

T.C.

KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

SEPIYOLİTİN GAZBETON ÖZELLİKLERİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ

MUSA SAVAŞ

OCAK 2013

İnşaatı Anabilim Dalında Musa SAVAŞ tarafından hazırlanan SEPIYOLİTİN GAZBETON ÖZELLİKLERİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ adlı Yüksek Lisans Tezinin Anabilim Dalı standartlarına uygun olduğunu onaylarım.

Doç. Dr. Ali Payidar AKGÜNGÖR

Anabilim Dalı Başkanı

Bu tezi okuduğumu ve tezin **Yüksek Lisans Tezi** olarak bütün gereklilikleri yerine getirdiğini onaylarım.

Doç. Dr. İlhami DEMİR

Danışman

Jüri Üyeleri

Başkan : Doç. Dr. Hasbi YAPRAK _____

Üye (Danışman) : Doç. Dr. İlhami DEMİR _____

Üye : Yrd. Doç. Dr. Orhan DOĞAN _____

...../...../.....

Bu tez ile Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini onaylamıştır.

Doç. Dr. Erdem Kamil YILDIRIM

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ÖZET

SEPIYOLİTİN GAZBETON ÖZELLİKLERİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ

SAVAŞ, Musa

Kırıkkale Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

İnşaat Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Doç. Dr. İlhami DEMİR

Ocak 2013, 99 sayfa

Gazbeton ince öğütülmüş silisli bir agrega ve inorganik bir bağlayıcı madde (kireç ve/veya çimento) ile hazırlanan karışımın gözenek oluşturucu bir madde ilavesi ile hafifletilmesi ve buhar kürü ile sertleştirilmesi ile elde edilen gözenekli hafif betondur.

Bu çalışmada; gazbeton üretiminde hammadde olarak, kuvars kumu yerine kullanılan sepiyolitın gazbeton üzerindeki basınç dayanımı, kuru yoğunluk değeri, rutubet muhtevası değeri ve ısı iletkenlik değerine etkisi araştırılmıştır. Çalışmada, duvar elamanı olarak kullanılan ve ticari olarak üretimi yapılan G2/04 (Birim Hacim Ağırlığı 400 kg/m^3 , Isı İletim Kat Sayısı $0,11-0,013 \text{ W/mK}$ ve Basınç Dayanımı $2,5 \text{ N/mm}^2$) sınıfı gazbeton üretimi baz alınarak, Dolsan Madencilik 'ten alınan sepiyolitın, hammadde olarak kullanılan kuvarsit yerine %5, %10, %15, %20 ve %25 oranlarında ikame edilerek gazbeton örnekleri üretilmiştir. Yapılan numuneler $60 \text{ }^\circ\text{C}$ sıcaklıkta 4 saat buhar küründe bekletildikten sonra $180 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de 11 bar basınçta 6,5 saat otoklavda küre tabi tutulmuştur. Üretilen örneklerin basınç dayanımı, kuru yoğunluk değeri, rutubet muhtevası değeri ve ısı iletkenlik değeri belirlenmiştir.

Sonuç olarak, gazbetona kuvars yerine sepiyolit ikamesinde optimum oranın %10 olduğu belirlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Gazbeton, sepiyolit, basınç dayanımı, birim hacim ağırlık, ısı iletkenlik

ABSTRACT

THE INVESTIGATION OF THE EFFECT OF SEPIOLITE ON THE PROPERTIES OF THE AUTOCLAVED AERATED CONCRETE

SAVAŞ, Musa

Kırıkkale University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Civil Engineering, M. Sc. Thesis

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. İlhami DEMİR

January 2013, 99 pages

The autoclaved aerated concrete is a porous concrete which is obtained from a mixture composed of fine pulverized silicated aggregate and inorganic binding material (lime and/or cement) and produced by lightening the mixture with a substance causing production pores and hardening it with steam curing.

In this study, the effect of the addition of sepiolite used as a raw material in the production of autoclaved aerated concrete on the compressive strength, dry density, moisture content and thermal conductivity values of the aerated concrete was investigated. In the study, the samples of autoclaved aerated concrete were produced by the addition of the sepiolite obtained from Dolsan Madencilik as a raw material instead of quartzite by the ratio of %5, %10, %15, %20 and %25 based on the production of autoclaved aerated concrete in the class of G2/04 (Maximum Gross Density-dry 400 kg/m^3 , Thermal Conductivity $0,11-0,013 \text{ W/mK}$ ve Average Compressive Strenght $2,5 \text{ N/mm}^2$) which is used as a wall member and produced commercially. The produced samples were subjected to curing in autoclave at $180 \text{ }^\circ\text{C}$ and under the pressure of 11 bars for a 6,5 hrs after steam curing at $60 \text{ }^\circ\text{C}$ for 4 hrs. Then, the compressive strength, dry density, moisture content and thermal conductivity values of these samples were determined.

As a result, the replacement of sepiolite instead of quartzite at the production of autoclaved aerated concrete, the optimum ratio is determined as %10.

Keywords: Autoclaved aerated concrete, sepiolite compressive strength, unit volume weight, thermal conductivity

TEŞEKKÜR

Tezimin hazırlanması esnasında hiçbir yardımcı esirgemeyen ve biz genç araştırmacılara büyük destek olan, bilimsel deney imkânlarını sonuna kadar bizlerin hizmetine veren, tez yöneticisi hocam, Sayın Doç. Dr. İlhami DEMİR'e, arkadaşım Gökhan ÖZEL'e, tezimin birçok aşamasında yardım gördüğüm AKG Gazbeton ve Çalışanları'na, Dolsan Madencilik Mineral Yapı Kimyasalları Madencilik San. ve Tic. Ltd Şti.'e ve son olarak bana birçok konuda olduğu gibi, tezimi hazırlamam esnasında da yardımlarını esirgemeyen Eşim ve Kızıma teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

Sayfa

ÖZET	i
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR	v
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	x
SİMGELER DİZİNİ	xii
1. GİRİŞ	1
1.1. Literatür Özetleri.....	2
1.2. Çalışmanın Amacı.....	4
2. GENEL BİLGİLER	6
2.1. Hafif Betonlar.....	6
2.1.1. Hafif Beton Tipleri.....	7
2.1.2. Hafif Betonların Avantajları.....	8
2.1.3. Hafif Betonların Dezavantajları.....	9
2.2. Gazbeton.....	9
2.2.1. Gazbeton Üretimi.....	13
2.2.2. Gazbetonun Özellikleri.....	15
2.2.2.1. Gazbetonun Fiziksel Özellikleri.....	15
2.2.2.2. Gazbetonun Kimyasal Özellikleri.....	23
2.2.2.3. Gazbetonun Mekanik Özellikleri.....	24
2.2.3. Gazbetonun Sağladığı Yararlar.....	26
2.2.3.1. Tasarımda Sağladığı Yararlar.....	26
2.2.3.2. Yapımda Sağladığı Yararlar.....	27
2.2.3.3. Yapıda Sağladığı Yararlar.....	28
2.2.4. Gazbetonla İlgili Bazı Standartlar.....	30
2.3. Sepiyolit.....	31
2.3.1. Tarihçesi.....	32
2.3.2. Tanımı ve Oluşumu.....	32

2.3.3. Kristal Yapısı ve Kimyası	34
2.3.4. Mineralojik özellikleri.....	37
2.3.5. Fiziksel Özellikleri	38
2.3.6. Termal Özellikleri	39
2.3.7. Yüzey Alanı	40
2.3.8. Adsorpsiyon Özellikleri	40
2.3.9. Gözeneklilik	41
2.3.10. Dünyada ve Türkiye’de Sepiyolit	41
2.3.11. Sepiyolitın Kullanım Alanları	43
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	45
3.1. Materyal	45
3.1.1. Sepiyolit	45
3.1.2. Çimento	47
3.1.3. Kireç	47
3.1.4. Kuvarsit	48
3.1.5. Alçıtaşı	49
3.1.6. Su	50
3.1.7. Alüminyum	50
3.2. Yöntem.....	51
3.2. Fiziksel ve Basınç Dayanım Özelliklerin Belirlenmesi	58
3.2.1. Basınç Dayanımı	58
3.2.2. Kuru Yoğunluk	60
3.2.3. Rutubet Muhtevası Değerleri	60
3.2.4. Isı İletkenlik Deneyi.....	61
3.2.5. SEM ve EDSI analizi	62
4. ARAŞTIRMA BULGULARI.....	64
4.1. Basınç Dayanım Özellikleri	65
4.2. Kuru Yoğunluk Özellikleri	66
4.3. Rutubet Muhtevası	67
4.4. Isıl İletkenlik Özellikleri	68
4.5. Makroyapısal Özellikleri.....	69
4.6. Mikroyapısal Özellikleri	71
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	85

KAYNAKLAR	88
EKLER	94

ÇİZELGELER DİZİNİ

ÇİZELGE

	<u>Sayfa</u>
2.1. Hafif betonların yoğunluklarına göre sınıflandırılması.....	8
2.2. Gazbetonun çeşitli birim hacim ağırlıkları için porozite değerleri	17
2.3. Kuru gazbetonun ısı iletkenlik değerleri	17
2.4. Gazbetonun mekanik özellikleri	24
2.5. Gözenekli beton yapı malzeme ve elemanlarının sınıfları.....	25
2.6. α ve β -sepiyolit' in kimyasal kompozisyonu	36
2.7. Tabakalı sepiyolit'in fiziksel özellikleri.....	39
2.8. Sepiyolit'in değişik adsorbatlar ile belirlenmiş yüzey alanı değerleri	41
2.9. Eskişehir civarındaki bazı bölgelerin tabakalı sepiyolit rezervleri	42
2.10. Sepiyolit'in kullanım alanları	44
3.1. Deneyde kullanılan sepiyolit kimyasal analizi.....	45
3.2. Deneyde kullanılan sepiyolit'in fiziksel özellikleri.....	46
3.3. Deneyde kullanılan sepiyolit elek analizi	46
3.4. Deneyde kullanılan CEM 42.5R çimentosunun fiziksel özellikleri.....	47
3.5. Deneyde kullanılan kirecin fiziksel özellikleri	47
3.6. Deneyde kullanılan kuvarsitin kimyasal analizi	48
3.7. Deneyde kullanılan kum çamurunun kimyasal ve fiziksel özellikleri	48
3.8. Deneyde kullanılan alçıtaşının kimyasal ve fiziksel özellikleri.....	50
3.9. Çalışmada kullanılan malzeme ve karışım oranları	51
4.1. Deney numunelerinin fiziksel ve mekanik özellikleri	64

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>ŞEKİL</u>	<u>Sayfa</u>
2.1. Gazbetonun sembolik görünümü	11
2.2. Avrupa’da 2010 yılında gazbeton tüketimi (1000 m ³).....	12
2.3. Gazbeton üretim şeması	14
2.4. Genleşme sürecinde ürün içinde milyonlarca hava gözeneği oluşur	16
2.5. Gazbeton dış duvar ve çatıların zaman sürecinde kuruması..	19
2.6. Birim alan ağırlığı ortalama ses yalıtım ilişkisi	21
2.7. Gazbeton sıcaklık basınç mukavemeti değişimi	22
2.8. Gazbeton sıcaklık hacim değişimi	23
2.9. Sepiyolit kristalinin şematik görünüşü.....	35
2.10. Sepiyolit tabakaları ve moleküler elek yapısı	35
2.11. Deneide kullanılan sepiyolit SEM görüntüsü	40
3.1. Sepiyolit EDS analizi	46
3.2. Kum çamuru yoğunluk ölçümü.....	49
3.3. Alüminyum pasta ve alüminyum süspansiyon görünümü	50
3.4. Karışıma çimento-kireç karışımı ilave edilmesi	52
3.5. Karışıma alüminyum süspansiyon ilave edilmesi	53
3.6. Karışımın numune kaplarına dökülmesi	54
3.7. Sulu kıvamda gazbeton, kabarmaya başlamadan önce	54
3.8. Gazbeton harcının kabarmış hali.....	55
3.9. Gazbeton keki otoklava koymadan önce	55
3.10. Otoklavdan çıkan gazbeton bloğu.....	56
3.11. Gazbeton numunelerinin boyutlandırılması.....	57
3.12. Isıl iletkenlik testi için kesilen numuneler	57
3.13. Basınç testi için gerekli olan numunelerin etüvdeki görüntüsü.	58
3.14. Basınç deneyinin yapılması	59
3.15. FOX 314 ısı akış sayacı cihazı	62
3.16. Jeol JSM5600 cihazı elektron mikroskobu cihazı.....	63
4.1. Basınç dayanımı değerleri grafiği	65
4.2. Gazbeton numunelerinin sudaki görüntüsü.....	66

4.3. Kuru yoğunluk değerleri grafiği	67
4.4. Rutubet muhtevası grafiği	68
4.5. Isıl iletkenlik değerleri grafiği.....	69
4.6. Sepiyolit ikameli gazbeton numunelerinin dış yzey gcruntüşu	70
4.7. %10 Sepiyolit ikameli gazbetonun SEM gcruntüşu (X35).....	71
4.8. %10 Sepiyolit ikameli gazbetonun rneklerinin EDS analizi.....	72
4.9. %10 Sepiyolit ikameli gazbetonun SEM gcruntüşu (X250).....	73
4.10. %10 Sepiyolit ikameli gazbetonun SEM gcruntüşu (X1000).....	74
4.11. %10 Sepiyolit ikameli gazbetonun SEM gcruntüşu (X2000).....	75
4.12. %10 Sepiyolit ikameli gazbetonun SEM gcruntüşu (X2500).....	76
4.13. %10 Sepiyolit ikameli gazbetonun SEM gcruntüşu (X5000).....	77
4.14. %10 Sepiyolit ikameli gazbetonun SEM gcruntüşu (X10000).....	78
4.15. %20 Sepiyolit ikameli gazbetonun rneklerinin EDS analizi.....	79
4.16. %20 Sepiyolit ikameli gazbetonun SEM gcruntüşu (X35).....	79
4.17. %20 Sepiyolit ikameli gazbetonun SEM gcruntüşu (X250).....	80
4.18. %20 Sepiyolit ikameli gazbetonun SEM gcruntüşu (X1000).....	81
4.19. %20 Sepiyolit ikameli gazbetonun SEM gcruntüşu (X2000).....	82
4.20. %20 Sepiyolit ikameli gazbetonun SEM gcruntüşu (X5000).....	83
4.21. %20 Sepiyolit ikameli gazbetonun SEM gcruntüşu (X10000).....	84
Ek Şekil 1. Sepiyolit SEM gcruntüşu (X35).....	94
Ek Şekil 2. Sepiyolit SEM gcruntüşu (X250).....	94
Ek Şekil 3. Sepiyolit SEM gcruntüşu (X1000).....	95
Ek Şekil 4. Sepiyolit SEM gcruntüşu (X2000).....	95
Ek Şekil 5. Sepiyolit SEM gcruntüşu (X5000).....	96
Ek Şekil 6. Sepiyolit SEM gcruntüşu (X10000).....	96
Ek Şekil 7. %0 Sepiyolit ikameli gazbetonun SEM gcruntüşu (X250).....	97
Ek Şekil 8. %0 Sepiyolit ikameli gazbetonun SEM gcruntüşu (X500).....	97
Ek Şekil 9. %0 Sepiyolit ikameli gazbetonun SEM gcruntüşu (X1000).....	98
Ek Şekil 10. %0 Sepiyolit ikameli gazbetonun SEM gcruntüşu (X2000).....	98
Ek Şekil 11. %0 Sepiyolit ikameli gazbetonun SEM gcruntüşu (X5000).....	99
Ek Şekil 12. %0 Sepiyolit ikameli gazbetonun SEM gcruntüşu (X10000).....	99

SİMGELER DİZİNİ

λ	Isı iletkenlik değeri
μm	Mikrometre
Db	Desibel
kgf	Kilogramkuvvet
MPa	Mega paskal
f	Basınç dayanım değeri
ρ	Yoğunluk değeri
M	Kuru kütle
V	Hacim
Ws	Rutubet muhtevası oranı

KISALTMALAR DİZİNİ

AAC	Autoclaved aerated concrete
ACI	Amerikan Beton Enstitüsü
C-S-H	Kalsiyum Silika Hidrat
SEM	Taramalı Elektron Mikroskobu (Scanning Electron Microscope)
EDS	Enerji Dağılım Spektrometresi (Energy Dispersive Spectrometry)
TSE	Türk Standartları Enstitüsü
XRD	X-Ray Diffraction
XRF	X-Ray Fluorescence
BET	Yüzey Alanı Ölçümü (Brunauer Emmett Teller)
BHA	Birim Hacim Ağırlığı

1.GİRİŞ

Türkiye’de ilk gazbeton üretimine 1966 yılında başlanmış, 18 Kasım 1989 tarihinde TS 453 “Gaz ve Köpük beton Yapı Malzeme ve Elemanları” Standardı yayınlanmıştır. TS EN 771-4 “Kâgir Birimler - Özellikler - Bölüm 4: Gazbeton Kâgir Birimler” standarttı gazbetonu “Gazbeton kâgir birimler, çimento ve/veya kireç gibi hidrolik bağlayıcının, silis esaslı ince öğütülmüş malzeme, gözenek oluşturan katkı maddeleri ve su ile karıştırılmasıyla hazırlanmalı ve otoklavda yüksek basınçlı buhar altında sertleştirilerek imal edilmelidir.” ifadesi ile tanımlamaktadır [1].

Bir başka tanımıyla; kum, çimento, sönmemiş kireç, çok düşük konsantrasyonda alçıtaşı ve su karışımına gözenek oluşturucu alüminyum ilave edilmesiyle elde edilir. Milimetrik olarak kesilerek otoklavlarda nihai kristal yapısına ulaşan Gazbeton bu gözenekli yapısı sayesinde iyi ısı yalıtımını sağlayan, hafif, yeterli basınç dayanımına sahip, yangına ve depreme dayanıklı hafif beton grubuna giren bir yapı malzemesidir. Gazbetonun endüstrileşmiş üretiminde, genellikle silisli agrega olarak silisçe zengin olan kum, kuvarsit veya uçucu kül, gözenek oluşturucu olarak ise alüminyum tozu veya macunu kullanılmaktadır[2].

Sepiyolit, tabakalı silikatler grubuna mensup sulu magnezyum silikat bileşimli doğal bir kil minerali olup ideal yapısal formülü, $(Si_{12})(Mg_8)O_{30}(OH)_4(OH_2)_4 \cdot 8H_2O$ 'dur. Genellikle beyaz ve krem renkli olan sepiyolit, doğada saf olarak rastlanmasına karşın genellikle safsız olarak diğer kil ve kil dışı mineraller içermektedir. Sarı ve kahverengi tonlarından esmer tonlara kadar değişim gösteren sepiyolit Türkiye’nin çeşitli yörelerinde çeşitli safsızlıklar içeren çok sayıda sepiyolit yatağı bulunmasına rağmen, safa yakın olan beyaz renkli sepiyolit yalnızca Eskişehir civarında bulunmaktadır. Sepiyolitin adsorpsiyon (yüzeyde tutunma) ve/veya absorpsiyona (emilim,soğurma) dayalı uygulamalarında yüksek yüzey alanı ve içyapıyı teşkil eden mikro gözenek ve zeolitik kanallar önemli rol oynar [3].

Tabiatta sepiyolit zenginleşmeleri, kabaca iki farklı tipte bulunmaktadır. Bunlardan birinci tip sepiyolit oluşumu, ülkemizde özellikle Eskişehir yöresinde ve Konya-

Yunak civarında bulunan "lületaşı (meerschaum)" dur. Bir diğer önemli sepiyolit oluşumu ise, "sanayi sepiyoliti" veya "tabakalı sepiyolit" olarak da adlandırılan "sedimanter sepiyolit"lerdir. Bunlara daha çok Eskişehir-Sivrihisar ve Mihaliççık-Yunus emre yörelerinde rastlanmaktadır [4].

Günümüz de sepiyolit, yüksek yüzey alanı, lifsi yapısı, porozitesi, kristal morfolojisi ve kompozisyonu, yüzey aktivitesi, düşük konsantrasyonlarda yüksek viskoziteye duyarlı süspansiyonlar oluşturması vs. gibi teknolojik uygulamalara baz teşkil eden sorptif (içe tutma), katalitik (seçicilik) ve reolojik (biçim değiştirme) özelliklerinden dolayı sayısız kullanım alanına sahip bulunmaktadır. Sepiyolit sert suların yumuşatılmasında, yüksek vizkoziteli yağ elde etmede, korozyona dayanıklı otomobil boyası üretiminde, elektrik sanayinde katalizör imalatında, nebati ve madeni yağlar ile şurupların arıtılmasında, petrol arama sondajlarında, askeri mühimmat imalinde ve birçok alanda kullanılmaktadır.

1.1. Literatür Özetleri

Bu alanda yapılan üretim ve kullanılan malzemelere ilişkin literatürde çeşitli çalışmalar bulunmaktadır. Gazbeton üretimini daha iyi ve ekonomik yapabilmek için yapılan çalışmalara bu bölümde yer verilmiştir

Kavas vd. (2004), sepiyolit takviyeli çimento kompozitlerin yapısal özellikleri incelemişler ve %10 oranında ilave edilen Sepiyolitin, mekanik ve fiziksel özelliklerini arttırdığını tespit etmişlerdir. Sıradan Portland çimento karışımı ile karşılaştırıldığında, eğilme dayanımı değerleri %12.7, %5.7 ve %6.3 basınç dayanımında %3.5, %6.2 ve %7.7 iyileştirmeler sırasıyla 2, 7 ve 28 gün boyunca elde edilmiştir [5].

Jarabo vd. (2010), fiber takviyeli çimento ürünlerin üretiminde çimento bulamaçlarının daha kolay işlenmesi ve nihai kaliteyi sağlamak için kullanılan sepiolitin, farklı fiber takviyeli çimento süspansiyonların flokülasyona (topaklaşma, çökme) sepiyolit etkisi incelemişler ve fiber takviyeli çimento süspansiyonunda

sepiyolit, toprak boyutu ve topraklanma kararlılık arttırdığını ortaya koymuşlardır [6].

Fuente vd. (2008), elyaf takviyeli çimento sepiyolit süspansiyonları tutma ve drenaj üzerine etkisini incelemiş ve sepiyolit elyaf takviyeli üretiminde kullanılabilir olduğunu göstermişlerdir [7].

Hauser vd. (1999), selüloz sanayindeki uçucu külün serbest kireç ve sülfat önemli miktarda içerdiğinden gazbeton üretimi için potansiyel ikincil hammadde olarak kullanılmasını incelemişler ve bir referans serisi ile karşılaştırarak, kireç-sülfat külü ile daha yüksek basınç dayanımına sahip numune üretmeyi başarmışlardır [8].

Huang vd. (2012), bakır tortu ve yüksek fırın cürufunun esas hammadde olarak kullanmışlardır. Bakır tortu ve yüksek fırın cürufunun CaO ve MgO içermesi nedeniyle kireç ikamesi yerine geçtiğini ve kuvars kumu tüketimini azaltmak için kısmen alternatif silisli kaynak olarak kullanılabileceğini göstermişlerdir [9].

Mostafa (2005), çalışmasında gazbeton üretiminde kullanılan kireç ve kumun yerine hava ile soğutulmuş cüruf kullanılabilirliğini irdelemiştir. Cüruf kullanılan durumda, 2 ve 6 saatlik kür sürelerinde %50'ye varan mukavemet artışına ulaşılabileceği görülmüştür [10].

Kara (2008), yapmış olduğu çalışmada; kuvars kumu yerine taban külü ve sepere külü kullanarak gazbeton numuneleri üretmiştir. Kuvars kumu yerine %100 oranında sepere kül kullanılarak üretilen numunelerin TS 453'e göre G2/0.5 gazbeton sınıfına göre basınç dayanımının düşük çıktığı görülmektedir. Kuvars kumu yerine %50 oranında sepere kül ve %50 oranında taban külü kullanılan gazbeton numunelerinin TS 453'e göre G2/0.5 gazbeton sınıfında olduğunu belirtmektedir [11].

Güçlüer (2011), yapmış olduğu çalışmada; gazbeton üretiminde ana hammadde olarak kullanılan silis kumu yerine uçucu kül ve bağlayıcı olarak kullanılan çimentoya da %3, %6, %9 ve %12 oranlarında silis dumanı ikame edilerek gazbeton örnekleri üretmiştir. Silis dumanı ikameli serilerde, kontrol karışımına göre birim

hacim ağırlıkta azalma, basınç dayanımlarında ise artma görülmüş, en yüksek basınç dayanımı silis dumanın çimentoya %3 oranında ikame edildiği serilerde olduğunu belirtmiştir [12].

Kozak (2010), yapmış olduğu çalışmada; kuvars kumu yerine uçucu kül kullanmıştır. Harcın priz süresini kısaltmak amacı ile bazı serilerde priz hızlandırıcı katkıları (CaCl ve NaSO₄) kullanmış ve deney örneklerine ortalama 8 saat süre ile düşük basınçlı (1,15 Bar) otoklavda kür uygulamıştır. Fakat deney numunelerinin basınç dayanımlarının düşük çıkmıştır [13].

Kunhanandan Nambiar vd. (2006), gazbetonda belirli bir yoğunluk için kumun uçucu kül ile yer değiştirmesi (uçucu kül ikamesi) mukavemette artış sağlamaktadır. Çimento-kum karışımına göre, çimento- uçucu kül karışımı örnekler nispeten daha yüksek su emme oranına sahiptirler [14].

Albayrak vd. (2007), zeolitin gazbetonun özelliklerine etkisi üzerine yaptıkları çalışmada, gazbeton numunelerinin yoğunluk, basınç dayanımı ve ısı iletkenlik parametreleri incelenmiştir. Üretilen gazbeton numunelerinde ısı iletkenlik değerinin (0,08-0,12 kcal/mh °C), basınç dayanım (1.22-3.34N/mm²) olduğu görülmüştür [15].

1.2. Çalışmanın Amacı

Bu çalışmanın amacı, sayısız alanda kullanılan sepiyolit, gazbeton üretiminde değerlendirilmesi ve performansı yüksek gazbeton üretilmesi amaçlanmıştır.

Bu nedenle; gazbeton üretiminde, sepiyolit ana malzeme olan kuvars kumu yerine ağırlıkça %5, %10, %15, %20 ve %25 oranlarında ikame edilerek sepiyolit gazbetonun fiziksel ve mekanik özelliklerine etkileri araştırılmıştır.

Bu kapsamda, duvar elamanı olarak kullanılan ve ticari olarak üretilen G2/04 sınıfı gazbeton üretilen baz alınarak referans numune ile sepiyolit ana malzeme olan kuvarsit yerine ağırlıkça %5, %10, %15, %20 ve %25 oranlarında ikame

edilerek kullanılan deney numuneleri üzerinde kuru yoğunluk, basınç dayanım, rutubet muhtevası, ısı iletkenlik değeri belirlenmiştir.

Üretilen sepiyolit ikameli gazbeton numunelerin kuru yoğunluk, basınç dayanım, rutubet muhtevası, ısı iletkenlik, makroyapısal ve mikroyapısal özellikleri ana başlığı altında incelemede bulunarak referans numune ile üretilen sepiyolit ikameli gazbeton numunelerinin fiziksel ve mekanik özelliklerinde kıyaslamada bulunarak, olumlu fiziksel ve mekanik özelliklerin geliştirilmesini, olumsuz özelliklerin ise en aza indirerek performansı yüksek gazbeton üretilmesi amaçlanmıştır.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. Hafif Betonlar

TS EN 206-1'de hafif beton, etüv kurusu durumdaki birim hacim ağırlığı, 800 kg/m³'ten büyük, 2000 kg/m³'ten küçük olan beton olarak tanımlanmaktadır. Hafif beton, yapımında kullanılan agreganın bir kısmı veya tamamı farklı tip ve özelliklere sahip hafif agregaların kullanılmasıyla da üretilebilir [16].

TS 2511'e göre de, karakteristik basınç dayanımı 17 MPa'dan daha büyük olan ve birim hacim ağırlığı en fazla 1900 kg/m³ olan hafif agregalı betonlar, taşıyıcı hafif beton olarak sınıflandırılmaktadır. Hafif betonların özellikleri, hafif beton üretiminde kullanılan agregaların karakteristik özellikleriyle doğrudan ilgilidir [17].

Gözenekli beton en az üç belirgin tipte üretilebilir. Bunlar; taze çimento hamuru içinde kimyasal tepkimeler sonucu açığa çıkan gaz baloncukları veya köpük oluşturularak üretilen, doğal ya da sentetik hafif agregaların kullanılmasıyla olağanüstü gözenekli yapıların elde edilmesiyle üretilen, tek tip kaba agrega kullanılıp ince agreganın tamamen çıkarılmasıyla üretilen betonlardır. Bunların üçü de gözenekli betonlar olmasına karşın her biri farklı boşluk yapılarına sahiptir [18].

Hafif betonun en belirgin özelliklerinden biride kullanıldığı yerlerde diğer geleneksel agrega ile üretilen betonlara nispetle daha iyi ısı izolasyonu sağlaması olup genelde betonun ısı iletkenliği birim ağırlığı ile doğru ısı izolasyonu ile ters orantılıdır. Hafif agregalarla üretilen betonların özellikleri agreganın mineralojik yapısına, granülometri bileşimine, çimento miktarına ve su çimento oranı gibi birçok faktöre bağlı iken sertleşmiş betonların birim ağırlığı, su emmesi, dayanımı ve ısı yalıtımı birbirleri ile ilişkili olan özelliklerdir [19].

Hafif agregalı betonlar hafiflik yanında bu günkü modern yapı endüstrisinde istenilen ısı izolasyonu, ses absorpsiyon ve yangına karşı direnç gibi en iyi özelliklere sahiptirler. Duvar elemanı olarak hafif agregalı beton elemanların yapıda

kullanılmaları halinde, normal agregalılara kıyasla, hafiflikten kaynaklanan zati yüklerin azalması, duvar örüm veriminin ve hızının artması ile birlikte taşıma maliyetlerinde avantaj sağlamaktadır [20].

Taşıyıcı hafif betonları özellikle bir yapının ölü yükün azaltılması ve kullanılacak betonarme yapı elemanlarının kesit alanlarının daraltılmasında tercih edilmektedir. Taşıyıcı hafif betonlar duvar panel ve blokların inşasında, çatı katı döşemelerinde, köprü açıklıklarında, ön yapımlı beton ünitelerinde kullanılarak özellikle yüksek yapıların efektif kullanım alanları ve açıklıkları arttırılabilir. Bu özellikleri nedeniyle taşıyıcı hafif betonun deprem bölgelerinde yapı inşaatında kullanılması tercih sebebidir [21].

2.1.1. Hafif Beton Tipleri

Hafif betonlar, genellikle hem birim ağırlık hem de mukavemet koşuluna göre sınıflandırma yapılmaktadır. Yalıtım betonlarından, taşıyıcı olanlara kadar bütün hafif betonların özellikle birim ağırlık bakımından sınıflandırılmasında değişik kabuller vardır. Birim ağırlıkları 1840 kg/m^3 'ü geçmeyen ve 28 günlük silindir basınç dayanımı 17 N/mm^2 'i aşan betonlar hafif beton sınıfına girerler. Genel olarak hafif betonların birim ağırlıklarının pratik değişim aralığı $300\text{-}1800 \text{ kg/m}^3$ 'tür [13].

TS 2511 'de ise, birim hacim ağırlık esasına göre;

- Hafif betonlar: $\text{BHA} < 19 \text{ KN/m}^3$
- Yarı hafif betonlar: $\text{BHA} 19\text{-}21 \text{ KN/m}^3$
- Normal betonlar: $\text{BHA} 21\text{-}24 \text{ KN/m}^3$ [17].

TS EN 206-1'de hafif betonlar birim hacim ağırlığına göre Çizelge 2.1.'de verildiği gibi D 1,0 ile D 2,0 arasında sınıflandırılmışlardır.

Çizelge 2.1. Hafif betonların yoğunluklarına göre sınıflandırılması [16]

Yoğunluk Sınıfı	D 1,0	D 1,2	D 1,4	D 1,6	D 1,8	D 2,0
Birim Hacim	≥ 800	≥ 1000	≥ 1200	≥ 1400	≥ 1600	≥ 1800
Ağırlığı (kg/m ³)	≤ 1000	≤ 1200	≤ 1400	≤ 1600	≤ 1800	≤ 2000

Diğer yandan, birim hacim ağırlığı 700 ile 1400 kg/m³ arasında olan ve basınç dayanımları 10 MPa'dan düşük olan hafif betonlar, yalıtım betonu; birim hacim ağırlığı 1400 ile 1600 kg/m³ arasında olan ve basınç dayanımları da 16 MPa'a kadar olan betonlar yarı taşıyıcı hafif beton; birim hacim ağırlığı 1850 kg/m³ olan ve basınç dayanımları da 17 MPa'dan daha fazla olan hafif betonlar taşıyıcı veya yapısal hafif beton olarak da sınıflandırılmaktadırlar [22].

Hafif betonların basınç dayanımları açısından birçok sınıflandırılma yapılması, hafif agregalı beton üretiminde dayanımları birbirinden farklı olan hafif agregaların kullanılmasındır. Amerikan Beton Enstitüsü (ACI, 1970)'ne göre hafif betonlar, yalıtım için kullanılan düşük dayanımlı betonlar, dolgu amacı ile kullanılan orta dayanımlı hafif betonlar ve betonarme betonu olarak kullanılan yapısal hafif betonlar olarak üç gruba ayrılmıştır. Son yıllarda kimyasal katkıların önemli gelişmelerine paralel olarak yüksek dayanımlı hafif agregalı betonlar üretilebilir hale gelmiştir [23].

2.1.2. Hafif Betonların Avantajları

- Hafif betonların kullanılmasıyla yapıların ağırlığında önemli bir azalma sağlanır.
- Hafif betonların kullanılmasıyla betonarme elemanların kesitleri de azaltılabilir.
- Hafif betonların ısı iletkenlik katsayısı çok küçüktür.

- Hafif betonların bazıları ahşap gibi kolayca kesilebilir ve işlenebilir.
- Elastisite modülleri düşük olmasından dolayı deprem sırasında deplasmanları büyüktür.
- Ses yalıtımları yüksektir
- Agregalar saftır [13].

2.1.3. Hafif Betonların Dezavantajları

- Boşluklu bir yapıya sahip olduklarından istenilen dayanımı sağlayamazlar.
- Aşınma dayanımları yetersizdir.
- Neme karşı yalıtılmaları gerekir.
- Nem içeriğinin artması ısı iletkenliğini artırır
- Elastisite modülleri düşüktür fakat deprem sırasında deplasmanları büyüktür.
- Hidratasyon ısıları yüksek olduğundan, sıcaklık artar.
- Daha fazla çimento gerekmektedir.
- Hafif agregalı betonlar daha kırılabilirler [23].

2.2. Gazbeton

Gaz beton; silis oranı yüksek kum (kuvars, kuvarsit vb), alçıtaşı, kireç, çimento, su ve gözenek oluşturucu katkı maddesi (alüminyum) dan oluşan karışımın (Tober-Morit) otoklavlarda buharla sertleştirilmesiyle elde edilen gözenekli, hafif beton grubuna giren bir yapı malzemesidir. Gazbeton, beton veya geleneksel kâgir malzemelere göre çok hafif olup içindeki hava kabarcıkları nedeniyle yüksek ısı yalıtım özelliğine sahip, bir tür hafif beton olarak yapı sektöründe aranan bir malzemedir. Yapısındaki hava kabarcıkları dolayısıyla bu malzemeye gazbeton adı verilmiştir. İngilizce adı "Autoclaved Aerated Concrete - AAC", Almanca adı "Porenbeton" dur [24].

TS EN 771-4 “Kâgir Birimler - Özellikler - Bölüm 4: Gazbeton Kâgir Birimler” standarttı gazbetonu “Gazbeton kâgir birimler, çimento ve/veya kireç gibi hidrolik

bağlayıcının, silis esaslı ince öğütülmüş malzeme, gözenek oluşturan katkı maddeleri ve su ile karıştırılmasıyla hazırlanmalı ve otoklav da yüksek basınçlı buhar altında sertleştirilerek imal edilmelidir.” ifadesi ile tanımlamaktadır [1].

TS EN 12602 “Önyapımlı Donatılı Gazbeton Yapı Elemanları” standarttı gazbetonu “Gazbeton (AAC), ince silis esaslı malzeme, gözenek oluşturan maddeler ve su ile birleştirilen çimento ve/veya kireç gibi bağlayıcılardan imal edilir. Hammaddeler birlikte karıştırılır ve karışım kabarak kek oluşturabileceği kalıplara dökülür. İşlemin bu kısmı bittikten sonra kek, elemanların istenen boyutlarına göre kesilir ve otoklavlarda yüksek basınçlı buhar ile kürlenir.” ifadesi ile tanımlamaktadır [25].

Gazbeton, hafifletilmiş yapı elemanları üretmek için geliştirilmiş teknoloji ile elde edilen bir malzemedir. Gaz betonun temel bileşimini kuvars, kuvarsit veya kuvars kumu oluşturur. Gaz betonunun dayanıklılığını arttıran bu hammaddelerin SiO_2 miktarı $> \%80$, alkali miktarı ise $< \%2$ olmalıdır. Diğer taraftan basınç dayanımını olumsuz etkilemesi nedeniyle organik bileşikler ile otoklavlarda aşınmaya neden olan klorun varlığı da istenmez [26].

Alçıtaşı (Jips), gaz betonun basınç dayanımını yükseltir, karışım içindeki kirecin sönme hızını düzenler, rötre özelliğini iyileştirir ve dona karşı dayanıklılığı artırır, kek halindeki gazbetonun karalılığını artırır, buharlaşma ile oluşan su ihtiyacını sağlar. Kireç ise sönmemiş halde kullanılır. Gaz beton üretiminde kullanılan kirecin CaO miktarı $> \%80$ olmalıdır. Kireç, kür işlemi sırasında karışım suyu ile reaksiyona girerek Ca(OH)_2 oluşturur. Kirecin sönmesi sırasında açığa çıkan ısı da sertleşmeyi hızlandırır. Ca(OH)_2 de SiO_2 ile reaksiyona girerek gaz betonun temel iskeletini oluşturan hidrate silikat bileşiklerini oluşturur [24].

19. yüzyılda, çimento ve betonun keşfinden sonra daha hafif ve ısı yalıtımı daha yüksek inşaat malzemesi arayışına girilmiş ve 19. yüzyılın sonlarında hafif ve gözenekli doğal malzemelerin yapay olarak üretilmesi fikri, ortaya atılmıştır. Betona gözenekli bir doku kazandırma fikri ilk kez E. Hoffman tarafından ortaya atılmış ve bu konuda 1889-1925 yılları arasında pek çok gözenek oluşturma yöntemi üzerine çalışma yapılmıştır. J.W. Alswort ile E.A. Dyer çimento harca kabartıcı katkı

maddesi olarak alüminyum tozu, çinko tozu veya diğer madeni tozların katılması yoluyla hafif beton üretilebileceği görüşü ortaya atılmış ve 1919-1920'de beton harcına kabartıcı madde olarak alüminyum tozu katılarak (basınçlı buhar sertleştirmesinin olumlu etkilerinin de tespiti ile) bugünkü gazbeton üretim teknolojisinin temeli atılmıştır [26, 27].

20. yüzyılın başında Johan Axel Eriksson isimli İsveçli bir mimarın keşfi ile noktalanmıştır. Eriksson; ahşabın özelliklerine sahip yüksek ısı yalıtımı sağlayan, sağlam, kolay işlenebilen, yanmayan ve çürümeyen bir yapı malzemesi arayışı içindeydi. Yapay yapı taşlarının önce gözenekli bir dokuya kavuşturulması daha sonra da buhar kürü yardımı ile dış etkilere karşı dayanıklı hale getirilmesini sağladı [26].



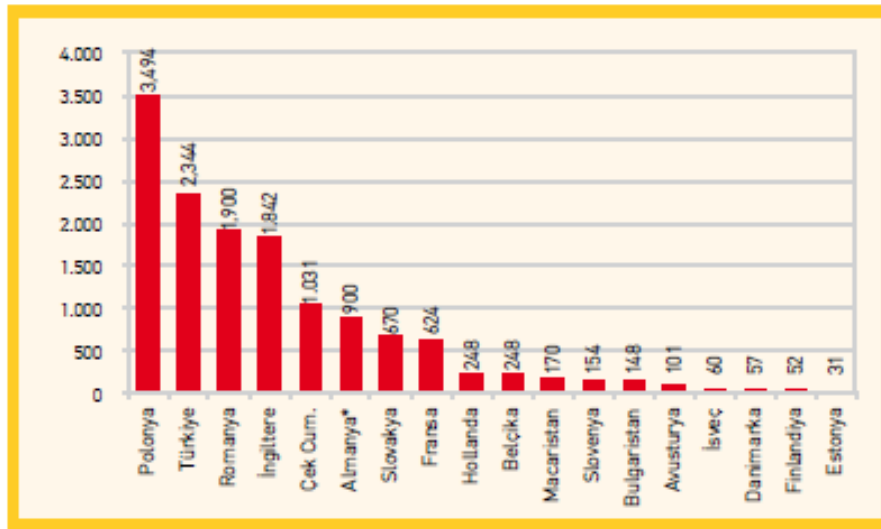
Şekil 2.1. Gazbetonun sembolik görünümü

Bünyesi yapay olarak hava habbeleri ile hafifletilmiş olan gazbeton, 0,5 ile 1,5 mm arası yuvarlak birbirleri ile bağlantısı olmayan hava gözeneklerinden oluşur. G25

sınıfı malzemede gözenek hacmi %80, katı madde hacmi %20'dir. Bu özelliği gazbetona yüksek ısı geçirmezlik kabiliyeti kazandırır. Katı madde miktarı gözenek oranını, birim ağırlığı ve mukavemeti etkiler ve üretim sırasında bu oran kabartıcı madde miktarı ile ayarlanır [13].

Buhar kürü sonucu malzeme hacim sabitliğine erişmiş olarak ortaya çıkan gazbeton gözeneklerin arasında irtibat kanallarının olmaması, kapiler su emmenin az olmasını sağlar. Kesim yüzeylerinde gözenekli yapının kesim sırasında tahrip olduğundan yüzeyde gözlenen su emme yüzeysel su emmedir ve malzeme derinliğine su nüfus edememektedir [24].

Türkiye, Dünya'nın büyük gazbeton üreticisi ülkeleri arasındadır. Türkiye gazbeton üretiminde Avrupa' da 2. sırada yer almaktadır. Türkiye'de beş kuruluşa ait toplam 10 adet gazbeton üretim tesisi bulunmakta olup üretim tesislerinde yaklaşık 1.250 kişi istihdam edilmektedir. Türkiye'de gazbeton kuruluşlarının üretim kapasitesi 3.3 milyon m³'tür [28].



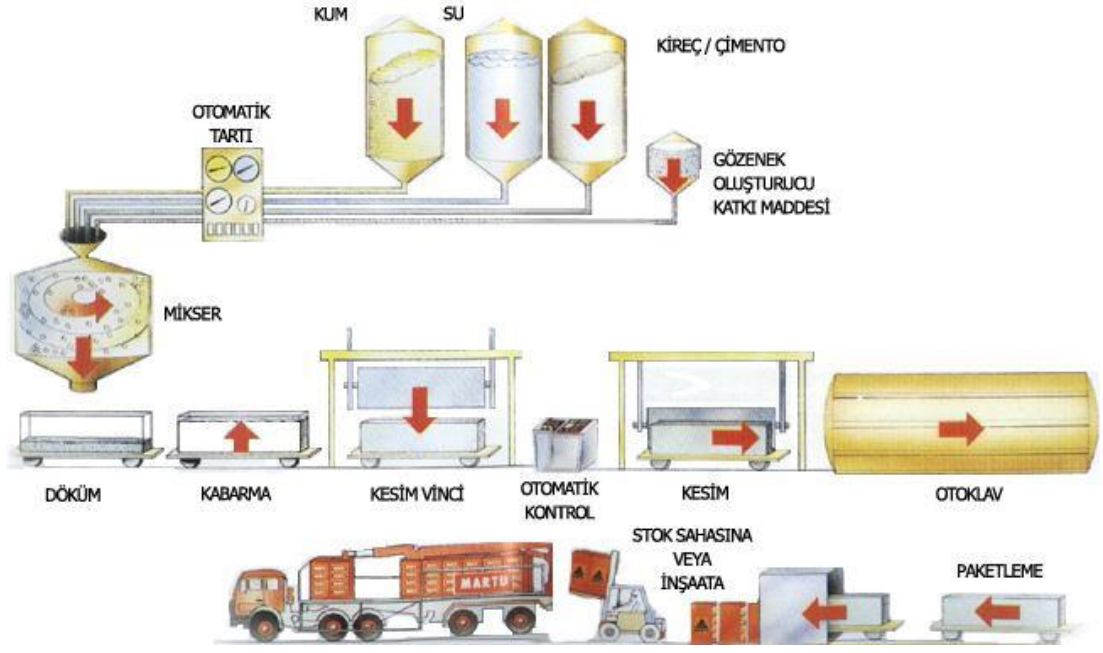
Şekil 2.2. Avrupa'da 2010 yılında gazbeton tüketimi (1000 m³) [28].

Gazbeton tüketiminde Avrupa sıralamasında tüketimde 2. sırada yer almaktadır. Polonya, 3,5 milyon m³'lük tüketimle başı çekmekte, ardından da 2,3 milyon m³'lük tüketimle Türkiye gelmektedir. Kişi başına kullanılan gazbeton miktarı Polonya'da 0,11 m³, İngiltere'de 0,06 m³, Almanya'da ise 0,05 m³'tür. Türkiye'de bu oran kişi başına 0,03 m³'tür. Türkiye için kişi başına ulaşılması hedeflenen gazbeton kullanım miktarı 0,06 m³ olup bu oran da yıllık yaklaşık 4.2 milyon m³ tüketim anlamına gelmektedir [28].

2.2.1. Gazbeton Üretimi

Gazbeton üretiminde; kum (kuvars, kuvarsit vb), kireç, çimento, alçıtaşı, su ve genişletici bir madde (alüminyum) kullanılır ki böylece üretilen betonda boşluklu bir yapı oluşması sağlanmış olur [18].

Ana hammadde (kuvars, kuvarsit vb) ve alçı taşı birlikte kırma ve eleme işlemi ile istenilen büyüklüğe getirilir ve su ile karıştırılarak kum çamuru elde edilir. Sönmemiş kireç kırma eleme işlemi ile ayrı silolarda depolanır. İstenilen özelliklerde hazır hale getirilen hammaddeler silolarda karışım hazır halde depolanır. Kum çamur, çimento ve kireç karışım miktarları oranında hazırlanarak mikserde karıştırılır ve en son olarak alüminyum tozu eklenir karışım kalıplara dökülür. Alüminyum tozu, kalsiyum hidroksit ve suyla reaksiyona girerek hidrojen çıkısına sebep olur ve bu hidrojen çıkışı sulu beton içinde baloncuklar oluşturarak hacminin artmasını sağlar ve böylece beton kabararak boşluklu bir yapı kazanır ve sertleşmeye başlar. Belli bir mukavemet derecesine ulaşan gazbeton keki kesme makinesi ile istenilen boyutlarda kesilerek 190 °C sıcaklık, 12 atmosfer basınçtaki otoklava gönderilir. Malzemenin düşük yoğunluk, yüksek basınç mukavemeti otoklavdaki buhar sertleşmesi sonucu elde edilir [24].



Şekil 2.3. Gazbeton üretim şeması [29]

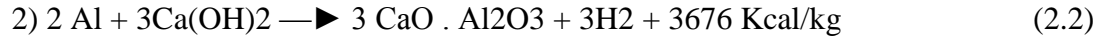
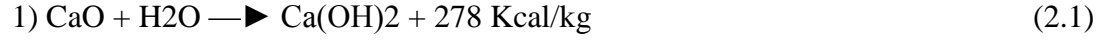
Gazbetonun oluşturan ana maddelerden biri olan kuvarsit, genel olarak kuvars kumu taneleri, silisten meydana gelmiş ve çimento ile birbirine çok sağlam şekilde bağlanmalarıyla oluşmuş bir kayaç olup, sedimanter ve metamorfik olmak üzere iki çeşidi vardır. Kuvarsit, direnci yüksek, sağlam ve aşındırıcı bir kayaçtır ve öğütülmesi oldukça güç ve pahalıdır. Bu nedenle kuvarsit üretimi, aynı kimyasal bileşimde bulunan kuvars kumu, kumtaşından ve daha saf olan kuvarstan sonra tercih edilmektedir. Kuvarsitin kimyasal bileşimi, kuvars, kumtaşı ve kuvars kumu gibi SiO_2 olup, ancak içerisinde çeşitli miktarlarda feldspat, mika, kil, manyetit, hematit, granat, rutil, kireçtaşı vb. bulunabilir. Gazbeton üretiminde kullanılan kuvarsitte, SiO_2 miktarının en az %80-90, Fe miktarının en fazla %2 olması istenir [18].

Priz esnasında uygulanan işleme göre gazbetonlar üç sınıfta üretilir;

1. Basınçlı buharda priz yapan gazbeton.
2. Yüksek ısıda ve buhar altında priz yapan gazbeton.
3. Açık havada priz yapan gazbeton [18].

Gazbeton için, X ışınları kırınımı (XRF) çalışmaları göstermiştir ki; ana tepkime ürünü kalsiyum silika hidrat (C-S-H) grubuna aittir. Hidratasyon ürünü bir arada bulunan kristaller karışımı, yarı-kristaller ve amorf tobermorittir. Hidrate fazda oluşan yalnızca kalsiyum silikadır [18].

Gazbetonun geçirdiği kimyasal reaksiyon denklemleri,



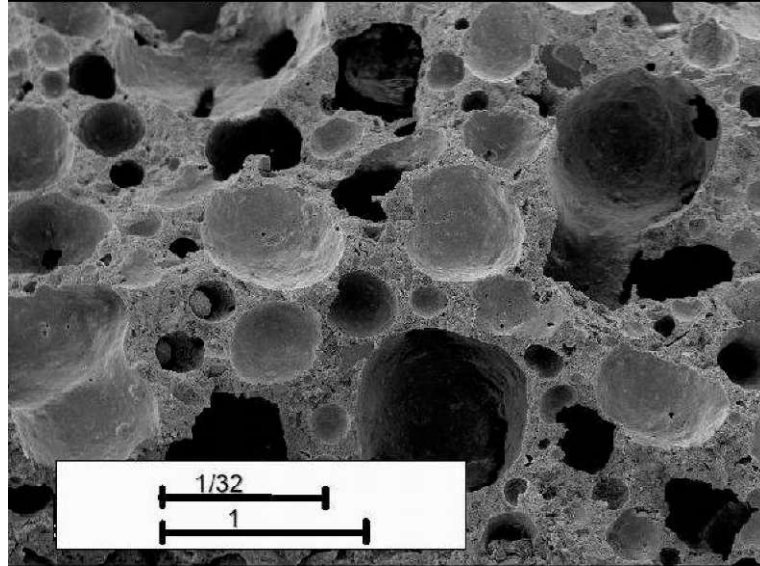
Burada ilk reaksiyon sönmemiş kirecin su ile birleşimi ile başlar. İkinci reaksiyon ise ilk reaksiyondan ortaya çıkan kalsiyum hidroksit alüminyum ile reaksiyonu gerçekleştirir. Bu reaksiyon ile çıkan hidrojen gazı kabarma ve gözenek oluşumu sağlar. Üçüncü ve son aşamada ise otoklavda yüksek basınç ve sıcaklık altında gerçekleşen reaksiyonlar sonucunda gazbetonda en çok rastlanan tobermorit kristalleri oluşur [30].

2.2.2. Gazbetonun Özellikleri

2.2.2.1. Gazbetonun Fiziksel Özellikleri

Gazbeton malzemenin yapısında 0,5- 1,5 mm arasında küresel makro gözenekler vardır. Bu makro gözenekler mikro gözeneklerce çevrelenmiştir. Gazbeton, kullanılan silisli hammaddenin cinsine bağlı olarak beyaz, gri veya pembe renklere olabilir. Yaygın olarak kuvarsit kullanıldığından renk genellikle beyazdır. Kesme makinelerinde kullanılan çelik tellerin özelliğine bağlı olarak imalat yüzeyleri düz veya çizgili- pürüzlü olabilir [24].

Gazbetonda ki gözenek oluşumu metodu, mikro yapısına tesir eder ve bu da gazbetonun özelliklerini etkiler. Gazbetonun içsel yapısı; katı mikro gözenek matrisi ve makro gözenekler olarak tanımlanabilir. Makro gözenekler maddenin içinde sürüklenen hava kabarcıklarından etkilenen kütleli genişmeden meydana gelmektedir ve mikro gözenekler ise bu makro gözenekler arasındaki duvarlarda oluşmaktadır. Makro gözenekler çapları 60 µm'den daha büyük boşluklar olarak tanımlanabilir. Bu boşluklar ve boşlukların boyutları ve dağılımı betonun dayanım, geçirgenlik ve rötre gibi fiziksel özelliklerinde belirleyicidir. Genleşme sürecinde Şekil 2.4'deki gibi ürün içinde milyonlarca hava gözeneği oluşmaktadır [18].



Şekil 2.4. Genleşme sürecinde ürün içinde milyonlarca hava gözeneği oluşur [18]

- Özgül ağırlığı: Gazbeton malzemenin ortalama boşluksuz özgül ağırlığı 2,60 kg/dm³'dür.
- Porozite: Gazbetonun porozitesi kuru yoğunluk ile ters orantılı olarak değişmektedir.

Çizelge 2.2. Gazbetonun çeşitli birim hacim ağırlıkları için porozite değerleri [24]

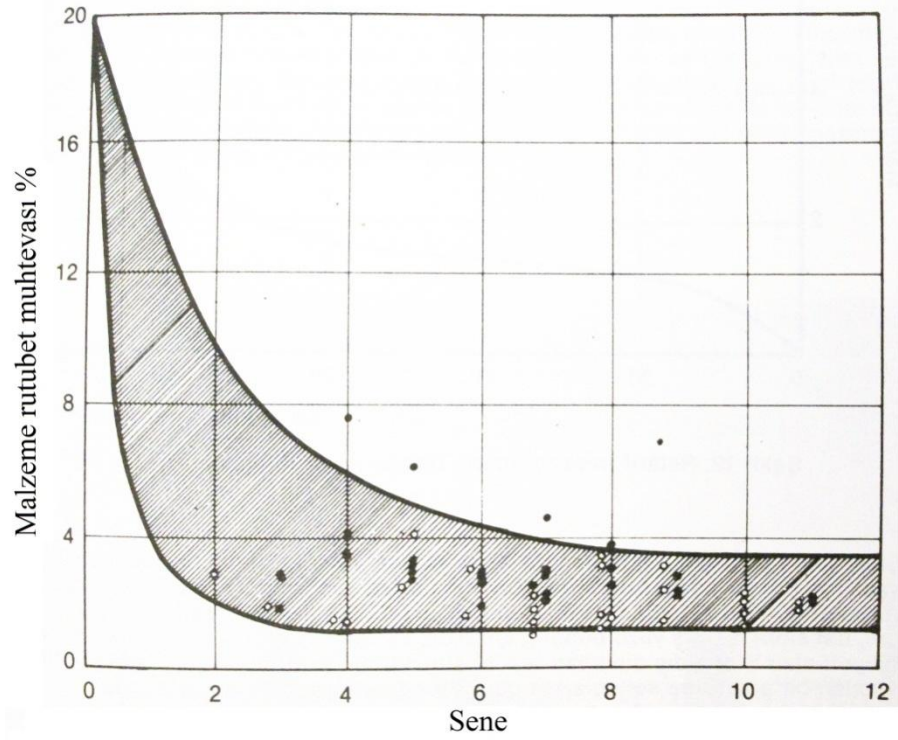
Birim Hacim Ağırlığı kg/m ³	Porozite %
310-400	85- 88
410-500	81- 85
510-600	77- 81
610-700	73- 77
710-800	69- 73

- Isı iletkenlik: Gazbetonun %80'ini oluşturan mikro ve makro gözenekler, malzemeye düşük bir ısı iletkenlik değeri sağlamaktadır. Malzemenin kuru birim hacim ağırlığı ve nem içeriğine bağlı olarak Isı iletkenlik katsayısı değişim göstermektedir.

Çizelge 2.3. Kuru gazbetonun ısı iletkenlik değerleri [24]

Kuru Yoğunluk kg/m ³	Isı İletkenlik Değeri W/mK
300	0,08
400	0,09
500	0,12
600	0,14
700	0,16
800	0,19

- Isıl genleşme: Gazbetonun ısı 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: Gazbeton, 1000 °C civarında sinterleşmeye (camsılaşmaya), 1100 -1200 °C civarında da erimeye başlamaktadır.
- Rötire: Gazbeton, bünyesindeki nem miktarı azaldıkça hacim kaybetmekte, arttıkça da hacim kazanmaktadır. Bu değişim, 4 x 4 x 16 cm'lik dikdörtgen prizma örneklerle tespit edilir. Deney numuneleri (20± 2)°C ve %45.den daha az olmayan rölatif rutubetli havada bekletilerek yavaş yavaş kurutulur ve deney numunelerinin deney ölçüm boyları ve bu sıradaki kütleleri, uygun zaman araları ile, beklenen %4'ten daha az olmayan rutubet muhtevasına erişilinceye kadar, en az beş kere tayin edilir [31].
- Denge nemi: Yapı malzemeleri, başlangıçta içerdikleri üretim, nakliye ve inşaat nemini zamanla içinde atarak, belli bir sabit nem derecesine gelmesine denge nemi denir. Gazbetonun denge nemi kuru birim ağırlığına ve ortamın bağıl hava nemine bağılı olarak küçük farklılıklar gösterir [24].

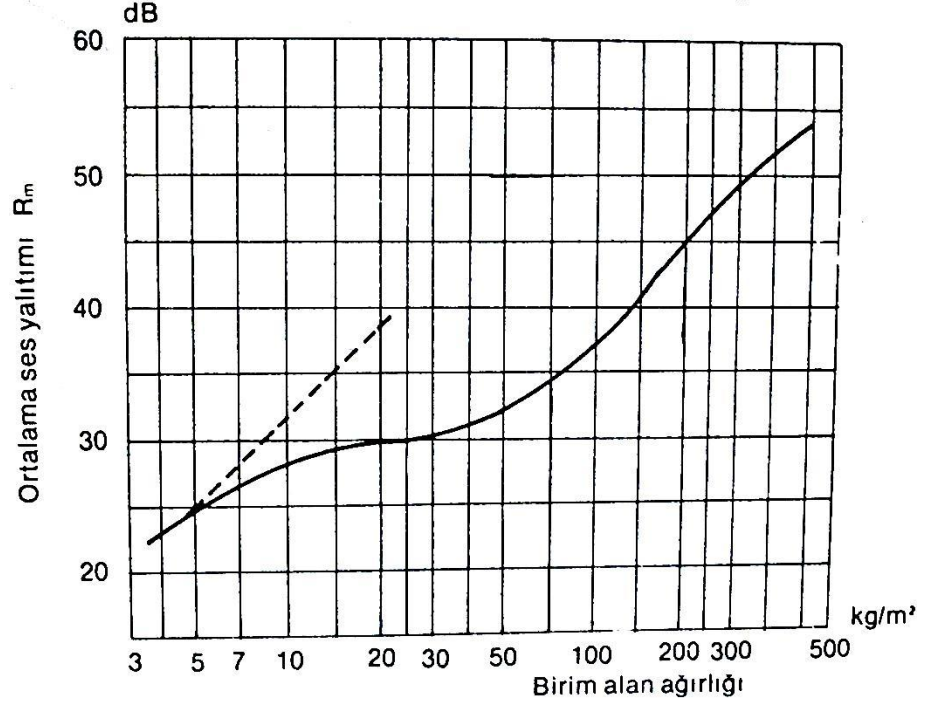


Şekil 2.5. Gazbeton dış duvar ve çatıların zaman sürecinde kuruması [24]

- Hacimim %20 mertebesinde başlangıç rutubetine sahip gazbetonun 1 sene içerisinde üretim ve inşaat rutubetini önemli bir kısmına atmakta ve 2,5-3 sene içerisinde denge rutubetine gelmektedir [24].
- Su emme-kuruma: Üretim sırasında karışıma verilen suyun pek az miktarda kimyasal bağlantı ile bünyede kalmakta, serbest kalan diğer kısım buharlaşma yolu ile %50 civarında su bünyeden atılmaktadır. Gazbeton 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 tarafından engellenmektedir [24].
- Su kapasitesi - Doymuş rutubet miktarı: Suyu doymuş duruma gelen yapı malzemesinin içerdiği nem miktarı, o malzemenin su kapasitesini belirlemektedir. Gazbeton malzemenin, suya doymuş durumdayken dahi,

bünyesindeki boşlukların yaklaşık %60'ının kuru kaldığı belirtilmektedir [24].

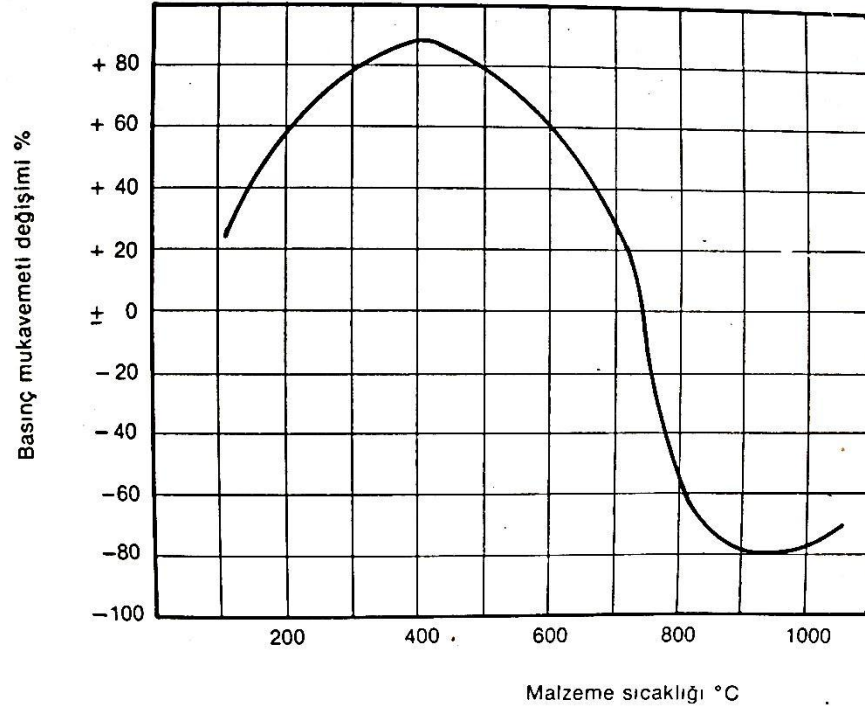
- Kuruma: Gazbeton yavaş kılcal su emme özelliğine sahip olduğu içinde yavaş kuruma özelliği gösterir [24].
- Buhar geçirgenlik Hava geçirgenlik: Gözenekli yapısı sayesinde düşük bir buhar geçirgenlik direnci gazbetona yüksek teneffüs kabiliyeti doğurmaktadır. Ancak, özellikle don bölgelerinde gazbeton duvar çıplak (korumasız) bırakıldığı durumlarda, bu özelliğin malzemenin bünyesine büyük zarar verebildiği gözlemlenmiştir [24].
- Dona karşı dayanıklılık: Malzemenin nem miktarına bağlı olup normal şartlarda, suya doymuş gazbeton malzemenin erişebileceği en yüksek nem miktarının hacimce %30-%35 civarında olduğu belirtilmektedir. Gazbetonun bünyesindeki toplam boşluk miktarının hacimce %70-%85 olduğu göz önüne alınırsa, malzeme bünyesinde buz kristallerinin genişebileceği kuru bir hacmin bulunduğu ortaya çıkmakta ve malzemeye dona karşı dayanım sağlamaktadır. Gazbetonda don hasarı keskin kenar, köşe ve profillerin de kritik rutubet miktarına aşabileceğinden bu bölgede, yüzeyinde tozlanma ve kabuk şeklinde olup toplam kütleinin dağılması şeklinde görülmez [24].
- Ses yalıtımı: Gazbetonun yüksek gözenekli bir yapıya sahip olmasından ve bu gözeneklerde ses enerjisinin kolaylıkla ısı enerjisine dönüşür. Birim alan ağırlıklarına göre ortalama ses yalıtım değerinin gazbeton malzemelerde diğer bazı yapı malzemelerine göre 2 Db daha yüksek olduğunu göstermektedir [24].



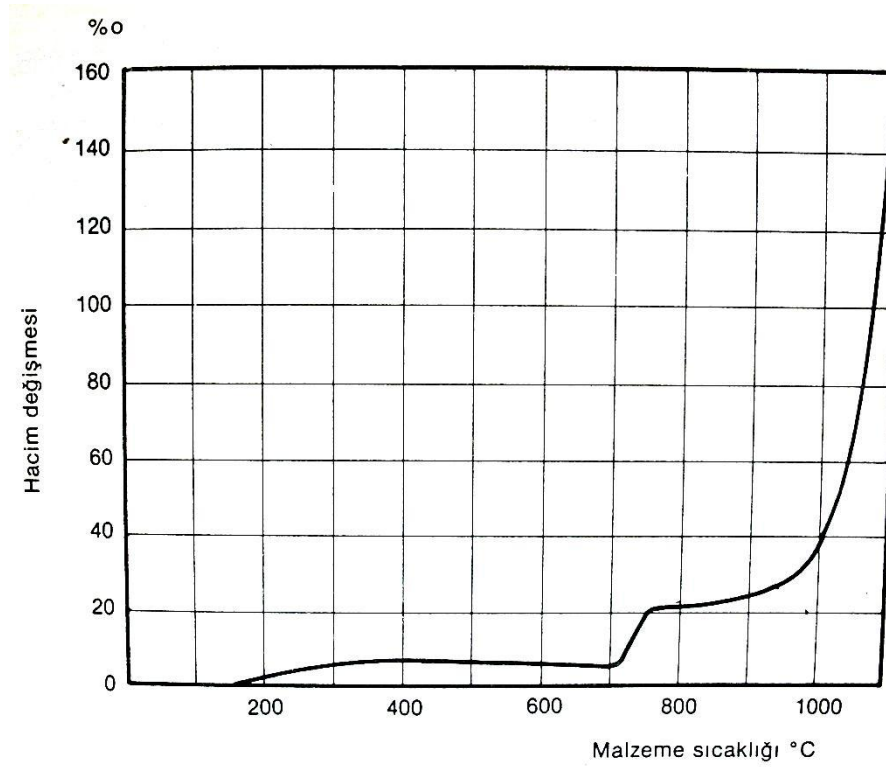
Şekil 2.6. Birim alan ağırlığı ortalama ses yalıtım ilişkisi [24]

- Ses yutma: Yapı elemanının malzeme cinsine ve yüzey yapısına bağlı olarak yüzeye çarpan ses enerjisinin bir kısmı yutulmakta, kalanı ise yansıtılmaktadır. Yutulan ses enerjisinin yüzeye gelen ses enerjisine oranı, ses yutma katsayısı olarak ifade edilmektedir. Gazbeton, gözenekli yüzeyi ve yüksek porozitesi nedeniyle ses yutma özelliği bakımından iyi bir malzemedir. Frakansın 125- 4000 Hz arasındaki değişimde, gazbeton 0,10-0,27 arasında bir ses yutma katsayısına sahip olmaktadır [32,33].
- Ateşe karşı dayanım: Gazbetonun yangına dayanıklılığı sıradan betonlardan daha iyidir ya da en az sıradan betonlar kadardır. Bunun nedeni bu malzemenin sıradan betona göre daha homojen olması, sıradan betondaki kaba agreganın farklı oranlarda genişleme, çatlama ve parçalanmalara öncülük etmesidir. Düşük termik geçirgenliği ve yayması gazbetonun yangına daha iyi dayanıklılık özelliklerine sahip olmasını sağlar. Gazbetonun yanmadığı kabul edilmekte olup bünyesinde 225- 450 °C arasında basınç mukavemetine etki etmeyen kılcal çatlaklar oluşmaktadır [13].

- Basınç mukavemeti, 400 °C civarında bir zirveden geçtikten sonra, 740 °C civarında başlangıç mukavemetine eşit bir düzeye gelmektedir. Bu noktadan sonra ise, mukavemet büyük bir hızla düşmekte, bu da gerçek sinterleşme başlangıcı anlamına gelmektedir. 1000 °C civarında sinterleşmeye, 1100-1200 °C arasında da erimeye başlamaktadır [24, 34, 35].
- Gazbeton inorganik olmasından dolayı yanmaz, erime noktası 1600 °C'dir ki bu değer tipik bir şekilde yanan bir binanın içindeki sıcaklık olan 650 °C'nin 2 katından daha fazladır [33].



Şekil 2.7. Gazbeton sıcaklık basınç mukavemeti değişimi [24]



Şekil 2.8. Gazbeton sıcaklık hacim değişimi [24]

2.2.2.2. Gazbetonun Kimyasal Özellikleri

Kimyasal etkenlere karşı direnç: Gazbeton, silika hidratlardan oluşan alkali bir yapıya sahip olup pH değeri 9,5- 11,0 arasında değiştiğinden asidik ortamlardan olumsuz yönde etkilenir. Sülfirik asit, hidroklorid asit, asetik asit gazbetonun malzeme yapısını hasara uğratar. Klorid, sülfat ve nitrat donatıyı hasara uğrattığından dolayı gazbeton, deniz suyuna karşı korunmalıdır. Yoğun ve devamlı kimyasal agresif maddelerin bulunduğu ortamlarda bulunan gazbeton, dayanıklı yüzey kaplamaları ile korunmalıdır [13].

Suda çözülme: Gazbetonun mukavemetini sağlayan hidro silikatlar suda çözülmezler, fakat üretime giren diğer maddeler (kum, kireç, çimento veya su) suda çözülebilen tuzlar içerirlerse, ortam şartlarına göre bu tuzlar malzeme yüzeyinde kristalleşerek çiçeklenme yaratabilirler. Çiçeklenme ise öncelikle eriyik tuz miktarına bağlı olmayıp gazbeton bünyesindeki kılcal su hareketinin hızına ve yüzeydeki kuruma hızına bağlıdır [32]

Gazbeton, otoklav da buhar sertleşmesi sonucu bünyesinde çeşitli kalsiyum hidrosilikat kristallerinden oluşur. En çok rastlanan 11 Å Tobermorit ($C_5S_6H_5$) kristali, seyrek olarak ta Xonotlit (C_6S_6H) Gyrolit ($C_2S_3H_2$), Hilenrandit (C_2SH) ve Afwillit ($C_3S_2H_3$) kristallerine rastlanır [24].

2.2.2.3. Gazbetonun Mekanik Özellikleri

Gazbetonun basınç dayanımına etki eden faktörle arasında şekil ve boyutu, boşluk oluşturma yöntemi, yükleme yönü, beton yaşı, su muhtevası, kütleme yöntemi yer alır. Bunun yanında hava gözeneklerinin gözenek yapısı, gözenek kabuklarının mekanik durumu basınç dayanımını doğrudan etkiler. Genellikle gözeneklerin azalması ve yoğunluğun artması nedeniyle basınç dayanımı yoğunluk artışıyla lineer olarak artar [13]. Gazbetonun elastisite modülü, basınç raporlarında, basınç dayanımının bir fonksiyonu olarak formüle edilir [18].

Çizelge 2.4. Gazbetonun mekanik özellikleri [33]

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

- Elastisite modülü: Gazbetonun elastisite modülü, kuru birim hacim ağırlığına ve küp mukavemetine bağlı olarak değişmektedir.
- Çekme mukavemeti: Gazbetonun çekme mukavemeti, basınç mukavemetinin yaklaşık 1/6'sı, yani 2- 12 kg/cm² arasında değişmektedir.
- Eğilme-çekme mukavemeti: Gazbetonun eğilme-çekme mukavemeti, basınç mukavemetinin 1/5'i, yani 3- 15 kg/cm² arasında değişmektedir.

Çizelge 2.5. Gözenekli beton yapı malzeme ve elemanlarının sınıfları [36]

Sınıfı	Ortalama en küçük basınç dayanımı değeri N/mm ²	En küçük basınç dayanımı değeri N/mm ²	Kuru yoğunluk kg/m ³	Ortalama kuru yoğunluk kg/m ³	Sınıf işareti
G2	2,5	2,0	400	310 ile 400	G 2/0,4
			500	410 ile 500	G 2/0,5
G3	3,5	3,0	500	410 ile 500	G 3/0,5
			600	510 ile 600	G 3/0,6
G4	5,0	4,0	600	510 ile 600	G 4/0,6
			700	610 ile 700	G 4/0,7
G6	7,5	6,0	700	610 ile 700	G 6/0,7
			800	710 ile 800	G 6/0,8

- Basınç mukavemeti: Gazbeton basınç mukavemeti, kuru birim hacim ağırlığına ve içerdiği nem miktarına bağlıdır. TS 453'e göre gazbeton malzemelerin basınç mukavemeti küp deneyine göre belirlenir. Bu deneyde, malzemenin basınç mukavemeti 10x10x10 cm boyutlarındaki küplerin rutubet muhtevasına erişildikten sonra deney numuneleri, rutubet değişimi önlemek şartıyla laboratuvar sıcaklığına, (20 ± 5) °C 'a erişinceye kadar en az

2 saat bekletilir kırılması ile bulunur. Gazbeton, içerdiği nem oranında mukavemet kaybetmektedir. Bu değişim, tam kuru malzeme ile suya doymuş malzeme arasında %35 derecesindedir

- Sünme: Devamlı yük altında gazbeton sünme yapmakta olan gazbetonun izin verilen yük sınırları içinde sünmesinin, ağır betondan daha az olduğunu ortaya koymuştur. Gazbetonun otoklav çıkışında kimyasal bağlantılarını tamamlamış olması, buna karşılık ağır betonun yük altında kristal değişimine uğramasının yanında, uzun süre bünyesinde kimyasal değişimin devam etmesidir [32, 37].

2.2.3. Gazbetonun Sağladığı Yararlar

Yapı yükünün azalması ile kullanılan donatı miktarında azalma, kesitler de küçülme görülmüş ve daha büyük açıklıkların geçilebilmesi ve düşük emniyet gerilmeli zeminlerde yapı yapılabilmesi sağlanmış ve inşaat maliyetinde azalmaya neden olmuştur. Hafif malzemelerin kullanılması büyük boyutlarda prefabrik elemanlar yapılmasına da olanak vererek inşaat yapım hızı artmakta, işçilik ve zamandan kazanç sağlanabilmektedir. Gazbeton ürünlerin diğer benzer duvar malzemelerine göre bazı avantajları ve sağladığı yararlar bu bölümde verilmiştir.

2.2.3.1. Tasarımda Sağladığı Yararlar

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

Dış duvar kalınlıklarının azalması: Gazbeton çeşitli boyutlarda üretilip, yalıtım özelliğinden dolayı dış duvar kalınlıklarını azaltacağından iç mekan kullanım alanlarına 100 m² de 4- 5 m² alan kazandırmaktadır.

Bina taşıyıcılarının incelenmesi: Gazbeton yapı ürünleri hafif olduğundan binanın taşıyıcılarına gelen yükü azaltır ve dolayısı ile bina taşıyıcıları tasarımda daha ince olarak tasarlanır ve böylece iç mekanların ve bina dış cephesinin tasarımında kolaylık sağlanır [29].

2.2.3.2. Yapımda Sağladığı Yararlar

Malzemenin kolay işlenebilirliği, basit ve açık konstrüksiyonlar da planlama ve şantiye esnasındaki düşük maliyeti, daha az işçilik gerektirmesi yapım açısından çok önemlidir. Gazbeton bloklar ile duvar örmek veya gazbeton paneller ile duvar oluşturmak ve duvarın üzerinde farklı malzeme ve yöntemler ile sıva ve benzeri işlemleri gerçekleştirmek son derece kolaydır. Gazbeton yapı sistemi ayrıca, yapım süreçlerini de hissedilebilir bir şekilde kısaltmaktadır ve daha az bir yatırım maliyeti demektir.

Gelişmiş bir teknoloji ile üretilen gazbetonun gelişmiş kesim teknolojisi ile ölçüleri milimetrik hassasiyettedir. Sonuç olarak çeşitli duvar örgü malzemelerine kıyasla gazbeton bloklar çok daha az emek ile düzgün yüzeylere sahip duvarların elde edilmesini ve düzgün yüzeyli duvarlar sıvayı kolayca kabul ederek sıva işçilik ve malzemesinden tasarruf sağlamaktadır [38].

Gazbeton yapı ürünleri betondan ve tuğladan daha hafif olduğundan taşınması hem kolay hem ekonomiktir. Malzemenin yoğunluğu, ağırlığı ve nakil birimlerinin uygunluğu taşıt kapasitesinden tam olarak yararlanmasını sağlamaktadır.

Malzemenin standartların öngördüğü bütün özellikleri standart boyutlar, basınç dayanımı, ısı ve ses yalıtımı özellikleri bünyesinde barındırıyor olması, hava şartlarına bağlı kalınmadan, hemen hemen her mevsimde yapı inşa edilebilmesi ile yapıya sürat ve kalite katmaktadır [2].

2.2.3.3. Yapıda Sağladığı Yararlar

Geniş kapsamlı özellikleri olan bir yapı malzemesi: Gazbeton dengeli özelliklere sahip olup birden fazla yapı malzemesinin birlikte kullanılması ile ulaşılabilecek pek çok olumlu özelliği tek başına bünyesinde toplayarak çok işlevlilik özelliğine sahip olmuştur [13].

Hafif olmasına rağmen yine de masif bir yapı malzemesi: Milyonlarca küçük hava boşluklarına rağmen masif yapı malzemeleri arasında hafif ağırlıklı bir malzemedir. [13].

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

Çok uygun ısı yalıtım özelliklerine sahip masif bir yapı malzemesi: Bünyesinde yer alan küçük gözenekler içinde hapsedilmiş hava nedeni ile gazbeton etkin ısı yalıtım özelliği gösterir ve standartların tüm isteklerini ek bir ısı yalıtım malzemesine gerek kalmadan gazbeton tek başına sağlar [13].

Dengeli ısı depolama özelliği: Dış duvarlarda kullanılan gazbeton, yapıyı dışarıda oluşan ısı farklılaşmalarından koruyarak yapı içinde sağlıklı ve konforlu bir ortam oluşmasını sağlar [29].

Örnek olabilecek difüzyon davranışı: Yapılarda sağlıklı ve konforlu mekanların oluşturulabilmesi için duvar bileşenlerinin ısı yalıtım ve ısı depolama özelliklerinin yanı sıra difüzyon davranışları da oldukça önemlidir. Gazbeton ürünlerindeki milyonlarca gözenek, yapının nefes almasını sağlayarak rutubetlenmeyi önler, konfor düzeyini artırır, dolayısı ile sağlıklı iç mekânlar yaratır [13].

Gazbeton yapı elemanlarının yangından koruma özellikleri idealdir. İnorganik yapısı sayesinde Gazbeton yapı malzemeleri A1 sınıfı yanmaz malzeme grubundadır. Böylece 1200 °C' ye ulaşan sıcaklığa dayanır ve bu özelliğiyle yapılarda yangın güvenliği sağlar [13].

Şekil, hacim stabilitesi: Aşırı koşullar altında bile gazbeton ürünlerde önemli hacim değişikliklerine rastlanmaz yapılan deneyler ısıya bağlı uzama ve kısalma miktarlarının standartların öngördüğü miktarların altında olduğunu göstermektedir.

Düşük su emme: Gazbeton , dokusundaki kapalı gözenekler sayesinde gazbeton yapı elemanlarının su emmesi, kılcal damarlı strüktürü olan yapı malzemelerine nazaran çok daha yavaş gerçekleşmektedir. Gazbeton yapı elemanlarının denge rutubeti hacimsel olarak (% 40-%50 gibi nisbi bir rutubette) %1,5- %2 arasındadır [13].

Düşük don hassasiyeti: Rutubet içeriği belli bir ölçüyü aşmadıkça, kireç ve çimento bağlayıcılı gazbeton sıvasız olarak kullanıldığında bile dona karşı yeterli direnç göstermekte ve sadece don etkisi dış yüzeyde görülmektedir. Yine de malzemelerin, özellikle ısı yalıtım niteliğinden yararlanabilmek için, içerisine su girmesi engellemelidir [13].

İyi bir ses yalıtımı: Masif gazbeton yapı malzemesi birçok durumda geçerli olan ses yalıtım şartlarını, ek bir yalıtım gerektirmeden yerine getirmektedir [39].

Toksik Maddeler: Gazbetonun bünyesinde hiçbir toksik madde yoktur [2].

Hafiftir-Depreme Dayanıklı: Gazbeton yapı malzeme elemanları betondan 6, tuğladan 3 kez daha hafif olması nedeniyle; yapı hafiflediği için demir ve çimentodan önemli ölçüde tasarruf sağladığı gibi, deprem emniyeti artar [13].

Çevreye karşı uyum: Hammadde olarak doğada zengince bulunan kuvarz kumu, kireç, çimento ve su gözenek oluşumu için de ince taneli metalik alüminyum kullanılmakta üretimde oluşan malzeme atıkları ya üretim dolaşımına geri gönderilerek veya başka ürün şeklinde kullanılmaktadır. Daha az yakıt harcayarak

daha çok ısınabilme olanağı verdiği için, temiz havaya katkısı olan bir yapı malzemesidir [2, 39].

Kolay temizlenebilme, onarılabilmeye, bakım-onarım maliyeti: Gazbeton ürünlerinde bir bozulma olması durumunda, ürünlerin standart olarak üretilmesi sonucu parçaların bir araya getirilmesi ile üretilen yapının herhangi bir ögesindeki bozuk parça alınıp yenisi takılabilir veya tamir edilebilir [2].

2.2.4. Gazbetonla İlgili Bazı Standartlar

- TS 771-4 Kâgir Birimler - Özellikler - Bölüm 4: Gazbeton kâgir birimler
- TS EN 12602 Önyapımlı Donatılı Gazbeton Yapı Elemanları
- TS 802 Beton Karışım Hesap Esasları
- TS EN 679 Gaz ve Köpük Beton-Basınç Mukavemeti Tayini
- TS EN 680 Gaz Beton- Kuruma Büzülmesi Tayini
- TS ISO 8302 Isı Yalıtımı - Kararlı Halde Isıl Direncin Ve İlgili Özelliklerin Tayini - Mahfazalı Sıcak Plaka Cihazı
- TS EN 678 Gaz ve Köpük Beton-Kuru Yoğunluk Tayini
- TS EN 989 Gaz Beton- Donatı Çubuklarının Aderans Davranışının Sıyırma Deneyi ile Tayini
- TS EN 991-1356 Gaz Beton veya Hafif Agregalı Gözenekli Beton- Ön yapımlı Donatılı Bileşenlerin Yanal Yükler Altında Performans Deneyi
- TS EN 992 Hafif Agregalı Gözenekli Beton-Kuru Yoğunluk Tayini
- TS prEN 1351 Gaz Beton-Eğilmede Çekme Dayanımı Tayini
- TS prEN 1352 Gaz Beton veya Hafif Agregalı Gözenekli Beton- Basınç Altında Statik Elastisite Modülü Tayini
- TS prEN 1353 Gaz Beton-Rutubet Muhtevası Tayini
- TS prEN 1355 Gaz Beton veya Hafif Agregalı Gözenekli Beton-Basınç Altında Sünme Tayini
- TS 3289 EN 1354 Gözenekli Beton-Hafif Agregalı-Basınç Mukavemeti Tayini

2.3. Sepiyolit

Sepiyolit, tabakalı silikatler grubuna mensup sulu magnezyum silikat bileşimli doğal bir kil minerali olup ideal yapısal formülü, $(Si_{12})(Mg_8)O_{30}(OH)_4(OH_2)_4 \cdot 8H_2O$ 'dur. Genellikle beyaz ve krem renkli olan sepiyolit, doğada saf olarak rastlanmasına karşın genellikle safsız olarak diğer kil ve kil dışı mineraller içermektedir. Sarı ve kahverengi tonlarından esmer tonlara kadar değişim gösteren sepiyolit Türkiye'nin çeşitli yörelerinde çeşitli safsızlıklar içeren çok sayıda sepiyolit yatağı bulunmasına rağmen, safa yakın olan beyaz renkli sepiyolit yalnızca Eskişehir civarında bulunmaktadır. Sepiyolitin adsorpsiyon ve/veya absorpsiyona dayalı uygulamalarında yüksek yüzey alanı ve iç yapıyı teşkil eden mikro gözenek ve zeolitik kanallar önemli rol oynar [3].

Sepiyolit mineralinin dokusu, yüzey alanı, porozitesi, kristal morfolojisi ve kompozisyonu, bu mineralin teknolojik uygulamalarına baz teşkil eden fiziko kimyasal özellikleri ile yakından ilişkilidir. Sepiyolit, ısı muamelelere karşı hassastır. Zeolitik ve adsorbe su molekülleri, ısı derecesi yükseldikçe kaybedilir. Mineral ayrıca asitle muameleye karşı da duyarlı olup bu işlem sonucu kristal yapı kısmen tahrip olabilir. Hem ısı hem de asit muameleleri, sepiyolitin yüzey özellikleri ve porozitesini değiştirebilir. Böylece mineralin en faydalı özelliklerinden (örneğin absorptif, koloidal ve katalitik özellikler) bazılarını bu işlemlerle değiştirmek mümkün olabilmektedir [4].

Tabiatta iki değişik yapıda çökelmektedir. Bunlardan birincisi pratik ve ticari anlamda işlenmeye elverişli masif yumrular şeklinde olan lületaşı (α -sepiyolit), ikincisi ise yassı ve yuvarlak partiküller veya agregalar halinde oluşan tabakalı bir yapıya sahip olan (β -sepiyolit) sepiyolitidir [4].

Levha yapısına sahip diğer kil minerallerine göre daha nadir bulunmaları, çok özel şartlarda yataklanmalar göstermeleri, dokusal özellikleri, kristal yapılarındaki süreksizliklere bağlı kanallar tarafından sağlanan yüksek özgül yüzey alanları ile absorpsiyon özelliği, porozitesi, kristal morfolojisi ile bileşimine bağlı uygun nitelikli

fiziko kimyasal özellikleri, sepiyoliti tüm dünya da kıymeti gittikçe artan bir hammadde durumuna getirmiştir [4].

2.3.1. Tarihçesi

Oldukça uzun bir süreden beri bilinen sepiyolit terimi ilk defa 1847 yılında Glocker, sepiyoliti mineralojik anlamda ilk defa tanımlamış, hafif ve gözenekli yapısından dolayı yunanca mürekkep balığı kelimesinden türetilen, sepiyolit terimini benimsemiştir. 1908-1913 yılları arasında Fersman, uzun lif demetleri şeklinde α - sepiyolit ve tabakalı, pulsu bir yapı gösteren β -sepiyolit adı altında, iki değişik sepiyolit tipi tanımlamıştır [3].

Sepiyolit, yüzyıllardır (1750-1912) pipo yapımında Avrupa'da (Türkiye, Macaristan, Almanya) kullanılmış ve üretim merkezi de Amanya'nın Lippe şehri olmuştur. İlk başlarda yumuşak ve kompakt olan çeşitleri, pipo ve sigara filtresi olarak, daha sonraları ise inşaat malzemesi olarak da kullanılmıştır. 1600'lü yıllardan beri bilinen Vallecas (İspanya) sepiyoliti Madrid'te kurulan porselen fabrikalarında, Capodimonte kili ile birlikte karıştırılarak kullanılmıştır. Günümüzde ise sepiyolit, bilinen sorptif, reolojik ve katalitik özelliklerinden dolayı sayısız kullanım alanına sahiptir [40, 41]

2.3.2. Tanımı ve Oluşumu

Sepiyolit lifli, sulu bir magnezyum silikat olup, $\text{Si}_{12} \text{Mg}_8 \text{O}_{30} (\text{OH})_4 (\text{OH}_2)_4 8\text{H}_2\text{O}$ yapısal formüle sahiptir . Yapısı ilk olarak Nagy ve Bradley (1955) tarafından belirlenmiş olup sonrada daha doğru bir şekilde X-ışını toz kırımını verileri kullanılarak Brauner ve Preisinger (1956) tarafından saptanmıştır. Son olarak da 1977 'de Rautureau ve Tchoubar tarafından seçilmiş olan elektron difraksiyon metodu kullanılarak belirlenmiştir [3, 42].

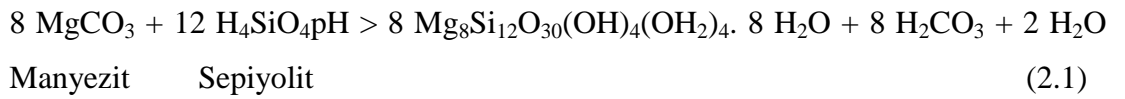
Tabiatta sepiyolit zenginleşmeleri, kabaca iki farklı tipte bulunmaktadır. Bunlardan birinci tip sepiyolit oluşumu, ülkemizde özellikle Eskişehir yöresinde ve Konya-

Yunak civarında bulunan "lületaşı (meerschaum)" dur. Bir diğer önemli sepiyolit oluşumu ise, "sanayi sepiyoliti" veya "tabakalı sepiyolit" olarak da adlandırılan "sedimantersepiyolit" lerdir. Bunlara daha çok Eskişehir-Sivrihisar ve Mihalıççık-Yunusemre yörelerinde rastlanmaktadır. Ayrıca volkan sedimenter kökenli malzemelerin (vitrik tuf-kül tufü) diyajenetik süreçler içerisinde, yeraltı ve yerüstü sularının da etkisi ile değişimi sonucu oluşmuş sepiyolit, özellikle Na-sepiyolit (loughlinit) yataklanmaları da önemli bir yer tutar (Eskişehir-Mihalıççık-Koyunağlı). Bunlardan başka ekonomik yataklanmalar oluşturmamasına rağmen, dünyada ve ülkemizde tanımlanmış pekçok farklı oluşum şekillerine sahip sepiyolit türleri mevcuttur. Bunlardan bazıları; Fe-sepiyolit, ksilotil, Ni-sepiyolit, Mn-sepiyolit, Al-sepiyolit ve volkanosedimenter malzemelerin hidrotermalal terasyon ürünü olan Al, Fe-sepiyolittir (Bolu-Kıbrısık, Çankırı-Orta) [4].

Sepiyolit oluşumu ile ilgili ileri sürülen farklı oluşum modelleri mevcuttur;

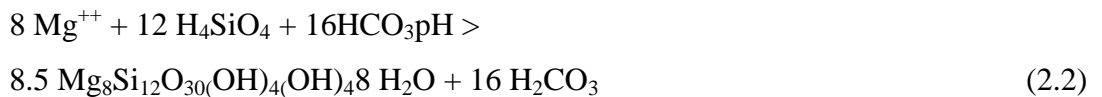
Diyajenetik Yer Değiştirme Modeli; Serpantinleşmiş ultrabazik kayaların, muhtemelen volkanik faaliyetler sonucu açığa çıkan termal sulardan etkilenmesi veya tortullaşma havzasındaki çakıl ve bloklarla bulunan manyezit parçalarının, diyajenetik evrede yeraltı sularına bağlı gelişen silisçe zengin alkalın ortam şartlarındaki ramplasmanı (ornatımı) sonucu oluştuğu kabul edilmektedir [43].

Buna göre;



Doğrudan Çökeltme Modeli; özellikle katmansız yataklanma gösteren β -sepiyolit için geçerli bir oluşum modelidir. Sepiyolitin çökeldiği ortamlar; sığ denizel çökeller, kapalı göl havzaları, silisçe zengin ortam ve şartlar, yağışlı, kurak veya yarı kurak iklim gösteren ortamlardır. Bu bileşimlere az çok dolomit de girebilmektedir [44].

Buna göre;



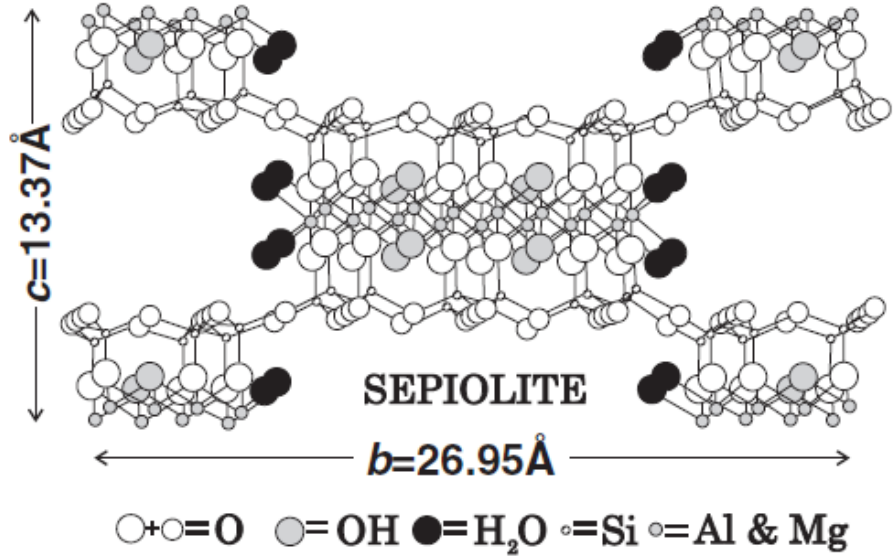
Sıg bir bataklık ortamında MgO, yine magnezyum hidrosilikata dönüşerek çökeliyorsa lületaşı gibi katı kütleler yerine, tabakalı kil şeklinde teşekkül eder. Bunlara ise sedimanter sepiyolit veya doğru bir ifadeyle, sepiyolitik kil denir ve sepiyolitik kil kahverengi olup, bunlar β -sepiyolit diye anılırlar. Lületaşı ile sepiyolitik kil arasında şu önemli farklılıklar vardır:

- Lületaşı suda yüzer. Sepiyolitik kil suya gömülür ve suda kolayca dağılır.
- Lületaşının bünyesindeki SiO_2 ve MgO miktarı sepiyolitik kildekinden çok daha fazladır.
- Sepiyolitik kildeki yüzde nispeti düşmüş olan SiO_2 ve MgO'nun yerini, Al_2O_3 , Fe_2O_3 ve CaO aynı nispette artarak almaktadır. İşte bunlardan ötürü, sepiyolitın kızdırma kaybı, lületaşından çok daha fazladır [3].

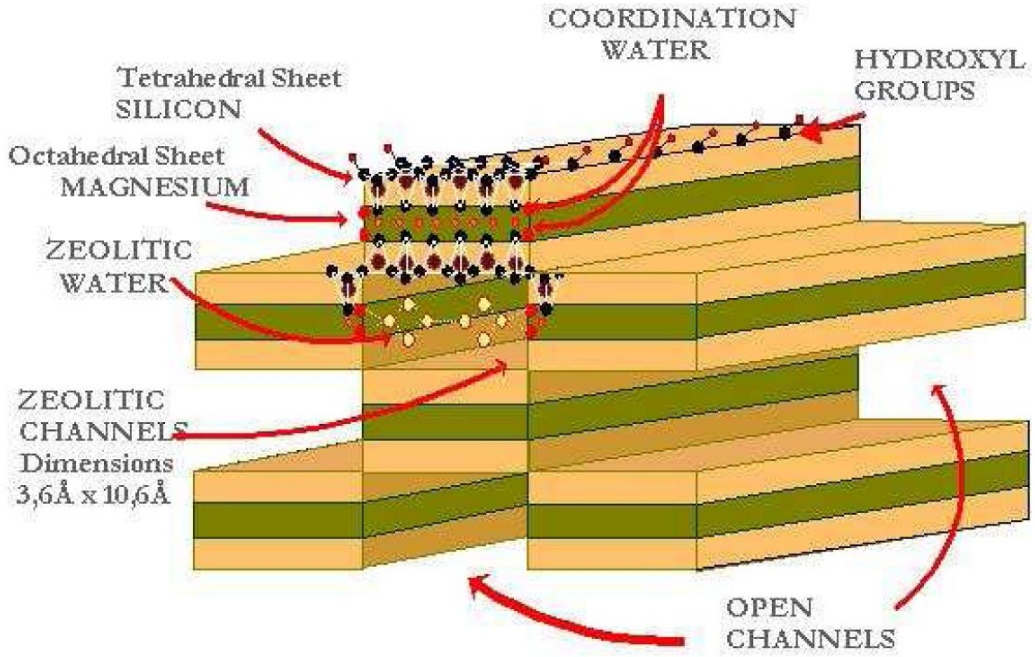
2.3.3. Kristal Yapısı ve Kimyası

Sepiyolit de fillosilikatler grubuna ait kil mineralidir. Ancak lifsi yapısı nedeniyle yine bu grup içinde yer alan minerallerden ayrılmaktadır [40].

Sepiyolitın lifli yapısı, talk ve benzeri zincirlerden ileri gelmekte olup; iki tabaka silika tetrahedral (dört yüzlü) birimi, oksijen atomları vasıtasıyla, merkezi olarak bulunan bir magnezyumlu oktahedral (sekiz yüzlü) tabakaya bağlanmaktadır. Böylece tetrahedral silika tabakalar süreklilik gösterirken, her altı tetrahedral biriminden sonra bu tabakaların tepe oluşturan yönelimleri tersine dönmektedir. Bu dizilim, lif eksenini boyunca kanal yapısının oluşmasına neden olmaktadır. Bu tür bir dizilim dikdörtgen kesitli kanal yapısını meydana getirir. Bu kanallar su ve diğer sıvı ve gazların absorp yada adsorplanmasına uygundur [45, 46]



Şekil 2.9. Sepiyolit kristalinin şematik görünüşü [41]



Şekil 2.10. Sepiyolit tabakaları ve moleküler elek yapısı [47].

Değişik kimyasal konumlarda olmak üzere, sepiyolit yapılarında mevcut olan dört çeşit su molekülü tanımlanmıştır. Bunlar;

- Hidroskopik su (Kaba nem): Sepiyolit yüzeyine adsorplanmış su molekülüdür.
- Zeolitiksi : Sepiyolit yapısındaki kanal boşluklarına yerleşmiş sudur. Kendi aralarında ve bağlı su molekülleri ile hidrojen bağı yapar.
- Bağlı su (Kristal suyu) : Sepiyolit yapısındaki talk benzeri zincirlerin kenarlarında bulunan ve yapıdaki oktahedral tabakanın uç magnezyum koordinasyonunda yer alan su molekülüdür.
- Hidroksil suyu (Yapı suyu): Yapıda oktahedral tabakanın ortasında magnezyum koordinasyonunda yer alan hidroksil gruplarının bozulması sonucu oluşan su molekülüdür [41].

Çizelge 2.6. α ve β -sepiyolit' in kimyasal kompozisyonu [44]

Bileşim (%)	SiO ₂	MgO	Al ₂ O ₃ + TiO ₂	Fe ₂ O ₃	CaO	Kızdırma Kaybı
α -sepiyolit (yumrulu)	60,41	27,75	0,75	0,02	0,16	10,62
β -sepiyolit (tabakalı)	58,65	18,14	4,14	2,86	2,93	13,14

Sepiyolit kimyasal yapısının belirlenmesi Wiegleb (1784)'in Türkiye'den gelen ve lületaşından yapılmış olan bir pipo'nun kimyasal analizini yapmaya teşebbüs etmesiyle başlamış, aynı yüzyılın sonlarına doğru Klaproth (1794), Eskişehir yöresi sepiyolitinin kimyasal analizini daha doğru bir şekilde yapmayı başarmıştır. Hücre formülü ise, 1950'li yıllarda Nagy ve Bradley (1955) ile Brauner ve Preisinger (1956) tarafından;

Nagy ve Bradley (1955),



Brauner ve Preisinger (1956),



olarak tanımlanmıştır [47, 48].

- Katyon sayısı Brauner ve Preisinger modelinde 8, Nagy ve Bradley modelinde ise 9'dur.
- Brauner ve Preisinger modelinde hidroksil sayısı altıya karşı dördtür.
- Brauner ve Preisinger modelinde zeolitile su molekülü sayısı da sekize karşılık altıdır [50].

Sepiyolitin oktahedral ve tetrahedral yapısı içinde ayrıca Fe^{+3} , Al^{+3} , Mn^{+2} , Ni^{+2} ve Cu^{+2} iyonları yer almaktadır. Magnezyum sepiyoliti en yaygın bulunan türdür. Bu sepiyolitten başka yapısında bulundurduğu iyonlara göre alüminyum sepiyoliti, demir sepiyoliti (xylole), nikel sepiyoliti ve sodyum sepiyoliti (loughlinete) tanımlanmaktadır.

2.3.4. Mineralojik özellikleri

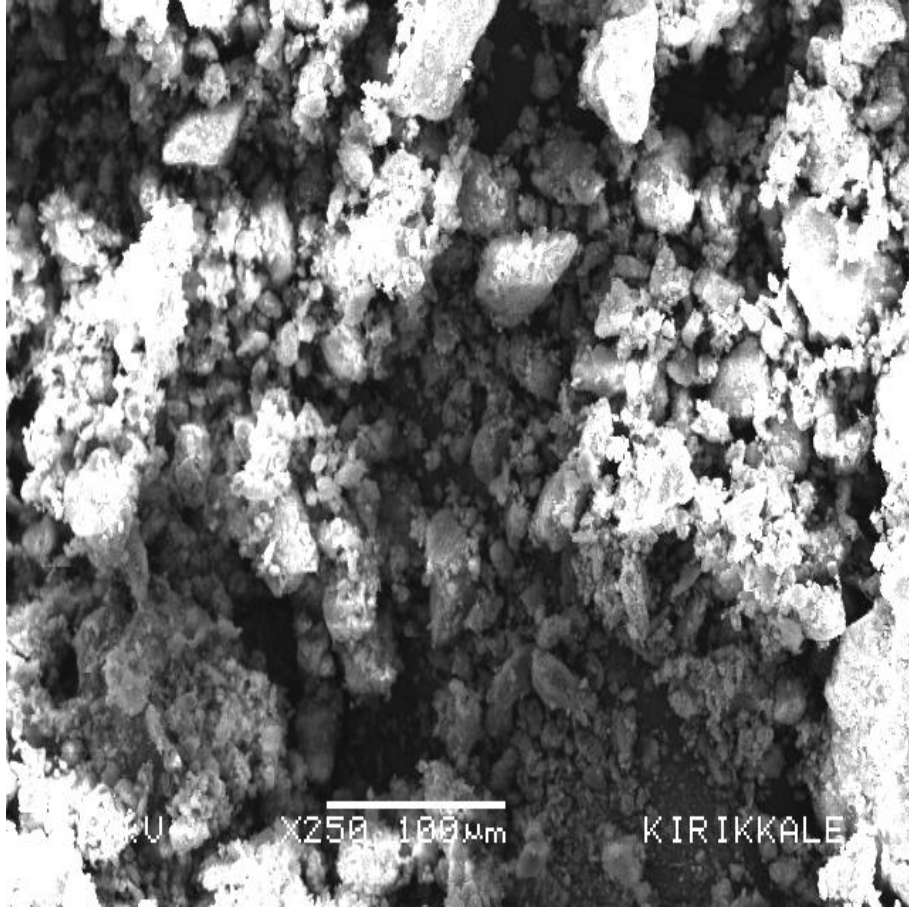
Sedimanter tabakalar halinde çökelen sepiyolitlerde, sepiyolit minerali %90'ı aşan oranlarda bulunur. Buna eşlik eden minerallerde genelde dolomit ve simektit grubu killeri ile manyezit, paligorskit ve detritik mineralleridir. Bunların haricinde kil dışı karbonat mineralleri, kuvarz, feldspat ve fosfatlar da olabilmektedir. Ayrıca sepiyolit kiline renk veren organik maddenin oranı %10'nu aşmaz. Dolomitli sepiyolitler çoğunlukla %50 ve daha fazla oranlarda sepiyolit içerirler. Sepiyolit içeriğinin %50'nin altına düştüğü durumlarda, malzeme sepiyolitli dolomit niteliği kazanır [51].

2.3.5. Fiziksel Özellikleri

Kaygan görünümlü, ince taneli, toprağımsı bir yapıya sahip olan tabakalı sepiyolit, genellikle beyaz, olmasına rağmen organik içeriğine bağlı olarak krem, gri veya pembe renkli olabilmektedir. Nemli olduğunda tırnakları çizebilir, dil ile dokunulduğunda kil gibi çeker. Yoğunluğu 2-2,5 g/cm³ arasında olup, çok gözenekli olan türlerin yoğunluğu zaman zaman birin altına düşebilmektedir. Kuruma sıcaklığı 40 °C olup, kuruduğu zaman yoğunluğu azalır ve suda yüzme özelliği gösterir. Gözenekli yapıya sahiptir ve ortalama mikropor çapı 15 Å, mezopor yarıçapı ise 15-45 Å arasında değişmektedir. Erime sıcaklığı ise 1400–3450°C arasında değişmektedir Sepiyolitin genleşme özelliği yoktur [40].

Çizelge 2.7. Tabakalı sepiyolitin fiziksel özellikleri [44]

Yapı	Lifsi, toprağımsı
Görünüm	Kaygan
Renk	Beyaz, krem, kahverengi, gri veya pembe, açık sarı
Lif Boyutları	
Uzunluk	100 Å -3 ila 5 µm
Genişlik	100-300 Å
Kalınlık	50- 100 Å
Gözenek Boyutları	
Mikropor Çapı	15 Å
Mezopor Yarıçapı	15-45 Å
Yoğunluk	2-2,5 g/cm ³
Yüzey Alanı (İç- Dış)	400 m ² /g - 300 m ² /g
Sertlik (Mohs'a Göre)	2-2,5
Kırılma İndeksi	1,5
Kuruma Sıcaklığı	40°C
Ergime Sıcaklığı	1400-1450°C



Şekil 2.11. Deneyde kullanılan sepiyolitın SEM görüntüsü

2.3.6. Termal Özellikleri

Fiziksel olarak adsorplanmış, hidroskopik, zeolitik, kristal yapıda bulunan ve, hidroksil suyu olarak dört çeşit su içeren doğal sepiyolite ısı işlem uygulandığı zaman yapısal değişimlere uğrar. Sıcaklığa bağlı olarak yapıdaki değişim 20–200 °C dehidroskopik ve zeolitik su kaybı, 200-400 °C de zayıf bağlı kristal su kaybı, 400-550 °C de kuvvetli bağlı su kaybı, 550-875 °C'de faz dönüşümü veya dehidroksilasyon olmaktadır [50].

2.3.7. Yüzey Alanı

Sepiyolitın tanımlanmış yapısal modeli dikkate alındığında, kanal kesiti $3.6 \times 10,6 \text{ \AA}$ luk bir kesiti için belirlenen yüzey alanı, yaklaşık olarak $800-900 \text{ m}^2/\text{g}$ 'dır. Teorik olarak bunun $400 \text{ m}^2/\text{g}$ 'ı dış yüzey. $500 \text{ m}^2/\text{g}$ 'ı da iç yüzey alanıdır. Ancak yüzey alan ölçümleri, kullanılan adsorbatın kristal içi kanallara nüfus edebilen moleküler kapasitesine, molekül boyutuna, polaritesine ve cinsine göre ve ölçüm metoduna göre önemli farklılıklar göstermektedir [52].

Çizelge 2.8. Sepiyolitın değişik adsorbatlar ile belirlenmiş yüzey alanı değerleri [40].

Yüzey Alanı (m^2/g)	Adsorbat (gaz veya sıvı)
60	Setilpiridinyum bromür
275	Piridin
276	BET
330	Hekzan
470	Etilen glikol

2.3.8. Adsorpsiyon Özellikleri

Kil minerallerinin iç yapıları ve kimyasal bileşimleri baz alınarak yapılan sınıflamaya göre sepiyolit, kristalin killerin zincir yapılı olan grubuna aittir. Zincir; minerallerin kristal yapılarında 3 tür aktif soğurma merkezi bulunmaktadır [53].

- Tetrahedral silika tabakasındaki oksijen atomları.
- Yapıdaki zincirlerin kenarlarında magnezyum iyonlarıyla koordine olmuş su molekülleri..
- Lif eksenini boyunca uzanan Si-OH gruplarıdır..

Kristal yapının kenarlarında magnezyum iyonlarına koordine olmuş su ile zeolitik su birbiriyle hidrojen bağı oluşturarak, zeolitik ve koordinasyon su molekülleri yüksek polariteli küçük moleküllerle yer değiştirebilir. Alkoller, önemli ölçüde kanalların içine girebilir ve zeolitik ve hatta koordinasyon su moleküllerinin yerini alabilirler. Polar olmayan gazlar ve organik bileşikler ise kanallara girememektedir. Isıtma işlemi mineralin adsorpsiyon özelliğini azaltır, çünkü yapısal değişime bağlı olarak mikroporlar yıkılır. Sepiyolitın genleşme özelliği yoktur [40].

2.3.9. Gözeneklilik

Gözenekli bir yapıya sahip olan sepiyolit, yarıçaplarına göre mikro ve makro gözenekler şeklinde olabilmektedir. Sepiyolitın gözenek boyutu asit baz ve elektrolit aktivasyonu gibi kimyasal işlemlerin yanında ısıl aktivasyonla da değiştirilebilmektedir. Sepiyolit, 300°C'nin üzerinde ısıtıldığında, liflerin daha sık paketlenmesi ve bu yüzden de porların hacminin ve yarıçaplarının azalması sonucunda, yüzey alanında düşme gözlenmektedir. 500°C'nin üzerinde, yüzey alanı daha da düşmektedir. Sepiyolitın % 5'lik HCl çözeltisiyle muamele edildiğinde sepiyolitın yüzey dokusunda yarıçapı 10Å'dan küçük olan porların tahrip olması ve 10-50Å arasındaki por yüzdesinin artması nedeniyle yüzey alanı artmaktadır. [53].

2.3.10. Dünyada ve Türkiye'de Sepiyolit

Dünyada alfa sepiyoliti Türkiye dışında Somali Cumhuriyeti, Tanzanya, Madagaskar, Fas, Fransa, Yunanistan, Meksika, Yugoslavya, İspanya, Avusturya ve Kenya'da da rastlanır. Somali'de, iyi kaliteli, düşük yoğunluklu ve yüksek poroziteli lületaşı ile birlikte sedimanter oluşumları da mevcuttur. Bunların toplam rezervleri, 2 milyon tonu görünür olmak üzere 50–100 milyon ton civarındadır. Bunlar dışında Madagaskar, Fas, İran, Hindistan, Fransa, Yugoslavya, Çekoslovakya, Yunanistan, Kırım, İspanya, Avusturya ve ABD vs. gibi pek çok ülkede sepiyolit varlığı bilinmekle beraber, ticari değerleri ve rezervleri hakkında yeterli bilgi edinilememiştir [4].

Sanayi sepiyoliti olarak adlandırılan sedimanter sepiyolitin ABD, Çin ve Türkiye’de az miktarda üretimi dışında, İspanya dünya pazarını tek başına elinde tutmaktadır. Üretilen sepiyolitin %90’ı ihraç edilmekte olup, üretim yöntemi bütünüyle cevheri kurutarak nem oranını düşürmeye ve öğütülüp sınıflandırmaya dayalıdır. %45’den fazla nem içeren cevhere önce güneşte kurutulur sonra işletmede 700 °C sıcaklıkta nem içeriği %32’den %12’ye düşürülür. Türkiye’de nem oranı %40 civarında oaktan çıkan sepiyolit kırma, eleme işleminden sonra 400 °C sıcaklığında fırında kurutulan sepiyolitin nem oranı %5 civarındadır [54].

Çizelge 2.9. Eskişehir civarındaki bazı bölgelerin tabakalı sepiyolit rezervleri [40].

BÖLGE	REZERV (mümkün,ton)
Yörükçayır	4.680.000
Kepez tepe	3.200.000
Çerkezkireç	32.000.000
Söğütlük	16.800.000
TOPLAM	56.680.000

Bunların dışında, sepiyolit içeriği %50'nin altında olan ve dokusal özellikleri itibarıyla hayvan yaygısı (pet-litter) olarak kullanılabilceği saptanan oluşumlar belirlenmiştir, %50'nin üzerinde sepiyolitli cevher rezervi, görünür rezerv bazında 1.5 milyon ton civarındadır. Hayvan yaygısı (pet-litter) olarak kullanılmaya elverişli sepiyolit rezervlerinin ise, bir kaç milyon ton civarında olduğu tahmin edilmektedir [4].

2.3.11. Sepiyolitın Kullanım Alanları

Sepiyolitın yumuşak ve kompakt olan eşitleri, Avrupa'da (1750-1912) önceleri pipo ve sigara filtresi olarak kullanılmıştır. Günümüzde ise sepiyolit, yüksek yüzey alanı, lifsi yapısı, porozitesi. kristal morfolojisi ve kompozisyonu, yüzey aktivitesi, düşük konsantrasyonlarda yüksek viskoziteli duraylı süspansiyonlar oluşturması vs. gibi teknolojik uygulamalara baz teşkil eden sorptif, katalitik ve reolojik özelliklerinden dolayı sayısız kullanım alanına sahip bulunmaktadır. Sepiyolit sert suların yumuşatılmasında, yüksek vizkoziteli yağ elde etmede, korozyona dayanıklı otomobil boyası üretiminde, elektrik sanayinde katalizör imalatında, nebative madeni yağlar ile şurupların arıtılmasında, petrol arama sondajlarında, askeri mühimmat imalinde, ve birçok alanda kullanılmaktadır [40].

Çizelge 2.10. Sepiyolit in kullanım alanları [40]

Sorptif Uygulamalar	<ul style="list-style-type: none">• Hayvan altlığı(per-litter)• Renk giderici madde• Tarım ve böcek ilaçları taşıyıcısı• İlaç sanayiinde• Sigara filtrelerinde• Deterjan ve temizlik maddeleri
Reolojik Uygulamalar	<ul style="list-style-type: none">• Polyesterlerde• Boyalarda• Asfalt kaplamalarında• Gres kalınlaştırıcı olarak• Kozmetiklerde• Plastisollerde• Tarımda• Besicilikte• Sondaj Çamuru olarak• Kauçuk sanayinde
Katalitik Uygulamalar	<ul style="list-style-type: none">• Katalizör taşıyıcı olarak
Diğer Uygulamalar	<ul style="list-style-type: none">• Seramik üretiminde• Fren balatalarında asbest yerine• Kaplanmış ark-kaynak elektrot.• Biyoreaktörlerde

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

3.1.1. Sepiyolit

Çalışmada kullanılan sepiyolit; Eskişehir ilinde faaliyet gösteren, Dolsan Madencilik Mineral Yapı Kimyasalları Madencilik San. ve Tic. Ltd Şti. e ait Eskişehir, Sivrihisar ilçesi de bulunan maden ocağından temin edilmiştir. Çalışmada 80 µ altı, küçük yassı ve yuvarlak partiküller veya amorf agregalar halinde oluşan ve tabakalı bir yapıya sahip olan sedimanter β-sepiyoliti kullanılmıştır.

Maden sahasından gelen sepiyolit, çeneli kırıcılarda istenilen boyutlara getirildikten sonra, 500 °C sıcaklıktaki kurutma fırınlarında nemi alınır ve daha sonra 1cm lik eleklerden geçirilir. Elek altı sepiyolit değirmenlere gönderilerek öğütülür ve elekten geçirilir. Bu işlem sırasında kalan nem oranının bir kısmı da buradaki değirmene ve eleklerle, üflenen 150 °C sıcaklıktaki sıcak hava ile alınır.

Çizelge 3.1. Deneyde kullanılan sepiyolit kimyasal analizi

CaO (%)	SiO ₂ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	SO ₃ (%)	MgO (%)	K ₂ O (%)	Na ₂ O (%)
15,424	22,162	1,264	3,033	16,473	0,423	1,685

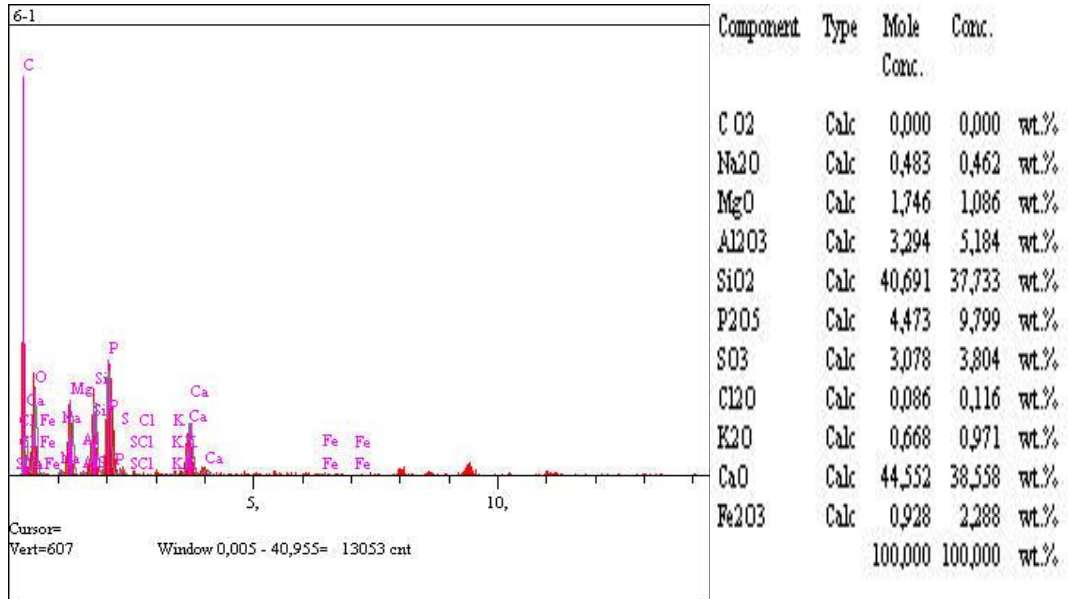
Çizelge 3.2. Deneyde kullanılan sepiyolitın fiziksel özellikleri

Fiziksel görünüm	Beyaz toz veya granül
Renk	Beyaz
Koku	Kokusuz
Kızdırma Kaybı (%)	32,69

Çalışmada ana malzeme olan silisli agrega (kuvars-kuvarsit) yerine ikame edilerek kullanılan sepiyolitın kimyasal, fiziksel ve mineralojik analizleri gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 3.3. Deneyde kullanılan sepiyolitın elek analizi

150 µm elek üstü (%)	90 µm elek üstü (%)	45 µm elek üstü (%)
0,48	17,96	79,48



Şekil 3.1. Deneyde kullanılan sepiyolitın EDS analizi

3.1.2. Çimento

Karışımlarda Cimpor Yibitaş Çimento Sanayi ve Tic. A.Ş.'den alınan CEM I 42,5 R çimento kullanılmıştır. Çimentonun fiziksel ve kimyasal özellikleri Çizelge 3.4.'de verilmiştir.

Çizelge 3.4. Deneyde kullanılan CEM 42.5R çimentosunun fiziksel özellikleri

90 µm elek üstü (%)	32 µm elek üstü (%)	Özgül yüzey alanı (cm ² /g)	Priz başlangıcı (dk)
Max. 2	Max. 30	Min. 2800	Min. 60
0,1	18	3759	130

3.1.3. Kireç

Serilerde Akyüz Kireç Sanayi LTD. ŞTİ.'den alınan kireç kullanılmıştır. Kirecin fiziksel ve kimyasal özellikleri Çizelge 3.5.'de verilmiştir.

Çizelge 3.5. Deneyde kullanılan kirecin fiziksel özellikleri

Fiziksel görünüm	Beyaz toz veya granül
Renk	Beyaz
Koku	Kokusuz
CaO (%)	94,75
Kızdırma Kaybı (%)	3,21

3.1.4. Kuvarsit

Kuvarsit AKG Gazbeton İşletmeleri San. ve Tic. A.Ş.' e ait Kırşehir- Boztepe ocak sahasından temin edilmiştir. Temin edilen kuvarsit XRF ve kızdırma kaybı testlerine tabi tutulmuş ve kızdırma kaybı %3,090 bulunmuştur.

Çizelge 3.6. Deneyde kullanılan kuvarsitin kimyasal analizi

SiO ₂ (%)	SO ₃ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	MgO (%)	Na ₂ O (%)	K ₂ O (%)
89,717	-	2,091	1,119	1,138	0,188	0,117	1,055

Maden ocağından getirilerek stok edilen kuvarsit ve alçıtaşı birinci ve ikinci kırıcıda kırılmak üzere %85'i kuvarsit, %15 Alçıtaşı oranında bunkere dökülür. Birinci ve ikinci kırıcıdan geçen karışım, bilyalı değirmende su ikame edilerek 90 µm altı olacak şekilde öğütülür. Öğütme işlemi sırasında %61 katı olacak şekilde alçıtaşı-kuvarsit karışımına su ilave edilerek kum çamuru elde edilir. Gazbeton üretiminde kullanılan kum çamuru yoğunluğu 1569,49 (g/ml) olup, kum çamuru ait deney sonuçları ve özellikleri Çizelge 3.7.'de verilmiştir.

Çizelge 3.7. Deneyde kullanılan kum çamurunun kimyasal ve fiziksel özellikleri

90 µm Elek Üstü (%)	SiO ₂ (%)	SO ₃ (%)
Max. 30	Min. 60	Max. 10
37,50	76,333	4,77



Şekil 3.2. Kum çamuru yoğunluk ölçümü

3.1.5. Alçıtaşı

Serilerde Kılıçoğlu Alçıtaşı Nakliye Ve Ticaret Ltd. Şti.'den alınan alçıtaşı kullanılmıştır. Alçıtaşından alınan numunelere ait deney sonuçları ve özellikleri Çizelge 3.8.'de verilmiştir.

Çizelge 3.8. Deneyde kullanılan alçıtaşının kimyasal ve fiziksel özellikleri

Fiziksel Görünüm (mm)	Kızdırma Kaybı (%)	Bağlı Su (%)	SO ₃ (%)	CaO (%)
Max. 500	Max. 6	17 - 24	Min. 38	26,5 - 32
450	2,04	18,96	42,09	29,50

3.1.6. Su

Gazbeton üretiminde AKG Gazbeton İşletmeleri San. ve Tic. A.Ş.'e ait Kırıkkale Gazbeton Tesislerinde üretimlerinde arıtılarak kullandıkları kuyu suyu kullanılmıştır.

3.1.7. Alüminyum

Pastalar halinde ithal edilen alüminyum gazbeton üretiminde kullanılmak üzere su ile karıştırılarak Alüminyum Süspansiyon haline getirilir. Gazbeton üretimde yaklaşık olarak Alüminyum 1, Karışım Suyu 3,75 (1/3,75) oranında karıştırılarak Alüminyum Süspansiyon yapılmıştır.



Şekil 3.3. Alüminyum pasta ve alüminyum süspansiyon görünümü

3.2. Yöntem

Çalışmada, duvar elamanı olarak kullanılan ve ticari olarak üretimi yapılan G2/04 sınıfı gazbeton üretimi baz alınarak, Dolsan Madencilik Mineral Yapı Kimyasalları Madencilik San. ve Tic. Ltd Şti.'den alınan sepiyolit, hammadde olarak kullanılan kuvarsit yerine %5, %10, %15, %20 ve %25 oranlarında ikame edilerek 6 farklı seride gazbeton örnekleri üretilmiştir. Basınç dayanımı testleri için numune kabı olarak 15 x 25 x 20 cm, ısı iletim için ise 35 x 35 x 15 cm boyutlarında deney setleri kullanılmıştır. Bu çalışmada sepiyolit, çimento, kireç, alüminyum, kum çamuru ve su çeşitli oranlarda karıştırılarak farklı karışımlar hazırlanmıştır. SK0 seri no ile gösterilen karışımda sepiyolit ikamesi yapılmamış ve referans numune olarak hazırlanmıştır. Karışım oranları Çizelge 3.9.'da verilmiştir.

Çizelge 3.9. Çalışmada kullanılan malzeme ve karışım oranları

Karışım Oranları (1 m ³)								
Seriler	Sepiyolit İkame Oranı (%)	Kuvarsit (Kg)	Sepiyolit (Kg)	Çimento (Kg)	Kireç (Kg)	Alçı Taşı (Kg)	Su (Kg)	Al. (Kg)
SK 0	0	168	0	91	31	29	262	0,55
SK 5	5	160	8	91	31	29	262	0,55
SK 10	10	151	17	91	31	29	262	0,55
SK 15	15	143	25	91	31	29	262	0,55
SK 20	20	134	34	91	31	29	262	0,55
SK 25	25	126	42	91	31	29	262	0,55

İlk olarak karışım içerisi giren malzemeler, karışım oranları doğrultusunda ölçülerek farklı kaplara konulur.

Alüminyum pastasına su ilave edilerek oluşturulan alüminyum süspansiyon homojen bir karışım haline getirilerek hazır hale getirilir.



Şekil 3.4. Karışıma çimento-kireç karışımı ilave edilmesi

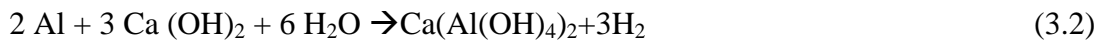
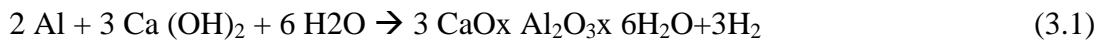
Çimento ve kirecin homojen bir karışım oluşturmaları için çimento ve kireç ilk önce ayrı bir kapta iyice karıştırılan çimento kireç karışımı, deney kovaına eklenerek bekletilmeden mikserde homojen hale getirilinceye kadar karıştırılır.

Karıştırılarak elde edilen homojen karışıma önceden hazırlana alüminyum süspansiyon ilave edilir 15-25 saniye karıştırıldıktan sonra homojen hale gelen akıcı kıvamdaki gazbeton harcı bekletilmeden, içerisi kalıp yağ ile yağlanmış numune kaplarına doldurulur.



Şekil 3.5. Karışıma alüminyum süspansiyon ilave edilmesi

Alüminyum süspansiyonu eklenmesi ile Alüminyum-Kireç tepkimesi gerçekleşir ve gazbeton karışımı genleşmeye başlar. Alüminyum-Kireç tepkimesi 3.1 ve 3.2'deki gibidir [24].





Şekil 3.6. Karışımın numune kaplarına dökülmesi



Şekil 3.7. Sulu kıvamda gazbeton, kabarmaya başlamadan önce

Karıştırma işleminden sonra oluşan sulu çimento Şekil 3.7.'deki gibi kalıplara dökülür. Numune kaplarına dökülen gazbeton karışımı, 50 °C'de ki kür hatta verilerek 3,5-4 saat arası bekletilir. Hatta verilen numuneler hızlı bir şekilde

genleşmeye ve priz almaya başlar. Yaklaşık 30 dakika içinde gelişen reaksiyonlar sonucu açığa çıkan hidrojenin oluşturduğu baloncuklar sonucu kabaran, kısmen katılaşmış gazbeton bloğu (keki) oluşur.



Şekil 3.8. Gazbeton harcının kabarmış hali

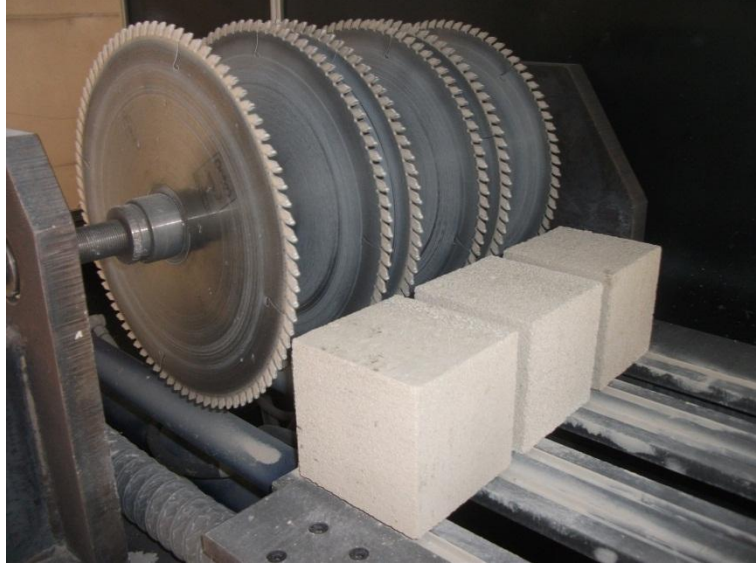


Şekil 3.9. Gazbeton keki otoklava koymadan önce

Prizini tamamlayan numuneler kek kıvamında bir sertliğe ulaşır ve son adım numunelerin buhar kürüne alınmasıdır. Numuneler otoklavlarda doymuş buhar ile 11 bar basınç ve 180 °C sıcaklıkta yaklaşık 6,5 - 7 saat doymuş buhar kürüne tabi tutulur. Buhar küründen çıkan ürünler, hafif, gözenekli ve yüksek basınca dayanım özeliğine sahip olur.



Şekil 3.10. Otoklavdan çıkan gazbeton bloğu



Şekil 3.11. Gazbeton numunelerinin boyutlandırılması

Otoklavdan çıkarılan numuneler basınç testi yapılmak için 100*100*100 mm boyutlarında, ısı iletkenlik testi için ise 300 x 300 x (35-37) mm boyutlarında kesilir.



Şekil 3.12. Isıl iletkenlik testi için kesilen numuneler



Şekil 3.13. Basınç testi için gerekli olan numunelerin etüvdeki görüntüsü.

Karışım oranlarına göre üretilen gazbeton numuneleri 100x100x100 mm boyutlarında kesildikten sonra tartılarak yaş birim hacim ağırlıkları bulunur. TS EN 771-4'E göre 100x100x100 mm boyutundaki gazbeton numuneleri etüv de 60 °C sıcaklık da yoğunluğunun %4-%8 arasında bir neme ulaşınca kadar koşullandırılırlar [1].

3.3. Fiziksel ve Basınç Dayanım Özelliklerin Belirlenmesi

Üretilen gazbeton örneklerinin basınç dayanımı, birim hacim ağırlığı, rutubet muhtevası belirlenmiş, ısıl iletkenlik deneyi yapılmış ve SEM ve EDS analizlerine bakılmıştır.

3.3.1. Basınç Dayanımı

Basınç dayanımı deneyi AKG Kırıkkale Gazbeton Fabrikası Laboratuvarında bilgisayar destekli deney cihazında yapılmış olup deney numuneleri TS EN 679

standardına göre hazırlanıp, basınç dayanımı deneyine tabii tutulmuştur. Her bir gruptan 1 adet olmak üzere toplam 6 adet deney numunesi kullanılmıştır. Otoklavdan çıkan gazbeton numuneleri basınç dayanımının yapılması için 100 x 100 x 100 mm ebatlarına getirilip, test parçaları sıcaklığı 60°C'yi aşmayan bir etüvde, yoğunluğunun %4-%8 arasında bir neme ulaşmaya kadar koşullandırılırlar. Test nemine ulaşan parçalar, basınç test presine, kabarma yönüne dik yönde kuvvet uygulanabilecek pozisyonda yerleştirilir. Test parçaları üzerine ani darbe verilmeden, ve 0,05 N/mm²/sn gerilme artışı ve 0.1 N/sn sabit bir hızla, sürekli ve darbesiz şekilde numune kırılıncaya kadar kuvvet uygulanır[55].



Şekil 3.14. Basınç deneyinin yapılması

Örneklerin basınç dayanım değerleri, denklem 3.3.'den yararlanılarak hesaplanmıştır.

$$f_i = A_i / F_i \text{ (N/mm}^2\text{) , hesaplanmıştır.} \quad (3.3)$$

Burada:

f_i : N/mm² cinsinden basınç dayanım değeri

A_i : yük uygulanan kesitin mm² olarak alanı

F_i : Kırılma anındaki maksimum yük

3.3.2. Kuru Yoğunluk

Deney numuneleri TS EN 679 standardına göre, hazırlanıp, birim hacim ağırlıkları ölçülmek üzere 105°C sıcaklık da ki etüvde sabit kütleye gelince kadar bekletildikten sonra etüvden çıkarılır, hata oranı %0,1'den fazla olmamak kaydı ile tartılır. Deney numunesinin kütlesi, 24 saat süre ile kurutulduğunda %0,2 den fazla değişmiyorsa sabit kütleye eriştiği kabul edilmelidir[56].

Örneklerin kuru yoğunluk değerleri ρ_i , kg/m³ cinsinden denklem 3.4'den yararlanılarak hesaplanmıştır.

$$\rho_i = \frac{M_{di}}{V_i} \quad (3.4)$$

Burada

ρ_i : kg/m³ cinsinden kuru yoğunluk değeri

M_{di} : Deney numunesinin kuru kütlesi, kg

V_i : Deney numunesinin hacmi, m³,tür [51].

3.3.3. Rutubet Muhtevası Değerleri

Deney numuneleri TS EN 772-10 standardına göre hazırlanıp, rutubet muhtevası değerleri bulunmuştur. Deney numunelerini kurutmadan önce yaş ağırlıklarını tespit etmek amacı ile tartılmış ve yoğunluğu bulunmuştur. Daha sonra numuneler, hava dolaşımli etüv içerisinde 105°C ± 5°C sıcaklıkta, sabit kütleye ulaşmaya kadar kurutulmuş ve yoğunluğu bulunmuştur [57].

Numunenin rutubet muhtevası, numune kütlesinde kurutma işlemi esnasında meydana gelen kaybın, kuru numune kütlesine oranı olarak hesaplanır ve en yakın %0,5'e yuvarlatılarak ifade edilir.

Örneklerin rutubet muhtevası değerleri denklem 3.5'den yararlanılarak hesaplanmıştır.

$$W_s = \frac{M_{o,s} - M_{dry,s}}{M_{dry,s}} \times 100 \quad (3.5)$$

Burada:

W_s : Rutubet muhtevası oranı, kütlece (%),

$M_{o,s}$: Kurutulmadan önceki numune kütlesi (g),

$M_{dry,s}$: Kurutulduktan sonraki numune kütlesi (g) [56].

3.3.4. Isı İletkenlik Deneyi

Isıl iletkenlik deneyi TS ISO 8301 standardına uygun olarak yapılmıştır. Deney numunelerinin ısı iletkenlik ve ısıl direncinin ölçülmesinde ısı akış sayacı yöntemi ile Kırıkkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Laboratuvarında bulunan "LASERCOMP FOX 314" ısı iletkenlik cihazı kullanılarak yapılmıştır. Numuneler ortalama 35 mm kalınlığında 300mm x 300mm ebatlarında hazırlanarak ısı iletkenlik deneyine tabi tutulmuştur. Lasercomp Fox 314 cihazı 0,05–10 W/mK aralığında ısı iletim katsayısını ölçebilmektedir.



Şekil 3.15. FOX 314 ısı akış sayacı cihazı

3.3.5. SEM ve EDS analizi

Deney numunelerinin SEM ve EDS analizi ve görüntüleri Kırıkkale Üniversitesi Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Laboratuvarları Müdürlüğü (KÜBTAL), Elektron Mikroskobu Laboratuvarında bulunan Jeol JSM5600 marka 30kV luk Taramalı Elektron Mikroskobu ile gerçekleştirilmiştir. Ölçümlerde ilk önce numuneler altın kaplanarak SEM için yüzey hazırlanmış ve tarayıcı elektron mikroskopu (Scanning Electron Microscope) ile örneklerin SEM görüntüleri kullanılarak elde edilirken, 35 büyütme yapılarak, EDS analizleri yapılmış SEM görüntüleri 10.000 büyütmeye kadar alınmıştır.



Şekil 3.16. Jeol JSM5600 cihazı elektron mikroskobu cihazı (KÜBTAL)

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

Yapılan çalışmada karışım suyu miktarı sabit tutularak üretilen numunelerden SK0 diye adlandırılan içerisinde sepiyolit bulunmayan referans numune G2/04 (Birim Hacim Ağırlığı 400 kg/m^3 , Isı İletim Kat Sayısı $0,11-0,013 \text{ W/mK}$ ve Basınç Dayanımı $2,5 \text{ N/mm}^2$) sınıfı gazbeton ile Dolsan Madencilik Mineral Yapı Kimyasalları Madencilik San. ve Tic. Ltd Şti. alınan ve kuvarsit yerine %5 (SK 0), %10 (SK 10), %15 (SK 15), %20 (SK 20) ve %25 (SK 25) oranlarında sepiyolit ikame edilerek gazbeton numuneleri üretilmiştir. Üretilen gazbeton numuneleri kuru birim hacim kütlesi, basınç dayanımı, ısı iletkenlik, rutubet muhtevası deneyleri yapılmıştır. Ayrıca Jeol JSM 5600 marka 30kV'luk taramalı Elektron Mikroskobu cihazı ile EDS ve SEM görüntüleri incelenerek sonuçlar Çizelge 4.1.'de verilmiştir.

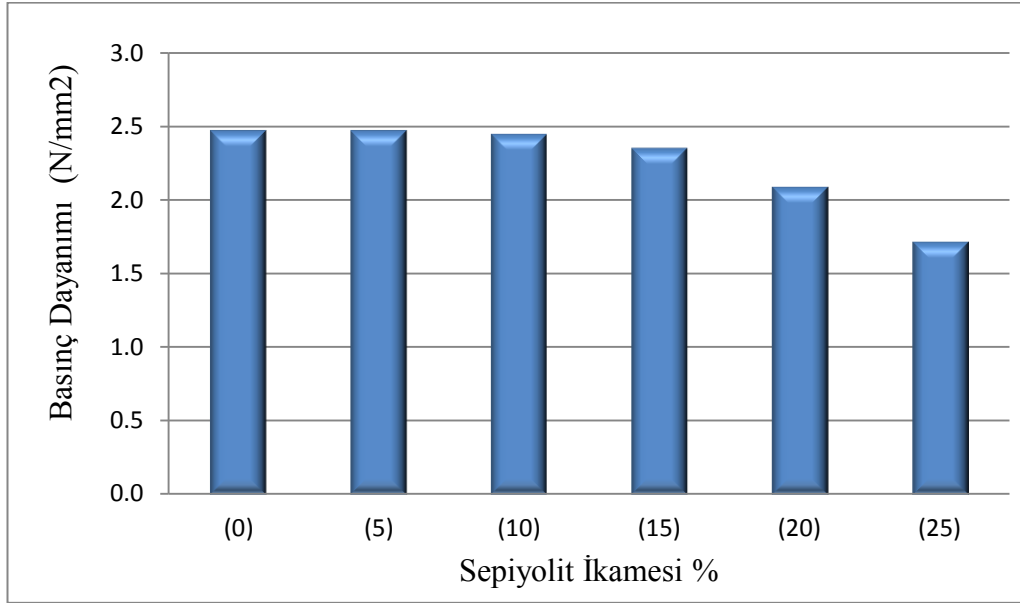
Çizelge 4.1. Deney numunelerinin fiziksel ve mekanik özellikleri

Seriler	Kuru Yoğunluk (kg/m^3)	Rutubet Muhtevası (%)	Basınç Dayanımı (N/mm^2)	Isıl İletkenlik (W/mK)
SK0	406	17,24	2.47	0.105
SK5	430	18,86	2.47	0.101
SK10	470	20,49	2.45	0.088
SK15	508	20,87	2.35	0.090
SK20	512	21,68	2.09	0.093
SK25	514	23,48	1.72	0.095

Sepiyolit ikame edilerek üretilen gazbeton numunelerinde, sepiyolit oranının artırılması sonucu basınç dayanımı, kuru yoğunluk, rutubet muhtevası ve gözenek yapısı gibi özelliklerinde olumsuzluk yönde etkilerken, ısı iletim özelliğinde olumlu yönde iyileşme gözlenmiştir.

4.1. Basınç Dayanım Özellikleri

Şekil 4.1. ve Çizelge 4.1.'de görüldüğü gibi; Örneklerin basınç mukavemeti değerleri referans numune (SK0) da $2,47 \text{ N/mm}^2$ iken sepiyolit ikameli gazbetonlar da ise $2,47 \text{ N/mm}^2$ ile $1,72 \text{ N/mm}^2$ arasında değişmektedir. Sepiyolit ikame oranı %0-%10 kadar basınç dayanımını olumsuz yönde etkilemediği gözlenmiştir. Basınç mukavemetinin Çizelge 4.1.'de görüldüğü gibi (SK15) %15'den fazla sepiyolit ikamesinin basınç dayanımını düşürdüğü görülmüştür. Sepiyolit ikamesiyle basınç dayanımının orantılı olarak azaldığı görülmüştür. Sepiyolit su tutucu özelliğinin, sepiyolit ikame miktarına bağlı olarak, karışım suyu ihtiyacı gereksimini arttırdığı ve su çimento oranını bozduğu düşünülmektedir. Söz konusu ikame oranına bağlı olarak artan karışım suyu ihtiyacı ve sepiyolit gazbetonun yapısında hafif ve boşluklu malzeme özelliği göstermesi basınç dayanımının azalmasına neden olduğu düşünülmektedir.



Şekil 4.1. Basınç dayanımı değerleri grafiği

Sepiyolit ikame oranının %10'dan fazla artırılması basınç dayanımını düşürdüğü gözlenmiş olup, basınç dayanımındaki bu düşüşün benzer çalışmalara uygunluk

göstermektedir [5, 24,40]. Bunun nedeni sepiyolit mikro yapısal olarak boşluklu bir yapıya sahip olmasıdır. Bu da işlenebilirlik için gerekli su ihtiyacını artırmaktadır. Bu boşluklu yapı gazbeton basınç dayanımı düşürdüğü düşünülmektedir.

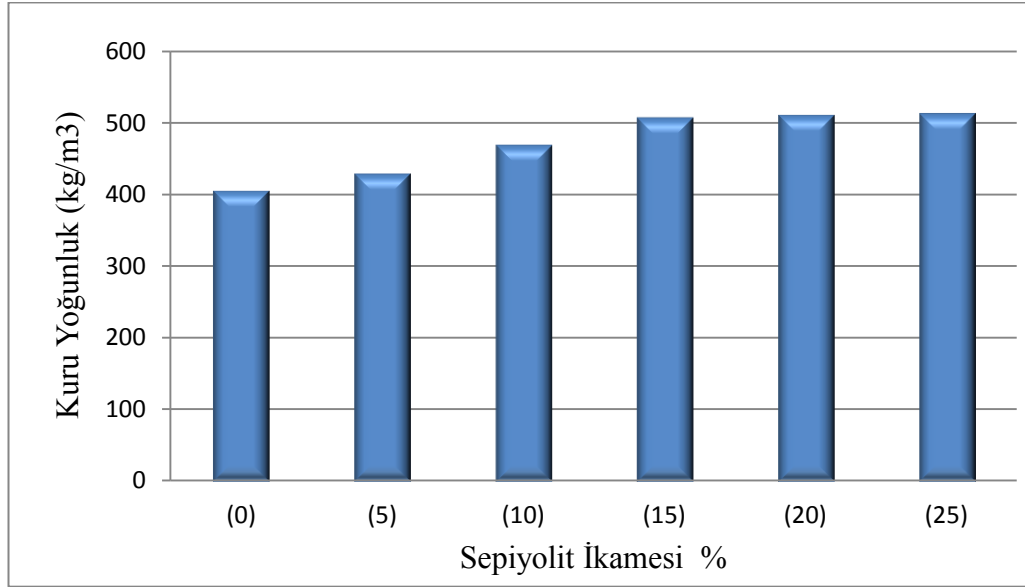
4.2. Kuru Yoğunluk Özellikleri

Karışım oranları doğrultusunda yapılan gazbeton deney numunelerinin kuru yoğunluk değeri TSE EN 678 göre yapılmış ve referans numune (SK0) 406 kg/m^3 iken sepiyolit ikameli numunelerin kuru yoğunluk değeri 430 ile 514 kg/m^3 arasında değişmektedir. Elde edilen değerler TSE EN 12602 de belirtilen 400 ile 550 kg/m^3 aralığında kaldığı gözlenmiştir. Birim hacim ağırlığının sepiyolit ikame oranı ile doğru orantılı olarak arttığı gözlenmiştir. Sepiyolit su tutucu özelliği ve sahip olduğu boşluklu mikro yapının, sepiyolit ikame oranına bağlı olarak birim hacim ağırlığında artışa neden olduğu düşünülmektedir.



Şekil 4.2. Gazbeton numunelerinin sudaki görüntüsü

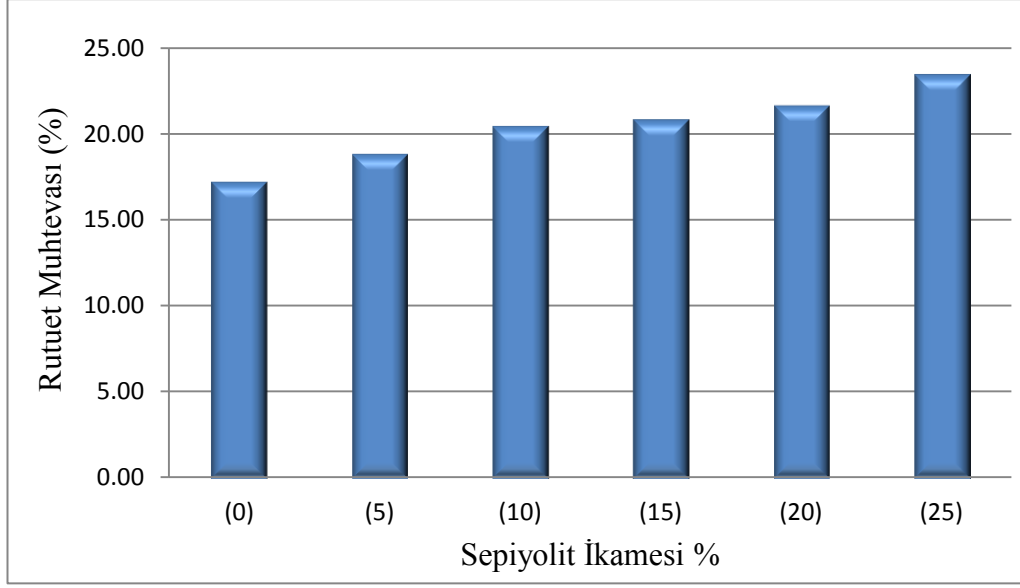
Sepiyolit ikamesi genel olarak kuru yoğunluğun (birim hacim kütlesinin) artırdığı görülmektedir. SK5 ve SK10 numaralı gazbeton numunelerinde kuru yoğunluk değeri artışında artan bir ivme gözlenirken, SK15, SK20 ve SK25 numaralı gazbeton numunelerinde kuru yoğunluk artışında azalan bir ivme gözlenmiştir.



Şekil 4.3. Kuru yoğunluk değerleri grafiği

4.3. Rutubet Muhtevası

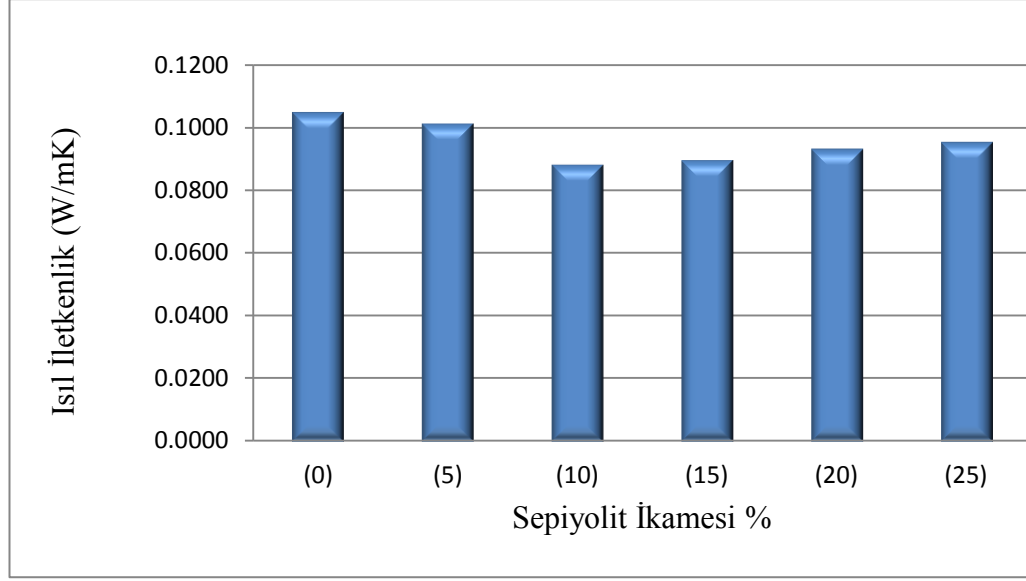
Şekil 4.4. ve Çizelge 4.1.'de görüldüğü gibi; deney numunelerinin TS EN 772-10 standardına göre hesaplanmıştır. Rutubet muhtevası SK0 %17,24 iken SK5-SK25 numaralı numuneler arasında %18,86 ila %23,48 olarak hesaplanmıştır. Genel olarak ikame oranı ile doğru orantılı olarak rutubet muhtevasının artışı görülmüştür. Sepiyolit, su tutucu malzeme özelliğine sahip olması nedeniyle; sepiyolit ikame oranı artışı ile rutubet muhtevasında artış gözlenmiştir.



Şekil 4.4. Rutubet muhtevası değerleri grafiği

4.4. Isıl İletkenlik Özellikleri

Isıl iletkenlik deneyi TS ISO 8301 standardına uygun olarak yapılmıştır. Şekil 4.5. ve Çizelge 4.1.'de görüldüğü gibi; örneklerin ısı iletkenlik değerleri 0,088 ile 0,101 W/mK arasında elde edilirken referans numune SK0 da 0,105 W/mK elde edilmiştir. Sepiyolit ikame oranının %10 kadar gerçekleşen artışın da, ısı iletkenlik değerlerinin düştüğü, %10'dan daha fazla sepiyolit ikamesinde (%15-%25) ise ısı iletkenlik değerini arttırdığı görülmüştür. Sepiyolit mikro yapısındaki boşluk oranı %10 kadar olan sepiyolit ikameli gazbetonlar da ısı iletkenliği düşürdüğü düşünülmektedir. Fakat SK10'dan sonra ki ikame miktarı ise filler boyuttaki gazbeton boşluklarını doldurduğu için ısı iletkenliğinin SK15, SK20 ve SK25 numaralı gazbeton numuneleri arasında ısı iletkenlik değerini arttırdığı düşünülmektedir.



Şekil 4.5. Isıl iletkenlik değerleri grafiği

4.5. Makroyapısal Özellikleri

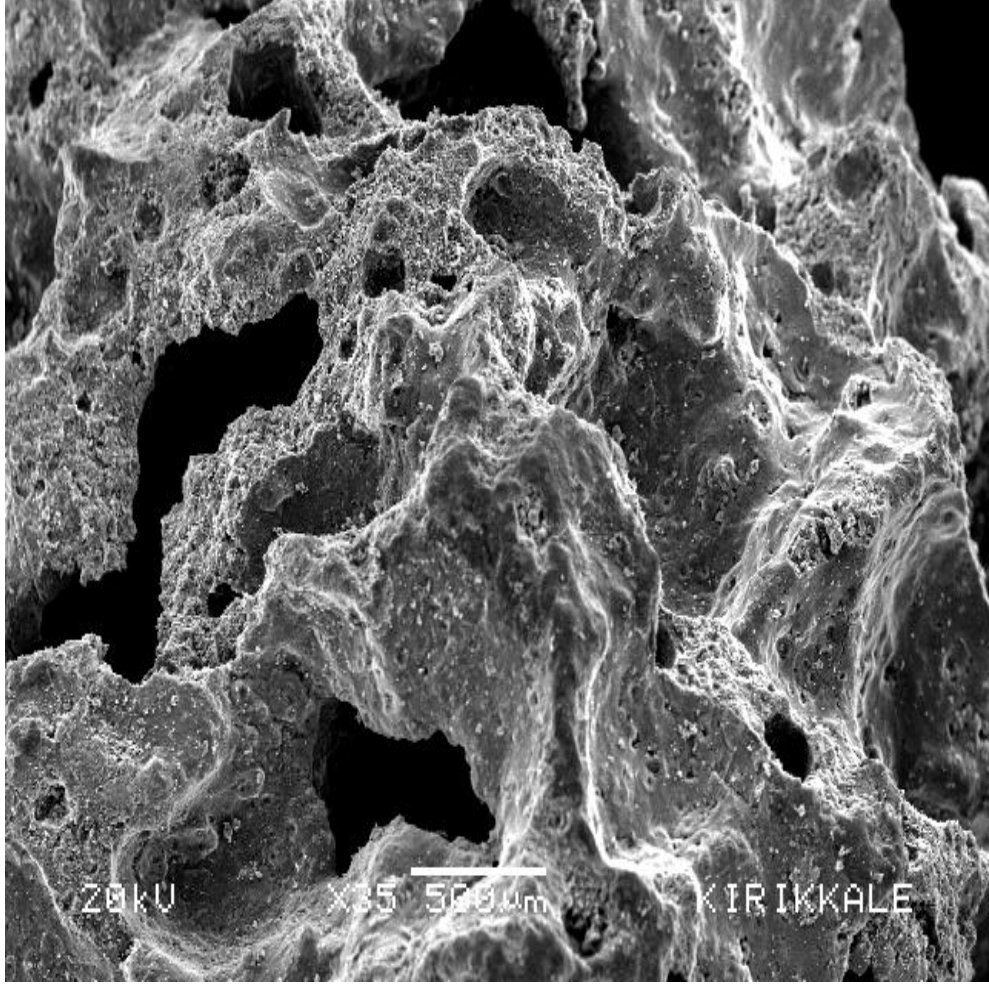
Gazbeton malzemenin yapısında 0,5-1,5 mm arasında küresel makro gözenekler vardır. Bu makro gözenekler mikro gözeneklerce çevrelenmiştir. Şekil 4.6.'da sepiyolit ikameli gazbeton numuneleri SK0 1'nolu, SK5 2'nolu, SK10 3'nolu, SK15 4'nolu, SK20 5'nolu ve SK25 6'nolu olarak numaralandırılmıştır. Sepiyolit ikameli gazbeton numunelerinin yüzey gözenek yapısı SK0, SK5 ve SK10'da düzgün ve homojen bir dağılım gösterirken, SK15'de yüzey gözenek yapısının ve homojen dağılım bozulmaya başladığı, SK20 ve SK25'de ise gözenek yapısının neredeyse yok olduğu ve homojen dağılım göstermeyen makro gözeneklerin olduğu gözükmektedir.



Şekil 4.6. Sepiyolit ikameli gazbeton numunelerinin dış yüzey görünüşü

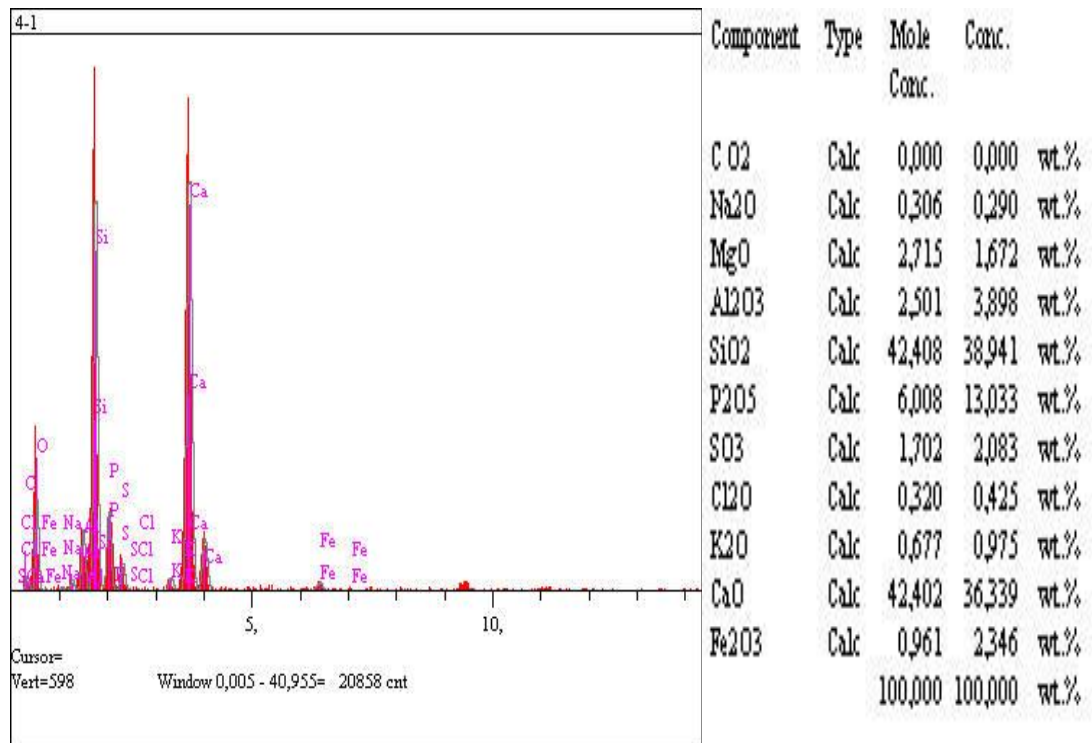
4.6. Mikroyapısal Özellikleri

Kırıkkale Üniversitesi Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Laboratuvarları Müdürlüğü (KÜBTAL), Elektron Mikroskobu Laboratuvarında bulunan Jeol JSM5600 marka 30kV'luk taramalı Elektron Mikroskobu ile örneklerin SEM görüntüsü ve EDS analizi değerleri elde edilmiş ve sepiyolit ikameli gazbetonlarda SEM görüntüleri ile mikro yapısal özellikleri değerlendirilmiştir. EDS analizi ile sepiyolit ikameli gazbeton numunelerinin kimyasal analiz sonuçları verilmiştir.

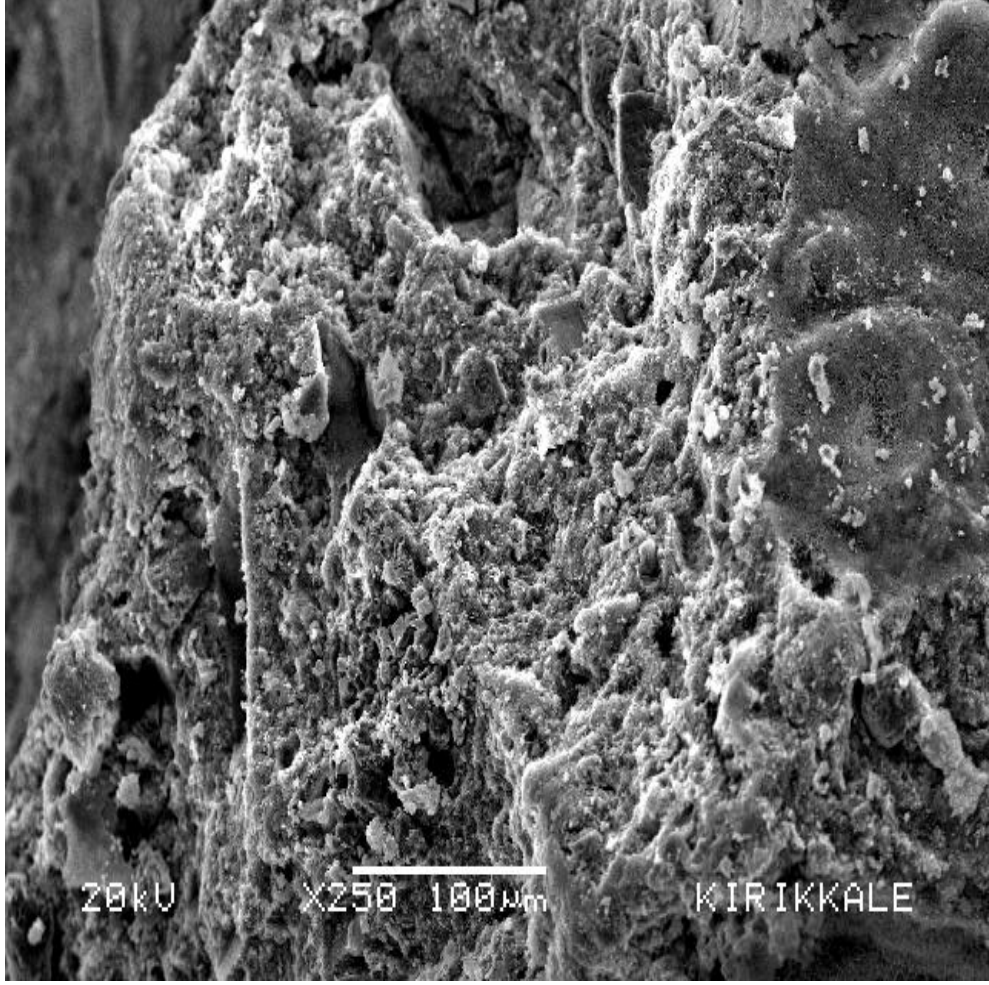


Şekil 4.7. %10 Sepiyolit ikameli gazbetonun SEM görüntüsü (X35)

Şekil 4.7.'deki X35 büyütme %10 sepiyolit ikameli gazbetonlarda oluşan birbirlerinden bağımsız boşluklar, ses enerjisinin bir kısmını yutulmasını sağlarken, ısı enerjisinin geçişine de engel olmaktadır. Şekil 4.7.'deki görülen boşluklar 50 µm ila 500 µm arası değişmektedir.

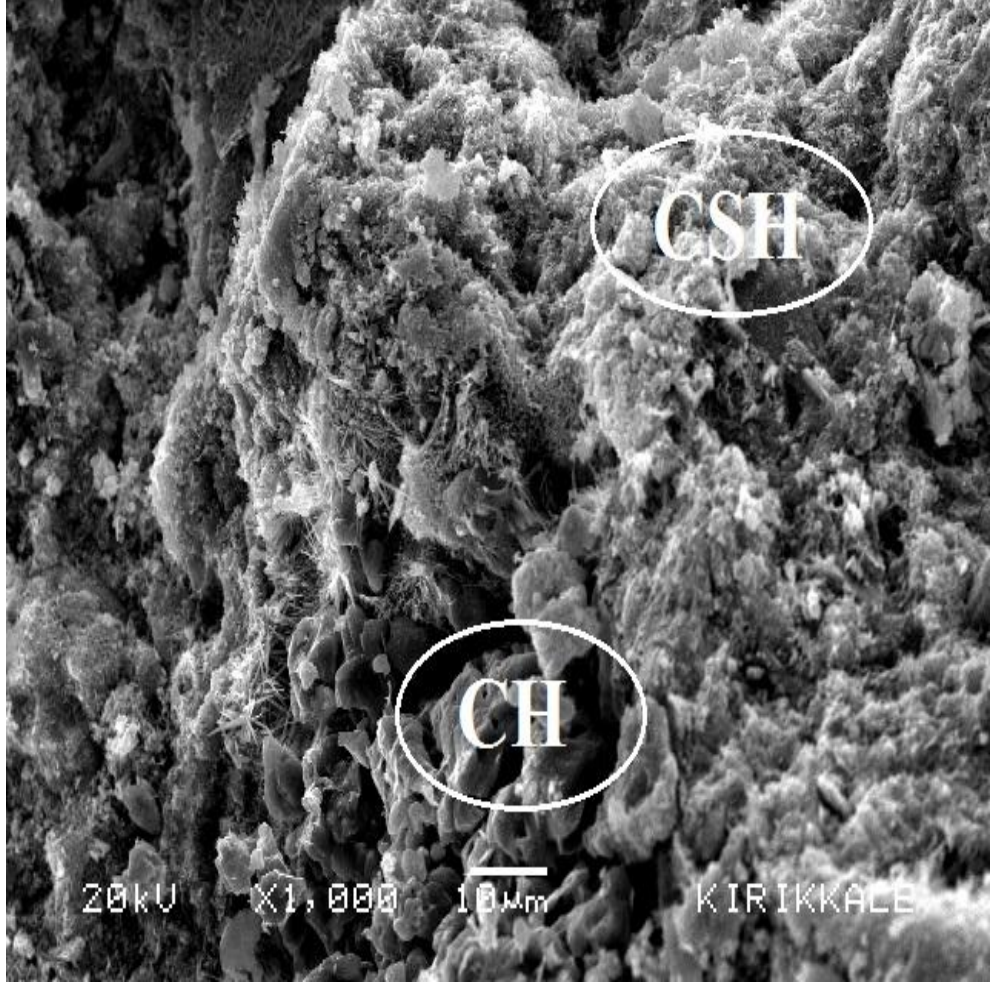


Şekil 4.8. %10 Sepiyolit ikameli gazbetonun örneklerinin EDS analizi



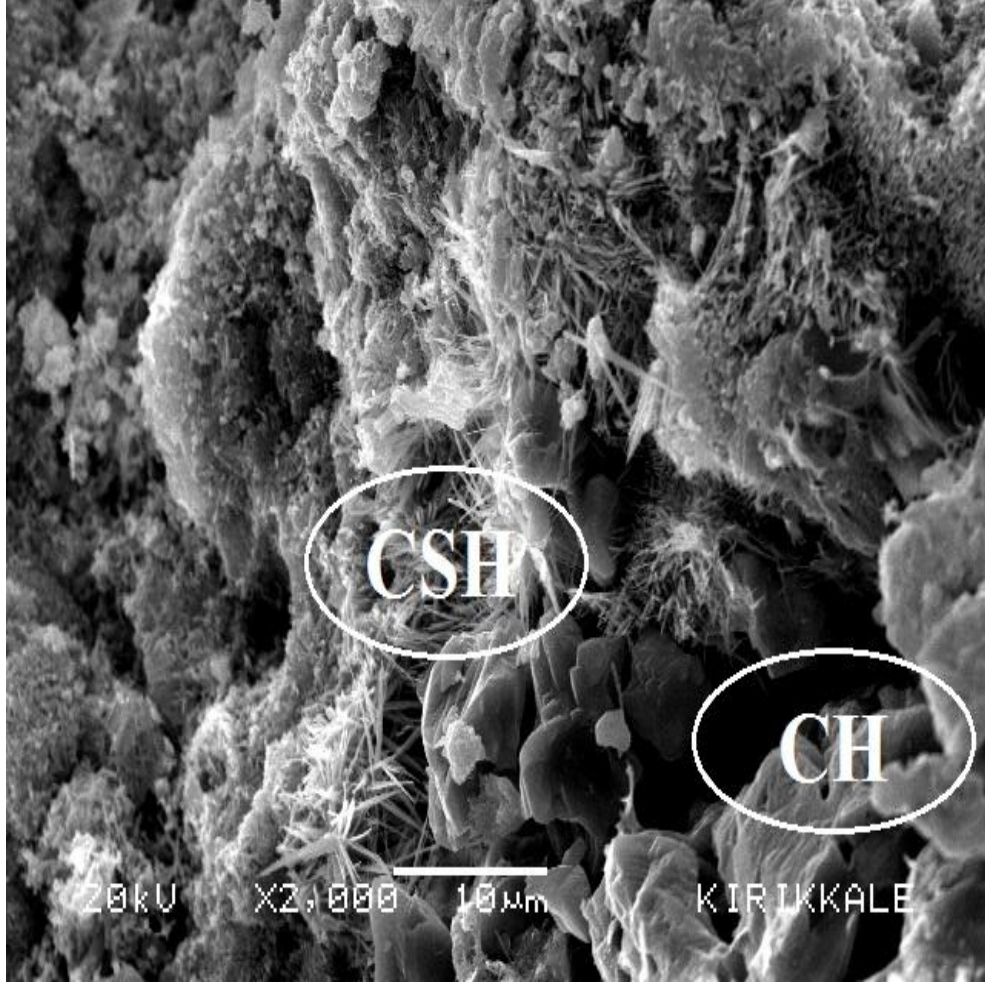
Şekil 4.9. %10 Sepiyolit ikameli gazbetonun SEM görüntüsü (X250)

Şekil 4.9.'daki X250 büyütme %10 Sepiyolit ikameli gazbetonlarda boşluklu yapı görülmektedir. Şekil 4.9.'daki numune görüntüsü üzerindeki örtü tabakası CSH (tobermorit) kristallerini oluşturulduğu düşünülmektedir. CSH'ın altındaki kristaller ise CH kristalleri olduğu düşünülmektedir.



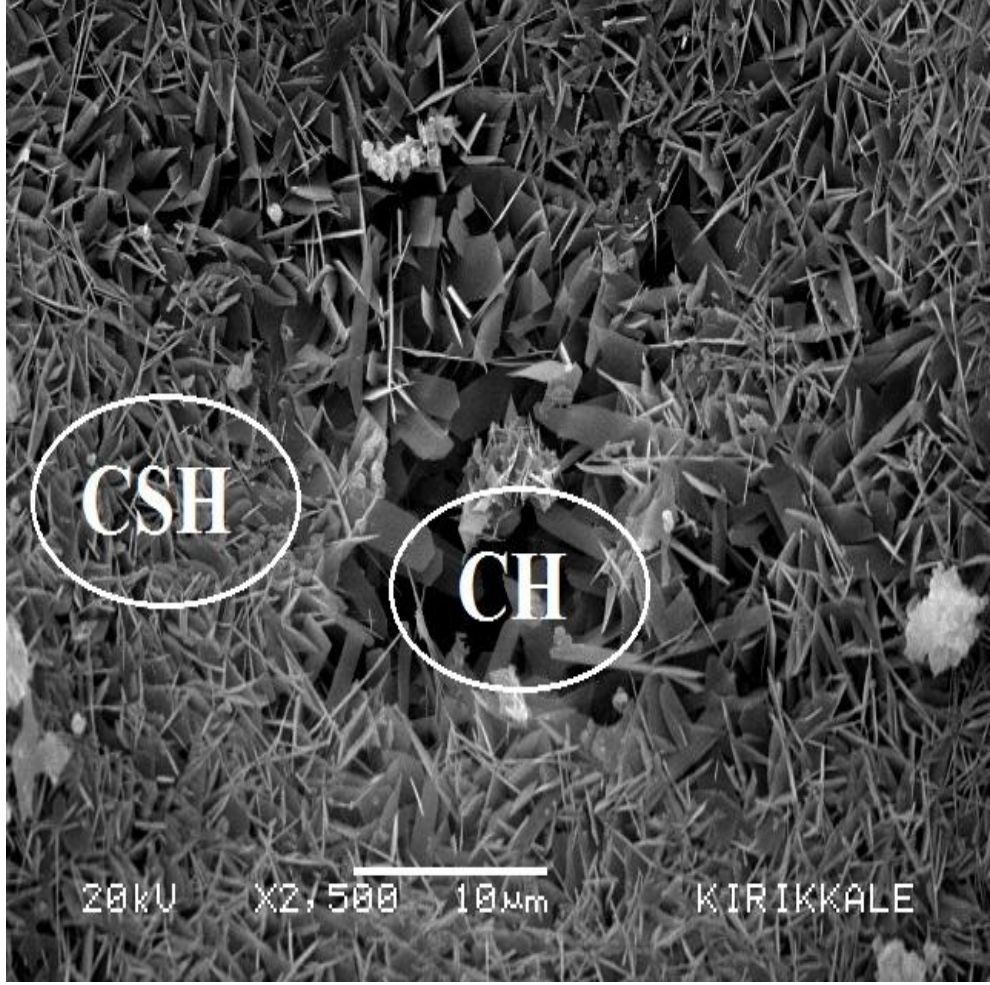
Şekil 4.10. %10 Sepiyolit ikameli gazbetonun SEM görüntüsü (X1000)

Şekil 4.10.'daki X1000 büyütme %10 Sepiyolit ikameli gazbetonlarda boşluklu yapı ile birlikte yer yer CSH kristalleri görülmektedir. CSH kristalleri çimento harcındaki bağ kuvvetlerini güçlendiren kristal yapılardır. Az miktarda görülen CH kristalleri üzerinde CSH kristalleri görülmektedir.



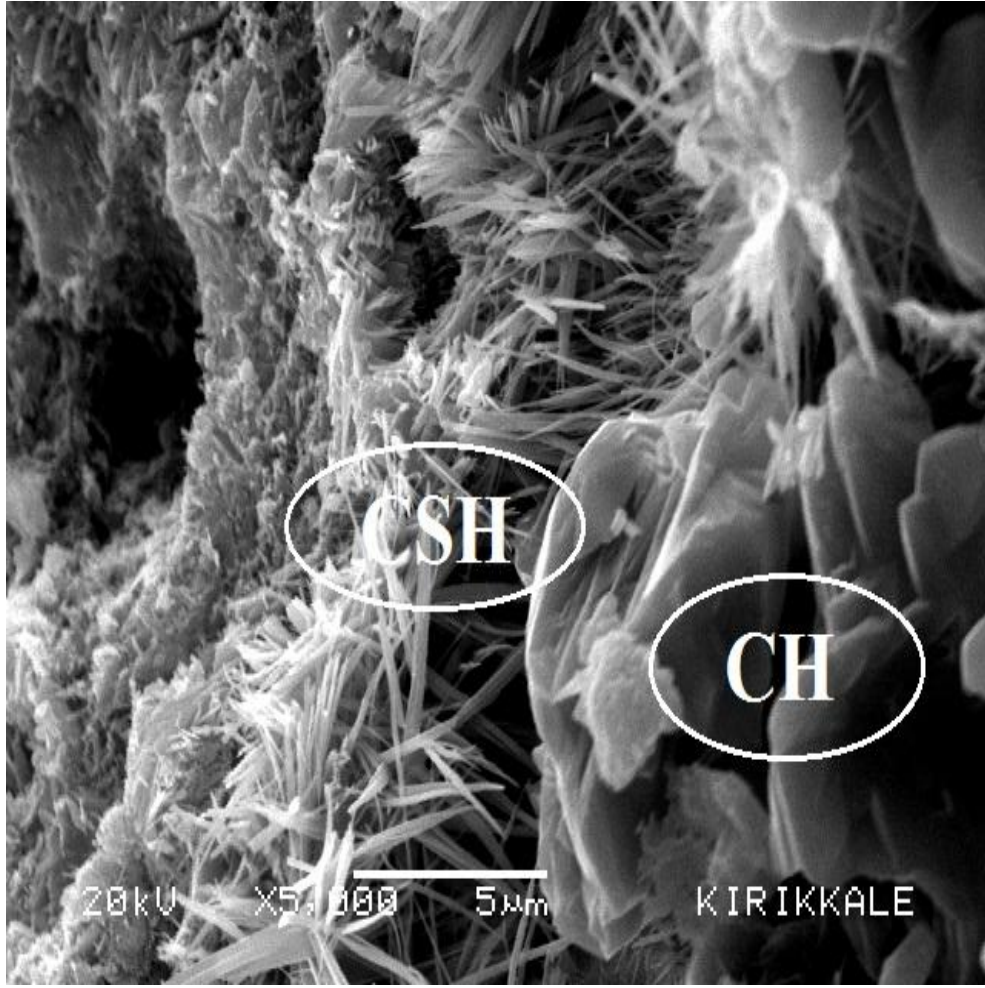
Şekil 4.11. %10 Sepiyolit ikameli gazbetonun SEM görüntüsü (X2000)

Şekil 4.11.'deki X2000 büyütme %10 Sepiyolit ikameli gazbetonlarda lifsi olarak CSH kristalleri görülmektedir. CSH jelleri 5- 10 μm boyutlarında yoğunlaşmıştır. Şekil 4.11.'de CSH kristalleri 2-4 μm , CH 4-10 μm boyutunda görülürken 1-15 μm boyutunda boşluklar görülmektedir.



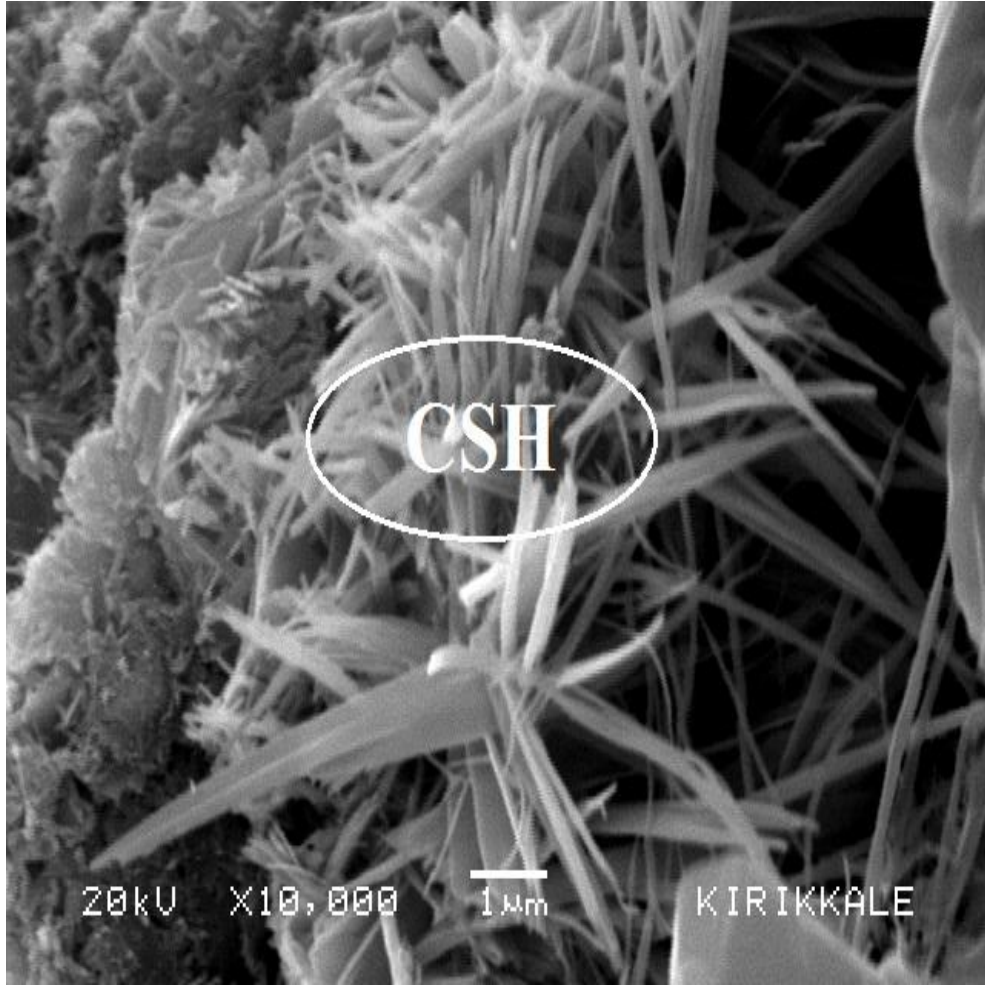
Şekil 4.12. %10 Sepiyolit ikameli gazbetonun SEM görüntüsü (X2500)

Şekil 4.12.'deki X2500 büyütme %10 Sepiyolit ikameli gazbetonlarda lifsi CSH kristalleri görülmektedir. Ayrıca 1 ila 10 μm boyutunda boşluklar görülmektedir.



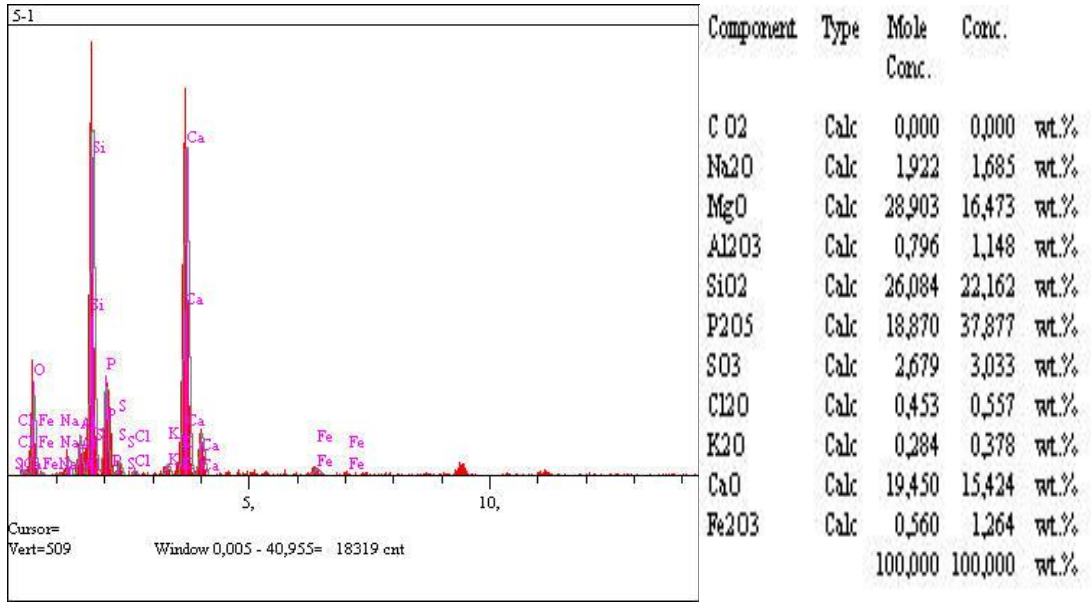
Şekil 4.13. %10 Sepiyolit ikameli gazbetonun SEM görüntüsü (X5000)

Şekil 4.13.'deki X5000 büyütme %10 Sepiyolit ikameli gazbetonlarda lifsi CSH kristalleri görülmektedir. Şekil 4.13.'de CSH kristalleri 2-4 μm , CH 5-10 μm boyutunda görülürken 1-8 μm boyutunda boşluklar görülmektedir.

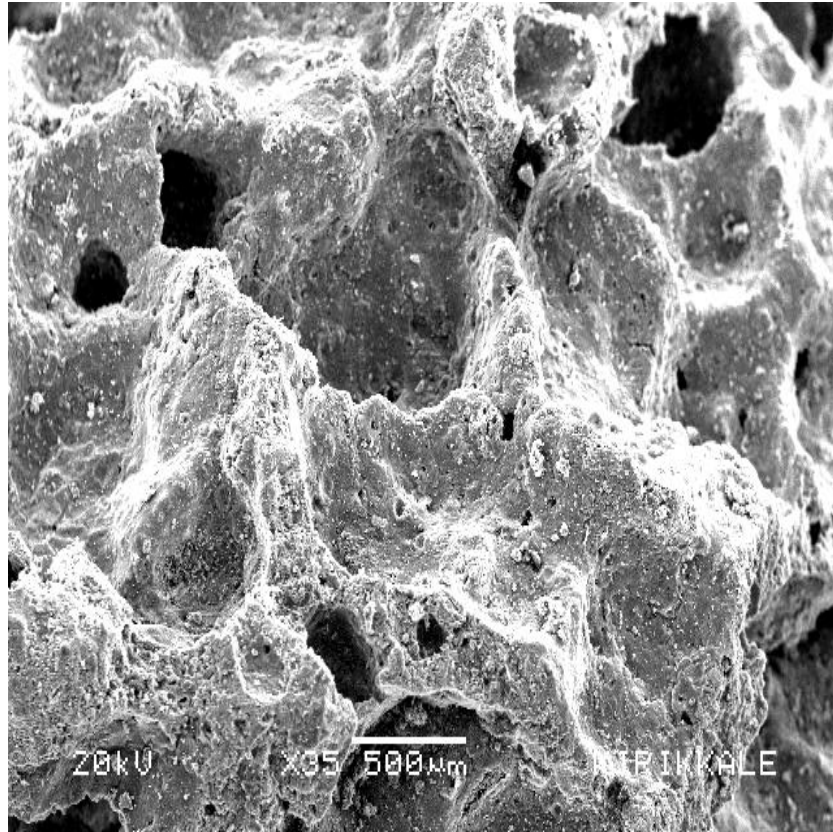


Şekil 4.14. %10 Sepiyolit ikameli gazbetonun SEM görüntüsü (X10000)

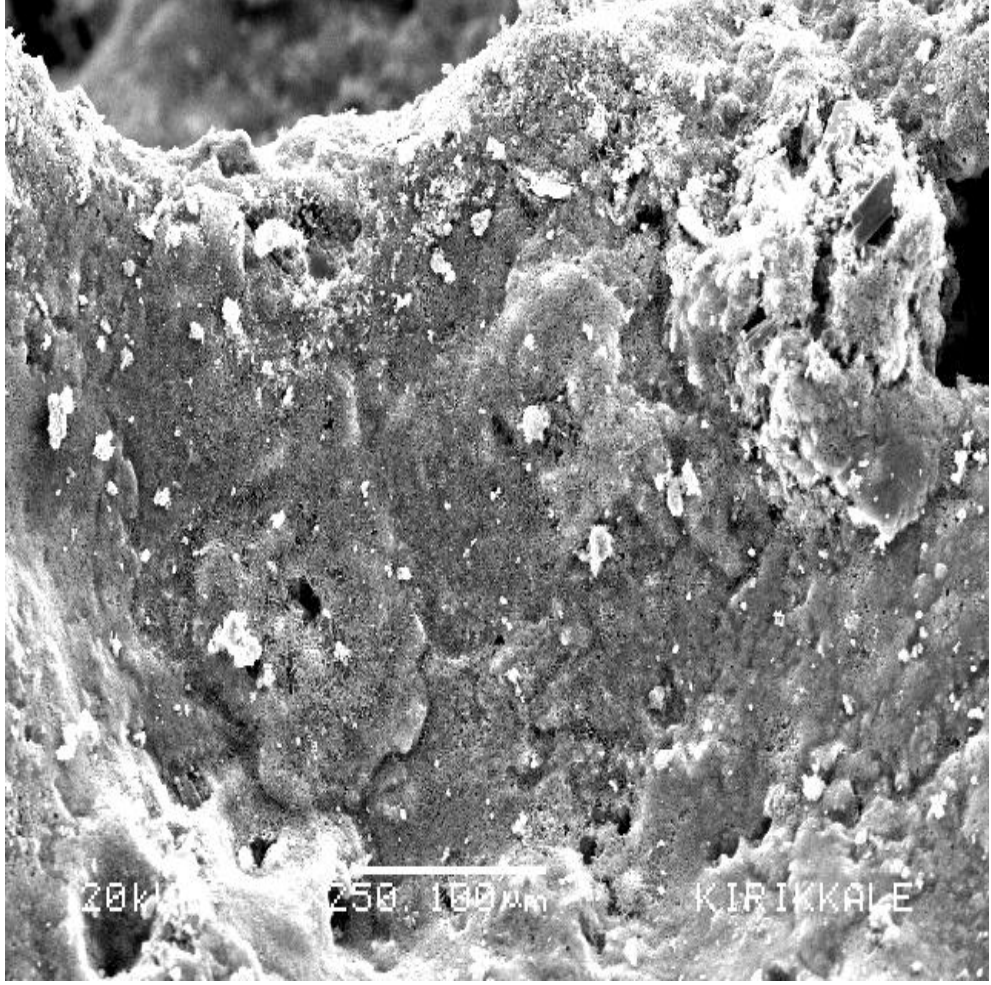
Şekil 4.14.'deki X10000 büyütme %10 Sepiyolit ikameli gazbetonlarda lifsi CSH kristalleri görülmektedir. CSH kristalleri 5-10 µm boyutlarında yoğun olarak görülmektedir.



Şekil 4.15. %20 Sepiyolit ikameli gazbetonun örneklerinin EDS analizi

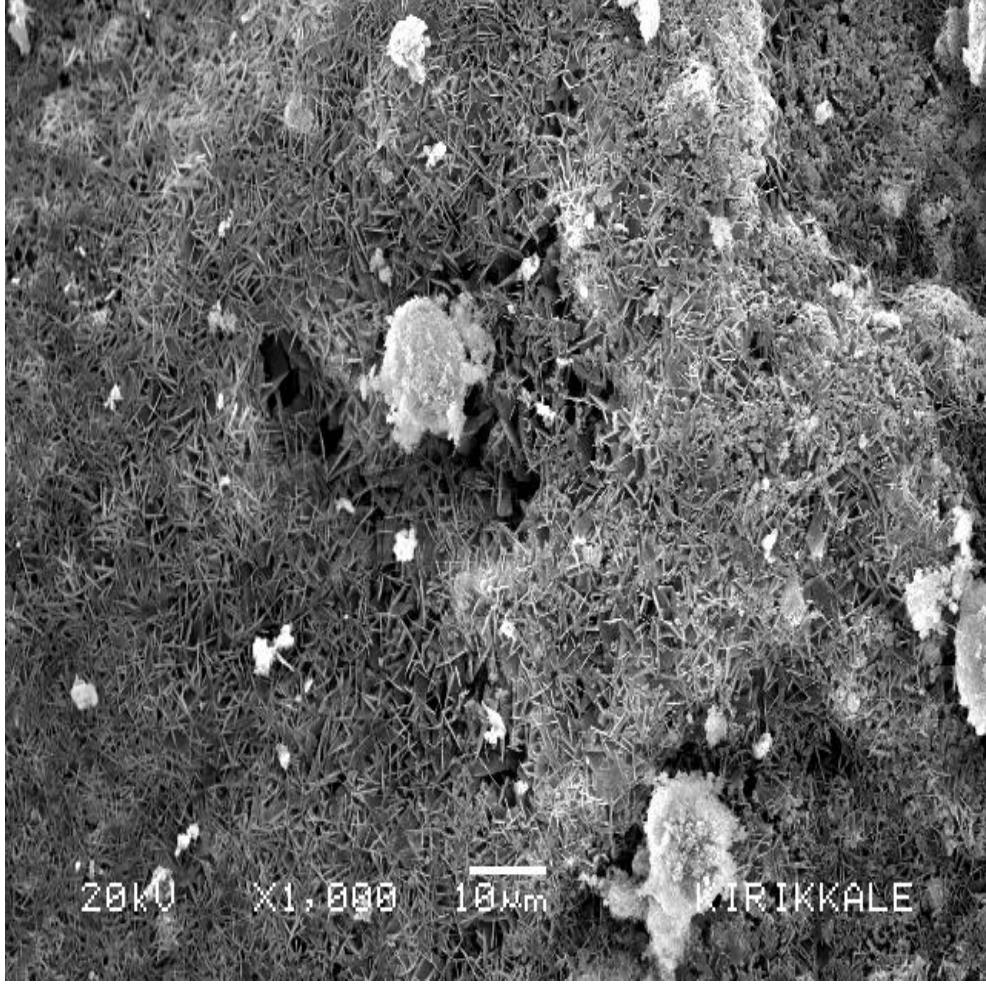


Şekil 4.16. %20 Sepiyolit ikameli gazbetonun SEM görüntüsü (X35)



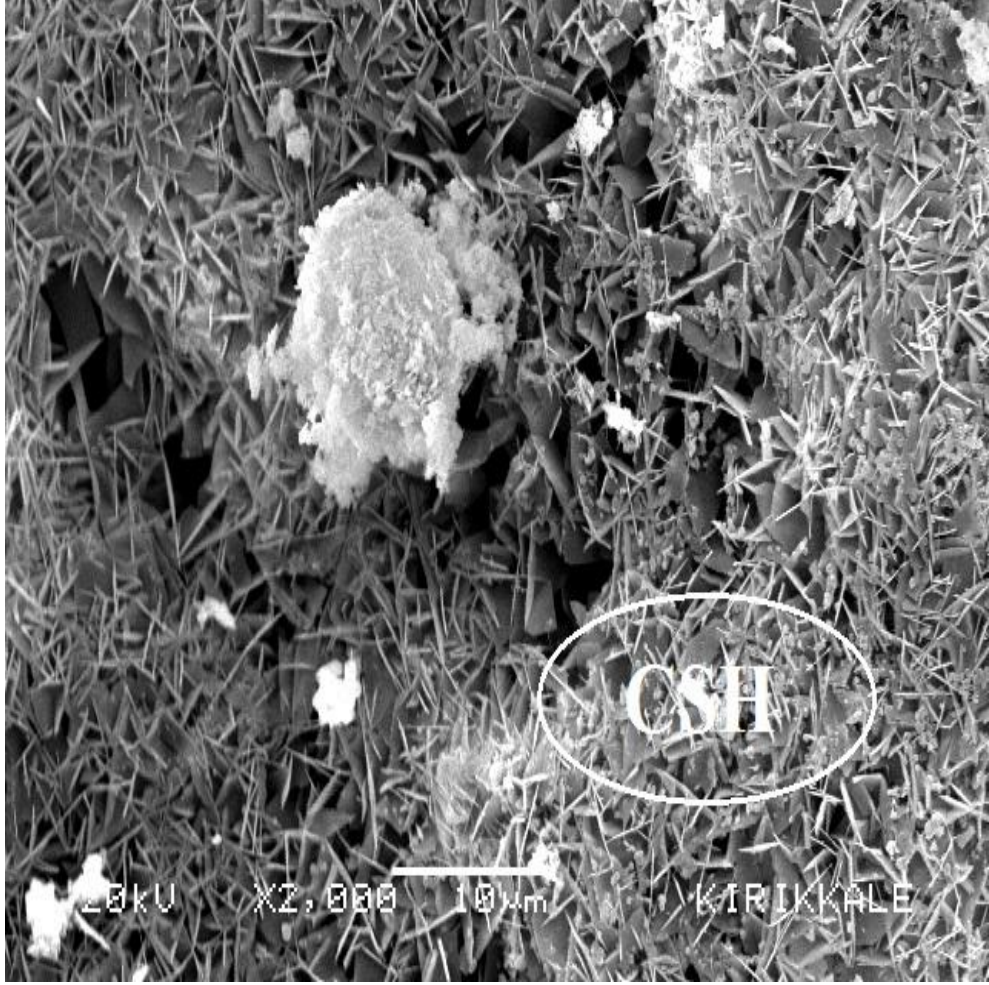
Şekil 4.17. %20 Sepiyolit ikameli gazbetonun SEM görüntüsü (X250)

Şekil 4.17.'deki X250 büyütme %20 sepiyolit ikameli gazbetonlarda boşluklu yapı daha belirgin şekilde görülmüştür. Ayrıca boşluklar görülmektedir.



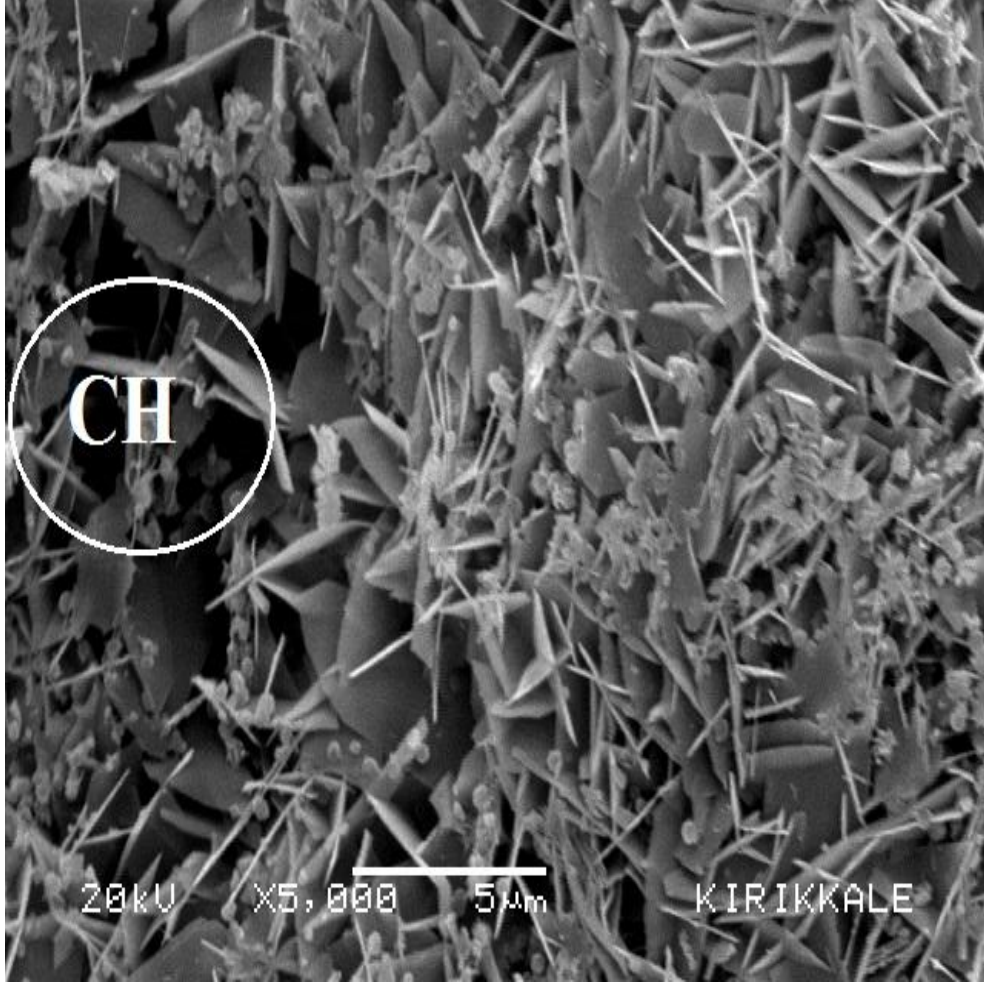
Şekil 4.18. %20 Sepiyolit ikameli gazbetonun SEM görüntüsü (X1000)

Şekil 4.18.'deki X1000 büyütmeli %20 Sepiyolit ikameli gazbetonlarda boşluklu yapı ile birlikte sepiyolit lifsi yapısı ve CSH kristalleri görülmektedir.



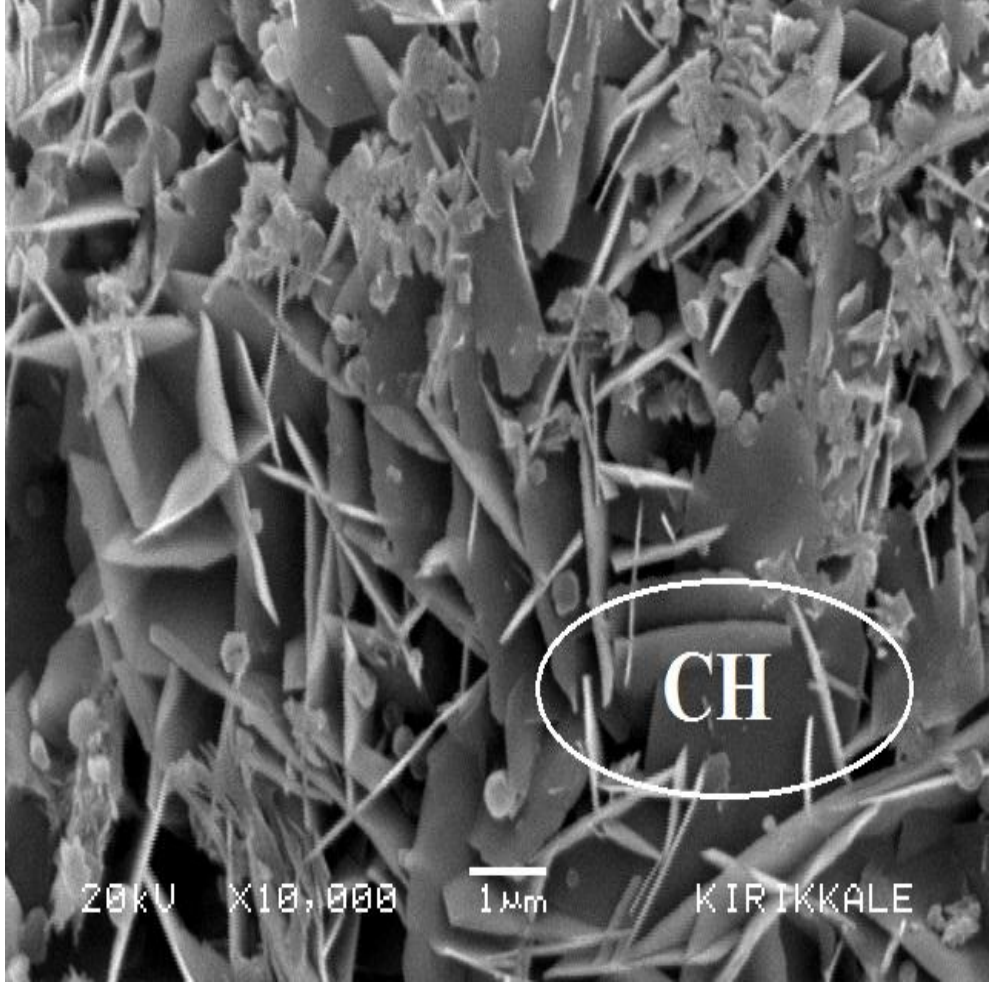
Şekil 4.19. %20 Sepiyolit ikameli gazbetonun SEM görüntüsü (X2000)

Şekil 4.19.'daki X2000 büyütmeli %20 Sepiyolit ikameli gazbetonlarda lifsi CSH kristalleri görülmektedir. Şekil 4.19.'da CSH kristalleri 5-10 μm boyutunda görülürken 1-10 μm boyutunda boşluklar görülmektedir.



Şekil 4.20. %20 Sepiyolit ikameli gazbetonun SEM görüntüsü (X5000)

Şekil 4.20.'deki X5000 büyütmeli %20 sepiyolit ikameli gazbetonlarda lifsi CSH kristalleri ve CSH kristalleri altında CH görülmektedir. Şekil 4.20.'de CSH kristalleri 5-10 μm , CH 4-10 μm boyutunda görülürken 1-10 μm boyutunda boşluklar görülmektedir.



Şekil 4.21. %20 Sepiyolit ikameli gazbetonun SEM görüntüsü (X10000)

Şekil 4.21.'deki X10000 büyütme %20 Sepiyolit ikameli gazbetonlarda lifsi CSH kristalleri ve CSH kristalleri altında CH kristalleri görülmektedir. Şekil 4.21.'de CSH kristalleri 2-4 μm , CH 4-10 μm boyutunda yoğun olarak görülmektedir.

Mikroyapısal analizde, SEM görüntülerinde X2000-X10000 arası büyütmede CSH kristalleri belirgin bir şekilde görülmektedir. Özellikle X5000 ve sonrası büyütmelerde ise CSH kristalleri altında CH kristalleri görülmektedir.

5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Çalışmada, duvar elamanı olarak kullanılan ve ticari olarak üretimi yapılan G2/04 (Birim Hacim Ağırlığı 400 kg/m³, Isı İletim Kat Sayısı 0,11-0,013 W/mK ve Basınç Dayanımı 2,5 N/mm²) sınıfı gazbeton üretimi baz alınarak, Dolsan Madencilik'ten alınan sepiyolit, hammadde olarak kullanılan kuvarsit yerine %5, %10, %15, %20 ve %25 oranlarında ikame edilerek üretilen gazbeton numunelerinde aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir;

- Sepiyolit adsorplama (yüzeyde tutma) özelliği nedeniyle sepiyolit ikame oranına arttıkça taze karışımında viskozitesin de artmıştır. Bunu nedeninin ise karışım suyu ihtiyacının artması olarak görülmektedir.
- %0'dan %15'e kadar sepiyolit ikame oranı ile üretilen gazbeton numunelerinde kabarma miktarının azaldığı, %15 ile %25 arasında üretilen sepiyolit ikameli gazbeton numunelerinde ise kabarma miktarında daha fazla azaldığı gözlenmiştir.
- %0'dan %15'e kadar sepiyolit ikamesi olan gazbeton numunelerin birim hacim ağırlığında belirgin bir artış gözlenmemiştir.
- Sepiyolit ikame oranına arttıkça üretilen gazbeton örneklerinde rutubet muhtevasını arttığı görülmüştür. Bunu sebebi olarak, sepiyolit boşluklu bir yapıya sahip olması ve adsorplama özelliği nedeniyle karışım içerisinde bulunan suyu tuttuğu düşünülmektedir.
- %0'dan %10'a kadar yapılan sepiyolit ikamesi gazbeton numunelerinin basınç dayanımını çok fazla etkilememiş %10-%25 arası yapılan sepiyolit ikamesi basınç dayanımını düşürmüştür.
- Sepiyolit ilavesi yüksek olan gazbeton numunelerinde basınç dayanımlarındaki azalmanın, sepiyolit yapısının yumuşak, poroz, dayanımsız olmasının yanı sıra fazla su emmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

- Sepiyolit fazla su emme özelliği düşünüldüğünde, dayanımlardaki azalmada karışım suyunun fazlalığı da etkindir.
- Sepiyolit ikame oranına bağlı olarak artan yoğunluk nedeni ile yaş gazbeton keki içerisinde oluşması gereken polar boşlukların oluşmadığı gözlenmiştir.
- Sepiyolit ikame oranına artıka üretilen gazbeton örneklerinde gözenek yapısının bozulduğu görülmüştür.
- Sepiyolit ikameli gazbeton numunelerinin yüzey gözenek yapısı %0, %5 ve %10'da düzgün ve homojen bir dağılım gösterirken, %5'de yüzey gözenek yapısının ve homojen dağılım bozulmaya başladığı, %20 ve %25'de ise gözenek yapısının neredeyse yok olduğu ve homojen dağılım göstermeyen makro gözeneklerin oluştuğu gözükmektedir.
- SEM görüntülerinde X1000 büyütme ve sonrasında CSH kristalleri görülmüştür.
- Sepiyolit ikameli gazbeton numunelerinin kimyasal analizinde genelinde Si₂O oranında artış gözlenirken CaO oranında azalma gözlenmiştir.
- Sepiyolit ikame oranının %10 kadar ısı iletim değerini düşürdüğü gözlenmiş. Fakat sepiyolit filler boyuttaki gazbeton boşluklarını doldurduğu için ısı iletkenliğinin SK15-SK25 numaralı gazbeton numuneleri arasında artırdığını düşünülmektedir

Yapılan bu çalışmada kuvars kumu yerine %0 ila %10 arası sepiyolit ikamesi yapılan gazbeton numunelerinde ısı iletkenlik değerinin düştüğü, basınç dayanımının ise azaltmadığı görülmüştür. Optimum sepiyolit kullanım oranının %10 olarak kullanılabilirliği ortaya çıkarmıştır.

Basınç dayanımlarındaki azalmalarda sepiyolit kendi özelliklerinin yanı sıra beton karışımları hazırlanırken su çimento oranının sabit tutulmayıp, karışımların akıcı plastik kıvama göre hazırlanması da göz önüne alınmalıdır.

Sepiyolit oranının arttırılması sonucu basınç dayanımı, kuru yoğunluk, rutubet muhtevası ve gözenek yapısı gibi özelliklerinde olumsuzluk yönde etkilerken, ısı iletim özelliğinde olumlu yönde iyileşme gözlenmiştir. Bundan sonraki yapılacak çalışmalarda sepiyolit miktarının %0 ile %100'e kadar olan aralıkta ele alınması, karışım suyu miktarlarının değişken olduğu çalışmaların yapılması daha uygun olacaktır.

Sepiyolit, uçucu kül, silis dumanı gibi diğer mineral katkıların kompoze edilerek yapılacak çalışmalarla gazbeton özelliklerinin geliştirmesinde ve iyileştirilmesinde kullanılabilir.

Bu çalışma sonucunda öneri olarak gazbetonda sepiyolit ikamesi nedeniyle ihtiyaç duyulan işlenebilirlik için, gerekli su miktarını artışı engellemek için su azaltıcı akışkanlar kullanılabilir ve basınç dayanımının artışı, ısı iletkenlik değerinin düşürülmesi sağlanarak, sepiyolit gazbeton da kullanımı iyileştirilebilir.

KAYNAKLAR

- [1] TS EN 771-4, Kâgir Birimler - Özellikler - Bölüm 4: Gazbeton Kâgir Birimler, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, Aralık 2011.
- [2] Kömürlü , R., Önel, H., Gazbeton Yapı Ürünlerinin Konutlarda Kullanımı, YTÜ Mimarlık Fakültesi E- Dergisi, Cilt 2, Sayı 3, 145-158, 2007.
- [3] Yılmaz, Y., Eskişehir Yöresi Sepiyoliti'nin, Termal Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir, 2007.
- [4] DPT, Madencilik Özel İhtisas Komisyonu, DPT VIII. Beş Yıllık Kalkınma Planı, Cilt 2, Yayın No: DPT 26219-ÖK: 630 Ankara, 2001.
- [5] Kavas T., Sabah, E., Çelik M.S., Structural Properties of Sepiolite-Reinforced Cemenet Composite, Cement and Concrete Research, 34, 2135-2139, 2004.
- [6] Jarabo R., Fuente E., Moral A., Blanco Á., Izquiereo L., Negro C., Effect of sepiolite on the flocculation of suspensions of fibre-reinforced cement, Cement and Concrete Research, 40, 1524-153, 2010.
- [7] Fuente E., Jarabo R., Moral A., Negro C., Izquiereo L., Effect of sepiolite on retention and drainage of suspensions of fiber-reinforced cement, Construction and Building Materials, 24, 2117-2123, 2010.
- [8] Hauser A., Eggenberger U., Mumenthaler T., Fly ash from cellulose industry as secondary raw material in autoclaved aerated concrete, Cement and Concrete Research, 29, 297-302, 1999.
- [9] Huang X., Ni W., Cui W., Wang Z., Zhu L., Preparation of autoclaved aerated concrete using copper tailings and blast, Construction and Building Materials, 27,1-5, 2012.

- [10] Mostafa N.Y., Influence of air-cooled slag on physicochemical properties of autoclaved aerated concrete, *Cement and Concrete Research*, 35, 1349-1357, 2005.
- [11] Kara, İ., Seyitömer Uçucu Külünün Farklı Yapı Malzemeleri Olarak Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir, 2008.
- [12] Güçlüer K., Uçucu külden üretilen silis dumanı katkılı gazbeton örnekleri üzerine kür etkisinin araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyon, 2011.
- [13] Kozak, Ş., Gazbeton Üretiminde Uçucu Külün Hammadde Olarak Kullanımının Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyon, 2010.
- [14] Kunhanandan Nambiar E. K., Ramamurthy K., Influence of Filler Type On The Properties of Foam Concrete, *Cement & Concrete Composites*, Vol. 28, No. 5, 475-480, 2006.
- [15] Albayrak M., Yörükoğlu A., Karahan S., Atlıhan S., Aruntaş H.Y., Girgin İ., Influence of zeolite additive on properties of autoclaved aerated concrete, *Building and Environment*, 42, 3161-3165, 2007.
- [16] TS 206-1, Beton- Bölüm 1: Özellik, Performans, İmalat ve Uygunluk , Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, Nisan 2002.
- [17] TS 2511, Taşıyıcı Hafif Betonların Karışım Hesap Esasları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, Şubat 1977.

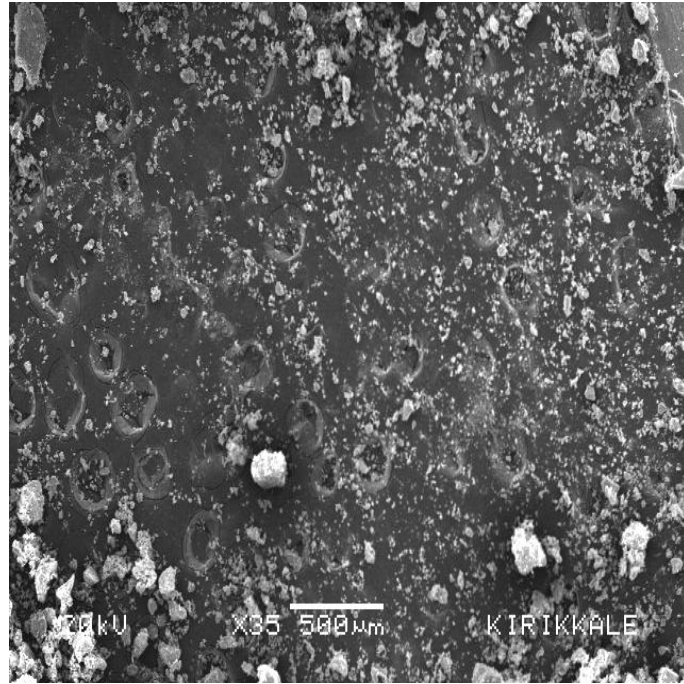
- [18] Ünverdi , A., Yüksek Sıcaklık Altında Gazbeton, Kırıklı Beton Dayanımlarının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir, 2006.
- [19] Durmuş, A., Aytekin, M., Betonarme İnşaatta Hafif Betonlar ve Türkiye' deki Durumu, TMMOB Haber Bülteni, 8, 12-15, İzmir, 1986.
- [20] Başıyigit C., Serin G., Çankıran O., Prefabrike Bölme Panosunda Hafif Betonun ve Çelik Liflerin Kullanılabilirliği, Beton Prefabrikasyon Dergisi, 54, 15-20, 2000.
- [21] Yazıcıoğlu, S., ve Bozkurt, N. , Pomza ve Mineral Katkılı Taşıyıcı Hafif Betonun Mekanik Özelliklerinin Araştırılması , Gazi Üniversitesi Mühendislik Ve Mimarlık Fakültesi Dergisi, Vol.21, No. 4, 675-680, 2006.
- [22] Gülşah A., Beton Çeşitleri ve Temel Özellikleri, <http://www.muhandisevi.com> (Erişim tarihi: 10.06.2012)
- [23] Uygunoğlu, T., Hafif Agregalı Kendiliğinden Yerleşen Betonların Özellikleri, Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, 2008.
- [24] Borhan, B., Ytong El Kitabı-1, Teknik Yayınları No:1, İstanbul, 1987.
- [25] TS EN 12602, Önyapımlı Donatılı Gazbeton Yapı Elemanları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, Ocak 2011.
- [26] Anonim, Çimentaş A.Ş. Çimentaş-Gazbeton Tasarım ve Uygulama El Kitabı, Çimentaş Gazbeton İşletmeleri, İzmir, 1995.
- [27] Hellers G., Schmidt R., Autoclaved Aerated Concrete (AAC) – The Story of a Low-Weight Material, 5 th International Conference on Autoclaved Aerated Concrete, 2011.

- [28] Türk Yapı Sektörü Raporu 2011, Yapı Endüstri Merkezi.
<http://www.yapiveri.com/VImages/2012/Arastirmalar/TYSR%202011.pdf>
(Erişim tarihi: 02.01.2013)
- [29] Gündoğdu B.C., Gazbeton ve Gazbeton Üretimindeki Bağlayıcı Malzemelerin Rötreye Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Sakarya, 2001
- [30] Anonim, www.martu.com.tr, (Erişim tarihi: 10.06.2012)
- [31] TS EN 680, Gaz Beton-Kuruma Büzülmesi Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, Temmuz 2006.
- [32] Çiçek, Y.E., Pişmiş Toprak Tuğla, Bimsbeton, Gazbeton ve Perlitli Yapı Malzemelerinin Fiziksel, Kimyasal ve Mekanik Özelliklerinin Karşılaştırmalı Olarak İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2002.
- [33] Anonim, www.akg-gazbeton.com, (Erişim tarihi: 10.06.2012)
- [34] Anonim, Budwell International Ltd, What Is Autoclaved Concrete, Amsterdam, 2004.
- [35] Narayanan N., K.Ramamurthy , Structure And Perties of Aerated Concrete, A Review, Cement And Concrete Composites, 22 , 321-329, 2000.
- [36] TS 453, Önyapımlı (Prefabrike), Donatılı Gazbeton Yapı Elemanları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, Temmuz 2006.
- [37] Anonim, www.ytong.com.tr, (Erişim tarihi: 10.06.2012)
- [38] Hasol, D., Yapının Endüstrileşmesi, Mimarlık,40, 1967.
- [39] Anonim, www.bulak.net, (Erişim tarihi: 10.06.2012)

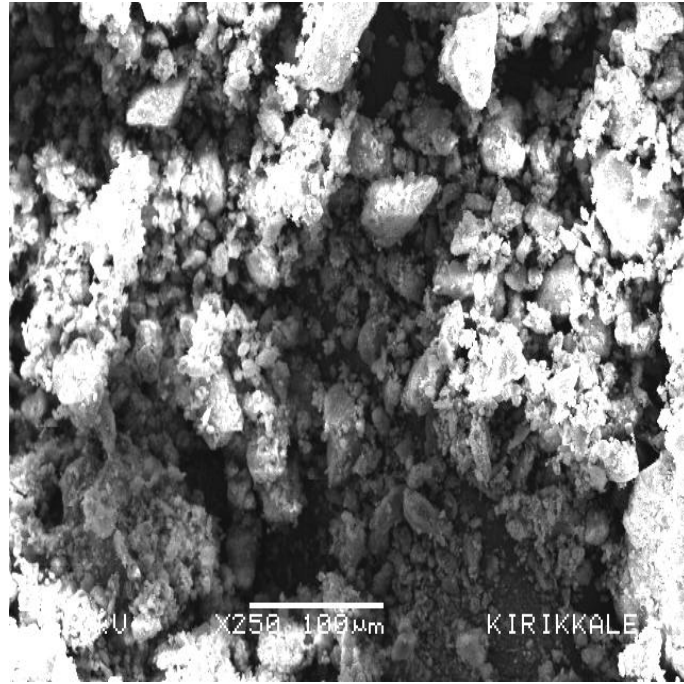
- [40] Sabah, E., Çelik, M.S., Sepiyolit : Özellikleri ve Kullanım Alanları, 3.Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, İzmir, 132-146, 1999.
- [41] Galan, E., Properties And Applications of Palygorskite-Sepiolite Clays, Clay Minerals, 31, 443–453, 1996.
- [42] Grillet, Y., Casese, J.M., Francois, M., Rouqural, J., And Poirer, J.E., Modification of The Porous Structure And Surface Area of Sepiolite Under Vacuum Thermal Treatment, Clays And Clays Minerals, Vol. 36, No. 3, 233-242, 1988.
- [43] Ece, I. ve Çoban F., Geology, Occurrence, And Genesis of Eskişehir Sepiolites, Turkey, Clays And Clay Minerals, Vol. 42, No. 1, 81-92, 1994.
- [44] Bağcı, C., Sepiyolitten Silisyum Nitrür (Si_3N_4) Tipi Teknolojik Seramik Malzeme Üretimi ve Karakterizasyonu, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara, 2007.
- [45] Jones, B.F. And Galan, E., Sepiolite And Palygorskite, Hydrous Phyllosilicates, Reviews In Mineralogy, Mineralogical Society of America, Vol. 19, No.16, 631-667, 1988.
- [46] Santaren, J., Sanz, J. and Ruiz-Hitzky, E., Structural fluorine in sepiolite, Clays and Clay Mineral, 38, 63-68, 1990.
- [47] Funete E., Jarabo R., Moral A., Negro C., Izquierdo L., Effect of Sepiolite on The Behaviour of Fibre Cement Suspension In The Manufacture of Fibre_Reinforced Cement, 11 th Int Inorganic-Bonded Fiber Composites Conference, Spain, 89-97, 2008
- [48] Can, M. F. ve Sepiyolit/Epoksi Nanokompozit Üretimi ve Karakterizasyonu, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2008.

- [49] Nagy, B. And Bradley , W. F., The Structural Scheme of Sepiolite, Clay Minerals, 885-892, Aralık 1954.
- [50] Aydın, E., Sepiyolitin Nem düzenleyici Malzeme Olarak Kullanılma Olanaklarının Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir, 2007.
- [51] Yenyol, M , Yenidoğan (Sivrihisar) Sepiyolit Yatağının Jeolojisi, Mineralojisi ve Oluşumu, MTA Dergisi, 114, 71-84, 1992.
- [52] Akpınar, K., Sepiyolit ve Zeolit Karışımların Tehlikeli Atık Deponi Alanı Dizaynında Kullanılması, Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir, 2005.
- [53] Korkmaz, E. ve Yılmaz Y., Eskişehir Yöresi Sepiyoliti'nin Zeta Potansiyelinin Tayini , Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, 2008.
- [54] Emiroğlu E., Sepiyolitin Harç ve Beton Özelliklerine Etkisinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir, 2008.
- [55] TS EN 679, Gazbeton - Basınç Dayanımı Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, Ocak 2008.
- [56] TS EN 678, Gaz ve Köpük Beton-Kuru Yoğunluk Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, Kasım 1995.
- [57] TS EN 772-10, Kagir Birimler - Deney Metotları - Bölüm 10: Kireç Kumtaşı ve Gazbeton Birimlerde Rutubet Muhtevası Tayini , Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, Kasım 2000.

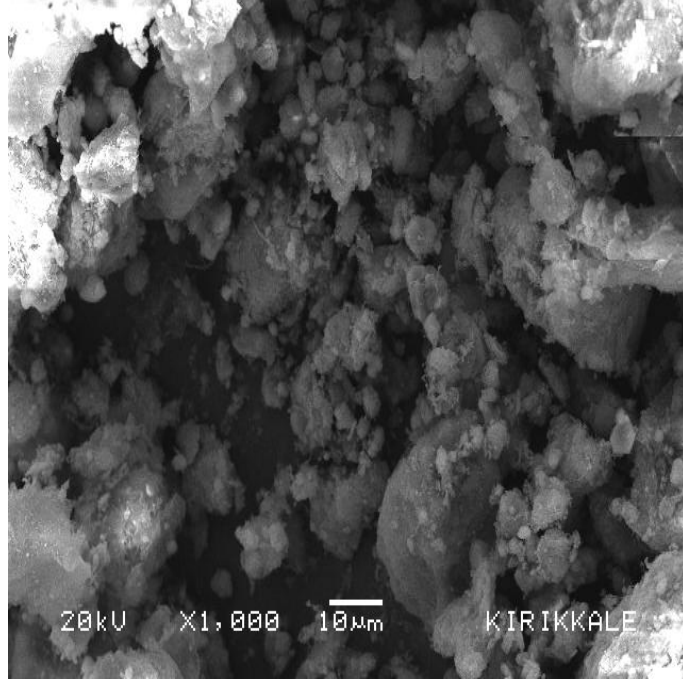
EKLER



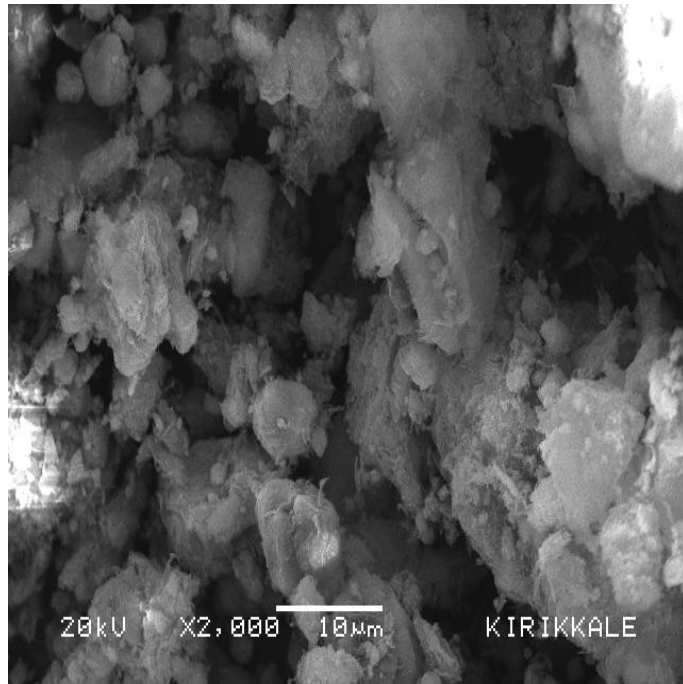
Ek Şekil 1. Sepiyolit SEM görüntüsü (X35)



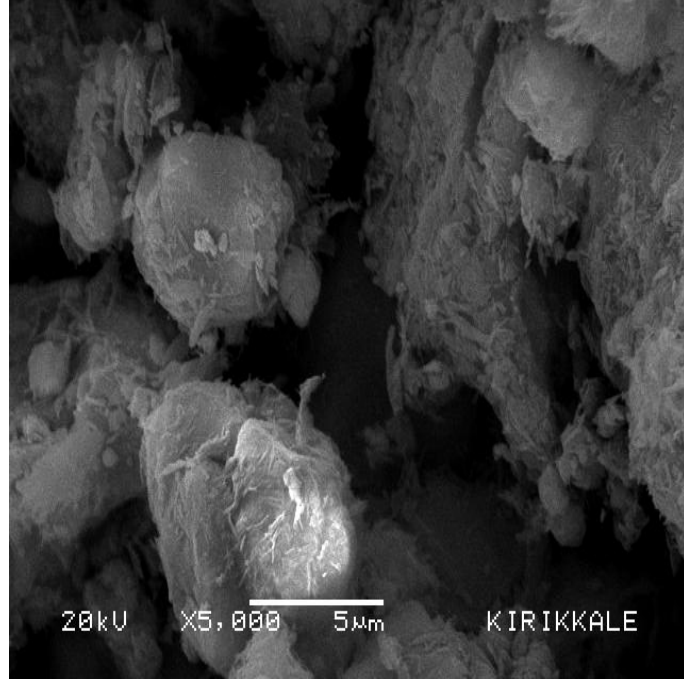
Ek Şekil 2. Sepiyolit SEM görüntüsü (X250)



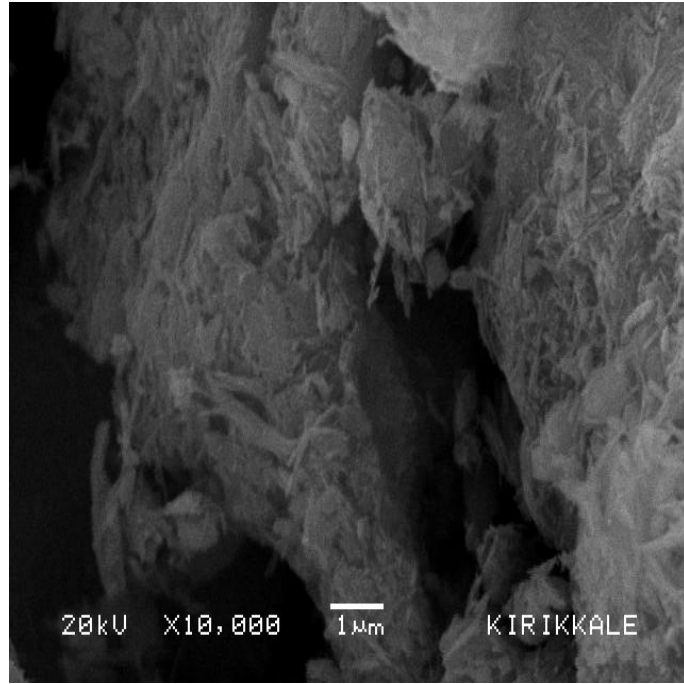
Ek Şekil 3. Sepiyolit SEM görüntüsü (X1000)



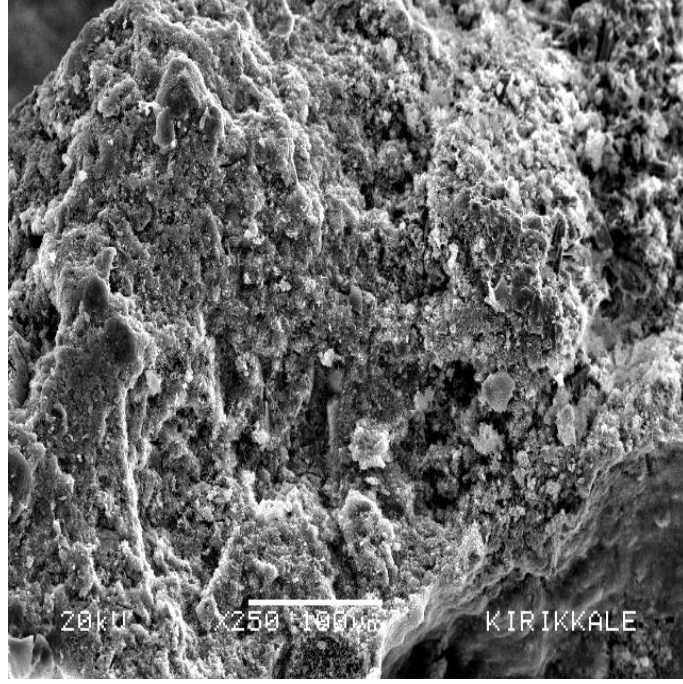
Ek Şekil 4. Sepiyolit SEM görüntüsü (X2000)



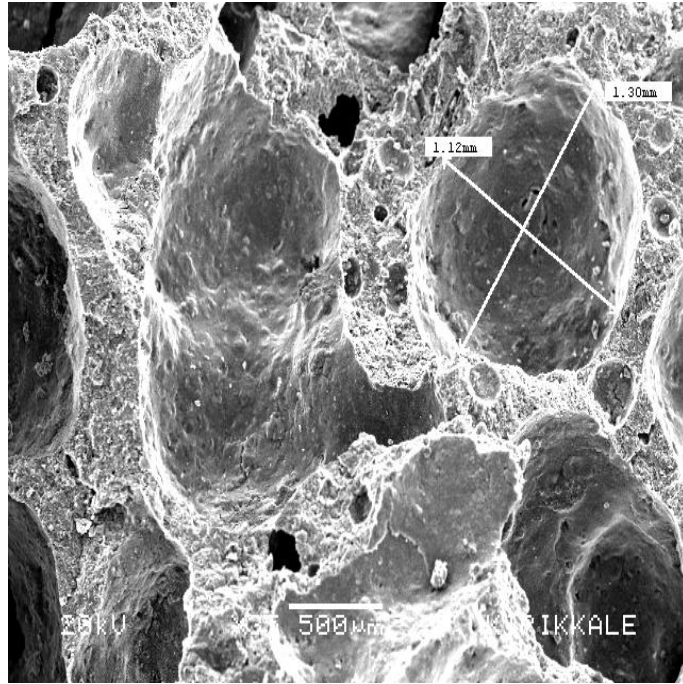
Ek Şekil 5. Sepiyolit SEM görüntüsü (X5000)



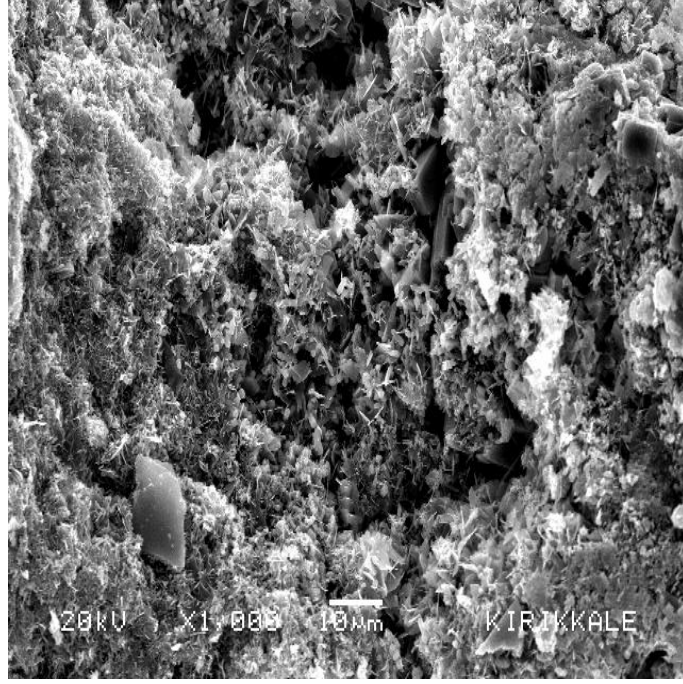
Ek Şekil 6. Sepiyolit SEM görüntüsü (X10000)



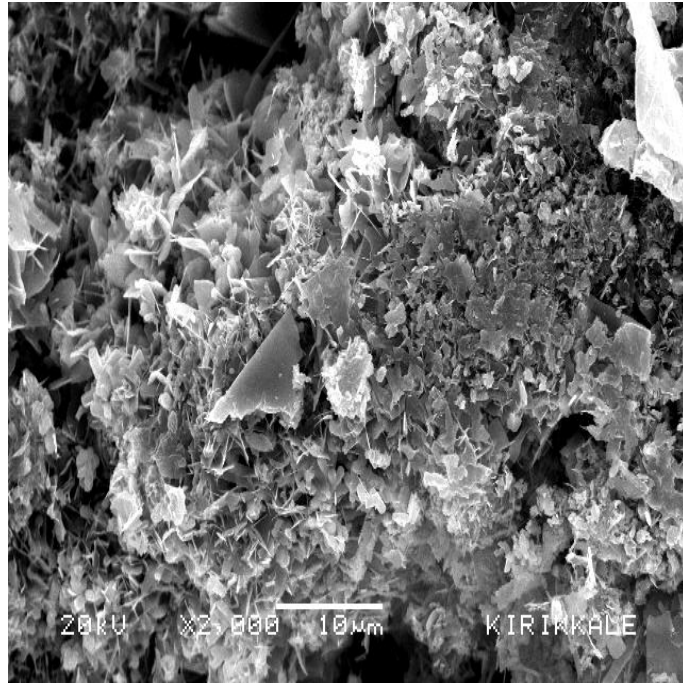
Ek Şekil 7. %0 Sepiyolit ikameli gazbetonun SEM görüntüsü (X250)



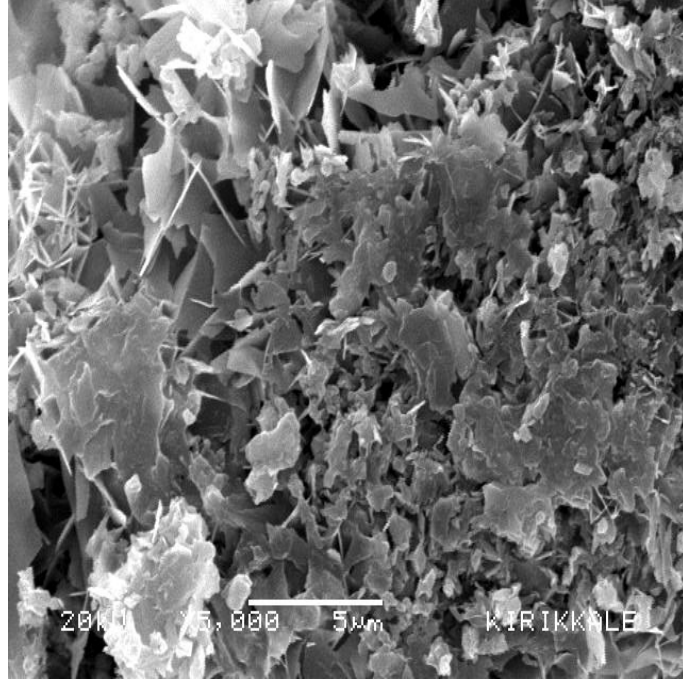
Ek Şekil 8. %0 Sepiyolit ikameli gazbetonun SEM görüntüsü (X500)



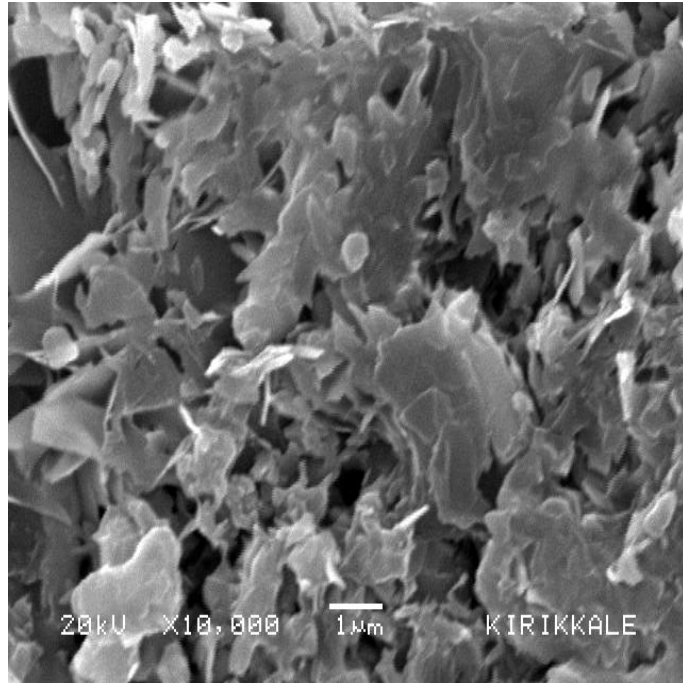
Ek Şekil 9. %0 Sepiyolit ikameli gazbetonun SEM görüntüsü (X1000)



Ek Şekil 10. %0 Sepiyolit ikameli gazbetonun SEM görüntüsü (X2000)



Ek Şekil 11. %0 Sepiyolit ikameli gazbetonun SEM görüntüsü (X5000)



Ek Şekil 12. %0 Sepiyolit ikameli gazbetonun SEM görüntüsü (X10000)