İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

FARKLI YAĞ ASİTLERİ KULLANILARAK ÜRETİLEN ALÜMİNYUM PASTANIN GAZBETON MALZEME ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Gizem URAL

Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı

Kimya Mühendisliği Programı

HAZİRAN 2019

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

FARKLI YAĞ ASİTLERİ KULLANILARAK ÜRETİLEN ALÜMİNYUM PASTANIN GAZBETON MALZEME ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Gizem URAL

(506151034)

Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı

Kimya Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Hanzade AÇMA

HAZİRAN 2019

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 506151034 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Gizem URAL, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı "FARKLI YAĞ ASİTLERİ KULLANILARAK ÜRETİLEN ALÜMİNYUM PASTANIN GAZBETON MALZEME ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN İNCELENMESİ" başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Hanzade AÇMA .....

İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Serdar YAMAN

.....

İstanbul Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Emek MÖRÖYDOR DERUN

.....

Yıldız Teknik Üniversitesi Üniversitesi

Teslim Tarihi : 3 Mayıs 2019

Savunma Tarihi : 12 Haziran 2019

Anneme,

ÖNSÖZ

Bu yüksek lisans tez çalışmasının hazırlanmasında her türlü birikim ve tecrübeleri ile bana yol gösteren, her sorunumla ilgilenen tez danışmanım Sn. Prof. Dr. Hanzade AÇMA'ya, bu çalışmada önce motivasyonu sonrasında da mesleki donanımı ve fedakar yardımları ile bana sürekli destek olan çok değerli Kalite Kontrol uzmanı ablam Ebru ERDOĞAN'a, bu süreçte bana huzurlu ve uygun bir ortam sağlayan, ömrüm boyunca hep yanımda olan harika aileme, bu çalışmanın hazırlığında yolumun kesiştiği Nuh Yapı Ürünleri AŞ.'nin tüm çalışanlarına, en çok da her konuda anlayışı, yaratıcılığı ve birikimleriyle bana en fazla desteği sunan, mesleki anlamda kendime her daim örnek aldığım Nuh Yapı Ürünleri A.Ş. Genel Müdürü Sn. Volkan YALÇINKAYA'ya, özellikle çalışmamın işletmedeki deneme ve değerlendirmelerinde yardımları ve yönlendirmelerinden ötürü Kimya Müh. Hüseyin CENGİZ'e, deneysel çalışmalarda yardımlarını esirgemeyen Kim. Yük. Müh. Ayşen AKTÜRK'e, en içten teşekkürlerimi sunarım.

Haziran 2019 Gizem URAL

(Kimya Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ……...vii
İÇİNDEKİLER ix
KISALTMALAR xi
SEMBOLLER xiii
ÇİZELGE LİSTESİ....……xv
ŞEKİL LİSTESİ xvii
ÖZET……xxi
SUMMARY……....xxiii
1. GİRİŞ……..1
2. GAZBETON 3
2.1 Gazbeton Üretimi 4
2.2 Gaz Betonun Hammaddeleri 5
2.3 Gaz Betonun Özellikleri 8
2.3.1 Gazbetonun mekanik özellikleri 10
2.3.2 Gazbeton malzemenin gözenek yapısı 11
2.4 Gaz Betonun Kullanım Alanları 17
3. ALÜMİNYUM PARÇACIK MALZEMELER 19
3.1 Beton Ürünler İçin Alüminyumun Tarihsel Gelişimi 19
3.2 Atomize Toz 20
3.3 Alüminyum Pul (Flake) 21
3.4 Alüminyum Pasta Kullanım Alanları 25
3.5 Öğütme Prosesi 28
3.6 Kurutma Prosesi 31
4. YAĞ ASİTLERİ 33
4.1 Doymuş Yağ Asitleri 34
4.2 Doymamış Yağ Asitleri 36
4.3 Stearik Asit 39
4.4 Palmitik Asit 41
5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR 43
5.1 Malzemeler 44
5.1.1 Alüminyum folyo 44
5.1.2 Yağ asitleri 44
5.1.3 Kimyasallar 44
5.2 Örnek numune hazırlama 44
5.3 Öğütme 44
5.4 Kurutma 45
5.5 Alüminyum Pasta Analizleri 45
5.5.1 Lazerli boyut dağılım analizi 45

5.5.2 H_2 gazı tayini 48
5.5.3 Aktif Alüminyum Tayini 51
5.5.4 Yaşlandırma Analizi 52
5.6 Gazbeton Analizleri 54
5.6.1 Basınç dayanımı tayini 54
5.6.2 Kuru Yoğunluk Tayini 57
5.6.3 Kuruma Büzülmesi Deneyi 58
5.6.4 BET ve mikroskop analizi 62
6. DENEYSEL ÇALIŞMA SONUÇLARI 63
6.1 Alüminyum Pasta Analiz Sonuçları 63
6.1.1 Aktif alüminyum analizi sonuçları 63
6.1.2 Hidrojen gazı analiz sonuçları 63
6.1.3 Tane boyut analizi sonuçları 67
6.1.4 Yaşlandırma analizi sonuçları 72
6.1.5 Döküm takibi sonuçları 74
6.1.6 Yoğunluk, mukavemet ve rutubet muhtevası analiz sonuçları 75
6.1.7 Gaz beton stereo mikroskop sonuçları 76
6.1.9 BET yüzey analizi sonuçları 80
7. SONUÇ VE ÖNERİLER 81
REFERANSLAR 85
ÖZGEÇMİŞ 91

KISALTMALAR

BET	: Brunauer–Emmett–Teller
CSH	**:** Kalsiyum-Silikat-Hidrat
Exp	: Eksponensiyel
Min	: Minimum
Max	: Maximum
Num	: Numune
PA	: Palmitik Asit
PS	: Particle Sizer
PVD	: Fiziksel Buhar Çöktürme
SA	: Stearik Asit
XRD	: X-ray powder diffraction

SEMBOLLER

ºC	: Santigrat derece
%	: Yüzde
λ	: Isı iletkenlik katsayısı
μ	: Rutubet muhtevası
ρ	: Yoğunluk
μm	: Nanometre
ε	: Rölatif uzunluk değişimi
ΔL	: Uzunluk değişimi
a	: Dedektör ile tane arasındaki mesafe
cm	: Santimetre
D	: Parçacık çapı
Dv	: Hacimsel parçacık boyutu
F	: Maksimum kuvvet
g	: Gram
h	: Yükseklik
I(θ)	: θ açısında parçacığın kırınıma uğrayan toplam ışın şiddeti
I_0	: Gelen ışının şiddeti
J_1	: Birinci derece Bessel fonksiyonu
k	: Dalgaboyu katsayısı
kg	: Kilogram
kgf	: Kilogram kuvvet
L	: Uzunluk
m	: Kütle
m	: Metre
mm	: Milimetre
N	: Newton
P	: Basınç
r	: Parçacık yarıçapı
S	: Saçınan ışının dikey ve paralel bileşenleri

S(θ) : Mie fonksiyonu

T : Sıcaklık

t : Zaman

V : Hacim

wt : Kütlece yüzde

x : Tane boyu

X : Dalga boyu

α : Birimsiz boyut parametresi

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 Çeşitli porozitelere karşılık gelen birim hacim ağırlık değerleri 8
Çizelge 2.2 Kuru gaz betonun birim hacim ağırlığına göre ısıl iletkenlikleri 9
Çizelge 2.3 Ticari bir gaz betonun mekanik özellikleri 10
Çizelge 2.4 Gözenekli beton yapı malzeme ve elemanlarının sınıfları 11
Çizelge 2.5 Gözenek büyüklüklerinin dağılımı, şekli ve kaynağı 15
Çizelge 3.1 Alüminyum toz malzemenin üretim metotlarına göre parçacık şekli ve boyutu 21
Çizelge 3.2 Alüminyum pasta türleri, özellikleri ve uygulama alanları 27
Çizelge 4.1 Doymuş yağ asitlerinin özellikleri..... 35
Çizelge 4.2 Doymuş yağ asitlerinin yapısı ve kaynağı 36
Çizelge 4.3 Doymamış yağ asitleri ve bazı özellikleri 37
Çizelge 5.1 Basınç dayanımlarına göre yükleme hızları 55
Çizelge 6.1 Stearik ve Palmitik asitli numunelerin ortam şartları ve alüminyum aktivitesi sonuçları. 63
Çizelge 6.2 Palmitik ve stearik asitli numunelerinin 2 dakika aralıklarla takip edilen gaz hacim miktarları..... 64
Çizelge 6.3 Palmitik ve stearik asitli birim kütlede hacimsel değerleri..... 64
Çizelge 6.4 Stearik asitle hazırlanan numunenin hacimsel parçacık boyut dağılımı. 69
Çizelge 6.5 Palmitik asitli numunenin parçacıklarının boyut dağılımı. 70
Çizelge 6.6 Malvern PS 3000 Her iki numune için karşılaştırmalı analiz parametreleri. 71
Çizelge 6.7 Alüminyum pasta sınır değerlere göre karşılaştırmalı grafik. 72
Çizelge 6.8 Stearik ve Palmitik asitle hazırlanan numunelerin zamana bağlı yaşlanma oranları. 72
Çizelge 6.9 Stearik ve palmitik asitli numunelerin Vson hesaplanmasında kullanılacak verilerileri. 73
Çizelge 6.10 Döküm esnasında kekin kabarma miktarının yükseklik cinsinden zamana bağlı değerleri 74

Çizelge 6.11 Prizma şeklinde kesilen gaz beton numunelerinin yüzeyleri ve hacim değerleri..... 75

Çizelge 6.12 Stearik ve palmitik asitli gaz beton numunelerinin kuru yoğunlık ve mukavemet sonuçları..... 76

Çizelge 6.13 Üç ayrı stearik ve palmitik asitli numunenin kuruma büzülmesi hesaplamalarında kullanılan parametreleri..... 78

Çizelge 6.14 Stearik ve Palmitik asitli gaz beton numunelerinin ortalama neme göre rötre değerleri..... 80

Çizelge 6.15 Stearik ve palmitik asit numunelerinin spesifik yüzey alanı ve yüzey alanı değerleri..... 80

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 Gazbeton üretim prosesi 4
Şekil 2.2 Gazbeton ham maddelerinin şematik gösterimi 5
Şekil 2.3 Gazbeton numuesinde hava boşluğu yapıları 12
Şekil 2.4 Genişletme ajanı olarak alüminyum tozu ile yapılan bir gazbeton numunesinin hava deliği ve genişleyen çatlak yapısı. 12
Şekil 2.5 Gazbeton iskeletindeki boşluklar ve görüntünün merkezindeki küçük kuvars kalıntısı. 13
Şekil 2.6 Gazbetonda tobermorit materyali ile çevrili iç gözeneği olan bir kuvars tanesi 14
Şekil 2.7 Hava boşluklarının içindeki gözenek duvarlarında bulunan gazbetondaki tobermorit malzeme 14
Şekil 2.8 farklı yoğunluktaki katılardaki gazbeton gözenek tiplerindeki hacimsel fraksiyonu..... 16
Şekil 3.1 Leafing ve non-leafing yapıların film tabadaki konumu 22
Şekil 3.2 Alüminyum pasta üretiminin şematik diyagramı 24
Şekil 3.3 Farklı şekillerde alüminyum flake SEM görüntüleri 25
Şekil 3.4 Alüminyum pigment üretim akış diyagramı 26
Şekil 3.5 Bilyalı değirmenlerin iç kısmı ve plaka dağılımı. 30
Şekil 3.6 Değirmen içinden bilya şarjı ve plakalar 31
Şekil 3.7 Filtre pres, filtre bezi ve sıvının geçiş yolu 32
Şekil 4.1 Yağ asidinin genel formülü. 33
Şekil 4.2 Doymuş yağ asidi zincirinde C atomları 34
Şekil 4.3 Doymamış yağ asidi zincirinde C atomları 37
Şekil 4.4 Stearik asit yapısı. 39
Şekil 4.5 Stearik asit oda koşullarında. 40
Şekil 4.6 Ürünlere göre düzenlenmiş küresel stearik asit pazar tahmini 41
Şekil 4.7 Palmitik asitin moleküler yapısı. 42
Şekil 5.1 Deneysel çalışma akım şeması 43

Şekil 5.2 Malvern PS Mastersizer 3000. 45
Şekil 5.3 Lazer kırınım cihazının genel kurulumu 46
Şekil 5.4 Islak metod ile muamele edilen numune 47
Şekil 5.5 Hidrojen gazı çıkışı deneyi düzeneği 49
Şekil 5.6 Tartılmış alüminyum numuneleri. 50
Şekil 5.7 Alüminyum pasta numunenin nem tayini, Precise XM 50 50
Şekil 5.8 Renklendirilmiş NaCl çözeltisi ile seviye takibi işlemi 51
Şekil 5.9 Aktif alüminyum analiz düzeneği 51
Şekil 5.10 Reaksiyonu başlamış alüminyum pasta numunesi 52
Şekil 5.11 Alüminyumun su ile tepkimesinin gerçekleştiği sıcak su banyosu 53
Şekil 5.12 Gaz beton basınç mukavemeti analiz cihazı, ALŞA 54
Şekil 5.13 Gazbeton numuneleri için 105 ºC'deki nem cihazı. 56
Şekil 5.14 Kabarma yönüne göre prizme numunelerin kesilme şekli. 58
Şekil 5.15 Uzunluk değişimlerini ölçmek için kullanılan komparator. 60
Şekil 5.16 Kütleye bağlı rutubet muhtevasına (µm) göre, nispi uzunluk değişimi (ε_{cs}) grafiği. 61
Şekil 5.17 Zeiss™ stereo mikroskop (A), NOVA 1200 BET analiz cihazı (B). 62
Şekil 6.1 Stearik asitli alüminyum pasta numunesinin hidrojen gazı eğrisi. 65
Şekil 6.2 Palmitik asitli alüminyum pasta numunesinin hidrojen gazı eğrisi. 65
Şekil 6.3 Stearik asitli ve palmitik asitli pastaların karşılaştırılmalı hidrojen gazı eğrisi. 66
Şekil 6.4 Kümülatif eğriden frekans eğrisine geçiş. 67
Şekil 6.5 Stearik asitli numunenin Malvern PS 3000 cihazı ile yapılmış freakans eğrisi. 68
Şekil 6.6 Palmitik asitli numunenin Malvern PS 3000 cihaz ile yapılmış freakans eğrisi. 69
Şekil 6.7 Palmitik ve stearik asitli numunenin Malvern PS 3000 cihaz ile yapılmış freakans eğrisi. 70
Şekil 6.8 Stearik ve palmitik asitli pasta numunelerinin karşılaştırmalı yaşlanma grafikleri 73
Şekil 6.9 Kek yüksekliklerinin karşılaştırmalı grafiği. 74
Şekil 6.10 (A) Stearik asit, (B) Palmitik asitle hazırlanmış pasta ile dökülen gazbeton malzemenin yüzeylerinin fotoğrafı 76
Şekil 6.11 Stereo mikroskopta (a) Stearik asitli numune, (b) palmitik asitli numunelerin nin 8x büyütmeli görüntüleri. 77
Şekil 6.12 Stereo mikroskopta (a) Stearik asitli numune,(b) palmitik asitli numunelerin nin 20 x büyütmeli görüntüleri 77

Şekil 6.13 Stereo mikroskopta 8 x büyütme ile palmitik asit numunesinin iri boyutlu hava gözeneği görüntüsü..... 78

Şekil 6.14 Stearik asitli numunenin kütleye bağlı rutubet muhtevasına (µm) göre, nispi uzunluk değişimi (εcs) grafiği. 79

Şekil 6.15 Palmitik numunenin kütleye bağlı rutubet muhtevasına (µm) göre, nispi uzunluk değişimi (εcs) grafiği. 79

FARKLI YAĞ ASİTLERİ KULLANILARAK ÜRETİLEN ALÜMİNYUM PASTANIN GAZBETON MALZEME ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

ÖZET

Günümüz yapı malzemelerinden dünyanın her yerinde kabul görüp üretilen ve kullanılan gaz beton, yangın güvenliği, ısı yalıtım özellikleri ve en önemlisi deprem bölgesinde bulunan ülkemizdeki yapıların güvenle inşa edilmesi açısından en fazla tercih edilen malzemelerin başında gelmektedir. Gazbeton üretimi için kireç, çimento, kum, alçı gibi birçok hammadde girdi olarak kullanılmaktadır. Gazbetona hacim kazandıran ve boşluklu yapısının oluşmasına sebep olan alüminyum tozu da bu hammaddelerle beraber oldukça fazla öneme sahip bir girdidir. Gazbetona en önemli avantajı sağlayıp hem hafifliğini hem de ısı ve ses yalıtım özelliğini kazandıran boşluklu yapı büyük ölçüde alüminyum toz malzemeler sonucunda oluşmaktadır.

Alüminyum toz malzeme bu denli öneme sahipken aynı zamanda kullanımından doğan ciddi tehlikeler de barındırmaktadır. Gazbeton prosesinde reaksiyon sonucu hidrojen gazı oluşturan alüminyum toz malzemeler havaya yayılabilecek oldukça ince tanecik yapısına sahiptir. Bu sayede en küçük bir tetikleyici (asit, alkol, oksitleyici maddelerle, kıvılcım kaynağı) ile temas ettiğinde yanma ve dahası patlama riski taşımaktadır. Havaya yayılan küçük toz taneleri yanarken birbirini tetiklediğinden, oluşabilecek bir yangının kontrol altına alınması da zordur. Ayrıca alüminyum tozu uzun süren maruziyetlerde insan vücudunda ağır metal birikiminden kaynaklanan sağlık sorunlarına da sebebiyet vermektedir. Böylelikle alüminyum tozu ile çalışmak zorunda kalan kişiler için ciddi tehlikeler barındırmaktadır.

Tüm bu sebeplerle bu malzemenin yerine geçebilecek tozuma ve havada dağılma riski olmayan solvent ile karışabilen alüminyum bazlı malzemelere ihtiyaç doğmuş, alüminyum pasta adı verilen ürünler kullanılmaya başlanmıştır. Hem prosese besleme kolaylığı açısından hem de güvenilirliği ile alüminyum pasta malzemeler, bir alüminyum kaynağı ve belirli kimyasal malzemeler içeren ve gaz betona boşluklu yapı kazandıran bir kabartıcı malzeme olarak gün geçtikçe daha fazla tercih edilir olmuştur.

Alüminyum pasta sadece gazbeton üretim proseslerinde değil, metalik etkili pigmentlerde, plastik sektöründe masterbatch olarak, endüstriyel, dekoratif boyalarda ve otomativ boyalarında yansıtıcı olarak ve daha birçok alanda kullanımı olan bir malzeme haline gelmiştir. Üretim prosesi ve reçeteleri değişikliklere uğratılarak, farklı alanlarda değişik ihtiyaçlara yönelik malzemeler üretilmektedir.

Bu tez çalışmasında alüminyum kaynağı olarak hurda alüminyum folyoları kullanılarak üretilen alüminyum pastanın iki farklı doymuş yağ asidi katkısı ile gazbeton malzemeye nasıl etkileri olduğu incelenmiştir. Atık folyo hurdalarının

kullanılması bu çalışmanın çevre dostu bir geri dönüşüm prosesi olarak da değerlendirilebileceğini göstermektedir. Böylelikle hammadde maliyeti de azaltılmıştır. Alüminyum pasta kullanımında solvent olarak su kullanılmıştır. Bu sayede çevreye duyarlı, kokusuz ve düşük kimyasal içerikli bir malzeme üretilmiştir.

Eşit koşullarda, aynı miktarlarda stearik asit ve palmitik asit kullanarak üretilen alüminyum pasta numunelerinin hidrojen gazı tayini, aktif alüminyum tayini, tane boyut analizi ve yaşlandırma testleri ile kontrollü karşılaştırması yapılmıştır. Ardından bu iki pasta numunesi proseste aynı koşullarda kullanılarak, işletme takibi yapılarak gazbeton üretilmiştir. Üretilen gaz beton numuneleri dayanım, yoğunluk, nem, kuruma büzülmesi gibi gözenekli yapıdan doğrudan etkilenen özellikleri analiz edilerek karşılaştırlmış, ve alüminyum pastanın reaksiyonu sonucu ortaya çıkmış olan makro gözenek yapıları mikroskopla incelenmiştir.

Sonuç olarak her iki doymuş yağ asidinin de gaz beton için alüminyum pastada kullanılabilirliğinin olduğu ancak stearik asidin çoğu deneyde en iyi sonucu vererek tercih edilebilir olduğu belirlenmiştir. Projeyi bir adım daha ileri taşımak için özellikle ürünün raf ömrünü arttırıcı bir takım çalışmalarla bu ürüne katkı sağlanabileceği de öngörülmüştür.

INVESTIGATION OF THE EFFECTS OF ALUMINUM PASTE PRODUCED USING DIFFERENT FATTY ACIDS ON THE AUTOCLAVED AERATED CONCRETE MATERIAL

SUMMARY

Autoclaved aerated concrete (AAC) is one of the most preferred building materials for fire safety, heat insulation properties, and most importantly, the safe construction of the buildings located in the earthquake zone of our country, all around the world nowadays. With heat resistance up to 1200 ^{o}C, Autoclaved aerated concrete, which is gradedas "A1 class non-combustible" material according to the regulations on the safekeeping of buildings from fire, is best solution for the construction of buildings Many raw materials such as lime, cement, sand, gypsum are used for the production of Autoclaved aerated concrete as input.

The aluminum powder, which causes the formation of porous structure and makes increase the volume of Autoclaved aerated concrete, is also very important input with these raw materials. A large part of porous structure of autoclaved aerated concrete is formed as a result of aluminum powder materials that provides not only lightness but also the heat and sound insulation feature to autoclaved aerated concrete. Autoclaved aerated concrete material, which has air pore as 80% of its volume, gains very light weight structure.

Although aluminum powder material is so important, it also has serious hazards arising from its use. In the autoclaved aerated concrete production process, the aluminum powder materials have fine grain structure that can be released into the atmosphere produce the hydrogen gas as a result of the reaction. In this way, even if with the smallest trigger (acid, alcohol, oxidizing agents, spark sources) contact with the fine particles, combustion and explosion risks come in sight. It is also uncontrollable fire that may occur, as the fine dust particles that have large surface area trigger each other while burning that spread out to the air. In addition, health issues are realized caused by heavy metal accumulation of aluminum powder in the human body during long-term exposures.

The aluminum paste materials have become increasingly preferred day by day as they consist of aluminum source and certain chemical materials, which make the porous structure gain to autoclaved aerated concrete as a building material. Aluminum paste has become an advantageous material because of its easy feeding into the process and safe working conditions.

Due to all these reasons, the special material called aluminium paste which contains solvent or water has been used as aluminum based materials in autoclaved aerated concrete production process do not have any risk of dusting and dispersion in the air.

Aluminum paste has become a material which is used not only in utoclaved aerated concrete production processes but also in metallic effect pigments, as masterbatch in plastic sector, as a reflector in industrial, decorative paints and automotive paints and in many other fields. Production process and product formulations are subject to changes and materials are produced for different needs in variable areas.

In this thesis, effect of aluminum paste products on autoclaved aerated concrete which contain two types of saturated fatty acids by using aluminum foil scraps were investigated.

The saturated fatty acids that was used in this study are obtained from both animal fats and plant oils. Saturated fatty acids are straight-chain organic acids with an even number of carbon atoms. There are two types of saturated fatty acids which are stearic and palmitic acids were examined as coating and lubricating material in this thesis.

Stearic acid is a fatty acid that is commonly found in nature and has the general chemical properties of carboxylic acids. Almost all types of fat and fat contain a certain amount of stearic acid with a relatively high content of animal fat. Stearic acid is widely used; It is used as emulsifier in pharmaceutical and cosmetic industry, as excipient in textile, accelerator and softener activator in rubber. This material is also used for wax making, crayon making, soap hardening. Stearic acid is used together with glucose in confectionery. It is used to cover metal powders such as aluminum and iron in fireworks. In this study, stearic acid prevents oxidation of aluminum, prolongs the waiting period of the material and prevents the reaction with water by coating.

Palmitic acid is another member of the saturated fatty acid group of 16 carbons found in plants and animals. This acid was first obtained from palm oil. Despite its wide distribution, palmitic acid, which is not found in oil in large amounts, generally constitutes 5% of the total fatty acid and is found in 10% of known vegetable oils (peanut oil, soy, corn, coconut oil) and in marine animals. Lard, tallow, cocoa, butter, palm oil contain 25-40% of this component. This acid has good color and oxidation stability. Salts of palmitic acid with alkalis dissolve more in water than salts of stearic acid. Palmitic acid is widely used in cosmetics, wax formulations and waxes. It is also used in the production of these acid emulsifiers, in the production of anionic and nonionic surfactants, in the production of textile chemicals and soap-detergents, as an antifouling agent in foodstuffs.

As first step of the study, aluminum paste was prepared with the help of same amount of stearic and palmitic acid at the same conditions then, hydrogen gas determination, active aluminum determination, particle size analysis by particle sizer and aging tests are applied comparatively. After that by using these aluminum paste materials, autoclaved aerated concrete samples were produced with monitoring of process. All the conditions kept constant during manufacturing process. Samples were chosen as aluminum paste, aluminum powder and mixture of aluminum powder and paste materials comparatively. The autoclaved aerated concrete samples for each saturated fatty acids were compared by analyzing the properties directly affected by the porous structure such as strength, density, moisture, drying shrinkage, additionally the macro pore structures were examined by stereo microscope. Also surface area and specific surface area values of samples were determined by BET analyze technique.

In the frame of that project, use of waste foil scraps indicates that this study can also be considered as an environmentally friendly recycling process. Thus, the cost of raw materials was reduced by using scrap raw material. Water is used as solvent in aluminum paste production and also lubricating medium for milling process. In this way, environmentally sensitive, odorless and low chemical content material has been produced.

As a result, it has been determined that stearic and palmitic acids have the usability of aluminum paste for autoclaved aerated concrete but stearic acid has the best result in most experiments and its preferability is determined.

In order to take the project one step further, it is also envisaged that a number of studies that increase the shelf life of the product can contribute to this product.

1. GİRİŞ

Ülkemizde son yıllarda gittikçe artan deprem endişesi ile yapıların sağlam olması gerekliliğinin yanı sıra, bina yüklerini azaltan, hafif ve dayanıklı malzemelere olan yönelimi de arttırmıştır. Bu açıdan diğer yapı ürünlerine nazaran, ısı yalıtım özelliği fazla, daha hafif aynı zamanda da dayanıklılık bakımından daha iyi performans göstere ürünlere olan ihtiyaç gün geçtikçe artmaktadır. Gazbeton teknolojisi yarım yüzyılı aşkın bir ilerleme ile sonunda günümüzde inşaat sektöründe değişik ihtiyaçlara cevap veren, üretim anlamında farklı çeşitliliklere uzanan ve 1970'lerden sonra ülkemizde de giderek daha çok yaygınlaşan bir alan haline gelmiştir. Gazbeton, imalat sürecinde enerjiden tasarruf edilmeyi sağlayan ve yapılarda kullanımında ısı yalıtımına katkı sağlayan, hammaddeleri kuvarsit (kum, kumtaşı), çimento, sönmemiş kireç ve suyun karışımından oluşup çoğunlukla kireçli ve silikatlı girdilerden oluşturulmaktadır. Ardından basınçlı buhar bulunan ortamda mukavim hale getirilen, kalsiyum silika hidratlardan meydana gelen, yanmayan, özgün ve boşluklu yapıda bir hafif beton malzeme oluşturulmaktadır. Betondan ve diğer yapı ürünlerinden daha hafif olan gaz beton buna ek olarak kolay sıva tutma özelliği ile beraber ses yalıtımı ve yanmazlık özelliği ile de tercih edilmektedir.

Bu esnada bir malzeme vardır ki gazbetonun hacim kazanmasını sağlar ve içerisindeki boşlukların dağılımından sorumludur. Bu malzeme alüminyum toz veya pul şeklindeki alüminyum malzemedir. Bu malzemenin parçacık boyutu, şekli, miktarı ve kullanım zamanı işlevini tamamen değiştirici unsurlardır. Ancak son dönemlerde, bu kabartıcı malzemenin alüminyum toz formu depolama ve üretimde besleme esnasında patlama riski taşıdığından, alüminyum pasta formu kullanıma teşvik edilmektedir. Yeni teknoloji ile kurulan üretim tesislerinde alüminyum toz kullanımı azalmış ve yerine pastanın kullanılabileceği sistemler getirilmiştir.

Tekrar kullanılabilme potansiyeli taşıyan atık malzemelerin bir takım fiziksel ve/veya kimyasal işlemlere tabii tutularak ikincil hammaddeye çevrilmesi ve yeniden imalat süreçlerine dâhil edilmesi bilindiği üzere geri dönüşüm olarak isimlendirilir. Farklı bir tanımlamayla her hangi bir sebeple kullanım dışı kalan ve geri dönüşebilen

atık ürünlerin dönüşüm yöntemleri kullanılarak ve işlenerek girdi olarak tekrar üretim süreçlerine kazandırılması olarak tarif edilebilir.

Geri kazanılabilecek demir, çelik, bakır, kurşun, kâğıt, plastik, kauçuk, cam, elektronik atıklar gibi malzemelerin tekrar dönüştürülmesi doğal kaynakların boş yere yitirilmesinin önüne geçecektir. Böylelikle; ülkelerin ihtiyaçlarını karşılayabilmek için ithal edilen hurda malzemeye ödenen yabancı para miktarını da azaltacak, kullanılan enerjiden de fazlasıyla tasarruf sağlanacaktır. Bu noktada alüminyum malzeme kaynağının bir kısmı veya tamamının hurda folyolardan elde edilmesi fikri de yeni hammadde ihtiyacını ortadan kaldırarak hali hazırda atık olarak çıkan alüminyum hurdalarını geri kazandırarak işlevsel hale getirir. Bu şekilde alüminyum folyonun geri dönüşümünden belli oranda enerji tasarrufu sağlanabilir. Ayrıca her yıl fazlasıyla çıkan bu atıkların üretimde kullanılabilir ürün haline gelmesiyle sürdürülebilir bir geri kazanım prosesi yürütülmüş olur.

Tüm bunlar göz önüne alındığında atık malzemeden üretilen, verimli ve proses dostu bu malzemenin yerli bir firma tarafından üretilmeyip ülkemizde ihtiyaç sahibi gaz beton üreticileri tarafından yurtdışından ithal edildiği de düşünülünce bu konuda çalışmanın gerekliliği ve önemi ortaya çıkmaktadır.

2. GAZBETON

Gazbeton % 70-80 oranında gözeneklerden oluşan, yoğunluğu düşük hafif bir yapı ürünüdür. Yapısındaki gözenekler küçük, yuvarlak ve homojen bir dağılımdadır. Beton ya da kâgir malzemelere oranla çok hafif ve içindeki hava boşlukları nedeniyle yüksek ısı yalıtım özelliğine sahip olduğundan avantajlı bir malzemedir ve bu kabarcıklar sayesinde gaz beton adını almıştır. İngilizce adı ‘’Autoclaved Aerated Concrete (AAC)’’, Almanca adı Porenbeton ’dur [1].

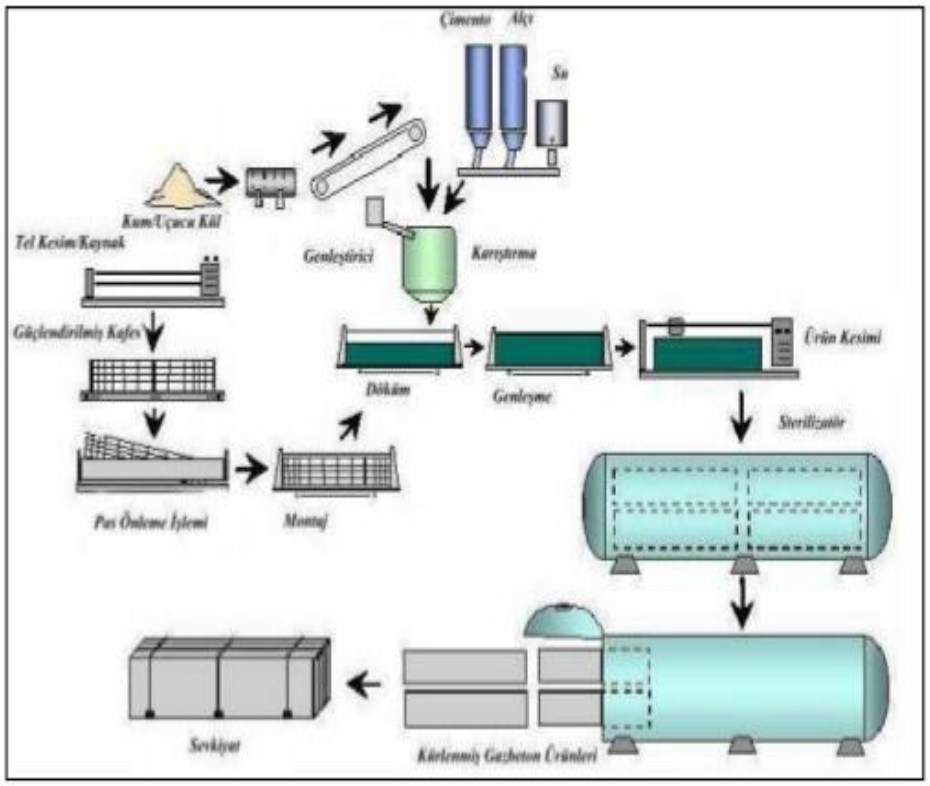
Tarihi gelişiminden bahsetmek gerekirse, 1923 yılında İsveçli mimar Johan Eriksson tarafından ilk patenti alınan bu ürün buhar kürü uygulanan betonlarda alüminyum kullanmayı kapsamakta olup ticari olarak yine İsveç’te 1929 yılında üretimine başlanmıştır. Ahşap yapı malzemelere benzer özelliği artı ısı yalıtımı özelliği sayesinde kısa zamanda tercih edilir hale gelmiş ve 2. Dünya savaşı sonrası dünyanın diğer bölgelerine yayılmıştır [2].

TSEN 77-4 Gaz beton blok yapı malzeme ve elemanları standardı gaz betonu tanımlamıştır. İnce öğütülmüş silisli agrega ve inorganik bağlayıcı madde (kireç, çimento) ile hazırlanan karışım gözenek oluşturacak bir madde ilavesi ile hafifletilerek ve belirli rejimlerdeki buhar kürü uygulanarak sertleştirilir [3].

Kum çimento, sönmemiş kireç, düşük miktarda alçı taşı ve su karışımına gözenek oluşturucu alüminyum tozu ilavesiyle milimetrik kesilerek otoklavlarda nihai kristal yapısına ulaşan gazbeton bu şekilde yangına ve depreme karşı dayanıklı, iyi ısı yalıtımı olan, hafif ve yeterli basınç dayanımını sağlayabilen bir malzeme olarak kullanılır. Silisli agrega olarak silisli kum, kuvarsit veya uçucu kül kullanılabilir. Gözenek oluşturucu malzeme ise oldukça önemlidir çünkü malzemedeki %80 oranında ve her biri 0,5 ile 1,5 mm arası hava boşluklarının oluşumu bu malzemenin miktarsal ilavesi ile ayarlanır. Alüminyum tozu veya alternatif olarak alüminyum pastası kullanılabilmektedir [2].

2.1 Gazbeton Üretimi

Gazbeton üretimi, hammaddelerin her birinin ölçülüp karıştırılmasıyla başlar. Karıştırma katkı sıralaması ve süreleri ayarlanabilir. Arkadan gelen diğer proses kademeleri için malzemenin belirli bir yoğunlukta olması gerekir, bu karışım karıştırılıp forme adı verilen kalıplara dökülür ve kimyasal tepkimeler meydana gelir. Alüminyum tozu kireçten gelen kalsiyum hidroksitle ve su ile tepkimeye girerek hidrojen gazı çıkışına sebep olur böylelikle karışım içinde gaz boşlukları oluşarak hacmi artan bir yapı oluşturulur. Karışımın kalıplara dökülmesi esnasında kalıbın %40 dolacak şekilde döküm yapılmasına dikkat edilmesi gerekmektedir. Yaklaşık 30 dakikada tepkimeler gerçekleşir ve oluşan kekin kesim sertliğine ulaşması için bir süre beklenir. Ardından standardına uygun ölçülerde kesilen bloklar buhara maruz kalmak için otoklava alınır. Otoklavlarda 10-12 barda doymuş buhar 180-200 ^{O}C sıcaklıkta 10-12 saat kadar kalır. Buradan sonra bir miktar soğuyan gazbeton ürünler paketleme sahasına gönderilir ve istenilen ebatlar halinde torbalanarak son ürün halini alır. Şekil 2.1 2de Gazbeton üretim proses aşamaları görülmektedir.



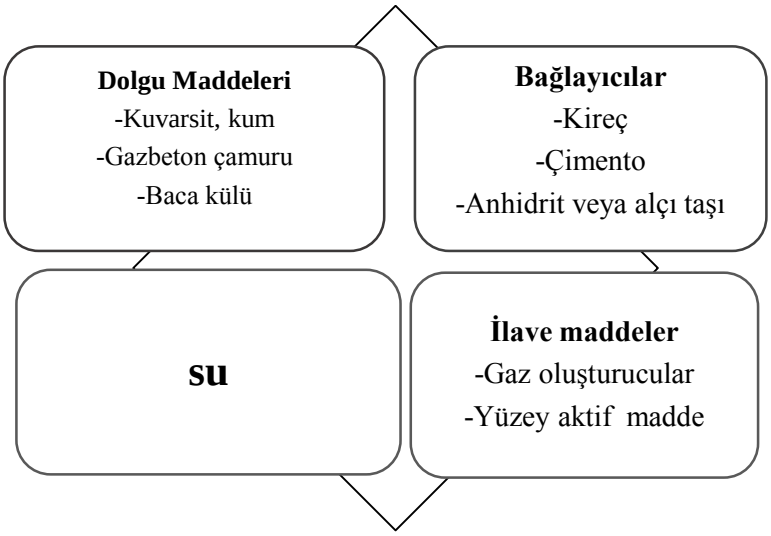
Şekil 2.1 Gazbeton üretim prosesi

2.2 Gaz Betonun Hammaddeleri

Gaz betonda kullanılan hammadde kaynaklarının malzemenin oluşumu esnasında ayrı ayrı görevleri vardır. Bu hammaddelerin fiziksel ve kimyasal özellikleri, miktarları, üretim esnasında ilave edilme sıralamaları oldukça önemlidir. Hammaddeler ise; dolgu maddeleri, bağlayıcılar, ilave maddeler ve su olarak dört ana grupta toplanarak şekil 2.2'de gösterilmiştir.

Gaz betonun temel bileşimini silisli malzeme (kuvars, kuvarsit veya kuvars kumu) oluşturmaktadır. Gaz betonunun dayanımını arttıran bu hammaddelerin SiO_2 miktarı % 80'den büyük, alkali miktarı ise % 2'den az olmalıdır. Diğer taraftan basınç dayanımını olumsuz etkilemesi nedeniyle organik bileşikler ile otoklavlarda aşınmaya neden olan klorun varlığı da istenmemektedir. Silis kumunun yüzeyinde çözünen silis ile kireç ve çimentonun kalsiyum oksitleri tepkimeye girerek kalsiyum hidrosilikatları ve tobermoriti oluşturur. Kumun inceliğinin faz oluşumuna önemli derecede etkisi vardır ve silisli yapının tepkimeye girmesi için kumun yüzeyinin aşındırılması gerekmektedir.

Bu yüzden kum prosese katılmadan önce bilyalı değirmenlerde öğütülür ve belli tane boyutlarına getirilir. Olması gerekenden iri öğütülen kum yüzeyinde istenilenden az miktarda çözünebilir silis açığa çıkar ve böylece bağlayıcılardaki CaO ile yetersiz miktarda tobermoriti oluşur



Şekil 2.2 Gazbeton ham maddelerinin şematik gösterimi

.

Aşırı ince öğütülen kum ise fazla silisin açığa çıkması ile otoklavdaki sertleşme başlangıcında çok ve uygun olmayan morfolojide kalsiyum hidrosilikat kristali oluşturur bu kristaller tobermorite dönüşemez. Kumda boyut viskozite ve sıcaklık önemli parametrelerdir.

Kireç gazbeton prosesinde kimyasal enerji (ısı) kaynağıdır. Kalsinasyonuna bağlı olarak da orta sert yanmış türü kullanılmaktadır. Gazbeton üretiminde kullanılan kirecin CaO miktarı % 80'den fazla ve magnezyum oksiti (MgO) az olmalıdır. Kireç, kür işlemi sırasında karışım suyu ile tepkimeye girerek $Ca(OH)_2$'i oluşturmaktadır. Kirecin sönmesi sırasında açığa çıkan ısı, sertleşmeyi hızlandırmaktadır. Döküm kabarma ve kesim sertliğine gelme esnasında kimyasal enerji kaynağı oluşturduğu aşağıdaki tepkimelerde görülmektedir.

$$CaO + H_2O \rightarrow Ca(OH)_2 + 278\,Kcal/kgCaO \quad (2.1)$$

$$2Al + 3Ca(OH)_2 + 6H_2O \rightarrow 3CaO.Al_2O_3.6H_2O + 3H_2 \quad (2.2)$$

Ortamda bulunan ve henüz alüminyumla tepkimeye girmemiş sönmüş kireç ise sertleşme sırasında $xCa(OH)_2 + ySiO_2 + zH_2O$ ekzotermik tepkimeye girerek gazbetonun temel iskeletini oluşturan çeşitli kalsiyum hidrosilikat bileşiklerini oluşturur. Kireç aktivitesi ve inceliğine bağlı olarak hızlı tepkimeye girer ve ortamdaki suyun sıcaklığı kireç hidratasyonu ile doğrudan bağlantılıdır. Suyun sıcaklığının her 10^oC artışı ile iki kat artar. Kireç hidratasyonu sonucu açığa çıkan ısı kütleyi ısıtır ve serbest suyun buharlaşmasına neden olur.

Alçıtaşı (Dihidrat veya Jips), gazbetonun basınç dayanımını yükseltmekte, karışım içindeki kirecin sönme hızını düzenlemekte ve dona karşı dayanıklılığı artırmaktadır. Ayrıca malzemenin son ürün haline gelmeden önce fiziksel veya kimyasal değişikliklere uğrayarak hacimsel anlamda değişime uğraması büzülüp kılcal çatlaklar meydana getirmesi durumunda ortaya çıkan ve rötre denen olumsuz özelliği de minimize etmektedir. Tepkimeyi yavaşlatarak daha sağlıklı gözenek ve kristal yapı oluşturur ve (SO_4^- anyonu ile) böylelikle mukavemete de olumlu katkı sağlar. Üretimde belli bir inceliğe getirmek suretiyle (öğütme prosesi) kullanılır.

Çimento CaO'in SiO_2 Al_2O_3 Fe_2O karıştırılarak sinterleşme tepkimesine kadar ısıtılmasıyla elde edilir. Ana girdiler kalker ve kilden oluşur. Gazbeton üretiminde

kullanılan çimento açıkta su ile tepkimeye girerek otoklavda 190° C sıcaklıkta kür işlemi sırasında bağlayıcı ve sertleştirici rol üstlenmektedir. Çimentonun esas bileşenlerini oluşturan C_2S ve C_3S, gazbetona yüksek basınç dayanım özelliği sağladığından bu bileşenlerin toplam miktarı % 70'den fazla olmalıdır [4].

Alüminyum tozu ise en önemli hammaddelerden biri olup, gazbeton üretiminde su ve $Ca(OH)_2$ (kireçten gelen) le tepkimeye girerek hidrojen (H_2) gazı çıkarır. Çıkan H_2 gazı kısmi basıncı ile ortamı terk etmek isterken gazbetonun gözenekli ve kabarmış kek yapısı kazanmasını sağlamaktadır [5]. Gaz oluşumu basitleştirilmiş olarak aşağıdaki tepkime sonucu gerçekleşmektedir:

$$2Al + 3Ca(OH)_2 + 6H_2O \rightarrow 3CaO.Al_2O_3.6H_2O + 3H_2 \qquad (2.3)$$

Al tozu büyük spesifik yüzey alanına ve dolayısıyla yüksek bir tepkime hızına sahiptir. Yığın yoğunluğu, serbest alüminyum yüzdesi, taneciklerin yapısı oldukça önemli tepkime parametreleridir. Reaktivite alüminyum partiküllerin yapraksı oluşundandır. Al tozu tepkimesi kromoksit (Cr_2O_3) ve potasyum bikromat ($K_2Cr_2O_7$) ve çimento geciktirir. Geciktirilmiş alüminyum tozu döküm viskozitesini de azaltmaktadır. Al tozu ile beraber bilinmesi gereken en önemli parametrelerden biri H_2 gazı çıkışıdır. Al tozu üretimde beraber kullanılan kirecin özelliklerine çok bağlıdır. Yumuşak yanmış kirecin çok hızlı tepkimeye girmesi sonucu çıkan kimyasal enerjiyle alüminyum tozu hızlı tepkimeye girer ve ani H_2 gazı çıkışı olur ki bu da kekte çökmenin bir nedeni olarak gösterilebilir. Alüminyum tozunun parçacık boyutundan ziyade spesifik yüzeyi tepkimeyi önemli ölçüde etkiler. İnce yapraksı ve kalın yapraksı yapısının bu anlamda önemi büyüktür. Alüminyum toz malzemede dikkat edilecek özellikler;

- Aktif alüminyum tozu miktarı
- Spesifik yüzey alanı
- H_2 gaz çıkışı (eğrisi)
- Süspansiyon olma özelliği

Tüm bunlara ek olarak proses çevrimine dahil edilmek üzere yaş kesme atıkları su ile çamur haline getirilerek kum çamuruna belli bir oranda katılmaktadır.

Literatürde XRD çalışmaları sonuçlarına göre ana tepkime ürünü kalsiyum silika hidrat (C-S-H) grubudur. Hidratasyon ürününü ise bir arada bulunan kristaller, yarı

kristaller ve tobermoriti oluşturmaktadır. Gaz beton oluşumunda meydana gelen kimyasal tepkimeler aşamalı olarak aşağıda gösterilmiştir [6].

$$CaO + H_2O \rightarrow Ca(OH)_2 + 278\ Kcal/kg \quad (2.4)$$

$$2Al + 3Ca(OH)_2 \rightarrow 3CaO.Al_2O_3 + 3H_2 + 3676\ Kcal/kg \quad (2.5)$$

$$5Ca(OH)_2 + 6SiO_2 + 5{,}5H_2O \rightarrow 5CaO.6SiO_2\ 5{,}5H_2O + 5H_2O \quad (2.6)$$

Otoklavda 10-12 bar 190-200 ^oC'lere çıkaran doygun buhar ile belli bir süre dökümden çıkan keklere muamele edilir. Burada da bazı önemli tepkimeler artarda gerçekleşmektedir. Üç aşamalı tepkime akışı şöyledir;

- Silikat asidi (termodinamik ve fizikokimyasal etkilerle) $\rightarrow H_3SiO_4^-$ ve $H_2SiO_3^-$ anyonlarını verecek şekilde dissosiye olur.
- $Ca(OH)_2 \rightarrow Ca^+ + 2OH^-$ (dissosiye)
- Silikat asidi anyonları +su + Ca^+ katyonları $\rightarrow$Kalsiyum hidrosilikat kristalleri

2.3 Gaz Betonun Özellikleri

Gaz beton yapısında mikro gözeneklerle çevrili makro gözenekli bir yapıdadır. Makro gözenekler maddenin içinde sürüklenen hava kabarcıklarından etkilenmiş küresel genleşmeden meydana gelir mikro gözeneklerse makro gözeneklerin arasındaki duvarlarda oluşur. Makro gözeneklerin çapları 60 $\mu m'$den daha büyük boşluklar olarak tanımlanabilir. Bu boşlukların miktarları, boyutları ve dağılımları gazbetonun bilhassa dayanım geçirgenlik rötre gibi fiziksel özelliklerinde belirleyici bir rol oynar. Genleşme esnasında milyonlarca hava gözeneği meydana gelmektedir.

Gaz beton malzemenin gözeneklilik oranının kuru birim hacim ağırlığı ile ters orantılı olduğu da Çizelge 2.1' de gösterilmiştir.

Çizelge 2.1 Çeşitli porozitelere karşılık gelen birim hacim ağırlık değerleri [2].

Porozite (%)	Birim Hacim Ağırlık (kg/m^3)
85-88	310-400
81-85	410-500
77-81	510-600
71-77	610-700
69-73	710-800

Gaz betonun %80'ini oluşturan boşluklu gözenek yapısı malzemeye düşük ısıl iletkenlik verir. Isıl iletkenlik katsayısı, malzemenin kuru birim hacim ağırlığı ve nem içeriğine göre farklılık göstermektedir. Kuru gazbetonun ısıl iletkenlik değerleri Çizelge 2.2' de gösterilmektedir [2].

Çizelge 2.2 Kuru gaz betonun birim hacim ağırlığına göre ısıl iletkenlikleri

Isıl iletkenlik değeri(W/MK)	**Birim Hacim Ağırlığı (kg/m^3)**
0.085	300
0.11	400
0.13	500
0.16	600
0.18	700
0.21	800

İnşaatta birçok alanda kullanılabilen gazbeton dış cephelerde tek kesitte ısı yalıtımını sağlamasıyla öne çıkmaktadır. Yapılardaki ısı kayıplarının %40'ının dış duvarlarda yaşanmaktadır. (%30 pencereler, %7 çatı döşemesi, %17 kapılar, %6 bodrum döşemesi) Gazbeton bu sorunu tek kesitle çözer. Diğer duvar malzemeleriyle ısı iletim katsayılarının karşılaştırılması şu şekildedir.

Isı İletim Katsayıları (Ts 825)

10 cm Gazbeton λ=0.15

15 cm W sınıfı tuğla λ=0.27

25 cm Bims blok λ=0.35

30 cm Yatay delikli tuğla λ=0.45 [46].

Gözenekli yapını kazandırdığı bir diğer önemli avantaj ise malzemenin bu sayede düşük buhar geçirgenlik direncine sahip olmasıdır. Böylece malzeme yapıda kolaylıkla nefes almaktadır [7].

2.3.1 Gazbetonun mekanik özellikleri

Gazbetonun mukavemetini değerlendirirken boyutu ve şekli, hava gözeneği oluşturma yöntemi kabarma yönü, hava boşluklarının ve porlarının yapısı spor kabuklarının mekanik durumu dikkate almak gereklidir. Mukavemet yoğunluğun fazlalaşması ile artış göstermektedir. Bunun nedeni gözenek sayısının düşmesinin yoğunluk artışına sebebiyet vermesidir. Çizelge 2.3'te gazbetonun mekanik özellikleri belirtilmiştir.

Çizelge 2.3 Ticari bir gaz betonun mekanik özellikleri [7].

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

Gaz betonda elastisite modülü kuru birim hacim ağırlığına ve küp dayanımına göre farklılık göstermektedir. Çekme dayanımı gaz beton için basınç dayanımının 1/6'sı (2-12 kg /cm^2) eğilme çekme mukavemeti de yaklaşık 1/5'i (3-15 kg/cm^2) kadardır. Ağır yük altında sünme durumu standart betona göre çok daha azdır. Gaz betonun pişmeden sonra mevcut kimyasal tepkimelerini tamamlamasına karşın betonun uzun sürede farklı kimyasal değişimler yaşamaya devam etmesi sebebiyle ağır yük altındaki davranışları farklıdır [6].

Gazbeton yangın durumunda alevler tarafından sarılmaz ve yanmaz. İnorganik yapıdadır ve yanan bir binada iç sıcaklık 650 ^oC'lere çıkıyorken gaz betonun erime noktası 1200 ^OC'dir. Çizelge 2.4'te gazbetonun sınıfları tablolanmıştır.

Çizelge 2.4 Gözenekli beton yapı malzeme ve elemanlarının sınıfları

Sınıfı	En büyük basınç dayanımı (kgf/cm^2)	En küçük basınç dayanımı (kgf/cm^2)	Birim Hacim	Ortalama birim hacim	Sınıf işareti
G1	15	10	400	310-400	G1/0,4
			500	410-500	G1/0,5
G2	25	20	400	310-400	G2/0,4
			500	410-500	G2/0,5
G3	35	30	500	410-500	G3/0,5
			600	510-600	G3/0,6
G4	50	40	600	510-600	G4/0,6
			700	610-700	G4/0,7
G6	75	60	700	610-700	G6/0,7
			800	710-800	G6/0,8

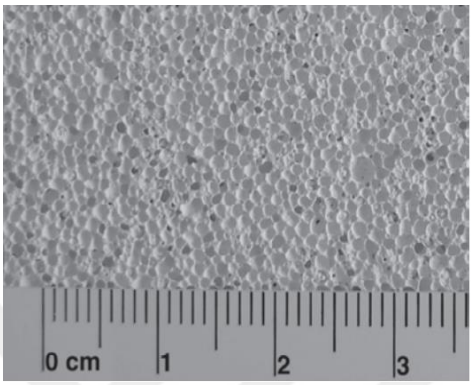
2.3.2 Gazbeton malzemenin gözenek yapısı

Gaz beton malzemesinin yapısında "makro gözenekler" ve "mikro gözenekler" olarak ifade edilen en az iki tür gözenek vardır. Makro gözenek terimi bir köpükleme maddesi veya bir köpük kullanılarak yapay olarak oluşan büyük hava gözenekleri için kullanılır. Mikro gözenekler ise hava gözenekleri çevresinde oluşan tüm gözeneklilik anlamına gelmektedir.

Ancak makro gözenek ve mikro gözenek terimleri bilimsel alanda farklı şekilde kullanılmaktadır. Araştırma çalışmalarının çoğunda bu iki çeşit gözenek açıkça tanımlanmıştır. Makro gözenekler 50 nm'den büyük çaplı gözeneklerdir ve mikro gözenekler 2 nm'den küçük gözenek çap boyutlarına sahiptir. Bu iki aralık arasındaki boşluk mezo gözenekleri ile kaplıdır. Gazbetondaki en belirgin gözenekler, milimetre boyutundaki yapay hava gözenekleridir. Kırılarak veya testere ile kesildiği zaman bu büyük gözenekler gazbeton malzemenin karakteristik yüzeyini oluşturur. Yığma gabeton birimleri ve gazbeton ürünlerinin çoğu normalde yüzeylerinde gerçek hava gözenek yapısını göstermez. Birimler proses esnasında tellerle kesilir ardından hava boşluğu yapılarının oluşturduğu spesifik yüzey yapıları ortaya çıkar.

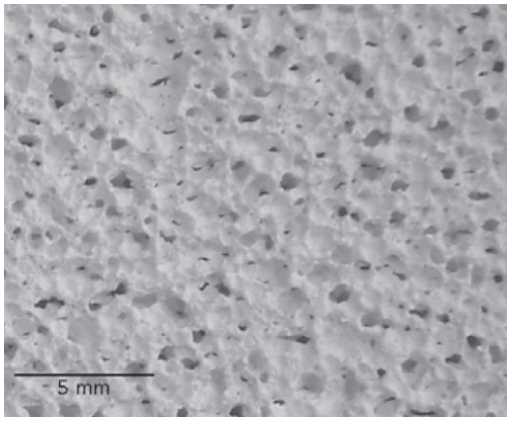
Çoğu durumda hava gözeneklerinin şekli neredeyse küreseldir. Gazbeton ürünleri, 300 ila 800 kg / m^3 arasında geniş bir yoğunluk sınıfında üretilir ve bu durum yapay hava gözeneklerinin sayısının değişmesine yol açar. Gazbeton içerisindeki hava deliklerinin gözenek mesafeleri bir milimetreden sıfıra kadar değişebilir, bu da gözeneklerin birbirine temas ettiği veya hatta birbirine bağlı olduğu anlamına gelir

[8, 9]. Düşük yoğunluklu sınıflarda, birbirine temas eden çok sayıda hava deliği olduğunda, bu temaslar nedeniyle küreciklerin bir miktar deformasyonu vardır. Ne endüstriyel gaz beton ürünlerinde ne de laboratuvarda yapılan gaz beton örneklerinde hava gözeneklerinin genellikle eliptik olduğuna dair hiçbir kanıt yoktur. Şekil 2.3'te Cabrillac [10] tarafından varsayıldığı gibi düzenli olarak düzleştirilmiş gözenekler gösterilmektedir.



Şekil 2.3 Gazbeton numunesinde hava boşluğu yapıları

Gazbetondaki hava boşluklarının boyutları her zaman milimetre boyut aralığındadır, çoğu 0.5 ila 3.0 mm arasındadır. Hava gözeneklerinin boyut dağılımı genellikle tek bir model olarak bilinir [11, 12]. Öncelikle, orta büyüklükte hava gözenekleri oluşması için gözenek oluşturucu madde veya yöntem önem taşır ve üretim süreci sırasında şekil 2.4'te de görüldüğü gibi gazbeton hava gözenekleri 65 ila % 90 arasında değişerek toplam gözenek hacmine % 25 ile 70 arasında katkı sağlamaktadır.



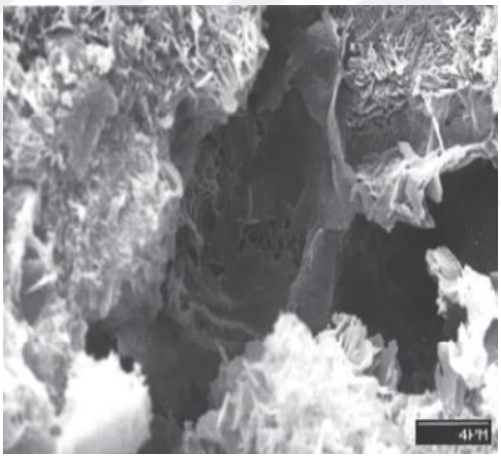
Şekil 2.4 Genişletme ajanı olarak alüminyum tozu ile yapılan bir gazbeton numunesinin hava deliği ve genişleyen çatlak yapısı.

Genişleyen çatlak yapısı, gazbetonda alüminyum ile oluşturulan önemli bir gözenek yapı elemanıdır. Çatlaklar çoğunlukla kendi yönlerini oluşturur, yükselme yönü

yukarı doğru olduğunda yatay kalırlar. Çoğu hava boşluğu birbirine bağlamaktadır [13]. Gazbeton hava gözenekleri bakımından açık hücreli bir yapıya sahiptir. Yalnızca 550 kg / m^{3}'ten yüksek yoğunluklu malzeme, hava boşluklarının kapalı hücre yapısını oluşturabileceği büyüklükteki gözenek mesafelerine sahip olabilir.

Matristeski gözeneklilik, gazbetonun hava gözeneklerinin etrafındaki iskelet, farklı gözenek türlerinden oluşur. Başlangıçta suyla dolmuş ve otoklavlamadaki ön kürleme sırasında reaksiyon ürünleri tarafından işgal edilmiş, Şekil 2.4' te gösterilen bir alan vardır.

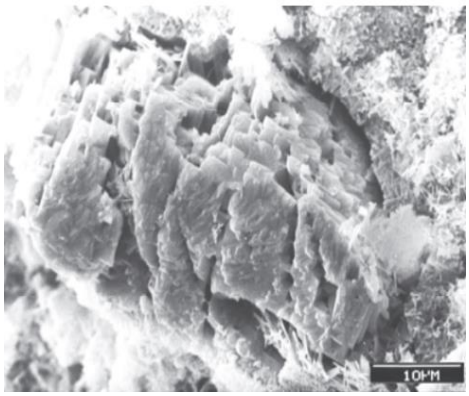
Daha sonra otoklavlama sırasında kuvars çözülürken, gözenek hacmine kısmen veya tamamen dönmüş olan kuvars tanecikleri tarafından oluşan bir miktar alan daha oluşur. Son olarak tüm reaksiyon ürünleri, esas olarak tobermorit, yeni oluşan kristaller arasında yeni bir boşluk yaratır. Bu parçacık içi gözenekler kristallerin oluşturduğu boşluklardır. Şekil 2.5'te büyük tobermorit kristalleri görünmektedir.



Şekil 2.5 Gazbeton iskeletindeki boşluklar ve görüntünün merkezindeki küçük kuvars kalıntısı.

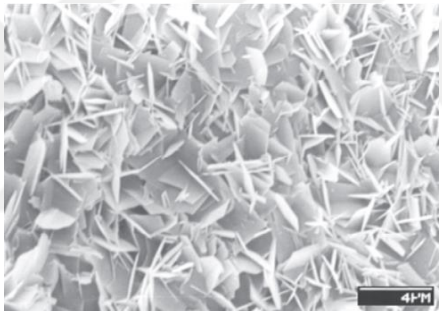
Ancak matris malzemesinin büyük bir kısmı çok küçük tobermorit ve C-S-H kristallerinden oluşur ve gözenek boyutu nanometre ölçeğindedir.

Gazbetonda bulunan en kaba tür tobermorit kristalleri,Şekil2.6'da ve Şekil 2.7'de görülebilmektedir, bu kristallere bağlı, tobermorit parçacıklarının büyüklüğü ve şekli ile tanımlanan gözenekliliktir.



Şekil 2.6 Gazbetonda tobermorit materyali ile çevrili iç gözeneği olan bir kuvars tanesi

Büyük tobermorit kristalleri ile olan duruma benzer olarak, gazbetonda çok düşük kristalit boyutlarındaki tobermorit veya kalsiyum-silikat-hidrat (CSH) fazlarından oluşan ana bağlayıcı madde hacmi, bu kristalitlere yapışmış olan gözenekleri barındırır.

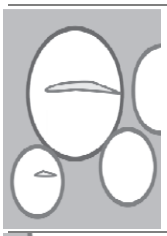
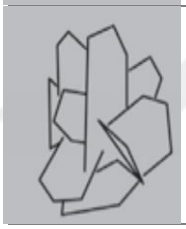


Şekil 2.7 Hava boşluklarının içindeki gözenek duvarlarında bulunan gazbetondaki tobermorit malzeme

Bu gözenekler malzemenin boşluklu yapısına destek olmakla beraber ana iskeleti oluşturur . Ayrıca gözle görülecek boyutlarda değildirler.

Aşağıdaki Çizelge 2.5'te açıklanan gazbeton malzemenin iç yapısındaki gözenek çeşitlenmesi özetlenmiş olarak gösterilmektedir. Gazbetonda gözenek hacmi esasen hava gözeneklerinden ve nano boyuttaki gözeneklerden oluşur. Bu çalışma ile incelenecek olan özellikle 100-3000 μm boyut aralığında çapa sahip makro gözenek olan hava gözenekleridir. Özellikle alüminyum bazlı malzemenin (pasta, toz) kalitesinin ve veriminin malzemede takip edilebileceği özelliklerini kapsamaktadır. Bu yapay gaz boşluklarının yoğunluğu ve porozitesi malzemede farklı özellikleri de doğrudan etkilemektedir.

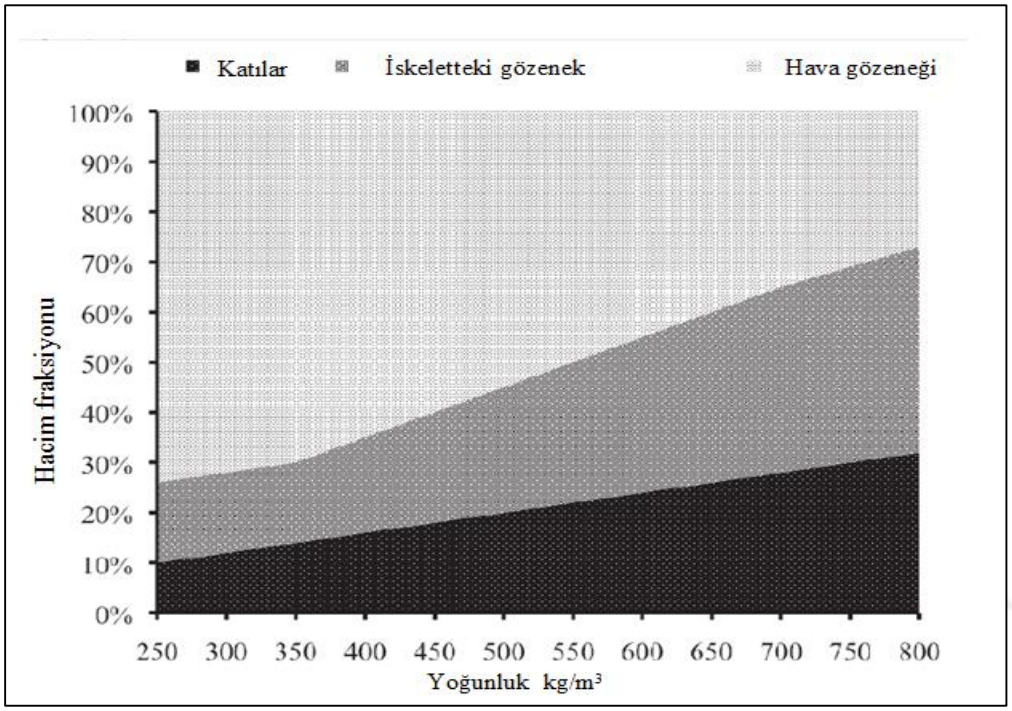
Çizelge 2.5 Gözenek büyüklüklerinin dağılımı, şekli ve kaynağı

Şekil	Boyut aralığı, çap (µm)	Tanım	Bilinen isim
	100-3000	Alüminyum tepkimesinden çıkan hidrojen ile oluşmuş yapay gaz boşlukları	Gaz boşluğu Hava gözeneği ‘’makro gözenek’’
	50-30	Başlangıçta su dolu hacminin artık gözenek boşluğu.	Su gözeneği Kümeler arası gözenek ‘’Mikro gözenek’’
	10-50	Çözünmüş kuvars parçacık boşlukları Kuvars tanesi çevresindeki oyuklar	Kuvars tanesi gözeneği ‘’mikro gözenek’’
	0,5-20	Yeni oluşan büyük tobermorit kristalleri arasındaki boşluk hacmi	İç gözenek parçacıkları Tobermorit kaynaklı gözenek ‘’mikro gözenek’’
-	0,005-1	Yeni oluşan tobermorit kristalitleri CSH fazları arasındaki gözenek hacmi	Nano gözenekler CSH faz gözenekleri ‘’mikro gözenek’’

Yoğunluk, gözenekliliğe bağlı olduğundan, gazbetonun farklı yoğunluk sınıflarının farklı güç özelliklerine sahip olması gerekmektedir. Gözeneklilik ve malzemenin dayanımı arasındaki ilişki eksponansiyel bir değişim göstermektedir [12, 14, 15]. Gözenek hacminin yoğunluklara göre değişimi öncelikle hava gözenekleri ile ilgilidir, bu nedenle mukavemet değişimleri her şeyden önce hava gözenek hacminin bir etkisidir. Hava gözeneklerinin büyüklüğü dayanım üzerinde belirgin bir etkiye sahip değildir [12, 15]. Genleşme çatlağı yapısı malzemedeki boşlukların yön değişiminden kaynaklanan (anizotropi) ve mekanik özelliklere etki eden yapılardan da sorumludur [13].

Gözeneklilik ve ısıl iletkenlik, gaz beton yoğunluk sınıfları aralığında ters orantılıdır. Şekil 2.8'de yoğunluklara göre gözenek tiplerinin hacimsel değişimi gösterilmiştir.

Gözeneklilik durumunda ısıl yalıtımın iyileştirilmesi temel olarak artmalıdır. Ancak gazbeton gibi yapı malzemeleri kullanım sırasında hiçbir zaman tamamen kuru değildir, bu nedenle nemle dolu gözenekler ve özellikleri, yalıtım amacıyla ısıl davranışı da belirler [16].



Şekil 2.8 Farklı yoğunluktaki katılardaki gazbeton gözenek tiplerindeki hacimsel fraksiyonu

Nano gözeneklerin miktarını ve durumunu değiştiren tüm önlemler, dolaylı etkilerle (denge nem içeriği, nem taşınımı, radyasyonla ısı transferi) gazbetonun termal özelliklerini etkileyebilir.

Sıvılara geçirgenlik, gözeneklilik tarafından kontrol edilen temel bir etkidir. gazbetonda hava gözenekleri ve genleşme çatlak yapısı gazlara karşı geçirgenliği belirler [17]. Nem ve sıvılar için taşıma koşulları daha karmaşık olduğunu ortaya koymaktadır. Doygunluk derecesine ve gözeneklerin ve sıvıların etkileşimine bağlı olarak taşıma karakteristiği geniş bir yelpazede değişir [18, 15].

2.4 Gaz Betonun Kullanım Alanları

Gaz beton yapılarda duvarlarda, zeminlerde, çatı panellerinde, bloklarda ve lentolarda rahatlıkla kullanılabilen bir yapı malzemesidir. Paneller, 8 inç ila 12 inç ve 24 inç genişlik ve 20 fit uzunluğa sahip kalınlıklarda mevcuttur. Bloklar 24, 32 ve 48 inç uzunluğunda ve 4 ila 16 inç kalınlığındadır; yükseklikleri ise 8 inç olarak belirlenmiştir.

Sertleşmiş beton bloklar veya otoklavlanmış beton paneller, standart beton bloklarla kullanılan tekniklerle aynı olan ince yatak harcı ile birleştirilir. Daha fazla dayanıklılık için, duvarlar çelik veya bloklardaki boşluklardan dikey olarak geçen diğer yapısal elemanlarla takviye edilebilir.

Gaz beton duvarlar, zeminler ve çatılar için kullanılabilir ve hafifliği ile standart betondan daha çok yönlü kullanım sağlar. Dayanıklı olması için gaz betonun polimer modifiyeli sıva, doğal veya işlenmiş taş veya kaplama gibi uygulamalı bir son kat ile kaplanması gerekir. Bodrum katlar için kullanılıyorsa, gaz beton duvarlarının dış yüzeyi kalın bir su geçirmez malzeme veya membran tabakası ile kaplanmalıdır. Havaya veya toprağın nemine maruz kalan gaz beton yüzeyleri kırılır. İç yüzeyler alçı pan, sıva, fayans veya boya ile tamamlanabilir veya açıkta bırakılabilir [19].

Gaz beton yapı ürünleri kategorilere ayrılmış olarak aşağıdaki gibidir [1].

Donatısız yapı malzemeleri:

- Duvar Blokları;

• Alın düzleminde oluşturulan profil durumuna göre; düz Bloklar (G2, G4, G6) ve geçmeli Bloklar (G2, G4, G6) diye adlandırılmaktadır.

• Duvar örgüsünde kullanılan malzemesinin cinsine göre de; tutkallı Duvar Blokları (G2, G4, G6) ve harçlı Duvar Blokları (G2, G4, G6) diye adlandırılmaktadır.

- U Bloklar (G4)

- Asmolen Bloklar (G2)

- Yalıtım Plakları (G2)

Donatılı yapı elemanları

- Taşıyıcı Elemanlar; döşeme plakları (G3, G4), çatı plakları (G3, G4), düşey duvarlar (G3) ve Lentolar (G4) olarak sınıflanmaktadır.

- Taşıyıcı olmayan Elemanlar ise yatay duvar elemanları (G3), düşey duvar elemanları (G3), bölme duvar elemanları (G3) ve lentolar (G3) olarak sınıflanmaktadır.

Hazır duvarlar ve büyük cephe elemanları (G3)

3. ALÜMİNYUM PARÇACIK MALZEMELER

Kullanım alanı oldukça geniş olan alüminyum parçacık malzemenin, yapısal olarak ve kullanılacağı işleme göre şekillenen fazlasıyla çeşidi bulunmaktadır. Bunlar alüminyum pul (flake), alüminyum tozu ve alüminyum pastası olarak alüminyum parçacık kaynaklarını oluşturmaktadır. Gaz beton prosesinde tepkimede maksimum verimi elde edebilmek için bu ürünün spesifik yüzey alanı oldukça önemli bir parametre halini almıştır. Bu sebeple yassı pul şeklinde (flake) yapılar küresel yapılara göre daha fazla tercih edilir olmuştur.

3.1 Beton Ürünler İçin Alüminyumun Tarihsel Gelişimi

Çimento içeren yapı malzemelerinde kabarma maddesi olarak alüminyum flake (pulsu yapı) ile yapılan ilk testler, 20. yüzyılın başlarında gerçekleştirilmiştir. Alysworth ve Dyer, 1914 yılında, taze beton karışımına alüminyum pigmentler ekleyerek, hidrojen gazı kabarcık oluşumu ile sonuçlanan bir kimyasal tepkime yarattığını keşfetti. Bu tür beton, teknik ve ekonomik avantajlarıyla, o zamandan beri dünya çapında yaygın olarak kullanılmaktadır. Gaz betonun ilk sanayi üretimi 1929'da İsveç'te başlamıştır. Alüminyum pullar geleneksel olarak damgalama makineleriyle yapılmıştır. Pulların performans özelliklerine artan taleplerle, modern alüminyum pullar bilyalı değirmenler kullanılarak üretilmektedir. Farklı uygulamalar için çeşitli yüzey kimyaları ile üretilebilirler. Gaz beton ürünlerin hızlı gelişimi ile su içinde ıslatılmış alüminyum malzemeler (pullar) fazlasıyla tercih edilir hale gelmiştir [20].

Bir binanın enerji dengesi, günümüzde esas olarak duvar yapı malzemelerinin ısı yalıtım özelliklerine bağlıdır. Mümkün olan en yüksek enerji verimliliğine yönelik sürekli artan talepler, mümkün olan en iyi yalıtım özelliklerine sahip inşaat malzemelerine duyulan ihtiyacı doğurmuştur. Gaz beton, hafif duvar inşaat malzemeleri grubuna aittir. Gözenekli betondan üretilen gaz beton blokları, otoklavlarda buhar kürü uygulanmasından sonra genellikle nihai ürün özelliklerini alırlar. Otoklavlama prosesiyle malzemeye ağırlık oranınca yüksek bir mukavemet kazandırılır. Böylelikle gaz beton ürünle en iyi ısı yalıtım özelliklerine sahip temel

yapı gereksinimlerinin mükemmel bir kombinasyonu sağlanmış olur. Bu sebeple hammaddelere eşlik eden gözenek oluşturucu malzemenin rolü fazlasıyla büyüktür [20].

Yıllardır süregelen çalışmalar ile alüminyum kaynaklı parçacık formunda çok çeşitli ürünler geliştirilmiştir. Günümüzde ticari olarak aşağıdaki gibi kategorilere ayrılır.

- *Atomize alüminyum tozu*: Ortalama 1.0 mm (genellikle 0.5 mm'den fazla değil), küresel, oval, damla şeklindeki, düzensiz, parçalı veya dallanmış şekillerdir.
- *Alüminyum pul (flake):* Pullu (yapraksı) parçacıklar 1.0 µm 'den küçük kalınlıkta ve doğrusal boyutu 50-200 µm arasıdır. Genellikle % 0,2-4 oranında, stearin, alüminyum stearat, parafin veya diğer yağlardan oluşan ince bir tabaka ile kaplanmış parçacıklardır.
- *Alüminyum pasta*: Flake parçacık kompozisyonunun %65-75'i oranında sıvı faz (organik solvent, yağ asidi, hidrokarbon) içeren malzemelerdir.
- *Alüminyum granül (kum taneciği):* 0.5–1.0 mm'den daha büyük boyutlu, küresel, oval, damlamsı, disk şeklindeki, iğne veya düzensiz şekilli parçacıklardır [21].

3.2 Atomize Toz

Toz üretimi için kullanılan gaz atomizasyonu yönteminde alüminyum külçeler eritilir ve yüksek basınç altında püskürtülerek ince granül bir toz haline getirilir. Enjektör ucundan eriyik alüminyumun çıkışı için kullanılan atomize edici gaza bağlı olarak iki çeşit toz üretilebilir (nodüler ve küresel). Fazla ısıtılmış hava kullanıldığında hemen soğuyup oksitlenir ve oksitlendikçe bilindik yuvarlak ancak düzensiz şekiller üretilir.

Alternatif olarak, atomize edici gaz olarak ısıtılmış bir inert gaz kullanıldığında, alüminyum oksidasyonu için daha az oksijen bulunur ve bu nedenle, eriyik alüminyum parçacıklar yüzey / ara yüzey gerilme kuvvetlerinin küresel bir parçacık üretmesine izin vererek sıvı kalır. Parçacık şekilleri daha homojen ve küresel şekildedir.

Gerekli parçacık boyutunu ve istenen uygulama için dağılımı sağlamak amacıyla atomize toz, son paketlemeden önce elekten geçirilir. Alüminyum pigmentlerin yanı sıra, atomize tozların diğer kullanım alanları arasında silah ve roket yakıtları, deodorantlar için kimyasal ara ürünler, toz metalürjisi sayılabilir. Toz metalürjisinde alüminyum parçalara preslenir ve epoksi döküm için dolgu maddesi olarak

alüminyumun taşlama tekerlekleri tarafından oluşturulan yüzey ısısının dağılmasına yardımcı olan bir ısı emici görevi görür. Çizelge 3.1'de farklı üretim şekilleriyle değişik parçacık yapılarında atomize tozların oluşabildiği görülmektedir

Çizelge 3.1 Alüminyum toz malzemenin üretim metotlarına göre parçacık şekli ve boyutu [21].

Toz türlerinin üretim metodları	Parçacık şekli	Parçacık boyutu (µm)	Alüminyum içeriği (wt %)
Hava ile atomizasyon	Düzensiz ve oval Kaba şekilli	50-200	99.5
Inert gaz atomizasyonu	Küresel Tipik	45-100 25-150	99.5
Gaz ortamdan kondenzasyon ile ultra ince toz üretimi	Küresel	0.2-0.5	>99
Kuru öğütme ile -İnce -İri taneli	 -Pul -Plaka şeklinde	 *45 *150-1170	 *96-98 *>99.5
Eritme atomizasyonu ile granül üretimi	Oval, damla şekilli düzensiz	500-5000	87—99.5
Sıvı hidrokarbon akışkanın içinde öğütülen pasta formu	Pul	45	Değişken

. Atomize alüminyum tozu granüle veya küresel parçacık formunda iken, mekanik presleme veya bilyalı öğütme ile üretilen pullar veya pastalar düzleştirilmiş yapraksı parçacık şekline sahiptirler.

3.3 Alüminyum Pul (Flake)

Pul yapıda ürün üretmek için öncelikle atomize toz ya da atık folyo gibi (<50 µm) hammaddeler, alüminyum stok malzemenin kuru ya da ıslak öğütme yöntemleriyle düzlemsel parçacık yapısını oluşturmak için işlemden geçirilir. Bu işlemler esnasında alüminyum parçacıklarının kaynaklanma- bir araya gelip topaklanma- yapmasının önlenmesi önemlidir. Bu amaçla belirli oranlarda yüzey aktif maddeler solvent olarak öğütme esnasında ortam oluşturur. Alüminyum madde, petrol bazlı sıvı fazda organik solventlerle ya da su ile birlikte bir karışım oluşturur, bu karışım belli

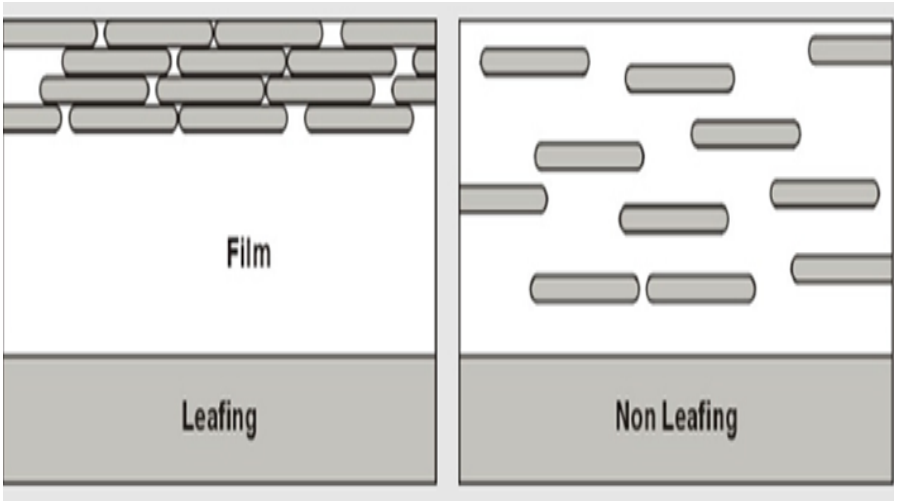
oranlarda alüminyum pul, farklı oranlarda organik solvent (su) ve doymuş veya doymamış yağ asidi (stearik veya oleik asit türevleri) içermektedir.

Kuru öğütme alüminyumun toz haldeki patlayıcı özelliği yüzünden ıslak öğütmeye göre daha tehlikeli kabul edilmektedir. Öğütülmek üzere hazırlanan karışım, alüminyum hammaddenin ve elde edilmek istenen ürün inceliğine göre 6-15 saat süresince bilyalı değirmenlerde işleme tabi tutulur. Ardından çamur haldeki karışım filtre preste (ya da varil tipi filtre, santrifüj ayırıcı gibi) solventinden belli oranda arındırılır.

En sonunda farklı tane boyutlarında ürün elde edebilmek için farklı boyutlarda eleklerden geçirilir. Alüminyum pul tozun üretimi için de solventsiz toz formda bir yapı oluşturmak amacıyla vakum tipi filtreler kullanılmaktadır [21].

Öğütme işleminde dikkat edilmesi gereken bazı önemli parametreler vardır. Bunlar; değirmene beslenen bilyanın boyutu (boyut çeşitliliği) ve miktarı, şarj miktarı, değirmen boyutu, dönüş hızı, öğütme süresi ve sıcaklıktır [37].

Alüminyum flake malzemenin en bilinen özelliklerinden biri farklı solvent/yağlayıcı ve bağlayıcı çözeltilerin içindeki ıslatma davranışıdır. Temelde leafing (yapraksı) ve non-leafing (yapraksı olmayan) olmak üzere iki farklı yapıda bulunmaktadır. Değirmen içindeki yağlayıcının türünün malzemenin yüzey gerilimi etkisiyle bu özellik belirlenir [21,22]. Şekil 3.1'de film tabaka görseli verilmektedir.



Şekil 3.1 Leafing ve non-leafing yapıların film tabakadaki konumu

Leafing pasta: Öğütme sırasında kullanılan yağ asitleri; stearik asit, palmitik asit, behenik asit gibi çeşitlenebilir. Hem hidrofobik hem de oleofobik olan doymuş

yapıdaki yağ asitleri yüksek ara yüzey gerilimine sahip bir ortam oluşturur ve bu nedenle bağlayıcı /solvent yüzeyini ıslatmak daha zor hale gelir (homojen olmayan dağılım).

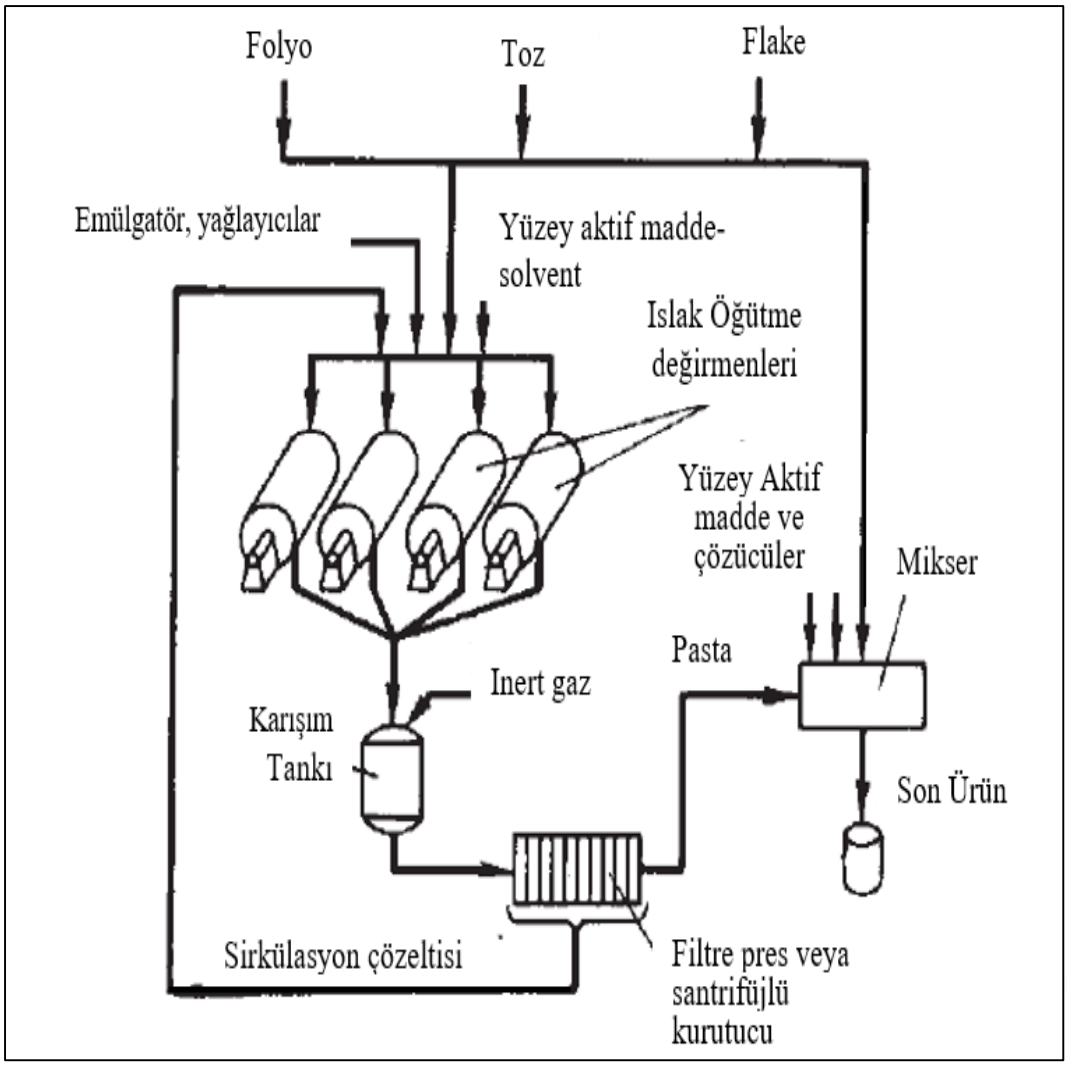
Pigmentlerde özellikle 'krom etkisi' yaratması ile bilinen bu yapılar ıslak filmin yüzeyinde yüzme davranışı gösterir, pullar yüzeye paralel yönlenirler ve (solvent buharlaşmasından kaynaklanan konveksiyon akımları sonucu) kaplamanın en üstünde yoğun bir metalik tabaka oluşturma eğilimindedirler. Bu tabaka parlak, gümüşi ve yüksek yansıtıcı özelliğe sahiptir ve üstün özellikte bir bariyer oluşturarak filmin korunmasına yardımcı olur.

Gazbeton prosesinde kullanılan alüminyum pastanın yapısına katılıyor olmakla beraber, leafing özellik yalnızca dekoratif kaplamalarda ve baskı mürekkeplerinde değil aynı zamanda çatı, tank, anti korozyon kaplamalarda da kullanılmak üzere oldukça elverişlidir.

Non-leafing pasta: Kullanılan yağlayıcı solventler doymamış alifatik yapıda; oleik, laurik, kaprik, linoleik, risinoleik, kaprilik asit gibi yağ asitleridir. Non-leafing pastalar, öğütme işlemi esnasında doymamış asit kullanılması yanı sıra güçlü polar maddelerin ve ıslatma maddelerinin leafing pigmentlere eklenmesiyle de oluşturulur.

Non-leafing pastalar bağlayıcı madde ile tamamen ıslatılmıştır ve böylece, film boyunca eşit bir şekilde dağılırlar. Pullar film yüzeyinin altına da yönlendiğinden, kaplamalar sürtünmeye, aşınmaya dirençlidir ve üst kaplamalarda mükemmel tutunma sağlanır. Ek olarak, renkli pigmentlerle birleşiminin polikromatik (örn; "metalik mavi") etkilere yol açması mümkündür [22].

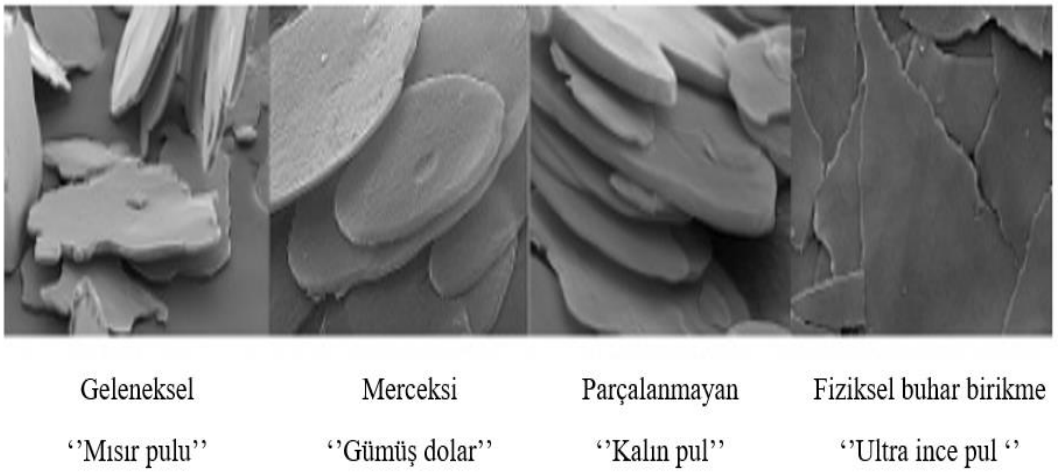
Şekil 3.2'de Alüminyum pasta üretiminin şematik diyagramı gösterilmiştir. Folyo (veya hurda folyo), toz ve flake olarak hammadde kullanımı değişkenlik gösterse de sonraki süreçler benzer şekilde işlemektedir. Islak öğütme yöntemi tercih edilerek karıştırma tankına beslenen karışım proses güvenliği açısından inert gaz (N_2) ortamından geçerek ayırma işleminin yapılacağı yere gelir. Genel hatları ile proses bu şekilde yürümektedir.



Şekil 3.2 Alüminyum pasta üretiminin şematik diyagramı [21].

Alüminyum pastaların yapraksı ya da pulsu görünümleri sayesnde reaktiviteleri değişkenlik gösterir ve artar. Pul inceliğinin pul yarıçapına oranı (aspect ratio) 1:50 den 1:500 e kadar çeşitlenebilmektedir.

Düzensiz yapıdan daha ince pul yapıya öğütüldükçe değişen parçacıklar; geleneksel mısır gevreği şekli, merceksi gümüş dolar şekli, parçalanabilir ince halde pul, ultra ince yapıda pul gibi adlandırmalarla çeşitlendirilmektedir. Her bir farklı yapıdaki alüminyum pasta malzemeler yapısal farklılıkları sayesinde farklı alanlarda işlev kazanmaktadırlar [23]. Öğütme tekniklerine göre birbirinden farklı yapılarda oluşan alüminyum flake şekilleri dört ana grupta incelenebilmektedir. Bu isimler Şekil 3.3'te kategorize halde gösterilmektedir.



Şekil 3.3 Farklı şekillerde alüminyum flake SEM görüntüleri [23]

3.4 Alüminyum Pasta Kullanım Alanları

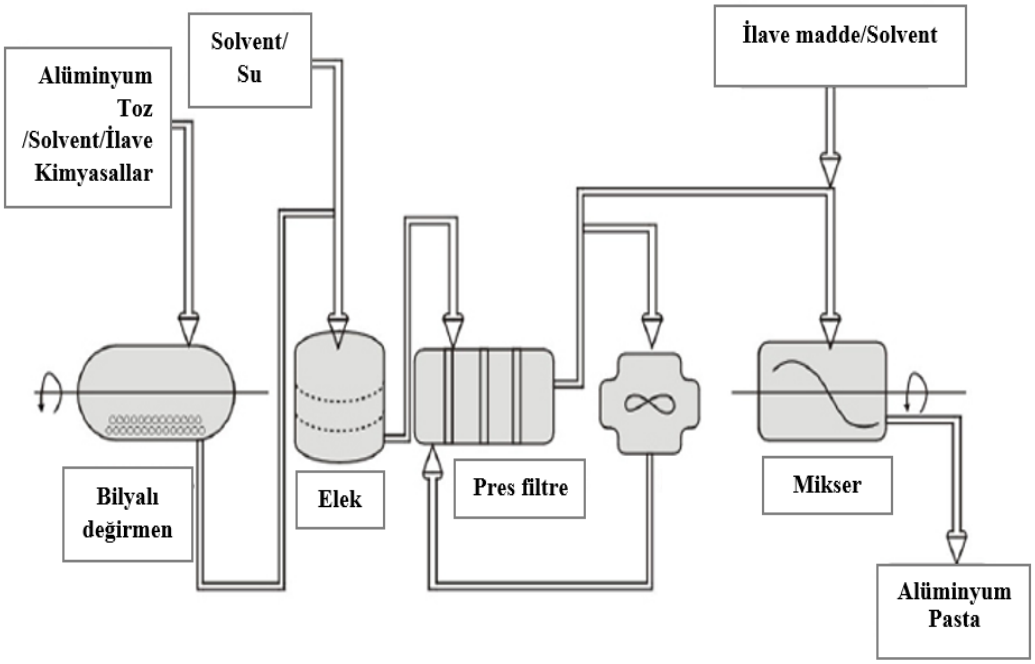
Alüminyum flake malzemeler boyalarda kullanılan çok çeşitli pigmentlerin hammaddesini de oluşturmaktadır. Şekil 3.3'de gösterildiği üzere farklı solventlerle flake olarak ya da pasta şeklinde kullanımları mevcuttur.

Yapraksı olup olmamasına göre metalik ve krom etkili pigmentler olmak üzere ikiye ayrılırlar. Alüminyum pigment pastalar çatı kaplamaları, koruyucu kaplamalar, denizcilikte kullanılan son katlar, anti-korozif, dekoratif boyalarda ve endüstriyel kaplamalarda kendine geniş uygulama alanı yaratmaktadır [24].

Ayrıca belirtmek gerekir ki alüminyum pigmentin boyalarda saklanma gücünü, rengini ve ışıltı derecesini parçacıkların şekli ve boyutu da belirler. Ayna etkili pigment fiziksel buhar çöktürme (PVD) işlemiyle elde edilmektedir. Kaplama veya baskı tekniği kullanılarak bir polyester veya poliolefin taşıyıcı filmin bir yüzüne salınım kaplaması uygulanır. Kaplanmış film, PVD işlemiyle salınım kaplamasının üzerine çok ince bir alüminyum katmanın (30-50 nm) bırakıldığı bir silindirden geçirilir.

Kullanılan çözücü tabakanın çözünürlüğüne bağlı olarak ketonlar, esterler veya alkollerde çözünen metalize film, solvent sıyırıcı tanktan geçirilir. Nihai alüminyum tabaka, parçacıklar veya iri pullar şeklinde çıkarılır. Sonra yıkanır ve % 10-20 pigment içeren bir hale konsantre edilir. Parçacıklar daha sonra şiddetli karıştırma veya ultrasonik işlemle boyutlandırılır.

Şekil 3.4'te genel bir şema ile üretim aşamaları gösterilmiştir. Islak öğütme tekniği burda da güvenli ve verimli olduğundan tercih edilmektedir. Burada özellikle ilk aşamada eklenen solventler ve ilave malzemeler önem taşımaktadır. Solventsizleştirme/ayırma işlemi öncesinde ve sonrasında kullanılan eleklerin çeşitlilikleri farklı alanlarda kullanılacak pigmentler in belirlenmesinde en önemli rolü oynamaktadır.



Şekil 3.4 Alüminyum pigment üretim akış diyagramı [23].

Non-leafing ve leafing alüminyum pastalar kullanılan çözücü polaritesine bağlı olmak kaidesiyle yüksek yapraksı oluşum sağlarlar. Nonpolar solventlerle kullanıldıklarında yüksek yansıtma özelliğine sahip görünüm sergilerler. Dioller, akışkanlaştırıcılar, ofset yağı veya farklı alkollerle karıştırılarak baskı mürekkeplerinde de kullanılırlar.

İncelikler, kullanılan solventin türü ve flake yapının şekli, alüminyum pastaların pigment olarak farklı malzemelerde kullanılır haline gelmelerine sebebiyet vermektedir. Çizelge 3.2 te görüldüğü gibi farklı boyalarda farklıyapı ve tane boyutundaki alüminyum pigmentler kullanılmaktadırlar.

Çizelge 3.2 Alüminyum pasta türleri, özellikleri ve uygulama alanları [21].

Ticari isim	Parçacık boyutu (µm) (max)	Su yüzeyini kaplama kapasitesi	Leafing yüzdesi (%)	Organik solventlerde çözünür madde yüzdesi (wt%) (max)	Safsızlıklar (Fe,Si,Cu,Zn) toplam (max)	Al	Uygulama
****Leafing alüminyum Pasta**							
B1	80	1.6	65	3.0	1.0	denge	-Son kat boyaları -Metalik parlak boyalar
B2	45	2.0	75	4.0	1.2	_-_	
B3	45	2.4	73	4.0	1.2	_-_	
****Non-Leafing alüminyum Pasta**							
H-1	80	-	-	3.0	1.2	denge	-Astar boyası -Koruyucu boyalar
H-2	45	-	-	4.0	1.2	_-_	
H-3	45	-	-	4.0	1.2	_-_	
Özel alüminyum pastalar							
C-1	80	0.7	65	3.0	1.2	denge	-Vernikli emaye boyaları
C-2	45	1.7	75	3.5	1.2	_-_	
C-3	45	1.7	-	4.0	1.3	_-_	
MAIII	160	1.3-1.7	50	3.5	1.0	_-_	-Isı düzenleyici kaplamalar -Sulu boyalar Aerosol boyalar
IIID	80	2.0	30.0	3.5	1.0	_-_	
IIIDA	80	2.0	30.0	3.5	1.0	_-_	

3.5 Öğütme Prosesi

Boyut küçültme prosesinin son adımı olarak değerlendirilen öğütme işlemi, 25 mm'den daha küçük parçacık boyutu eldesinde kullanılmaktadır. Malzemeyi toz forma getirmeye yarayan araçlara ise 'değirmen' ya da 'öğütücü' denir. Değirmenlerde öğütülecek ürünler darbe, ezme, kesme ve sürtme kuvvetleri ile toz şekle gelmektedir [25]. Herhangi bir ürünü öğütmenin amacı 3 ana temelde değerlendirilebilir.

-Parçacığın serbestleşmesine neden olmak ve verimli bir zenginleştirme işlemi için uygun tane boyutlu ürünü elde etmek. (örnek olarak çeşitli malzemelerin yüzdürülmesi veya boyutunun azaltılması)

-Mevcut durumuyla hali hazırda kullanılabilir olan bir malzemenin, başka bir sektörde kullanımı için ihtiyaç duyulan tane boyutuna getirilmesi. (örnek olarak kömürün toz formuna getirilerek termik santrallerde yakıt olarak kullanılması gibi)

-Teknolojik sebepler (Örnek olarak çimentoyu oluşturan hammaddelerin öğütülme gerekliliği veya özel bir takım endüstriyel minerallerin ticari formunun toz olması)

Öğütme yöntemleri "kuru" ve "yaş" olarak iki farklı metodla gerçekleşebilir. Kuru öğütmede harcanan enerji miktarı yaş öğütmeye oranla neredeyse %30 daha çoktur. [26]. Bunun temel sebebi kuru öğütmede ince parçacıkların kolayca birleşip topak hale gelmesi (aglomerasyon) ve öğütme ortamıyla teması keserek yastıklama adı verilen bir duruma sebep olmasıdır. Bu sayede öğütme hem yavaşlayıp hem de verimsizleşmektedir. Bundandır ki kuru öğütme işlemlerinde aglomerasyonu ortadan kaldırmaya yönelik bazı dağıtıcı ajanlar sıkça tercih edilmektedir [27].

Bununla beraber değirmendeki ve öğütücü ortamdaki birim ağırlık söz konusu iken kuru öğütme yaş öğütmeye karşı kapasite olarak çok daha düşüktür. Bir diğer dezavantaj kuru öğütme yapılan değirmenlerde gövdede ısınma meydana gelmesi ve bundan doğabilecek riskleri önlemek için prosesin hızlandırılamamasıdır. Bu sebepten yaş öğütme daha çok kullanılan bir metot haline gelmiştir. Malzemeyi ince toz forma getirebilmek için en sık tercih edilen değirmen çeşidi konvansiyonel bilyalı değirmenlerdir. Fakat bilyalı değirmenlerdeki en küçük bilya boyutu 25 mm olduğundan, değirmen içindeki çarpma hareketlerinden öğütülen malzemeye geçecek enerji, çok küçük boyutlarda malzeme eldesi için yeterli gelmeyecektir. Taneciklerin

küçük boyutlara getirilmesinde basınç ve kesme kuvvetlerine ihtiyaç vardır. Öğütme iri boyutta kalmasına ise çarpma ve aşınma kuvvetlerinin baskın olduğu bilyalı değirmenler neden olmaktadır. Bir takım ekonomik öğütme sınırları bilyalı değirmenlerin performansını etkiler. Bilyalı değirmenlerde spesifik enerjin bu sınırların altına düşüldüğünde üstel olarak artmaktadır [28].

Üretim proseslerinde öğütme, enerjiden yana en verimsiz kullanımın olduğu basamaktır. Parçacık boyutu küçültüldükçe toz hale gelmeye yönelik malzemede bir direnç oluşmaktadır böylelikle de fazladan enerji harcanması kaçınılmazdır.

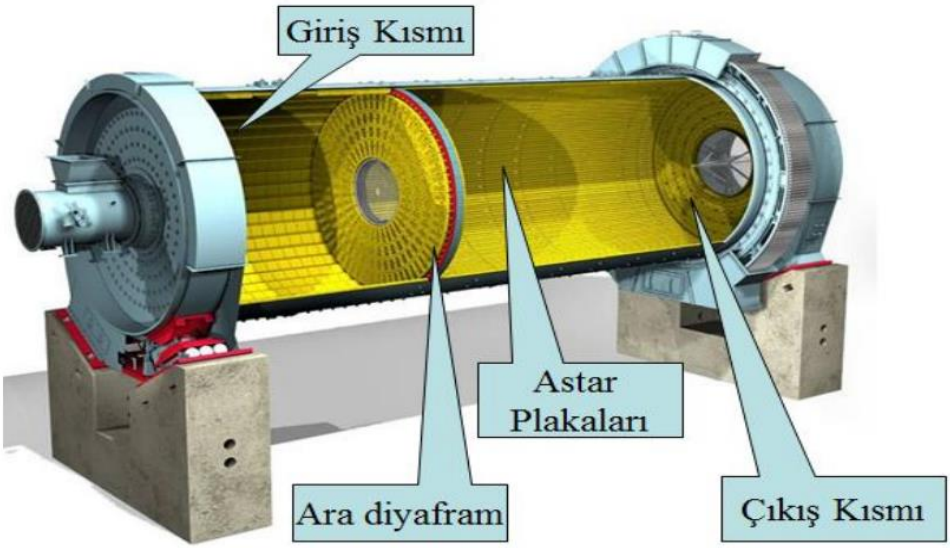
Enerji tüketimi ile boyut küçülme arasındaki bağıntı birçok çalışmada araştırılarak. en az enerji ile en fazla ve verimli öğütme için çeşitli optimizasyon çalışmaları yürütülmüştür. Ancak genellikle bilyalı ve çubuklu değirmenlerde işlem yapıldığında enerjinin azımsanmayacak bir kısmı herhangi bir verim olmaksızın ses ve ısı olarak boşa harcanıp, kaybolmaktadır [29, 34, 30, 33].

Öğütme maliyetini azaltıp, prosesi verimli hale getirmek için farklı prensiplerle çalışan birçok değirmen dizayn edilmiştir. İçlerinde farklı değerlendirilebilecek olanı ise yatay ve düşey şaftlı karıştırmalı değirmenlerdir. En ince boyutlarda (10 mikrometrenin altı) bile enerji kaybı minimize edilerek öğütme olanağı sağlayan bu değirmenler içinde, birim zaman ve hacimde açığa çıkan enerji miktarı oldukça fazladır. Böylelikle enerji harcanması konvansiyonel değirmenlere kıyasla fazlasıyla düşük olmaktadır [31,32,35,36].

Sarkaç değirmenler, dönen silindirli (valsli) değirmenler, halkalı, çivili ve yörüngesel değirmenler, jet tipi değirmenler, yüksek basınçlı merdaneli değirmenler, titreşimli değirmenler gibi çeşitler ise konvansiyonel değirmenlere muadil ya da seçenek olarak tasarlanmıştır.

Leafing alüminyum tozu işleminin üretiminde kullanılan ve Şekil 3.5'te iç yapısı gösterilen bilyalı değirmenin öncelikle dönüş hızı belirlenmelidir. Bilya boyutları ayarlanmış bir değirmende optimum verimde öğütmenin gerçekleşmesi için uygun dönme hızının belirlenmesi gerekir.

Dönüş esnasında, astar plakaları öğütme elemanlarıyla birbirine sürtünür. Bunun önüne geçebilmek için, dinamik denge durumuna gelene dek öğütme elemanları yukarı kaldırılmaktadır.



Şekil 3.5 Bilyalı değirmenlerin iç kısmı ve plaka dağılımı [36].

Bazı öğütme elemanları bu hareket esnasında geriye doğru kayma hareketinde bulunurken, bazıları ise biraz daha yükselip ardından düşme hareketi yapar.

Dönme hızlarının düşük olduğu durumlarda veya astarların düz olması halinde, öğütme elemanları yuvarlanarak aşağı kayarak ‘’Cascade’’ (Kaskat) ismi verilen bir hareket yapmış olur. Bunun sonucunda öğütme aşınma ile gerçekleşmiş olur. Kaskat hareketiyle beraber fazlasıyla ince tanecik meydana gelebilir ve değirmen astarlarında bir miktar aşınma ortaya çıkar [38]. Bunun tam tersi olarak değirmen yüksek hızla çalıştığında ve astarlar düz değilken öğütücüler yüksekten düşme hareketi yapar ve bu noktada şok ile aşındırarak öğütmeyi gerçekleştirirler. Yapılmış bu hareket “Cataract” (Katarakt) olarak tanımlanmıştır. Bu sayede daha büyük boyutta tane meydana gelmesi ve plakaların aşınmasının azalması beklenen sonuçlardır. Kaskat ve katarakt hareketlerini etkileyen en önemli iki ana etmen taşıyıcı plakaların tasarımı ve değirmen hızıdır. Uygun olmayan plaka tasarımı veya gereğinden fazla veya az hız ile çalıştırılan değirmenler verimsiz sonuçlara neden olur. Uygunsuz bir plaka tasarımı ile çalışan değirmenin performansı uygun bir hız seçimi ile bir noktaya kadar düzeltilebilmektedir [37].

Şekil 3.6’da bilyalı değirmendeki bilya şarjı ve plakaların astardaki konumu görülmektedir. Şekil3.6’da kullanılan bilyalar aynı boyutta şarj edilmiştir. Ancak bilya besleme işlemi için değirmenin üretilecek malzemeye göre önceden dizayn

edilmesi gerekirse denemeler yapılarak optimizasyonla bu oranın tespit edilmesi oldukça önemlidir.



Şekil 3.6 Değirmen içinden bilya şarjı ve plakalar [36].

Ayrıca değirmen gövde çap-gövde oranı, alüminyum tozunun öğütülmesi üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Özellikle ıslak öğütmede, öğütürken oluşan ortam bir öğütme yardımcısı solvent veya yağlayıcı ile sağlanır. Bu da alüminyum flake yapıda pulsu oluşumu elde edebilmek için önemli parametredir.

3.6 Kurutma Prosesi

Bilyalı değirmende sıvısı ile beraber öğütülen alüminyum malzeme önce karışım tankına alınır ve buradan filtre prese basılır. Karışım içerisindeki katı maddeler filtre pres plaka bezleri yüzeyinde tutunur. Filtreden geçen büyük oranda solvent ise plaka bezi arkasından süzülerek plaka musluklarından alınır. Filtre edilen bu sulu kısım tesise geri devrettirilir.

Plaka bezleri hava geçirgenlik oranına göre seçilir ve her sektöre göre bu bez seçimi değişkenlik göstermektedir. Filtre pres çalışmaya başladığı ilk an basılan debide zamanla azalma meydana gelmektedir. Bunun sebebi plaka aralarında çamur kek oluşumu başlamaktadır ve bu durum da besleme pompasına karşı basınç oluşturmaya başlar ve zamanla basınç artarken plaka aralarına beslenen debide azalma meydana

gelir. Hidrolik bir ünite 220 – 350 bar aralığında hareketli plakayı sabit tutmaktadır. Kek oluşumu başladığı zaman plaka musluklarından akan debide aynı oranda azalma meydana gelmektedir [39].

Kek oluşumu tamamlandıktan sonra hareketli plaka manuel veya otomatik olarak geriye doğru açılır ve filtre pres plakaları aralanıp çamur kek deşarj edilir. Şekil 3.7'de plakalardaki bezlerin yerleşimi görülmektedir.

İyi bir filtrasyon amacıyla alınan deşarj sonrası plaka bezleri yıkanmalıdır. Bez yıkaması gerçekleştirildikten sonra hidrolik ünite tekrar plakaları sıkıştırır ve bir sonraki işletme için filtre pres hazır hale getirilir.



Şekil 3.7 Filtre pres, filtre bezi ve sıvının geçiş yolu [39].

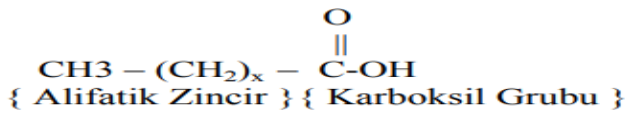
Filtre preslerin çalışma prensibi basit bir mekanik ayırma yöntemine dayanmaktadır. Asıl püf nokta filtre preslerin doğru işletilmesidir. İyi bir işletme için seçilen pompa tipi ve filtrasyonu bezi önem arz etmektedir. Ayrıca basınç kuvveti ile ayırma işlemini gerçekleştirecek basma havasının debisi de önem arz etmektedir.

İşletme koşulları tesisten tesise farklılıklar göstermekle beraber her tesis için ilk zamanlar deneme yapılarak doğru bir filtrasyon süresi belirlenir [39].

4. YAĞ ASİTLERİ

Kapalı formülü R-COOH olan ve farklı uzunluklardaki zincirlerden oluşan monokarboksilik organik asitlere yağ asitleri denir. Yağın en önemli öğesi olan yağ asitleri genel olarak bir alkil ve bir karboksil grubundan meydana gelir. Asidik yapı bileşiğe karboksil grubu tarafından kazandırılır. Yağ asitleri trigliseritlerin yapı taşlarını meydana getirir. Bu sebeple yağların karakteri sahip oldukları yağ asitlerine ve bunların bileşikte bulunuyor olma durumuna bağlıdır.

Gliserol, yağı oluşturan ve bütün yağ bitkilerinde aynı olan bir maddedir, fakat yağ asitleri yağı oluşturan diğer bir öğe olarak her yağ bitkisinde farklı bir oranda mevcuttur. Yağın kullanım alanları içerdikleri yağ asitlerinin kompozisyonuna göre değişmektedir. Yağlarda dominant olan yağ asitleri, çift karbon atomu sayılı ve bir karboksil grubu içeren bir yapıya sahiptir. Yağ asitleri bazı kıstaslara göre birbirinden ayrılır. Hidrokarbon zincirindeki karbon sayısı, karbon atomları arasında bulunan çift bağın yeri ve sayısı gibi özellikler bakımından birbirinden ayrılırlar [40]. Şekil 4.1'de alifatik zincir ve karboksil grubu yapısı gösterilmiştir.



Şekil 4.1 Yağ asidinin genel formülü [40].

Bugüne değin yapısı tanımlanmış yağ asitleri 200 den fazla çeşitte bulunmaktadır. Bunlar çok değişik yapılarda ve özelliklerde olmalarının aksine belirli gruplar halinde değerlendirilirse homolog seriler meydana getirirler. Zincir yapılarına göre yağ asitleri gruplar halinde incelenmektedir.

- Düz zincirli yapı

-Substitüe olmuş yapı

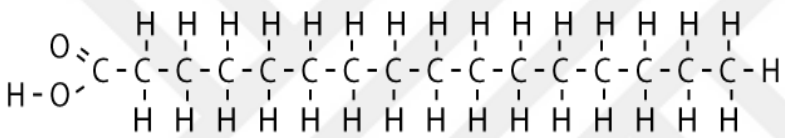
- Halka içeren yapı

-Dallanmış zincirli yapı

Canlıların yapısında bulunan lipit ve lipite benzere bileşiklerin neredeyse tamamına yakını düz zincirli, doymuş ya da doymamış yağ asidi esterlerinden oluşmaktadır. Dahil oldukları homolog serinin neresinde yer aldıklarına bağlı olarak yağ asitlerinin sahip oldukları fiziksel ve kimyasal özellikler farklılık göstermektedir. Bu durum doymuş ve doymamış olarak yağ asitlerinin değerlendirilmesine sebep olmaktadır.

4.1 Doymuş Yağ Asitleri

Karbon-karbon atomları arasında Şekil 4.2'de belirtildiği gibi tekli kovalent bağı (-C-C-) bulunan [41] ve oda sıcaklığında genelde katı halde olan yağ asitleri [42] doymuş yağ asitleri olarak isimlendirilmektedir. Bu şekilde yağ asitlerince zengin olan yağlara da doymuş yağlar adı verilmektedir.



Şekil 4.2 Doymuş yağ asidi zincirinde C atomları [41].

Doğal yağlarda sıklıkla bulunan doymuş yağ asitlerinin genel formülleri ($C_nH_{2n}O_2$) olarak gösterilmektedir. Çift sayıda C atomuna sahiptirler. Tek karbonlu olan yağ asitleri bitkisel yağlarda yoktur. Bu gruptaki doymuş yağ asitlerinden en kısa zincirli olanı 4C atomu bulunduran bütirik asittir, en uzun zincirli yağ asidi ise 24 C bulunduran lignoserik asittir.

Zinciri kısa olan yağ asitleri , 2-8 C'u olanlar, oda sıcaklığında sıvı halde bulunurlar. Yağ asitlerinin zincir uzunlukları arttıkça erime noktaları yükselir. Bu sebeple 8'den fazla C içeren yağ asitleri yapısına katıldıkları yağların katı forma sahip olmasını sağlarlar.

Şekil 4.1'de özellikleri verilen doymuş yağ asitleri sıklıkla et, süt vb. hayvansal kökenli yağlarda ve palm çekirdeği, hindistan cevizi gibi bitkisel kökenli yağlarda bulunmaktadır.

Laurik asit, miristik asit, palmitik asit, stearik asit, arasidik asit ve behenik asit bitkisel yağlarda bulunan en mühim doymuş yağ asitleridir. Özellikle palmitik ve stearik asit bitkisel yağlardan en yaygın bulunan doymuş yağ asitleridir [42].

Çizelge 4.1 Doymuş yağ asitlerinin özellikleri

Yağ asitleri	Sistematik isim	Karbon Sayısı	Erime Nok. (ºC)	Molekül Ağırlığı (g/mol)	Viskozite	Yoğunluk
Bütirik asit	Butanoik asit	**C-4:0**	**-8**	88		
Kaproik asit	Hekzanoik asit	**C-6:0**	**-3**	116		
Kaprilik asit	Oktanoik asit	**C-8:0**	**16.7**	144		
Kaprik asit	Dekanoik asit	**C-10:0**	**31.6**	172		
Laurik asit	Dodekanoik asit	**C-12:0**	**43.6**	200		AZALIR
Miristik asit	Tetradekanoik asit	**C-14:0**	**54.8**	228		
Palmitik asit	Hegzadekanoik asit	**C-16:0**	**62.6**	256		
Stearik asit	Oktadekanoik asit	**C-18:0**	**69.6**	284	ARTAR	
Araşidik asit	Aykosanoik asit	**C-20:0**	**75.3**	312		
Behenik asit	Dokosanoik asit	**C-22:0**	**79.9**	340		
Lignoserik asit	Tetrakosanoik asit	**C-24:0**	**84.1**	368		

Doymuş yağ asitlerinin hangi kaynaklardan elde edildiği Çizelge 4.2'de tablolanmıştır. Bu en fazla kullanılan doymuş yağ asitlerinden hem hayvansal hem de bitkisel kaynaklardan elde edilebilen asitler; kaproik asit, miristik asit ve stearik asit olarak göze çarpmaktadır.

Çizelge 4.2 Doymuş yağ asitlerinin yapısı ve kaynağı [42].

No	Yağ asidi adı	Yapı	Kaynak
1	Bütirik asit	$CH_3(CH_2)_2COOH$	Hayvansal yağ
2	Kaproik asit	$CH_3(CH_2)_4COOH$	Hayvansal yağ-palm yağı, Hindistan cevizi yağı
3	Kaprilik asit	$CH_3(CH_2)_6COOH$	Palm yağı, Hindistan cevizi yağı
4	Kaprik asit	$CH_3(CH_2)_8COOH$	Palm yağı, Hindistan cevizi yağı
5	Laurik asit	$CH_3(CH_2)_{10}COOH$	Defne, Palm yağı, Hindistan cevizi yağı
6	Miristik asit	$CH_3(CH_2)_{12}COOH$	Topuz tohumu yağı, hayvansal yağ, Hindistan cevizi yağı
7	Palmitik asit	$CH_3(CH_2)_{14}COOH$	Bitkisel yağ, palm yağı, yerfıstığı yağı
8	Stearik asit	$CH_3(CH_2)_{16}COOH$	Bitki ve hayvan yağları

4.2 Doymamış Yağ Asitleri

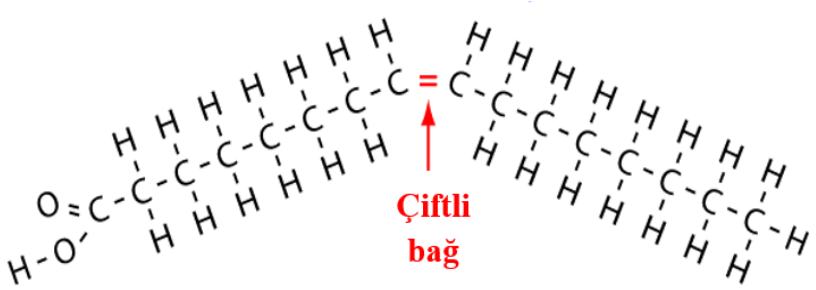
Doymamış yağ asitlerinin C (karbon) atomları arasındaki bağları bir ya da daha fazla sayıda çift ya da üçlü bağ içerirler ve sahip oldukları çoklu bağların sayısı ve yeri bu yağ asitlerine bir takım farklı özellikler sağlar. Karbon atomları arasındaki çiftli bağın yeri Şekil 4.3'te gösterilmektedir. Hayvansal canlı yapılarında yağ asitlerinin 1-9 C atomları arasında çift bağ olmaz ve bu özellik organizmaya öz yapı kazandırır.

Tüm doğal, düz zincirli yağ asitlerinin C atomu sayıları çifttir. Ancak bazı özellikleri ile aynı sayıda C atomu ihtiva etse bile doymuş ve doymamış yağ asitleri farklı fiziksel ve kimyasal özellikler taşırlar.

Bu duruma örnek vermek gerekirse aynı sayıda karbonu olan doymamış yağ asidi lipit çözücülerde doymuş olana nazaran daha kolay çözünür.

Erime ve kaynama noktaları aynı zincir uzunluğunda olan doymuş yağ asitlerine göre daha düşüktür fakat buhar basınç değerleri önemli farklılıklar barındırmamaktadır.

Kırılma indisleri ve yoğunlukları kıyaslandığındaysa zincir uzunlukları aynı olan yağ asitlerinden doymamış olan daha yüksek değerler taşımaktadır.



Şekil 4.3 Doymamış yağ asidi zincirinde C atomları [42].

Alken ve alkin yapıda bulunan doymamış yağ asitleri bu bakımdan iki farklı grupta incelenebilir.

Doğada en sıklıkla rastlanan doymamış yağ asitleri alken yapısındadır. En kısa zincirliler 10, en uzun zincirli olanlar ise 30 C atomu içermektedirler. Alken yağ asitleri içerdikleri çift bağ sayısına göre monoen, dien ve polien yağ asitleri olarak ayrılırlar. Monoenler bir, dienler iki, polienler ise iki ya da daha fazla sayıda çift bağ içeren düz zincirli yağ asitleridir.

En bir tane üçlü bağ içerirleri alkin yapıda yağ asitleridir.

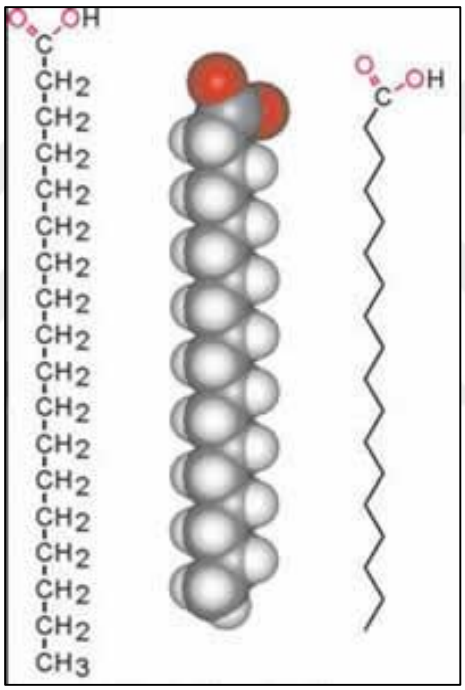
Doymamış yağ asitleri zeytinyağı, ayçiçeği, palm, susam, yer fıstığı, aspir, kanola, fındık, ceviz vb. gibi bitkisel kaynaklı yağlarda ve balık, deniz ürünleri vb. hayvansal kaynaklı yağlarda bulunmaktadırlar. Çizelge 4.3'te doymamış yağ asitlerinin erime noktalarının farklı olduğu ve her birinin bulundukları ve elde edildikleri kaynaklar tablo halinde gösterilmektedir

Çizelge 4.3 Doymamış yağ asitleri ve bazı özellikleri [42].

Yağ asitleri	Sistematik adı	Karbon sayısı ve çift bağın yeri	Erime Nok. (ºC)	Kaynak
Kaproleik asit	9-desenoik asit	**10:1**	**-**	Süt yağı
Lauroleik asit	9-dodesenoik asit	**12:1**	**-**	Süt yağı
Miristoleik asit	9-tetradesenoik asit	**14:1**	**-5**	İnek sütü, balina yağı
Palmitoleik asit	9-hexadesenoik asit	**16:1**	**1**	Balık, Hayvan ve BitkiYağları
Petroselinik asit	6-octadesenoik asit	**18:1**	**30**	Maydanoz tohumu
Oleik asit	9-octadesenoik asit	**18:1**	**13**	Hayvan ve BitkiYağları
Elaidik asit	trans 9-octadesenoik asit	**18:1**	**44**	
Vaksenik asit	11-octadesenoik asit	**18:1**	**40**	Süt yağları
Linoleik asit*	9,12-octadecadienoik asit	**18:2**	**-6**	Soya Yağı
α-Linolenik asit*	9,12,15-octadecatrienoik asit	**18:3**	**-11**	Keten ve Soya Yağı
Gadoleik asit	9-eicosenoik asit	**20:1**	**24**	Deniz hayvanları yağları
Araşidonik asit*	5,8,11,14-eicosatetraenoik asit	**20:4**	**-50**	Hayvan yağları
Erüsik asit	13-docosenoik asit	**22:1**	**34**	Kolza tohumu

4.3 Stearik Asit

Doymuş yağ asitleri arasında en yaygın bulunanlarından biri olan stearik asidin formülü $CH_3(CH_2)_{16}COOH$ olarak şekil 4.4'te gösterilir ve çoğu hayvan ile bitkiden alınan katı-sıvı yağlarda, genellikle gliserid stearin formunda bulunmaktadır. Endüstriyel olarak su buharıyla yağların hidroliz edilmesinden meydana gelmektedir. Bazen içeriğinde belli oranlarda palmitik ve oleik asit, safsızlık olarak bulunmaktadır.İstenirse destilasyon yöntemi kullanılarak saflaştırılabilir. Oleik asit ayrıca mekanik presleme metoduyla ayrılabilir. Stearik asit ve bileşikleri, hususiyetle de tuzları (stearatları) ticari anlamda fazlaca önem arz etmektedirler [43].



Şekil 4.4 Stearik asit yapısı [43].

Stearik asit birçok farklı alanda kullanılmaktadır. Emülgatör olarak ilaç ve kozmetik endüstrisinde, tekstil ürünlerinde yardımcı girdi olarak, boya ve mum yapımında, sabunun sertleştirmesine yardımcı olarak, kauçukta yumuşatıcı ve hızlandırıcı aktivatör olarak kullanılmaktadır. Şekerlemelerde glikoz ile beraber kullanılarak sertleşmeyi sağlar.

Özellikle demir, alüminyum ve benzeri metal parçacıkları kaplamak için kullanımı tercih edilmektedir. Bu sayede hava ile oksidasyondan korunan ürünün depoda bekleme süresi uzatılır ve kompozisyonun değişmesinin önüne geçilir.

Şekil 4.5'te oda koşullarındaki fiziksel hali gösterilmektedir. Ayrıca yalnız bu alanda değil farklı bir çok alanda da kaplama malzemesi olarak kullanımı yaygınlaşmaktadır. Etilen glikol içeren stearik asit esterleri, şampuanlarda, kozmetik ürünlerinde ve kişisel bakım ürünlerinde inci etkisini geliştirmek için kullanılır. Sabunlar, formlarını optimum doymuş yağ asidi içeriği sayesinde kalıp formunda tutabilir. Sabun yapımında alkilamonyum türevleri kullanılır

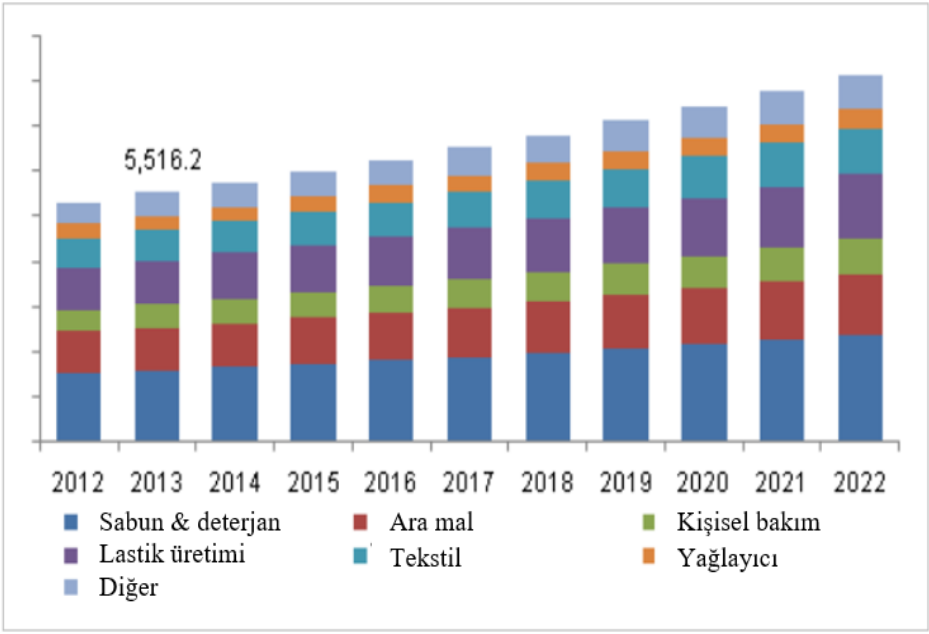


Şekil 4.5 Stearik asit oda koşullarında [44].

Sabun ve deterjanların en büyük uygulama bölümü olduğu ve 2014 yılında toplam talebin% 25'ini oluşturduğu bilinmektedir. Önümüzdeki yıllarda da hızlı bir şekilde büyümeye tanık olması beklenmektedir.

Stearik asitin kozmetik ve gıda alanları dışında da pazarını büyütmesi öngörülmektedir.Şekil 4.6'da 2012-2022 yılları arası stearik asidin Pazar tahmini verilmiştir.Buna göre yumuşatıcı ve ayırıcı ajanlar dahil, yağlayıcıların da dahil olduğu birçok uygulamada kullanılabilirliğinin keşfedilmesi ile sektördeki payı artacaktır. Ek olarak, otomotiv lastik üretiminde ayırıcı ajan olarak ve kalıp ayırıcı olarak kullanılırlar.

Stearik asit, enjeksiyonlu kalıplama uygulamalarında ve seramik preslenme sırasında kayganlaştırıcı/ yağlayıcı olarak görev alır, bu nedenle endüstriyel sektörlerde önemli bir talep yaratır. Uygulamaları arasında mum üretimi, kaplama, akışkanlaştırıcı alkol, temizleyici ve boya üretimi gibi yenilikçi alanlar yer alır. Kişisel bakımın, Hindistan, Çin ve Japonya gibi gelişmekte olan ekonomilerde artan ürün kapsamı nedeniyle en hızlı büyüyen uygulama segmenti olduğu tahmin edilmektedir [44].



Şekil 4.6 Ürünlere göre düzenlenmiş küresel stearik asit pazar tahmini 2012 - 2022 (Kilo Ton) [44]

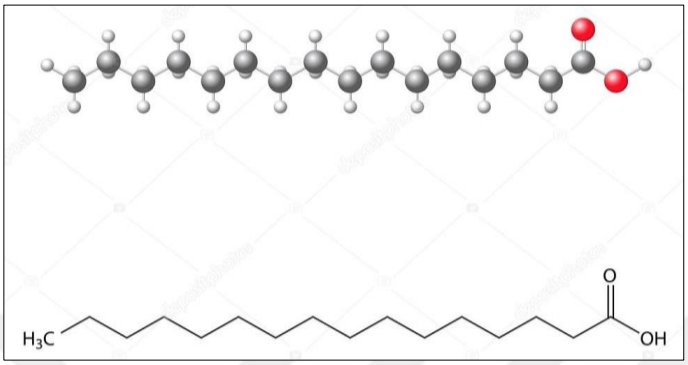
4.4 Palmitik Asit

Doğada genellikle tüm bitki ve hayvan yağları içerisinde ve en çok da stearik asitle beraber bulunan palmitik asit bir çok balık yağında % 10, pamuk yağında % 20 ve hurma yağında % 40 oranlarında mevcuttur. Diğer yağ asitleri gibi palmitik asit de doğada serbest olarak yoktur. Ancak, yine de diğerleri gibi gliserinle esterleşmiş olarak gliserid adıyla yağlarda mevcut olduğu bilinmektedir. Palmitik asit, yağlarda gliserin tripalmitat olarak bulunmaktadır. Formülü $CH_3(CH_2)_{14}CO_2H$ olan, renksiz, katı formda ve çeşitli kristal şekiller ile var olan palmitik asidin en kararlı halde erime noktası 62,9 °C olarak bilinmektedir. Palmitik asit monokarboksilli asitlerin bilinen tüm kimyâsal özelliklerini göstermektedir. Örneğin, alkollerle reaksiyonundan esterler oluşmaktadır.

$$C_{15}H_{31}COOOH + ROH \rightarrow C_{15}H_{31}COOR + H_2O \qquad (4.1)$$

Fosfor pentaklorür (PCl_5) ile birleşerek, asit klorürü ($C_{15}H_{31}COCl$) oluşturmaktadır. Palmitik asidin en mühim bileşiği, sodyum veya potasyum ile oluşturduğu bileşikleridir. Sodyum palmitat ($C_{15}H_{31}COONa$) beyaz katı sabun, potasyum palmitat ($C_{15}H_{31}COOK$) ise esmer mayi (sıvı) sabun olarak bilinmektedir.

Sabun üretiminde sabun elde etmek için, genellikle palmitik asidin veya diğer asitlerin kendileri değil, gliserin esterlerinin kullanımı tercih edilmektedir. Palmitik asit on altı tane karbon atomu bulundurur ve iki karbonlu asetik asidin biyosentezinden oluşmaktadır. Palmitik asidin molekül yapısı Şekil 4.7'de gösterilmektedir.

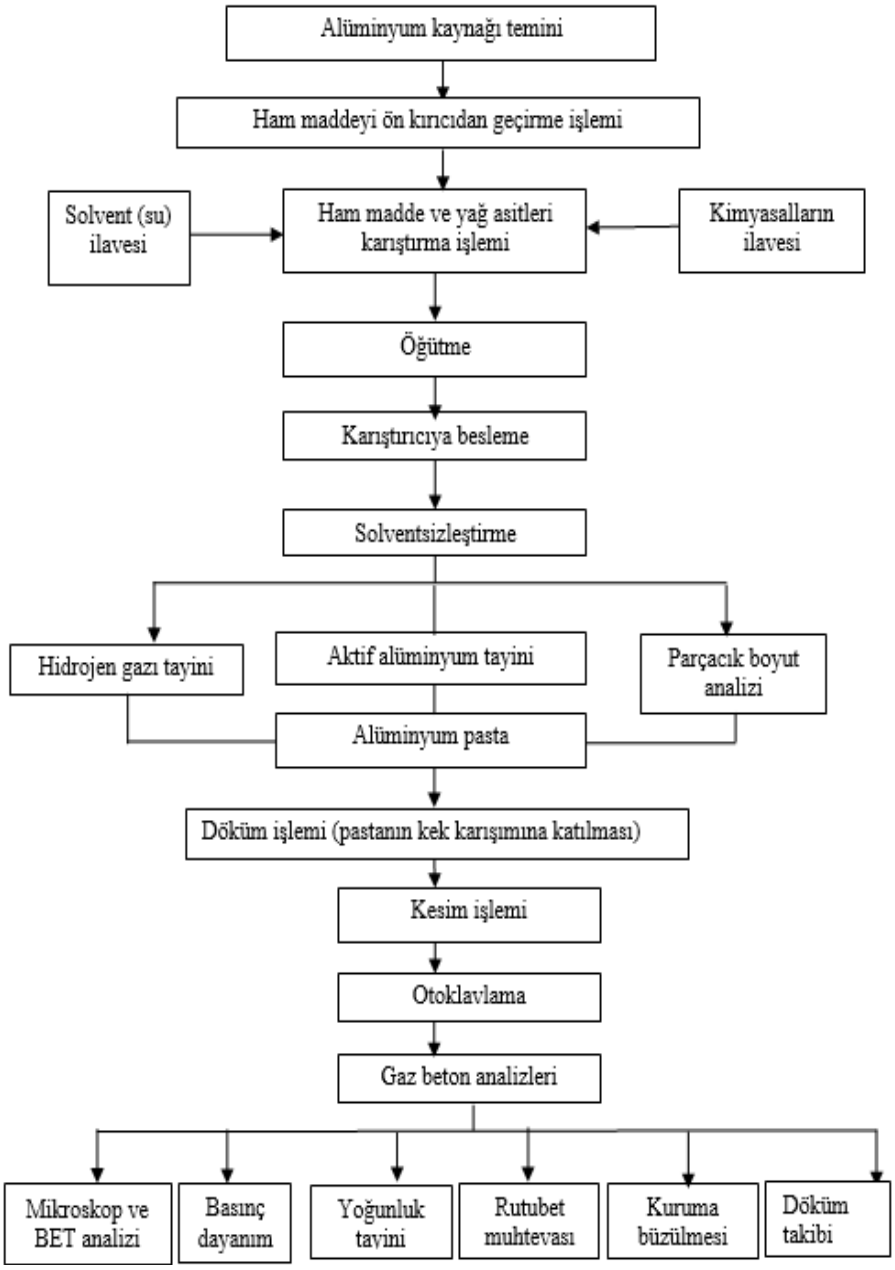


Şekil 4.7 Palmitik asidin moleküler yapısı [45].

Kendine kullanım alanı olarak kozmetik ürünlerde, wax formülasyonlarında ve mum üretiminde oldukça fazla yer bulmaktadır. Bunların dışında da sabun ve deterjan üretiminde, sıvı-sıvı solüsyonların imalatında, anyonik ve non iyonik yüzey aktif malzemelerin geliştirilmesinde, tekstil kimyasallarında kullanımı tercih edilmektedir.Buna ek olarak gıda malzemelerinde aglomerasyonun engellenmesini sağlayan ürünlerde aynı zamanda bakteri karşıtı tesirinde faydalanılmaktadır.

5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada yapılan deneysel çalışmaların basamakları sırası ile Şekil 5.1'de gösterilmiştir.



Şekil 5.1 Deneysel çalışma akım şeması

5.1 Malzemeler

5.1.1 Alüminyum folyo

Proseste %90'dan fazla alüminyum oranına sahip alüminyum folyo atıkları kullanılmaktadır.

5.1.2 Yağ asitleri

Palmitik ve stearik olarak iki türde doymuş yağ asidi kullanılmaktadır.

5.1.3 Kimyasallar

Proseste kullanılacak kimyasalların birçok yardımcı ve önemli görevi bulunmaktadır. Bilyalı değirmenin verimini arttıracak yağlayıcı, başlangıçta hazırlanan katı sıvı karışımın su içine homojen dağılması için yüzey aktif etkili emülgatörler ve değirmen içindeki gövdenin aşınması ile oluşacak korozyonu önleyici malzemeler kullanılmıştır.

5.2 Örnek numune hazırlama

İki yağ asidi için diğer tüm malzemeler aynı oranda kalmak üzere iki ayrı numune hazırlanır. Belirli mikrometre boyutuna kadar folyo hurdası önce kesilip parçalanır ardından kırıcıdan geçirilerek küçük parçalara ayrılır. Folyo miktarının yaklaşık kütlece % 0,5-10 oranında yağ asidi, % 70-80 oranında solvent (su), kırılmış folyo malzeme ve kimyasallar karıştırılarak değirmene aktarılmak üzere hazırlanır. Kimyasallar emülgatör, korozyon önleyici ve yağlayıcı malzemelerden oluşmaktadır.

5.3 Öğütme

Hazırlanan alüminyum folyolu karışım değirmene beslenir. Değirmen sabit tur/dk hızla 14 saate kadar çalıştırılarak öğütülür. Burada önemli parametrelerden biri değirmendeki bilya şarj oranıdır. Farklı boyutlarda ve toplam bilya miktarının kütlece belirlenen yüzdelerinde olacak şekilde bilyalarla doldurulur. Bilyalar değirmen gövdesine çarparak folyo yüzeyini sıyırır ve oluşan yapraksı taneler aktif yüzey alanı oluşturur. Ancak bu esnada hem yağ asidi ile kaplanır hem de solvent karışımı içine homojen dağılmış olur.

5.4 Kurutma

Bilyalı değirmende öğütmesi tamamlanan malzeme homojen bir karışım olması için önce karıştırıcı tankına beslenir. Buradan sarsak eleğe alınır.

Elekte iri taneli kalıntılar, bilyadan kopan parçalar ve yabancı malzemeler ayrılmak istenmiştir. Pompa, filtre prese by-pass hattı yardımıyla belli basınç ayarında yavaşça malzemeyi basar. Belli bir sürede basılan malzemenin filtrede sıvısından ayrılması işlemi tamamlandığında plakalar birbirinden ayrılır ve aralarından düşen kek malzeme, bir tankta toplanır. Buradan elde edilen malzeme % 25-35 aralığında nem oranına kadar solvent taşımalıdır. Filtrede durma süresi denemelerle, uygun değer aralığında nem kalması için ayarlanmıştır. Homojenlik elde edebilmek için kek filtereden çıkarıldığında alındığı kapta belli bir süre karıştırılır.

5.5 Alüminyum Pasta Analizleri

5.5.1 Lazerli boyut dağılım analizi

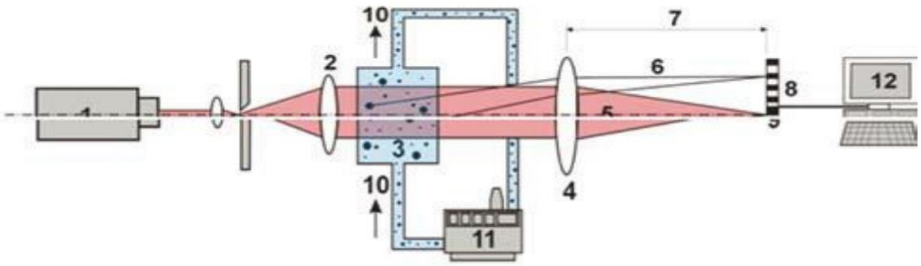
Malvern boyut dağılım cihazından özellikle mikrometre ölçüm boyutlarında parçacıkların özelliklerinin tespitinde yararlanılır. Bu cihazda lazer kırınım yöntemi ile tane boyutlarıyla ışınların kırılma açısı arasındaki ters orantı bağıntısı temellendirilmiştir. Lazer kırınım metodunda parçacıkların üzerine salınan lazer ışınları taneciklere çarparak kırılır. Hemen ardından bu ışınlar ileri yönde yansıyarak merceğe doğru hareket eder ve buradan geçtikten sonra da son olarak dedektörün üzerine düşer. Malvern PS 3000 cihaz seti şekil 5.2'de görülmektedir.



Şekil 5.2 Malvern PS Mastersizer 3000 [47].

Bir dönüştürücü yardımı ile sayısal hale gelen dedektörün yakaladığı ışınlar, bilgisayar sayesinde tane boyutu ve yüzde oranı olarak değerlendirilerek, hesaplamalar gerçekleştirilir.

Şekil 5.3'te bir lazer kırınım cihazındaki birimler temsili olarak gösterilmektedir. Sırasıyla 1 numara lazer kaynağını, 2 numara ışın genişleticiyi, 3 numara ölçüm hücresini, 4 numara Fourier merceğini, 5 numara herhangi bir taneye çarpmayan ışın demetini, 6 numara aynı boyutlardaki parçacıklara çarpıp kırılan ışınları, 7 numara merceğin odak uzaklığını, 8 numara çok elemanlı detektörü, 9 numara merkezi detektörü, 10 numara süspansiyon akış yönünü, 11 numara numune hazırlama ünitesini ve son olarak 12 numara da her datanın kaydedileceği bilgisayarı göstermektedir.



Şekil 5.3 Lazer kırınım cihazının genel kurulumu [47].

Genellikle 0,1 – 0,5 g arasında değişen miktarlardaki numune ile çalışılmakta olan lazer kırınım analizinde tane boyut dağılımının hacimce değerlendirilmesi temel alınıp hesaplama yapılmaktadır. Bu metod sayesinde 0,5 -0,00002 mm aralığındaki parçacık boyutları saptanırken 1 μm'den küçük boyuttaki kolloid yapılar sıvı-katı solüsyonda askıda kalıp dibe çökemedikleri için tesbit edilememektedirler.

Bilgisayarlar aracılığıyla boyut analiz aygıtı kontrol edilebilir ve elde edilen datalar kaydedilebilir. Optikte en bilinen ve işe yarayan iki temel teori olan Mie ve Fraunhofer kırınım kuramları lazer kırınım metodunun gerçekleştirilmesinde temel kabul edilmektedir. Bu kuramlar temelde parçacık boyutuna göre ve ölçüm elverişlilikleri açısından değerlendirilirse, birbirlerine göre fazlasıyla farklılık bulundurmaktadırlar.

Bu çalışmada Malvern Mastersizer 3000 cihazı yardımı ile mikrometre ölçüm büyüklüğüne sahip parçacıkların ortalama boyut, hacimsel boyut dağılımı, parçacık gibi özellikleri ölçülecek ve değerlendirilecektir. Parçacıkların karakterizasyon teknikleri yardımı ile analizi sağlanırken, numunelerin uzaysal olarak ayrı yani dağılmış olması çok önemlidir.

Homojen dağılım için belirlenen iki metod vardır. Bunlardan ilkinde ıslak yöntem (Parçacıklar sıvı bir ortam içinde) ile Şekil 5.4'te görülen, diğerinde ise kuru yöntem (Parçacıklar gaz bir içinde) ile dağılım gerçekleştirilmektedir [47].



Şekil 5.4 Islak metod ile muamele edilen numune titreşimle homojen olarak dağıtılır.

Yansıma, kırılma, soğurma ve kırınım olaylarının neticesinde ışık saçınımı ortaya çıkmaktadır. Mie teoremi ile bu olayların kırınıma olan tesirini ortaya çıkarma hali daha fazladır. Bu yöntem ile kırılma, yüzey alanı gibi parametreleri içermektedir. Ayrıca da matematiksel ifadesi biraz daha komplekstir. Mie teorisi ışığın saçınıma maruz kaldığı her yön (ileri, geri ve yan saçınım) için uygulanabilmektedir. Buna ilaveten 150°'ye değin olan saçınım açılarında da başarılı sonuçlar görülebilmektedir.

Aşağıda sadece bir tane küresel şekilli parçacığa uygulanan Mie teoreminin genel hatlarını belirten bir bağıntı gösterilmektedir [48].

$$I(\theta) = \frac{I_0}{2k^2}\ [\{[S_1(\theta)]^2\} + \{[S_2(\theta)]^2\}] \qquad (5.1)$$

Denklemdeki $S_1(\theta)$ ve $S_2(\theta)$ adıyla belirtilen fonksiyonlar, ışık şiddetinin, saçınım açısı θ 'ya göre sırasıyla dik ve paralel bileşenlerini gösteren ve boyut değişkeni olan a ile doğrudan ilişkilidir elemanlardır. Mie teoremi metodunun uygulanmasında parçacıkların kırılma indisinin değerlerine vakıf olmak önemlidir. Analiz edilecek malzemenin türüne göre aygıtın bilgisayarı içinde bu indis değerleri kayıtlıdır.

Genel bir değerlendirme yapıldığında lazer kırınımı metodunun parçacık boyut dağılımının saptanmasındaki ana fikirde, belirli bir boyut aralığındaki parçacıkların toplam kırınım deseninin, bunların her birinin kırınım deseninin tek tek toplamına eşit olması vardır. Eğer bir parçacık için ölçülen toplam ışık şiddeti (Ie), kırınım

deseninin tariflediği alanı gösteriyorsa, n tane parçacık için oluşacak toplam şiddet, toplam alanı göstermiş olacaktır. Böylelikle, aşağıdaki bağıntıların integrali de n tane parçacığın total (göreceli) hacmini bulmayı sağlar [48].

$$r = \frac{4d^3}{1.5.\pi D^4}\ \rho_0.\left(1 - \frac{\rho_0}{\rho}\right) \quad (5.2)$$

$$I(\theta) = \frac{I_0}{k^2 a^2}\ \alpha^4 \left[\frac{J_1(\alpha\sin(\theta))}{\alpha\sin(\theta)}\right]^2 \quad (5.3)$$

$$S_1 = S_2 = \alpha^4 \left[\frac{J_1(\alpha\sin(\theta))}{\alpha\sin(\theta)}\right]^2 \quad (5.4)$$

$I(\theta)$: θ açısında parçacığın kırınıma uğrayan toplam ışın şiddeti,

I_0 : Gelen ışının şiddeti,

a : Dedektör ile tane arasındaki mesafe, mm,

α : Birimsiz boyut parametresi (a=7tx/À),

x : Tane boyu (um),

X: Dalga boyu (nm),

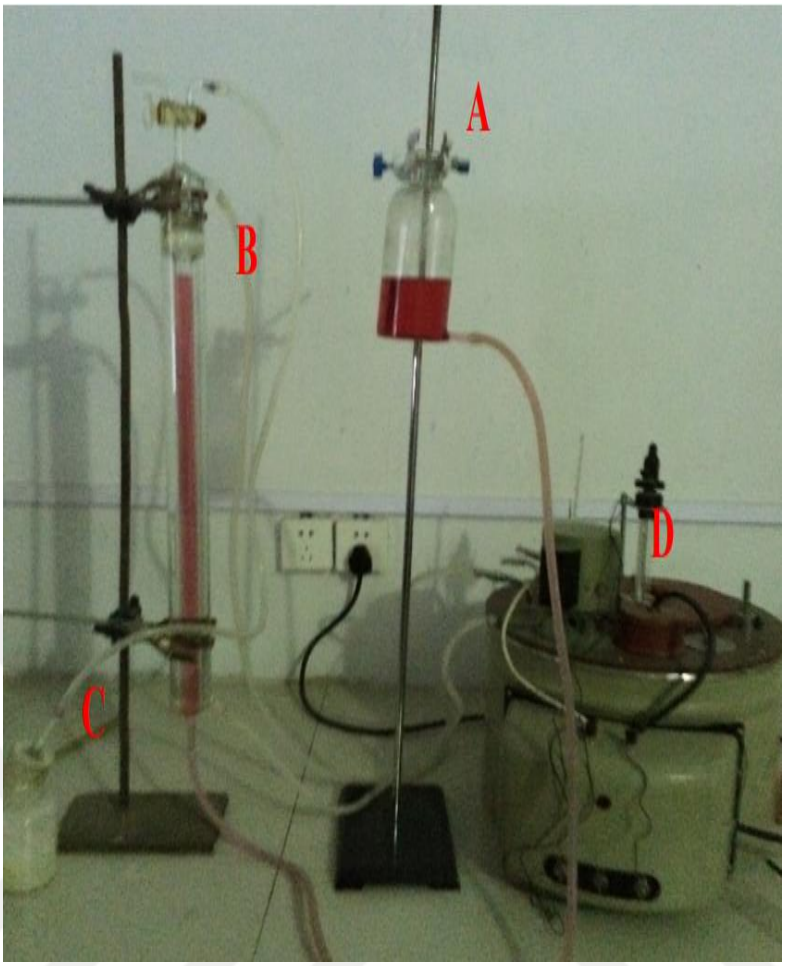
k : Dalgaboyu katsayısı (k=27t/À),

$S_ı$ ve S_2: Sırasıyla saçman ışının dikey ve paralel bileşenleri,

$J_ı$: Birinci derece Bessel fonksiyonudur [48].

5.5.2 H_2 gazı tayini

A şişesine NaCl çözeltisi konur. (Şeki l5.5) Ceketli gaz büretine (B), (A) şişesi yukarı-aşağı hareket ettirerek NaCl çözeltisi doldurulur. Termostatik ısıtıcı (D) 45 ^oC' ye ayarlanır. Bu şekilde reaksiyon için gerekli ortam sıcaklığının oluşması sağlanır. Gaz büreti (B) etrafındaki cekette ısıtıcıdan gelen suyun dolaşımı kontrol edilir. Gaz büretine (B) çözelti dolumundan sonra büret (B) ve (A) şişesindeki çözeltinin aynı hizada olması sağlanır 50 ml saf su , 12 g Ca $(OH)_2$ -sönmüş kireç- karıştırılıp çözelti haline getirilip (C) şişesine konur. Sönmüş kireç ve alüminyumun reaksiyonu sonucu ortaya çıkan H_2 gazının zamana karşı hacimsel değişimi analiz edilecektir.

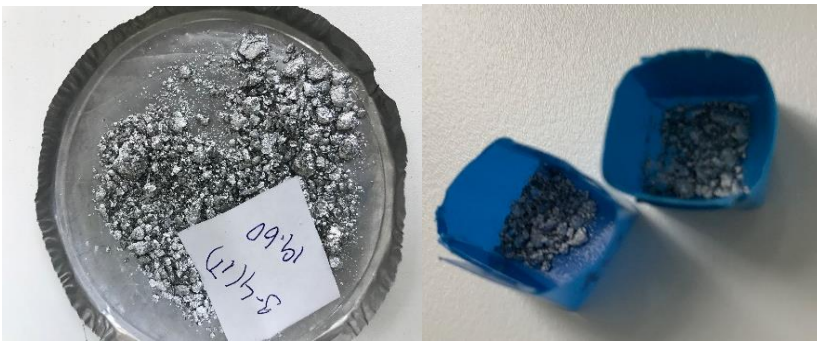


Şekil 5.5 Hidrojen gazı çıkışı deneyi düzeneği

Kurutulmuş Al pasta numunesinden 0,03-0,15 g arası numune tartımı yapılır. Numune (C) şişesine ilave edilir ve hemen ardından tıpası kapanır. (C) şişesi, homojen hali oluşturmak için bir süre çalkalanır ve (D) su banyosu içerisine yerleştirilir. 2 dakika aralıklarla (B) gaz büretindeki hacim değerleri kaydedilir. Okuma esnasında (A) şişesi ve (B) gaz büretindeki çözelti aynı hizaya getirilmelidir. (B) gaz büretindeki hacim değişikliği değişmeyen hacime ulaşana kadar bu ölçüme devam edilir. Tartılmış alüminyum pasta numuneleri Şekil 5.6'da gösterilmiştir.

t_i:zaman,dk

m:alüminyum pasta numune miktarı (g)



Şekil 5.6 Tartılmış alüminyum numuneleri.

V_i:i zamanındaki okunan hacim değeri (ml)

V_{son}: Gaz büretinde son okunan hacmi (ml)

$$\%V_i = \frac{V_{son}-V_i}{V_{son}} x100 \quad (5.5)$$

Al pasta numunesi aşağıdaki adımlarla hazırlanır;

- 10 g Al pasta numunesi tartılır
- 105 ºC'de nem cihazında (Şekil 5.7) değişmez kütleye gelene dek kurutulur. Göstergedeki % nem değeri kaydedilir.



Şekil 5.7 Alüminyum pasta numunenin nem tayini, Precise XM 50

NaCl Çözeltisi aşağıdaki adımlarla hazırlanır;

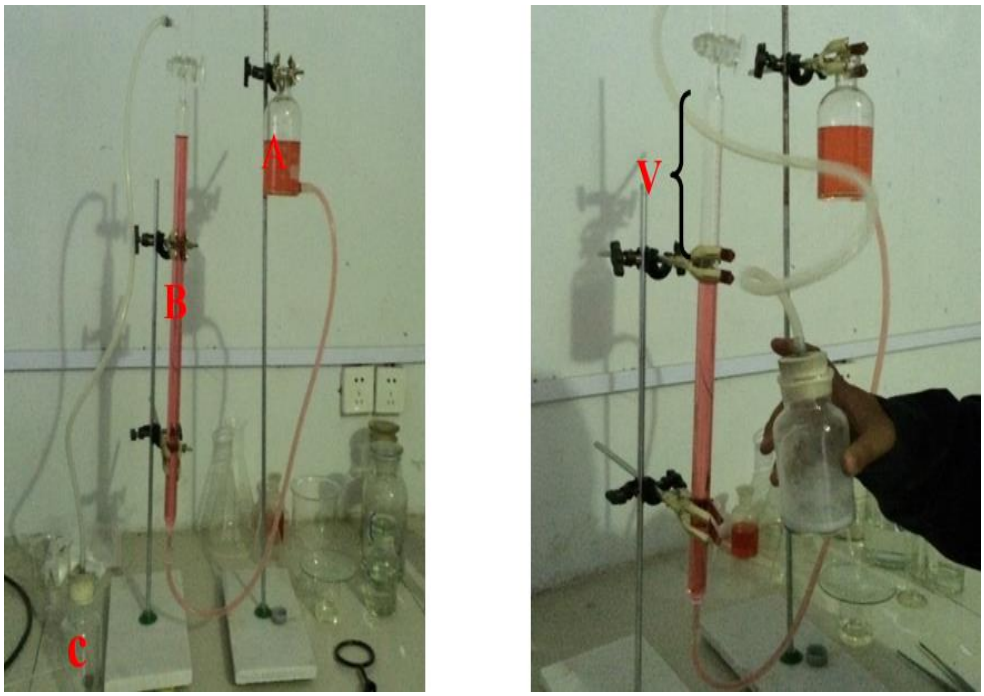
- A şişesinde seviye belirlemek için kullanılan çözelti NaCl (Şekil 5.8) ile hazırlanır.
- 40 g NaCl tartılır 360 ml saf suda çözülür.
- 2-3 damla metil oranj damlatılır.
- Renk meydana gelinceye dek HCl asidi damlatılır**.**



Şekil 5.8 Renklendirilmiş NaCl çözeltisi ile seviye takibi işlemi

5.5.3 Aktif Alüminyum Tayini

A şişesine NaCl çözeltisi Şekil 5.9'daki gibi sabitlenir. Gaz büretine (B) , A şişesi yukarı-aşağı hareket ettirilerek NaCl çözeltisi doldurulur. Gaz büretine (B) çözelti dolumundan sonra, büretin, B ve A şişesinideki çözeltilerin aynı seviyede olması sağlanır.Aynı zamanda ortam sıcaklığı ve basıncı kaydedilir. 0,035-0,05 g kurutulmuş Al numunesi tartılır. C şişesine % 30'luk 30 ml NaOH çözeltisi koyulur. C şişesine Alüminyum numunesi ilave edilir.Tıpası hemen kapatılır ve çalkalanır.



Şekil 5.9 Aktif alüminyum analiz düzeneği

A: NaCl çözelti şişesi

B:Gaz büreti (V:120 ml) (Şekil 5.10)

C:Gaz balonu (V:250 ml)



Şekil 5.10 Reaksiyonu başlamış alüminyum pasta numunesi

Büretteki B çözeltisi hacimce sabitlendiğinde A şişesi büretteki çözelti seviyesiyle aynı hizaye getirilir. (B) Büretteki gaz hacmi(V) okunur.

P:atmosfer basıncı (atmosfer saatinden okunur) (hPa)

P_1:su buharı basıncı (ortam sıcaklığına karşılık gelen basınç tablosundan okunur) (Pa)

V:Büretten okunan son gaz hacmi değeri (B büretinden okunur) (ml)

T:Ortam sıcaklığı (^oC)

M_{Al}: Kurutulmuş alüminyum pasta numune kütlesi (g)

K:sabit

% Aktif alüminyum hesabı aşağıdaki denklemden bulunarak kaydedilir.

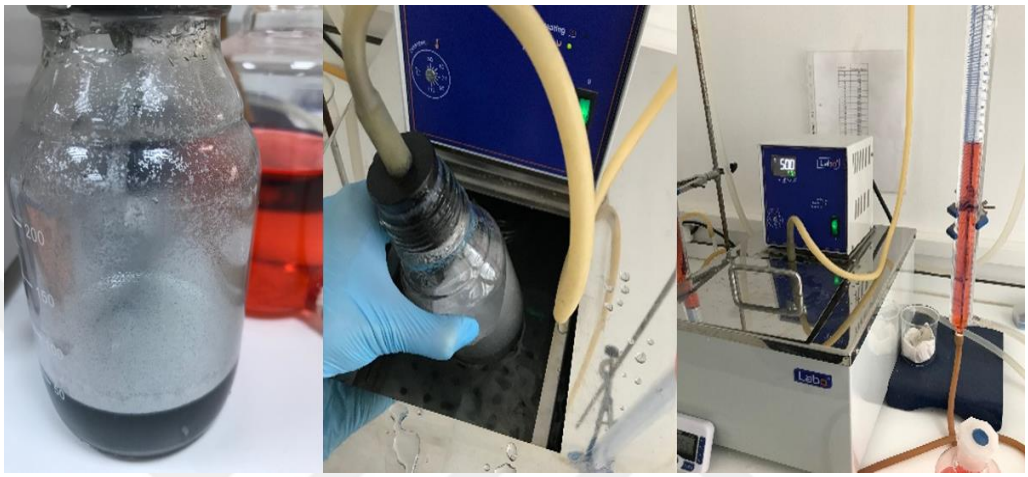
$$\% \text{ Aktif Al} = \frac{(P-P_1)*V*K}{(273+t)*M_{Al}}*100 = \frac{(P-P_1)*V*2{,}16.10^{-6}}{(273+T)*M_{Al}}*100 \qquad (5.6)$$

5.5.4 Yaşlandırma Analizi

A şişesine NaCl çözeltisi koyulur. Şekil 5.11'de görülmekte olan gaz büretine (B) , A şişesi yukarı-aşağı hareket ettirilerek NaCl çözeltisi doldurulur. Ceketli gaz büretine (B) çözelti dolumundan sonra, büretin, B ve A şişesinideki çözeltilerin aynı seviyede olması sağlanır.Aynı zamanda ortam sıcaklığı ve basıncı kaydedilir. 0,035-0,05 g

kurutulmuş Al numunesi tartılır. C şişesine 50 ml su koyulur. C şişesine alüminyum numunesi ilave edilir.

Büret seviye ve sızdırmazlık kontrollerinden sonra tıpası hemen kapatılır ve çalkalanır. Ardından 50^{o}C'ye ısıtılan su banyosu içine koyulur. İlk okuma kaydedilir ve yarım saat sonra ikinci ölçüm kaydedilir. Bunlardan sonra saatlik periyotlarla hacimsel ölçüm kayıt altına alınır.



Şekil 5.11 Alüminyumun su ile tepkimesinin gerçekleştiği sıcak su banyosu

V_{son}: H_2 gazı tayininde büretten okunan son gaz hacmi(ml)

m: H_2 gazı tayininde kullanılan alüminyum pasta numune miktarı (g)

m_{num}: Yaşlandırma testinde kullanılan numune miktarı (g)

V_{H2} :Toplam gaz hacmi (ml/g)

$V_{son,y}$:Yaşlandırma testinde karşılaştırılacak toplam gaz hacmi (ml)

Vi: yaşlandırma testinde i anında okunan hacim (ml)

$$v_{H_2} = \frac{v_{son}}{m} \tag{5.7}$$

$$Vson, y = \frac{m_{num} x v_{H_2}}{m} \tag{5.8}$$

$$\%v_i = (v_i/v_{son,y})\ x100 \tag{5.9}$$

5.6 Gazbeton Analizleri

5.6.1 Basınç dayanımı tayini

Deney numuneleri hazırlandıktan sonra basınç deneyi cihazının yükleme başlığı üzerine merkezlenir ve numune üzerine sabit hızda arttırılarak kırılıncaya dek yük uygulaması yapılır. Gazbeton için kullanılan mukavemet cihazı Şekil 5.12'de gösterilmiştir. Numunenin yük uygulanacak yüzeyinde dengesiz girinti çıkıntılar, çukurluklar var ise bu yüzeyin alanının net yükleme alanının %35'ine eşit veya fazla olması halinde bu yüzey kullanılarak test yapılmamalıdır. Numuneler deneyden önce şartlandırılmalıdır.



Şekil 5.12 Gaz beton basınç mukavemeti analiz cihazı, ALŞA

Numune, uniform bir yükleme sağlanabilmesi için küresel yataklanmış başlığın merkezine gelecek şekilde yerleştirilir. Tahmin edilen azami yükün yaklaşık yarısına ulaşınca yükleme hızı azami yük değerine yaklaşık olarak bir dakikadan az olmayan sürede ulaşılacak şekilde ayarlanır. Yükleme hızı seçimi için literatürden alınan aşağıdaki Çizelge 5.1'den faydalanılır.

Deney numuneleri, kenar uzunluğu 100 mm olan küp biçiminde olmalıdır. Deneyde kullanılacak deney numunelerinin basınç uygulanacak yüzleri kumpas ile 1 mm hassasiyetle ölçülerek alanı tespit edilir.

Çizelge 5.1 Basınç dayanımlarına göre yükleme hızları [49].

Tahmin edilen basınç dayanımı (N/mm^2)	Yükleme hızı (N/mm^2)/s
<10	0,05
11-20	0,15
21-40	0,3
41-80	0,6
>80	1,0

Bir deney takımı üç deney numunesinden meydana gelir. Deney numunesinin birisi, imalat sırasında mamulün kabardığı yönün üçte birinden, biri ortasından, biri de alt üçte birinden alınmalıdır. Deney numunelerinin bileşen içerisindeki yeri numara ile gösterilmeli, kütlenin kabarma yönü numune üzerine işaretlenmelidir.

Deney numuneleri karborandum bıçaklı dairesel testere veya benzeri aletle kesilerek alınmalıdır. Deney numunelerinin içinde teçhizat bulunmamalıdır. Yüzeyler düzgün ve temiz olmalıdır. Deney numunesi yüzeylerinin düzlemden sapması 100 mm' de 1 mm den fazla olmamalıdır. Sapmalar aşındırarak, keserek veya benzer bir işlem uygulayarak düzeltilmelidir. İşlem sırasında çıkan toz temizlenmelidir.

Deney numunelerinin uzunluk, genişlik ve yükseklikleri kumpas ile 0.1 mm hassasiyetle ölçülmelidir.

Deney numuneleri Şekil 5.13'de görülen etüvde 50 ^oC' i aşmayan sıcaklıkta, kütlenin yüzdesi olarak ifade edilen rutubet miktarı %4 ile %8 arasında oluncaya kadar kondisyonlaşır.

Ayrıca deney numunelerinin basınç deneyinden önceki rutubet miktarı aynı birimden alınmış olan numunelerin kuru yoğunlukları tayin edilerek belirlenebilir [49].

Kondisyonlaşan deney numuneleri, deney cihazına yerleştirilerek, kabarma yönüne dik olarak eksenlerinden yüklenir.

Yükleme hızı saniyede 0.5 kgf /cm^2 bir gerilme artışı sağlayacak veya numune yaklaşık 30 saniyede kırılma olacak şekilde ayarlanmalıdır.



Şekil 5.13 Gazbeton numuneleri için 50 ºC'deki etüv.

Numunenin basınç mukavemeti;

$$f = \frac{F}{A} \quad (N/mm^2) \qquad (5.10)$$

Burada

F: Maksimum yük

A: Yükün uygulandığı kesit alanı (mm^2)

olarak ifade edilmektedir.

Her deney numunesinin basınç mukavemeti basınç mukavemeti en yakın 0.05 N/mm^2 ye yuvarlatılarak ifade edilmelidir. Mamulün basınç mukavemeti üç numunenin basınç mukavemetlerinin ortalaması olarak hesaplanmalıdır. Mamulün basınç mukavemeti en yakın 0.1 N/mm^2 ye yuvarlatılarak ifade edilmelidir [49].

5.6.2 Kuru Yoğunluk Tayini

Deneyde 0.1 mm hassasiyetle okuma yapabilen kumpas (105±5ºC) ayarlanabilen hava dolaşımlı etüv ve numunelerin kütlesini % 0.1 hassasiyetle ölçülebilen terazi kullanılarak numune analiz edilir.

Deney numunesi en küçük boyutu 50 mm olan prizma şeklindedir. Yoğunluk tayini için basınç mukavemeti tayini deney numuneleri kullanılabilir.

Deney takımı üç deney numunesinden meydana gelmektedir. Deney numunesinin biri, bileşenin imalat sırasında kabardığı istikametin üst üçte birinden, biri ortasından, diğeri de alt üçte birinden alınmaktadır. Numunelerin bileşen içindeki yerleri numaralayarak belirtilmektedir.

Deney numuneleri karborandum bıçaklı daire testere veya benzeri bir aletle kesilerek alınır. Bütün yüzeyler temiz ve düzgün olmalıdır.

Deney numunelerinin yüzeyleri düzlemden 100 mm de 0.1 mm' den daha fazla sapmamalıdır. Yüzeylerin düzgünlüğü iki köşegen boyunca cetvel ve sentil uygulayarak kontrol edilmemektedir. Deney numunelerinin uzunluk, genişlik ve kalınlık kumpas ile 0.1 mm hassasiyetle ölçülmektedir.

Deney numuneleri boyut ölçümünden sonra (100±5) ºC sıcaklığa ayarlanmış havalandırmalı etüvde değişmez kütleye ulaşana dek kurutulur. Deney numuneleri etüvden çıkarılır çıkarılmaz kütleleri tespit edilmelidir. Kütle tayininde hata, deney numunesi kütlesinin % 0.1'inden daha fazla olmamalıdır. Deney numunesinin kütlesi, 24 saat süre ile kurutulduğunda % 0.2 den fazla değişmiyorsa sabit kütleye geldiği kabul edilmelidir [50].

Kuru yoğunluk aşağıdaki formül ile hesaplanır.

$$Kuru\ yoğunluk = \frac{\text{Deney numunesinin kuru kütlesi (kg)}}{\text{Deney numunesinin hacmi (} dm^3\text{)}} \qquad (5.11)$$

Net kuru yoğunluk;

Değişmez kütleye kadar kurutulmuş durumdaki numune yoğunluğudur [50].

5.6.3 Kuruma Büzülmesi Deneyi

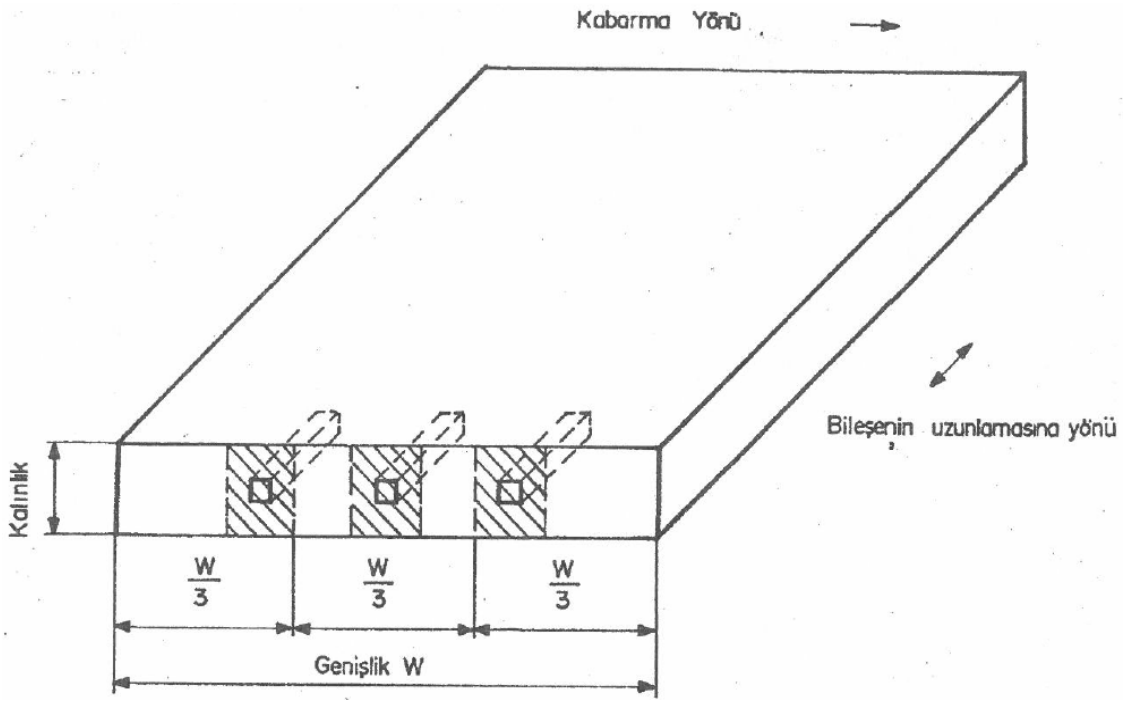
Gaz betonun kuruması sırasında meydana gelen rölatif uzunluk değişimlerinin tayini için bir takım işlemler uygulanır.

Prizmatik olarak kesilen numuneler önce (20±2) ^{o}C sıcaklıktaki su içerisinde 72 saate kadar su altında bekletilir. Daha sonra 24 saat kadar kapalı bir kap veya sızdırmaz bir torba içerisinde bekletilir.

Geleneksel kuruma büzülmesi değeri, ε_{cs} rölatif uzunluk değişimleri ile rutubet muhtevalarını bir grafik üzerinde çakıştırarak ortaya çıkan eğriden kütlece %30 ve %6 rutubet muhtevasındaki uzunlukların rölatif değişimi olarak tayin edilir.

Deney esnasında numuneleri kesmek için döner karborandum ve elmas bıçaklı bir testere, kütlelerin tayini için de %0,1 doğrulukta terazi, numune boyutlarını %0,1 mm doğrulukta okumaya yatkın kumpas, sıcaklığı (20±2)^{o}C'de tutulan bir oda uzunluk değişimlerini ölçmek için komparatör kullanılmıştır.

Deney numuneleri en kesiti 40 mm x 40 mm ve uzunluğu 160 mm'den kısa olmamak kaidesiyle ölçme aletine uygun prizmalar şekilde kesilir. Mümkün olduğu sürece bir deney numunesi bileşenin imali sırasında kütlesinin kabarma yönünde olmak üzere, üçte birinden, bir tanesi ortasından, bir tanesi de alt üçte birinden hazırlanmaktadır. Numuneler aşağıdaki Şekil 5.14'te gösterildiği gibi kesilir [51].



Şekil 5.14 Kabarma yönüne göre prizme numunelerin kesilme şekli.

Numune boyutları kumpasla 0,1 mm doğrulukla ölçülür, L_0 boyu, karşılıklı boyuna iki yüzeyin eksenlerinin iki uca yakın kısımlarında ve ortasında ölçülmüş ve V hacmi kalınlık, genişlik ve uzunluk ölçümlerinin ortalamalarının çarpımı ile hesaplanmıştır.

Deney numuneleri istenen rutubet muhtevasına ulaştıktan sonra plastik folyo benzeri malzeme ile rutubet kaybını önlemek için sarılarak yalıtılır ve yeterli düzeyde uniform rutubet dağılımı elde etmek için deneyden önce (20±2) ºC'da en az 24 saat bekletilmiştir. Deney numunesinin beklenen kütlece % olarak rutubet muhtevası $\mu_{m,exp}$ aşağıdaki eşitlikten hesaplanmıştır.

$$\mu_m exp = \frac{\rho_{m,t} - \rho_{comp}}{\rho_{comp}} x100 \quad (5.12)$$

$$\rho_{m,t} = \frac{m_m}{V} \quad (5.13)$$

m_m :deney numunesinin yaş kütlesi

Aynı şekilde ρ_{comp} : bitişik deney numunesinin tayin edilmiş yaş yoğunluğu da hesaplanabilir.

Yalıtım malzemesi çıkarıldıktan sonra deney numunesi ilk ölçü boyu okuması yapılır ve kütlesi m_0 tayin edilir. Ardından deney numuneleri (20±2) ºC ve % (45 ±5) olacak şekilde rölatif rutubetli havada bekletilerek yavaş şekilde kurutulur.

Numuneler aralarında havanın serbestçe dolaşabileceği yeterli aralıklar bırakılarak bir ızgara üzerine konulmuştur %4'ten az olmayan rutubet muhtevasına ulaşılıncaya kadar en az beş defa ölçüm boyları ve kütleleri not alınır. Değişmez kütleye gelinceye dek (105 ±5) ºC'deki hava dolaşımlı kurutma dolabında tutulur. Sabit kütleye(tartımlarda %0,2 den daha fazla fark etmediğinde) erişince de kütleleri tayin edilir.

Rölatif Uzunluk değişimi hesaplanması aşağıdaki gibidir.

Her uzunluk ölçümü okuması, L, için rölatif uzunluk değişmesi, ε_{csi} mm/m cinsinden t_0 ve t_1 zamanları arasında aşağıdaki bağıntı ile hesaplanır.aşağıdaki denklem yardımı ile hesaplanır [51].

$$\varepsilon_{csi} = \frac{\Delta L_c}{L_c} x1000 = \frac{(L_{c0} - L_{ci}) - (L_{inv,0} - L_{invi})}{L_c} x1000 \quad (5.14)$$

ΔL: Ölçüm uzunluğundaki değişim,mm

L_c: Ölçü pimleri olmaksızın gaz beton numunenin milimetre cinsinden ilk uzunluğu

L_{c0}: Şartlandırma sonrası numunenin numunenin ölçüm cihazı ile (t_0 zamanında yapılmış ilk okuması

L_{ci} :Numunenin ölçüm cihazı ile t_i zamanında yapılan ilk okuması

$L_{inv,0}$: Değişmez referansın ölçüm cihazı ile t_0 zamanında yapılan ilk okuması

$L_{inv,i}$: Değişmez referansın ölçüm cihazı ile t_i zamanında yapılan ilk okuması

Numuneler Şekil 5.15'te gösterilmiş komparator yardımıyla ölçülerek, ortalama uzunluk değişimi ve ortalama değer 0,01 mm/m hassasiyetle belirlenmeklyedir.



Şekil 5.15 Uzunluk değişimlerini ölçmek için kullanılan komparator.

Rutubet muhtevası hesaplanması

Her ölçümdeki rutubet muhtevası μ_{mi}, kütlenin %'si olarak aşağıdaki eşitlikten hesaplanır [52].

$$\mu_{mi} = \frac{m_i - m_d}{m_d - m_{pim}} x100 \qquad (5.15)$$

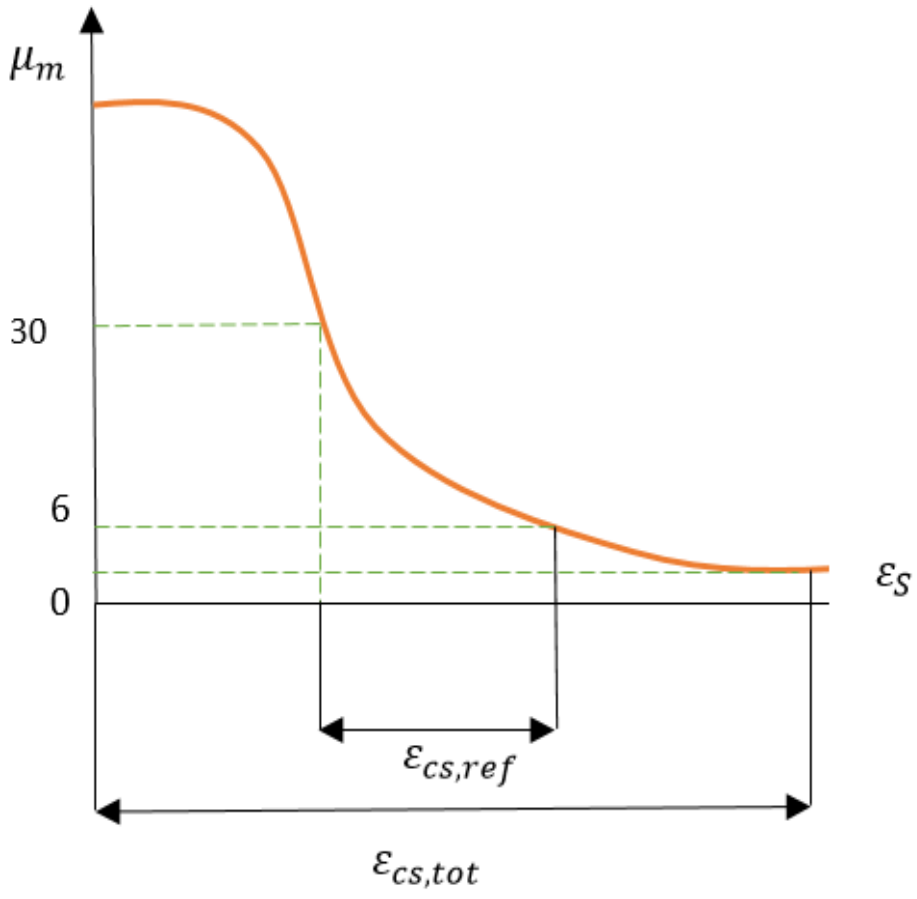
m_i :numunenin i ölçüm tarihindeki yaş kütlesi, kg

m_d :deney numunesinin (105 ±5) ^oC'da kurutulduktan sonraki hali ,kg

m_{pim} : ölçü pimlerinin kütlesi, yapışkan dahil (kg)

Her ölçüm tarihindeki bir numunenin ölçülen nispi uzunluk değişimlerinin ε_{csi} ve rutubet muhtevaları μ_{mi} ortalama değerleri tek bir grafikte gösterilerek bir eğri ile birleştirilir. Şekil 5.16'da gösterildiği gibi çizilir.

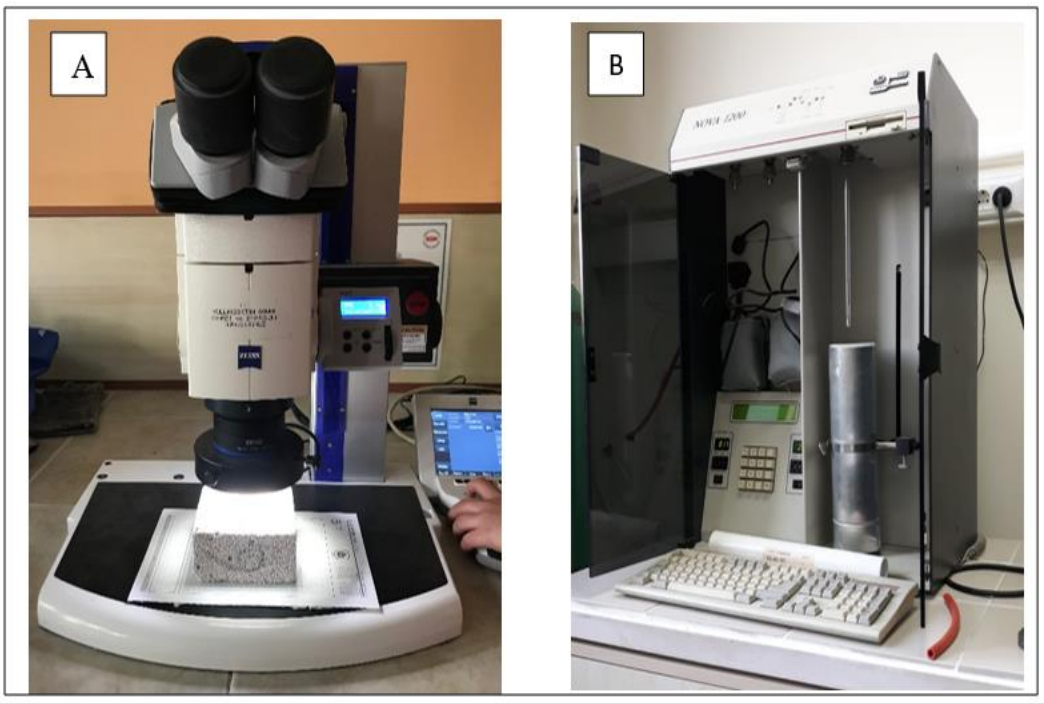
Klasik referans değeri $\varepsilon_{cs,ref}$ kütlece μ_m=%30 ve μ_m=%6 rutubet muhtevaları arasındaki nispi uzunluk değişimi ε_{cs} farkı olarak eğriden hesap edilir.



Şekil 5.16 Kütleye bağlı rutubet muhtevasına (μm) göre, nispi uzunluk değişimi (ε_{cs}) grafiği.

5.6.4 BET ve mikroskop analizi

Bu çalışmada stereo mikroskop alüminyum pasta ile üretilmiş gaz beton numunelerinin yüzeylerinde bulunan makro yapıdaki küresel hava gözeneklerini incelemek için kullanılmıştır. Şekil 5.17'de hava gözeneklerinin genel yapısının incelendiği stereo mikroskop ve yüzey alanının tespiti için kullanılmış olan Bet Analiz cihazı görülmektedir.



Şekil 5.17 Zeiss™ stereo mikroskop (A), NOVA 1200 BET analiz cihazı (B).

Yüzey alanı ölçüm (BET) cihazı ile analiz öncesi numuneler saflaştırılıp nemi alınarak vakumla ısıtma yapmak için degas ünitesine yerleştirilir. Sonrasında gaz beton numunelerine azot gazı ile muamele edilip deney tamamlanır. Numunelerin yüzey alanları ve spesifik yüzey alanları bu metodla elde edilir.

6. DENEYSEL ÇALIŞMA SONUÇLARI

6.1 Alüminyum Pasta Analiz Sonuçları

Hidrojen gazı tayini, alüminyumun reaksiyon verimini gösterecek olan aktif alüminyumun belirlenmesi tayini, dayanıklılığını ve raf ömrünü belirlemede kullanılan yaşlandırma testi sonuçları aşağıda gösterilmektedir. En sonda da parçacık boyut analizi sonuçlarına yer verilmiştir.

6.1.1 Aktif alüminyum analizi sonuçları

Her iki yağ asidi için de yapılmış olan aktif alüminyum tayini iki kez tekrarlanmıştır. Çizelge 6.1'de palmitik asit numunesinin alüminyum aktifliği nispeten daha fazla görünmekle beraber sonuçların birbirine yakın olduğu saptanmıştır. Yaklaşık aynı miktarlarda tartılarak reaksiyonu başlayan her iki yağ asidi kullanılarak hazırlanan numunesinin ortam sıcaklığı ve basıncında hesaplanan alüminyum aktivitesinin de 85'in üzerinde ve uygun olduğu görülmektedir.

Çizelge 6.1 Stearik ve Palmitik asitli numunelerin ortam şartları ve alüminyum aktivitesi sonuçları.

	Solvent /nem (%)	M_{num} (g)	V_{gaz} (ml)	$P_{atm.}$ basıncı (hPa)	t_{oda} sıcaklığı (^oC)	$P_{buhar(T)}$ (Pa)	Aktif Al-1 (%)	Aktif Al-2 (%)	Aktif Al_{ort} (%)
SA-Num	19,71	0,0547	72,6	97,7	27	3565	87,61	89,47	88,54
PA-Num	22,62	0,0566	74	97,8	24	2884	90,16	90,06	90,11

6.1.2 Hidrojen gazı analiz sonuçları

Aynı özelliklere sahip olan ve aynı oranlarda farklı iki doymuş yağ asidi (stearik asit ve palmitik asit) ile hazırlanan numunelerin hidrojen gazı çıkışları 2 dakika

aralıklarla ölçülmüş ve sabit hacime geldiğinde ölçüm sonuçları kaydedilmiştir. 12. dakikada stearik asitli numune, 20. dakikada ise palmitik asitli numunenin reaksiyonunun bittiği Çizelge 6.2'de görülmüştür.

Çizelge 6.2 Palmitik ve stearik asitli numunelerinin 2 dakika aralıklarla takip edilen gaz hacim miktarları. (%)

Zaman (dk)	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22
SA-Num	47	83	96,2	98,1	99	100	-	-	-	-	-
PA-Num	39	53	69,8	85	92,9	96	97,2	98,1	99	100	-

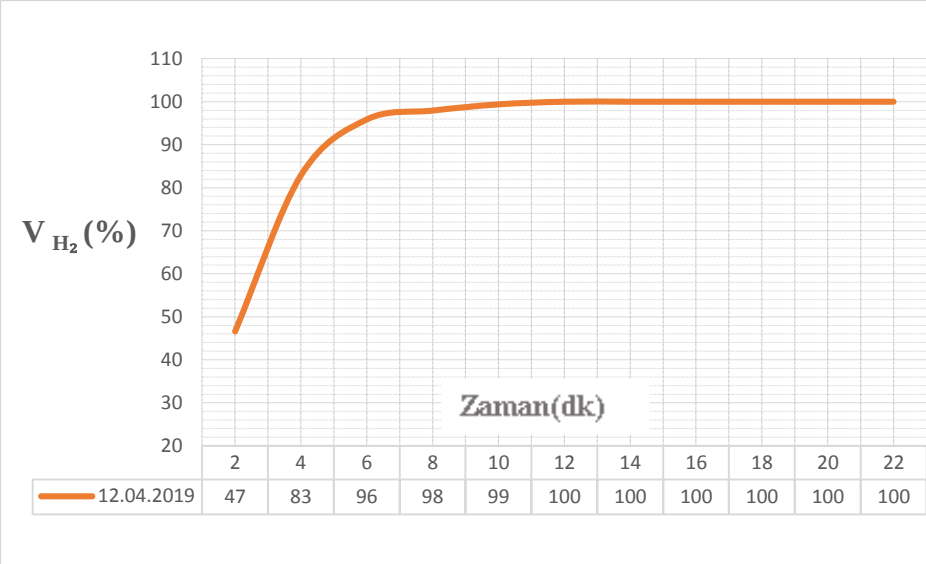
Çizelge 6.3'de her iki homojen hazırlanmış numunenin nem miktarının da %25'in altında olduğu görülmektedir. Gaz beton prosesinde kullanıma uygun olan standart alüminyum pasta malzemelerin nem değerlerinin bu sınırı aşmaması beklenmektedir. Ancak bir karşılaştırılma yapıldığında filtre preste solventsizleştirme prosesinde palmitik asitli numunenin stearik asitli numuneye göre daha nemli kaldığı görülmüştür.

Çizelge 6.3 Palmitik ve stearik asitli birim kütlede hacimsel değerleri.

	M(g)	Nem (%)	$V_{H_2\ son}$ (ml)	$V_{H_2\ top}$ (ml/g)
SA-Num	0,0581	19,71	97	2079
PA-Num	0,0587	22,62	92	2184

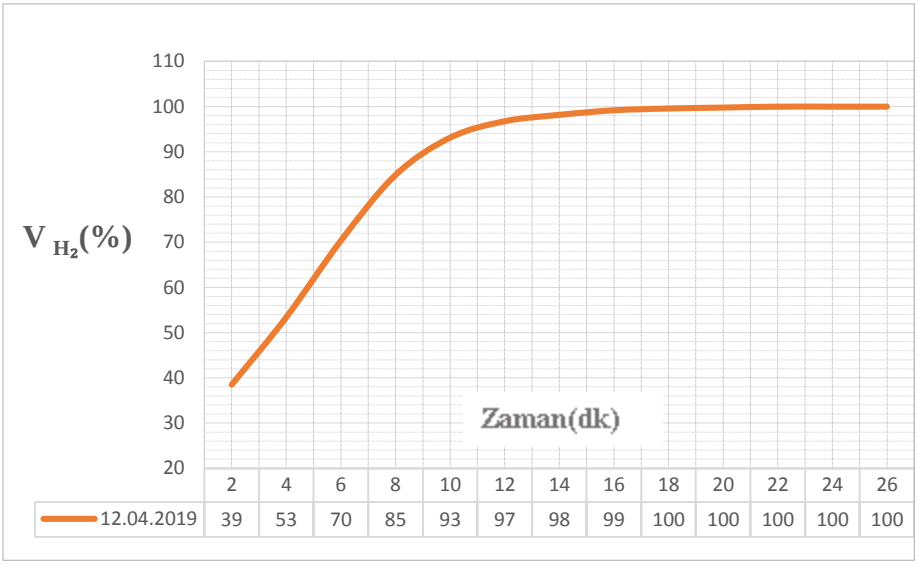
Palmitik ve stearik asitli numunelerin önce son hacim değerleri kaydedilip değişen nem oranlarına göre birim kütledeki toplam hacimsel değerleri hesaplanmış ve bu iki değerin birbirine yakın olduğu görülmüştür.

Şekil 6.1 ve Şekil 6.2'de stearik ve palmitik asitli numunelerin reaksiyon sonucu açığa çıkan hidrojen gazı hacimsel değişiklikleri 2 dakika aralıklarla verilmiştir.



Şekil 6.1 Stearik asitli alüminyum pasta numunesinin hidrojen gazı eğrisi.

Belli bir süre sonunda her iki numune için gaz çıkışının durduğu ve reaksiyonun bittiği anlaşılmaktadır. Eğri sabitlenmiş görülmektedir.

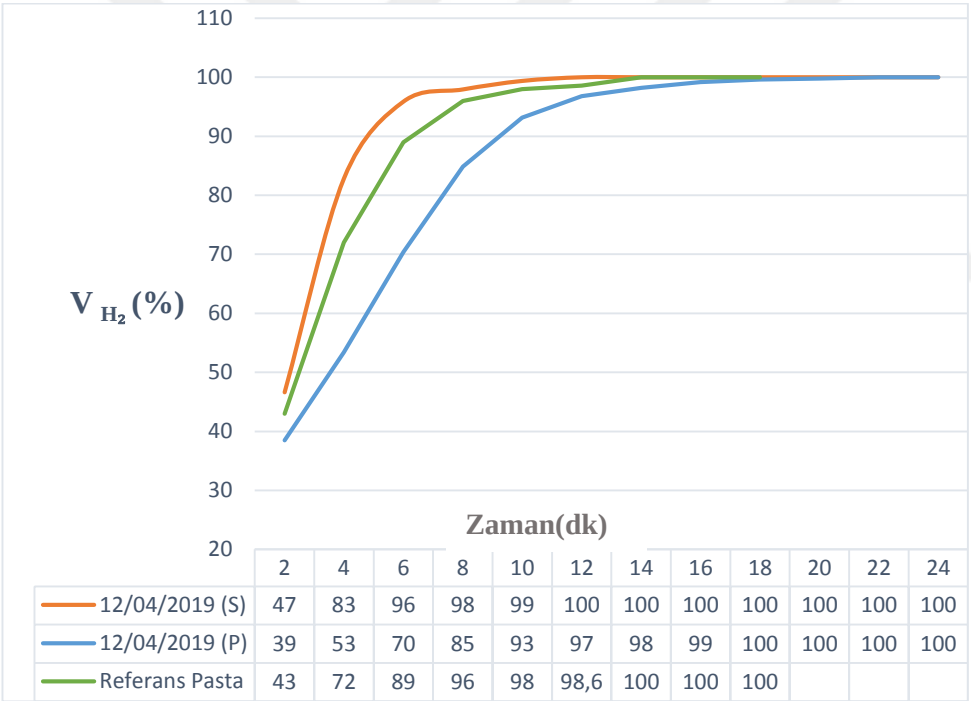


Şekil 6.2 Palmitik asitli alüminyum pasta numunesinin hidrojen gazı eğrisi.

Her iki numune de 20 dakika dolmadan reaksiyonlar tamamlamıştır. İki numunenin eğimleri karşılaştırıldığında stearik asitli numune reaksiyona hızlı başlamış ve çabuk tamamlamıştır. 4. dakikada palmitik asitli numune stearik asitli

numunenin %64'ü oranında gaz çıkışı vermiştir. Palmitik asitli numunede gaz çıkışı yavaş bir şekilde artarak sabitlenmiştir.

Her iki yağ asidi ile hazırlanmış numunelerin eğrileri Şekil 6.3'teki gibi aynı grafikte çakıştırıldığında reaksiyonun başladığı ilk andan itibaren stearik asitli numune palmitik asitli olana göre daha hızlı gaz çıkışı vermiştir. Gaz beton döküm işlemi esnasında kek kalıpta hacimsel olarak artar ve 45 dakikalarda reaksiyonu biter bu esnada olan gaz çıkışı ilk dakikalarda hızlı olup kek kıvam alıncaya dek bitmelidir. Stearik asitli pasta numunesinin hidrojen gazı çıkışının 6. dakikada, palmitik asitli pasta numunesinin 12. Dakikada reaksiyon hızının yavaşlamış olduğu görülmektedir



	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24
12/04/2019 (S)	47	83	96	98	99	100	100	100	100	100	100	100
12/04/2019 (P)	39	53	70	85	93	97	98	99	100	100	100	100
Referans Pasta	43	72	89	96	98	98,6	100	100	100			

Şekil 6.3 Stearik asitli ve palmitik asitli pastaların karşılaştırılmalı hidrojen gazı eğrisi.

. Bu karşılaştırmada stearik asitli numune, referans olarak işletmede denenmiş tane boyutu aynı değerlerde olan alüminyum pastanın grafikteki eğrisine benzer göründüğünden, pasta davranışının dökümde daha iyi olduğu yorumu yapılabilir. Kek kıvama geldikten sonra olan gaz çıkışları hava boşlukları ve yüzeyde istenmeyen çatlaklı yapıya sebebiyet vermektedir.

6.1.3 Tane boyut analizi sonuçları

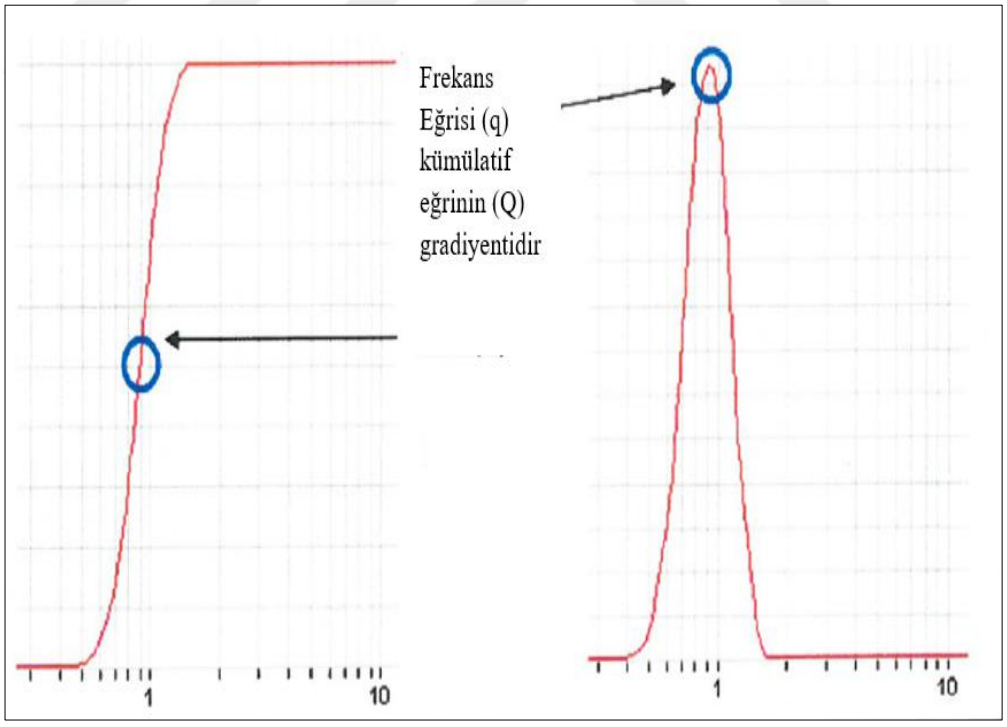
İncelik analiz sonuçları Malvern PS 3000 cihazında yapılıp değerlerin her numune için ayrı ayrı grafik görseller ve çizelgeler aşağıda verilmiştir. Buna göre üç farklı hacimsel yoğunluk değerinde karşılaştırılma yapılmıştır.

$D_v(90)$, $D_v(50)$ ve $D_v(10)$ değerleri malzemenin hacimsel olarak %90 %50 ve %10'unun geçtiği tüm boyut değerlerinin oransal olarak karşılaştırılması için seçilmiştir. Malzemenin %100 oranında geçtiği boyut değeri de maksimum boyutu veya istenmeyen boyutları belirlemek açısından önemlidir. Stearik asit ve palmitik asitli pasta numuneleri için cihazla belirlenen tanecik boyutları hacimce çoğunluklarına göre dağılım şeklinde kaydedilip tablolar halinde sunulmuştur.

Frekans grafiği yoğunluk dağılımı (q fonksiyonu) olarak tanımlanır. Basitçe tariflemek gerekirse de kümülatif dağılımın diferansiyelidir (Q fonksiyonu).

$$q(x) = \frac{dQ(x)}{dx} \tag{6.1}$$

x: parçacık boyutu

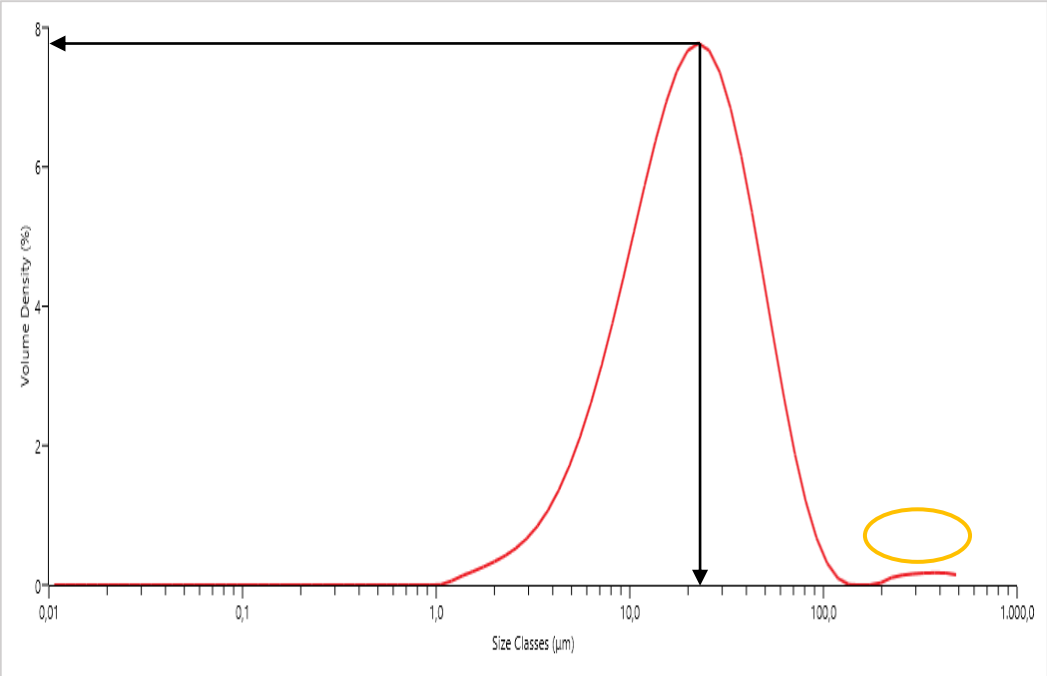


Şekil 6.4 Kümülatif eğriden frekans eğrisine geçiş.

Stearik asitle hazırlanan pasta numunesinin tane boyutu analizinde, hacimsel yoğunluğa karşılık parçacık boyutu frekans grafiğinde gösterilmiştir

Stearik asitli numune parçacıklarının %100 oranında 516 µm'den geçtiği görülmektedir. $D_v(90)$ değeri 51 µm olarak ölçülmüş olup gaz beton keki için uygun olduğu tespit edilmiştir. D_v (50) değeri 20,3 olup hacimsel yoğunluğun eğrideki tepe noktasında görülmüştür.

Aynı değerin palmitik asitli numunede 1,6 farkla 21,9 olduğu görülmektedir. $D_v(90)$ ve $D_v(10)$ değerleri $D_v(50)$ değerine göre daha yakın olarak ölçülmüştür. Şekil 6.5'te görülen frekans dağılım grafiğinde sarı halka ile gösterilen kısımda bir kuyruk oluştuğu görülmektedir. Bu noktada malzemenin homojenliğini bozan az miktarda büyük boyutlu tanecik olduğu söylenebilir ancak Çizelge 6.4 incelendiğinde malzemenin %'de 100'ünün 516 mikrometre boyutundan geçtiği görülmektedir.

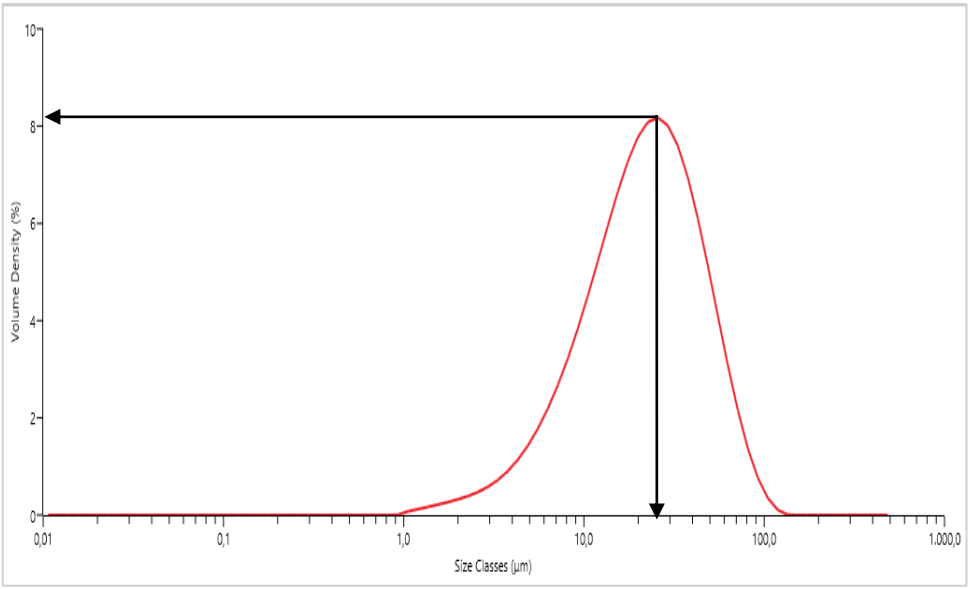


Şekil 6.5 Stearik asitli numunenin Malvern PS 3000 cihazı ile yapılmış frekans eğrisi.

Palmitik asitli numunede parçacıkların %100 oranında geçtiği değer ise 127 µm olup daha ince olduğu görülmektedir. Şekil 6.6'da palmitik asitli numunenin tek başına frekans eğrisi gösterilmiş olup, $D_v(90)$ değerleri birbirine yakın olan stearik asitli ve palmitik asitli numunelerin karşılaştırmalı frekans grafiği Şekil 6.7'de gösterilmiştir.

Çizelge 6.4 Stearik asitle hazırlanan numunenin hacimsel parçacık boyut dağılımı.

Size (µm)	Volume Under (%)	Size (µm)	Volume Under (%)	Size (µm)	Volume Under (%)
1,28	0	**9,86**	19,46	**76**	97,17
1,45	0,1	**11,2**	23,71	**86,4**	98,17
1,65	0,25	**12,7**	28,52	**98,1**	98,72
1,88	0,45	**14,5**	33,87	**111**	98,97
2,13	0,71	**16,4**	39,68	**127**	99,04
2,42	1,04	**18,7**	45,87	**144**	99,04
2,75	1,46	**21,2**	52,3	**163**	99,04
3,12	1,99	**24,1**	58,82	**186**	99,04
3,55	2,67	**27,4**	65,25	**211**	99,04
4,03	3,55	**31,1**	71,4	**240**	99,13
4,58	4,66	**35,3**	77,12	**272**	99,24
5,21	6,07	**40,1**	82,26	**310**	99,37
5,92	7,83	**45,6**	86,72	**352**	99,52
6,72	10,01	**51,8**	90,44	**400**	99,68
7,64	12,64	**58,9**	93,4	**454**	99,85
8,68	15,78	**66,9**	95,62	**516**	100
				586	100

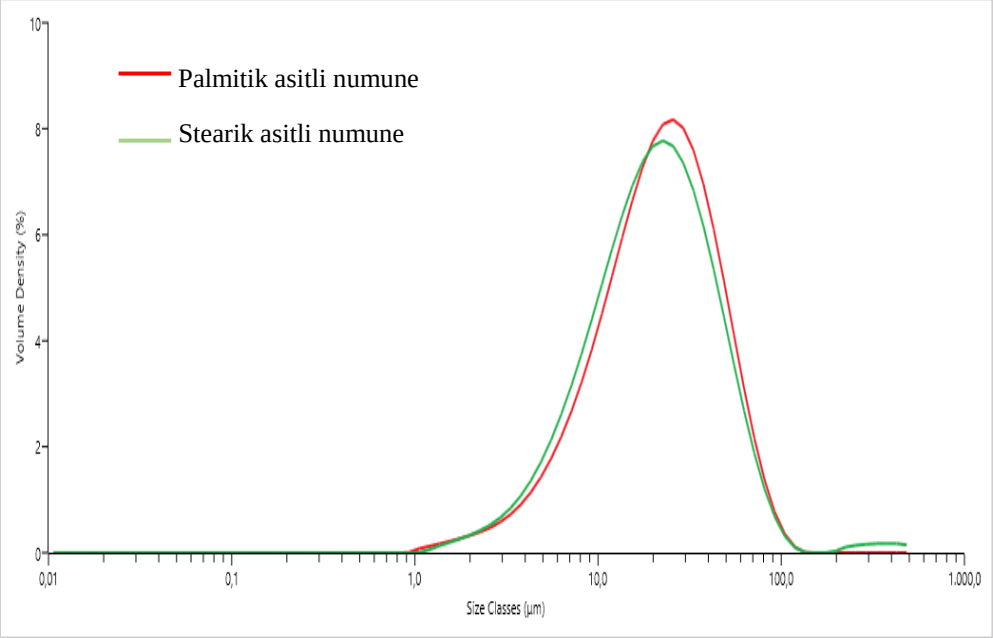


Şekil 6.6 Palmitik asitli numunenin Malvern PS 3000 cihaz ile yapılmış frekans eğrisi.

Çizelge 6.5'te palmitik asitli numune için bakıldığında malzemenin % 100'ü 127 mikrometre boyutundan geçebilmektedir.

Çizelge 6.5 Palmitik asitli numunenin parçacıklarının boyut dağılımı.

Size (µm)	Volume Under (%)	**Size (µm)**	Volume Under (%)	**Size (µm)**	Volume Under (%)
0,991	0	**5,21**	5,68	**27,4**	61,85
1,13	0,07	**5,92**	7,16	**31,1**	68,55
1,28	0,17	**6,72**	8,98	**35,3**	74,9
1,45	0,31	**7,64**	11,21	**40,1**	80,7
1,65	0,5	**8,68**	13,89	**45,6**	85,8
1,88	0,72	**9,86**	17,08	**51,8**	90,09
2,13	0,99	**11,2**	20,84	**58,9**	93,51
2,42	1,32	**12,7**	25,19	**66,9**	96,08
2,75	1,71	**14,5**	30,16	**76**	97,87
3,12	2,19	**16,4**	35,7	**86,4**	99,01
3,55	1,79	**18,7**	41,78	**98,1**	99,64
4,03	3,55	**21,2**	48,27	**111**	99,92
4,58	4,49	**24,1**	55,02	**127**	100
				144	100



Şekil 6.7 Palmitik ve stearik asitli numunenin Malvern PS 3000 cihaz ile yapılmış frekans eğrisi.

Az miktarda numune suda dağıtılarak çalışıldığı için parçacık analizi yapılırken doğru sonuçlar elde etmek adına hassas çalışmak gerektiği saptanmıştır.

Bu hassasiyetin sağlanması için cihazda bir takım parametrelerin gözetildiği sonuçlar arasındadır. Böylelikle karşılaşrıma esnasında ölçümün doğruluğu birden fazla parametre ile doğrulanmış olur.

Weighted residual ve residual değerlerinin cihazın en doğru sonucu vermesi için birbirine en fazla 0,2 toleransla çalışması gerekmektedir. Çizelge 6.6' da görüldüğü gibi her iki numunenin ölçümü için bu değer 0,02 ve 0,01 farkla çok yakındır. Her iki numunede de konsantrasyon sınır değer olan 0,05 değerinin altında kalmıştır. İki ölçüm de cihazda 3'er kez tekrarlanıp çizelgelerde ortalama değer gösterilmiştir.

Çizelge 6.6 Malvern PS 3000 Her iki numune için karşılaştırmalı analiz parametreleri.

Analiz parametreleri	Sonuçlar	
Sample Name	SA-Numunesi	PA-Numunesi
Particle Name	Aluminium Flake	Aluminium Flake
Scattering Model	Mie	Mie
Dispersant	Water	Water
Laser obscuration (%)	13,01	11,15
Weighted Residual (%)	0,18	0,46
Residual (%)	0,2	0,45
Concentration (%)	0,0222	0,0194
Uniformity	0,807	0,633
Specific Surface Area (m^2/kg)	439,8	462
Span	2,188	2,034
$D_v(90)$	51	51,7
$D_v(50)$	20,3	21,9
$D_v(10)$	6,72	7,13

İncelik analizi yapılırken malzeme su içinde dağıtıldığı esnada palmitik asitli numunenin stearik asitli numuneye göre daha uzun sürede homojenize olduğu gözlemlenmiştir. Malzemenin lazer tarafından görünmesi için tek tek parçacıkların dağılmış olması önem taşımaktadır bu sebeple suya verilen titreşim palmitik asitli numunede 2 kaz fazla olmuşur.

Genel bir inceleme yapıldığında Çizelge 6.7'de belirtildiği üzere stearik ve palmitik asit numunelerinin belirlenen sınır değerlere uygun olduğu görülmüştür.

Çizelge 6.7 Alüminyum pasta sınır değerlere göre karşılaştırmalı grafik.

	Sınır değerler	SA Numunesi	PA Numunesi
AKTİF Al	**min. %85**	88,54	90,11
SOLVENT(%)	**%25±3**	19,71	22,62
D50(µ)	**22**	20,20	21,90
D90(µ)	**55**	51,00	51,70
45µ ALTI	**min. %85**	86,74	85,80
V_{H_2} (ml/g)	**-**	2079	2184

6.1.4 Yaşlandırma analizi sonuçları

İlk dakika ve 30. Dakika sonrasında da saat başı olarak alüminyum pasta numunelerinin su ile reaksiyonu sonucu ortaya çıkan hidrojen gazının hacimsel yüzdeleri takip edilmiş ve Çizelge 6.8 de gösterilmiştir. % yaşlanma oranı ise çıkan gaz hacminin V_{son} hacim değerine oranlanmış halidir. V_{son} hacim değeri Çizelge 6.9 deki kütle, solvent ve V_{H_2} değerleri yardımı ile hesaplanmıştır.

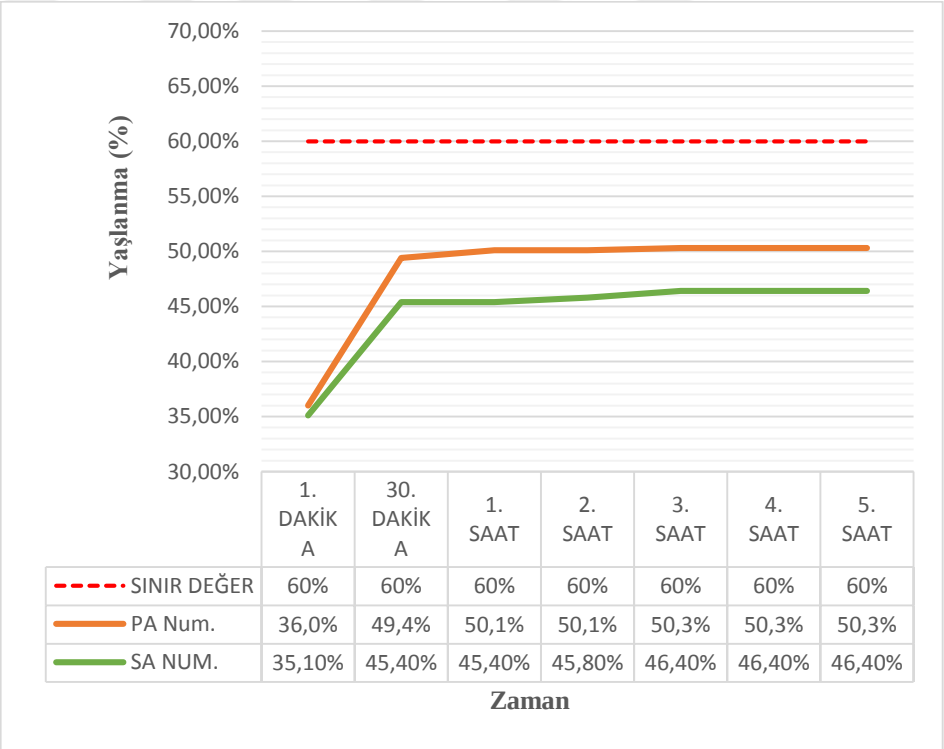
Çizelge 6.8 Stearik ve Palmitik asitle hazırlanan numunelerin zamana bağlı yaşlanma oranları.

Num. Adı	**SA-Numunesi**		**PA-Numunesi**	
Zaman	V_{gaz}	Yaşlanma (%)	V_{gaz}	Yaşlanma(%)
1. dakika	30,5	35,1	34,4	36,0%
30. dakika	39,4	45,4	47,2	49,4%
1. saat	39,4	45,4	47,8	50,1%
2. saat	39,75	45,8	47,8	50,1%
3. saat	40,3	46,4	48,0	50,3%
4. saat	40,3	46,4	48,0	50,3%
5. saat	40,3	46,4	48,0	50,3%

Çizelge 6.9 Stearik ve palmitik asitli numunelerin V_{son} hesaplanmasında kullanılacak verileri.

	SA-Num.	PA-Num.
V_{H_2} (ml/g)	2079	2184
M (kg)	0,052	0,0565
SOLVENT (%)	19,71	22,62
V_{son} (ml)	86,8	95,5

Şekil 6.8'deki grafikte her iki numunenin de yaşlanma deneyinde %60'lık sınır değere yaklaşmadığı görülmektedir. %60 değeri raf ömrü 6 ayı bulmayan alüminyum pasta malzemelerinde görülen, reaksiyon sonucu yaşlanma oranıdır. Bu sebeple malzemelerin bu değere yaklaşmamaları istenmektedir.



Şekil 6.8 Stearik ve palmitik asitli pasta numunelerinin karşılaştırmalı yaşlanma grafikleri

Palmitik asitli numune %50'lerde reaksiyonunu tamamlarken, stearik asitli numune %46'lık bir oranla reaksiyonunu tamamlamıştır. İlk dakikada aynı oranlarda gaz çıkışı gözlenmiş olup stearik asit daha yavaş bir hızla sabitlenme noktasına gelmiştir. Buradan yola çıkarak stearik asitli numunenin raf ömrünün palmitik asitli pasta numunesine görece daha uzun olacağı düşünülmektedir.

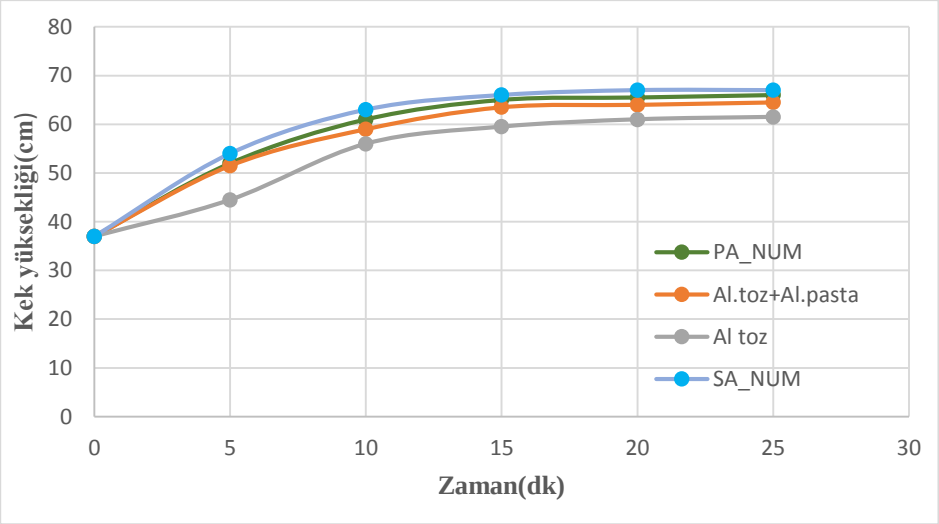
6.1.5 Döküm takibi sonuçları

Dökümden hemen sonra tepkimeye girmeden önce kekler bir miktar yükselerek kalıpta belli bir seviyeye gelir. Bu esnada alüminyumlu malzemenin aktifliğinden parçacık boyutuna kadar birçok parametre etkili olmaktadır. Bu yüzden alüminyum pasta ile dökülen kekler gibi diğer bir kalıba da sadece toz ve toz ile standart kullanılan bir pasta karıştırılarak döküm yapılmış ve aynı şartlar altında takip edilmiştir. Sonuçlar Çizelge 6.10'da karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir.

Çizelge 6.10 Döküm esnasında kekin kabarma miktarının yükseklik cinsinden zamana bağlı değerleri

Numune Adı	Zaman (dk)	**0**	**5**	**10**	**15**	**20**	**25**
PA_NUM	$h_{kabarma}$ (cm)	0	17	8	4	3,5	3
	h_{kek} (cm)	37	52,0	61,0	65	65,5	66,0
Al Toz + Al- Pasta	$h_{kabarma}$ (cm)	0	17,5	10	5,5	5	4,5
	h_{kek} (cm)	37	51,5	59,0	63,5	64,0	64,5
Al Toz	$h_{kabarma}$ (cm)	0	24,5	13	9,5	8	7,5
	h_{kek} (cm)	37	44,5	56,0	59,5	61,0	61,5
SA_NUM	$h_{kabarma}$ (cm)	0	15	6	3	2	2
	h_{kek} (cm)	37	54,0	63,0	66	67	67

Tüm numuneler için kek yükseklikleri incelendiğinde en fazla hacmin stearik asitli alüminyum pasta malzemede olduğu Şekil 6.9'da görülmektedir.



Şekil 6.9 Kek yüksekliklerinin karşılaştırmalı grafiği.

Daha sağlıklı bir karşılaştırma yapmak için çizilmiş grafik şekil 6.9'da gösterilmektedir. Burada özellikle palmitik asit ve stearik asitle hazırlanan pastalar paralel iki eğri olarak görülmektedir. Her iki numune de toza göre daha düzgün bir

artışla reaksiyonu tamamlamıştır. Sadece tozla dökülen kekte daha yavaş bir yükselme olmakta, pasta ve toz karıştırıldığında bu hızın sadece pasta ile dökülen kekteki yükselme hızına yaklaştığı görülmektedir.

6.1.6 Yoğunluk, mukavemet ve rutubet muhtevası analiz sonuçları

Stearik ve palmitik asitle hazırlanmış alüminyum pasta kullanılarak üretilen gaz beton numunelerinin her biri için kesilmiş prizma numunelerin ölçülen yüzey değerlerinden, hacimleri hesaplanmış ve Çizelge 6.11'de tablolanmıştır. Ardından deneysel yöntemde bahsedilen şekilde mukavemet ve yoğunluk değerleri bulunup aşağıdaki çizelgelerle gösterilmiştir.

Çizelge 6.11 Prizma şeklinde kesilen gaz beton numunelerinin yüzeyleri ve hacim değerleri

		Prizma Yüzeyleri			
Numune No	**Kütle (g)**	**A (cm)**	**B (cm)**	**C (cm)**	**V (dm^3)**
1 (pa)	202,3	96,8	100,8	52,1	508,36
	203,3	96,9	101,5	52,3	514,39
	204,8	97,6	101,1	52,2	515,08
2 (pa)	202,7	96,3	101,1	52,3	509,19
	204,6	96,6	101,7	52	510,86
	205,6	96,6	101,3	52,5	513,74
3 (sa)	189,7	95,6	101,3	52,2	505,52
	186,7	95	101,6	52,3	504,8
	183	94,9	101	52,3	501,29
4 (sa)	200,1	95	100	52	494
	200,8	95,2	101	52,2	501,91
	198,6	95,2	101,3	52,4	505,33

Gaz beton malzemenin kendi yoğunluk sınıfına göre basınç dayanım değeri 25 N/mm^2 ve üzeri olduğunda yapılarda kullanımı uygun kabul edildiğinden, bu çalışmada palmitik asitli ve stearik asitli numunelerin her ikisi için de mukavemet ve

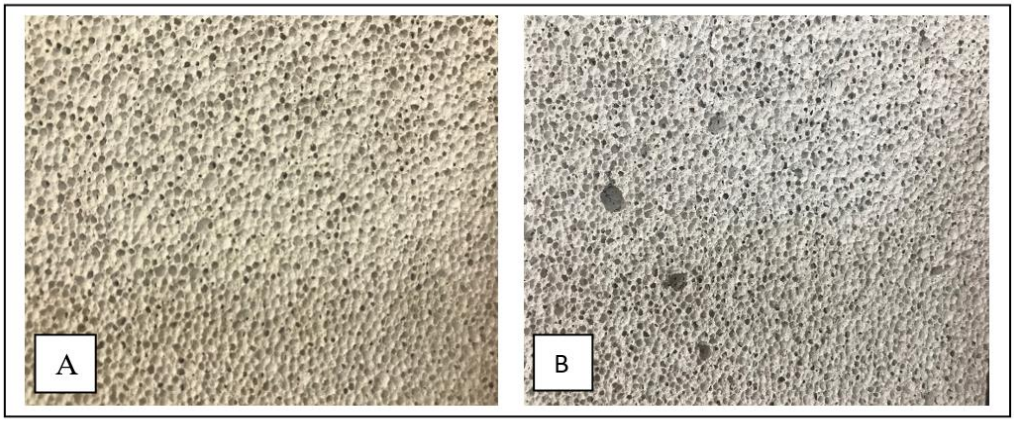
yoğunluk parametrelerinin birbirine yakın ve uygun olduğu karşılaştırmalı olarak Çizelge 6.12'de gösterilmiştir.

Çizelge 6.12 Stearik ve palmitik asitli gaz beton numunelerinin kuru yoğunluk ve mukavemet sonuçları.

Numune no	Nem	ρ (kg/dm^3)	ρ_{ort} (kg/dm3)	f (N/mm^2)	f_{ort} (N/mm^2)
1 (pa)	3,81	0,398	0,397	29	28
	5,16	0,395		28	
	5,21	0,398		29	
2 (pa)	3,51	0,398	0,400	25	26
	4,52	0,401		26	
	4,9	0,402		27	
3 (sa)	4,4	0,375	0,370	26	25
	4,31	0,37		24	
	5,07	0,365		25	
4 (sa)	4,2	0,405	0,399	29	27
	5,1	0,4		28	
	5,06	0,393		25	

6.1.7 Gaz beton stereo mikroskop sonuçları

Aşağıda palmitik ve stearik asitli alüminyum pasta numuneleri ile hazırlanmış gaz beton numunelerin stereo mikroskop görüntüleri verilmiştir. Şekil 6.10'da her iki numune için yüzeylerinin normal fotoğrafı görülmektedir.

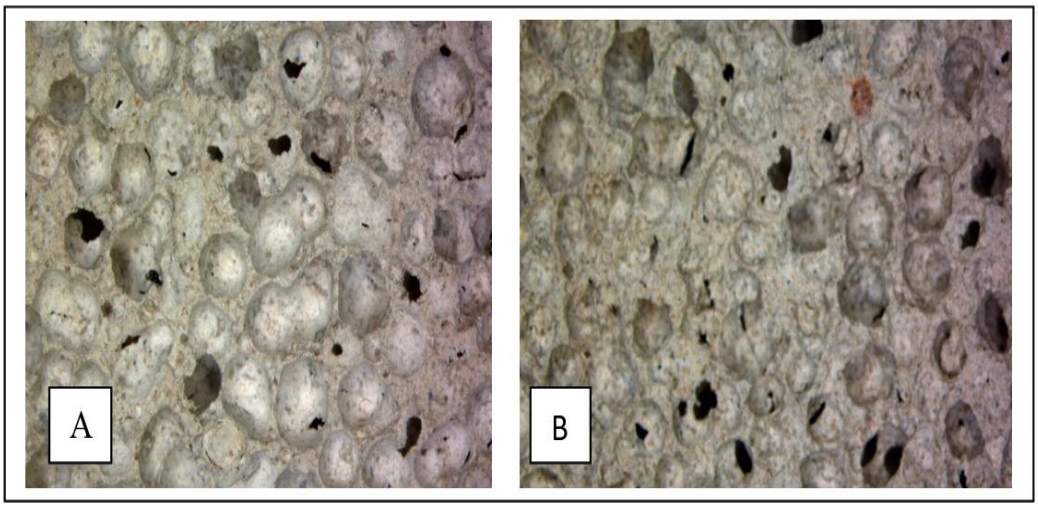


Şekil 6.10 (A) Stearik asit, (B) Palmitik asitle hazırlanmış pasta ile dökülen gazbeton malzemenin yüzeylerinin fotoğrafı

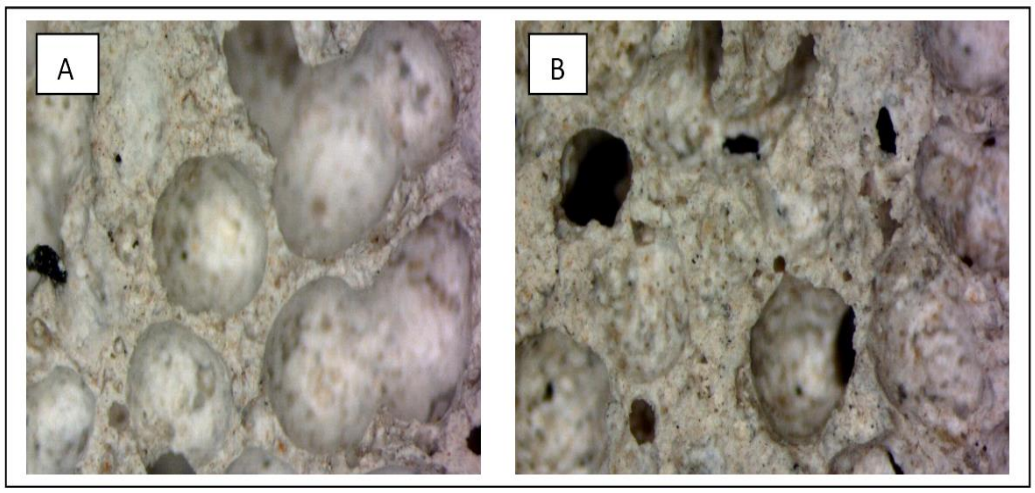
Bu görüntülerde gaz betonun hava gözenek yapılarının küresel olduğu dikkat çekmektedir. Burada hava gözenek yapılarının birbirinden farklı olduğu az da olsa fark edilmiş ve ardından stereo mikroskopta farklı büyütmelerle detaylı gözlem

yapılmıştır. Şekil 6.11 stearik asitli gaz beton numunelerinin makro gözenek yapılarının palmitik asit numunelerine göre daha düzenli ve benzer boyut büyüklüklerinde olduğu göze çarpmaktadır. Palmitik asitli gaz beton numunesindeki hava gözenekleri küresel şekilleri bozulma eğilimi göstermektedir.

Özellikle Şekil 6.12'deki görsellerde Palmitik asitli 20 büyütmeli gaz beton numunelerinin mikroskop görüntülerinde büyük gözenekler ve çevresinde küçük makroporlar göze çarpmaktadır



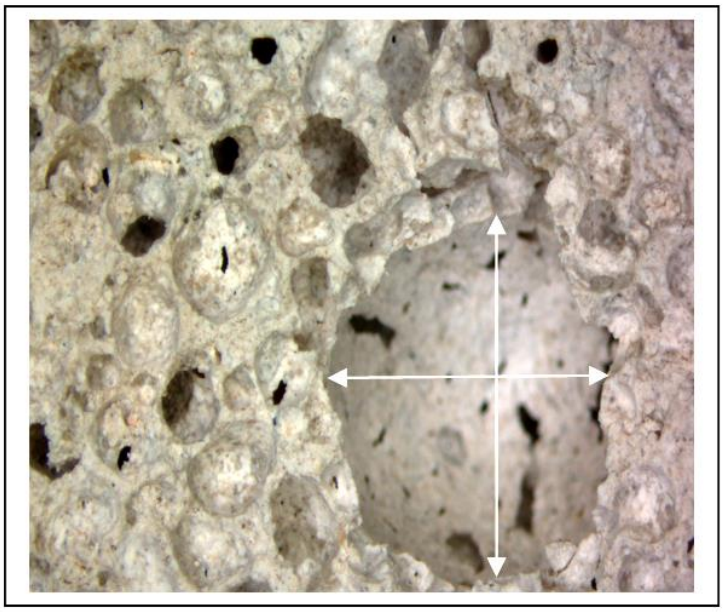
Şekil 6.11 Stereo mikroskopta (a) Stearik asitli numune ve (b) palmitik asitli numunelerin 8x büyütmeli görüntüleri.



Şekil 6.12 Stereo mikroskopta (a) Stearik asitli numune ve (b) palmitik asitli numunelerin 20 x büyütmeli görüntüleri

Bu durumun palmitik asitli malzemenin tane boyut dağılımının stearik aside göre homojen olmamasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Şekil 6.13'deki gibi gözenek dağılımı içinde palmitik asitli gaz beton numunesinde büyük boyutlu bazı küresel gözeneklerin olduğu görülmektedir



Şekil 6.13 Stereo mikroskopta 8 x büyütme ile palmitik asit numunesinin iri boyutlu hava gözeneği görüntüsü

6.1.8 Kuruma büzülmesi analiz sonuçları

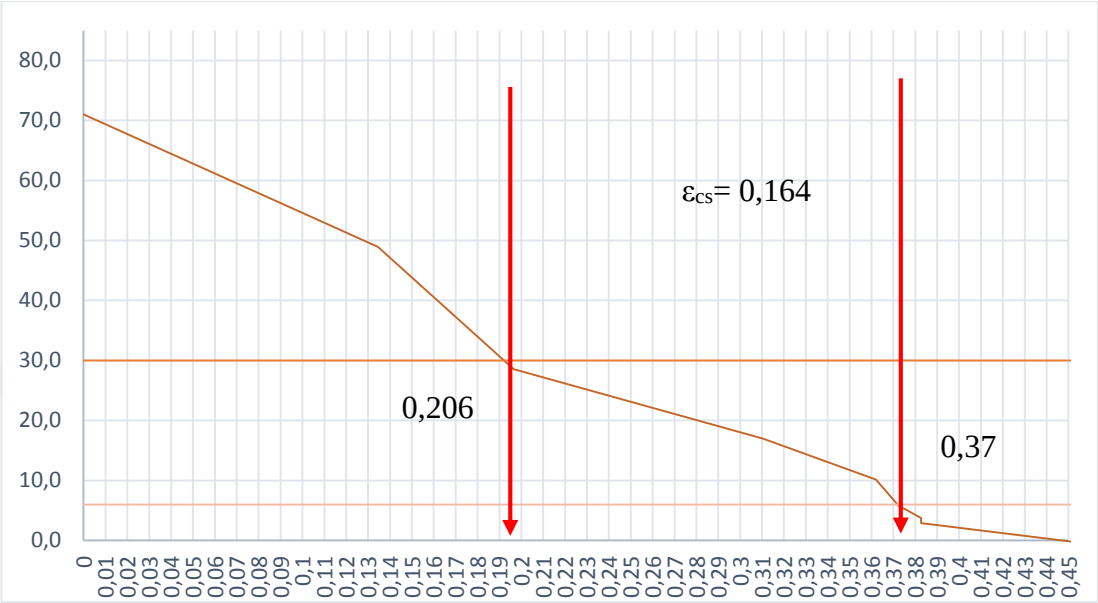
Kuruma büzülmesi analizinde her bir numune için kullanılan boyut yoğunluk ve miktarsal nicelik değerleri Çizelge 6.13'de tablolanmıştır.

Çizelge 6.13 Üç ayrı stearik ve palmitik asitli numunenin kuruma büzülmesi hesaplamalarında kullanılan parametreleri

	Sa-1	**Sa-2**	**Sa-3**	**Pa-1**	**Pa-2**	**Pa-3**
Boyutlar(cm)	161,3	160,5	161,7	162,2	162,5	161,6
	41,3	41,3	40,9	41,7	41	41
	40,6	40,8	41,4	40,8	41	41,4
Yoğunluk (g/cm^3)	0,37	0,37	0,399	0,398	0,39	0,399
m_{pim}(g)	44,53	44,2	41,8	44,03	41,53	44,1
Kuru num(g)	106,8	107,6	109	100,7	101,1	102,9

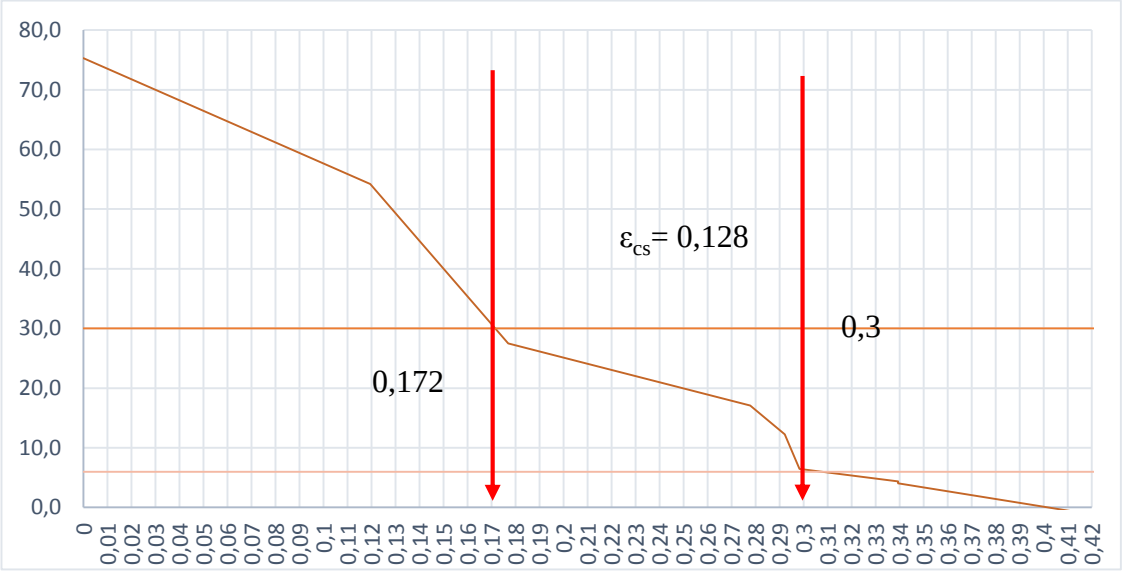
Çizelge 6.14'deki değerlere göre çizilen grafiklerde (Şekil 6.14 ve Şekil 6.15) stearik ve palmitik asitli numunelerin rölatif uzunluk değişimi değerleri numunelerin kuru yoğunlukları ile doğru orantılı olarak bulunmuştur. Buna göre stearik asit ve palmitik

asitli numunede bariz bir fark olmayıp stearik asitli numunenin rölatif uzunluk değişimi 0,164, palmitik asitli numunenin rölatif uzunluk değişimi 0,128 olarak bulunmuştur.



Şekil 6.14 Stearik asitli numunenin kütleye bağlı rutubet muhtevasına (µm) göre, nispi uzunluk değişimi (ε_{cs}) grafiği.

Buna ek olarak sınır değer olarak belirlenen 0,5 rölatif uzunluk farkı değerinin altında kalarak kullanım uygunluğu taşımaktadırlar.



Şekil 6.15 Palmitik numunenin kütleye bağlı rutubet muhtevasına (µm) göre, nispi uzunluk değişimi (ε_{cs}) grafiği.

Çizelge 6.14 Stearik ve Palmitik asitli gaz beton numunelerinin ortalama neme göre rötre değerleri

SA Num		**PA Num.**	
%nem	rötre	%nem	rötre
71,01698	0	75,26273	0
48,91794	0,134429	54,22686	0,119374
28,53509	0,196549	27,5111	0,17697
16,94987	0,310374	17,10472	0,277688
10,16086	0,361982	12,26843	0,292081
5,823607	0,37233	6,431261	0,29825
3,717617	0,382678	4,357797	0,339306
2,879472	0,382678	4,063621	0,339306
-140,368	3,580679	-142,529	2,605933

6.1.9 BET yüzey analizi sonuçları

Spesifik yüzey alanı gaz beton malzemede yalnızca alüminyum pasta sayesinde oluşan makro porlara değil otoklavda oluşturulan tobermorit yapılara da bağlı olarak oluşmuş mezo, mikro ve nano-por yapılarına bağlı olarak meydana gelmektedir. Bu sebeple Çizelge 6.15'de verilmiş sonuçlarda alüminyum pasta etkisi ile yüzey analizi sonuçlarından kesin bir çıkarım yapılamamaktadır. Bu noktada ileri bir çalışmaya ihtiyaç duyulmaktadır.

Çizelge 6.15 Stearik ve palmitik asit numunelerinin spesifik yüzey alanı ve yüzey alanı değerleri.

	SA Num	**PA Num**
Spesifik Yüzey alanı (m^2/g)	26,2828	34,4351
Yüzey alanı (m^2)	1,7084	2,5138

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

- Alüminyum toz malzeme gaz betonda kullanımı esnasında tozuma yaparak herhangi bir tetikleyici ile yanma ve patlama riski taşıdığından alüminyum pasta kullanımı her geçen gün artmaktadır. Yeni kurulan gaz beton tesislerinde ise tamamen alüminyum pastalı sistemler kullanılmaktadır. Bu çalışmada da besleme esnasında alüminyum pasta ile çalışmanın alüminyum tozuna göre daha kolay ve güvenli olduğu ortaya çıkmıştır.
- Doymuş yağ asitleri içinde en fazla bilinen ve kendine farklı kullanım alanı bulan stearik asit ve palmitik asit alüminyum pastada film tabaka kaplayıcı olarak seçilmiş ve tüm analizler bu iki asitin eşit koşullarda kullanımı sonrası yapılmıştır.
- Su bazlı olarak hazırlanan alüminyum pastalar diğer solvent bazlı alüminyum pastalara göre düşük kimyasal malzeme barındırdığından çevre dostudur, kokusuzdur ve hammadde maliyeti düşüktür. Ancak solvent bazlı pastalar raf ömrü açısından daha avantajlıdırlar.
- Aynı oranlarda asit ilave edilmiş alüminyum pasta kullanılarak yapılan aktif alüminyum tayininde stearik asitli ve palmitik asitli numunelerin saflıkları birbirine yakın ve %85 sınır değerinin üzerinde bulnmuştur.
- Alüminyum pasta üretim prosesinde her iki asitli numuneye de aynı şartlarda işlem yapılmış olup, palmitik asitin stearik asite göre daha az homojen bir davranış sergileyerek filtre presteki muamelede suyunu bırakması 3 saat daha fazla sürmüştür. Bu da işletme şartlarını zorlaştırarak fazladan enerji sarfiyatına ve iş gücü kullanımının artmasına sebebiyet verir ayrıca uzun vadede kapasitenin düşmesi beklenir. Palmitik asitli pasta numunesinin tam bir homojenlik göstermemesi gaz betonun hava gözenek boyutlarını ve gözenek yapılarını etkilemiştir. Stereo mikroskop görüntülerinde palmitik asitli numunenin hava gözeneklerinin düzensiz olduğu ve orantısız makro gözenek yapılarının dikkati çektiği ancak stearik asitli numunenin gözeneklerinin küresel ve homojen dağılmış olduğu görülmektedir.

- BET analizi sonucunda stearik asit kullanılarak hazırlanan alüminyum pastadan üretilen gaz beton numunelerinin spesifik yüzey alanı palmitik asit kullanılan numuneye göre daha düşük bir değerdedir. Gaz beton malzemede spesifik yüzey alanı her çeşit gözenek yapısının bir sonucu olarak değerlendirilmektedir. Alüminyum reaksiyonu sonu oluşan hidrojen gazı ise yalnızca makro gözenekliliğin oluşmasına sebebiyet verir. Palmitik asitli numunenin mikroskop görüntülerinde gözlemlenen gözenek yapılarının düzensiz ve tümüyle küresel olmayan dağılımı, spesifik yüzey alanındaki az miktardaki farkın oluşmasına neden olmuştur.
- Alüminyum pastanın reaksiyonda hidrojen gazı çıkışının normalden hızlı artışı, gaz çıkışının sert olmasına ve kekte geri çökmeye sebebiyet verirken, normalden yavaş seyretmesi kekte gaz boşluğu beklenmesine sebebiyet verir. Bu çalışmada hidrojen gazı tayininde aynı partikül boyutuna sahip referans alüminyum pasta malzemeye göre palmitik asitli alüminyum pasta reaksiyonu yavaş bir biçimde artarak gaz boşluğu oluşumuna sebebiyet vermiştir. Stearik asitli alüminyum pastanın gaz çıkışı ise ise gaz betonda kullanıma uygun olan referans malzemeyle benzer bir biçimde hızlanarak artış göstermektedir.
- Stearik ve palmitik asitli malzemelerin boyut analizi yapılıp elde edilen Dv(90) değerleri sırasıyla 51 ve 51,7 olarak birbirine oldukça yakın bulunmuştur. Boyut analizi öncesi numunenin suda homojenizasyonunun sağlanması için boyut analizi cihazından titreşim vererek karıştırma yapmak gerekmektedir. Bu esnada palmitik asitli pasta stearik asitli pastaya göre 3 kat daha fazla titreşimle suda ancak dağılabilmiştir.
- Su ile 50 ^{o}C'de reaksiyona sokulan aynı miktardaki alüminyum pasta numunelerinin yaşlandırma analizi sonuçlarında ise her iki numune de 6 aylık raf ömrüne karşılık gelen %60'lık sınır değerin altında kalarak reaksiyonu tamamlamış ve kullanım uygunluğunda da bir sorun olmadığı anlaşılmıştır. Ancak stearik asidin aynı sürede palmitik aside göre daha az miktarı reaksiyona girmiş ve reaksiyonun daha yavaş olduğu gözlenmiştir. Böylelikle stearik asit kaplama kalitesi olarak palmitik asidin üzerindedir yorumu yapılabilir ve raf ömrü açısından stearik asitli malzeme palmitik asitli malzemeye göre daha dayanıklıdır.

- Numunelerdeki 100-3000 mikrometre boyut aralığındaki makro gözenekler alüminyum pastanın reaksiyonu sonucu oluşan hidrojen gazının keki kabartıp hacimlendirmesi sonucu oluşmaktadır. Gözenekliliğin artışı malzemenin yoğunluğunun da azalmasına sebep olmaktadır. Yoğunluk ve mukavemet değerleri karşılaştırıldığında benzer sonuçlar görülmekle beraber her iki numune de kullanım için uygun olma şartlarını yerine getirmektedir. Rölatif uzunluk değişimi değerinin stearik asitli gaz beton numunesinde palmitik asitliye oranla daha az bir değer alarak yoğunluk değerleriyle paralel bir sonuç gösterdiği ortaya konmuştur.
- Tüm sonuçlara ek olarak bu tez çalışmasında kullanılan iki doymuş yağ asidinden stearik asit, palmitik aside göre daha kolay tedarik edilebilir. Ayrıca fiyat avantajına da sahiptir.
- Palmitik ve stearik asit kullanılarak üretilen su bazlı alüminyum pasta malzemelerin gaz beton malzeme üzerindeki etkileri incelenen bu çalışmayı bir adım öne götürmek için yağ asitlerinin film tabaka halinde kaplama yapma özellikleri incelenebilir. Kaplama kalitesinin ve veriminin incelenmesiyle alüminyum pastanın dayanıklı hale getirilmesi amaçlanabilir. Bu sayede su bazlı alüminyum pastanın içeriğindeki su ile reaksiyonu önleyecek böylelikle de raf ömrünü uzatmayı amaçlayan aynı zamanda alüminyum yapının gaz beton keki içinde da dağılmasına engel olmayacak bir ilave kimyasal malzeme üzerinde de çalışılabilir.

REFERANSLAR

[1] **Kömürlü**, **R., Önel, H.(** 2007).Gaz Beton Yapı Ürünlerinin Konutlarda Kullanımı, YTÜ Mimarlık Fakültesi E-Dergisi, Cilt 2, Sayı 3, Syf 145-158, İstanbul

[2] **Borhan**, **B**.(1987). Ytong El Kitabı-1, Ytong Teknik Yayınları No:1, İstanbul

[3] **TSEN 1745.(**2011).Gaz Beton Yapı Malzemeleri ve Elemanları,Türk Standartları, Ankara

[4] **Özgenç, İ., Sarısözen, B.** (1999). Gazbeton Üretiminde Perlit Kullanılabilir mi?, 3. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, 81-86, İzmir

[5] **Short, A., Kinniburgh, W.(**1978). Lightweight Concrete, Elsevier Science, pp.464, 3d. Ed.

[6] **Çiçek, Y.,E.(**2002).Pişmiş Tuğla, Bims beton, Gaz beton ve perlitli Yapı malzemelerinin fziksel kimyasal ve mekanik özelliklerinin Karşılaştırılmalı olarak incelenmesi, Yüksek lisans tezi,İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen bilimleri enstitüsü,İstanbul

[7] **Xella,** (2007). Baustoffhandbuch Pronobeton.

[8] **Prim P., Wittmann F.H.,**(1983). Structure and water absorption of aerated concrete. [In:] F.H. Wittmann (Ed.), Autoclaved Aerated Concrete, Moisture and Properties, Elsevier, pp. 55- 69, Amsterdam

[9] **Kadashevich I. et al.(** 2005). Statistical modeling of the geometrical structure of the system of artificial air pores in autoclaved aerated concrete. Cem. Concr. Res. 35(8), 1495-1502.

[10] **Cabrillac R. et al.** (2006). Experimental study of the mechanical anisotropy of aerated concretes and of the adjustment parameters of the introduced porosity. Construct. Build. Mater. 20(5), 286-295.

[11] **Petrov I., Schlegel E.** (1994). Application of automatic image analysis for the investigation of autoclaved aerated concrete structure. Cem. Concr. Res. 24 (5), 830-840.

[12] **Schober G.,** (1992). Effect of size distribution of air pores in AAC on compressive strength. Advan. in AAC, 3rd RILEM Intern. Symposium on AAC, Balkema, Rotterdam, 77-80.

[13] **Schober G.,** (2005). The most important aspects of microstructure influencing strength of AAC. Autoclaved Aerated Concrete – Innovation and Development, Taylor & Francis Group, London, 145-153.

[14] **Schneider T. et al**. (1999). Strength modeling of brittle materials with two- and three-dimensional pore structures. Comp. Mat. Sci. 16(1-4), 98-103.

[15] **Schober G.** (2005). The most important aspects of microstructure influencing strength of AAC. Autoclaved Aerated Concrete – Innovation and Development, Taylor & Francis Group, London, 145-153.

[16] **Gawin D.J. et al.** (2004). Thermal Conductivity of Moist Cellular Concrete – Experimental and Numerical Study. ASHRAE Thermal IX Conference, 1-10.

[17] **Wägner F. et al. (**1995). Measurement of the gas permeability of autoclaved aerated concrete in conjunction with its physical properties. Cem. Concr. Res. 25(8), 1621-1626.

[18] **Janz M. (**2002). Moisture diffusivities evaluated at high moisture levels from a series of water absorption tests. Mater. Struct. 35(3), 141-148.

[19] **Tezcan T.** Gazbeton Duvar, İnşaat Bölümü Meslek Yüksekokulu, Celal Bayar Üniversitesi, Turgutlu, Manisa

[20] **Schlenk.** Technical Aluminium flakes for building material chemical and pyrotechnical. Erişim: 5 Ocak 2019, https://de.schlenk.com/fileadmin/editorsCMS/Medien/04Aktuell/pdf/Mediacenter/Catalogue_Technical_Aluminium_Flakes.pdf

[21] **Gopienko V.,G.** Chapter 12, Handbook of Non-Ferrous Metal Powders: Technologies and Applications, Production of Aluminum and Aluminum Alloy Powders (pp:267-283).

[22] **Pfaff, G.,Bauxbaum, G**.,Industrial Inorganic Pigments, extended ed.,Effect Pigments, (246-261)

[23] **Metallic Pigments,** The science of optics, Erişim: 14 Aralık 2018 https://www.spmorell.com/newsletters/metallic_pigments/metallic_pigments.html

[24] **Aluminum Flake Paste**, https://carlfors.com/products/aluminium-flake-paste/

[25] **Wills, B.A.,** 1997. Mineral Processing Technology, Sixth Edition, Pregmon International Library, England, Chapter 7; s.142-176.

[26] **Kaytaz, Y.,** 1990. Cevher Hazırlama, İTÜ Maden Fakültesi Cevher Hazırlama ABD, Teknik Üniversite Matbaası, Gümüşsuyu, İstanbul, s.124.

[27] **Ateşok, G., Mütevvelioğlu, N.A., Dinçer, H. ve Boylu, F. (**2005). Bazı Dağıtıcı Kimyasalların Kö- mürlerin Öğütülebilirliğine Etkisi, Madencilik, 44, (2), 25-35. Matbaası, Gümüşsuyu, İstanbul, s.124.

[28] **Liddell, K. S. (**1986). Machines for fine Milling to Improve the Recovery of Gold from Calcines and Pyrite, Proceeding of the International Conference on Gold, Extractive Metallurgy of Gold, 2, 405- 417.

[29] **Bond, F.C.,**1951. Third Theory of Comminution, Trans. AIME, Vol.193, p.484.

[30] **Gao, M. W. ve Forssberg, E. (** 1993). A Study on the Effect of Parameters in Stirred Ball Milling, International Journal of Mineral Processing, 37, 45-59.

[31] **Mankosa, M. J. ve Adel, G.T. and Yoon, R.H.** (1986) Effect of Media Size in Stirred Ball Mill Grinding of Coal, Powder Technology, 49, 75-82.

[32] **Kwade, A**. (1999). Wet Comminution in Stirred Media Mills-Research and its Practical Application, Powder Technology, 105, 14-20

[33] **Jankovic, A**. (2003). "Variables affecting the fine Grinding of Minerals Using Stirred Mills, Ball Mill for Cement Grinding," Minerals Engineering, 16, 337-345. FL Smidth Company,.

[34] **Fidan, B. ve Arol, A.İ.** (1990). Küre Cevherinin Öğütme Özellikleri, Madencilik Dergisi, Cilt. XXX, No.3, 5-9

[35] **Pilevneli, C.C.** (2003). Bilyalı Bir Karıştırmalı Değirmende İnce Boyutlu Klinker Öğütmesinin İncelenmesi, ZKÜ Maden Mühendisliği Bölümü, Doktora Tezi, s.159.

[36] **Güven O.,Dökme F.,** Bilyalı Değirmenlerde Hızın Performansa Olan Etkilerinin Deneysel Olarak İncelenmesi, Mühendis ve Makine Dergisi Mersin Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Mersin, Cilt:55, s.657

[37] **FL Smidth Company**, (2010). "Ball Mill for Cement Grinding," FLSmitdth Institute Press (C 11-10 300-1-ENG), p. 4-5.

[38] **Powell, M. S**. (1991). "The Effects of Liner Design on the Motion of the Outer Grinding Elements in a Rotary Mill," International Journal of Mineral Processing, vol. 31, p. 163-193

[39] **Biçeroğlu, N.** (2001). Santrifüjler için uygun çamur şartlandırma yöntemlerinin belirlenmesi.(Yükseklisanstezi).https://polen.itu.edu.tr/bitstream/11527/10472/1/95.pdf

[40] **Baydar, H.** (2000). Bitkilerde yağ sentezi, kalitesi ve kaliteyi artırmada ıslahın önemi. Ekin Dergisi, 11: 50-57.

[41] **Nas, S., Gökalp, Y.H., Ünsal, M. (**2001). Bitkisel Yağ Teknolojisi. Pamukkale Üniversitesi Mimarlık Fakültesi Matbaası, 322.

[42] **Anonymous,** (2004). Fatty acids.(Erişim: 10 Mart 2018) www.pjonline.com

[43] **Stearik asit**, Kozmetik ansiklopedisi, (Erişim: 15 Şubat 2019) http: //www.Hammaddeleransiklopedisi.com/makaledetay.php?seo=steark-astkoz metk –ansiklopedisi

[44] **Indexbox,** Overview of the Global Market for Palmitic Acid, Stearic Acid, Their Salts And Esters, https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/stearic-acid-market

[45] **Palmitik asit,** Erişim: (17 Haziran 2018) https://tr.depositphotos.com/ 11825 6372 /stock-illustration-palmitic-acid-molecule.html

[46] **Gazbeton kullanımı ve avantajları**, (Erişim:15 Mart 2019) https:// insapedia .com/ gazbeton-kullanimi-ve-avantajlari/

[47] **Arslanhan, M. Eken,T.Y. Duman, Ş.** Partikül boyut ölçüm deneyi laboratuvar uygulama eğitimi, Bursa Teknik Üniversitesi, Mimarlık ve Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, http://depo.btu.edu.tr/dosyalar/ metalurji/Dosyalar/Partik%C3%BCl_boyut_olcumu_deneyi%281%29 .pdf?cv=1

[48] **Saklara, S. Bayraktara, İ. Öner, M.** (2000) İnce boyut analizinde kullanılan yöntemler, 39(2), Madencilik, http://www.maden.org.tr/resimler/ekler /7ac67a9aa8d 2552_ek.pdf

[49] **TS EN 772-1** (2012). Kâgir birimler deney yöntemleri, Bölüm 1, *Basınç Dayanımı Tayini*, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

[50] **TS EN 772-13 (**2002). *Gaz beton kuruma büzülmesi Tayini*, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

[51] **TS EN 680 (**1998). Kâgir birimler deney metodları, Bölüm 13, *Net ve Brüt Kuru Yoğunluk Tayini*, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

[52] **TS EN 772-10 (**2000). Kâgir birimler deney metodları, Bölüm 10, *Gaz Beton Birimlerde Rutubet Muhtevası Tayini*, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad : Gizem URAL

Doğum Tarihi ve Yeri : 18.05.1991, Kocaeli

E-posta : gizemurall@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2015, Ege Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü