamma_a} + H = 1000 \text{ dm}^3$$

Eşitlikte;

$V_s$  : Suyun hacmi ( $\text{dm}^3$ )

$G_c$  : Çimentonun ağırlığı (kg)

$G_a$  : Agreganın ağırlığı (kg)

$\gamma_c$  : Çimentonun özgül ağırlığı ( $\text{kg}/\text{dm}^3$ )

$\gamma_a$  : Agreganın özgül ağırlığı ( $\text{kg}/\text{dm}^3$ )

$H$  : Toplam hava miktarı ( $\text{dm}^3$ )'dır.

Buna göre %1 hava boşluğu olması öngörülen  $250 \text{ kg}/\text{m}^3$  dozajlı, 0.20 K/C oranına sahip kontrol grubuna ilişkin  $1 \text{ m}^3$  beton bileşenleri aşağıdaki gibidir.

Çimento hacmi	: $250 / 3.05$	= $81.97 \text{ dm}^3$
Kireç hacmi	: $(250 \times 0.20) / 2.4$	= $20.83 \text{ dm}^3$
Su	: $250 \times 0.98$	= $245 \text{ dm}^3$
Boşluk hacmi	: $1000 \times 0.01$	= $10 \text{ dm}^3$
Pomza hacmi	: $1000 - (245 + 85.03 + 20.83 + 10)$	= $642.2 \text{ dm}^3$

Araştırmada kullanılan pomzanın ağırlık olarak miktarı ise  $642.2 \times 1.74 = 1174.43 \text{ kg}$  olarak belirlenmiştir. Hesaplamalar, diğer gruplar için de yapılarak  $1 \text{ m}^3$  beton bileşenleri hacim ve ağırlık olarak Çizelge 3.7'de verilmiştir.

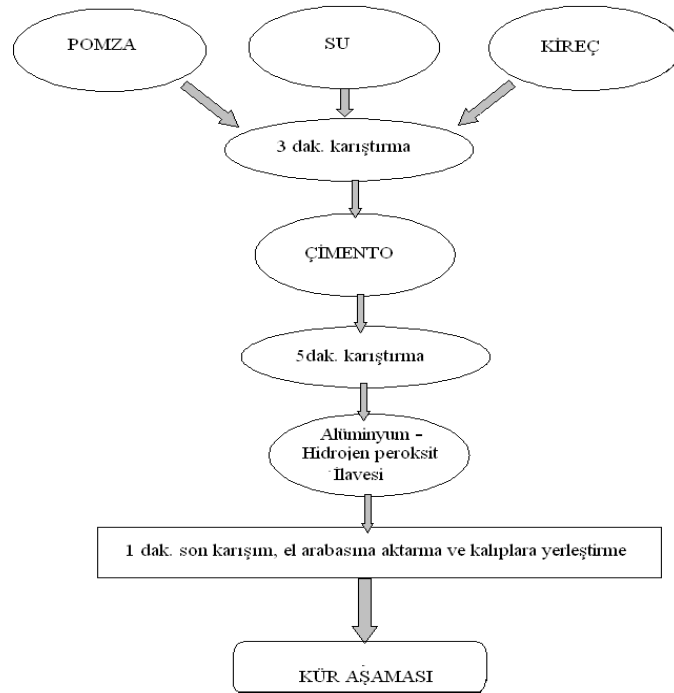
**Çizelge 3.7.** Pomza ile üretilen 1 m<sup>3</sup>'lük beton karışımına giren malzeme miktarları

Gruplar	Çimento		Kireç		Su		Pomza		Hava boşluğu Hacmi (dm <sup>3</sup> )	Toplam	
	Hacim (dm <sup>3</sup> )	Ağırlık (kg)	Hacim (dm <sup>3</sup> )	Ağırlık (kg)	Hacim (dm <sup>3</sup> )	Ağırlık (kg)	Hacim (dm <sup>3</sup> )	Ağırlık (kg)		Hacim (dm <sup>3</sup> )	Ağırlık (kg)
K1	81.97	250	20.83	50	245	245	642.200	1117.43	10	1000	1662.43
K2	81.97	250	41.67	100	245	245	621.360	1081.17	10	1000	1676.17
K3	81.97	250	62.50	150	245	245	600.530	1044.92	10	1000	1689.92
K4	114.75	350	29.17	70	343	343	503.080	875.36	10	1000	1638.36
K5	114.75	350	58.33	140	343	343	473.920	824.62	10	1000	1657.62
K6	114.75	350	87.50	210	343	343	444.750	773.87	10	1000	1676.87

### 3.2.6. Gaz beton örneklerin hazırlanması

Beton karışımı için gereken malzeme miktarları beton harcı üretiminde ağırlık olarak kullanılmıştır. Bu nedenle beton harcı hacmi, kendisini oluşturan malzemelerin hacimlerinin toplamından daha küçük olacağı ve olası malzeme kayıpları düşünülerek daha büyük hacimde üretim yapılmış ve hesaplamalarda dikkate alınmıştır. Karışımların hazırlanmasında Aidan *et. al.* (2009) tarafından belirtilen kriterler göz önüne alınarak belirlenmiş ve karışım şematik olarak Şekil 3.5'de verilmiştir.

Karışımlarda pomza, su ve kireç betonyerde 3 dakika süreyle karıştırılmış ve sonra çimento eklenerek karıştırma işlemi toplam 8 dakika olarak (Şekil 3.6) gerçekleştirilmiştir. Karıştırma işleminin son aşamasında kabarma sağlayıcı katkı maddesi de katılarak minimum 1 dakika süreyle katkı maddesinin homojen karışması sağlanmıştır.



**Şekil 3.5.** Gaz beton örnekleri hazırlama aşaması



**Şekil 3.6.** Gaz beton örneklerin karışımı ve arabaya aktarımı

Beton örneklerin oluşturulması için, belirlenen karışım oranlarında kullanılacak malzemeler 0.01 g duyarlı terazide tartılarak gerekli malzeme miktarları teker teker ayarlanmış ve bu malzemeler ile hazırlanan beton harcı 15x15x15 cm'lik küp örnek kalıplarına (Şekil 3.7) doldurulmuştur (Putpata *et. al.* 2008).



**Şekil 3.7.** Gaz beton örneklerin kalıplara dökümü

### **3.2.7. Gaz beton örneklerin bakımı**

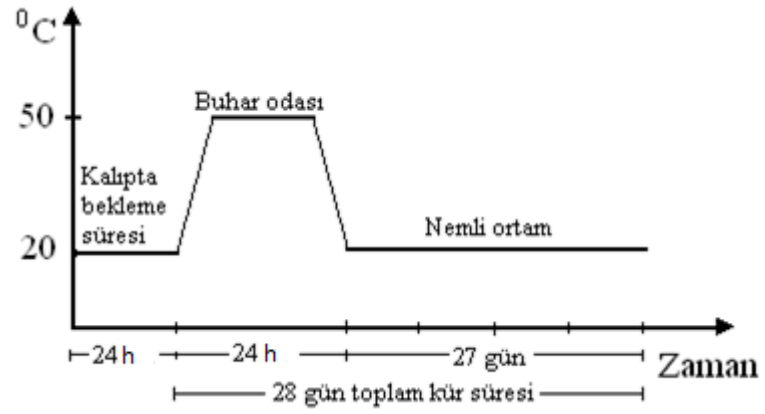
Çimento ile suyun karıştırılmasından sonra reaksiyonlar oluşmakta ve bu reaksiyonlar sonucunda oluşan yapının sertleşmesi ile beton dayanım kazanmaktadır (Erdogan 2003). Bu reaksiyonların devam edip dayanım kazanması için betonun belirli bir sıcaklık ve neme sahip olan ortamda bekletilmesi gerekmektedir. Bu olay betonun bakımı veya kürü olarak tanımlanır (Ulus 2007). Buhar küründe tutulan elemanların ilk zamanlardaki kürü normal betonun kürüne benzemesine karşın, buhar kürü süresinin ilerlemesiyle betonda oluşan C-S-H jelleri amorf yapıdan kristal yapıya dönüşerek, kararsız hale gelmektedir. Bu durumda beton üniform şekilde dayanım göstermeyip, boşlukları dolduramamakta ve daha gözenekli bir ortam oluşturması nedeniyle dayanımı düşürmektedir (Uygunoğlu ve Ünal 2007).

Bu çalışmada kür koşullarının betonun özelliklerine etkisinin de belirlenebilmesi amacıyla, bazı örneklere  $20\pm 3^{\circ}\text{C}$  sıcaklıkta su kürü (Şekil 3.8), diğer örneklere ise ilk 24 saati %90 nemli ortama sahip  $50\pm 3^{\circ}\text{C}$  sıcaklıkta buhar kürü (Şekil 3.8) ve son 27 gününde plastik örtü altında nemli ortam olan iki kür grubu belirlenmiş ve tüm örnekler toplam 28 gün (Şekil 3.9, Şekil 3.10) kürde bekletilmişlerdir.





Şekil 3.8. Gaz beton örneklerin bakımı (su ve buhar kürü uygulaması)



Şekil 3.9. Buhar kürü uygulama şeması



Şekil 3.10. Buhar kürü sonrası örneklerin bakımı

### **3.2.8. Sertleşmiş beton (gaz beton) deneyleri**

#### **3.2.8.a. Birim hacim ağırlık, su emme oranı ve porozitenin belirlenmesi**

Sertleşmiş betonun birim hacim ağırlık ve su emme oranları TS EN 12390-7'ye göre belirlenmiştir (Anonymous, 2010b). Bu amaçla 28 günlük örnekler etüvde  $105\pm 5^{\circ}\text{C}$  sıcaklıkta değişmez ağırlığa kadar kurutulmuş ve laboratuvar ortamı ( $20-25^{\circ}\text{C}$ ) sıcaklığına kadar soğutulan örnekler 0.001 hassasiyetli terazide tartıldıktan sonra, 24 saat suda bekletilerek boşlukların su ile dolması sağlanmıştır. Suya doygun hale gelen örnekler, yüzeyleri silinerek tartılıp doygun kuru yüzey ağırlıkları belirlenmiştir. Daha sonra doygun kuru yüzey halindeki örnekler suda tartılarak, sudaki ağırlıkları belirlenmiştir. Elde edilen veriler kullanılarak betonun birim hacim ağırlıkları, su emme oranları ve porozitesi hesaplanmıştır.

#### **3.2.8.b. Basınç dayanımı deneyi**

Betonun standart basınç dayanımı;  $23\pm 1^{\circ}\text{C}$ 'de suda kür edilmiş 28 günlük örneklerin aksinel basınç kuvveti altındaki dayanımı olarak tanımlanır (Erdogan 2003). Basınç dayanımı deneyi; Al-Kahade (2002)'nin çalışmasında da belirttiği üzere hava kurusu durumda olan ve maksimum %15-25 nem içeriğine sahip  $15\times 15\times 15$  cm boyutlarındaki, gruplara göre uygun kür koşullarını sağlamış örnekler üzerinde yapılmıştır. Örnek boyutları kesin bir şekilde ölçülerek yükün etkiyeceği alan belirlendikten sonra, yükün bütün alana üniform olarak yayılmasını sağlamak amacıyla başlık tabakası kalınlığı, yükleme doğrultusuna dik örnek boyutunun veya yükleme yüzeyi çapının %2'sini geçmeyecek şekilde başlıklararak presle TS EN 12390-3 (Anonymous 2010a) ve ASTM C 39'a (Anonymous 1988b) göre gerçekleştirilmiştir.

#### **3.2.8.c. Donma – çözülme dayanıklılığı**

Donma - çözülme deneylerinin yapılışı çeşitli standartlarda farklı farklı olmaktadır. Hepsinin temeli, hazırlanmış olan örneklerin birbirini takip eden donma ve çözülme

tekrarlarına maruz bırakılmasıdır. Donma-çözülme deneyi ASTM C 666'ya uygun (Anonymous, 1998h), 28. günde 15 cm boyutlarındaki küp örnekler üzerinde yapılmıştır. Deneyde örnekleri dondurmaya üzere 600 L hacminde ve  $-38^{\circ}\text{C}$ 'ye kadar soğutma kapasitesine sahip sıcaklığı ayarlanabilir derin dondurucu kullanılmıştır. Dondurucudan çıkarılan örneklerin  $+20^{\circ}\text{C}$ 'de su içinde çözümlerini sağlamak için sıcaklığı ayarlanabilir termostatlı su tankı kirece doymuş suyla doldurularak kullanılmıştır.

Malzemelerin fiziksel hava koşullarına karşı dayanıklılığını tanımlayan donma- çözülme deneyi 28 günlük su ve buhar küre koşullarını tamamlamış örnekler üzerinde 3 saat  $15\pm 3^{\circ}\text{C}$ 'de derin dondurucuda dondurulduktan sonra 3 saat  $20\pm 2^{\circ}\text{C}$ 'de suda çözdürülerek 25 defa tekrarlanan uygulamadan sonra basınç dayanımları belirlenmiştir.

#### **3.2.8.d. Isı iletkenlik deneyi**

Pomza agregası ile üretilen gaz beton örneklerin ısı iletkenlik katsayılarının belirlenmesinde ASTM C 1113-90 (Anonymous 2004b) standardında verilen prensiplere göre "Hot Wire Method (Sıcak Tel Yöntemi)" kullanılmıştır. Bu yöntem beton, tuğla gibi dolu hacme sahip malzemeler için kullanılabilen bir yöntemdir. "Sıcak Tel Yöntemi" doğrusal ısı kaynağı boyunca, bu kaynaktan tanımlı bir uzaklıkta ısı yükselmesini ölçen standart direkt yöntem olarak tanımlanmaktadır (Ulus 2007). Bu yöntemin temeli sabit bir ısı kaynağının örnek boyunca sabit ve düzgün bir ısı vermesi ile belirli zaman aralıklarında örnek yüzeyinde ısı farklarının ölçülmesine dayanmaktadır. Ölçülen ısı farklarına göre aşağıda verilen eşitlik yardımı ile  $\lambda$  katsayısı diğer yöntemlere göre daha kısa sürede belirlenebilmektedir.

$$\lambda = \frac{Q \cdot \ln(t_2/t_1)}{4 \cdot \pi \cdot (T_2 - T_1)}$$

Eşitlikte;

$\lambda$  = Isı iletkenlik katsayısı (W/m<sup>°K</sup>)

Q = Isıtıcıya uygulanan güç (W/m)

$t_2/t_1$  = Ölçülen zaman aralığı (saniye)

$T_2/T_1$  =  $t_2$  ve  $t_1$  zamanlarında ölçülen sıcaklık değerleri (°K)

Isı iletkenlik katsayısının belirlenmesinde minimum 5x5x10 cm boyutlarında prizmatik örnekler üzerinde ölçüm yapılabilen QTM-500 marka cihazla (Şekil 3.11) 15x15x15 cm boyutlarında hazırlanan örnekler üzerinde yapılmıştır.



**Şekil 3.11.** Isı iletkenlik ölçüm aleti

### 3.2.9. Sonuçların değerlendirilmesinde uygulanan istatistik yöntemler

Verilerin değerlendirilmesinde istatistik hazır paket programlarından SPSS 18'den yararlanılmıştır. Bu program ile elde edilen verilere Duncan çoklu karşılaştırma yöntemi uygulanarak Çizelge 3.8'de verilen bağımsız değişkenlerin bağımlı değişkenlere etkisi değerlendirilmiştir.

**Çizelge 3.8.** İstatistik hesaplamalarda kullanılan değişkenler

Bağımsız değişkenler	Sembolü	Bağımlı değişkenler
Katkı çeşidi	Ka	Birim hacim ağırlık
Kür koşulları	K	Su emme oranı
Dozaj	D	Porozite
Kireç/çimento oranı	K/C	Basınç dayanımı
Katkı oranı	KO	Donma-çözülme dayanıklılığı
		Isı iletkenlik katsayısı

#### 4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Bu bölümde, Erzurum-Pasinler bölgesi hafif agrega ocağından sağlanan agrega ile ilgili deneylerle saptanan bulgularla, değişik dozajlarda ve kürlerde üretilen sertleşmiş gaz beton örneklerin birim hacim ağırlık, su emme oranı, porozite, 28 günlük basınç dayanımı, donma-çözülme dayanıklılığı ile ısı iletkenlik özelliklerine ilişkin sonuçlar verilmiş, gaz beton örneklere etkileri tartışılmıştır.

##### 4.1. Agrega Özellikleri

Agrega ocağından getirtilen, yöntem kısmında öngörüldüğü biçimde alınan hafif agrega ile ilgili özellikler ve gaz beton üretiminde atık alanlardan elde edilerek laboratuvarında parçalanmış alüminyumun granülometrik bileşimi açıklanmıştır.

##### 4.1.1. Elek analizi ve granülometrik bileşim

Hafif agrega fırın-kuru örnekler üzerinde TS 1226 ISO 3310-1 ve TS 1227 ISO 3310-1'ye uygun kare gözlü elek takımı ile yapılan elek analizi değerleri Çizelge 4.1'de, granülometri eğrisi Şekil 4.1'de verilmiştir.

**Çizelge 4.1.** Pomzaya ilişkin elek analizi sonucu

Elek No	Elek Üzerinde Kalan (g)	Elek Üzerinde Kalan (%)	Elek Üzerinde Kalan Yığılımlı Miktar (%)	Elekten Geçen (%)
1	0	0	0	100
0.5	147.5	29.5	29.5	70.5
0.25	135	27	56.5	43.5
0.09	103	20.6	77.1	22.9
Kap	114.5	22.9	100	0
<b>Toplam</b>	500	100		
			<b>İncelik modülü</b>	2.37

Gaz beton üretiminde Witmann (1992), Kearsley and Wainwright (2000), Al-Kahade (2002), Laukaitis and Fiks (2006), Karakurt *et. al.* (2010) tarafından belirtildiği üzere 1 mm'lik elek altına geçen ince pomza kullanılmıştır. Ekmekyapar ve Örüng (1993) tarafından öngörülen beton agrega granülometrisinin, ideal granülometri eğrisi yerine standartlarda belirtilen sınır eğrileri arasında olacak şekilde kullanılması uygun olacağı belirtilmiştir. Ancak deneylerde kullanılan agreganın en büyük tane boyutu 1 mm olup, beton üretiminde kullanılan tane sınıfları dışında kalmaktadır. Bu yüzden agrega granülometrik bileşimi beton üretiminde kullanılan ideal tane sınıfları ve gaz beton üretiminde kullanılan tane çapındaki agregaya ait Türk standartlarına uygun değerler bulunmadığı için herhangi bir sınır değer ile karşılaştırılmamıştır.

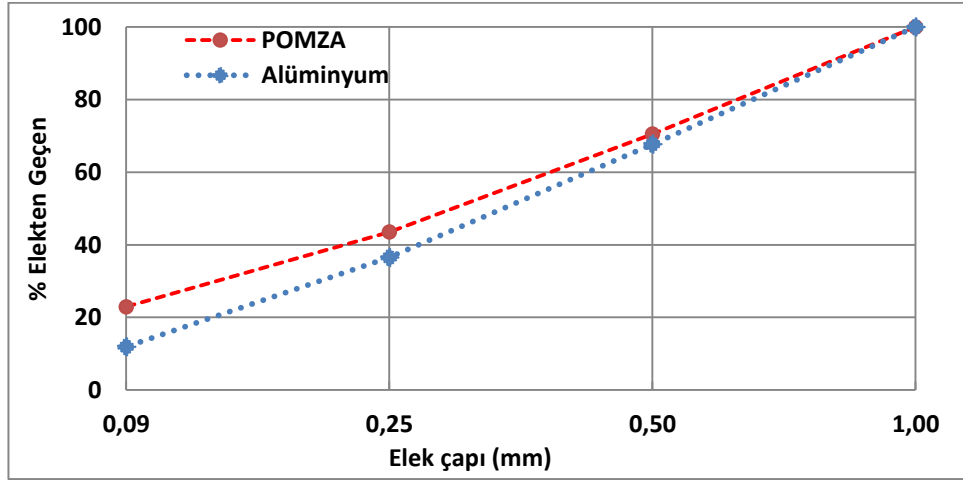
Gaz beton üretiminde alüminyum tozu kullanımı üzerine yapılan çalışmalar incelendiğinde, kimyasal yöntemlerle eritilerek pülvarizasyon yöntemiyle elde edilen ve 300  $\mu\text{m}$  veya 600  $\mu\text{m}$ 'den küçük hazır alüminyum tozu olarak kullanıldığı saptanmıştır. Bu çalışmada alüminyum tozu hazır olarak kullanılmayıp atık toplama alanlarından elde edilerek kullanılacağından, alüminyum atıkları laboratuvar olanaklarına göre parçalanmış ve 1 mm elek altı ince malzeme kullanılmıştır. Bu atık malzemeye ait elek analizi sonuçları Çizelge 4.2'de verilmiştir.

**Çizelge 4.2.** Alüminyum tozuna ilişkin elek analizi sonucu

Elek No	Elek Üzerinde Kalan (g)	Elek Üzerinde Kalan (%)	Elek Üzerinde Kalan Yığılımlı Miktar (%)	Elekten Geçen (%)
1	0	0	0	100
0.5	126	32.3	32.3	67.7
0.25	121.5	31.2	63.5	36.5
0.09	96	24.6	88.1	11.9
Kap	46.5	11.9	100	0
<b>Toplam</b>	390	100		
			<b>İncelik modülü</b>	2.16

Araştırmada üretilen örneklerin karışımında kullanılan pomza ve parçalanmış alüminyum içeriğine göre çizilen granülometri eğrileri Şekil 4.1'de birlikte

gösterilmiştir.



Şekil 4.1. Agreganın ve parçalanmış alüminyumun granülometri eğrisi

#### 4.1.2. Birim hacim ağırlık

Agrega birim hacim ağırlık deneyi fırın-kuru örnekler üzerinde TS 706 EN 12620+A1'e uygun ve ASTM C 29/C29M'de (Anonymous 1998a) belirtildiği gibi gevşek ve sıkışık olmak üzere iki şekilde yapılmıştır. Ayrıca deneylerde kullanılan ve 1 mm elek altı alüminyuma ilişkin gevşek ve sıkışık birim hacim ağırlık değerleri Çizelge 4.3'de verilmiştir.

Çizelge 4.3. Agreganın ve alüminyum birim hacim ağırlık deney sonuçları

	Doldurma şekli	Kap+Örnek Ağırlığı ( $G_{KN}$ )(g)	Ölçü Kabı Boş Ağırlığı ( $G_{Öb}$ )(g)	Örnek Ağırlığı ( $G_{KN} - G_{Öb}$ )(g)	Ölçü Kabı Hacmi ( $V_k$ )( $cm^3$ )	Birim Hacim Ağırlık ( $g/cm^3$ )
<b>Agrega</b>	Gevşek	7947	5975	1972	2800	0,704
	Sıkışık	8375	5975	2400	2800	0,857
<b>Alüminyum</b>	Gevşek	6919	5975	944	2800	0,337
	Sıkışık	7216	5975	1241	2800	0,443

Çizelge 4.3 incelendiğinde, ince agreganın gevşek birim hacim ağırlık değeri  $704 \text{ kg/m}^3$ , sıkışık birim hacim ağırlık değeri de  $857 \text{ kg/m}^3$  olarak saptanmıştır. ASTM C

330 ve 331’de (Anonymous 1998 f; Anonymous 1998g) yalıtım betonlarında ve yapı betonu duvar birimlerinde kullanılacak ince agreganın maksimum birim hacim ağırlığının  $1120 \text{ k/m}^3$  olması gerektiği belirtilmekte olup, Demirboğa (1999)’nın aktardığı üzere bu değerler, Akman’ın  $720 \text{ kg/m}^3$  ve Washa’nın  $400\text{-}960 \text{ kg/m}^3$  arasındaki değerlerine de uygunluk göstermektedir. Deneyde bulunan sonuca ve belirtilen değerlere göre kullanılan pomza, hafif beton üretimine uygunluk göstermektedir.

#### 4.1.3. Özgül ağırlık ve su emme oranı

Hafif agrega özgül ağırlık değerleri TS 706 EN 12620+A1 ve ASTM C 128’de belirtildiği şekilde kuru özgül ağırlık ( $\gamma_k$ ), doymun kuru yüzey özgül ağırlığı ( $\gamma_d$ ) ve görünen özgül ağırlığı ( $\gamma_g$ ) değerleri saptanarak Çizelge 4.4 ’de verilmiştir. İnce agreganın kuru özgül ağırlığı 1.06, doymun kuru yüzey özgül ağırlığı 1.45 ve görünen özgül ağırlığı 1.74 olarak saptanmıştır.

**Çizelge 4.4.** Pomzaya ilişkin özgül ağırlık ve su emme oranı deney sonuçları

Örnek etüv kuru ağırlığı ( $G_{Ei}$ )(g)	500	
Örnek doymun kuru yüzey ağırlığı ( $G_{DK}$ ) (g)	682	
Ölçü kabı+su+örnek ağırlığı ( $G_T$ ) (g)	1446.5	
Ölçü kabı+su ağırlığı ( $G_0$ ) (g)	1234	
	Kuru ( $\gamma_k$ )	1.06
Özgül ağırlık ( $\gamma$ ) ( $\text{g/cm}^3$ )	Doymun ( $\gamma_d$ )	1.45
	Görünen ( $\gamma_g$ )	1.74
Su emme oranı (m) (%)	36.4	

Turgutalp (1978) ve Şahin (2002) hafif agregalar ile üretilen betonlarda ince agrega özgül ağırlıklarının doğrulukla saptanamadığını, karışımlarda da bu durumun güçlükler çıkartacağını bildirmektedirler. Bu sakıncaları giderebilmek için karışımların su/çimento oranı esasına göre değil, özgül ağırlık faktörü esasına göre yapılmasının uygun olacağı



ve hafif beton karışım hesaplarında özgül ağırlık faktörü değerlerinin kullanılması gerektiğini belirtmektedirler. Araştırmada kullanılan hafif agrega özgül ağırlık faktörü değeri olarak da TS 3234'e göre 10 dakikalık piknometre yoğunluk faktörü değeri kullanılmış olup, değerler Çizelge 4.5'de verilmiştir.

**Çizelge 4.5.** Piknometre yoğunluk faktörü deney sonucu

Örnek ağırlığı ( $G_1$ )(g)	100
Kap + su ağırlığı ( $G_{ks}$ )(g)	2098
Kap +su+ örnek ağırlığı ( $G_T$ )(g)	2140.5
Piknometre yoğunluk faktörü	1.74

#### 4.1.4. İnce madde oranı

Gaz beton örneklerin üretiminde 1 mm'lik elek altında kalan pomza kullanılmasına karşın beton üretiminde ince madde oranının çok fazla olması istenmemektedir. İnce madde oranının belirlenmesindeki amaç, karışıma giren su miktarını etkilemesi, basınç dayanımını düşürmesi ve kabarma sağlayıcı katkı maddesinin fazla kullanımına neden olmasıdır (Erdoğan, 2003). Bu amaçla deneylerde kullanılan, TS 706 12620+A1'e ve ASTM C 117-95'e uygun agrega ince madde oranı deney sonuçları Çizelge 4.6'da verilmiştir.

**Çizelge 4.6.** Yıkanabilir ince madde oranı

Deney örneği yıkama öncesi fırın kuru ağırlığı ( $G_{Ei}$ ) (g)	500
Deney örneği yıkama sonrası fırın kuru ağırlığı ( $G_{Es}$ ) (g)	413.5
Yıkanabilir ince madde oranı ( $M_y$ ) (%) = $((G_{Ei}-G_{Es})/G_{Ei}).100$	17.3

## 4.2. Sertleşmiş Beton Özellikleri

Bu bölümde araştırma konusu olan buhar ve su kürü uygulanan alüminyum ve hidrojen peroksit katkılı sertleşmiş hafif beton örneklerin fiziksel ve mekanik özelliklerine ilişkin değerler verilmiştir.

### 4.2.1. Birim hacim ağırlık

Erzurum – Pasinler pomzası ile üretilen gaz betonların birim hacim ağırlıkları katkı çeşidi ve artan katkı oranına bağlı olarak, su kürü ve buhar kürü gruplarında azalma göstermiş ve birim hacim ağırlıkta  $807-1471 \text{ kg/m}^3$  arasında değişen değerler saptanmıştır. Birim hacim ağırlıktaki değişime ait değerler buhar kürü ve su kürü için Çizelge 4.7 ve Çizelge 4.8’de verilmiştir.

Birim hacim ağırlık değerleri kontrol gruplarıyla karşılaştırıldığında, 250 dozajlı buhar kürü uygulanan alüminyum katkılı örnekler için değişen K/Ç oranına bağlı olarak ortalama %15.19 oranında azalma göstermiş, hidrojen peroksit katkılı örneklerde bu oran %8.19 olarak gerçekleşmiştir. Birim hacim ağırlıktaki ortalama maksimum azalma miktarları ise (Çizelge 4.7); alüminyum katkılı 250 dozajlı buhar kürü örnekleri için B9 grubunda (0.60 K/Ç oranında %5 alüminyum katkısı) %39.24, hidrojen peroksit bulunan gruplarda maksimum azalma %17.59 oranı ile B3 grubunda (0.20 K/Ç oranında %5 hidrojen peroksit katkısı) ortaya çıkmıştır.

Değerlerdeki ortalama değişimler, katkı oranının etkisi göz önüne alınarak kontrol gruplarıyla karşılaştırıldığında; alüminyum ile hazırlanan buhar kürü örneklerinin %1 oranında katkı ile ortalama %3.31, %2 oranında katkı ile %6.84 ve %5 oranında katkı ile de %35,39 oranında birim hacim ağırlıkta azalmaya yol açmıştır. Bu değerler %1, %2 ve %5 hidrojen peroksit katkısı için sırasıyla; %3.5, %5.57 ve %15.50 oranlarında azalmaya yol açtığı saptanmıştır. Azalma oranı sadece B7 (0.60 K/Ç oranında %1 hidrojen peroksit katkısı) grubunda +%1.5 olarak farklılık göstermiştir.

Çizelge 4.7. Buhar kürü örneklerinde birim hacim ağırlık değerleri

Kür şekli	Dozaj (kg/m <sup>3</sup> )	K/Ç oranı	Katku oranı (%)	Grup simgesi	N	Birim hacim ağırlık (kg/m <sup>3</sup> )		
						Alüminyum	Hidrojen peroksit	
Buhar kürü	250	0.20	0	BK1	3	1373.87 ±33.40a	1373.87 ±33.40a	
			1	B1	3	1304.16 ±37.90b	1260.35 ±21.62b	
			2	B2	3	1275.34 ±17.65b	1288.33 ±51.93b	
			5	B3	3	914.83 ±16,47c	1132.23 ±27.53c	
		Ortalama					1217.05 A	1263.70 A
		0.40	0	BK2	3	1396.69 ±14.05a	1396.69 ±14.05a	
			1	B4	3	1362.65 ±11.27b	1344.66 ±71.35ba	
			2	B5	3	1299.76 ±7.54c	1330.56 ±36,08a	
			5	B6	3	928.59 ±25.72d	1172.62 ±38.72b	
		Ortalama					1246,9A	1312.13A
		0.60	0	BK3	3	1388.67 ±81.08a	1388.67 ±81.08ab	
			1	B7	3	1353.83 ±21.85a	1409.71± 41.28a	
	2		B8	3	1206.68 ±23.18b	1308.64 ±3.45b		
	5		B9	3	843.70±11.13c	1209.53±43.31c		
	Ortalama					1198.22 A	1329.15 A	
	Genel Ortalama						1220.73	1301.66
	350	0.20	0	BK4	3	1444.43 ±14.11a	1444.43 ±14.11a	
			1	B10	3	1300.51 ±66.61b	1390.58 ±32.03a	
			2	B11	3	1100.05 ±14.29c	1198.63 ±87.17b	
			5	B12	3	851.03 ±20.74d	1104.40 ±46.54b	
		Ortalama					1174.00A	1284.52A
		0.40	0	BK5	3	1431.53±16.83a	1431.53 ±16.83a	
			1	B13	3	1197.41 ±18.97b	1275.09 ±59.19b	
			2	B14	3	1097.22 ±16.56c	1199.41 ±55.85bc	
5			B15	3	811.11 ±25.68d	1125.38 ±11.04c		
Ortalama					1134.32A	1257.85A		
0.60		0	BK6	3	1338.26 ±21.40a	1338.26±21.40a		
		1	B16	3	1092.09 ±8.35b	1340.62 ± 8.74a		
	2	B17	3	1061.42 ±52.30b	1352.40±49.68a			
	5	B18	3	807.35 ±48.75c	1115.05±95.90b			
Ortalama					1074.78A	1296.58A		
Genel Ortalama						1127.70	1279.65	
<b>Buhar Kürü Uygulaması Genel Ortalamaları</b>						<b>1174.22</b>	<b>1290.66</b>	

**Çizelge 4.8.** Su kürü örneklerinde birim hacim ağırlık değerleri

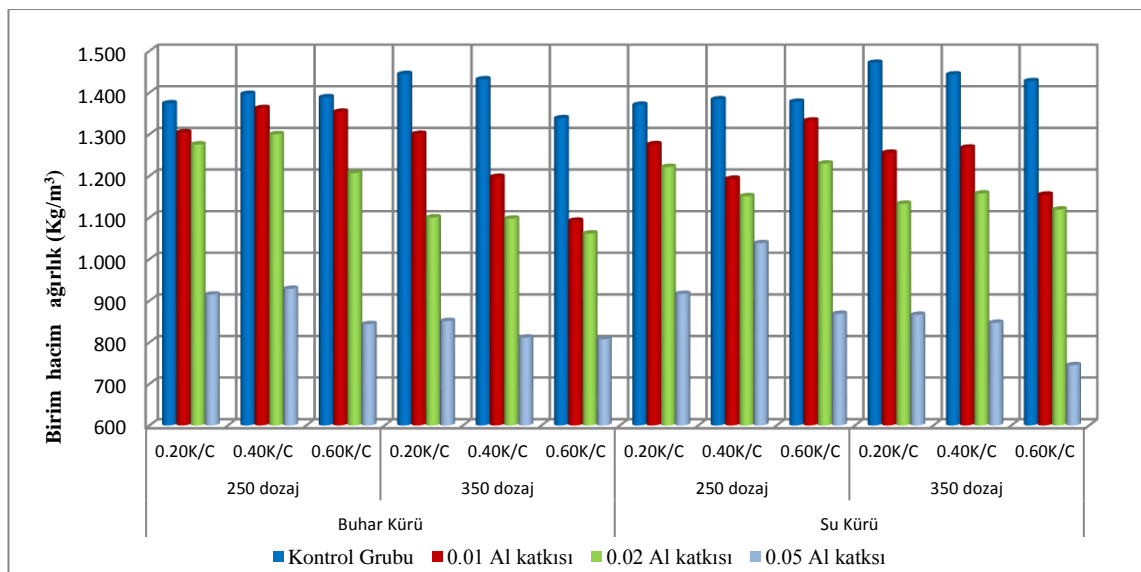
Kür şekli	Dozaj (kg/m <sup>3</sup> )	K/Ç oranı	Katkı oranı (%)	Grup simgesi	N	Birim hacim ağırlık (kg/m <sup>3</sup> )		
						Alüminyum	Hidrojen peroksit	
Su kürü	250	0.20	0	SK1	3	1370.37 ± 23.96a	1370.37 ± 23.96a	
			1	S1	3	1275.66 ± 52.63ab	1290.98 ± 14.55ab	
			2	S2	3	1221.23 ± 46.78b	1203.34 ± 61.52b	
			5	S3	3	916.46 ± 103.40c	1083.57 ± 70.14c	
		Ortalama					1195.93A	1237.02 A
		0.40	0	SK2	3	1383.60 ± 41.41a	1383.60 ± 41.41a	
			1	S4	3	1192.78 ± 99.68b	1339.58 ± 50.39ab	
			2	S5	3	1150.95 ± 117.52b	1284.48 ± 42.56b	
			5	S6	3	1038.27 ± 104.15b	1162.10 ± 28.78c	
		Ortalama					1191.40 A	1292.44A
		0.60	0	SK3	3	1377.73 ± 148.80a	1377.73 ± 148.80a	
			1	S7	3	1332.66 ± 119.22a	1382.13 ± 14.60a	
	2		S8	3	1229.40 ± 109.51a	1363.18 ± 20.06a		
	5		S9	3	868.29 ± 143.10b	1153.91 ± 40.53b		
	Ortalama					1202.02 A	1319.24 A	
	Genel Ortalama					1196.45	1282.90	
	350	0.20	0	SK4	3	1471.31 ± 8.62a	1471.31 ± 8.62a	
			1	S10	3	1255.30 ± 96.80b	1216.87 ± 14.05b	
			2	S11	3	1132.85 ± 33.19c	1180.63 ± 73.00bc	
			5	S12	3	865.94 ± 13.10d	1057.75 ± 115.28c	
		Ortalama					1181,35A	1231.64A
		0.40	0	SK5	3	1443.41 ± 25.65a	1443.41 ± 25.61a	
			1	S13	3	1267.56 ± 91.08b	1292.48 ± 29.51b	
			2	S14	3	1157.58 ± 71.50b	1242.29 ± 40.43b	
5			S15	3	846.74 ± 2.04c	1084.88 ± 115.67c		
Ortalama					1178.82A	1265.77A		
0.60		0	SK6	3	1427.30 ± 15.72a	1427.30 ± 15.72a		
		1	S16	3	1154.62 ± 19.24b	1308.47 ± 27.90b		
	2	S17	3	1118.96 ± 49.35b	1215.53 ± 56.24c			
	5	S18	3	744.81 ± 8.65c	1202.05 ± 43.07c			
Ortalama					1111.42A	1288.34A		
Genel Ortalama					1157.20	1261.91		
<b>Su Kürü Uygulaması Genel Ortalamaları</b>						<b>1176.82</b>	<b>1272.41</b>	

Farklı K/Ç oranına göre 350 kg/m<sup>3</sup> dozajlı buhar kürü örneklerinin birim hacim ağırlık değerlerindeki değişimler kontrol gruplarıyla karşılaştırıldığında; alüminyum katkılı örneklerde ortalama %26.29, hidrojen peroksit katkılı örneklerde ise %12.03 azalma olduğu saptanmıştır. Birim hacim ağırlık değerlerindeki değişimlerde maksimum azalma miktarı alüminyum katkılı, 350 dozajlı buhar kürü örneklerinde B15 grubunda

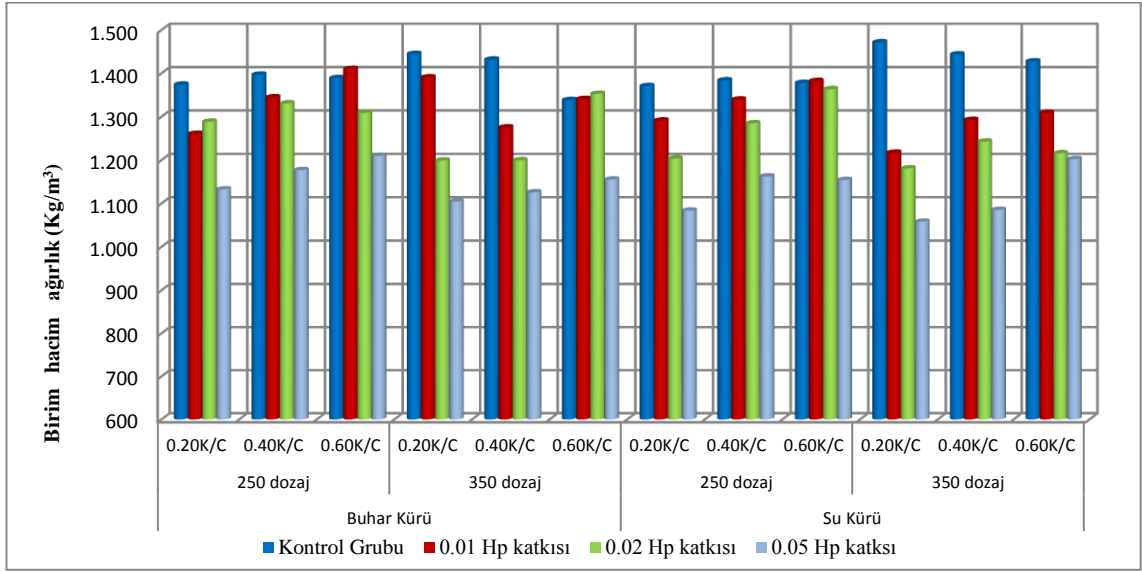
(0.40 K/Ç oranında %5 alüminyum katkısı) %39.2; hidrojen peroksit bulunan gruplarda %23.54 oranı ile B3 grubunda (0.20 K/Ç oranında %5 hidrojen peroksit katkısı) gerçekleşmiştir.

Buhar kürü örnekleri için katkı oranının azalmaya etkisi incelendiğinde,  $350 \text{ kg/m}^3$  dozajlı alüminyum katkılı örneklerin birim hacim ağırlık değerlerindeki değişim sırasıyla; %1, %2 ve %5 katkılılarda ortalama %14.88, %22.63 ve %41.36 oranlarında azalmaya neden olduğu saptanmıştır. Bu değerler  $350 \text{ kg/m}^3$  dozajlı hidrojen peroksit katkılı gruplar için incelendiğinde sırasıyla; %1 katkı için ortalama %4.83, %2 katkı için %10.73 ve %5 katkı için %20.54 oranında gerçekleşmiştir. Değerler sadece B16 ve B17 gruplarında (0.60 K/Ç oranında %1 ve %2 oranında hidrojen peroksit katkısında) yaklaşık +%1 olarak farklılık göstermiştir.

Buhar kürü örneklerinin tamamı incelendiğinde (Şekil 4.3, Şekil 4.4), artan alüminyum ve hidrojen peroksit katkısına göre birim ağırlıkta önemli azalma söz konusudur. Gaz betonun özelliklerinden biri düşük birim hacim ağırlığa sahip hafif beton olmasıdır. Buhar kürü örneklerinde  $350 \text{ kg/m}^3$  dozajlı örneklerin,  $250 \text{ kg/m}^3$  dozajlı örneklere göre birim hacim ağırlıklarının daha düşük olduğu saptanmıştır.



Şekil 4.2. Alüminyum katkılı betonların birim hacim ağırlık değerlerindeki değişim



**Şekil 4.3.** Hidrojen peroksit katkılı betonların birim hacim ağırlık değerlerindeki değişim

Su kürü örneklerinin birim hacim ağırlık değerlerindeki değişim K/Ç oranına bağlı olarak incelendiğinde (Çizelge 4.7 ve Çizelge 4.8), 250 kg/m<sup>3</sup> dozajlı örneklerin değişen alüminyum katkısına bağlı olarak ortalama %17.83, hidrojen peroksit katkılı örneklerinde %9.14 oranında azalma saptanmıştır. Birim hacim ağırlıktaki maksimum azalma miktarları ise alüminyum katkılı 250 kg/m<sup>3</sup> dozajlı su kürü örneklerinde S9 grubunda (0.60 K/Ç oranında %5 alüminyum katkısı) %39.98 olarak gerçekleşirken, hidrojen peroksit bulunan gruplarda birim hacim ağırlıktaki maksimum azalma %20.93 oranı ile S3 grubunda (0.20 K/Ç oranında %5 hidrojen peroksit katkısı) gerçekleşmiştir.

Alüminyum katkılı su kürü örneklerinde katkı oranının azalmaya etkisi incelendiğinde, 250 kg/m<sup>3</sup> dozajlı örneklerde %1 oranında katkı ortalama %7.99, %2 oranında katkı ilavesi %12.82 ve %5 oranında katkı ilavesi ise 32.49 oranında birim hacim ağırlıkta azalmaya yol açmıştır. Bu değerler hidrojen peroksit katkısı için incelendiğinde sırasıyla; %1, %2 ve %5 katkı için ortalama %2.88, %6.8 ve %17.73 oranlarında gerçekleşmişken, sadece S7 grubunda (0.60 K/Ç oranında % hidrojen peroksit katkısı) %0.32'luk bir artış söz konusudur.

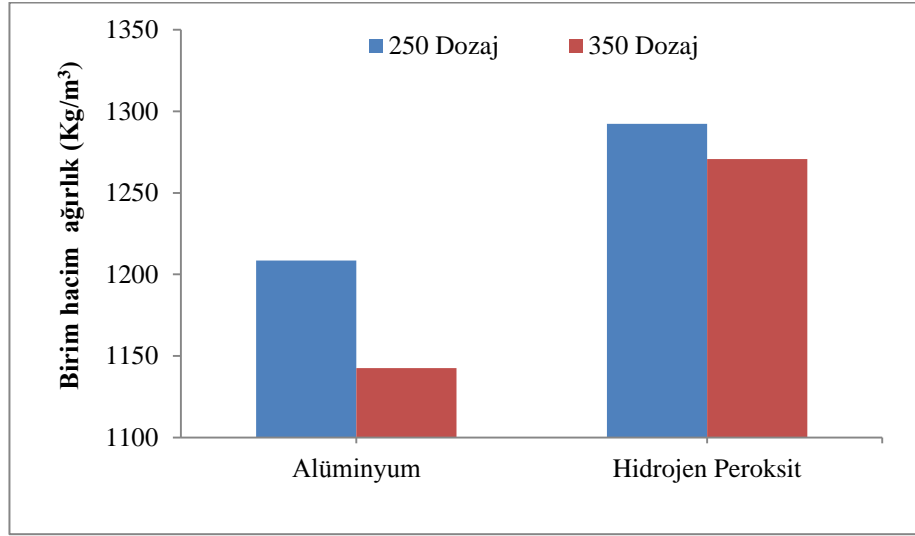
Birim hacim ağırlıktaki değişimler değişen K/Ç oranına bağlı olarak 350 kg/m<sup>3</sup> dozajlı

su kürü örnekleri iin incelendiğinde, alüminyum katkılı örneklerde ortalama %26.60 oranında azalma gösterirken, bu oran hidrojen peroksit katkılı örneklerde %17.03 olarak gerekleŖmiŖtir. Birim hacim ağırlıktaki maksimum azalma miktarı ise alüminyum katkılı buhar kürü örneklerinde S18 grubunda (0.60 K/ oranında %5 alüminyum katkısı) %47.82; hidrojen peroksit bulunan gruplarda maksimum azalma %28.11 oranı ile S12 grubunda (0.20 K/ oranında %5 hidrojen peroksit katkısı) saptanmıŖtır.

Alüminyum katkılı 350 kg/m<sup>3</sup> dozajlı buhar kürü örneklerinde, %1 oranında katkı birim hacim ağırlık değerlerinde ortalama %15.39 oranında, %2 oranında katkı ortalama %21.47 ve %5 katkı da %43.02 oranında azalmaya yol amıŖtır. Bu değerler 350 kg/m<sup>3</sup> dozajlı hidrojen peroksit katkılı gruplar iin incelendiğinde sırasıyla; %1 katkı iin ortalama %12.02, %2 katkı iin %16.17 ve %5 katkı iin %22.91 oranında bir azalma olarak gerekleŖmiŖtir.

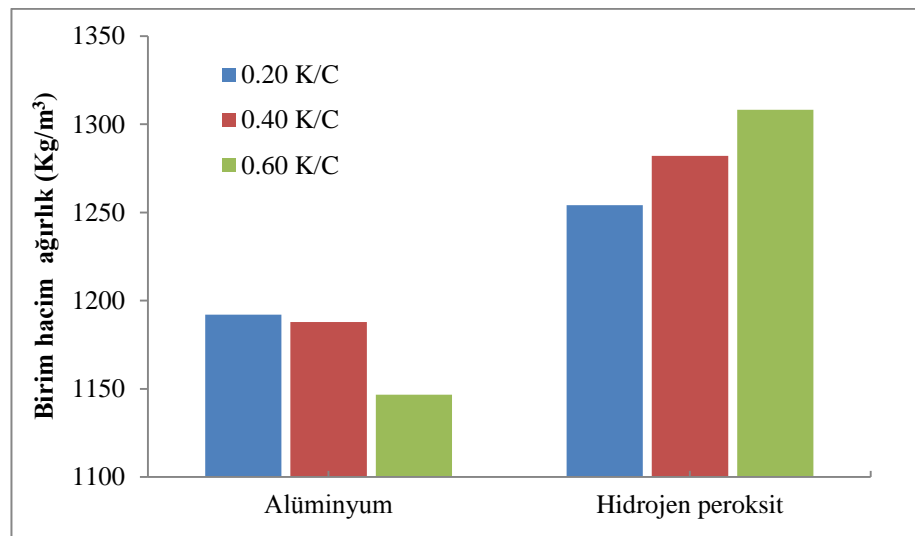
Su kürü örnekleri incelendiğinde, artan alüminyum ve hidrojen peroksit katkısının birim hacim ağırlıktaki azalma oranına etkisi buhar kürü örnekleri ile paralellik gstermiŖtir. (Ŗekil 4.2, Ŗekil 4.3). Ancak buhar kürü ile su kürü karŖılaŖtırıldıĐında, su kürü uygulanan grupların buhar kürü uygulanan gruplara göre daha dŖk birim ağırlık değerlerine sahip olduğu belirlenmiŖtir.

Bağımsız deĐiŖkenlerin birim hacim ağırlığa etkisinin değerlendirilebilmesi iin dozajın birim hacim ağırlıktaki deĐiŖime etkisi incelendiğinde (Ŗekil 4.4); 350 kg/m<sup>3</sup> dozajlı örneklerin birim hacim ağırlık değerleri ortalamasının 250 kg/m<sup>3</sup> dozajlı örneklerden daha dŖk olduğu görülmektedir. Bu durum imento ağırlığının %'si olarak karıŖıma eklenen katkının fazlalığı ve buna paralel olarak artan kabarma ile aıklanabilir.



**Şekil 4.4.** Gaz beton örneklerde birim hacim ağırlık değerlerine dozajın etkisi

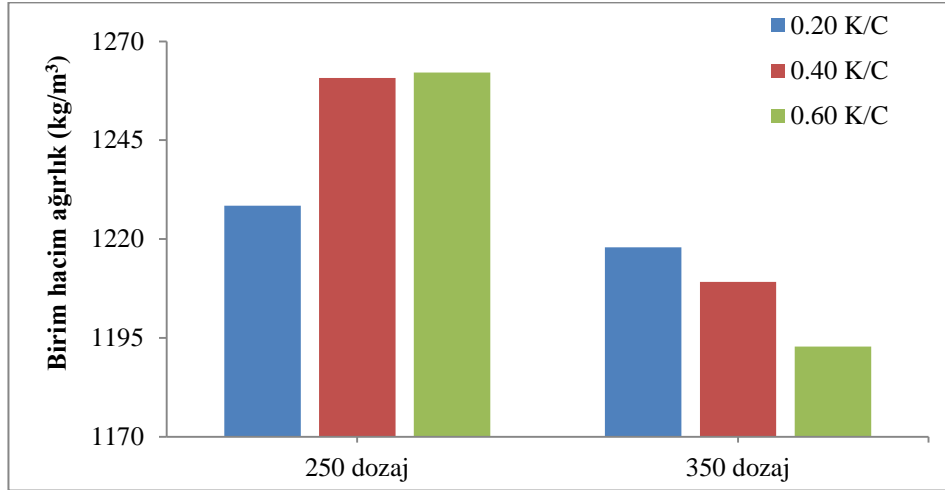
Bağımsız değişkenlerden K/Ç oranının birim hacim ağırlığa etkisinin değerlendirilmesinde kireç oranındaki artışın katkı çeşidine ve dozaja bağlı etkisi ortalama değerlere göre incelendiğinde (Şekil 4.5 ve Şekil 4.6), 0.60 K/Ç oranının alüminyum katkılı örneklerde daha düşük değerler sağladığı, hidrojen peroksit katkılı örneklerde ise artan kireç oranına ile birim hacim ağırlıkta artış oluşturduğu saptanmıştır.



**Şekil 4.5.** Gaz beton örneklerde katkıya göre artan kireç oranına bağlı birim hacim ağırlıktaki değişim

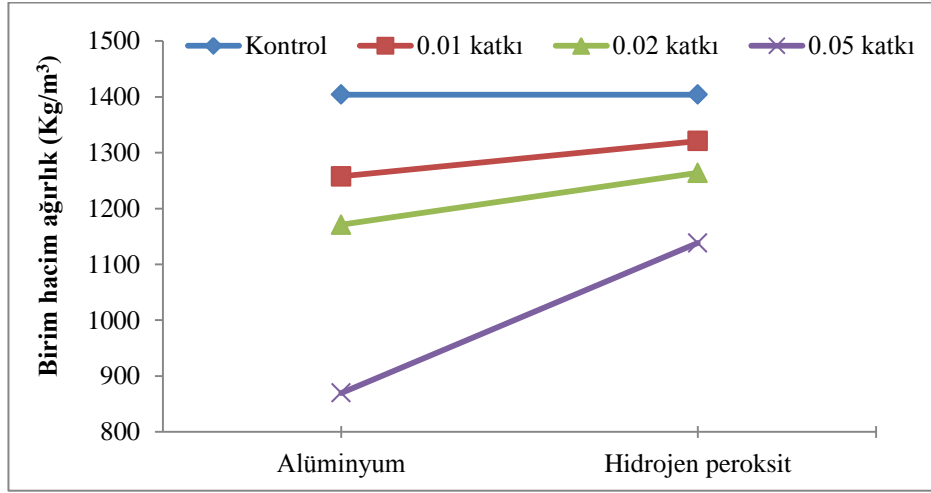


Dozajın etkisinde  $250 \text{ kg/m}^3$  dozajlı örnekler için artan kireç oranına bağlı olarak birim hacim ağırlıkta artış görülmüştür. Bu durum alüminyum ile kirecin reaksiyona girerek kabarma sağlarken, hidrojen peroksitin kabarma için kirece fazla gereksinim duymaması ile açıklanabilir.



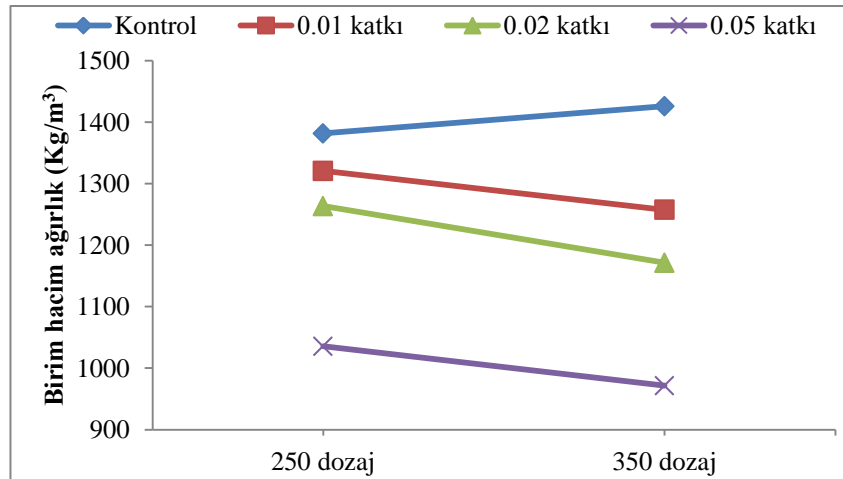
**Şekil 4.6.** Gaz beton örneklerde dozaja göre artan kireç oranına bağlı birim hacim ağırlıktaki değişim

Gaz beton örneklerde, bağımsız değişkenlerden katkı oranının birim hacim ağırlıktaki değişime etkisi (Şekil 4.7) incelendiğinde, alüminyum ve hidrojen peroksit katkılı grupların artan katkı oranına bağlı olarak daha düşük değerlerde olduğu saptanmıştır. Alüminyum katkısının hidrojen peroksit katkısından daha çok birim hacim ağırlıkta azalmaya neden olduğu görülmektedir.



**Şekil 4.7.** Artan katkı oranına göre alüminyum ve hidrojen peroksit katkılı gaz beton örneklerin birim hacim ağırlık değerlerindeki değişim

Dozaja bağlı olarak artan katkı oranının birim hacim ağırlıktaki değişimi incelendiğinde (Şekil 4.8) artan dozajın sadece kontrol grubunda artış sağladığı, diğer gruplarda ise azalmaya neden olduğu görülmüştür. Zihihua *et. al.* (2007)'nin köpük betonlar üzerine yapmış oldukları araştırma sonuçları ile benzerlik göstermiş, artan çimento ve katkı eklenmesine göre birim ağırlıkların azaldığını belirlemişlerdir.



**Şekil 4.8.** 250 ve 350 kg/m<sup>3</sup> dozajlı gaz beton örneklerin artan katkı oranına göre birim hacim ağırlıktaki değişimi

Üretilen gaz beton örneklerinde azalan birim hacim ağırlık değerlerinin istatistiksel açıdan

anlamli farkın olup olmadığının belirlenmesi amacıyla yöntem kısmında açıklanan çoklu varyans analizi yapılmıştır. Alüminyum ve hidrojen peroksit katkıli örnekler ayrı birer grup olarak düşünülerek yapılan varyans analizi sonuçları Çizelge 4.9'da, gruplar arasındaki katkıli farkını belirleyebilmek için yapılan varyans analizi sonuçları da Çizelge 4.10'da verilmiştir.

**Çizelge 4.9.** Kür, K/Ç oranı, katkı oranı ve dozaj bağımsız değişkenlerinin alüminyum ve hidrojen peroksit katkıli örneklerin birim hacim ağırlık değerlerine olan etkilerine ilişkin varyans analizi (ANOVA) sonuçları

Katkı	Kareler toplamı (SS)	Serbestlik derecesi (df)	Kareler ortalaması (MS)	F	P	
Alüminyum	Kür (K)	244.904	1	244.904	0.068	0.796 <sup>ns</sup>
	Dozaj (D)	157 485.094	1	157 485.094	43.423	0.000 <sup>**</sup>
	K/Ç	60 598.861	2	30 299.430	8.354	0.000 <sup>**</sup>
	Katkı oranı (KO)	5 486 099.464	3	1 828 699.821	504.220	0.000 <sup>**</sup>
	K * D	26 029.170	1	26 029.170	7.177	0.009 <sup>**</sup>
	K * K/Ç	5 595.072	2	2 797.536	0.771	0.465 <sup>ns</sup>
	D * K/Ç	36 920.571	2	18 460.285	5.090	0.008 <sup>**</sup>
	K * D * K/Ç	9 653.960	2	4 826.980	1.331	0.269 <sup>ns</sup>
	K* KO	10 682.981	3	3 560.994	0.982	0.405 <sup>ns</sup>
	D * KO	149 836.552	3	49 945.517	13.771	0.000 <sup>**</sup>
	K * D * KO	36 409.703	3	12 136.568	3.346	0.022 <sup>*</sup>
	K/Ç * KO	22 225.004	6	3 704.167	1.021	0.416 <sup>ns</sup>
	K * K/Ç * KO	29 436.763	6	4 906.127	1.353	0.242 <sup>ns</sup>
	D * K/Ç * KO	66 697.903	6	11 116.317	3.065	0.009 <sup>**</sup>
	K * D * K/Ç * KO	34 559.468	6	5 759.911	1.588	0.159 <sup>ns</sup>
	Hata	348 171.661	96	3 626.788		
Toplam	205 466 529.464	144				
Hidrojen peroksit	Kür (K)	11 988.973	1	11 988.973	4.221	0.043 <sup>*</sup>
	Dozaj (D)	16 633.476	1	16 633.476	5.857	0.017 <sup>*</sup>
	K/Ç	70 284.312	2	35 142.156	12.373	0.000 <sup>**</sup>
	Katkı oranı (KO)	1 355 546.176	3	451 848.725	159.094	0.000 <sup>**</sup>
	K * D	9.420	1	9.420	0.003	0.954 <sup>ns</sup>
	K * K/Ç	8 405.403	2	4 202.701	1.480	0.233 <sup>ns</sup>
	D * K/Ç	15 824.874	2	7 912.437	2.786	0.067 <sup>ns</sup>
	K * D * K/Ç	4 344.187	2	2 172.093	0.765	0.468 <sup>ns</sup>
	K* KO	14 821.731	3	4 940.577	1.740	0.164 <sup>ns</sup>
	D * KO	58 113.096	3	19 371.032	6.820	0.000 <sup>**</sup>
	K * D * KO	16 582.216	3	5 527.405	1.946	0.127 <sup>ns</sup>
	K/Ç * KO	63 698.388	6	10 616.398	3.738	0.002 <sup>**</sup>
	K * K/Ç * KO	10 134.717	6	1 689.119	0.595	0.734 <sup>ns</sup>
	D * K/Ç * KO	20 715.450	6	3 452.575	1.216	0.305 <sup>ns</sup>
	K * D * K/Ç * KO	64 625.771	6	10 770.962	3.792	0.002 <sup>**</sup>
	Hata	272 653.580	96	2 840.141		
Toplam	238 498 517.472	144				

\*\* : p<0.01; \* : p<0.05; ns: önemsiz

**Çizelge 4.10.** Katkı çeşidi, kür, K/Ç oranı, katkı oranı ve dozaj bağımsız değişkenlerinin gaz beton örneklerin birim hacim ağırlık değerlerine olan etkilerine ilişkin varyans analizi (ANOVA) sonuçları

	Kareler toplamı (SS)	Serbestlik derecesi (df)	Kareler ortalaması (MS)	F	P	$\eta^2$
Katkı (Ka)	809 157.686	1	809 157.686	250.245	0.000**	0.566
Kür (K)	4 403.419	1	4 403.419	1.362	0.245 <sup>ns</sup>	0.007
Dozaj (D)	138 240.576	1	138 240.576	42.753	0.000**	0.182
K/Ç	6 850.359	2	3 425.179	1.059	0.349 <sup>ns</sup>	0.011
Katkı oranı (KO)	6 134 288.823	3	2 044 762.941	632.375	0.000**	0.908
Ka * K	7 830.458	1	7 830.458	2.422	0.121 <sup>ns</sup>	0.012
Ka * D	35 877.994	1	35 877.994	11.096	0.001**	0.055
K * D	13 514.461	1	13 514.461	4.180	0.042*	0.021
Ka * K * D	12 524.129	1	12 524.129	3.873	0.050*	0.020
Ka * K/Ç	124 032.814	2	62 016.407	19.180	0.000**	0.167
K * K/Ç	10 188.498	2	5 094.249	1.575	0.210 <sup>ns</sup>	0.016
Ka * K * K/Ç	3 811.977	2	1 905.988	0.589	0.556 <sup>ns</sup>	0.006
D * K/Ç	43 672.478	2	21 836.239	6.753	0.001**	0.066
Ka * D * K/Ç	9 072.967	2	4 536.484	1.403	0.248 <sup>ns</sup>	0.014
K * D * K/Ç	12 713.979	2	6 356.989	1.966	0.143 <sup>ns</sup>	0.020
Ka * K * D * K/Ç	1 284.169	2	642.084	0.199	0.820 <sup>ns</sup>	0.002
Ka * KO	707 356.817	3	235 785.606	72.920	0.000**	0.533
K * KO	19 728.284	3	6 576.095	2.034	0.111 <sup>ns</sup>	0.031
Ka * K * KO	5 776.428	3	1 925.476	0.595	0.619 <sup>ns</sup>	0.009
D * KO	195 682.879	3	65 227.626	20.173	0.000**	0.240
Ka * D * KO	12 266.769	3	4 088.923	1.265	0.288 <sup>ns</sup>	0.019
K * D * KO	11 873.809	3	3 957.936	1.224	0.302 <sup>ns</sup>	0.019
Ka * K * D * KO	41 118.110	3	13 706.037	4.239	0.006**	0.062
K/Ç * KO	36 224.574	6	6 037.429	1.867	0.088 <sup>ns</sup>	0.055
Ka * K/Ç * KO	49 698.818	6	8 283.136	2.562	0.021*	0.074
K * K/Ç * KO	11 425.305	6	1 904.217	0.589	0.739 <sup>ns</sup>	0.018
Ka * K * K/Ç * KO	28 146.174	6	4 691.029	1.451	0.197 <sup>ns</sup>	0.043
D * K/Ç * KO	69 023.008	6	11 503.835	3.558	0.002**	0.100
K * D * K/Ç * KO	18 390.345	6	3 065.057	0.948	0.462 <sup>ns</sup>	0.029
K * D * K/Ç * KO	81 057.671	6	13 509.612	4.178	0.001**	0.115
Ka * K * D * K/Ç * KO	18 127.567	6	3 021.261	0.934	0.471 <sup>ns</sup>	0.028
Hata	620 825.242	192	3 233.465			
Toplam	443 965 046.936	288				

\*\* : p<0.01; \* : p<0.05; ns: önemsiz

Alüminyum katkılı örneklerde birim hacim ağırlık değerlerine ilişkin Çizelge 4.9 incelendiğinde, kür koşullarının (buhar ve su kürü)  $\alpha=0.05$  anlam düzeyinde önemsiz

olduğu ( $F_{96,1}=0.068$ ;  $p=0.796$ ) belirlenirken, bu grupta dozaj ( $F_{96,1}=43.423$ ;  $p=0.000$ ), K/Ç oranı ( $F_{96,2}=8.354$ ;  $p=0.000$ ) ve katkı oranının ( $F_{96,3}=504.22$ ;  $p=0.000$ )  $\alpha=0.01$  anlam düzeyinde çok önemli olduğu saptanmıştır.

Bağımsız değişkenlerin ikili etkileşimleri incelendiğinde (Çizelge 4.9); kür\*dozaj etkileşimi ( $F_{96,1}=7.177$ ;  $p=0.009$ ), dozaj\*K/Ç oranı etkileşimi ( $F_{96,2}=5.090$ ;  $p=0.008$ ) ve dozaj\*katkı oranı etkileşimi ( $F_{96,3}=13.771$ ;  $p=0.000$ )  $\alpha=0.01$  anlam düzeyinde çok önemlidir. Ancak kür\*K/Ç etkileşimi ( $F_{96,2}=0.771$ ;  $p=0.465$ ) ve kür\*katkı oranı etkileşimi ( $F_{96,3}=0.982$ ;  $p=0.405$ )  $\alpha=0.05$  anlam düzeyinde önemsizdir. Alüminyum katkılı örneklerde üçlü ve dördü etkileşimler incelendiğinde ise kür\*dozaj\*katkı oranı etkileşiminin  $\alpha=0.05$  anlam düzeyinde önemli, dozaj\*K/Ç oranı\*katkı oranı etkileşiminin  $\alpha=0.01$  düzeyinde çok önemli olduğu, diğer etkileşimlerin ise  $\alpha=0.05$  anlam düzeyinde önemsiz olduğu görülmüştür.

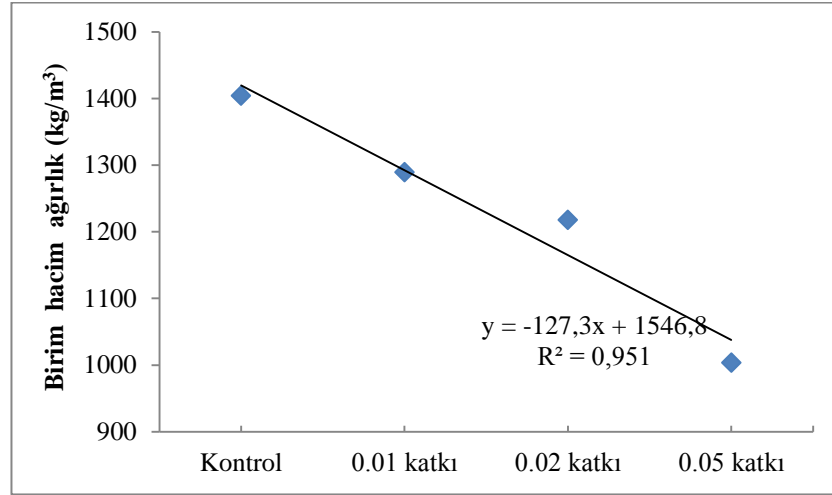
Hidrojen peroksit katkılı örneklerin birim hacim ağırlık değerlerindeki değişim incelendiğinde (Çizelge 4.9); kür ( $F_{96,1}=4.221$ ;  $p=0.043$ ) ve dozaj ( $F_{96,1}=5.857$ ;  $p=0.017$ ) bağımsız değişkenleri  $\alpha=0.05$  anlam düzeyinde, K/Ç oranı ( $F_{96,2}=12.373$ ;  $p=0.000$ ) ve katkı oranı ( $F_{96,3}=159.094$ ;  $p=0.000$ )  $\alpha=0.01$  anlam düzeyinde önemlidir. Dozaj\*katkı oranı ( $F_{96,3}=6.820$ ;  $p=0.000$ ), K/Ç\*katkı oranı ( $F_{96,6}=3.738$ ;  $p=0.002$ ) ikili etkileşimleri ve kür\*dozaj\*K/Ç oranı\*katkı oranı dördü etkileşimi ( $F_{96,6}=3.792$ ;  $p=0.002$ )  $\alpha=0.01$  anlam düzeyinde çok önemli, diğer ikili ve üçlü etkileşimlerin  $\alpha=0.05$  anlam düzeyinde önemsiz olduğu belirlenmiştir.

Bu çalışmada üretilen gaz betonların alüminyum ve hidrojen peroksit katkısının etkilerini görmek amacıyla yapılan (Çizelge 4.10) varyans analiz sonuçları incelendiğinde; kür ( $F_{192,1}=1.162$ ;  $p=0.245$ ) ve K/Ç oranının ( $F_{192,2}=1.059$ ;  $p=0.349$ )  $\alpha=0.05$  anlam düzeyinde önemsiz olduğu görülmüştür. Ancak gaz beton örneklerin birim hacim ağırlık değerlerinde katkı ( $F_{192,1}=250.245$ ;  $p=0.000$ ), dozaj ( $F_{192,1}=42.753$ ;  $p=0.000$ ) ve katkı oranı ( $F_{192,3}=632.375$ ;  $p=0.000$ ) değerlerinin  $\alpha=0.01$  anlam düzeyinde çok önemli olduğu bulunmuştur.

Gaz beton örnekleri üzerinde bağımsız değişkenlerin çoklu etkileşimleri incelendiğinde; kür\*dozaj, katkı\*kür\*dozaj, katkı\*K/Ç oranı\*katkı oranı etkileşimlerinin  $\alpha=0.05$  anlam düzeyinde önemli, katkı\*dozaj, katkı\*K/Ç oranı, dozaj\*K/Ç oranı, katkı\*katkı oranı, dozaj\*katkı oranı, katkı\*kür\*dozaj\* katkı oranı, dozaj\*K/Ç oranı\*katkı oranı ile kür\*dozaj\*K/Ç oranı\*katkı oranı etkileşimlerinin ise  $\alpha=0.01$  anlam düzeyinde çok önemli olduğu görülmüştür. Ancak diğer etkileşimlerin  $\alpha=0.05$  anlam düzeyinde önemsiz olduğu saptanmıştır.

Örneklerin birim hacim ağırlık değerlerinde oluşan anlamlı farkın hangi alt gruplarda olduğunu belirlemek için Duncan çoklu karşılaştırma testi kullanılmıştır. Buhar kürü ve su kürü örneklerinde, artan katkı oranına bağlı olarak her grup kontrol grubuna göre; istatistiksel açıdan ( $\alpha=0.05$  anlam düzeyinde) önemli farklara sahiptir. Bu farklar “a”, “b”, “c”, “d” harfleri ile sembolize edilerek Çizelge 4.7 ve Çizelge 4.8’de birim hacim ağırlık değerlerindeki değişimler ile birlikte verilmiştir. Alüminyum katkılı buhar ve su kürü örneklerinde istatistiksel açıdan önemli olan bu farklılığın değişim aralığı, hidrojen peroksit katkılı örneklere göre daha geniş aralıkta olduğu söylenebilir. Ancak buhar ve su kürü örneklerinde hem 250 dozajlı hem de 350 dozajlı alt gruplarda artan kireç oranının birim hacim ağırlık değerlerine etkisi istatistiksel açıdan ( $\alpha=0.05$  anlam düzeyinde) önemsiz bulunmuştur.

Pomza ile üretilen gaz beton örneklerin artan katkı oranına bağlı olarak birim hacim ağırlığının azaldığı, bu azalmanın  $y = -127.3x + 1546.8$  regresyon denklemi ile tanımlanabileceği,  $R^2 = 0.951$  ile kuvvetli bir ilişkinin söz konusu olduğu görülmektedir (Şekil 4.9).



**Şekil 4.9.** Katkı oranı ile birim hacim ağırlık arasındaki ilişki

#### 4.2.2. Su emme oranı

Araştırma konusu gaz betonların su emme oranları; katkı çeşidi ve artan katkı oranına bağlı olarak, su kürü ve buhar kürü gruplarında artış göstermiştir. Su emme oranındaki artışta %12.56 ile %32.07 arasında değişen değerler saptanmıştır. Su emme oranındaki değişime ilişkin değerler buhar kürü ve su kürü için Çizelge 4.11 ve Çizelge 4.12’de verilmiştir.

Değişen K/Ç oranına bağlı olarak kontrol grubuna göre su emme oranı değerleri 250 kg/m<sup>3</sup> dozajlı buhar kürü uygulanan alüminyum katkılı örneklerde ortalama %39.48 oranında artış gösterirken, hidrojen peroksit katkılı örneklerde bu oran %12.59 olarak belirlenmiştir. Su emme oranında ortalama maksimum artış miktarları incelendiğinde (Çizelge 4.11); alüminyum katkılı 250 kg/m<sup>3</sup> dozajlı buhar kürü örnekleri için B9 grubunda (0.60 K/Ç oranında %5 alüminyum katkısı) %95.10, hidrojen peroksit bulunan gruplarda maksimum artış %36.31 oranı ile B3 grubunda (0.20 K/Ç oranında %5 hidrojen peroksit katkısı) gerçekleşmiştir. Bu durum 250 kg/m<sup>3</sup> dozajlı buhar kürü örneklerinde maksimum birim hacim ağırlıklarda maksimum su emme oranı saptanmıştır.

Katkı oranına göre değerlerdeki değişimler kontrol gruplarıyla karşılaştırıldığında; alüminyum ile hazırlanan buhar kürü örneklerinde %1 oranında katkı ortalama %4.71, %2 oranında katkı %21.45 ve %5 oranında katkı ise %92.27 oranında su emme değerlerinde artışa yol açmıştır. Bu değerler %1, %2 ve %5 hidrojen peroksit katkısı için sırasıyla; -%5.36, %14.98 ve %28.16 oranlarında gerçekleşmiştir. Bu artışlar 0.40 ve 0.60 K/Ç oranında %1 hidrojen peroksit katkısı gruplarında (B4, B7, S4, S7) azalan değer olarak belirlenmiş, diğer gruplara göre farklılık göstermiştir.

**Çizelge 4.11.** Buhar kürü örneklerinde su emme oranı değerleri

Kür şekli	Dozaj (kg/m <sup>3</sup> )	K/Ç oranı	Katkı oranı (%)	Grup simgesi	N	Su emme oranı (%)	
						Alüminyum	Hidrojen peroksit
Buhar kürü	250	0.20	0	BK1	3	13.44±1.31d	13.44±1.31a
			1	B1	3	15.74±0.15c	14.96±1.76a
			2	B2	3	18.41±0.67b	16.04±3.61a
			5	B3	3	25.67±0.58a	18.32±2.49a
			Ortalama		18.31A	15.69A	
		0.40	0	BK2	3	13.90±0.89c	13.90±0.89b
			1	B4	3	13.75±0.71c	12.38±3.27b
			2	B5	3	16.83±1.08b	15.36±1.08ab
			5	B6	3	26.51±5.56a	18.08±1.23a
			Ortalama		17.75A	14.93A	
		0.60	0	BK3	3	15.32±1.38b	15.31±1.38ab
			1	B7	3	15.03±1.14b	12.74±2.45b
	2		B8	3	15.84±1.25b	17.63±0.28a	
	5		B9	3	29.89±0.72a	18.00±2.01a	
	Ortalama		19.02A	15.92A			
	Genel Ortalama		18.36	15.51			
	350	0.20	0	BK4	3	13.87±0.69d	13.87±0.69b
			1	B10	3	15.03±0.68c	11.82±2.13b
			2	B11	3	21.31±0.45b	20.88±6.20a
			5	B12	3	28.45±0.35a	20.76±2.17a
			Ortalama		19.67A	16.83A	
		0.40	0	BK5	3	14.35±0.16d	14.35±0.16b
			1	B13	3	18.50±0.21c	15.37±2.72b
			2	B14	3	21.53±1.33b	17.81±3.24ab
5			B15	3	31.30±1.18a	21.42±0.76a	
Ortalama			21.42A	17.24A			
0.60		0	BK6	3	14.65±0.54a	14.65±0.54b	
		1	B16	3	21.82±0.42b	14.39±0.36b	
	2	B17	3	22.82±1.78b	14.06±0.39b		
	5	B18	3	30.57±2.39c	20.49±3.86a		
	Ortalama		22.47A	15.90A			
Genel Ortalama		21.18	16.66				
<b>Buhar Kürü Uygulaması Genel Ortalamaları</b>						<b>19.77</b>	<b>16.08</b>



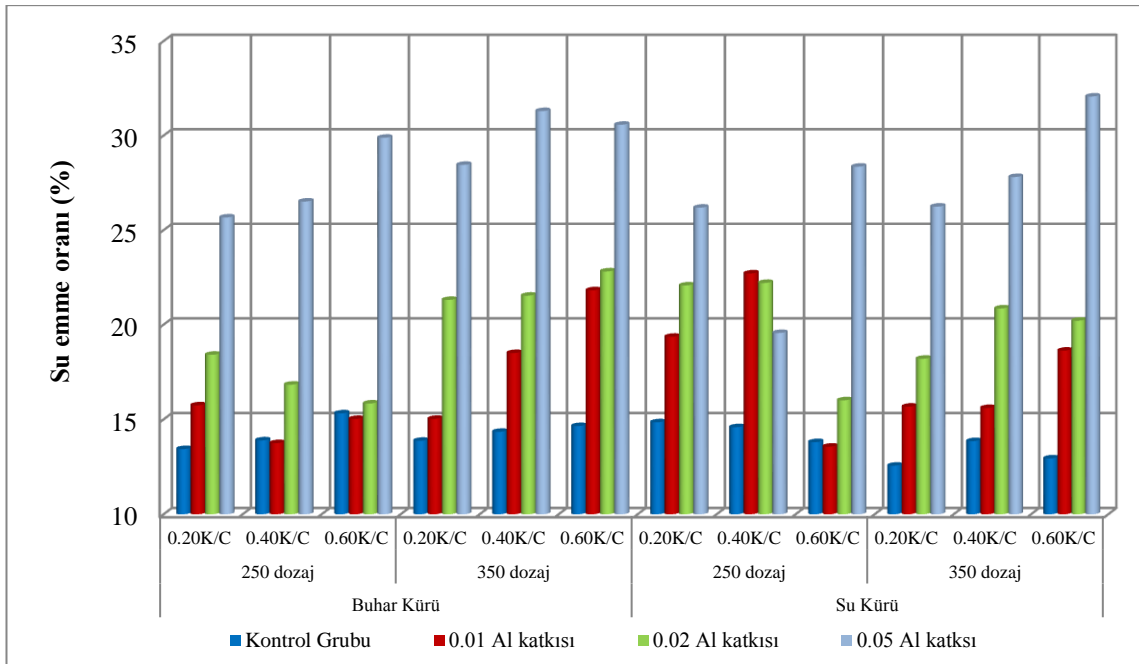
Çizelge 4.12. Su kürü örneklerinde su emme oranı değerleri

Kür şekli	Dozaj (kg/m <sup>3</sup> )	K/Ç oranı	Katkı oranı (%)	Grup simgesi	N	Su emme oranı (%)	
						Alüminyum	Hidrojen peroksit
Su kürü	250	0.20	0	SK1	3	14.85±0.76c	14.85±0.76b
			1	S1	3	19.36±2.03b	16.72±0.97b
			2	S2	3	22.08±0.66ab	18.11±3.33ab
			5	S3	3	26.19±3.86a	22.90±4.59a
			Ortalama		20.62A	18.15A	
		0.40	0	SK2	3	14.59±1.83b	14.59±1.83a
			1	S4	3	22.71±3.85a	14.64±2.64a
			2	S5	3	22.21±4.13a	16.41±1.79a
			5	S6	3	19.56±2.81ab	18.44±1.31a
			Ortalama		19.78A	16.02A	
		0.60	0	SK3	3	13.80±4.67a	13.80±4.67b
			1	S7	3	13.57±4.62a	14.19±0.70b
	2		S8	3	16.01±3.97a	15.39±1.67b	
	5		S9	3	28.36±7.83b	20.80±1.21a	
	Ortalama		17.93A	16.05A			
	Genel Ortalama		19.44	16.74			
	350	0.20	0	SK4	3	12.56±0.55c	12.56±0.55b
			1	S10	3	15.67±2.09b	20.80±0.41a
			2	S11	3	18.20±1.57b	20.49±3.62a
			5	S12	3	26.24±0.75a	14.65±3.10b
			Ortalama		18.17A	17.13A	
		0.40	0	SK5	3	13.86±1.62c	13.86±1.65b
			1	S13	3	15.60±3.16c	14.65±3.01b
			2	S14	3	20.86±3.55b	17.78±2.31ab
5			S15	3	27.81±0.61a	24.51±6.64a	
Ortalama			19.53A	17.70A			
0.60		0	SK6	3	12.95±0.21d	12.95±0.21b	
		1	S16	3	18.63±0.73c	16.40±1.82b	
	2	S17	3	20.21±0.95b	20.29±2.33a		
	5	S18	3	32.07±0.61a	20.34±2.57a		
	Ortalama		20.96A	17.49A			
Genel Ortalama		19.56	17.44				
<b>Su Kürü Uygulaması Genel Ortalamaları</b>						<b>19.50</b>	<b>17.09</b>

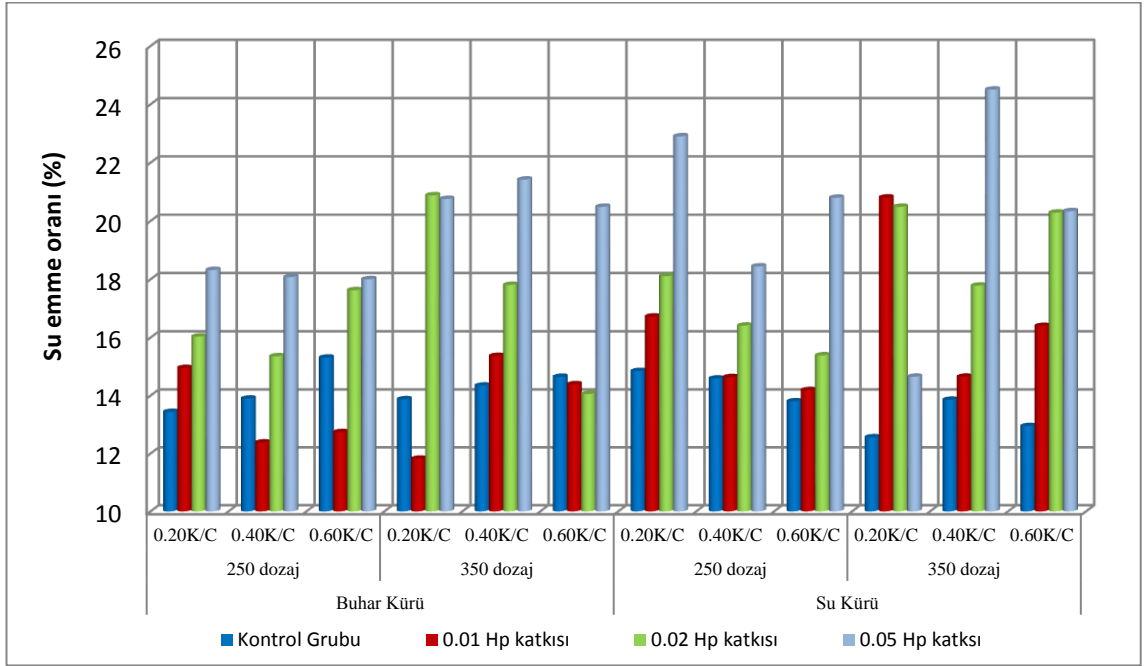
Farklı K/Ç oranına göre 350 kg/m<sup>3</sup> dozajlı buhar kürü örneklerinde su emme oranındaki değişimler kontrol gruplarıyla karşılaştırıldığında; alüminyum katkılı örneklerin ortalama %64.17, hidrojen peroksit katkılı örneklerde %22.22 oranında artış olduğu saptanmıştır. Su emme oranındaki değişimlerde maksimum artış oranı alüminyum katkılı, 350 dozajlı buhar kürü örneklerinde B15 grubunda (0.40 K/Ç oranında %5 alüminyum katkısı) %118.12; hidrojen peroksit bulunan gruplarda %49.68 oranı ile B3 grubunda (0.20 K/Ç oranında %5 hidrojen peroksit katkısı) gerçekleşmiştir.

Katkı oranının artışa etkisi incelendiğinde  $350 \text{ kg/m}^3$  dozajlı buhar kürü örneklerinde su emme oranındaki değişim; sırasıyla %1, %2 ve %5 katkı miktarlarında ortalama %28.74, %53.15 ve %110.64 oranlarında artışa neden olduğu saptanmıştır. Bu değerler  $350 \text{ kg/m}^3$  dozajlı hidrojen peroksit katkılı gruplar için incelendiğinde sırasıyla; %1 katkı için ortalama -%3.15, %2 katkı için %23.54 ve %5 katkı için %46.27 oranında gerçekleşmiştir. Bu değerler sadece B16 ve B17 gruplarında (0.60 K/Ç oranında %1 ve %2 oranında hidrojen peroksit katkısında) yaklaşık -%2-5 arasında değişen oranlarda azalarak farklılık göstermiştir.

Buhar kürü örneklerinin tamamı incelendiğinde (Şekil 4.10, Şekil 4.11), artan alüminyum ve hidrojen peroksit katkısına göre su emme oranında artış söz konusudur. Su emme oranları, düşük birim hacim ağırlığa sahip örneklerde yüksek değerler olarak kendisini göstermiştir. Bu durum beton gözenek hacminin artması ile açıklanabilir.



Şekil 4.10. Alüminyum katkılı betonların su emme oranı değerlerindeki değişim



**Şekil 4.11.** Hidrojen peroksit katkılı betonların su emme oranı değerlerindeki değişim

Değişen K/Ç oranına bağlı olarak alüminyum katkılı su kürü örneklerinde su emme oranındaki değişim incelendiğinde (Çizelge 4.11 ve Çizelge 4.12); 250 kg/m<sup>3</sup> dozajlı örneklerde ortalama %43.36, hidrojen peroksit katkılı örnekler için de %21.45 oranında artış saptanmıştır. Su emme oranındaki maksimum artış oranı alüminyum katkılı 250 kg/m<sup>3</sup> dozajlı su kürü örneklerinde S9 grubunda (0.60 K/Ç oranında %5 alüminyum katkısı) %105.51 olarak gerçekleşirken, hidrojen peroksit bulunan gruplarda maksimum artış %54.21 oranı ile S3 grubunda (0.20 K/Ç oranında %5 hidrojen peroksit katkısı) görülmüştür.

Katkı oranının su emmeye etkisi ise 250 kg/m<sup>3</sup> dozajlı alüminyumla hazırlanan su kürü örneklerinde %1 oranında katkı ortalama %28.12 oranında, %2 oranında katkı %38.98 oranında ve %5 oranında katkı ise 71.31 oranında artışa yol açmıştır. Bu değerler hidrojen peroksit katkısı için incelendiğinde sırasıyla; %1, %2 ve %5 katkı ilavesi için ortalama %5.25, %15.31 ve %43.77 oranlarında artış olarak gerçekleşmiştir.

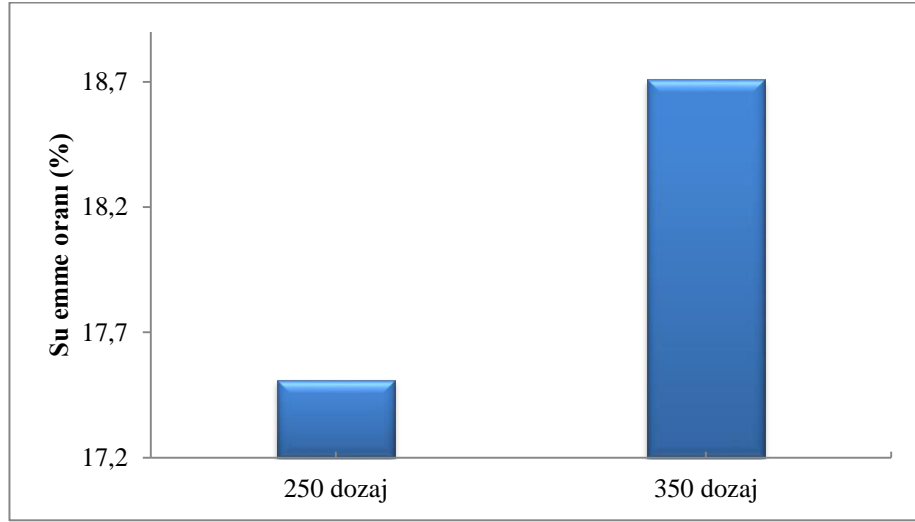
Su emme oranındaki değişimler 350 kg/m<sup>3</sup> dozajlı su kürü örnekleri için incelendiğinde,

alüminyum katkılı örneklerin değişen K/Ç oranına bağlı olarak ortalama %64.87 oranında artış gösterirken, bu oran hidrojen peroksit katkılı örneklerde %44.07 olarak bulunmuştur. Su emme oranındaki maksimum artış miktarı ise alüminyum katkılı su kürü örneklerinde S18 grubunda (0.60 K/Ç oranında %5 alüminyum katkısı) %147.64, hidrojen peroksit bulunan gruplarda %76.84 oranı ile S15 grubunda (0.20 K/Ç oranında %5 hidrojen peroksit katkısı) saptanmıştır.

Alüminyum ile hazırlanan  $350 \text{ kg/m}^3$  dozajlı su kürü örneklerinde %1 oranında katkı örneklerde ortalama %27.06 oranında, %2 oranında katkı ortalama %48.49 ve %5 katkı da %119.07 oranında artışa yol açmıştır. Bu değerler  $350 \text{ kg/m}^3$  dozajlı hidrojen peroksit katkılı gruplar için incelendiğinde sırasıyla; %1 katkı için ortalama %32.65, %2 katkı için %49.37 ve %5 katkı için %50.18 oranında artış olarak gerçekleşmiştir.

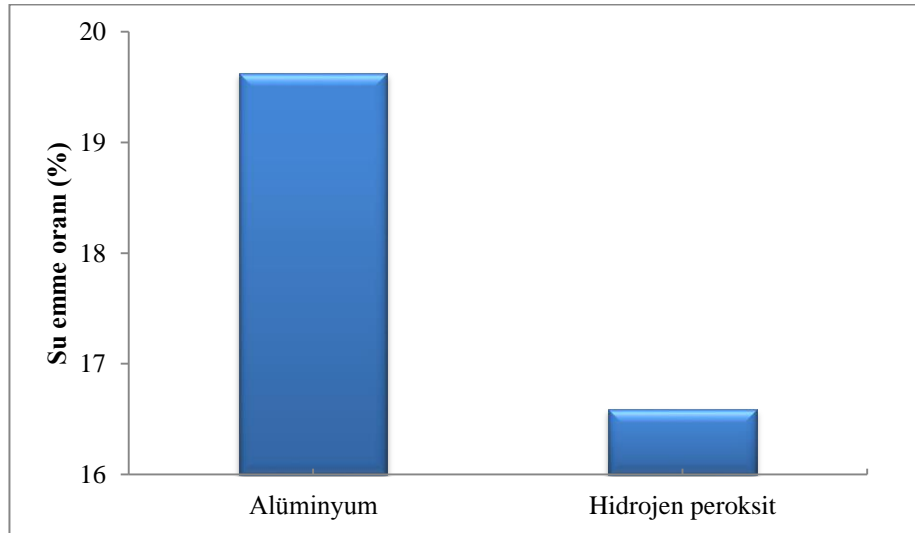
Su kürü örnekleri incelendiğinde, artan alüminyum ve hidrojen peroksit katkısının su emme oranındaki artışa etkisi buhar kürü örnekleri ile paralellik göstermiştir. (Şekil 4.10, Şekil 4.11). Ancak buhar kürü ile su kürü karşılaştırıldığında, su kürü uygulanan grupların buhar kürü uygulanan gruplara göre daha yüksek su emme değerlerine sahip olduğu belirlenmiştir.

Dozajın su emme oranındaki değişime etkisi incelendiğinde (Şekil 4.12)  $350 \text{ kg/m}^3$  dozajlı örneklerin su emme değerleri ortalamasının  $250 \text{ kg/m}^3$  dozajlı örneklerden daha yüksek olduğu görülmektedir. Bu durum çimento ağırlığının %'si olarak karışımı eklenen katkının fazlalığı ve buna paralel olarak artan kabarma düzeyinde oluşan gözenekli yapı ile açıklanabilir.



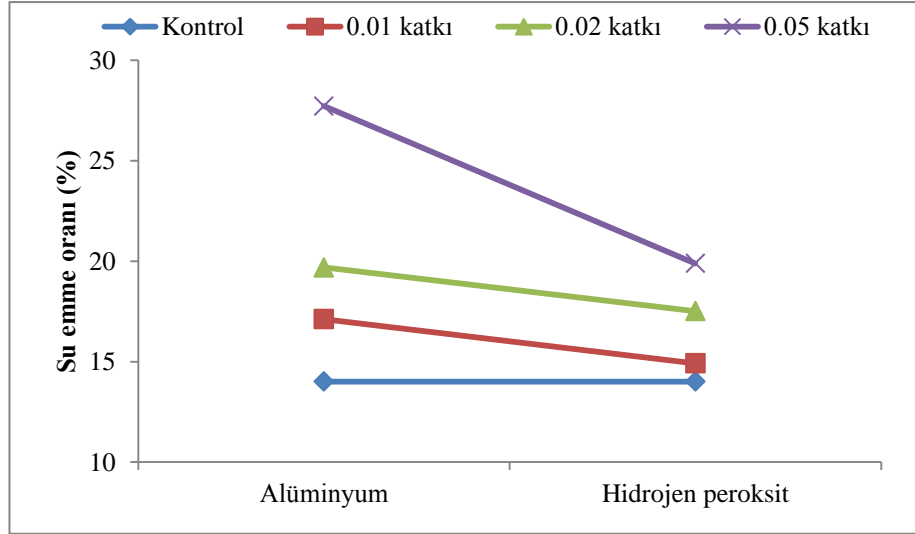
**Şekil 4.12.** Gaz beton örneklerde su emme oranına dozajın etkisi

Su emme oranına alüminyum ve hidrojen peroksit katkısının etkisi Şekil 4.13’de gösterilmiştir. Su emme oranı ortalama değerleri göz önüne alındığında, alüminyum katkılı örneklerin hidrojen peroksit katkılı örneklere göre daha çok su emme potansiyeline sahip olduğu söylenebilir.



**Şekil 4.13.** Gaz beton örneklerde katkıya bağlı su emme oranındaki değişim

Gaz beton örneklerde su emme oranına katkı oranının etkisi (Şekil 4.14) incelendiğinde karışıma giren katkı maddesi miktarı arttıkça su emme oranının arttığı görülmektedir. Ancak hidrojen peroksit katkılı örneklerde su emme oranındaki artış alüminyum katkılı örneklerden daha düşük oranda gerçekleşmiştir.



**Şekil 4.14.** Gaz beton örneklerde su emme oranına katkı oranının etkisi

Su emme oranındaki değerlerinin istatistiksel açıdan anlamlı bir fark olup olmadığının belirlenmesi amacıyla çoklu varyans analizi yapılmıştır. Alüminyum ve hidrojen peroksit katkılı örnekler ayrı birer grup olarak düşünülerek yapılan varyans analizi sonuçları Çizelge 4.13'de, gruplar arasındaki katkının farkını belirleyebilmek için yapılan varyans analizi sonuçları da Çizelge 4.14'te verilmiştir.

**Çizelge 4.13.** Kür, K/Ç oranı, katkı oranı ve dozaj bağımsız değişkenlerinin alüminyum ve hidrojen peroksit katkılı örneklerin su emme oranı değerlerine olan etkilerine ilişkin varyans analiz sonuçları

Katkı	Kareler toplamı (SS)	Serbestlik derecesi (df)	Kareler ortalaması (MS)	F	P	
Alüminyum	Kür (K)	2.714	1	2.714	0.526	0.470 <sup>ns</sup>
	Dozaj (D)	77.719	1	77.719	15.070	0.000 <sup>**</sup>
	K/Ç	19.581	2	9.790	1.898	0.155 <sup>ns</sup>
	Katkı oranı (KO)	3 719.150	3	1 239.717	240.378	0.000 <sup>**</sup>
	K * D	66.002	1	66.002	12.798	0.001 <sup>**</sup>
	K * K/Ç	19.349	2	9.675	1.876	0.159 <sup>ns</sup>
	D * K/Ç	87.161	2	43.580	8.450	0.000 <sup>**</sup>
	K * D * K/Ç	23.626	2	11.813	2.291	0.107 <sup>ns</sup>
	K* KO	46.410	3	15.470	3.000	0.034 <sup>*</sup>
	D * KO	80.802	3	26.934	5.222	0.002 <sup>**</sup>
	K * D * K	71.204	3	23.735	4.602	0.005 <sup>**</sup>
	K/Ç * KO	122.556	6	20.426	3.961	0.001 <sup>**</sup>
	K * K/Ç * KO	101.883	6	16.981	3.292	0.005 <sup>**</sup>
	D * K/Ç * KO	133.602	6	22.267	4.318	0.001 <sup>**</sup>
	K * D * K/Ç * KO	49.210	6	8.202	1.590	0.158 <sup>ns</sup>
	Hata	495.106	96	5.157		
Toplam	60 629.327	144				
Hidrojen peroksit	Kür (K)	36.321	1	36.321	5.656	0.019 <sup>*</sup>
	Dozaj (D)	30.655	1	30.655	4.774	0.031 <sup>*</sup>
	K/Ç	9.849	2	4.924	0.767	0.467 <sup>ns</sup>
	Katkı oranı (KO)	763.226	3	254.409	39.616	0.000 <sup>**</sup>
	K * D	1.742	1	1.742	0.271	0.604 <sup>ns</sup>
	K * K/Ç	2.518	2	1.259	0.196	0.822 <sup>ns</sup>
	D * K/Ç	23.171	2	11.585	1.804	0.170 <sup>ns</sup>
	K * D * K/Ç	19.987	2	9.994	1.556	0.216 <sup>ns</sup>
	K* KO	44.226	3	14.742	2.296	0.083 <sup>ns</sup>
	D * KO	34.100	3	11.367	1.770	0.158 <sup>ns</sup>
	K * D * K	44.042	3	14.681	2.286	0.084 <sup>ns</sup>
	K/Ç * KO	62.082	6	10.347	1.611	0.152 <sup>ns</sup>
	K * K/Ç * KO	52.843	6	8.807	1.371	0.234 <sup>ns</sup>
	D * K/Ç * KO	81.299	6	13.550	2.110	0.059 <sup>ns</sup>
	K * D * K/Ç * KO	143.749	6	23.958	3.731	0.002 <sup>**</sup>
	Hata	616.493	96	6.422		
Toplam	41 579.244	144				

\*\* : p<0.01; \* : p<0.05; ns: önemsiz

**Çizelge 4.14.** Katkı çeşidi, kür, K/Ç oranı, katkı oranı ve dozaj bağımsız değişkenlerinin gaz beton örneklerin su emme oranı değerlerine olan etkilerine ilişkin varyans analiz sonuçları

	Kareler toplamı (SS)	Serbestlik derecesi (df)	Kareler ortalaması (MS)	F	P	$\eta^2$
Katkı (Ka)	669.140	1	669.140	115.577	0.000*	0.376
Kür (K)	9.589	1	9.589	1.656	0.200 <sup>ns</sup>	0.009
Dozaj (D)	102.997	1	102.997	17.790	0.000**	0.085
K/Ç	1.671	2	0.836	0.144	0.866 <sup>ns</sup>	0.002
Katkı oranı (KO)	3 877.293	3	1 292.431	223.234	0.000**	0.777
Ka * K	29.446	1	29.446	5.086	0.025*	0.026
Ka * D	5.376	1	5.376	0.929	0.336 <sup>ns</sup>	0.005
K * D	44.596	1	44.596	7.703	0.006**	0.039
Ka * K * D	23.148	1	23.148	3.998	0.047*	0.020
Ka * K/Ç	27.758	2	13.879	2.397	0.094 <sup>ns</sup>	0.024
K * K/Ç	14.791	2	7.396	1.277	0.281 <sup>ns</sup>	0.013
Ka * K * K/Ç	7.076	2	3.538	0.611	0.544 <sup>ns</sup>	0.006
D * K/Ç	74.692	2	37.346	6.451	0.002**	0.063
Ka * D * K/Ç	35.640	2	17.820	3.078	0.048*	0.031
K * D * K/Ç	41.273	2	20.636	3.564	0.030*	0.036
Ka * K * D * K/Ç	2.340	2	1.170	0.202	0.817 <sup>ns</sup>	0.002
Ka * KO	605.083	3	201.694	34.837	0.000**	0.352
K * KO	70.489	3	23.496	4.058	0.008**	0.060
Ka * K * KO	20.147	3	6.716	1.160	0.326 <sup>ns</sup>	0.018
D * KO	92.349	3	30.783	5.317	0.002**	0.077
Ka * D * KO	22.553	3	7.518	1.298	0.276 <sup>ns</sup>	0.020
K * D * KO	1.718	3	0.573	0.099	0.961 <sup>ns</sup>	0.002
Ka * K * D * KO	113.528	3	37.843	6.536	0.000**	0.093
K/Ç * KO	98.300	6	16.383	2.830	0.012*	0.081
Ka * K/Ç * KO	86.338	6	14.390	2.485	0.024*	0.072
K * K/Ç * KO	67.181	6	11.197	1.934	0.077 <sup>ns</sup>	0.057
Ka * K * K/Ç * KO	87.546	6	14.591	2.520	0.023*	0.073
D * K/Ç * KO	136.239	6	22.707	3.922	0.001**	0.109
K * D * K/Ç * KO	78.662	6	13.110	2.264	0.039**	0.066
K * D * K/Ç * KO	160.476	6	26.746	4.620	0.000**	0.126
Ka * K * D * K/Ç * KO	32.483	6	5.414	0.935	0.471 <sup>ns</sup>	0.028
Hata	1 111.600	192	5.790			
Toplam	102 208.571	288				

\*\* : p<0.01; \* : p<0.05; ns: önemsiz

Alüminyum katkılı örneklerde birim hacim ağırlık değerlerine ilişkin Çizelge 4.13 incelendiğinde, kür koşullarının ( $F_{96,1}=0.526$ ;  $p=0.470$ ) ve K/Ç oranının ( $F_{96,2}=1.898$ ;  $p=0.155$ )  $\alpha=0.05$  anlam düzeyinde önemsiz olduğu, dozaj ( $F_{96,1}=15.70$ ;  $p=0.000$ ) ve



katkı oranının ( $F_{96,3}=240.378$ ;  $p=0.000$ )  $\alpha=0.01$  anlam düzeyinde çok önemli olduğu görülmüştür. Bağımsız değişkenlerin çoklu etkileşimleri incelendiğinde; kür\*dozaj etkileşimi ( $F_{96,1}=12.798$ ;  $p=0.001$ ), dozaj\*K/Ç oranı etkileşimi ( $F_{96,2}=8.450$ ;  $p=0.000$ ), dozaj\*katkı oranı etkileşimi ( $F_{96,3}=5.222$ ;  $p=0.002$ ), K/Ç\*katkı oranı etkileşimi ( $F_{96,6}=3.961$ ;  $p=0.001$ ), kür\*dozaj\*katkı oranı etkileşimi ( $F_{96,3}=4.602$ ;  $p=0.005$ ), kür\*K/Ç\*katkı oranı etkileşimi ( $F_{96,6}=3.292$ ;  $p=0.005$ ) ve dozaj\*K/Ç\* katkı oranı ( $F_{96,6}=1.590$ ;  $p=0.001$ ) etkileşimlerinin  $\alpha=0.01$  anlam düzeyinde çok önemli olduğu, kür\*katkı oranı ( $F_{96,3}=3.000$ ;  $p=0.034$ ) etkileşiminin ise  $\alpha=0.05$  anlam düzeyinde önemli olduğu saptanmıştır. Ancak kür\*K/Ç etkileşimi ( $F_{96,2}=1.876$ ;  $p=0.159$ ), kür\*dozaj\*K/Ç oranı etkileşimi ( $F_{96,2}=2.291$ ;  $p=0.107$ ) ve kür\*dozaj\*K/Ç\*katkı oranı ( $F_{96,6}=1.590$ ;  $p=0.158$ ) etkileşimlerinin ise  $\alpha=0.05$  anlam düzeyinde önemsiz olduğu belirlenmiştir.

Hidrojen peroksit katkılı örneklerin birim hacim ağırlık değerleri incelendiğinde (Çizelge 4.13); kür ( $F_{96,1}=5.656$ ;  $p=0.019$ ) ve dozaj ( $F_{96,1}=4.474$ ;  $p=0.031$ ) bağımsız değişkenleri  $\alpha=0.05$  anlam düzeyinde önemli olduğu, katkı oranı ( $F_{96,3}=39.616$ ;  $p=0.000$ )  $\alpha=0.01$  anlam düzeyinde çok önemli olduğu ve K/Ç etkileşiminin ( $F_{96,2}=0.767$ ;  $p=0.467$ )  $\alpha=0.05$  anlam düzeyinde önemsiz olduğu bulunmuştur. Ancak çoklu etkileşimlerde kür\*dozaj\*K/Ç oranı\*katkı oranı dördü etkileşimi ( $F_{96,6}=3.792$ ;  $p=0.002$ )  $\alpha=0.01$  anlam düzeyinde çok önemli olduğu, diğer çoklu etkileşimlerin  $\alpha=0.05$  anlam düzeyinde önemsiz olduğu saptanmıştır.

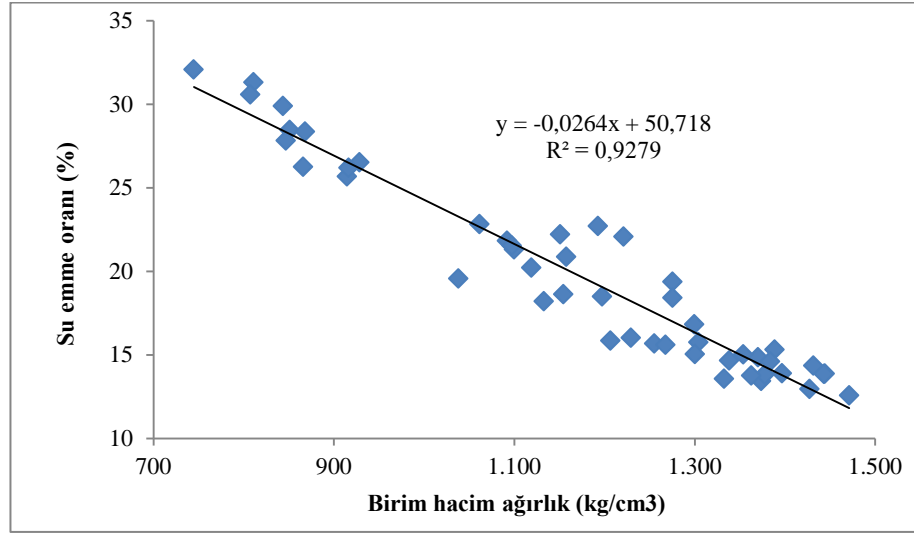
Bu çalışmada üretilen gaz betonların alüminyum ve hidrojen peroksit katkısının etkilerini görmek amacıyla yapılan (Çizelge 4.14) varyans analiz sonuçları incelendiğinde; kür ( $F_{192,1}=1.656$ ;  $p=0.200$ ) ve K/Ç oranının ( $F_{192,2}=0.144$ ;  $p=0.866$ )  $\alpha=0.05$  anlam düzeyinde önemsiz olduğu görülmüştür. Ancak gaz beton örneklerin birim hacim ağırlık değerlerinde katkı ( $F_{192,1}=115.577$ ;  $p=0.000$ ), dozaj ( $F_{192,1}=17.790$ ;  $p=0.000$ ) ve katkı oranı ( $F_{192,3}=223.234$ ;  $p=0.000$ ) değerleri  $\alpha=0.01$  anlam düzeyinde çok önemli olmuştur.

Gaz beton örnekleri üzerinde bağımsız değişkenlerin çoklu etkileşimleri incelendiğinde; katkı\*kür, katkı\*kür\*dozaj, dozaj\*K/Ç, katkı\*dozaj\*K/Ç, kür\*dozaj\*K/Ç, K/Ç\*katkı

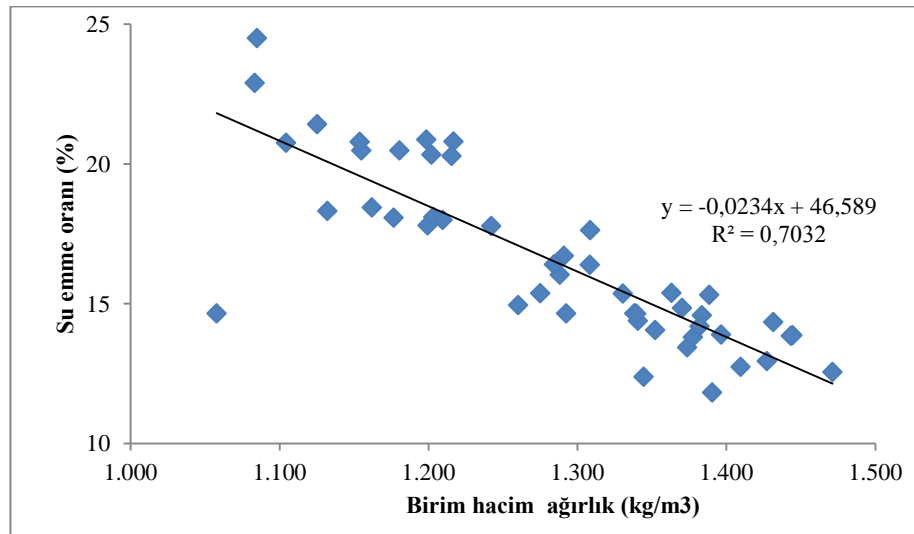
oranı, katkı\*K/Ç\*katkı oranı, kür\*K/Ç\*katkı oranı, katkı\*kür\*K/Ç\*katkı oranı, kür\*dozaj\*K/Ç\*katkı oranı etkileşimlerinin  $\alpha=0.05$  anlam düzeyinde önemli, katkı\*dozaj, katkı\*kür\*dozaj, dozaj\*K/Ç, katkı\*katkı oranı, kür\*katkı oranı, dozaj\*katkı oranı, katkı\*kür\*dozaj\*katkı oranı, dozaj\*K/Ç\*katkı oranı ile kür\*dozaj\*K/Ç\*katkı oranı etkileşimlerinin ise  $\alpha=0.01$  anlam düzeyinde çok önemli olduğu bulunmuştur. Ancak diğer etkileşimlerin  $\alpha=0.05$  anlam düzeyinde önemsiz olduğu saptanmıştır.

Duncan çoklu karşılaştırma testi, su emme değerlerinde oluşan anlamlı farkın hangi alt gruplarda olduğunu belirlemek için de kullanılmıştır. Buhar kürü ve su kürü örneklerinde, artan katkı oranına bağlı olarak hemen hemen tüm gruplar istatistiksel açıdan ( $\alpha=0.05$  anlam düzeyinde) önemli farklara sahip olduğu belirlenmiştir. Bu farklar “a”, ”b”, “c”, “d” harfleri ile sembolize edilerek Çizelge 4.11 ve Çizelge 4.12’de su emme oranı değerleri ile birlikte verilmiştir. Su emme değerlerinde hidrojen peroksit katkılı  $250 \text{ kg/m}^3$  dozajlı 0.20 K/Ç oranındaki buhar kürü grubu ile 0.40 K/Ç oranındaki su kürü grubunda istatistiksel açıdan önemli fark görülmemiştir. Ancak alüminyum katkılı buhar ve su kürü örneklerinde istatistiksel açıdan anlamlı farklılığın değişim aralığı, hidrojen peroksit katkılı örneklere göre daha geniş aralıkta olduğu su emme değerleri için de söylenebilir. Ancak buhar ve su kürü örneklerinde hem 250 dozajlı hem de 350 dozajlı alt gruplarda artan kireç oranının su emme oranı değerlerine etkisi birim hacim ağırlık değerlerinde olduğu gibi istatistiksel açıdan ( $\alpha=0.05$  anlam düzeyinde) önemsiz bulunmuştur.

Gaz beton örneklerde su emme oranının birim hacim ağırlıkla ilişkisini gösteren Şekil 4.15 ve Şekil 4.16 incelendiğinde, alüminyum katkılı örneklerin  $y = -0.0264x + 50.718$ , hidrojen peroksit katkılı örneklerin ise  $y = -0.0234x + 46.589$  regresyon denklemleri ile tanımlanabileceği saptanmıştır. Alüminyum katkılı örneklerde su emme oranı ile birim hacim ağırlık arasında  $R^2 = 0.9279$  ile kuvvetli bir ilişkinin söz konusu olduğu, ancak hidrojen peroksit katkılı örneklerde bu ilişkinin ( $R^2 = 0.7032$ ) alüminyuma göre daha zayıf olduğu görülmüştür.



**Şekil 4.15.** Alüminyum katkılı örneklerde birim hacim ağırlık - su emme oranı arasındaki ilişki



**Şekil 4.16.** Hidrojen peroksit katkılı örneklerde birim hacim ağırlık - su emme oranı arasındaki ilişki

### 4.2.3. Porozite

Araştırma konusu gaz betonların porozite oranı, katkı çeşidi ve artan katkı oranına bağlı olarak kontrol gruplarıyla karşılaştırıldığında, su kuru ve buhar kuru gruplarında genelde artış göstermiştir. Porozite değerlerindeki bu artış alüminyum katkılı buhar

kürü örneklerinde %54.46 su kürü örneklerinde ise %65.61 oranlarında saptanmıştır. Porozitedeki değişim değerleri buhar kürü ve su kürü için Çizelge 4.15 ve Çizelge 4.16'da verilmiştir.

**Çizelge 4.15.** Buhar kürü örneklerinde porozite değerleri

Kür şekli	Dozaj (kg/m <sup>3</sup> )	K/Ç oranı	Katki oranı (%)	Grup simgesi	N	Porozite (%)		
						Alüminyum	Hidrojen peroksit	
Buhar kürü	250	0.20	0	BK1	3	21.31±1.95a	21.31±1.95a	
			1	B1	3	24.36±0.44b	22.17±2.71a	
			2	B2	3	28.77±1.32c	24.62±5.60a	
			5	B3	3	31.60±1.20d	25.41±3.62a	
		Ortalama					26.51A	23.38A
		0.40	0	BK2	3	22.55±1.62bc	22.55±1.62ab	
			1	B4	3	21.73±1.13c	18.94±4.73b	
			2	B5	3	26.31±1.89b	24.13±1.39ab	
			5	B6	3	32.51±3.41a	25.97±2.00a	
		Ortalama					25.78A	22.90A
		0.60	0	BK3	3	25.37±23.94b	25.37±1.41ab	
			1	B7	3	23.94±1.77b	20.58±3.99b	
	2		B8	3	22.71±1.71b	28.01±0.50a		
	5		B9	3	35.96±0.78a	26.54±2.81a		
	Ortalama					26.99A	25.04A	
	Genel Ortalama					26.43	23.77	
	350	0.20	0	BK4	3	23.26±1.14c	23.26±1.14ab	
			1	B10	3	22.98±0.65c	18.65±3.41b	
			2	B11	3	29.79±0.46b	31.70±9.73a	
			5	B12	3	33.84±0.81a	29.11±3.07ab	
		Ortalama					27.47A	25.68A
		0.40	0	BK5	3	23.97±0.40d	23.97±0.40b	
			1	B13	3	27.17±0.55c	23.11±3.80b	
			2	B14	3	29.45±1.03b	25.96±4.55ab	
5			B15	3	36.93±0.88a	30.68±1.08a		
Ortalama					29.38A	25.93A		
0.60		0	BK6	3	22.97±0.98c	22.97±0.98b		
		1	B16	3	30.48±0.78b	22.55±0.79b		
	2	B17	3	31.51±4.43ab	22.11±0.55b			
	5	B18	3	35.48±1.80a	29.61±4.78a			
Ortalama					30.11A	24.31A		
Genel Ortalama					28.99	25.31		
<b>Buhar Kürü Uygulaması Genel Ortalamaları</b>						<b>27.71</b>	<b>24.54</b>	

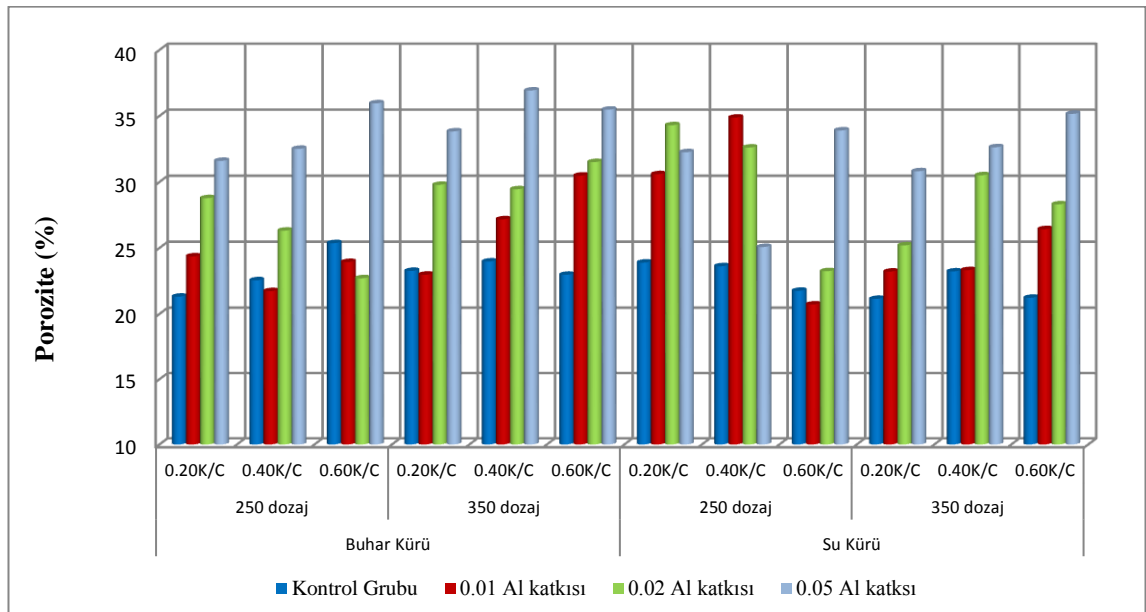
Çizelge 4.16. Su kürü örneklerinde porozite değerleri

Kür şekli	Dozaj (kg/m <sup>3</sup> )	K/Ç oranı	Katki oranı (%)	Grup simgesi	N	Porozite (%)		
						Alüminyum	Hidrojen peroksit	
Su kürü	250	0.20	0	SK1	3	23.89±1.03b	23.89±1.03b	
			1	S1	3	30.59±2.88a	25.92±1.53ab	
			2	S2	3	34.30±0.35a	26.55±4.58ab	
			5	S3	3	32.26±3.01a	32.20±6.39a	
		Ortalama					30.26A	27.14A
		0.40	0	SK2	3	23.62±2.78b	23.62±2.78a	
			1	S4	3	34.88±4.76a	22.95±3.99a	
			2	S5	3	32.61±4.71a	25.19±2.46a	
			5	S6	3	25.08±2.39b	27.28±1.64a	
		Ortalama					29.05A	16.02A
		0.60	0	SK3	3	21.75±6.53ab	21.75±6.53b	
			1	S7	3	20.72±6.24b	22.86±1.25b	
	2		S8	3	23.24±4.93ab	24.80±2.75ab		
	5		S9	3	33.90±7.93a	30.27±1.14a		
	Ortalama					24.91A	24.92A	
	Genel Ortalama					28.07	25.61	
	350	0.20	0	SK4	3	21.15±1.14c	21.15±1.14b	
			1	S10	3	23.21±1.99bc	31.96±0.81a	
			2	S11	3	25.19±1.92b	30.34±4.83a	
			5	S12	3	30.81±0.73a	30.34±4.84a	
		Ortalama					25.09A	28.45A
		0.40	0	SK5	3	23.22±2.84b	23.22±2.84b	
			1	S13	3	23.32±4.15b	22.34±5.56b	
			2	S14	3	30.51±5.31a	26.86±3.38ab	
5			S15	3	32.63±0.91a	35.06±8.80a		
Ortalama					27.42A	26.87A		
0.60		0	SK6	3	21.23±0.46d	21.23±0.46b		
		1	S16	3	26.43±0.85c	25.67±2.87ab		
	2	S17	3	28.31±0.45b	30.88±3.01a			
	5	S18	3	35.16±0.56a	30.68±3.77a			
Ortalama					27.78A	27.11A		
Genel Ortalama					26.76	27.48		
<b>Su Kürü Uygulaması Genel Ortalamaları</b>						<b>27.42</b>	<b>26.54</b>	

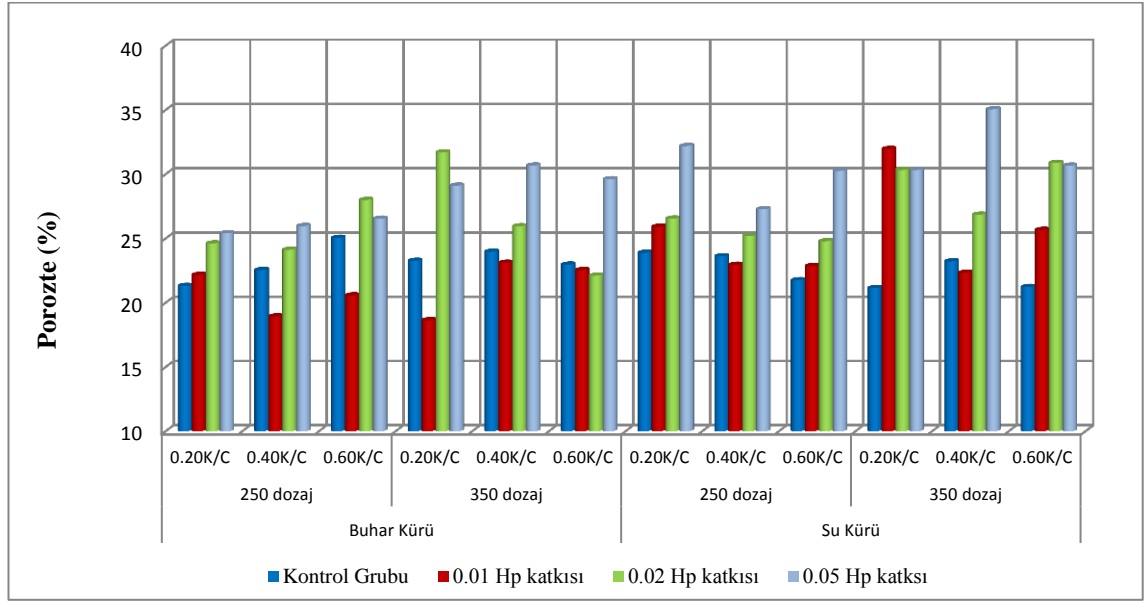
Çizelge 4.15 ve Çizelge 4.16 incelendiğinde, 250 kg/m<sup>3</sup> dozajlı buhar kürü örneklerine ilişkin kontrol gruplarında porozite değerleri doğrusal bir artış gösterirken, su kürü

örneklerinde azalış olduğu belirlenmiştir (Şekil 4.17, Şekil 4.18). Bu değişim  $350 \text{ kg/m}^3$  dozajlı buhar kürü örneklerinde incelendiğinde, 0.60 K/Ç oranına kadar küçük bir artış söz konusu iken 0.60 K/Ç oranında porozite değerinde azalış olmuştur. Su kürü örneklerinde de benzer durum söz konusu olmakla birlikte 0.60 K/Ç oranındaki azalış 0.20 K/Ç oranındaki kontrol grubu ile hemen hemen aynı düzeyde kalmıştır.

Değişen K/Ç oranına bağlı olarak porozite değerleri kontrol grupları ile karşılaştırıldığında,  $250 \text{ kg/m}^3$  dozajlı buhar kürü uygulanan alüminyum katkılı örnekler için ortalama %20.05 oranında artış gösterirken, hidrojen peroksit katkılı örneklerde bu oran %4.56 olarak belirlenmiştir. Su kürü uygulanan alüminyum katkılı örneklerde artış %28.50, hidrojen peroksit katkılı örneklerde ise %14.67 oranında gerçekleşmiştir. Buhar ve su kürü örnekleri için  $350 \text{ kg/m}^3$  dozajlı örneklerde porozite değerleri incelendiğinde; buhar kürü uygulanan alüminyum katkılı örneklerde ortalama %31.89, hidrojen peroksit katkılı örneklerde %10.84, su kürü uygulanan alüminyum katkılı örneklerde %26.70, hidrojen peroksit katkılı örneklerde ise %34.61 oranında artış saptanmıştır.



Şekil 4.17. Alüminyum katkılı betonların porozite değerlerindeki değişim



**Şekil 4.18.** Hidrojen peroksit katkılı betonların porozite değerlerindeki değişim

Porozite değerlerindeki maksimum artış miktarları  $250 \text{ kg/m}^3$  ve  $350 \text{ kg/m}^3$  dozajlı buhar ve su kürü örneklerinde 0.60 K/Ç oranına sahip %5 katkı oranındaki gruplarda belirlenmiştir. Porozitedeki maksimum değerler tüm guruplarda %5 katkı oranı ile sağlanmasına karşın %1 ve %2 katkıları için porozitede doğrusal bir artış saptanamamış, hem buhar hem de su kürü için bazı gruplarda azalışlar görülmüştür.

Porozite değerlerinde istatistiksel açıdan anlamlı bir fark olup olmadığının belirlenmesi amacıyla çoklu varyans analizi yapılmıştır. Alüminyum ve hidrojen peroksit katkılı örnekler ayrı birer grup olarak düşünülerek yapılan varyans analizi sonuçları Çizelge 4.17'de, gruplar arasındaki katkının farkını belirleyebilmek için yapılan varyans analizi sonuçları da Çizelge 4.18'de verilmiştir.

**Çizelge 4.17.** Kür, K/Ç oranı, katkı oranı ve dozaj bağımsız değişkenlerinin alüminyum ve hidrojen peroksit katkılı örneklerin porozite değerlerine olan etkilerine ilişkin varyans analiz sonuçları

Katkı	Kareler toplamı (SS)	Serbestlik derecesi (df)	Kareler ortalaması (MS)	F	P	
Alüminyum	Kür (K)	3.009	1	3.009	0.386	0.536 <sup>ns</sup>
	Dozaj (D)	14.104	1	14.104	1.809	0.182 <sup>ns</sup>
	K/Ç	8.848	2	4.424	0.568	0.569 <sup>ns</sup>
	Katkı oranı (KO)	2 011.096	3	670.365	85.997	0.000 <sup>**</sup>
	K * D	134.419	1	134.419	17.244	0.000 <sup>**</sup>
	K * K/Ç	66.318	2	33.159	4.254	0.017 <sup>*</sup>
	D * K/Ç	158.636	2	79.318	10.175	0.000 <sup>**</sup>
	K * D * K/Ç	60.245	2	30.122	3.864	0.024 <sup>*</sup>
	K* KO	95.980	3	31.993	4.104	0.009 <sup>**</sup>
	D * KO	46.877	3	15.626	2.005	0.118 <sup>ns</sup>
	K * D * K	104.386	3	34.795	4.464	0.006 <sup>**</sup>
	K/Ç * KO	175.044	6	29.174	3.743	0.002 <sup>**</sup>
	K * K/Ç * KO	150.503	6	25.084	3.218	0.006 <sup>**</sup>
	D * K/Ç * KO	288.779	6	48.130	6.174	0.000 <sup>**</sup>
	K * D * K/Ç * KO	94.339	6	15.723	2.017	0.071 <sup>ns</sup>
	Hata	748.343	96	7.795		
Toplam	113 551.250	144				
Hidrojen peroksit	Kür (K)	144.274	1	144.274	10.671	0.002 <sup>**</sup>
	Dozaj (D)	104.178	1	104.178	7.705	0.007 <sup>**</sup>
	K/Ç	29.082	2	14.541	1.075	0.345 <sup>ns</sup>
	Katkı oranı (KO)	1 069.633	3	356.544	26.371	0.000 <sup>**</sup>
	K * D	1.011	1	1.011	0.075	0.785 <sup>ns</sup>
	K * K/Ç	28.700	2	14.350	1.061	0.350 <sup>ns</sup>
	D * K/Ç	20.523	2	10.261	0.759	0.471 <sup>ns</sup>
	K * D * K/Ç	30.245	2	15.122	1.118	0.331 <sup>ns</sup>
	K* KO	127.359	3	42.453	3.140	0.029 <sup>*</sup>
	D * KO	58.783	3	19.594	1.449	0.233 <sup>ns</sup>
	K * D * K	37.858	3	12.619	0.933	0.428 <sup>ns</sup>
	K/Ç * KO	75.331	6	12.555	0.929	0.478 <sup>ns</sup>
	K * K/Ç * KO	83.051	6	13.842	1.024	0.415 <sup>ns</sup>
	D * K/Ç * KO	80.412	6	13.402	0.991	0.436 <sup>ns</sup>
	K * D * K/Ç * KO	189.500	6	31.583	2.336	0.038 <sup>*</sup>
	Hata	1 297.974	96	13.521		
Toplam	97 318.476	144				

\*\* : p<0.01; \* : p<0.05; ns: önemsiz



**Çizelge 4.18.** Katkı çeşidi, kür, K/Ç oranı, katkı oranı ve dozaj bağımsız değişkenlerinin gaz beton örneklerin porozite değerlerine olan etkilerine ilişkin varyans analiz sonuçları

	Kareler toplamı (SS)	Serbestlik derecesi (df)	Kareler ortalaması (MS)	F	P	$\eta^2$
Katkı (Ka)	293.906	1	293.906	27.576	0.000**	0.126
Kür (K)	52.805	1	52.805	4.955	0.027*	0.025
Dozaj (D)	97.473	1	97.473	9.146	0.003**	0.045
K/Ç	6.130	2	3.065	0.288	0.750 <sup>ns</sup>	0.003
Katkı oranı (KO)	2 956.607	3	985.536	92.470	0.000**	0.591
Ka * K	94.479	1	94.479	8.865	0.003**	0.044
Ka * D	20.809	1	20.809	1.952	0.164 <sup>ns</sup>	0.010
K * D	56.060	1	56.060	5.260	0.023*	0.027
Ka * K * D	79.370	1	79.370	7.447	0.007**	0.037
Ka * K/Ç	31.800	2	15.900	1.492	0.228 <sup>ns</sup>	0.015
K * K/Ç	70.731	2	35.365	3.318	0.038*	0.033
Ka * K * K/Ç	24.288	2	12.144	1.139	0.322 <sup>ns</sup>	0.012
D * K/Ç	62.423	2	31.212	2.928	0.056 <sup>ns</sup>	0.030
Ka * D * K/Ç	116.736	2	58.368	5.476	0.005**	0.054
K * D * K/Ç	87.596	2	43.798	4.109	0.018*	0.041
Ka * K * D * K/Ç	2.894	2	1.447	0.136	0.873 <sup>ns</sup>	0.001
Ka * KO	124.122	3	41.374	3.882	0.010**	0.057
K * KO	127.156	3	42.385	3.977	0.009**	0.059
Ka * K * KO	96.183	3	32.061	3.008	0.031*	0.045
D * KO	93.956	3	31.319	2.939	0.034*	0.044
Ka * D * KO	11.704	3	3.901	0.366	0.778 <sup>ns</sup>	0.006
K * D * KO	12.866	3	4.289	0.402	0.751 <sup>ns</sup>	0.006
Ka * K * D * KO	129.378	3	43.126	4.046	0.008**	0.059
K/Ç * KO	121.283	6	20.214	1.897	0.083 <sup>ns</sup>	0.056
Ka * K/Ç * KO	129.091	6	21.515	2.019	0.065 <sup>ns</sup>	0.059
K * K/Ç * KO	122.492	6	20.415	1.916	0.080 <sup>ns</sup>	0.056
Ka * K * K/Ç * KO	111.061	6	18.510	1.737	0.114 <sup>ns</sup>	0.051
D * K/Ç * KO	204.329	6	34.055	3.195	0.005**	0.091
K * D * K/Ç * KO	164.861	6	27.477	2.578	0.020*	0.075
K * D * K/Ç * KO	219.355	6	36.559	3.430	0.003**	0.097
Ka * K * D * K/Ç * KO	64.484	6	10.747	1.008	0.421 <sup>ns</sup>	0.031
Hata	2 046.317	192	10.658			
Toplam	210 869.727	288				

\*\* : p<0.01; \* : p<0.05; ns: önemsiz

Alüminyum katkılı örneklerde porozite değerlerine ilişkin Çizelge 4.17 incelendiğinde, bağımsız değişkenlerden sadece katkı oranının ( $F_{96,3}=85.997$ ;  $p=0.000$ )  $\alpha=0.01$  anlam düzeyinde çok önemli olduğu saptanmıştır. Bağımsız değişkenlerin çoklu etkileşimler incelendiğinde; kür\*dozaj etkileşimi ( $F_{96,1}=17.244$ ;  $p=0.000$ ), dozaj\*K/Ç oranı etkileşimi ( $F_{96,2}=10.175$ ;  $p=0.000$ ), kür\*katkı oranı etkileşimi ( $F_{96,3}=4.104$ ;  $p=0.009$ ), kür\*dozaj\*katkı oranı etkileşimi ( $F_{96,3}=4.464$ ;  $p=0.002$ ), kür\*K/Ç\*katkı oranı etkileşimi ( $F_{96,6}=3.218$ ;  $p=0.006$ ) ve dozaj\*K/Ç\* katkı oranı ( $F_{96,6}=6.174$ ;  $p=0.000$ ) etkileşimlerinin  $\alpha=0.01$  anlam düzeyinde çok önemli olduğu, kür\*K/Ç ( $F_{96,2}=4.254$ ;  $p=0.017$ ) ve kür\*dozaj\*K/Ç etkileşimlerinin  $\alpha=0.05$  anlam düzeyinde önemli olduğu bulunmuştur. Ancak diğer etkileşimlerin ise  $\alpha=0.05$  anlam düzeyinde önemsiz olduğu belirlenmiştir.

Hidrojen peroksit katkılı örneklere ilişkin Çizelge 4.17'de verilen varyans analizi sonuçlarına göre, bağımsız değişkenlerden kür ( $F_{96,1}=10.671$ ;  $p=0.002$ ), dozaj ( $F_{96,1}=7.705$ ;  $p=0.007$ ) ve katkı oranı etkileşiminin ( $F_{96,3}=26.371$ ;  $p=0.000$ )  $\alpha=0.01$  anlam düzeyinde çok önemli olduğu, K/Ç etkileşiminin ise  $\alpha=0.05$  anlam düzeyinde önemsiz olduğu görülmüştür. Çoklu etkileşimlerde ise kür\*katkı oranı ( $F_{96,3}=3.140$ ;  $p=0.029$ ) ve kür\*dozaj\*K/Ç\*katkı oranı etkileşiminin ( $F_{96,3}=2.336$ ;  $p=0.038$ )  $\alpha=0.05$  anlam düzeyinde önemli olduğu, diğer etkileşimlerin  $\alpha=0.05$  anlam düzeyinde önemsiz olduğu belirlenmiştir.

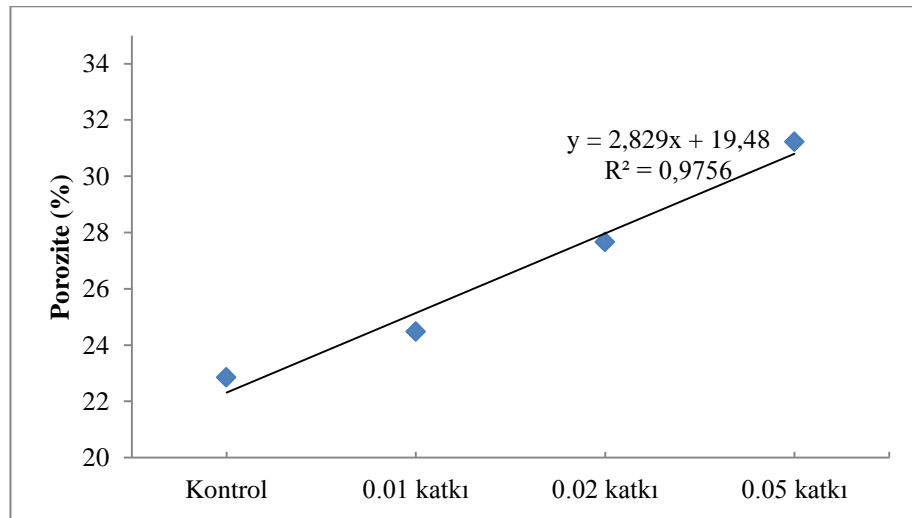
Bu çalışmada üretilen gaz betonlarda, alüminyum ve hidrojen peroksit katkısının porozite değerlerine etkilerini görmek amacıyla yapılan (Çizelge 4.18) varyans analiz sonuçları incelendiğinde; kür ( $F_{192,1}=4.955$ ;  $p=0.027$ )  $\alpha=0.05$  anlam düzeyinde önemli olduğu, katkı ( $F_{192,1}=27.576$ ;  $p=0.000$ ), dozaj ( $F_{192,1}=9.146$ ;  $p=0.003$ ) ve katkı oranı ( $F_{192,3}=92.470$ ;  $p=0.000$ ) bağımsız değişkenleri  $\alpha=0.01$  anlam düzeyinde çok önemli olmuştur. K/Ç oranının ise ( $F_{192,2}=0.288$ ;  $p=0.750$ )  $\alpha=0.05$  anlam düzeyinde önemsiz olduğu saptanmıştır.

Gaz beton örnekleri üzerinde bağımsız değişkenlerin çoklu etkileşimleri incelendiğinde; kür\*dozaj, kür/K/Ç, kür\*dozaj\*K/Ç, katkı\*kür\*katkı oranı, katkı\*dozaj\*katkı oranı ve

katkı\*kür\*dozaj\*K/Ç\*katkı oranı etkileşimlerinin  $\alpha=0.05$  anlam düzeyinde önemli, katkı\*kür, katkı\*kür\*dozaj, katkı\*dozaj\*K/Ç, katkı\*katkı oranı, kür\*katkı oranı, katkı\*kür\*dozaj\*katkı oranı, dozaj\*K/Ç\*katkı oranı ve kür\*dozaj\*K/Ç\*katkı oranı etkileşimlerinin ise  $\alpha=0.01$  anlam düzeyinde çok önemli olduğu görülmüştür. Ancak diğer etkileşimlerin  $\alpha=0.05$  anlam düzeyinde önemsiz olduğu saptanmıştır.

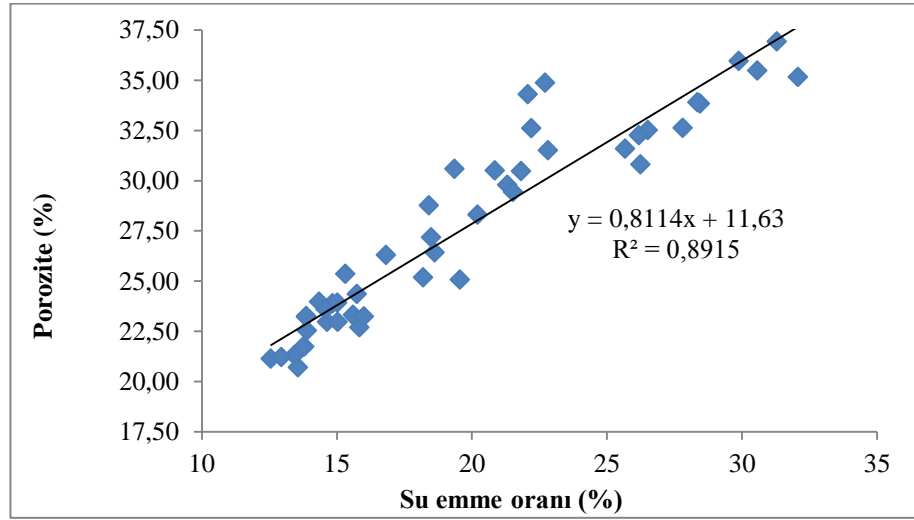
Duncan çoklu karşılaştırma testi, porozitede oluşan anlamlı farkın hangi alt gruplarda olduğunu belirlemek için de kullanılmıştır. Buhar kürü ve su kürü örneklerinde, artan katkı oranına bağlı olarak hemen hemen tüm gruplar istatistiksel açıdan ( $\alpha=0.05$  anlam düzeyinde) önemli farklara sahip olduğu belirlenmiştir. Bu farklar “a”, ”b”, “c”, “d” harfleri ile sembolize edilerek Çizelge 4.15 ve Çizelge 4.16’da porozite değerleri ile birlikte verilmiştir. Anlamlı farklılık hemen hemen tüm gruplarda olmasına karşın, özellikle  $350 \text{ kg/m}^3$  dozajlı buhar ve su kürü örneklerinde daha belirgindir.

Alüminyum ve hidrojen peroksit katkılı örneklerle ilişkin varyans analizi sonuçlarından, katkı oranı bağımsız değişkeninin her iki grupta da önemli ortak parametre olduğu görülmektedir. Şekil 4.19 incelendiğinde artan katkı oranına göre porozitede doğrusal artış sağladığı,  $y = 2,829x + 19,48$  regresyon denklemi ile ( $R^2 = 0,9756$ ) kuvvetli bir ilişkinin söz konusu olduğu belirlenmiştir.

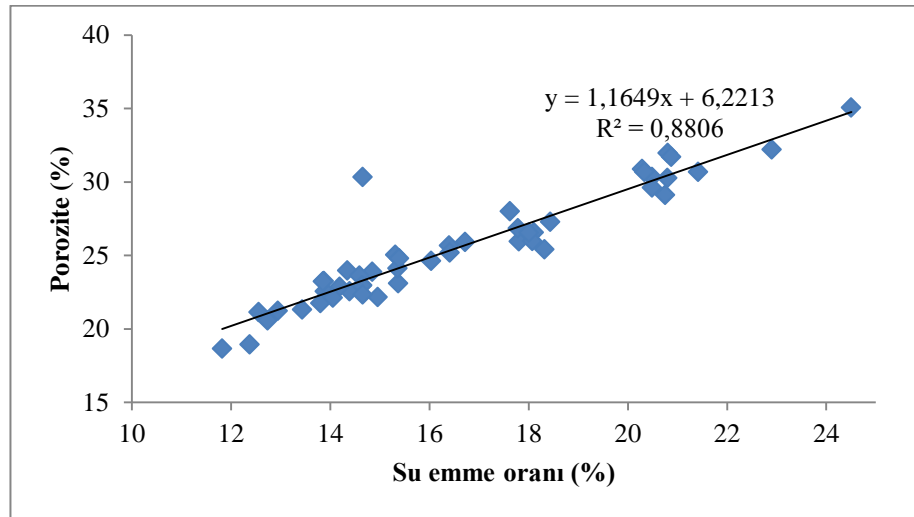


**Şekil 4.19.** Gaz beton örneklerde katkı oranının poroziteye etkisi

Porozite ile su emme oranı arasındaki ilişki incelendiğinde (Şekil 4.20, Şekil 4.21), hem alüminyum katkılı ( $R^2 = 0.8915$ ) hem de hidrojen peroksit katkılı örneklerde ( $R^2 = 0.8806$ ) doğrusal artan bir ilişkinin olduğu, alüminyum için  $y = 0.8114x + 11.63$  ve hidrojen peroksit için de  $y = 1.1649x + 6.2213$  regresyon denkleminin ortaya konabileceği görülmüştür



Şekil 4.20. Alüminyum katkılı örneklerde su emme – porozite arasındaki ilişki



Şekil 4.21. Hidrojen peroksit katkılı örneklerde su emme – porozite arasındaki ilişki

Cabrillac *et. al.* (2006) karışıma giren kireç ve alüminyumun artması ile porozite

arasında bir ilişkinin olduğunu, bu ilişkinin artan kireç ve alüminyumdan dolayı örneklerin kabarma sağlayarak boşluk arttırdığını açıklamışlardır.

#### 4.2.4. Basınç dayanımı

Pomza ile üretilen gaz betonların buhar ve su kürü uygulanan gruplara ilişkin basınç dayanımı değerleri Çizelge 4.19 ve Çizelge 4.20’de verilmiştir.

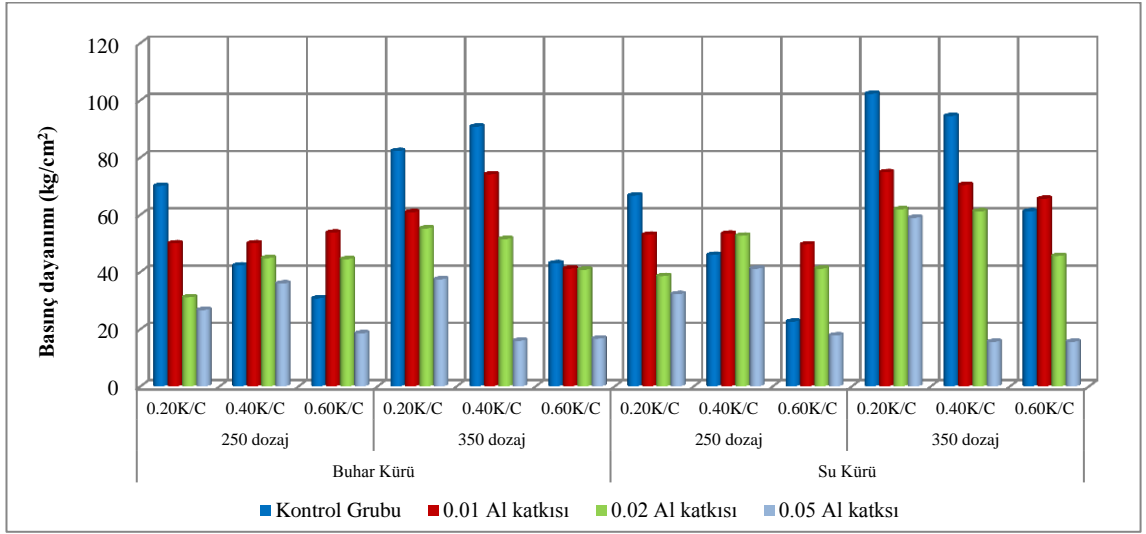
**Çizelge 4.19.** Buhar kürü örneklerinde basınç dayanımı değerleri

Kür şekli	Dozaj (kg/m <sup>3</sup> )	K/Ç oranı	Katki oranı (%)	Grup simgesi	N	Basınç dayanımı (kg/cm <sup>2</sup> )		
						Alüminyum	Hidrojen peroksit	
Buhar kürü	250	0.20	0	BK1	3	70.04±3.33a	70.04±3.33a	
			1	B1	3	49.96±0.06b	42.22±11.28b	
			2	B2	3	31.11±4.45c	38.52±6.12b	
			5	B3	3	26.67±3.34c	22.59±0.64c	
		Ortalama					44.45A	43.34A
		0.40	0	BK2	3	42.22±2.94ab	42.22±2.94a	
			1	B4	3	49.97±6.13a	46.67±8.01a	
			2	B5	3	44.82±2.32a	44.08±5.70a	
			5	B6	3	35.93±3.90b	46.67±8.01a	
		Ortalama					43.23A	44.91A
		0.60	0	BK3	3	30.74±1.70c	30.74±1.70b	
			1	B7	3	53.70±4.63a	52.59±2.31a	
	2		B8	3	44.44±1.12b	50.00±8.01a		
	5		B9	3	18.52±3.39d	34.81±0.65b		
	Ortalama					36.85A	42.04A	
	Genel Ortalama					41.51	43.43	
	350	0.20	0	BK4	3	82.22±22.56a	82.22±22.56a	
			1	B10	3	60.81±0.71ab	70.37±7.40ab	
			2	B11	3	55.19±1.70bc	53.70±3.57bc	
			5	B12	3	37.41±5.48c	45.93±2.80c	
		Ortalama					58.91A	63.06A
		0.40	0	BK5	3	90.74±2.31a	90.74±2.31a	
			1	B13	3	74.07±1.70b	72.22±6.19b	
			2	B14	3	51.48±3.39c	46.30±8.63c	
5			B15	3	15.93±2.32d	41.85±7.88c		
Ortalama					58.06A	62.78A		
0.60		0	BK6	3	42.96±3.40a	42.96±3.40b		
		1	B16	3	41.11±4.00a	60.00±0.00a		
	2	B17	3	40.74±2.79a	48.89±7.29b			
	5	B18	3	16.67±1.11b	50.74±7.57ab			
Ortalama					35.37B	50.64A		
Genel Ortalama					50.78	58.83		
<b>Buhar Kürü Uygulaması Genel Ortalamaları</b>						<b>46.14</b>	<b>51.13</b>	

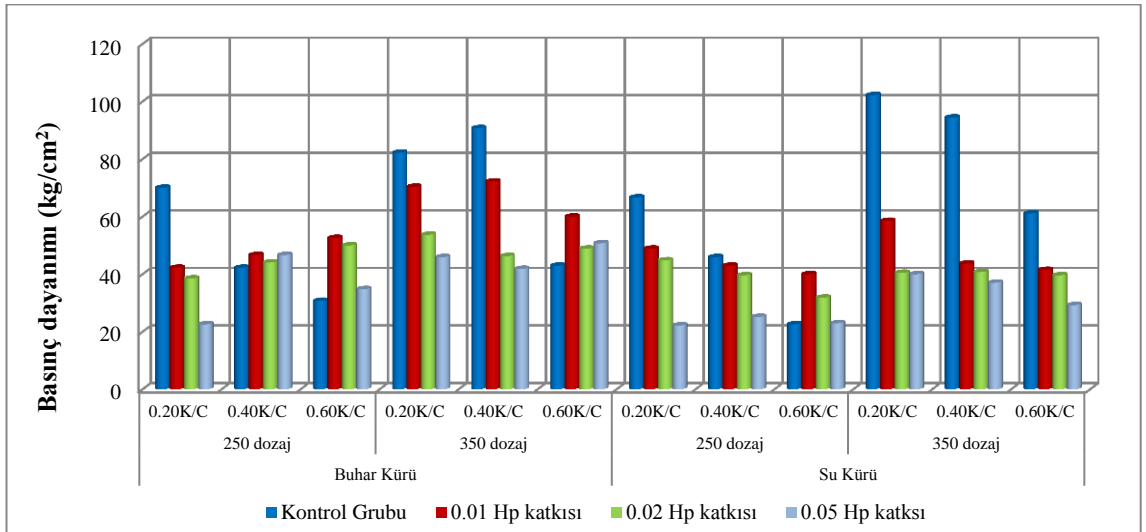
Çizelge 4.20. Su kürü örneklerinde basınç dayanımı değerleri

Kür şekli	Dozaj (kg/m <sup>3</sup> )	K/Ç oranı	Katki oranı (%)	Grup simgesi	N	Basınç dayanımı (kg/cm <sup>2</sup> )		
						Alüminyum	Hidrojen peroksit	
Su kürü	250	0.20	0	SK1	3	66.67±9.68a	66.67±9.68a	
			1	S1	3	52.97±6.51b	48.89±4.45b	
			2	S2	3	38.52±3.57c	44.81±0.65b	
			5	S3	3	32.22±1.11c	22.20±7.29c	
		Ortalama					47.59A	45.65A
		0.40	0	SK2	3	45.93±1.70b	45.93±1.70a	
			1	S4	3	53.33±2.23a	42.96±5.13a	
			2	S5	3	52.63±2.25a	39.63±6.61a	
			5	S6	3	41.11±4.01b	25.19±9.25b	
		Ortalama					48.25A	38.43AB
		0.60	0	SK3	3	22.59±2.80b	22.59±7.80b	
			1	S7	3	49.59±14.25a	40.00±8.01a	
	2		S8	3	41.11±4.01a	31.85±1.28ab		
	5		S9	3	17.78±2.22b	22.96±9.71b		
	Ortalama					32.77B	29.35B	
	Genel Ortalama					42.87	37.81	
	350	0.20	0	SK4	3	102.22±4.45a	102.22±4.45a	
			1	S10	3	74.82±4.21b	58.52±7.15b	
			2	S11	3	61.85±4.21c	40.48±0.57c	
			5	S12	3	58.89±1.11c	40.00±4.44c	
		Ortalama					74.45A	60.31A
		0.40	0	SK5	3	94.44±12.62a	94.44±12.62a	
			1	S13	3	70.37±18.90b	43.70±2.60b	
			2	S14	3	61.11±8.68b	40.74±12.24b	
5			S15	3	15.56±3.85c	37.04±6.70b		
Ortalama					60.37AB	53.98A		
0.60		0	SK6	3	61.11±1.11a	61.11±1.11a		
		1	S16	3	65.56±8.82a	41.48±2.56b		
	2	S17	3	45.56±4.84b	39.63±0.64b			
	5	S18	3	15.56±3.85c	29.26±2.31c			
Ortalama					46.95B	42.87A		
Genel Ortalama					60.59	52.39		
<b>Su Kürü Uygulaması Genel Ortalamaları</b>						<b>51.73</b>	<b>45.10</b>	

Basınç dayanımı değerleri artan kireç oranına bağlı olarak kontrol gruplarıyla karşılaştırıldığında; artan kireç oranında basınç dayanımının azaldığı (Şekil 4.22, Şekil 4.23) görülmektedir. Ancak 350 kg/m<sup>3</sup> dozajlı 0.40 K/Ç oranında (BK5) yaklaşık %10'luk bir artış belirlenmiştir.



Şekil 4.22. Alüminyum katkılı betonlarda basınç dayanımı değerlerindeki değişim



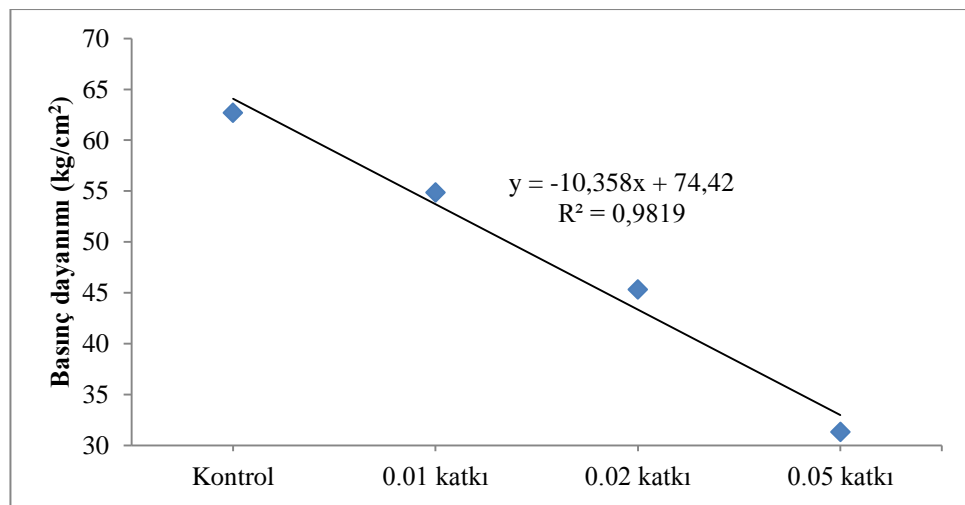
Şekil 4.23. Hidrojen peroksit katkılı betonlarda basınç dayanımı değerlerindeki değişim

Basınç dayanımı değerlerindeki maksimum azalmalar incelendiğinde, 350 kg/m<sup>3</sup> dozajlı 0.40 K/Ç oranına sahip %5 alüminyum katkılı örneklerde (B15 ve S15 grubu) yaklaşık %83 oranında iken, hidrojen peroksit katkılı buhar kürü gruplarında 250 kg/m<sup>3</sup> dozajlı 0.20 K/Ç oranına sahip %5 katkılı örneklerde (B3 grubu) %67.75 ve su kürü örneklerinde 350 kg/m<sup>3</sup> dozajlı 0.20 K/Ç oranına sahip %5 katkılı örneklerde (S12 grubu) %60.87 oranında basınç dayanımlarında azalmanın olduğu belirlenmiştir.

Artan katkı oranına göre basınç dayanımında oluşan değişimler incelendiğinde; 0.20K/Ç oranındaki alüminyum katkılı buhar ve su kürü örneklerinde, hem 250 hem de 350 kg/m<sup>3</sup> dozajlı örneklerde basınç dayanımında %60'a varan oranlarda azalış gerçekleşmiştir. Bu azalış 350 kg/m<sup>3</sup> dozajlı tüm gruplarda benzerlik gösterirken, buhar kürü uygulanan 250 kg/m<sup>3</sup> dozajlı 0.40 ve 0.60 K/Ç gruplarında %1 ve %2 katkı basınç dayanımında artışa neden olduğu görülmüştür.

Hidrojen peroksit katkılı gruplarda ise, buhar kürü uygulanan 250 kg/m<sup>3</sup> dozajlı 0.40 ve 0.60 K/Ç grupları ile 350 kg/m<sup>3</sup> dozajlı 0.60 K/Ç gruplarında artan katkı oranıyla ters orantılı olarak artış gözlemlenmiştir. Su kürü örneklerindeki bu artış sadece 250 kg/m<sup>3</sup> dozajlı 0.60 K/Ç grubunda gerçekleşmiştir. Diğer gruplarda artan katkı oranına bağlı olarak sürekli bir azalış söz konusudur.

Basınç dayanımı ortalama değerleri göz önüne alındığında (Şekil 4.22, Şekil 4.23), hemen hemen tüm gruplarda artan kireç ve katkı oranına bağlı olarak değerlerde azalış söz konusudur. Basınç dayanımında görülen bu azalış (Şekil 4.24), artan katkı oranına bağlı olarak  $y = -10.358x + 74.42$  regresyon denklemi ile ( $R^2 = 0.9819$ ) azalış eğilimi içerisinde olduğu saptanmıştır.



**Şekil 4.24.** Artan katkı oranının basınç dayanımı değerlerindeki azalışa etkisi



Bağımsız değişkenlerin basınç dayanımına etkilerinin istatistiksel açıdan değerlendirilmesinde, çoklu varyans analizi kullanılmıştır. Alüminyum ve hidrojen peroksit katkılı örneklerde bağımsız değişkenlerin basınç dayanımına etkilerini görmek için yapılan analizi sonuçları Çizelge 4.21’de, katkının farkını belirleyebilmek için yapılan analizi sonuçları da Çizelge 4.22’de verilmiştir.

Alüminyum katkılı örneklerde basınç dayanımı değerlerine ilişkin Çizelge 4.21 incelendiğinde, kür koşullarının ( $F_{96,1}=27.771$ ;  $p=0.000$ ), dozajın ( $F_{96,1}=162.062$ ;  $p=0.000$ ), K/Ç oranının ( $F_{96,2}=111.232$ ;  $p=0.000$ ) ve katkı oranının ( $F_{96,3}=215.095$ ;  $p=0.000$ )  $\alpha=0.01$  anlam düzeyinde çok önemli olduğu saptanmıştır. Bağımsız değişkenlerin çoklu etkileşimleri incelendiğinde; kür\*katkı oranı ( $F_{96,3}=0.052$ ;  $p=0.984$ ), kür\*dozaj\*katkı oranı ( $F_{96,3}=2.344$ ;  $p=0.078$ ), kür\*K/Ç\*katkı oranı ( $F_{96,6}=1.706$ ;  $p=0.128$ ) ve kür\*dozaj\*K/Ç\*katkı oranı ( $F_{96,6}=1.781$ ;  $p=0.111$ ) etkileşimlerin  $\alpha=0.05$  anlam düzeyinde önemsiz olduğu, kür\*K/Ç etkileşiminin ( $F_{96,2}=3.143$ ;  $p=0.048$ ) ise önemli olduğu görülmüştür. Alüminyum katkılı örneklerin basınç dayanımına etkilerinde, bağımsız değişkenlerin diğer tüm etkileşimleri  $\alpha=0.01$  anlam düzeyinde çok önemli olduğu belirlenmiştir.

Hidrojen peroksit katkılı örneklerde, kür\*dozaj ( $F_{96,1}=0.129$ ;  $p=0.720$ ), dozaj\*K/Ç ( $F_{96,2}=2.952$ ;  $p=0.057$ ), kür\*dozaj\*K/Ç ( $F_{96,2}=1.685$ ;  $p=0.191$ ) ve kür\*K/Ç\*katkı oranı etkileşimleri  $\alpha=0.05$  anlam düzeyinde önemsiz bulunmuştur. Ancak bağımsız değişkenler ile tüm etkileşimleri  $\alpha=0.01$  anlam düzeyinde çok önemli olduğu belirlenmiştir.

**Çizelge 4.21.** Kür, K/Ç oranı, katkı oranı ve dozaj bağımsız değişkenlerinin alüminyum ve hidrojen peroksit katkılı örneklerin basınç dayanımı değerlerine olan etkilerine ilişkin varyans analiz sonuçları

Katkı	Kareler toplamı (SS)	Serbestlik derecesi (df)	Kareler ortalaması (MS)	F	P	
Alüminyum	Kür (K)	1 122.976	1	1122.976	27.771	0.000**
	Dozaj (D)	6 553.307	1	6553.307	162.062	0.000**
	K/Ç	8 995.788	2	4497.894	111.232	0.000**
	Katkı oranı (KO)	26 093.445	3	8697.815	215.095	0.000**
	K * D	642.411	1	642.411	15.887	0.000**
	K * K/Ç	254.214	2	127.107	3.143	0.048*
	D * K/Ç	1 228.808	2	614.404	15.194	0.000**
	K * D * K/Ç	575.386	2	287.693	7.115	0.001**
	K* KO	6.271	3	2.090	0.052	0.984 <sup>ns</sup>
	D * KO	5 532.914	3	1844.305	45.609	0.000**
	K* D * KO	284.360	3	94.787	2.344	0.078 <sup>ns</sup>
	K/Ç * KO	5 598.338	6	933.056	23.074	0.000**
	K * K/Ç * KO	413.836	6	68.973	1.706	0.128 <sup>ns</sup>
	D * K/Ç * KO	3 944.084	6	657.347	16.256	0.000**
	K * D * K/Ç * KO	432.078	6	72.013	1.781	0.111 <sup>ns</sup>
Hata	3 881.957	96	40.437			
Toplam	410 408.055	144				
Hidrojen peroksit	Kür (K)	1 309.415	1	1 309.415	27.773	0.000**
	Dozaj (D)	8 087.255	1	8 087.255	171.534	0.000**
	K/Ç	3 639.473	2	1 819.736	38.597	0.000**
	Katkı oranı (KO)	15 173.433	3	5 057.811	107.278	0.000**
	K * D	6.072	1	6.072	0.129	0.720 <sup>ns</sup>
	K * K/Ç	647.530	2	323.765	6.867	0.002**
	D * K/Ç	278.341	2	139.171	2.952	0.057 <sup>ns</sup>
	K * D * K/Ç	158.880	2	79.440	1.685	0.191 <sup>ns</sup>
	K* KO	1 731.827	3	577.276	12.244	0.000**
	D * KO	4 147.530	3	1 382.510	29.324	0.000**
	K * D * K	1 252.306	3	417.435	8.854	0.000**
	K/Ç * KO	7 426.781	6	1 237.797	26.254	0.000**
	K * K/Ç * KO	215.505	6	35.918	0.762	0.602 <sup>ns</sup>
	D * K/Ç * KO	1 643.174	6	273.862	5.809	0.000**
	K * D * K/Ç * KO	903.292	6	150.549	3.193	0.007**
Hata	4 526.069	96	47.147			
Toplam	384 480.867	144				

\*\* : p<0.01; \* : p<0.05; ns: önemsiz

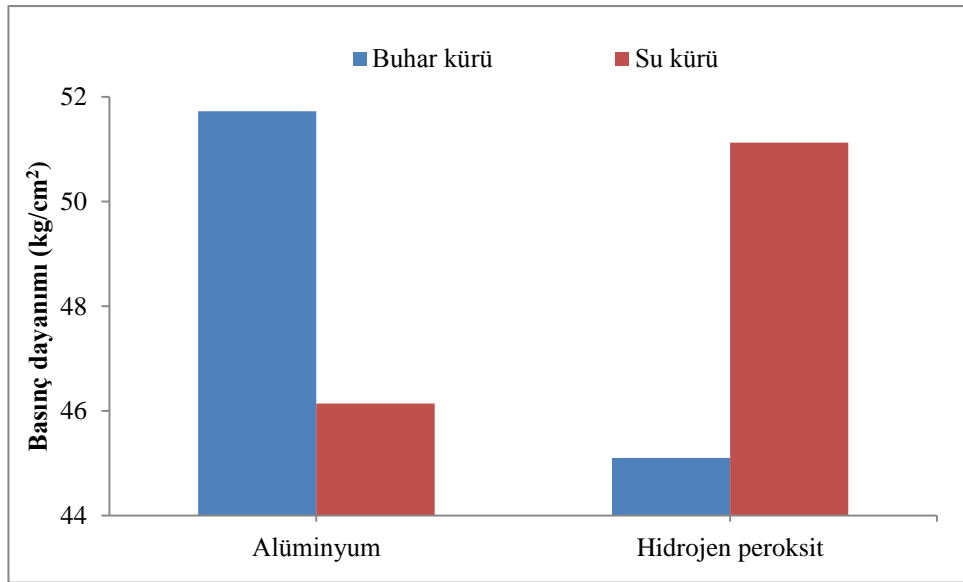
**Çizelge 4.22.** Katkı çeşidi, kür, K/Ç oranı, katkı oranı ve dozaj bağımsız değişkenlerinin gaz beton örneklerin basınç dayanımı değerlerine olan etkilerine ilişkin varyans analiz sonuçları

	Kareler toplamı (SS)	Serbestlik derecesi (df)	Kareler ortalaması (MS)	F	P	$\eta^2$
Katkı (Ka)	48.873	1	48.873	1.116	0.292 <sup>ns</sup>	0.006
Kür (K)	3.578	1	3.578	0.082	0.775 <sup>ns</sup>	0.000
Dozaj (D)	14 600.272	1	14 600.272	333.402	0.000 <sup>**</sup>	0.635
K/Ç	12 032.304	2	6 016.152	137.381	0.000 <sup>**</sup>	0.589
Katkı oranı (KO)	39 323.395	3	13 107.798	299.321	0.000 <sup>**</sup>	0.824
Ka * K	2 428.813	1	2 428.813	55.463	0.000 <sup>**</sup>	0.224
Ka * D	40.290	1	40.290	0.920	0.339 <sup>ns</sup>	0.005
K * D	261.785	1	261.785	5.978	0.015 <sup>*</sup>	0.030
Ka * K * D	386.698	1	386.698	8.830	0.003 <sup>**</sup>	0.044
Ka * K/Ç	602.957	2	301.479	6.884	0.001 <sup>**</sup>	0.067
K * K/Ç	842.484	2	421.242	9.619	0.000 <sup>**</sup>	0.091
Ka * K * K/Ç	59.260	2	29.630	0.677	0.510 <sup>ns</sup>	0.007
D * K/Ç	1 278.565	2	639.282	14.598	0.000 <sup>**</sup>	0.132
Ka * D * K/Ç	228.584	2	114.292	2.610	0.076 <sup>ns</sup>	0.026
K * D * K/Ç	490.817	2	245.408	5.604	0.004 <sup>**</sup>	0.055
Ka * K * D * K/Ç	243.449	2	121.725	2.780	0.065 <sup>ns</sup>	0.028
Ka * KO	1 943.482	3	647.827	14.793	0.000 <sup>**</sup>	0.188
K * KO	877.161	3	292.387	6.677	0.000 <sup>**</sup>	0.094
Ka * K * KO	860.937	3	286.979	6.553	0.000 <sup>**</sup>	0.093
D * KO	8 640.565	3	2 880.188	65.770	0.000 <sup>**</sup>	0.507
Ka * D * KO	1 039.879	3	346.626	7.915	0.000 <sup>**</sup>	0.110
K * D * KO	1 023.889	3	341.296	7.794	0.000 <sup>**</sup>	0.109
Ka * K * D * KO	512.777	3	170.926	3.903	0.010 <sup>**</sup>	0.057
K/Ç * KO	11 427.210	6	1 904.535	43.491	0.000 <sup>**</sup>	0.576
Ka * K/Ç * KO	1 597.909	6	266.318	6.081	0.000 <sup>**</sup>	0.160
K * K/Ç * KO	507.748	6	84.625	1.932	0.077 <sup>ns</sup>	0.057
Ka * K * K/Ç * KO	121.593	6	20.266	0.463	0.835 <sup>ns</sup>	0.014
D * K/Ç * KO	4 923.826	6	820.638	18.740	0.000 <sup>**</sup>	0.369
K * D * K/Ç * KO	663.433	6	110.572	2.525	0.022 <sup>*</sup>	0.073
K * D * K/Ç * KO	1 061.256	6	176.876	4.039	0.001 <sup>**</sup>	0.112
Ka * K * D * K/Ç * KO	274.115	6	45.686	1.043	0.399 <sup>ns</sup>	0.032
Hata	8 408.026	192	43.792			
Toplam	794 888.922	288				

\*\* : p<0.01; \* : p<0.05; ns: önemsiz

Alüminyum ve hidrojen peroksit katkılı örneklerde istatistiksel açıdan önemli olan kür koşulları, her iki grupta da basınç dayanımındaki farklı etkileri Şekil 4.25'te

gösterilmiştir. Şekil 4.25 incelendiğinde, belirlenen yüksek basınç dayanımı değerleri alüminyum katkılı örneklerde buhar küründe, hidrojen peroksit katkılı örneklerde ise su küründen elde edildiği saptanmıştır. Topçu and Uygunoğlu (2007), hafif betonlarda kür etkisini inceledikleri çalışmalarında basınç dayanımı değerlerinin su küründe bekletilen örneklerin buhar kürü örneklerinden bir miktar daha fazla dayanım kazandığını, bu durumun agrega ile çimentonun suda daha iyi reaksiyona girerek dayanım kazanmasından kaynaklanabileceğini bildirmişlerdir.



**Şekil 4.25.** Basınç dayanımına kür koşullarının etkisi

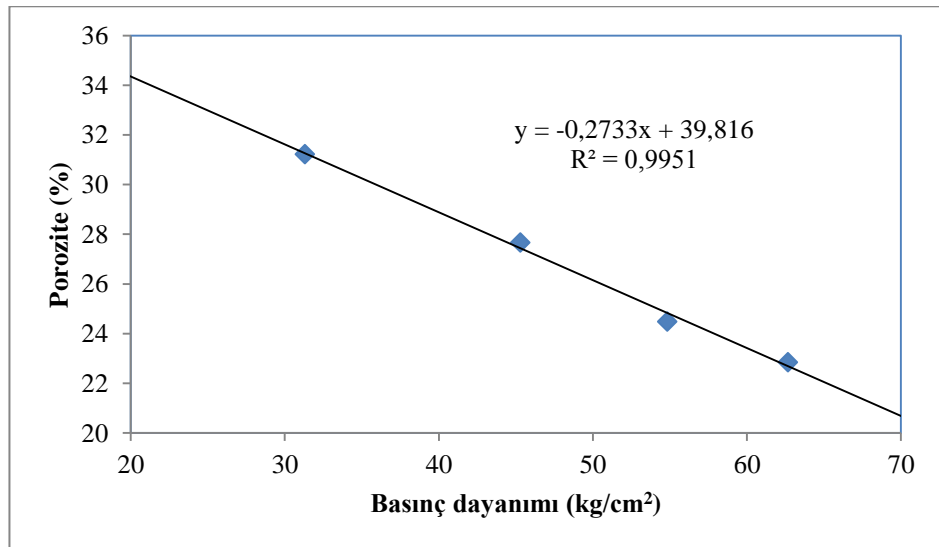
Alüminyum ve hidrojen peroksit katkısının basınç dayanımına etkilerini görmek amacıyla yapılan (Çizelge 4.22) varyans analiz sonuçları incelendiğinde; katkı ( $F_{192,1}=1.116$ ;  $p=0.292$ ) ve kür ( $F_{192,1}=0.082$ ;  $p=0.775$ ) bağımsız değişkenlerinin basınç dayanımına etkisi  $\alpha=0.05$  anlam düzeyinde önemsiz bulunmuştur. Ancak dozaj ( $F_{192,1}=333.402$ ;  $p=0.000$ ), K/Ç ( $F_{192,2}=137.381$ ;  $p=0.000$ ) ve katkı oranı ( $F_{192,3}=299.321$ ;  $p=0.000$ ) bağımsız değişkenlerinin  $\alpha=0.01$  anlam düzeyinde çok önemli olduğu belirlenmiştir.

Gaz beton örnekleri üzerinde bağımsız değişkenlerin çoklu etkileşimleri incelendiğinde; katkı\*dozaj, katkı\*kür\*K/Ç, katkı\*dozaj\*K/Ç, katkı\*kür\*dozaj\*K/Ç, kür\*K/Ç\*katkı

oranı, katkı\*kür\*K/Ç\*katkı oranı ve katkı\*dozaj\*kür\*K/Ç\*katkı oranı etkileşimlerinin  $\alpha=0.05$  anlam düzeyinde önemsiz olduğu, kür\*dozaj ve kür\*dozaj\*K/Ç\*katkı oranı etkileşimlerinin de önemli olduğu saptanmıştır. Bağımsız değişkenlerin basınç dayanımına çoklu etkileşimlerinde, diğer tüm etkileşimlerin  $\alpha=0.01$  anlam düzeyinde çok önemli olduğu görülmüştür.

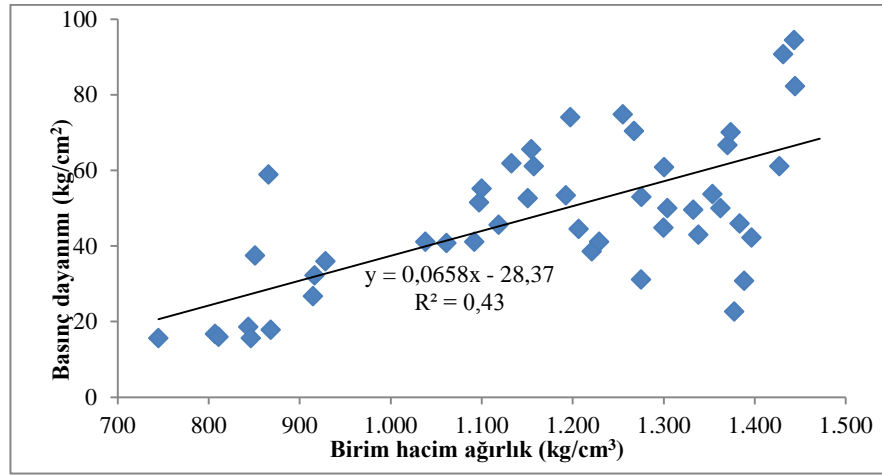
Basınç dayanımında oluşan anlamlı farkın hangi alt gruplarda olduğunu belirlemek için Duncan çoklu karşılaştırma testi kullanılmıştır. Buhar kürü ve su kürü örneklerinde, artan katkı oranına bağlı olarak hemen hemen tüm gruplar istatistiksel açıdan ( $\alpha=0.05$  anlam düzeyinde) önemli farklara sahip olduğu belirlenmiştir. Bu farklar “a”, ”b”, “c”, “d” harfleri ile sembolize edilerek Çizelge 4.19 ve Çizelge 4.20’de basınç dayanımı değerleri ile birlikte verilmiştir. Anlamlı farklılık hemen hemen tüm gruplarda bulunup, özellikle alüminyum katkılı örneklerde daha belirgin olduğu söylenebilir.

Gaz beton örneklerin basınç dayanımı değerlerinin değişimi porozite ile karşılaştırıldığında, artan boşluk hacmi ile orantılı olarak beton basınç dayanımlarının azaldığı Şekil 4.26’da gösterilmiştir. Basınç dayanımı ile porozite arasındaki bu ilişkinin  $y = -0.2733x + 39.816$  regresyon denklemi ile ( $R^2 = 0.9951$ ) kuvvetli bir azalma eğiliminde olduğu görülmüştür.

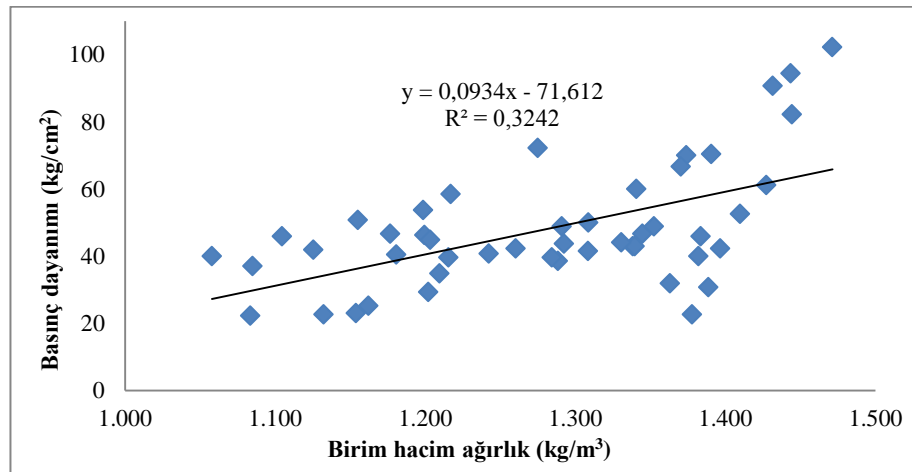


**Şekil 4.26.** Basınç dayanımı ile porozite arasındaki ilişki

Basınç dayanımı değerleri, alüminyum ve hidrojen peroksit katkılı örneklerin birim hacim ağırlık değerleriyle karşılaştırıldığında (Şekil 4.27, Şekil 4.28), artan birim hacim ağırlığa göre basınç dayanımı da artmıştır. Bu artışlarda, porozite ile basınç dayanımı arasında belirlenen kuvvetli ilişkinin olmadığı belirlenmiştir. Ancak alüminyum katkılı örneklerin artış eğiliminin ( $R^2 = 0.43$ ) hidrojen peroksit katkılı örneklerdeki ( $R^2 = 0.3242$ ) artış eğiliminden daha belirgin olduğu saptanmıştır.



**Şekil 4.27.** Alüminyum katkılı örneklerde birim hacim ağırlık - basınç dayanımı arasındaki ilişki



**Şekil 4.28.** Hidrojen peroksit katkılı örneklerde birim hacim ağırlık - basınç dayanımı arasındaki ilişki

Araujo and Tenorio (2005), atık folyolardan elde edilen alüminyum tozunun gaz beton

üretiminde kullanılabilirliğini araştırdıkları çalışmalarında artan birim hacim ağırlık ile basınç dayanımında meydana gelen artışın bu çalışmada agrega olarak kullanılan pomzayla üretilen gaz beton ile uygunluk gösterdiği saptanmıştır.

#### 4.2.5. Donma-çözülme dayanıklılığı

Buhar ve su kürü uygulanan gaz betonlarda donma – çözülme sonrası dayanım değerleri Çizelge 4.23 ve Çizelge 4.24’de verilmiştir.

**Çizelge 4.23.** Buhar kürü örneklerinde donma-çözülme sonrası dayanım değerleri

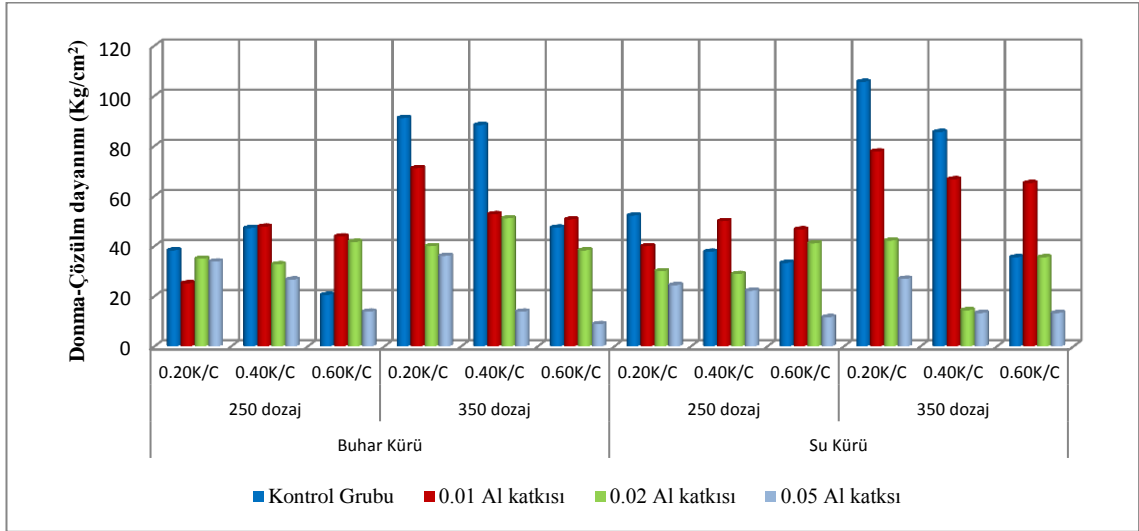
Kür şekli	Dozaj (kg/m <sup>3</sup> )	K/Ç oranı	Katki oranı (%)	Grup simgesi	N	Donma-çözülme sonrası dayanım (kg/cm <sup>2</sup> )		
						Alüminyum	Hidrojen peroksit	
Buhar kürü	250	0.20	0	BK1	3	38.33±0.56a	38.33±0.56a	
			1	B1	3	25.19±1.70c	38.89±3.33a	
			2	B2	3	35.00±3.89ab	30.56±2.78b	
			5	B3	3	33.89±0.56b	25.56±2.23c	
		Ortalama					33.10A	33.33B
		0.40	0	B2	3	47.22±6.11a	47.22±6.11b	
			1	B4	3	47.78±2.22a	65.00±0.56a	
			2	B5	3	32.78±8.19b	41.11±4.45b	
			5	B6	3	26.67±1.11b	29.63±7.40c	
		Ortalama					38.61A	45.74A
		0.60	0	BK3	3	20.56±1.67b	20.56±1.67d	
			1	B7	3	43.89±5.00a	38.71±3.06b	
	2		B8	3	41.70±0.50a	48.33±0.56a		
	5		B9	3	13.89±0.56c	30.78±2.78c		
	Ortalama					30.01A	35.09B	
	Genel Ortalama					33.91	38.06	
	350	0.20	0	BK4	3	91.11±6.67a	91.11±6.67a	
			1	B10	3	71.11±13.33b	52.22±6.67b	
			2	B11	3	40.00±4.44c	45.56±2.23b	
			5	B12	3	36.11±0.56c	32.78±8.34c	
		Ortalama					59.58A	55.42A
		0.40	0	BK5	3	88.33±5.00a	88.33±5.00a	
			1	B13	3	52.78±9.45b	47.22±6.11b	
			2	B14	3	51.11±7.78b	42.78±5.00b	
5			B15	3	13.89±1.67c	40.37±7.88b		
Ortalama					51.53AB	54.68A		
0.60		0	BK6	3	41.41±6.79a	47.41±6.79ab		
		1	B16	3	50.67±5.11a	52.78±2.78a		
	2	B17	3	38.33±1.67b	43.33±7.78ab			
	5	B18	3	8.89±2.22c	38.89±2.22b			
Ortalama					36.33B	45.60A		
Genel Ortalama					49.15	51.90		
<b>Buhar Kürü Uygulaması Genel Ortalamaları</b>						<b>41.53</b>	<b>44.98</b>	

**Çizelge 4.24.** Su kürü örneklerinde donma-çözülme sonrası dayanım değerleri

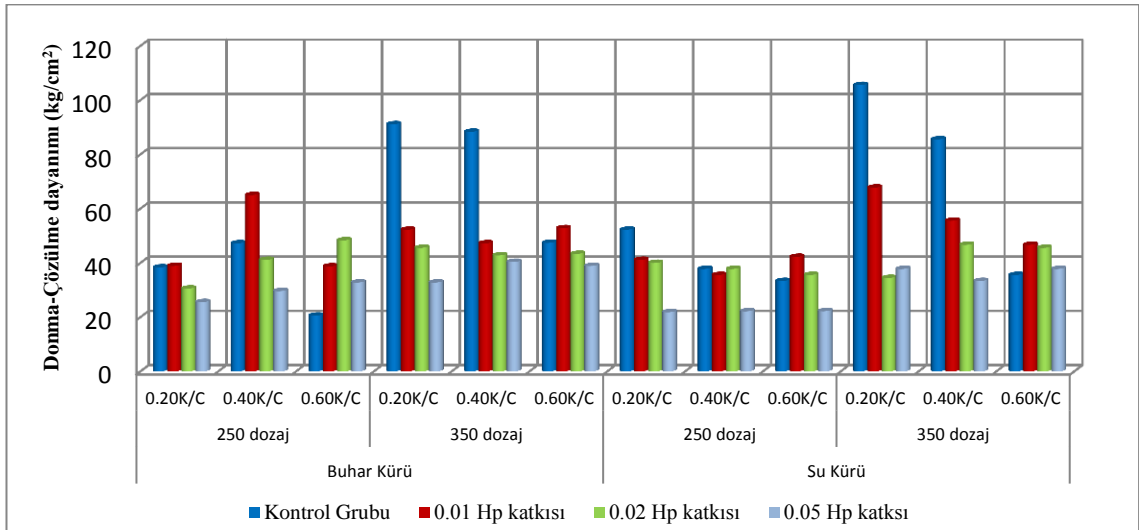
Kür şekli	Dozaj (kg/m <sup>3</sup> )	K/Ç oranı	Katki oranı (%)	Grup simgesi	N	Donma-çözülme sonrası dayanım (kg/cm <sup>2</sup> )		
						Alüminyum	Hidrojen peroksit	
Su kürü	250	0.20	0	SK1	3	52.22±5.56a	52.22±5.56a	
			1	S1	3	40.00±4.44ab	41.11±5.56a	
			2	S2	3	30.00±7.78bc	40.00±6.67a	
			5	S3	3	24.44±11.12c	21.85±7.23b	
		Ortalama					36.67A	38.80A
		0.40	0	SK2	3	37.78±3.85b	37.78±3.85a	
			1	S4	3	50.00±3.33ab	35.54±2.69a	
			2	S5	3	28.89±6.67bc	37.78±3.85a	
			5	S6	3	22.22±11.11c	22.19±5.50b	
		Ortalama					34.72A	33.32A
		0.60	0	SK3	3	33.33±2.23b	33.33±2.23a	
			1	S7	3	46.67±4.45a	42.22±2.22a	
	2		S8	3	41.11±3.33a	35.56±1.12a		
	5		S9	3	11.67±1.67c	22.22±8.89b		
	Ortalama					33.19A	33.33A	
	Genel Ortalama					34.86	35.15	
	350	0.20	0	SK4	3	105.56±5.56a	105.56±5.56a	
			1	S10	3	77.78±2.22b	67.78±5.56b	
			2	S11	3	42.22±2.22c	34.44±5.56c	
			5	S12	3	27.00±5.06d	37.78±15.56c	
		Ortalama					63.14A	61.39A
		0.40	0	SK5	3	85.56±14.15b	85.56±14.15a	
			1	S13	3	66.67±17.78b	55.56±0.00b	
			2	S14	3	14.44±1.12a	46.67±2.23bc	
5			S15	3	13.33±2.23a	33.33±11.11c		
Ortalama					45.00A	55.28AB		
0.60		0	SK6	3	35.56±4.45b	35.56±4.45a		
		1	S16	3	65.18±22.81a	46.67±8.01b		
	2	S17	3	35.56±4.45b	45.56±1.12b			
	5	S18	3	13.33±2.23b	37.78±2.22ab			
Ortalama					37.41A	41.39B		
Genel Ortalama					48.52	52.69		
<b>Su Kürü Uygulaması Genel Ortalamaları</b>						<b>41.69</b>	<b>43.92</b>	

Donma-çözülme sonrası dayanım değerleri artan kireç oranına bağlı olarak kontrol grupları kendi arasında karşılaştırıldığında, donma-çözülme dayanımının basınç dayanımı ile paralellik gösterdiği, artan kireç oranına bağlı olarak 250 kg/m<sup>3</sup> dozajlı su kürü örnekleri ile 350 kg/m<sup>3</sup> dozajlı buhar ve su kürü örneklerinde dayanımın azaldığı saptanmıştır. Ancak 250 kg/m<sup>3</sup> dozajlı 0.40 K/Ç oranında (BK2) artış belirlenmiştir (Şekil 4.29, Şekil 4.30).





**Şekil 4.29.** Alüminyum katkılı betonlarda donma-çözülme sonrası dayanım değerlerindeki değişim

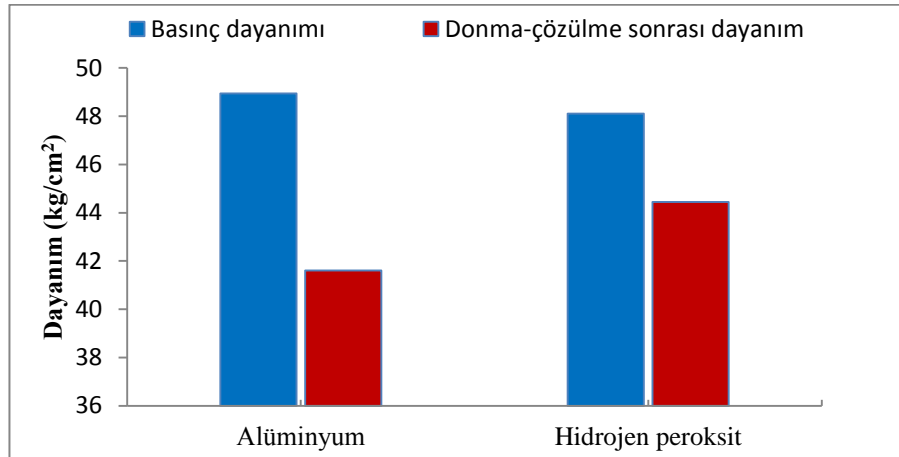


**Şekil 4.30.** Hidrojen peroksit katkılı betonlarda donma-çözülme sonrası dayanım değerlerindeki değişim

Alüminyum ve hidrojen peroksit katkılı örneklerin donma-çözülme sonrası dayanım değerlerindeki değişim incelendiğinde; %1 katkı oranının 0.60 K/Ç oranındaki örneklerde %27 - %113 oranlarında artışa neden olduğu, bu artışında hem alüminyum hem de hidrojen peroksit katkılı 250 kg/m<sup>3</sup> dozajlı buhar kürü örneklerinde gerçekleştiği belirlenmiştir. Katkı oranının %2 ve %5 oranlarında kullanılmasında ise bazı gruplarda artışlar olmasına karşın donma-çözülme sonrası dayanım değerlerinin düştüğü

saptanmıştır.

Donma-çözülme sonrası dayanıma katkının etkisi incelendiğinde (Şekil 4.31); alüminyum katkılı örneklerin hidrojen peroksit katkılı örneklere göre daha düşük dayanımlı olduğu, basınç dayanımları ile karşılaştırıldığında ise hidrojen peroksit katkılı örneklerin donma çözülme dayanımlarının daha iyi olduğu görülmüştür. Guglielmi *et. al.* (2010) belirli bir oranın üzerinde alüminyum kullanımının mikro gözenek oluşumu yerine gözeneklerin birleşerek daha büyük boşluk oluşumuna neden olacağı ve bu durumda malzeme dayanımı üzerine olumsuz etkilerinin olacağını bildirmiştir. Alüminyum katkılı örneklerin düşük donma-çözülme sonrası dayanımları, artan boşluk yapısı ve bu boşlukların düzensiz oluşu ile açıklanabilir.



**Şekil 4.31.** Donma-çözülme sonrası dayanımı değerlerindeki değişim

Donma-çözülme dayanımı değerlerindeki değişim istatistiksel açıdan değerlendirildiğinde; hem alüminyum ve hem de hidrojen peroksit katkılı örneklerde kür koşullarının  $\alpha=0.05$  anlam düzeyinde önemsiz olduğu saptanmıştır (Çizelge 4.25). Ancak diğer bağımsız değişkenlerin donma-çözülme dayanım değerlerine etkisi istatistiksel açıdan  $\alpha=0.05$  anlam düzeyinde çok önemli olduğu belirlenmiştir.

**Çizelge 4.25.** Kür, K/Ç oranı, katkı oranı ve dozaj bağımsız değişkenlerinin alüminyum ve hidrojen peroksit katkılı örneklerin donma-çözülme sonrası dayanım değerlerine olan etkilerine ilişkin varyans analiz sonuçları

Katkı	Kareler toplamı (SS)	Serbestlik derecesi (df)	Kareler ortalaması (MS)	F	P	
Alüminyum	Kür (K)	0.943	1	0.943	0.020	0.888 <sup>ns</sup>
	Dozaj (D)	7 512.700	1	7 512.700	157.760	0.000 <sup>**</sup>
	K/Ç	4 682.644	2	2 341.322	49.166	0.000 <sup>**</sup>
	Katkı oranı (KO)	30 508.067	3	10 169.356	213.547	0.000 <sup>**</sup>
	K * D	22.539	1	22.539	0.473	0.493 <sup>ns</sup>
	K * K/Ç	531.296	2	265.648	5.578	0.005 <sup>**</sup>
	D * K/Ç	2 845.849	2	1 422.924	29.880	0.000 <sup>**</sup>
	K * D * K/Ç	11.579	2	5.790	0.122	0.886 <sup>ns</sup>
	K * KO	1 483.977	3	494.659	10.387	0.000 <sup>**</sup>
	D * KO	9 446.974	3	3 148.991	66.126	0.000 <sup>**</sup>
	K * D * K	333.400	3	111.133	2.334	0.079 <sup>ns</sup>
	K/Ç * KO	7 351.118	6	1 225.186	25.728	0.000 <sup>**</sup>
	K * K/Ç * KO	992.123	6	165.354	3.472	0.004 <sup>**</sup>
	D * K/Ç * KO	1 956.516	6	326.086	6.848	0.000 <sup>**</sup>
	K * D * K/Ç * KO	1 269.479	6	211.580	4.443	0.001 <sup>**</sup>
	Hata	4 571.621	96	47.621		
	Toplam	322 808.831	144			
Hidrojen peroksit	Kür (K)	40.418	1	40.418	1.165	0.283 <sup>ns</sup>
	Dozaj (D)	8 860.928	1	8 860.928	255.305	0.000 <sup>**</sup>
	K/Ç	2 251.997	2	1 125.999	32.443	0.000 <sup>**</sup>
	Katkı oranı (KO)	12 920.794	3	4 306.931	124.093	0.000 <sup>**</sup>
	K * D	122.822	1	122.822	3.539	0.063 <sup>ns</sup>
	K * K/Ç	877.835	2	438.917	12.646	0.000 <sup>**</sup>
	D * K/Ç	1 023.526	2	511.763	14.745	0.000 <sup>**</sup>
	K * D * K/Ç	404.862	2	202.431	5.833	0.004 <sup>**</sup>
	K * KO	229.632	3	76.544	2.205	0.092 <sup>ns</sup>
	D * KO	5 882.603	3	1 960.868	56.497	0.000 <sup>**</sup>
	K * D * K	470.313	3	156.771	4.517	0.005 <sup>**</sup>
	K/Ç * KO	7 833.298	6	1 305.550	37.616	0.000 <sup>**</sup>
	K * K/Ç * KO	490.108	6	81.685	2.354	0.037 <sup>*</sup>
	D * K/Ç * KO	1 980.660	6	330.110	9.511	0.000 <sup>**</sup>
	K * D * K/Ç * KO	1 413.626	6	235.604	6.788	0.000 <sup>**</sup>
	Hata	3 331.892	96	34.707		
	Toplam	332 617.980	144			

\*\* : p<0.01; \* : p<0.05; ns: önemsiz

Donma-çözülme sonrası dayanım değerlerinde katkının farkını belirleyebilmek için yapılan varyans analizi sonuçları da Çizelge 4.26'da verilmiştir.

**Çizelge 4.26.** Katkı çeşidi, kür, K/Ç oranı, katkı oranı ve dozaj bağımsız değişkenlerinin gaz beton örneklerin donma-çözülme sonrası dayanım değerlerine olan etkilerine ilişkin varyans analiz sonuçları

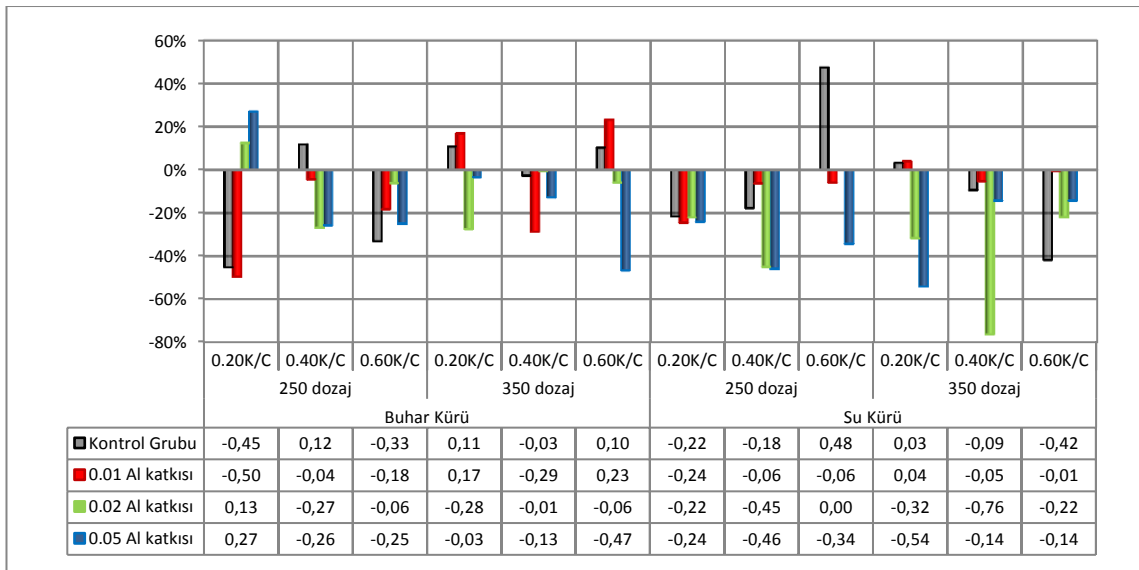
	Kareler toplamı (SS)	Serbestlik derecesi (df)	Kareler ortalaması (MS)	F	P	$\eta^2$
Katkı (Ka)	580.780	1	580.780	14.109	0.000**	0.068
Kür (K)	14.508	1	14.508	0.352	0.553 <sup>ns</sup>	0.002
Dozaj (D)	16345.827	1	16345.827	397.089	0.000**	0.674
K/Ç	6433.681	2	3216.841	78.147	0.000**	0.449
Katkı oranı (KO)	41080.589	3	13693.530	332.657	0.000**	0.839
Ka * K	26.852	1	26.852	0.652	0.420 <sup>ns</sup>	0.003
Ka * D	27.801	1	27.801	0.675	0.412 <sup>ns</sup>	0.004
K * D	20.066	1	20.066	0.487	0.486 <sup>ns</sup>	0.003
Ka * K * D	125.294	1	125.294	3.044	0.083 <sup>ns</sup>	0.016
Ka * K/Ç	500.959	2	250.480	6.085	0.003**	0.060
K * K/Ç	1247.784	2	623.892	15.156	0.000**	0.136
Ka * K * K/Ç	161.347	2	80.673	1.960	0.144 <sup>ns</sup>	0.020
D * K/Ç	3608.561	2	1804.281	43.831	0.000**	0.313
Ka * D * K/Ç	260.814	2	130.407	3.168	0.044*	0.032
K * D * K/Ç	173.260	2	86.630	2.104	0.125 <sup>ns</sup>	0.021
Ka * K * D * K/Ç	243.182	2	121.591	2.954	0.055 <sup>ns</sup>	0.030
Ka * KO	2348.272	3	782.757	19.016	0.000**	0.229
K * KO	1123.010	3	374.337	9.094	0.000**	0.124
Ka * K * KO	590.599	3	196.866	4.782	0.003**	0.070
D * KO	13781.725	3	4593.908	111.600	0.000**	0.636
Ka * D * KO	1547.852	3	515.951	12.534	0.000**	0.164
K * D * KO	727.486	3	242.495	5.891	0.001**	0.084
Ka * K * D * KO	76.227	3	25.409	0.617	0.605 <sup>ns</sup>	0.010
K/Ç * KO	13919.302	6	2319.884	56.357	0.000**	0.638
Ka * K/Ç * KO	1265.113	6	210.852	5.122	0.000**	0.138
K * K/Ç * KO	680.553	6	113.426	2.755	0.014*	0.079
Ka * K * K/Ç * KO	801.678	6	133.613	3.246	0.005**	0.092
D * K/Ç * KO	3714.499	6	619.083	15.039	0.000**	0.320
K * D * K/Ç * KO	222.677	6	37.113	0.902	0.495 <sup>ns</sup>	0.027
K * D * K/Ç * KO	1493.689	6	248.948	6.048	0.000**	0.159
Ka * K * D * K/Ç * KO	1189.415	6	198.236	4.816	0.000**	0.131
Hata	7903.513	192	41.164			
Toplam	655426.811	288				

\*\* : p<0.01; \* : p<0.05; ns: önemsiz

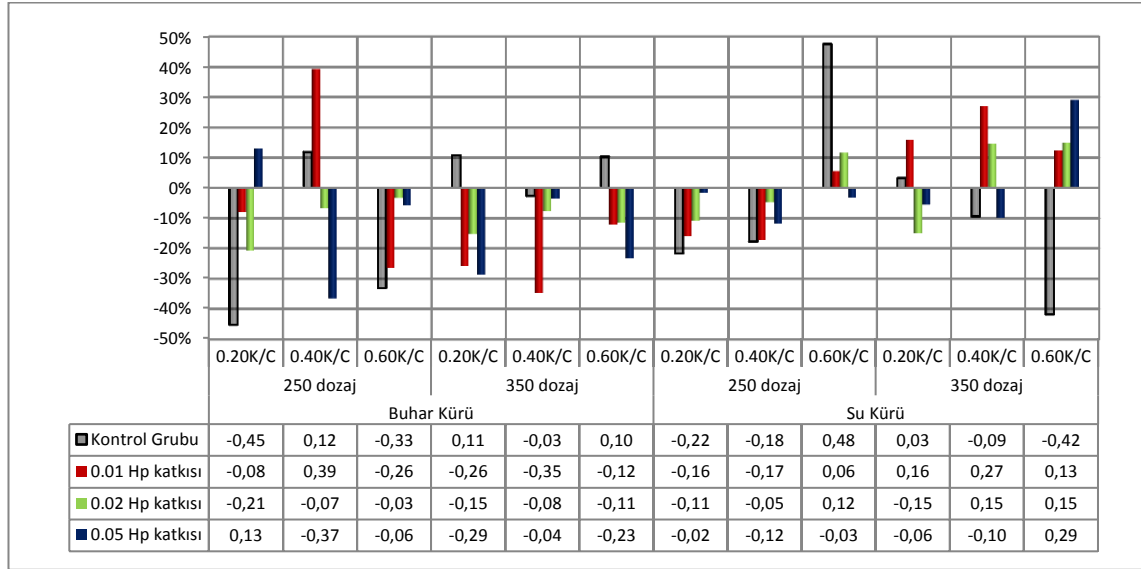
Alüminyum ve hidrojen peroksit katkısının donma-çözülme sonrası dayanıma etkilerini görmek amacıyla yapılan (Çizelge 4.26) varyans analiz sonuçları incelendiğinde; katkı

( $F_{192,1}=14.109$ ;  $p=0.000$ ), dozaj ( $F_{192,1}=397.089$ ;  $p=0.000$ ), K/Ç ( $F_{192,2}=78.147$ ;  $p=0.000$ ) ve katkı oranı ( $F_{192,3}=332.657$ ;  $p=0.000$ ) bağımsız değişkenlerinin  $\alpha=0.01$  anlam düzeyinde çok önemli olduğu görülmüştür. Ancak kür ( $F_{192,1}=0.352$ ;  $p=0.553$ ) bağımsız değişkeninin donma-çözülme dayanımına etkisi  $\alpha=0.05$  anlam düzeyinde önemsiz bulunmuştur.

Alüminyum ve hidrojen peroksit katkılı gaz betonların donma-çözülme dayanıklılığı incelendiğinde (Şekil 4.32, Şekil 4.33); bağımsız değişkenlere bağlı olarak oluşturulan farklı gruplar arasında homojen bir artış veya azalışın olmadığı, donma-çözülme dayanıklılık değerlerinin değişkenlik gösterdiği ve pomza ile üretilen gaz beton örneklerin donma-çözülme dayanıklılık değerlerinin hafif betonlar ile benzerlik göstermediği söylenebilir. Bu durum, Cabrillac *et. al.* (2006) tarafından tanımlanan kireç ve kum miktarının artması, su ihtiyacını artırarak boşluk miktarını arttırması, artan kireç ve alüminyum miktarı ile malzeme içinde oluşacak boşlukların oluşum hızlarının aynı olmayabileceği ve gruplarda artan kirecin çimento ile aynı hidrasyon reaksiyonları göstermemesinden kaynaklanan nedenlerle beton özelliklerini olumsuz etkileyebileceği sonuçlarına benzerlik göstermektedir.



**Şekil 4.32.** Alüminyum katkılı betonlarda donma-çözülme dayanıklılığı değerlerindeki % değişim oranları



**Şekil 4.33.** Hidrojen peroksit katkılı betonlarda donma-çözülme dayanıklılığı değerlerindeki % değişim oranları

#### 4.2.6. Isı iletkenlik katsayısı

Pomza ile üretilen gaz beton örneklerin ısı iletkenlik katsayıları artan katkı oranına bağlı olarak, su kürü ve buhar kürü gruplarında azalma göstermiş olup 0.179–0.874 W/m<sup>°K</sup> arasında saptanmıştır. Alüminyum ve hidrojen peroksit katkılı su ve buhar kürü örneklerine ilişkin ısı iletkenlik değerleri Çizelge 4.27 ve Çizelge 4.28’de verilmiştir.

Kontrol gruplarının kendi aralarında ısı iletkenlik katsayısına değerlerine ilişkin değişim incelendiğinde (Şekil 4.34, Şekil 4.35), artan kireç oranına göre ısı iletkenlik değerlerinde azalış görülmektedir. Ancak 250 kg/m<sup>3</sup> dozajlı 0.40 K/Ç oranındaki buhar kürü örneklerinde %0.7 ve su kürü örneklerinde de %1.7’lik bir artış saptanmıştır.

Katkı oranına göre ısı iletkenlik katsayısındaki değişimler incelendiğinde, 250 kg/m<sup>3</sup> dozajlı buhar kürü örneklerinde %1 alüminyum katkısı ortalama %15.84, %2 alüminyum katkısı %30.07 ve %5 alüminyum katkısı da %77.06 oranında azalma göstermiştir. Hidrojen peroksit katkısı için sırasıyla bu değerler %17.21, %26.65 ve %29,99 oralarında olmuştur.

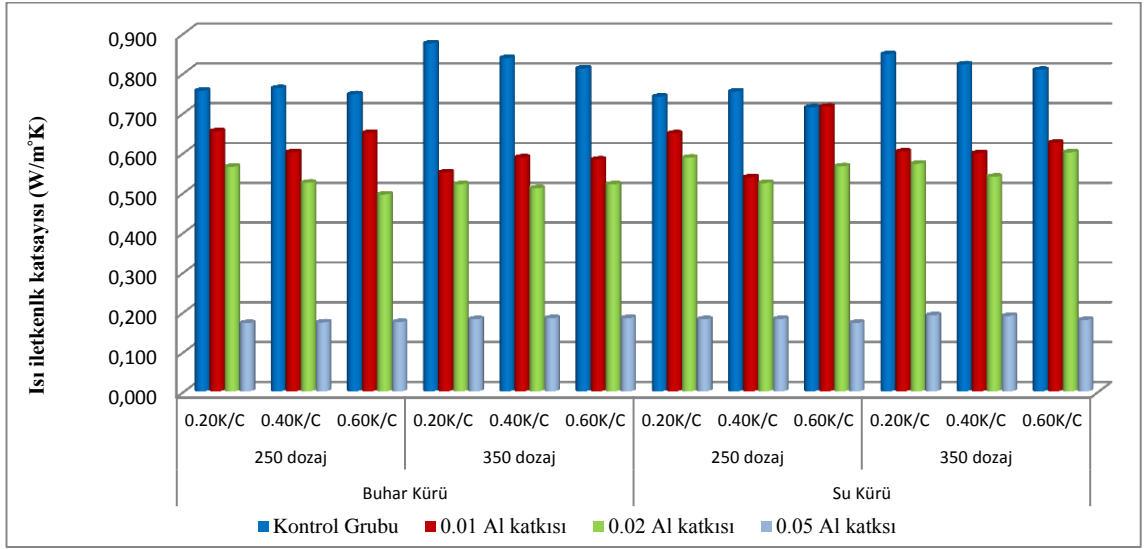
Çizelge 4.27. Buhar kürü örneklerinde ısı iletkenlik katsayısı değerleri

Kür şekli	Dozaj (kg/m <sup>3</sup> )	K/Ç oranı	Katkı oranı (%)	Grup simgesi	N	Isı iletkenlik katsayısı (W/m <sup>2</sup> K)		
						Alüminyum	Hidrojen peroksit	
Buhar kürü	250	0.20	0	BK1	3	0.755±0.0118a	0.755±0.0118a	
			1	B1	3	0.653±0.0453b	0.641±0.0031b	
			2	B2	3	0.564±0.0365c	0.553±0.0153c	
			5	B3	3	0.172±0.0197d	0.516±0.0366c	
				Ortalama			0.536A	0.616A
		0.40	0	B2	3	0.761±0.0350a	0.761±0.0350a	
			1	B4	3	0.601±0.0421b	0.637±0.0098b	
			2	B5	3	0.524±0.0231c	0.580±0.0156c	
			5	B6	3	0.173±0.0100d	0.537±0.0084d	
				Ortalama			0.515A	0.629A
		0.60	0	BK3	3	0.746±0.0046a	0.746±0.0046a	
			1	B7	3	0.649±0.0041b	0.595±0.0388b	
	2		B8	3	0.494±0.0075c	0.575±0.0542b		
	5		B9	3	0.174±0.0215d	0.553±0.0277b		
			Ortalama			0.516A	0.617A	
			Genel Ortalama			0.522	0.621	
	350	0.20	0	BK4	3	0.874±0.0094a	0.874±0.0094a	
			1	B10	3	0.550±0.0258b	0.616±0.0088b	
			2	B11	3	0.520±0.0213b	0.554±0.0087c	
			5	B12	3	0.181±0.0068c	0.539±0.0242c	
				Ortalama			0.531A	0.646A
		0.40	0	BK5	3	0.837±0.0039a	0.837±0.0039a	
			1	B13	3	0.587±0.0258b	0.597±0.0169b	
			2	B14	3	0.510±0.0057c	0.574±0.0153bc	
5			B15	3	0.184±0.0065d	0.550±0.0342c		
			Ortalama			0.530A	0.639A	
0.60		0	BK6	3	0.811±0.0258a	0.811±0.0258a		
		1	B16	3	0.582±0.0023b	0.673±0.0361b		
	2	B17	3	0.520±0.0094c	0.652±0.0129b			
	5	B18	3	0.184±0.0021d	0.586±0.0250c			
		Ortalama			0.524A	0.681A		
		Genel Ortalama			0.528	0.655		
<b>Buhar Kürü Uygulaması Genel Ortalamaları</b>						<b>0.525</b>	<b>0.638</b>	

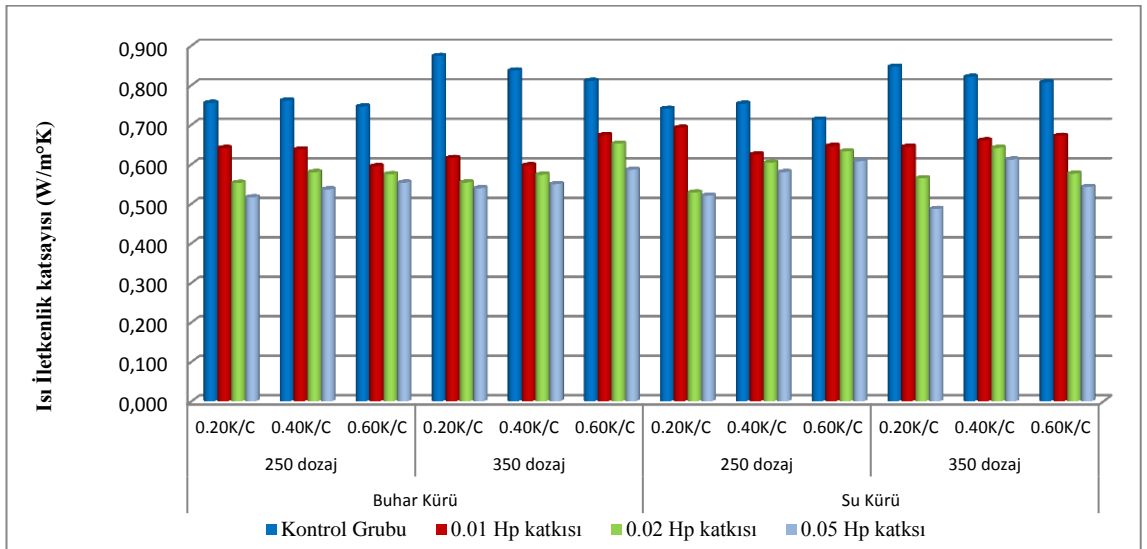
Çizelge 4.28. Su kuru örneklerinde ısı iletkenlik katsayısı değerleri

Kür şekli	Dozaj (kg/m <sup>3</sup> )	K/Ç oranı	Katki oranı (%)	Grup simgesi	N	Isı iletkenlik katsayısı (W/m <sup>o</sup> K)		
						Alüminyum	Hidrojen peroksit	
Su kuru	250	0.20	0	SK1	3	0.740±0.0257a	0.740±0.0257a	
			1	S1	3	0.648±0.0522b	0.692±0.0081b	
			2	S2	3	0.587±0.0071c	0.528±0.0223c	
			5	S3	3	0.181±0.0169d	0.520±0.0127c	
		Ortalama					0.539A	0.620A
		0.40	0	SK2	3	0.753±0.0269a	0.753±0.0269a	
			1	S4	3	0.538±0.0220b	0.625±0.0415b	
			2	S5	3	0.523±0.0070b	0.604±0.0286b	
			5	S6	3	0.182±0.0060c	0.580±0.0318b	
		Ortalama					0.499A	0.641A
		0.60	0	SK3	3	0.713±0.0251a	0.713±0.0251a	
			1	S7	3	0.715±0.0712a	0.646±0.0096b	
	2		S8	3	0.565±0.0704b	0.632±0.0533b		
	5		S9	3	0.172±0.0059c	0.608±0.0093b		
	Ortalama					0.541A	0.650A	
	Genel Ortalama					0.526	0.637	
	350	0.20	0	SK4	3	0.847±0.0199a	0.847±0.0119a	
			1	S10	3	0.602±0.0829b	0.644±0.0133b	
			2	S11	3	0.572±0.0162b	0.564±0.0117c	
			5	S12	3	0.191±0.0059c	0.487±0.0091d	
		Ortalama					0.553A	0.636A
		0.40	0	SK5	3	0.821±0.0296a	0.821±0.0296a	
			1	S13	3	0.598±0.0200b	0.660±0.0362b	
			2	S14	3	0.539±0.0126c	0.642±0.0042b	
5			S15	3	0.189±0.0042d	0.612±0.0276b		
Ortalama					0.537A	0.684A		
0.60		0	SK6	3	0.807±0.0086a	0.807±0.0086a		
		1	S16	3	0.624±0.0945b	0.672±0.0500b		
	2	S17	3	0.600±0.0032b	0.576±0.0346c			
	5	S18	3	0.179±0.0022c	0.542±0.0374c			
Ortalama					0.553A	0.649A		
Genel Ortalama					0.548	0.565		
<b>Su Kuru Uygulaması Genel Ortalamaları</b>						<b>0.537</b>	<b>0.647</b>	





Şekil 4.34. Alüminyum katkılı betonlarda ısı iletkenlik katsayısı değerlerindeki değişim

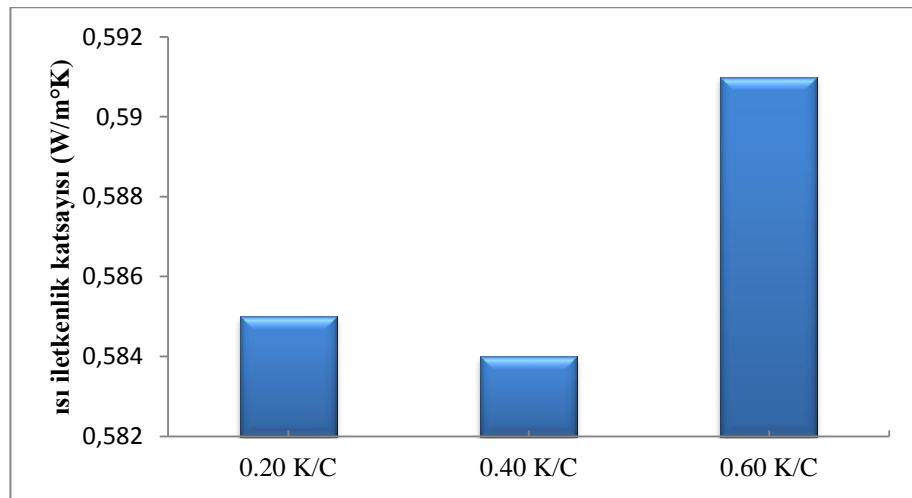


Şekil 4.35. Hidrojen peroksit katkılı betonlarda ısı iletkenlik katsayısı değerlerindeki değişim

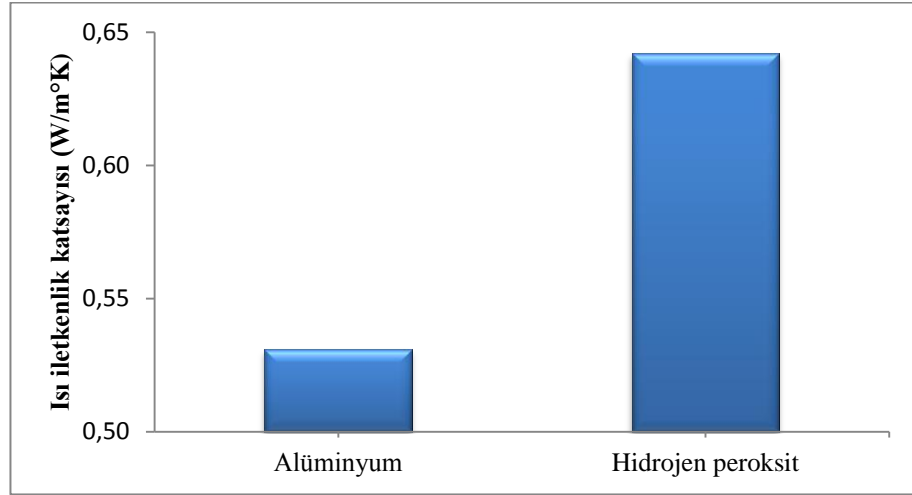
Isı iletkenlik katsayısındaki değişimler  $250 \text{ kg/m}^3$  dozajlı su kürü örneklerinde incelendiğinde; %1 alüminyum katkısı ortalama %13.57, %2 alüminyum katkısı %23.99 ve %5 alüminyum katkısı da %75.75 oranında azalma gösterdiği saptanmıştır. Hidrojen peroksit katkısı için sırasıyla bu değerler %10.96, %19.93 ve %22.47 oranlarında gerçekleşmiştir.

Alüminyum katkılı  $350 \text{ kg/m}^3$  dozajlı buhar kürü örnekleri için ısı iletkenlik katsayısındaki değişimler ise; %1 katkı ile ortalama %31.73, %2 alüminyum katkısı %38,48 ve %5 alüminyum katkısı da %78.21 oranında ısı iletkenlik katsayısında azalmaya yol açmıştır. Su kürü için sırasıyla bu azalma %26.26, %30.82 ve %77.42 oranlarında gerçekleşmiştir. Hidrojen peroksitin %1, %2 ve %5 oranlarında katılması ile sırasıyla buhar kürü için %25.07, %29.21 ve %33.62 oranlarında, su kürün için de %20.10, 28.94 ve 33.6 oranlarında azalma gerçekleştiği saptanmıştır. Bu değişimler artan kireç oranında, aynı alüminyum katkı oranına sahip grupların birbirine yakın azalma oranları göstermesine karşın, aynı hidrojen peroksit katkı oranına sahip grupların artan kireç oranına göre değişim oranlarında azalma söz konusudur.

Artan kireç oranının ortalama değerlere göre ısı iletkenlik katsayısına etkisi incelendiğinde (Şekil 4.36); 0.60 K/Ç oranındaki grupların maksimum ısı iletkenlik değerine sahip olduğu görülmektedir. Bu durum %5 hidrojen peroksit katkısının aynı orandaki alüminyum katkısı kadar gözenek oluşturmamasından kaynaklanan yüksek ısı iletkenlik katsayı değerleri ile açıklanabilir. Ancak ısı iletkenlik katsayısı değerleri katkı çeşidine göre incelendiğinde; alüminyum katkılı örneklerin hidrojen peroksit katkılı örneklere göre daha düşük değerler sahip olduğu belirlenmiştir (Şekil 4.37).



**Şekil 4.36.** Farklı K/Ç oranlarına göre ısı iletkenlik katsayısı değerindeki değişim



**Şekil 4.37.** Katkı çeşidinin ısı iletkenlik katsayısına etkisi

Üretilen gaz beton örneklerinde azalan ısı iletkenlik katsayısı değerlerinin istatistiksel açıdan anlamlı farkın olup olmadığını belirlemek amacıyla çoklu varyans analizi yapılmıştır. Alüminyum ve hidrojen peroksit katkılı örnekler ayrı birer grup olarak düşünülerek yapılan varyans analizi sonuçları Çizelge 4.29’da, gruplar arasındaki katkı farkını belirleyebilmek için yapılan varyans analizi sonuçları da Çizelge 4.30’da verilmiştir.

Çizelge 4.29 incelendiğinde; kür bağımsız değişkeninin alüminyum katkılı örneklerde ( $F_{192,1}=5.302$ ;  $p=0.023$ )  $\alpha=0.05$  anlam düzeyinde önemli, hidrojen peroksit katkılı örneklerde ise ( $F_{192,1}=3.918$ ;  $p=0.051$ )  $\alpha=0.05$  anlam düzeyinde önemsiz olduğu saptanmıştır. Ancak diğer bağımsız değişkenler (dozaj, K/Ç ve katkı oranı) hem alüminyum katkılı hem de hidrojen peroksit katkılı örneklerde  $\alpha=0.01$  anlam düzeyinde çok önemli olduğu belirlenmiştir.

Alüminyum katkılı örneklerde ikili ve çoklu etkileşimler incelendiğinde, kür\*K/Ç etkileşiminin ( $F_{96,2}=3.133$ ;  $p=0.048$ )  $\alpha=0.05$  anlam düzeyinde önemli, kür\*katkı oranı ( $F_{96,3}=5.989$ ;  $p=0.001$ ), dozaj\*katkı oranı ( $F_{96,3}=28.949$ ;  $p=0.000$ ), K/Ç\*katkı oranı ( $F_{96,6}=5.160$ ;  $p=0.000$ ) ve dozaj\*K/Ç\*katkı oranı ( $F_{96,6}=4.520$ ;  $p=0.000$ ) etkileşimlerinin  $\alpha=0.01$  anlam düzeyinde çok önemli olduğu görülmüştür. Alüminyum

katkılı örneklerin diğer etkileşimleri  $\alpha=0.05$  anlam düzeyinde önemsiz bulunmuştur.

**Çizelge 4.29.** Kür, K/Ç oranı, katkı oranı ve dozaj bağımsız değişkenlerinin alüminyum ve hidrojen peroksit katkılı örneklerin ısı iletkenlik katsayısı değerlerine olan etkilerine ilişkin varyans analiz sonuçları

Katkı	Kareler toplamı (SS)	Serbestlik derecesi (df)	Kareler ortalaması (MS)	F	P	
Alüminyum	Kür (K)	0.005	1	0.005	5.302	0.023*
	Dozaj (D)	0.007	1	0.007	7.240	0.008**
	K/Ç	0.010	2	0.005	5.254	0.007**
	Katkı oranı (KO)	7.066	3	2.355	2534.95	0.000**
	K * D	0.002	1	0.002	2.196	0.142 <sup>ns</sup>
	K * K/Ç	0.006	2	0.003	3.133	0.048*
	D * K/Ç	0.003	2	0.002	1.666	0.194 <sup>ns</sup>
	K * D * K/Ç	0.001	2	0.000	0.352	0.704 <sup>ns</sup>
	K* KO	0.017	3	0.006	5.989	0.001**
	D * KO	0.081	3	0.027	28.949	0.000**
	K * D * K	0.002	3	0.001	0.749	0.525 <sup>ns</sup>
	K/Ç * KO	0.029	6	0.005	5.160	0.000**
	K * K/Ç * KO	0.010	6	0.002	1.823	0.103 <sup>ns</sup>
	D * K/Ç * KO	0.025	6	0.004	4.520	0.000**
	K * D * K/Ç * KO	0.004	6	0.001	0.794	0.577 <sup>ns</sup>
Hata	0.089	96	0.001			
Toplam	47.982	144				
Hidrojen peroksit	Kür (K)	0.003	1	0.003	3.918	0.051 <sup>ns</sup>
	Dozaj (D)	0.026	1	0.026	38.920	0.000**
	K/Ç	0.012	2	0.006	8.815	0.000**
	Katkı oranı (KO)	1.176	3	0.392	585.971	0.000**
	K * D	0.002	1	0.002	3.083	0.082 <sup>ns</sup>
	K * K/Ç	0.007	2	0.003	5.157	0.007**
	D * K/Ç	0.000	2	0.000	0.371	0.691 <sup>ns</sup>
	K * D * K/Ç	0.014	2	0.007	10.419	0.000**
	K* KO	0.010	3	0.003	5.085	0.003**
	D * KO	0.046	3	0.015	22.900	0.000**
	K * D * K	0.003	3	0.001	1.657	0.181 <sup>ns</sup>
	K/Ç * KO	0.047	6	0.008	11.663	0.000**
	K * K/Ç * KO	0.009	6	0.001	2.134	0.056 <sup>ns</sup>
	D * K/Ç * KO	0.017	6	0.003	4.173	0.001**
	K * D * K/Ç * KO	0.014	6	0.002	3.452	0.004**
Hata	0.064	96	0.001			
Toplam	60.857	144				

\*\* :  $p < 0.01$ ; \* :  $p < 0.05$ ; ns: önemsiz

**Çizelge 4.30.** Katkı çeşidi, kür, K/Ç oranı, katkı oranı ve dozaj bağımsız değişkenlerinin gaz beton örneklerin ısı iletkenlik katsayısı değerlerine olan etkilerine ilişkin varyans analiz sonuçları

	Kareler toplamı (SS)	Serbestlik derecesi (df)	Kareler ortalaması (MS)	F	P	$\eta^2$
Katkı (Ka)	0.889	1	0.889	1113.100	0.000**	0.853
Kür (K)	0.007	1	0.007	9.219	0.003**	0.046
Dozaj (D)	0.030	1	0.030	37.065	0.000**	0.162
K/Ç	0.003	2	0.002	2.005	0.138 <sup>ns</sup>	0.020
Katkı oranı (KO)	6.587	3	2.196	2747.868	0.000**	0.977
Ka * K	0.000	1	0.000	0.225	0.635 <sup>ns</sup>	0.001
Ka * D	0.003	1	0.003	3.940	0.049*	0.020
K * D	0.000	1	0.000	0.000	0.995 <sup>ns</sup>	0.000
Ka * K * D	0.04	1	0.004	5.134	0.025*	0.026
Ka * K/Ç	0.018	2	0.009	11.485	0.000**	0.107
K * K/Ç	0.01	2	0.001	0.708	0.494 <sup>ns</sup>	0.007
Ka * K * K/Ç	0.012	2	0.006	7.253	0.001**	0.070
D * K/Ç	0.002	2	0.001	1.310	0.272 <sup>ns</sup>	0.013
Ka * D * K/Ç	0.002	2	0.001	0.939	0.393 <sup>ns</sup>	0.010
K * D * K/Ç	0.010	2	0.005	6.371	0.002**	0.062
Ka * K * D * K/Ç	0.04	2	0.002	2.762	0.066 <sup>ns</sup>	0.028
Ka * KO	1.655	3	0.552	690.199	0.000**	0.915
K * KO	0.021	3	0.007	8.928	0.000**	0.122
Ka * K * KO	0.05	3	0.002	2.294	0.079 <sup>ns</sup>	0.035
D * KO	0.118	3	0.039	49.361	0.000**	0.435
Ka * D * KO	0.008	3	0.003	3.473	0.017*	0.051
K * D * KO	0.004	3	0.001	1.675	0.174 <sup>ns</sup>	0.026
Ka * K * D * KO	0.001	3	0.000	0.584	0.009**	0.009
K/Ç * KO	0.048	6	0.008	10.052	0.000**	0.239
Ka * K/Ç * KO	0.027	6	0.005	5.713	0.000**	0.151
K * K/Ç * KO	0.010	6	0.002	2.127	0.052 <sup>ns</sup>	0.062
Ka * K * K/Ç * KO	0.009	6	0.001	1.780	0.105 <sup>ns</sup>	0.053
D * K/Ç * KO	0.020	6	0.003	4.216	0.001**	0.116
K * D * K/Ç * KO	0.022	6	0.004	4.533	0.000**	0.124
K * D * K/Ç * KO	0.013	6	0.002	2.668	0.016*	0.077
Ka * K * D * K/Ç * KO	0.005	6	0.001	1.144	0.338 <sup>ns</sup>	0.035
Hata	0.153	192	0.001			
Toplam	108.838	288				

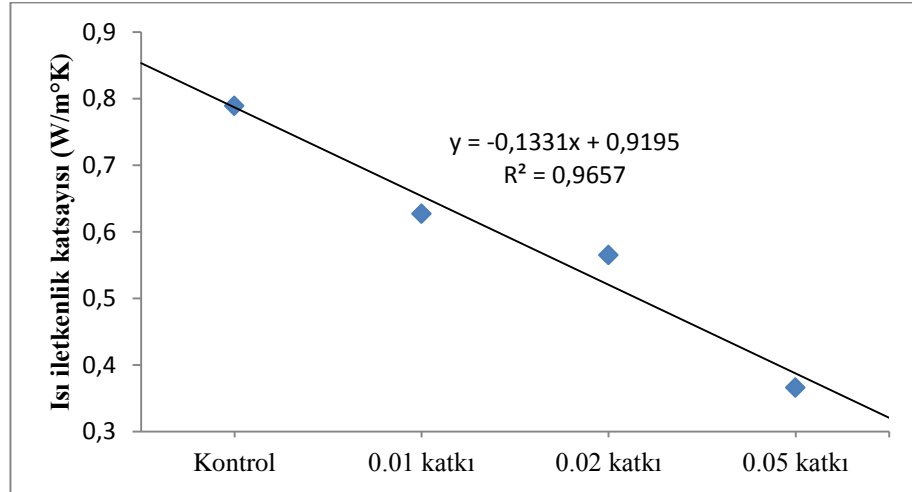
\*\* : p<0.01; \* : p<0.05; ns: önemsiz

Hidrojen peroksit katkılı örneklerde ikili ve çoklu etkileşimler incelendiğinde, kür\*dozaj, dozaj\*K/Ç, kür\*dozaj\*katkı oranı ve kür\*K/Ç\*katkı oranı etkileşimlerinin

$\alpha=0.05$  anlam düzeyinde önemsiz olduğu, diğer çoklu etkileşimlerin ise  $\alpha=0.01$  anlam düzeyinde çok önemli olduğu saptanmıştır.

Alüminyum ve hidrojen peroksit katkısının ısı iletkenlik değerlerine etkilerini görmek amacıyla yapılan (Çizelge 4.30) varyans analiz sonuçları incelendiğinde; katkı ( $F_{192,1}=1113.100$ ;  $p=0.000$ ), kür ( $F_{192,1}=9.219$ ;  $p=0.003$ ), dozaj ( $F_{192,1}=37.065$ ;  $p=0.000$ ) ve katkı oranı ( $F_{192,3}=2747.868$ ;  $p=0.000$ ) bağımsız değişkenlerinin ısı iletkenlik katsayısına etkisi  $\alpha=0.01$  anlam düzeyinde çok önemli olduğu tespit edilmiştir. Ancak, K/Ç ( $F_{192,2}=2.005$ ;  $p=0.138$ ) bağımsız değişkeninin  $\alpha=0.05$  anlam düzeyinde önemsiz olduğu saptanmıştır.

Katkı oranı bağımsız değişkeninin ısı iletkenliğe etkisi incelendiğinde (Şekil 4.38); ortalama değerlerde artan katkı oranına bağlı olarak doğrusal bir azalışın olduğu,  $y = -0.1331x + 0.9195$  regresyon denklemi ile ( $R^2 = 0.9657$ ) kuvvetli bir ilişki söz konusudur.

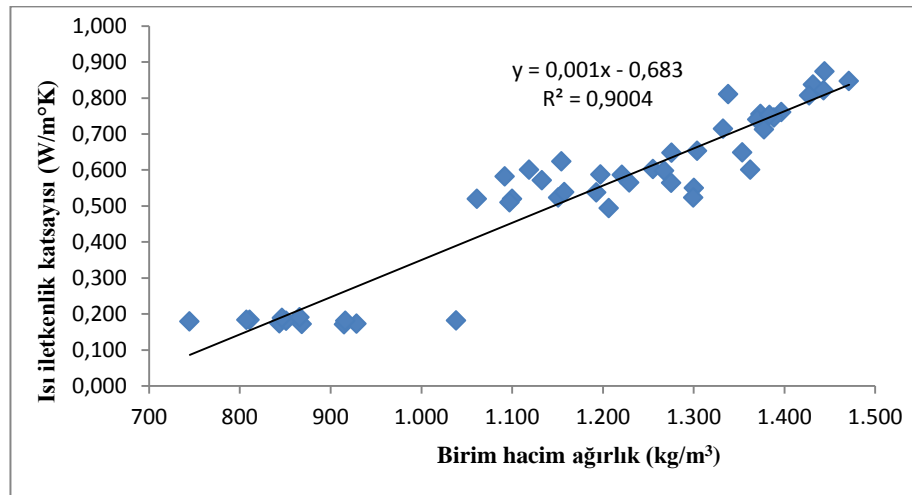


**Şekil 4.38.** Isı iletkenlik katsayısının katkı oranına göre değişimi

Örneklerin ısı iletkenlik değerlerinde oluşan anlamlı farkın hangi alt gruplarda olduğunu belirlemek için Duncan çoklu karşılaştırma testi kullanılmıştır. Buhar kürü ve su kürü örneklerinde, artan katkı oranına bağlı olarak her grup kontrol grubuna göre; istatistiksel

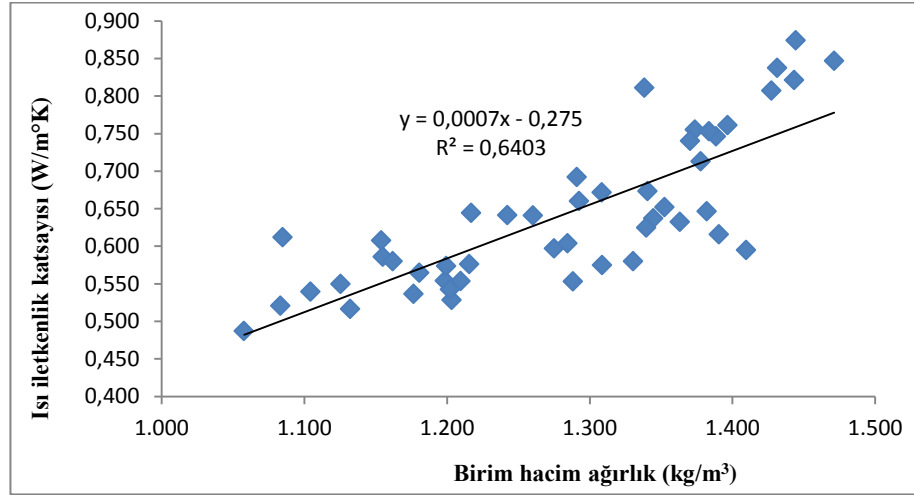
açından ( $\alpha=0.05$  anlam düzeyinde) önemli farklara sahiptir. Bu farklar “a”, ”b”, “c”, “d” harfleri ile sembolize edilerek Çizelge 4.27 ve Çizelge 4.28’de ısı iletkenlik değerlerindeki değişimler ile birlikte verilmiştir. Alüminyum katkılı buhar ve su kuru örneklerinde istatistiksel açıdan önemli olan bu farklılığın değişim aralığı, hidrojen peroksit katkılı örneklere göre daha geniş aralıkta olduğu söylenebilir.

Isı iletkenlik katsayısındaki değişimin bağımlı değişkenlerden birim hacim ağırlıkla ilişkisi alüminyum katkılı örnekler için Şekil 4.39’da, hidrojen peroksit katkılı örnekler için Şekil 4.40’te verilmiştir. Şekil 4.39 ve Şekil 4.40 incelendiğinde, ısı iletkenlik katsayısı değerlerinin artan birim hacim ağırlık değerleri ile doğru orantılı olarak arttığı saptanmıştır. Alüminyum katkılı örneklerdeki artışta  $y = 0.001x - 0.683$  regresyon denklemi ile ( $R^2 = 0.9004$ ) kuvvetli bir ilişkinin olduğu, hidrojen peroksit katkılı örneklerde ise  $y = 0.0007x - 0.275$  regresyon denklemi ile ( $R^2 = 0.6403$ ) alüminyum katkısına göre daha zayıf bir ilişkinin olduğu belirlenmiştir.



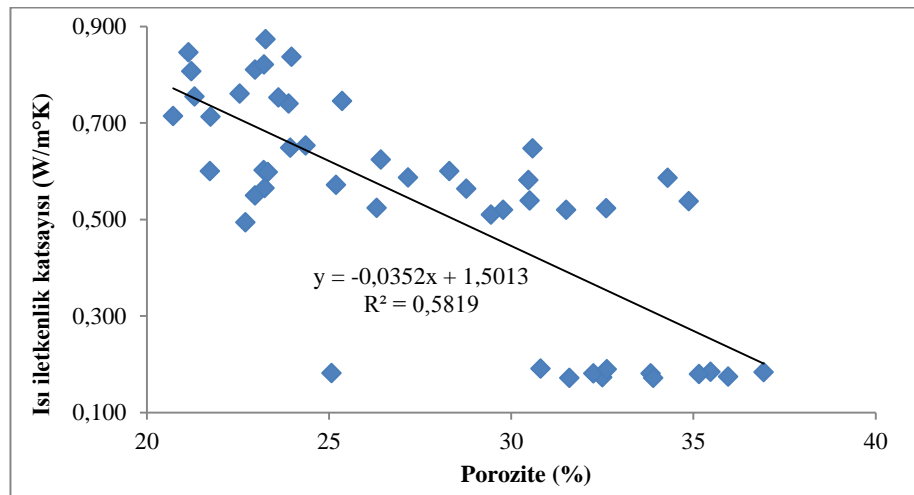
**Şekil 4.39.** Alüminyum katkılı betonlarda ısı iletkenlik katsayısı – birim hacim ağırlık arasındaki ilişki

Birim hacim ağırlık ile ısı iletkenlik arasında belirlenen bu ilişki; Karakurt *et. al.* (2010)’nın zeolit ile gaz beton üretiminde saptadıkları  $y = -1.0613x^2 + 1.8781x - 0.5368$  regresyon denklemine ( $R^2 = 0.93$ ) ve artan birim hacim ağırlıkla ısı iletkenlikteki artışına paralellik göstermektedir.



**Şekil 4.40.** Hidrojen peroksit katkıli betonlarda ısı iletkenlik katsayısı - birim hacim ağırlık arasındaki ilişki

Isı iletkenlik değerlerinin diğer bir bağımsız değişken olan porozite ile değişimi incelendiğinde (Şekil 4.41, Şekil 4.42) artan boşluk oranı ile ısı iletkenlik değerlerinin azaldığı görülmüştür. Bu azalış alüminyum katkıli örneklerde  $y = -0.0352x + 1.5013$  regresyon denklemi ile ( $R^2 = 0.5819$ ) ilişkili iken, hidrojen peroksit katkıli örneklerde bu ilişki  $y = -0.0138x + 0.9952$  regresyon denklemi ( $R^2 = 0.2867$ ) şeklinde olmuştur.

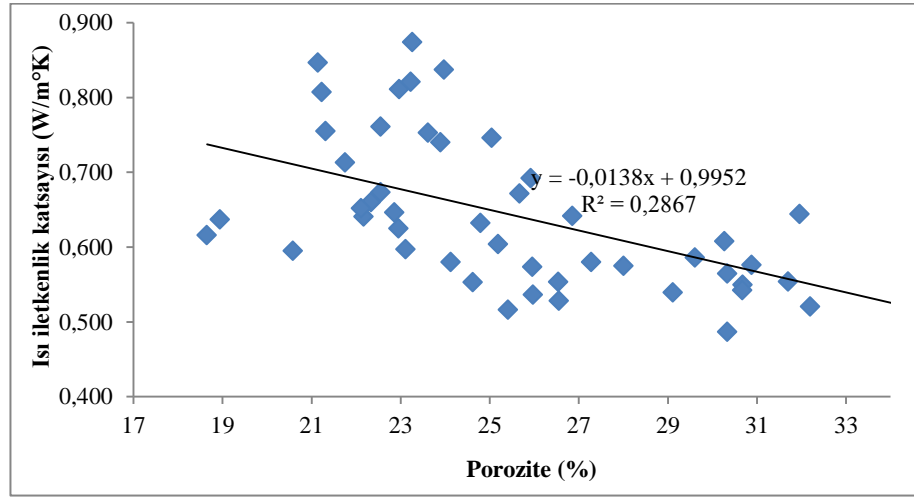


**Şekil 4.41.** Alüminyum katkıli betonlarda ısı iletkenlik katsayısı-porozite arasındaki ilişki

Isı iletkenlik değerlerinin birim hacim ağırlıkla ilişkisi porozite ile ilişkisinden daha



kuvvetli olduğu söylenebilir. Gual *et. al.* (1999) porozitenin bir fonksiyonu olarak ısı iletkenlik değerlerinin değiştiğini, bu durumun yaklaşık olarak malzeme özelliklerinin tahmininde faydalı olacağını, ısı iletkenlik açısından değerlendirildiğinde, oluşan boşlukların betonda homojen dağılmamasından ve boşluk çaplarının değişlik göstermesinden kaynaklanabileceğini belirtmişlerdir.



**Şekil 4.42.** Hidrojen peroksit katkılı betonlarda ısı iletkenlik katsayısı-porozite arasındaki ilişki

## 5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Bu çalışmada, Erzurum – Pasinler bölgesinde bulunan pomzanın gaz beton üretiminde kullanılabilirliği ve farklı kür koşulları, dozaj, kireç oranı ile katkı (alüminyum ve hidrojen peroksit) maddelerinin gaz beton üretimindeki etkileri araştırılmıştır. Yapılan inceleme ve analiz sonuçlarına göre çıkarılabilecek sonuçlar ve öneriler aşağıda maddeler halinde açıklanmıştır.

### 5.1. Sonuçlar

Erzurum–Pasinler pomzası kullanılarak üretilen gaz betonların çeşitli fiziksel ve mekanik özellikleri ile gerçekleştirilmiş deneysel çalışmalardan çıkartılabilecek sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

- Agregada olarak kullanılan uygun tane dağılımına sahip pomzanın, hafif beton (bims blok, briket gibi) üretiminde kullanılmasına karşın piyasada şaplık malzeme olarak adlandırılan 4 mm elek altı ince malzemenin de hafif beton üretiminde değerlendirilebileceği saptanmıştır.
- Üretilen gaz betonların artan katkı oranına göre birim hacim ağırlıkları alüminyum katkılı örneklerde 744–1362 kg/m<sup>3</sup> arasında, hidrojen peroksit katkılı örneklerde ise 1057-1390 kg/m<sup>3</sup> arasında değişen değerler elde edilmiştir. Bu değerler piyasada bulunan gaz betonlarla karşılaştırıldığında %1 ve %2 katkılı örnekler daha yüksek birim hacim ağırlık değerlerine sahiptir. Ancak 350 kg/m<sup>3</sup> dozajlı %5 alüminyum katkılı örneklerin birim hacim ağırlık değerlerine göre G4 ve G5 sınıfı malzeme sınıfına uygun olduğu yatay ve düşey duvar elemanlarına ait değerler ile benzerlik gösterdiği görülmüştür. Gaz beton örneklerin birim hacim ağırlıklarının, artan çimento oranına bağlı olarak artan katkı ve kireç miktarının neden olduğu boşluk yapısı sayesinde azaldığı belirlenmiştir. Buhar kürü ile su kürü örneklerine ait birim hacim ağırlık değerleri karşılaştırıldığında ise, su kürü uygulanan grupların buhar kürü uygulanan gruplara göre daha düşük birim hacim ağırlık değerlerine sahip olduğu, bu değişimlerde katkı çeşidi, katkı oranı ve dozajın etkisi önemli bir parametre olarak belirlenmesine

karşın, su kürü ve basınçsız buhar kürü arasında önemli bir farkın olmadığı saptanmıştır. Sonuçlar, kırsal alanlardaki tarımsal işletme yapılarında, özellikle inşa alanında üretimi yapılabilecek yarı taşıyıcı yalıtım betonu olarak kullanılabilceğini göstermiştir.

- Su emme oranları incelendiğine, artan porozite ile paralel olarak ağırlıkça %30'a varan oranlarda su emme potansiyeline sahip betonlar üretilmiştir. Ancak tüm gruplarda gözeneklerin bir kısmının bağlantısız olması nedeniyle beton boşluklarının tamamı su ile dolmadığı görülmüştür. Çalışma konusu gaz beton örneklerde bağlantısız boşluk olmasına karşın piyasada bulunan gaz betonlarla karşılaştırıldığında daha az bağlantısız boşluğa sahip malzeme elde edildiği görülmüştür. Bu durum, çevre koşullarının önemli olduğu tarımsal işletme yapılarında, bazı sakıncalara neden olabilir. Bu tür betonların kullanımında olanaklar ölçüsünde yüzeylerinin su geçirmez ya da geçirgenliği düşük malzeme ile kaplanarak kullanılması uygun olacaktır.

- Basınç dayanımları incelendiğinde, artan katkı oranı ile basınç dayanımlarının azaldığı saptanırken, bu azalış alüminyum katkılı örneklerde  $15 \text{ kg/cm}^2$ , hidrojen peroksit katkılı gruplarda da  $23 \text{ kg/cm}^2$  olmuştur. Çalışma sonucu elde edilen değerler piyasadaki gaz beton sınıfları ile karşılaştırıldığında, alüminyum katkısı ile G1 ile G5 arası, hidrojen peroksit katkısı ile G2 ile G5 sınıfları arası yalıtım ve yarı taşıyıcı yalıtım duvarları yapılabileceği saptanmıştır. Ancak piyasada bulunan malzemelere ait basınç dayanımı değerlerine göre karşılaştırma yapıldığında; çalışma konusu pomza agregalı gaz beton örneklerin basınç dayanımlarının daha düşük değerlere sahip olduğu belirlenmiş, birim hacim ağırlıklarına göre sınıflandırmada G4 ve G5 olarak belirlenen gruplara ait basınç dayanımı değerlerinin piyasadaki malzemelere göre G1, G2 ve G3 sınıfına uygun değerlerler arasında değişkenlik gösterdiği saptanmıştır. Pomza agregası ile üretilen gaz betonların daha düşük basınç dayanımı değerlerine sahip olması, gaz beton üretiminin hammaddesini oluşturan kuvars kumunun pomza agregasından daha dayanımlı bir malzeme olması ile açıklanabilir. Pomza agregalı örneklerin daha düşük dayanımlara sahip olmasına karşın tarımsal yapıların genellikle tek katlı, kendi ağırlığı dışında farklı yükler taşımadığı göz önüne alınırsa, bu yapılarda pomza ile üretilcek gaz betonun kullanılması yararlar sağlayabilir.

- Donma-çözülme dayanıklılığı değerlendirildiğinde tüm gruplarda değişkenlik göstermiş olup, donma çözülme koşullarının bulunduğu bölgelerde özel önlemler alınarak kullanımı uygun olacaktır.
- Hem 250 kg/m<sup>3</sup> hem de 350 kg/m<sup>3</sup> dozajlı %5 allüminyum katkılı pomza agregalı gaz betonların ısı iletkenlik değerleri, piyasada bulunan G3, G4 ve G5 sınıflarına ait değerler ile uygunluk göstermiş olup, pomza agregalı gaz betonların ısı iletkenlik değerleri tarımsal işletme yapılarında kullanılan yapı malzemelerine yakın ya da daha düşük değerler arasında değişkenlik göstermiştir. Pomza agregalı gaz betonlar yeterli dayanım sağlanması ya da dayanım gerektirmeyen yerlerde kullanılması koşuluyla yararlar sağlayabilir. Tarımsal işletme yapılarında; özellikle hayvan barınakları ve depo yapılarında, uygun çevre koşullarının sağlanmasında ısı yalıtımı ön plana çıkmaktadır. Kırsal yerleşimlerde özellikle taş duvar, ya da düşük yalıtımlı malzemelerin kullanıldığı düşünülürse, yeterli potansiyele sahip pomzanın agrega olarak kullanılmasıyla üretilen gaz betonların bölme duvar elemanı, ısı yalıtım plağı, çatı plağı gibi amaçlarla kullanılması uygun olacaktır.

## 5.2. Öneriler

Bu çalışmada pomza agregası ile gaz beton üretimi araştırılmış, fiziksel ve mekanik özellikleri belirlenerek sonuçlar irdelenmiştir. Ancak kullanılan malzemeler ile farklı karışım ve tekniklerle gaz beton üretimi yapılabileceği göz önünde bulundurulduğunda, bu çalışma da elde edilen sonuçların uygulamaya nasıl aktarılacağı ve daha sonraki çalışmalarda araştırılması uygun olacak bazı öneriler aşağıda açıklanmıştır.

A. Elde edilen sonuçlara göre pomza agregası kullanılarak üretilen gaz betonların uygulamada kullanımı üzerine öneriler;

- Elde edilen alüminyum ve hidrojen peroksit katkılı betonlara ait birim hacim ağırlık değerlerine göre TS 1114'e uygun, gözenekli hafif agregalar kullanılarak veya kuvars kumu katılmaksızın yapılmış yapı malzemelerine benzer hafif beton üretiminde 4 mm elek altı pomza agregasının da kullanılabileceği ve duvar ağırlıkları göz önünde

bulundurulduğunda, tarımsal yapılarda kullanılan diğer yapı malzemeleriyle yapılan duvarlara benzer ya da daha hafif taşıyıcı olmayan duvarların yapılabileceği,

- Suyun beton bünyesine girerek zarar verebileceği temel, çatı gibi yerlerde, özellikle donma-çözülme etkisinde kalan bölgelerde, özel önlemler alarak ya da su emme potansiyeli bulunmayan bölme duvar elemanlarının yapımında kullanılabileceği,
- Basınç dayanımları açısından değerlendirildiğinde kullanılacak alüminyum veya hidrojen peroksit katkısına göre taşıyıcı duvar ya da taşıyıcı olmayan duvar elemanları yapımı ile tarımsal yapılarda ahır, ağıl, hangar gibi yapılarda kullanılabilecek bir malzeme yapılabileceği,
- Buhar kürü ve su kürü açısından değerlendirildiğinde basınç dayanımının aranmadığı yapı unsurlarının yapımında kür şartlarının (buhar ve su kürü) önemsiz olduğu, ancak basınç dayanımının önemli olduğu yapı unsurlarında kullanımında su kürü uygulamasının daha iyi sonuçlar verdiği,
- Çevre koşullarının arandığı yük taşımayan yalıtım elemanlarının yapımında 250 kg/m<sup>3</sup> dozajlı 0,40 K/Ç oranında %5 alüminyum katkılı örneklerin yapılmasının, hem yalıtım hem de taşıyıcı özelliğe sahip malzeme yapımında ise 350 kg/m<sup>3</sup> dozajlı 0,40 K/Ç oranına sahip %2 alüminyum veya hidrojen peroksit katkılı gaz beton karışımının uygun olacağı,
- Isı iletkenlik katsayısı açısından değerlendirildiğinde başta çevre koşullarının önemli olduğu tarımsal yapılar olmak üzere inşaat sektöründe ısı yalıtımının arandığı dış ve iç duvar yapımı, tavan ve dış cephe kaplaması gibi yerlerde alternatif bir yapı malzemesi olarak kullanılması yararlar sağlayabilir.

B. Pomza agragalı gaz betonlar üzerine yapılacak diğer çalışmalarda araştırılması uygun olacak bazı öneriler;

- Agregada olarak 1 mm elek altı pomza kullanımı ile yapılan bu çalışmaya ek olarak, kaynaklarda belirtilen 300 veya 600 µm den daha küçük ya da farklı tane çaplarında pomzanın kullanımı,
- Farklı SiO<sub>2</sub> içeriğine sahip olan pomza kullanımı,

- Karışımlarda farklı dozajların (100, 150, 200, 300, 400, 450 kg/m<sup>3</sup>) pomza agregalı gaz beton özelliklerine etkisi,
- Kabarma sağlayıcı katkı olarak alüminyum kullanılacaksa, daha düşük veya yüksek kireç oranlarının etkileri,
- Pomza agregası ile üretilen gaz betonlarda uçucu kül, silis dumanı gibi katkıların kullanılması beton özelliklerine etkisi,
- Kabarma sağlayıcı katkı maddelerinin bu çalışmada olduğu gibi çimentonun belirli bir oranının kullanılması yanı sıra toplam katı ağırlığına oranı şeklinde de kullanımı,
- Su/çimento oranına veya su/katı oranına göre hazırlanan farklı karışımların pomza agregalı gaz beton özelliklerine etkileri,
- Gaz beton içerisinde kimyasal reaksiyonlar sonucu kabarmanın gerçekleşeceği düşünülerek, normal sıcaklıktaki su yerine farklı sıcaklıklardaki suyun kullanılması,
- Alüminyum ve hidrojen peroksit gibi farklı kabarma sağlayıcı ve ekonomik olan diğer malzemelerin de gaz beton üretiminde kullanımı,
- Bu çalışmada kullanılan su kuru ve basınçsız buhar kütüne ek olarak basınçlı buhar veya hava kütününün gaz beton özelliklerine etkileri,
- Akıcı kıvamda üretilen gaz betonlarda standart kalıplar yerine sızdırmaz kalıpların kullanılması ve normal kalıplarda üretilen örneklerle karşılaştırılması,
- Genel olarak kimyasal reaksiyonların yüksek sıcaklıklarda hızlandığı ve gaz beton örneklerin kimyasal tepkimeler sonucu kabarma sağladığı düşünülürse, pomza agregalı gaz betonların üretiminde özel olarak üretilen, kalıptan çıkma süresi boyunca sıcaklığı ayarlanabilen özellikte kalıp kullanılması boşluk oluşumuna etkisi,
- Maddeler halinde sayılan ve farklı şekillerde üretilen pomza agregalı gaz betonların çalışmada belirlenemeyen diğer fiziksel, kimyasal ve mekanik özellikleri ile özellikle SEM, X-ray gibi cihazlar kullanılarak yapısal özelliklerinin araştırılması,
- Pomza agregası ile üretilen gaz betonunun özellikle tarımsal işletme yapılarında kullanılabilme potansiyeli,
- Kırsal yerleşimlere yakın agrega ocaklarından sağlanan hammaddelerin tarımsal işletme yapılarında, özellikle inşa alanında üretilen hafif beton (gaz beton gibi) üretiminde kullanılabilirliğinin araştırılması yararlar sağlayacaktır.

**KAYNAKLAR**

- Aamr-Daya, E., Langlet, T., Benazzouk, A., and Queneudec, M., (2008). Feasibility Study of Lightweight Cement Composite Containing Flax By-product Particles: Physico- Mechanical Properties, Cement and Concrete Composites, Vol: 30, pp: 957-963
- Abdullah. K., Hussin. M.W., Zakaria. F., Muhammad. R., Hamid. Z.A., 2006. POFA: A Potential Partial Cement Replacement Materials in Aerated Concrete. Proceeding of the 6<sup>th</sup> Asia-Pasific Structural Engineering and Construction Conference. Malaysia.
- Ağırdır, M.L., 1989. Altınapa Bims Agregasından TS 3234'e Uygun Hafif Beton Biriket İmalatı, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Aidan, A., Shareefdeen, Z., Bogdanov, B., Markovska, I., Rusev, D., Hristov, Y., Georgiev, D., 2009. Preparation and Properties of Porous Aerated Concrete, Chemical Technologies, Biotechnologies and Food Technologies, vol.48, book 9, <http://conf.uni-ruse.bg/bg/docs/cp09/9/9-4.pdf>
- Akçaözoğlu, S., 2008. Atık Pet Şişe Kırıklarının Hafif Beton Agregası Olarak Kullanılabilirliği, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Akman, M. S., 1990. Yapı Malzemeleri, İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi Matbaası, II. Baskı
- Aksoy, U.T., 2008. Sandviç ve Gaz Beton Uygulamalarının Ortalama Isı Geçirgenlik Katsayısı ve Isı Kaybı Üzerindeki Etkisinin İncelenmesi, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, Vol:24 (1-2), pp: 277-290
- Albayrak, M., Yörükoğlu, A., Karahan, S., Atlıhan, S., Aruntaş, H.Y., Girgin, İ., 2007. Influence of Zeolite Additive on Properties of Autoclaved Aerated Concrete, Building and Environment, vol.42, pp.: 3161-3165.
- Al-Kahaled, G., 2002. Hebel Design Analysis Program, Master Thesis, Faculty of the School of Architecture, University of Southern California.
- Anonymous, 1977. TS 2511, Taşıyıcı Hafif Betonların Karışım Hesap Esasları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara
- Anonymous, 1985. TS 802, Beton Karışım Hesap Esasları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Anonymous, 1988. TS 453, Gaz ve Köpük Beton Yapı Malzeme Elemanları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Anonymous, 1998a. ASTM C 29/C 29M, Standart Test Method for Bulk Density (Unit Weight) and Voids in Aggregate, Annual Book of ASTM Standarts.
- Anonymous, 1998b. ASTM C 39 - 96, Standart Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens, Annual Book of ASTM Standarts.
- Anonymous, 1998c. ASTM 117 - 95, Standart Test Method for Materials Finer than 75-µm (No.200) Sieve in Mineral Aggregates by Washing, Annual Book of ASTM Standarts.
- Anonymous, 1998d. ASTM C 128 - 97, Standart Test Method for Specific Gravity and Absorption of Fine Aggregate, Annual Book of ASTM Standarts.
- Anonymous, 1998e. ASTM C 136 - 96a, Standart Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregate, Annual Book of ASTM Standarts.

- Anonymous, 1998f. ASTM C 330-97, Standart Specification for Lightweight Aggregate for Concrete Masonry Units, Annual Book of ASTM Standarts.
- Anonymous, 1998g. ASTM C 331-98, Standart Specification for Lightweight Aggregate for Structural Concrete, Annual Book of ASTM Standarts.
- Anonymous, 1998h. ASTM C 666-97, Standart Test Method for Resistance of Concrete to Rapid Freezing and Thawing, Annual Book of ASTM Standarts.
- Anonymous, 2001. Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Raporu, Endüstriyel Hammaddeler (Kuars Kumu-Kuarsit-Kuars) Alt Komisyonu, Toprak Sanayii Hammaddeleri III. Çalışma Grubu Raporu, Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı, DPT.
- Anonymous, 2002a. TS EN 206-1, Beton- Bölüm 1: Özellik, Performans, İmalat Ve Uygunluk, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Anonymous, 2002b. TS EN 197- 1, Çimento Bölüm 1: Genel Çimentolar – Bileşim, Özellikler ve Uygunluk Kriterleri, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Anonymous, 2004a. TS 1114 EN 13055-1, Hafif agregalar - Bölüm 1: Beton, Harç ve Şerbette Kullanım İçin, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Anonymous, 2004b. ASTM C 1113 – 99, Standarts Test Method for Thermal Conductivity Refractories by Hot Wire (Platinum Resistance Thermometer Technique).
- Anonymous, 2006. Bims (Pomza) Alt Sektör Raporu [www.yapiveri.com/VImages/2006/Arastirmalar/bims\\_06.pdf](http://www.yapiveri.com/VImages/2006/Arastirmalar/bims_06.pdf)
- Anonymous, 2008. Türk Yapı Sektörü Raporu, Yapı Endüstrisi Merkezi.
- Anonymous, 2009a. TS 706 EN 12620+A1, Beton agregaları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Anonymous, 2009b. Gaz Beton, Türk Yapı Sektörü Raporu. [www.ytong.com.tr](http://www.ytong.com.tr)
- Anonymous, 2009c. Gaz Beton, Katalog. Türk YTONG Sanayi A.Ş., [www.ytong.com.tr](http://www.ytong.com.tr)
- Anonymous, 2009d. TS ISO 3310-1, Deney Eleklere - Teknik Özellikler Ve Deneyler - Bölüm 1: Metal Tel Örgülü Deney Eleklere, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Anonymous, 2009e. TS ISO 3310-2, Deney Eleklere - Teknik Özellikler Ve Deneyler - Bölüm 2: Delikli Metal Plakalı Deney Eleklere, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Anonymous, 2010a. TS EN 12390-3, Beton – Sertleşmiş Beton Deneyleri, Bölüm 3: Deney Numulerinin Basınç Dayanımı Tayini, Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Anonymous, 2010b. TS EN 12390-7, Beton – Sertleşmiş Beton Deneyleri, Bölüm 7: Sertleşmiş Beton Yoğunluğu Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Anonymous, 2011a. Donatısız Yapı Malzemeleri, [www.ytong.com.tr](http://www.ytong.com.tr)
- Anonymous, 2011b. 5th. International AAC Conference Securing a Sustainable Future, <http://www.aerconaac.com/TECHNCAL%20MANUAL%5Caacinte%20national.pdf>
- Anonymous, 2011c. High-Strength Structural Lightweight Concrete, <http://www.lightconcrete.com/images/LightConcrete.pdf>
- Anonymous, 2011d. Autoclaved Aerated Concrete <http://www.docstoc.com/docs/47386446/Autoclaved-Aerated-Concrete-The-Worlds-Most-Innovative-Building>
- Anonymous, 2012a. Doğal Pomza Taşı, [http://www.ponzatasi.com/dogal\\_ponzatasi.htm](http://www.ponzatasi.com/dogal_ponzatasi.htm)
- Anonymous, 2012b. Bims (Pomza) Nedir, <http://mezopotamyabims.com/bims.html>



- Anonymous, 2012c. Gaz Beton Üretim Aşamaları, <http://www.somineforum.com/konu-gaz-beton-uretim-asamalari-678.html>
- Anonymous, 2012d. Üretim Süreci, Türkiye Gaz beton Üreticileri Birliği <http://www.tgub.org.tr/Default.asp?L=TR&mid=236>
- Anonymous, 2012e. Gaz beton Üretim Aşamaları, <http://www.makinearsivi.com/gaz-beton-uretim-asamalari-t648.0.html>
- Anonymous, 2012f. Autoclaved Aerated Concrete (AAC, Aircrete), <http://www.understanding-cement.com/autoclaved-aerated-concrete.html>
- Anonymous, 2012g. Block\_Construction\_Brochure, [www.hebel.co.nz](http://www.hebel.co.nz)
- Anonymous, 2012h. Aşkale Çimento Fabrikası Analiz Raporu, <http://www.askalecimento.com.tr/cem2a.htm>
- Anonymous, 2012ı. Söndürülmüş Toz İnşaat Kireci Analiz Raporu, [www.begimgroup.com/sanayikirec.pdf](http://www.begimgroup.com/sanayikirec.pdf)
- Anonymous, 2012i. TS EN 933-1, Agregaların Geometrik Özellikleri İçin Deneyle Bölüm 1: Tane Büyüklüğü Dağılımı Tayini- Eleme Metodu, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Anonymous, 2013. Standart Arama, Türk Standartları Enstitüsü, <http://www.tse.org.tr>
- Araujo, E.G., Tenerio J.A.S., 2005. Cellular Concrete with Addition of Aluminum Recycled Foil Powders, Materials Science Forum, vol: 498-499, pp:198-204.
- Arıcı, E., 1997. Van Yöresindeki Volkanik Tüfün Beton Mukavemetine Etkisi ve Taşıyıcı Hafif Beton Agregası Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- Arslan, M., 2008. Yapı Teknolojileri 2 (Birinci Baskı), Seçkin Yayıncılık, Teknik Kitaplar Dizisi:23, Ankara.
- Aruntaş, H.Y., 1988. Bir Katkı Malzemesinin Betonun Fiziksel Özelliklerine Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Bagheri. H., 2006. Prestressed Hybirds of AAC and HPC the BCE (Block Composed Element Building System, A Conceptual Study, Licentiate Thesis, Royal Institute of Teknology, School of Architecture and the Built Enviroment, Stockholm, TRITA-ARK-For Skings Publication.
- Balaban, A., Şen, E., 1988, Tarımsal Yapılar, Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, No:1083, Ankara.
- Baradan, B., 1994. Yapı Malzemesi II. Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları, İzmir, s. 79-82.
- Beben, D., Manko, Z.Z., 2011. Influence of Selected Hydrophobic Agents on Some Properties of Autoclaving Cellular Concrete (ACC), Construction and Building Materials, vol.25, pp.: 282–287.
- Cabrillac, R., Fiorio, B., Beaucour, A., Dumontet, H., Ortola, S., 2006. Experimental Study of the Mechanical Anisotropy of Aerated Concretes and of the Adjustment Parameters of the Introduced Porosity, Construction and Building Materials vol.20, pp.: 286–295.
- Ceylan, H., 2005. Farklı Pomza Türlerinde Elde Edilen Hafif Betonun Sıcaklık Etkisindeki Karakteristiği, Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Chen, Y., Li, F., Xu, B., 2006. Use of Clayish Crushed Stone for Production of Aerated Concrete, Key Engineering Materials, vols. 302-303, pp.: 269-274.

- Coşkun, A., Tanyıldızı, H., Yazıcıoğlu, S., 2006. Elazığ Yöresi Pomza Taşı ile Elde Edilen Taşıyıcı Hafif Betonun Mekanik özelliklerine Uçucu Külün Etkisi, Gap V. Mühendislik Kongresi Bildiriler Kitabı, Şanlıurfa.
- Çelik, Ç., 2005. Uçucu Külün Gazbeton Üretiminde Kullanılabilirliğinin Araştırılması, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Ankara.
- Çevikbaş, A., İlgün, İ., 1997. Türkiye Pomza Yataklarının Jeolojisi ve Ekonomisi. I. Isparta Pomza Sempozyumu, 13-19, Isparta.
- Çiçek, Y.E., 2002. Pişmiş Toprak Tuğla, Bimsbeton, Gaz beton ve Perlitli Yapı Malzemelerinin Fiziksel, Kimyasal ve Mekanik Özelliklerinin Karşılaştırmalı Olarak İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi. İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Damla, N., Çevik, U., Kobyay, A.I., Çelik, A., Grieken, R.V., Kobyay, Y., 2009. Characterization of Gas Concrete Materials Used in Buildings of Turkey, Journal of Hazardous Materials vol:168 , pp.: 681–687.
- Demir, A., 2012. Uçucu Küllü Gazbeton Araştırması, <http://www.e-kutuphane.imo.org.tr/pdf/13568.pdf>
- Demir, İ., Başpınar, M.S., Ünal, O., Görhan, G., Kahraman, E., Aker A., Güçlüer K., 2011. Uçucu Külle Üretilen Gazbetona Perlit Etkisinin Araştırılması, Hazır Beton Kongresi, [www.thbb.org/Files/File/\[532-541\].pdf](http://www.thbb.org/Files/File/[532-541].pdf)
- Demirboğa, R., 1999. Silis Dumanı ve Uçucu Külün Perlit ve Pomza ile Üretilen Hafif Beton Özellikleri Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi, Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- Domingo, E. R., 2008. An Introduction to Autoclaved Aerated Concrete Including Design Requirements Using Strength Design, Department of Architectural Engineering & Construction Science, College of Engineering, Kansas State University, [http://krex.k-state.edu/dspace/bitstream/2097/543/1/EricDomin\\_go\\_2008.pdf](http://krex.k-state.edu/dspace/bitstream/2097/543/1/EricDomin_go_2008.pdf)
- Düzgün, O.A., 2001. Çelik Liflerin Hafif Betonların Dayanımları Üzerine Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- Ekmekyapar, T., Örüng, İ., 1993. İnşaat Malzeme Bilgisi, Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları No:151, Erzurum.No:145, Erzurum.
- Ekmekyapar, T., Örüng, İ., 1997. İnşaat Malzeme Bilgisi. Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Ofset Tesisi, 151, Erzurum.
- Erdoğan, T. Y., 1995. Betonun Oluşturan Malzemeler-Agregalar. ODTÜ, 162 s. Ankara.
- Erdoğan, T.Y., 2003. Beton. ODTÜ Geliştirme Vakfı ve Yayıncılık A.Ş., Ankara.
- Ersoy, H.Y., 2001. Kompozit Malzeme, Literatür Yayıncılık, Literatür Yayınları: 66, İstanbul
- Goual, M.S., Bali, A., Queneudec, M., 1999. Effective Thermal Conductivity of Clayey Aerated Concrete in The Dry State: Experimental Results and Modelling, J. Phys. D: Appl. Phys. Vol.32, pp.: 3041–3046.
- Goual, M.S., Bargiun, F., Benmalek M.L., Bali, A., Queneudec, M., 2000. Estimation of the Cappillary Transport Coefficient of Clayey Aerated Concrete Using a Gravimetric Tecnique. Cement and Concrete Research, vol.30, pp.: 1559-1563.
- Guglielmi, P.O., Silva, W.R.L., Repette, W.L., Hotza, D., 2010. Porosity and Mechanical Strength of an Autoclaved Clayey Cellular Concrete, Advances in Civil Engineering, Doi: 10.1155/2010/194102.
- Gündüz, L., 1998, “Pomza Teknolojisi, Pomza Karakterizasyonu”, Cilt I, Isparta.

- Gündüz, L., 2005. İnşaat Sektöründe Bimsblok, Süleyman Demirel Üniversitesi Pomza Araştırma Merkezi, Isparta.
- Güner, M. S., 1999. Malzeme Bilimi – Yapı Malzemesi ve Beton Teknolojisi (12. Baskı), Aktif Yayınevi, İstanbul.
- Güzel, A., 1993. Pomza Katkılı Tuğla Üretimi ve Bu Tuğlaların Mekanik ve Boşluk Özelliklerinin İncelenmesi. Doktora Tezi. İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Hauser, A., Eggenberger, U., Mumenthaler, T., 1999. Fly Ash From Cellulose Industry as Secondary Raw Material in Autoclaved Aerated Concrete, *Cement and Concrete Research* vol.29, pp.: 297–302.
- Holt, E., Raivio, P., 2005. Use of Gasification Residues in Aerated Autoclaved Concrete, *Cement and Concrete Research*, vol:35, pp:796-802.
- Hüsem, M., 1995. Doğu Karadeniz Bölgesi Doğal Hafif Agregalarından Biriyle Yapılan Hafif Betonun Geleneksel Bir Betonla Karşılaştırılmalı Olarak İncelenmesi, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Jasicza, J., Zielinski, K., (2006). Effect of Protein Additive on Properties of Mortar, *Cement and Concrete Composites*, vol:28, pp:451-457.
- Just, A., Middendorf, B., 2009. Microstructure of High-Strength Foam Concrete, *Materials Characterization*, vol. 60, pp.: 741-748
- Kaplan, S. A., 2003. Betonarme Temel İlkeler, Malzeme, Eğilme, Kesme, Aderans, Kullanılabilirlik Bilbeyki Yayınevi No: 4 İstanbul.
- Karaaslan, Y.K., 2009. Gaz beton Yapı Malzemesinin Isıl Özelliklerinin Mevcut Standartlara Göre Deneysel Olarak İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Kırıkkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kırıkkale.
- Karakurt C., Kurama, H., Topçu, İ.B., 2010. Utilization of Natural Zeolite in Aerated Concrete Production, *Cement & Concrete Composites* vol.32 pp 1–8.
- Kearsley, E.P., Wainwright, P.J., 2001. The Effect of High Fly Ash Content on the Compressive Strength of Foamed Concrete, *Cement and Concrete Research*, vol. 31, pp.: 105-112.
- Kearsley, E.P., Wainwright, P.J., 2002. The Effect of Porosity on the Strength of Foamed Concrete, *Cement and Concrete Research*, vol. 32, pp.: 223-239.
- Kocaman, B., 2000. Doğu Anadolu Bölgesindeki Doğal Hafif ve Normal Agregalarla Üretilen Betonların Fiziksel, Mekanik ve Isı İletkenlik Özelliklerinin Belirlemesi ile Tarımsal Yapılarda Kullanılma Olanakları Üzerine Bir Araştırma, Doktor Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- Kömürlü, R., Önel, H., 2007. Gaz beton Yapı Ürünlerinin Konutlarda Kullanımı, YTÜ Mimarlık Fakültesi E-Dergisi, cilt:2, sayı:3
- Köse, H., Köse, Ç., Pamukçu, Ç., Yalçın, N., Seçer, T., 1997. Pomza ve Yapı Malzemesi Olarak Kullanım Olanakları. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, 16-17 Ekim 1997, İzmir, Türkiye.
- Kotan, T., 2009. Pasinler – Demirdöven Pomzası ile Üretilen Hafif Betonların Mekanik Özelliklerine Atmosferik Basıncılı Buhar Kürünün Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- Kozak, Ş., 2010. Gaz beton Üretiminde Uçucu Külün Hammaddede Olarak Kullanımının Araştırılması, (Yüksek Lisans Tezi), Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yapı Eğitimi Anabilim Dalı, Afyon.

- Kurama, H., Topçu, İ.B., Karakurt, C., 2009. Properties of the Autoclaved Aerated Concrete Produced From Coal Bottom Ash, *Journal of Materials Processing Technology* vol. 209, pp.:767-773.
- Kurşun, İ., İpekoğlu, B., 1995. Türkiye Kuvars Kumu Potansiyeline Genel Bir Bakış, *Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu*, İzmir.
- Laukaitis, A., Fiks, B., 2006 Acoustical Properties of Aerated Autoclaved Concrete, *Applied Acoustics* vol.67, pp.: 284–296.
- Matsui, K., Kikuma, J., Tsunashima, M., Ishikawa, T., Matsuno, S., Ogawa, A., Sato, M., 2011. In Situ Time-Resolved X-Ray Diffraction of Tobermorite Formation in Autoclaved Aerated Concrete: Influence of Silica Source Reactivity and Al Addition. *Cement and Concrete Research* vol.41, pp.: 510–519.
- Mostafa, N.Y., 2005. Influence of Air-Cooled Slag on Physicochemical Properties of Autoclaved Aerated Concrete, *Cement and Concrete Research*, vol. 35, pp.: 1349–1357.
- Nambiar, E.K.K, Ramamurthy, K., 2006. Influence of Filler Type on the Properties of Foam Concrete, *Cement & Concrete Composites*, vol. 28, pp.: 475–480.
- Narayanan, N., Ramamurthy, K., 2000. Structure and Properties of Aerated Concrete: A Review, *Cement & Concrete Composites*, vol. 22, pp.: 321-329.
- Okuyucu, E., 2005. Farklı Lif Katkılı Hafif Betonların Bazı Özelliklerinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- Önal, M., Can, Ö., Tokgöz, H., Koçak, A., 2007. Kabarma Özellikli Gaz beton Panelinde Donatı Aderansı ve Basınç Dayanımı Üzerine Deneysel Bir Çalışma, *Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, cilt:25, sayı:2
- Örüng, İ., Okuroğlu, M., Yağanoğlu, A.V., Şahin, S., 1997, Erzurum'da Üretilen Harman Tuğlasının Fiziksel ve Mekanik Özellikleri Üzerine Bir Araştırma, *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 28(4), 576-583, Erzurum
- Özgenç, İ., Sarıözen, B., 1999. Gazbeton Üretiminde Perlit Kullanılabilir mi?, *3.Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu*, 14-15 Ekim, İzmir.
- Öztütüncü, G.H., 1992. Ortalama Hafif Agrega Boyutunun Yarı Hafif Betonların Dona dayanıklılığı Üzerine Etkileri, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Özyıldırım, Ç., 2007, Hava Sürükleyici Katkıların Beton Dayanıklılığındaki Yeri, 2. Yapılarda Kimyasal Katkılar Sempozyumu, *Bildiriler Kitabı*, s. 37-51.
- Postacıoğlu, B., 1987. Beton, Cilt II, *Teknik Kitaplar Yayınevi*, İstanbul.
- Puttappa, C.G., Rudresh., İbrahim, A., Muthu, K.U., Raghavendra, H.S., 2008. Mechanical Properties Foamed Concrete, *International Conference on Construction and Building Technology*, vol.43, pp.: 491-500, Malaysia.
- Rahman, M. Z. A. A., Zaidi, A. M. A., Rahman, İ. A., 2010. Analysis of Comparison between Unconfined and Confined Condition of Foamed Concrete Under Uni-Axial Compressive Load, *American J. of Engineering and Applied Sciences*, vol. 3 (1): pp.: 68-72.
- Ramamurthy, K., Narayanan, N., 2000. Influence of Composition and Curing on Drying Shrinkage of Aerated Concrete, *Materials and Structures*, vol.33, pp.:243-250.
- Remadnia, A., Dheilily, R.M., Laidoudi, B., Queneudec, M., 2009. Use of Animal Proteins as Foaming Agent in Cementitious Concrete Composites Manufactured

- with Recycled PET Aggregates, *Construction and Building Materials*, vol.23, pp.: 3118–3123.
- Rubio-Avolos, J.C., Manzano-Ramirez, A., Yanez-Limon, J.M., Contreras-Garcia, M.E., Alonso-Guzman, E.M., Gonzalez-Hernandez, J., 2005. Development and Characterization of an Inorganic Foam Obtained by Using Sodium Bicarbonate As a Gas Generator, *Construction and Buildings Materials*, vol: 19, pp 543-549.
- Rundai, G., 1963, *Lightweight Concrete*, Publishing House of the Hungarian Academy of Sciences, Budapest.
- Şahin, R., 1996. Kocapınar Pomzası İle Üretilen Hafif Betonun Dayanımının Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- Şahin, S., 2002. Tarımsal Yapılarda Kullanılan Hafif Agregalı Beton Blokların Bazı Özelliklerinin İyileştirilmesi Olanakları zerine Bir Araştırma, Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- Sancak, E., 1998. Hafif Agregalı beton Blokların Mekanik Özellikleri Üzerine Çelik Lif Kullanımının Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Saygılı, A., Baykal, G., 2011. A New Method for Improving the Thermal Insulation Properties of Fly Ash, *Energy and Buildings* vol.43, pp.:3236–3242.
- Serin, G., 1999. Pomzanın Hafif Beton Blok Duvar Elamanı Olarak Kullanılmasının Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Serin, G., Çankıran, O., Başıyigit, C., Taş, H.H., Fenkli, M., 2007. Normal, Hafif ve Yarı Hafif Beton Bloklarının Fiziksel ve Mekanik Özelliklerinin Karşılaştırılması. *Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi*. Vol:1, pp.:15-22
- Sezer, H., 2010. Öğütülmüş Diyatomitin Gaz Beton Üretiminde Kullanımının Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyon.
- Şimşek, O., 2003. *Yapı Malzemesi II (İkinci Baskı)*. Beta Basım Yayım AŞ., İstanbul.
- Şimşek, O., 2009. *Beton ve Beton Teknolojisi (Üçüncü Baskı)*, Teknik Bilimler Dizisi:10, Ankara.
- Sönmezoğlu, C., 2005. Hafif Betonun Mekanik Özellikleri Üzerine Kür Şartlarının Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- Toklu, K., 2009. Pomza Taşından Üretilen Bims Blok Kalitesinin Arttırılma Olanaklarının Araştırılması, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Topçu, İ.B., Uygunoğlu, T., 2007. Properties of Autoclaved Lightweight Aggregate Concrete, *Building and Environment*, vol.42, pp.:4108–4116.
- Turgutalp, Ü., 1978. Sarıkamış Yöresi Doğal Hafif Agregasıyla Üretilen Betonların Tarımsal Yapılarda Kullanılabilme Olanakları Üzerine Bir Araştırma, Doçentlik Tezi, Atatürk Üniversitesi, Erzurum
- Türkçü, H.Ç., 2010. *Yapım, İlkeler – Malzemeler – Yöntemler -Çözümler*, Birsen Yayınevi Ltd.Şti., İstanbul. s 154-169.
- Türkmen, İ., 1997. Van – Erciş Pomzasından Üretilen Hafif Betonun Donma Çözülme Dayanıklılığının Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.

- Uğur, İ., 2003. Kırmataş Agregalı Hafif Betonların Mühendislik Özelliklerinin İyileştirilmesi Üzerine Bir Analiz, III Ulusal Kırmataş Sempozyumu, İstanbul.
- Uluata, A. R., 1981. Beton Malzemeleri ve Beton, Atatürk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Erzurum,
- Ulus, İ., 2007. Ham Perlit Agregası Kullanılarak Yüksek Dayanımlı Hafif beton Üretilebilirliğinin Araştırılması, Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- Ünal, O., Demir, İ., Güçlüer, K., Aker, A., Başpınar, M.S., 2011. Uçucu Kül ve Silis Dumanının Gazbeton Üretiminde Kullanılabilirliğinin Araştırılması, Hazır Beton Kongresi, [www.thbb.org/Files/File/\[439-448\].pdf](http://www.thbb.org/Files/File/[439-448].pdf)
- Ungkoon, Y., Sittipunt, C., Namprakai, P., Jetipattaranat, W., Kim, K., Caharinpanitkul, T., 2007. Analysis of Microstructure and Properties of Autoclaved Aerated Concrete Wall Construction Materials, J. Ind. Eng. Chem., Vol. 13, No. 7, pp.: 1103-1108.
- Ünverdi, A., 2006. Yüksek Sıcaklık Altında Gaz Beton Kırıklarının İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Osman Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tokat.
- Uygunoğlu, T., 2008. Hafif Agregalı Kendiliğinden Yerleşen Betonların Özellikleri, Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Uygunoğlu, T., Ünal, O., 2007. Buhar Kürü Uygulanmış Pomzalı Hafif Betonun Özellikleri, Politeknik Dergisi, Vol. 10, pp. 111-116
- Varol, B., 2012. Pomza Sektör Raporu, [www.ahi-ka.org.tr/upload/pdf/nevsehir/pomzaraporu2012.pdf](http://www.ahi-ka.org.tr/upload/pdf/nevsehir/pomzaraporu2012.pdf)
- Visagie, M., 2000. The Effect of Microstructures on Properties of Foamed Concrete, Master Thesis, Structural Engineering, University of Pretoria, South Africa.
- Witmann, F.H., 1992. Advances in Autoclaved Aerated Concrete, 3<sup>rd</sup> International Symposium on Autoclaved Aerated Concrete, Switzerland.
- Yang, Q., Zhu, P., Wu, X., Huang, S., 2000. Properties of Concrete with A New Type of Saponin Air-Entraining Agent, Cement and Concrete Research, Vol.:30, pp.:1313-1317.
- Yanık, S., 2007. Bazik Pomzaların Beton Agregası Olarak Kullanılabilirliği, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimler Enstitüsü.
- Yıldırım, T., 2002. Gaz Beton Sektör Profil Araştırması. [www.ito.org.tr/Dokuman/Sektor/1-35.pdf](http://www.ito.org.tr/Dokuman/Sektor/1-35.pdf)
- Zihua, P., Hiromi, F., Tionghuan, W., 2007. Preparation of Performance Foamed Concrete from Cement, Sand and Mineral Admixture, Journal of Wuhan University of Technology-Mater. Sci. Ed., DOI:10.1007/s11595-005-2295-4, <http://202.114.89.51:8081/whutqk/document?RecordNo=1153&ColumnName=%D4%AD%CE%C4&MultiNo=0&issource=yes&type=bin&channelid=39131>

## ÖZGEÇMİŞ

Kütahya'da 1980 yılında doğdu. İlk, orta, lise öğrenimini Kütahya'da tamamladı. 2003 yılında Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü'nden mezun oldu. 2003 - 2007 yıllar arasında Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarımsal Yapılar ve Sulama Ana Bilim Dalında Yüksek Lisans Eğitimini tamamladı. Aynı yıl Fen Bilimleri Enstitüsü Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalı'nda Doktora öğrenimine başladı. 2012 yılında askerlik görevini tamamladı.

Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümünde 2005 yılından beri Araştırma Görevlisi olarak çalışmaktadır. Evlidir.