

**T.C.
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MALZEME BİLİMİ VE MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ
ANABİLİM DALI**

**NANO SiO₂ - AEROJEL KATKILI SÜPER ISIL YALITIM
ÖZELLİĞİNE SAHİP BETON BLOK ÜRETİMİ**

**Hazırlayan
Issra Kudam Aziz Al ZAIDI**

**Danışman
Doç. Dr. Bilal DEMİREL
Prof. Dr. Cengiz DURAN ATİŞ**

Yüksek Lisans Tezi

**Ağustos 2017
KAYSERİ**

**T.C.
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MALZEME BİLİMİ VE MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ
ANABİLİM DALI**

**NANO SiO₂ - AEROJEL KATKILI SÜPER ISIL YALITIM
ÖZELLİĞİNE SAHİP BETON BLOK ÜRETİMİ**

(Yüksek Lisans Tezi)

**Hazırlayan
Issra Kudam Aziz Al ZAIDI**

**Danışman
Doç.Dr. Bilal DEMİREL
Prof.Dr. Cengiz DURAN ATİŞ**

**Bu çalışma; Erciyes Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi
Tarafından FYL–2016–6997 kodlu proje ile desteklenmiştir.**

**Ağustos 2017
KAYSERİ**

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK

Bu çalışmadaki tüm bilgilerin, akademik ve etik kurallara uygun bir şekilde elde edildiğini beyan ederim. Aynı zamanda bu kural ve davranışların gerektirdiği gibi, bu çalışmanın özünde olmayan tüm materyal ve sonuçları tam olarak aktardığımı ve referans gösterdiğimi belirtirim.



Issrakudam Aziz Al ZAİDİ

YÖNERGEYE UYGUNLUK SAYFASI

“Nano SiO₂ - Aerojel katkılı süper ısı yalıtım özelliğine sahip beton blok üretimi”
adlı Yüksek Lisans tezi, Erciyes Üniversitesi Lisansüstü Tez Önerisi ve Tez Yazma
Yönergesi’ne uygun olarak hazırlanmıştır.

Hazırlayan

Issra Kudam Aziz AL ZAIDI

Danışman

Doç. Dr. Bilal DEMİREL

Danışman

Prof. Dr. Cengiz Duran ATİŞ

Malzeme Bilimi ve Mühendislik ABD Başkanı

Doç. Dr. Serdar ÖNSES

Doç. Dr. Bilal DEMİREL ve Prof. Dr. Cengiz Duran ATİŞ danışmanlığında Issra Kudam Aziz AL ZAIDI tarafından hazırlanan “Nano SiO₂-Aerojel katkılı süper ısı yalıtım özelliğine sahip beton blok üretimi” adlı bu çalışma, jürimiz tarafından Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Anabilim Dalında **Yüksek Lisans** tezi olarak kabul edilmiştir.

...14.../08.../2017...

JÜRİ:

Danışman : Doç. Dr. Bilal DEMİREL

.....

Üye : Prof. Dr. Bülent KURT

.....

Üye : Yrd. Doç. Dr. Esen DAĞAŞAN

.....

ONAY:

Bu tezin kabulü Enstitü Yönetim Kurulunun 15/08/2017 tarih ve 2017/34-53 sayılı kararı ile onaylanmıştır.

.....

12.../08.../2017

Prof. Dr. Mehmet AKKURT

Enstitü Müdürü

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın tamamı boyunca danışmanlıkları, tavsiyeleri, yönlendirmeleri, kıymetli destekleri ve cesaretlendirmelerinden dolayı Değerli Hocalarım Doç. Dr. Bilal DEMİREL ve Prof. Dr. Cengiz Duran ATİŞ'e ayrı ayrı teşekkürü bir borç bilirim.

Laboratuvardaki desteklerinden dolayı Arş. Gör. Serhan İLKENTAPAR'a derin teşekkürlerimi sunuyorum.

Çalışmalarım boyunca büyük teşvik ve desteklerinden ötürü arkadaşlarıma minnettarlığımı ifade etmek isterim.

Bana değerli fırsatlar veren ve yüksek lisans eğitimim boyunca maddi olarak destekleyen Irak Milli Eğitim Bakanlığı'na minnettarım.

Son olarak, bütün hayatım boyunca bana her türlü desteğini bir an bile olsun esirgemeyen aileme, kardeşlerime çok minnettarım. Bu başarı onlarsız mümkün olmazdı.

Issra Kudam Aziz Al ZAİDİ

Kayseri, Ağustos 2017

NANO SiO₂ - AEROJEL KATKILI SÜPER ISIL YALITIM ÖZELLİĞİNE SAHİP BETON BLOK ÜRETİM

Issra AL ZAIDI

Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Yüksek Lisans Tezi, Ağustos 2017

Danışmanlar: Doç. Dr. Bilal DEMİREL

Prof. Dr. Cengiz DURAN ATİŞ

ÖZET

İyi bir ısı yalıtımı ve basma dayanımına sahip hafif bloklar, kısmi ya da tamamen hafif katkı malzemelerinin çimento ile değişen oranlarda karıştırılması ile hazırlanabilir. Bu çalışmada kum ve çimento karışımının içerisine değişen oranlarda silis dumanı ve aerogel'in yanında en fazla % 40-50 oranında çimento yerine uçucu kül ikame edilerek beton bloklar hazırlanmıştır. Ayrıca, Nano silika ve silis dumanı da beton matris içine değişen oranlarda dahil edilmiştir. Adı geçen katkı malzemeleri kullanılarak, yalnızca çimento kullanılarak üretilen referans numuneye göre % 17 - 23.35% arasında değişen yoğunluğa sahip hafif ve termal yalıtım özelliğine sahip bloklar başarı ile üretilmiştir. Buna ek olarak, termal iletkenlik değerinde referans numuneye göre % 58 oranında azalma sağlanmış, basma mukavemeti ise(56.14 - 20.9) MPa arasında değişen değerler almıştır. Bu sonuçlardan elde edilen blokların mekanik özelliklerinin yeterli seviyede olduğu anlaşılmaktadır.

Bu çalışmadan elde edilebilecek en önemli sonuç kum içermeyen numunelerin standard numunelere oranla %58 daha düşük ısı iletkenlik, %22,8 daha düşük yoğunluk değerlerine sahip olduğudur. Bu değerler karşılık basma dayanımında ise yaklaşık 27,11 MPa kadar bir azalma söz konusudur.

Aerogel katkısı ile süper yalıtım performansına sahip geliştirilmiş hafif blokların bina duvarlarındaki yoğunlaşmanın azaltılması ile bina içi konforun artırılmasına dönük hem ısıtmada hem soğutmada bina enerji sarfiyatlarının azaltılmasına ilişkin iyi bir potansiyele sahip olduğu anlaşılmaktadır

Anahtar Kelimeler: süper Isı Yalıtımı, Hafif Beton Blok, Nano Silika, Aerogel

THE PRODUCTION OF CONCRETE BLOCKS WITH THERMAL SUPER INSULATION PROPERTY BY ADDITION OF NANO SiO₂-AEROGEL

Issra AL ZAIDI

Erciyes University, Graduate School of Natural and Applied Sciences

M.Sc. Thesis, August 2017

Supervisors: Assoc. Prof. Dr. Bilal DEMİREL

Prof. Dr. Cengiz DURAN ATİŞ

ABSTRACT

Lightweight blocks with super thermal insulation and good compressive strength can be prepared by replacing the normal aggregate of cement mixture, either partially or totally, with lightweight materials. In the present work, sand within a cement mixture has been replaced totally with a silica aerogel powder as well as the replacement of cement up to (40% and 50%) with fly ash. Furthermore, Nano silica and silica fume were added and incorporated into concrete matrix. The replacement and addition of those materials have successfully produced a lightweight and thermal insulating blocks with reduced density ranging from (17% - 23.35%) of a reference plain sample made of cement only. In addition, a thermal conductivity is reduced by 58% of reference, with compressive strength between (20.90 -56.14) MPa, indicating the adequate level of mechanical properties.

The most obvious finding to emerge from this study is that a lighter sample with no sand contributed to the lowest thermal insulation reduction by 58% of the reference sample and reduction in density to 22.8%, with a compressive strength reduced about 27.11 MPa.

The improved lighter blocks with super insulation performance by the aerogel have a good probability of decreasing building energy consumption by heating and cooling and enhancing indoor comfort by reducing mold and condensation on the building walls.

Keywords: Super thermal Insulation, Light Concrete Block, Nano Silica, Aerogel

İÇİNDEKİLER

NANO SiO₂ - AEROJEL KATKILI SÜPER ISIL YALITIM ÖZELLİĞİNE SAHİP BETON BLOK ÜRETİM

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK.....	i
YÖNERGEYE UYGUNLUK SAYFASI.....	ii
TEŞEKKÜR	iv
ÖZET	v
ABSTRACT	vi
İÇİNDEKİLER.....	vii
TABLolar LİSTESİ.....	xi
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	xii
SEMBOLLER LİSTESİ.....	xiii

BÖLÜM 1

GİRİŞ

1.1. Amaç	4
1.2. Hedefler	4
1.3. Yapılan Çalışmalar	5
1.4. Tez Kılavuzu.....	5

BÖLÜM 2

YALITIM BETON BLOKLARI

2.1. Giriş	7
2.1.1. Isı İzolasyonu Malzemeleri.....	7
2.1.1.1. Geleneksel yalıtım malzemeleri.....	9
2.1.1.1.1. Mineral yün.....	9
2.1.1.1.2. Genişletilmiş Polistiren (EPS)	10
2.1.1.1.3 Ekstrüzyon Polistiren (XPS).....	10
2.1.1.1.4. Mantar.....	10
2.1.1.1.5. Poliüretan	11
2.1.1.1.6. Selüloz	11
2.1.2. Son Teknoloji İnşaat Termal Yalıtımı	11
2.1.2.1. Vakum İzolasyonu	12

2.1.2.2. Gaz Dolu Paneller	12
2.1.2.3. Aerojel.....	13
2.1.2.4. Faz Değiştiren Malzemeler (PCM).....	23
2.1.2.5. Nano İzolasyon Malzemeleri	23
2.2. Neden Süper Yalıtım?	24
2.3. Beton Bloklar.....	24
2.4. Beton Blok İzolasyonu.....	25
2.4.1. Beton blok izolasyon çeşitleri	26
2.4.1.1. Alçı bloklar	26
2.4.1.2. Pomza bloğu.....	28
2.4.1.3 Polistiren bloklar	29
2.4.1.4. Petek kil blok	30
2.4.1.5. Otoklavlı hücresel beton.....	32
2.4.1.6. Aerojel beton bloklar.....	32
2.4.2. Genel	33
2.5. Plastik Harç.....	34
2.5.1. İşlenebilirlik.....	34
2.5.2. Su Tutma ve Sızdırmama.....	34
2.5.3. Sertleştirme Özelliği	34
2.6. Kürlenmiş Harç.....	34
2.6.1. Sıkıştırma mukavemeti	34
2.6.2. Yapıştırma	35
2.6.2.1. Hidrasyona bağlı çimento esaslı malzemeler	35
2.6.2.2. Karbonasyona Dayalı Çimento Esaslı Malzemeler	36
2.6.2.3. Agregalar	36
2.6.2.4. Su.....	37
2.6.2.5. Katkılar	37
2.7. Literatür incelemesi	41

BÖLÜM 3

DENEYSEL ÇALIşMA

3.1. Giriş	44
3.2. Kullanılan malzemeler	44
3.2.1. Aerojel.....	44

3.2.2. Nano Silika.....	45
3.2.3. Silis Dumanı.....	46
3.2.4. Uçucu kül.....	47
3.2.5. Çimento.....	47
3.2.6. Kum	48
3.2.7. Su	48
3.3. Bloklar İçin Karışım Orantılandırma	48
3.3.1. Genel	48
3.3.2. Malzemelerin Oranları.....	48
3.4. Deneyler.....	51
3.4.1. Test Örneği İçin Malzemelerin Karıştırılması	51
3.4.2. Katılaşmış Harç Karışımlarının Fiziksel Özelliklerinin Belirlenmesi.....	51
3.4.2.1. Kütleli Yoğunluk	51
3.4.2.2. Gözenek boyutu ve BET Yüzey Alanı.....	51
3.4.2.3. Morfolojik ve Mikroyapısal Karakterizasyon	52
3.4.3. Harçların Mekanik Özelliklerinin Belirlenmesi.....	52
3.4.3.1. Harç blokların eğme mukavemeti.....	52
3.4.3.2. Harçların Basma Dayanımı.....	56
3.4.4. Farklı blokların TCi Termal İletkenlik Analiz Cihazı ile ısı iletkenlik katsayısının tayini.....	57
3.4.4.1 TCi Termal İletkenlik Analiz Cihazı.....	57
3.4.4.2. Örnekleri ve Test Prosedürü Blokları.....	58

BÖLÜM 4

SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR

4.1. Giriş	59
4.2. Yapılan Testler	59
4.2.1. Dökme yoğunluğu.....	59
4.2.2. Gözenek boyutu ve BET Yüzey Alanı.....	61
4.2.3. Mikroyapısal ve Morfolojik Karakterizasyon.....	62
4.2.4. Eğilme Mukavemeti Testi	69
4.2.5. Basma mukavemeti Testi	73
4.2.6. Isı Yalıtımı	77

BÖLÜM 5

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1. Genel.....	83
5.2. Sonuçlar.....	83
5.2.1. Dökme Yoğunluğu.....	83
5.2.2. Porosite boyutu ve BET Yüzey Alanı	84
5.2.3. Morfolojik ve Mikroyapısal Analizler	84
5.2.4. Basma ve Eğilme Mukavemeti.....	85
5.2.5. Termal iletkenlik	86
5.3. Öneriler	87
KAYNAKLAR.....	88
ÖZGEÇMİŞ	100

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 2.1. Seçilen büyük duvarlı yapı malzemelerinin yığın yoğunlukları, ısıl iletkenlikleri ve basma direnci	27
Tablo 3.1. Aerojelin fiziksel özellikleri	45
Tablo 3.2. Nano silikanın tipik özellikleri	46
Tablo 3.3. Çalışmada kullanılan silisdumanının kimyasal bileşimi (%)	46
Tablo 3.4. CEM I 42,5 Çimento Kimyasal Analizi (TS EN 196)	47
Tablo 3.5. Kullanılan kumun derecelendirilmesi ve standart limit değerleri.....	48
Tablo 3.6. Agrega olarak kullanılan malzemeler ve karışım oranları	50
Tablo 4.1. Harç karışımlarının 1. Gün sonundaki yığın yoğunluk değerleri	60
Tablo 4.2. Grup (N+A+F) için 1. ve 28. Gün sonunda ölçülen yığın yoğunluklar	61
Tablo 4.3. BET, gözenek boyutu, gözenek hacmi ve EDX analizi	62
Tablo 4.4. Kütleme için eğilme direnci testi 1	71
Tablo 4.5. Farklı sertleşme için eğilme direnci testi 1	72
Tablo 4.6. Kütleme İçin Basma Dayanımı Testi 1	74
Tablo 4.7. Çeşitli Sertleşme İçin Basınca Dayanıklılık Testi.....	75
Tablo 4.8. Kütleme İçin Termal İletkenlik Testi 1	79
Table 4.9. Çeşitli Kütleme İçin Isıl İletkenlik Testi	80
Tablo 4.10. Bir yüzdeki termal iletkenliğin ve kalınlığın karşılaştırılması.....	82

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1.	Hidrofilik ve hidrofobik silika aerojelleri gösteren şematik diyagram.....	18
Şekil 2.2.	(a) Hidrofilik yüzey b) Hidrofobik yüzey	19
Şekil 3.1.	Toz aerojelin SEM görüntüsü	45
Şekil 3.2.	Çalışmada kullanılan Kolloidal Nano Silika'nın boyut dağılımı	46
Şekil 3.3.	Fazla miktarda kum ve aerjel içeriği nedeniyle blokta meydana gelen çatlaklar	49
Şekil 3.4.	Denemelerde üretilen blokların basma dayanım testindeki başarısızlığı.....	50
Şekil 3.5.	Test numuneleri (a) 300x300x20 mm kalıpta, (b) 40x40x160 mm kalıpta.....	53
Şekil 3.6.	7 günlük numuneleri iklimlendirme kabini içerisinde + 25 °C.....	53
Şekil 3.7.	Belirlenen test zamanına kadar hava ortamında kürlenene numuneler	54
Şekil 3.8.	Su havuzunda küremeye bırakılan numuneler	54
Şekil 3.9.	Çeşitli numuneler için eğme testi	55
Şekil 3.10.	Basma dayanım testi sonrası numuneler	56
Şekil 3.11.	Numune malzemesinin ısı transfer özelliklerine genel bakış.....	57
Şekil 4.1.	BET Yüzey alanı ve gözenek hacminin karşılaştırılması	62
Şekil 4.2.	Grupların örneklerinden SEM görüntüleri.....	65
Şekil 4.3.	Grup örneğinin iç yüzeyinden bir alanın EDX haritalaması.....	68
Şekil 4.4.	Eğilme mukavemeti ve yoğunluğunun karşılaştırılması.....	72
Şekil 4.5.	Basma dayanımının ve yoğunluğunun karşılaştırılması	75
Şekil 4.6.	Nano silika katkısının basma dayanımına etkisi	76
Şekil 4.7.	Basma dayanımının ve ısı iletkenliğinin karşılaştırılması	80
Şekil 4.8.	Isıl iletkenlik ve yığın yoğunluğunun karşılaştırılması	81

SEMBOLLER LİSTESİ

AAC	Autoclaved Aerated Concrete
ACC	Autoclaved Cellular Concrete
AIMs	Aerogel Yalıtım Malzemeleri
ALC	Autoclaved lightweight Concrete
ASH	Uçucu Kül
ASTM	American Society for Testing and Materials
CN	Cyanide Anyon
DRIFT	Diffuse Reflectance Infrared Fourier Transform
EPC	Expanded Polystyrene Concrete
EPS	Expanded Polystyrene
F	Uçucu Kül
GFPs	Gaz dolumlu paneller
GHG	Greenhouse Gases
HBCD	Hexabromocyclododecane
HCN	Hydrogen Cyanide
HVAC	Heating Ventilation and Air Conditioning
I-UHPC	Insulation mortar Ultra-High Performance Concrete
L	Hafif Harç
MPa	Mega Pascal
MS	Micro Silica
MTPS	Modified Transient Plane Source
NIM	Nano Yalıtım Malzemesi
NS	Nano Silica
OPC	Ordinary Portland Cement
ORNL	Oak Ridge National Laboratory
PCM	Faz değıştiren Malzeme
PLWCB	Pumice lightweight Concrete Block

PUR	Polyurethane
S	Silis dumanı
SEM	Scanning Electron Microscope
SF	Silis dumanı
TS	Türk Standartları
UHPC	Ultra-High Performance Concrete
VIM	Vakum Yalıtım Malzeme
VIPs	Vakum Yalıtım Panelleri
XEPS	Extruded Expanded Polystyrene
XPS	Extruded Polystyrene
λ	Termal İletkenlik Katsayısı
ρ	Yoğunluk

BÖLÜM 1

GİRİŞ

İnşaat sektörü, küresel enerji tüketiminin büyük bir bölümünden sorumludur [1], bununla beraber insanların yaşamını ve çevrenin kalitesini iyileştirmek için enerji tasarrufu insanın sürdürülebilir gelişimi için çok önemli bir konudur. Dünyanın toplam enerji tüketiminin önemli bir bölümünü oluşturan inşaat sektöründe birçok doğal kaynak ve farklı enerji kaynakları tüketilmektedir. Ayrıca, enerji yalnızca barınma amaçlı binalar tarafından değil, aynı zamanda endüstriyel, perakende, otel, ticari binalar ve okullar gibi insanların toplu olarak kullandığı binaların kullanımıyla da tüketilmektedir. Bu nedenle, binaların enerji verimliliğini arttırmak artık günümüzde bir zorunluluk haline gelmiştir. Günümüzde, enerji verimliliği açısından, modern binalarda ısı yalıtımı sağlamak amacı ile en doğru yöntemlerden biri olarak [2-3] taş yünü benzeri yalıtım malzemeleri kullanılmaktadır. Bununla beraber duvarlar, çatılar, pencereler, kapılar ve camlar üzerinden de [2, 4] binaların enerji sarfiyatları azaltılabilir. Bu sayede enerji üreten ve çevreyi kirleten santrallere duyulan ihtiyaç azaltılarak hem maliyet hem de ilgili sera gazı emisyonları önemli ölçüde azaltılabilir [5].

Günümüzde yapı endüstrisinde farklı türde ısı yalıtım malzemeleri kullanılmaktadır. Camyünü, kaya yünü, genleşmiş polistiren (EPS) ve ekstrüzyon polistireni (XPS) gibi geleneksel malzemeler, yeterince düşük bir termal iletkenlik değerini sağlayabilmeleri için kalın bir yapı kılıfı gerektirir. Sınırlı bir kullanım alanı olan eski bir binanın enerji tasarrufuna dönük cephe kaplama özellikleri ile ilgili bina yenileme sırasında ele alınması gereken birçok faktör vardır [6] ve bunlar bir sonraki bölümde daha ayrıntılı olarak ele alınacaktır. Günümüzde yeni ve yüksek performanslı ısı yalıtım malzemelerinin geliştirilerek binaların enerji verimliliğinin artırılmasına dönük ciddi bir talep vardır [4]. Bu gereksinimlerin geleneksel yapı malzemelerinin iyileştirilerek karşılanabilmesi oldukça önemlidir. Bu noktada temel strateji, mümkün olduğunca

düşük termal iletkenlik elde etmek ve yüksek termal dirence sahip nispeten ince mantolama sistemlerinin uygulanması olmalıdır. Termal iletkenlikleri, 0.1 veya 0.2 W/(m.K)'den düşük olduğu için, termal harçlar enerji tasarrufu için en umut verici malzemeler arasındadır [7]. Betonda düşük ısı iletkenliği için genel olarak yapı içinde hava boşluklarının varlığı gerekliken, yüksek bir mekanik mukavemet için boşluk oranının çok düşük olması gereklidir [8].

Mevcut binaların yaklaşık sıfır enerji binalarına doğru yenilenmesini teşvik etmek için yenilikçi malzemeler ve çözümler düşünülmektedir. Bu bağlamda, inşaat sektörü son zamanlarda nanoteknoloji tarafından üretilen çeşitli materyalleri kullanarak geleneksel malzemeleri geliştirmeye çalışmaktadır. Nano teknolojinin uygulanması yapı malzemelerinin performansını kuvvet ve dayanıklılık açısından önemli ölçüde artırabilir ve kendi kendini temizleyen cepheler, akıllı pencereler, süper yalıtım malzemeleri ve benzeri gibi kullanışlı özellikler ekleyebilir.

Aerojel, enerji verimliliği yüksek binalarda ve pencerelerde kullanılabilecek en umut verici nano malzemelerden biridir ayrıca vakum koşullarında $0.010 \text{ W/m}^2\text{.K}$ 'den daha düşük ısı iletkenliğe ve iyi optik şeffaflığa (ışık geçirgenliği) sahip çok gözenekli bir nanoyapı malzemesidir [9].

Günümüzde birçok araştırmacı beton duvarların ısı iletkenlik değerini düşürmek amacı ile çok yönlü çalışmalar yürütmektedirler. Yapılan çalışmalar, özellikle soğuk iklimlerde yalıtkan beton duvarlarla ısıtma maliyetlerinin olağanüstü bir şekilde düşürülebileceğini göstermiştir. Günümüzde mevcut binalara kolayca monte edilebilen birçok yalıtım malzemesi ve sistemi bulunmaktadır. Rijit levha, batt veya battaniye ile püskürtme yöntemleri piyasada bulunan üç temel ısı yalıtım yöntemidir ve en ucuz olanlarıdır. Beton duvarlar, iç veya dış yüzeyden yalıtılabilir ya da yalıtım malzemesi duvar içine yerleştirilebilir [10-11].

İç izolasyon, rijit levha, sünger veya püskürtme gibi çeşitli yalıtım yöntemlerine sahip dış yalıtımdan daha pahalı ve daha zordur. Yalıtım malzemeleri iç mekân içerisinde bulunan betonlar termal kütlesi nedeniyle, enerji tasarrufu açısından en az arzu edilen şeydir. Öte yandan, dış izolasyon genellikle alçı veya sıva gibi bitmiş bir yüzeyle kaplı rijit bir levha içerdiğinden, genellikle en pahalı izolasyon metodudur. Ekstra enerji tasarrufu sağlayabilmek genellikle daha yüksek masrafları gerektirir, ancak dış

izolasyon, blok veya beton duvarın kış ve yaz aylarında termal yalıtım sağlamasına katkı sağlarken ısı yalıtımını korumaya da yardımcı olur [12].

Günümüzde duvar panelleri içerisine gömülü rijit levha yalıtımı, ön-kanatlı ve eğimli duvarlar için oldukça çekici hale gelmiştir. Rijit pano dış yalıtım sistemleri çok düşük bakım masrafları gerektirir ve her türlü mimari için değişik türleri bulunmaktadır. Yalıtım malzemesi beton içine yerleştirildiğinde duvarın ayrılmaz bir parçası haline gelir. Prefabrik ve yerinde dökme duvar yalıtım yöntemleri, etkin termal kütle ve çevre yalıtımının korunması gibi birçok avantaj sağlar [10]. Ayrıca duvar, sürekli yalıtım ve hava sızdırmazlığı için de çeşitli özellikler taşımalıdır. Duvar ile blok arasında sürekli izolasyon katmanı bulunması hava sızdırmazlığı için önemlidir. Sıcak nemli hava o bölgeye sızarsa, duvarda yoğunlaşır ve kalıp büyümesini tahrik eden koşullar oluşur [12].

Diğer yalıtım türlerine ilaveten köpükler de yalıtım elemanları olarak bu amaçla kullanılmaktadır. Köpük olarak üretilen polistiren, poliizosiyanürat, poliizo ve poliüretan polimerlerin beton bloklara uygulanabilmesi için birkaç yol vardır. Bunlardan bir tanesi, beton blokların içi boş olan kısımlarına gevşek köpük boncukları veya sıvı köpük dökerek ve/veya enjekte edilerek doldurulmasıdır. Örneğin, bazı blok üreticileri, betonu ince bir filmle kaplayan polistren boncukları ile, betonda sınırlı bir yapısal bütünlük sağlarken diğer taraftan polistireni birleştirmeyi amaçlamaktadırlar. Bu alanda en yaygın kullanılan blok bileşenleri, portland çimentosu, kum ve kimyasal katkı maddeleri ile karıştırılmış genleştirilmiş polistirendir.

Bunlara ek olarak, iki çeşit katı beton bulunmaktadır; Otoklavlanmış gaz beton (AAC) ve otoklavlanmış hücresel beton (ACC) olarak temin edilebilen ön dökme otoklavlı beton duvar üniteleri. Bu tür katı malzeme sınıfındaki malzemelerin hacimce % 80'ini hava oluşturmaktadır ve 1940'lı yılların sonlarından itibaren Avrupa inşaatında sıkça kullanılmaktadır. Otoklavlanmış betonlar geleneksel betonlara göre on kat izolasyon değerine sahiptir. Bu sistemlerde ince harç duvar inşa etmek için kullanılır. Ön dökme otoklavlanmış hücresel betonda ayırıcı unsur olarak yüksek silika kumu yerine uçucu kül kullanılır. Uçucu kül, ACC'yi AAC'den ayıran bir yapı malzemesidir ve duvar genellikle sıva tabakasıyla bitirilir.

Beton ve odun yongaları karışımı ile üretilen gözenekli yapı malzemeleri de günümüzde yapılarda kullanılmaktadır. Bunlar, harç kullanılmadan kuru koşullarda istiflenerek imal edilirler. Yapısal dayanım, yapıyı taşıyan beton kolonlardan ve uygun inşaat demirinden sağlanır. Bu tip yapı malzemeleri için en önemli sorun blok içindeki ahşabın ıslanması ve böcek istilasına maruz kalmalarıdır [13].

1.1. Amaç

Bu projenin amacı, geleneksel hafif beton bloklar için nano silika, silis dumanı, uçucu kül ve aerojel (SiO_2) takviyeleri ile düşük termal iletkenlik ve iyi mekanik özelliklere sahip süper yalıtım beton blokların geliştirilmesidir.

1.2. Hedefler

Bu çalışmada, aerojel, nano silika, silis dumanı ve uçucu kül takviye malzemeleri kullanılarak hazırlanan hafif beton blok numuneleri ile geleneksel beton bloklar deneysel olarak karşılaştırılacaktır. Amaçlanan temel hedefler şunlardır:

- 1- Süper yalıtım blokları, hafif bloklar ve harç hakkında literatür taraması.
- 2- Geleneksel beton bloklar ile nano silika, aerojel, silis dumanı, uçucu kül ve kum takviye malzemelerinden oluşan hafif beton blokların mekanik özelliklerini deneysel olarak karşılaştırmak.
- 3- Gerekli mekanik özellikleri sağlayabilecek çimento, uçucu kül, silis dumanı, aerojel ve nano silika oranlarını belirlemek.
- 4- Geleneksel ve agrega ağırlıklı aerojel malzeme blokları arasındaki fiziksel ve mekanik özelliklerin farklarını incelemek.
- 5- Ayrı ayrı karıştırılan ve farklı oranlarda uygulanan tüm katkı malzemelerinin (aerojel, nano silika ve uçucu kül) termal iletkenlik katsayılarını belirlemek.
- 6- Uygulanacak üç farklı kürlenme şartlarının beton blokların ısı yalıtım özellikleri üzerine etkilerini incelemek.
- 7- Deneysel olarak elde edilen sonuçları karşılaştırmak ve analiz etmek.

1.3. Yapılan Çalışmalar

Bölüm 1.2'de belirtilen hedefler doğrultusunda yapılan çalışmalar aşağıdaki gibidir:

- 1- İlgili çalışma yalıtım blokları, aerogel bloklar, harç, silika aerogel, nano silika ve uçucu kül hakkında kapsamlı bir literatür araştırması yapılmıştır.
- 2- Silika aerogel, nano silika, silika ve uçucu kül agregalarının yığın yoğunluk, özgül ağırlık, absorpsiyon yüzdesi, parçacık boyutu dağılımı gibi fiziksel özellikleri elde edilmiş ve kendi aralarında karşılaştırılmıştır.
- 3- En iyi sonuca ulaşmak için farklı oranlarda uçucu kül, silis dumanı ve kum agregaları çimento içerisine ikame edilerek çimento kompozisyonu kısmen değiştirildi. Ayrıca çimentonun değişen oranlarında karışım içerisine aerogel ilave edilmiş ve sonunda elde edilen veriler karşılaştırılmıştır.
- 4- Geleneksel harç/aerogel izolasyon harçlarının taze karışım, sertleştirilmiş karışım fiziksel ve mekanik özelliklerinin belirlenmesine dayanan deneysel çalışmalar yapılmıştır.
- 5- Silika aerogel blok tipleri ile birlikte farklı harçlardan üretilen değişik blokların (300x300x20 mm) termal iletkenlik katsayıları ölçümüştür. Elde edilen veriler kendi aralarında ve geleneksel bloklar ile karşılaştırılmıştır.
- 6- Kürleme şartlarının blokların ısı yalıtım özelliği üzerine etkileri incelenmiştir.
- 7- Son olarak, deneysel çalışmalardan elde edilen tüm sonuçlar analiz edilmiş ve kendi aralarında karşılaştırılmıştır. Bu çalışmada, geleneksel harç ve aerogel yalıtım blokları fiziksel ve mekanik özellikleri bakımından karşılaştırılmıştır. Bununla beraber ısı iletkenlik katsayısına dayalı olarak farklı blokların ve kürleme şartlarının incelemesi yapılmıştır.

1.4. Tez Kılavuzu

Bölüm 1, genel tanıtım, ısı yalıtımı ve çeşitleri ile amaçlar, hedefler, yapılan çalışmalar ve kazanımları içermektedir.

Bölüm 2, yalıtım malzemelerinin ve hafif betonun tanımı, kullanım alanları, yalıtım agregalarının türleri ve uygulama alanlarını içermektedir.

Yalıtım ve hafif yapı malzemesi olarak kabul edilen arojel hakkında bilgi verilmiştir. Uçucu kül bir ısı yalıtım malzemesi olarak da kullanılabilir. İnşaat sektöründeki yalıtım malzemeleri daha sonra ayrıntılı olarak incelenecektir. İzolasyon bloklarının tanımı, üretim süreci ve yalıtım blokların kullanımının binalardaki ısı yalıtım üzerine faydaları da açıklanacaktır. Aerojel, nano silika ve uçucu kül gibi hafif malzemelerin eklenmesinin harç özellikleri üzerine etkileri, harç çeşitleri, harç özelliklerini etkileyen ilgili kalemelerin seçimi ve harçlar hakkında ayrıntılı olarak bilgi verilmektedir. Termal özellikler, betonun ısı iletkenliği, beton bloklarda kullanılan termal kütle, termal kütleyi etkileyen faktörler de bu bölümde ayrıntılı olarak açıklanmaktadır.

Bölüm 3, bu araştırmanın deneysel bir bölümü ile ilgilenmekte olup burada agrega ve arojel blok gibi malzemelerin özelliklerini ve harç karışım oranlarını ortaya çıkarmıştır.

Bölüm 4, test sonuçlarını, bu sonuçların analizini ve deneyler hakkındaki tartışmaları içermektedir.

Bölüm 5, bu araştırma için sonuç ve önerileri ele almaktadır.

BÖLÜM 2

YALITIM BETON BLOKLARI

2.1. Giriş

Bu bölümde, silika aerojel, nano silika, silis dumanı ve uçucu kül gibi agregalardan oluşan yalıtkan hafif blokların termal özellikleri hakkında çeşitli kaynaklardan kapsamlı bir literatür taraması yapılmıştır.

2.1.1. Isı İzolasyonu Malzemeleri

İnşaat sektörü, sürdürülebilirlikle ilgili artan kaygılarla birlikte daha zorlayıcı bir unsur olan enerji ile birleştiğinde, binaların ısı yalıtımının dünya enerji verimliliğinin artırılmasında en doğrudan yöntemlerden biri olduğunu göstermiştir. Yapılan çalışmalarda, ısı yalıtım malzemeleri adına güncel teknolojiyi geliştirmek için önemli çabalar harcanmıştır [14].

Bina yalıtımı, binanın yapımında veya yenilenmesinde ısı transferini azaltmak için yüksek bir ısı yalıtım olarak umut vaat eden malzemeleri kullanmaktan sorumludur. Binalarda uygun bir sıcaklık derecesinin korunması, küresel enerjinin büyük bir bölümünün bu amaçla kullanılmasını gerektirir. Dolayısıyla arzu edilmeyen ısı kaçaklarını azaltmak, ısıtma ve soğutma sistemlerinin enerji taleplerini azaltabilir [3]. Ayrıca, özellikle mevsimler arası dönemlerde ısıtma ve soğutma sistemlerine bağlı olmaksızın termal konfor sürelerini uzatmak bu anlamda yararlı olabilir [15].

Bu yüzyılın başından itibaren, bina ve işyerlerinin ısı yalıtım gereksinimleri, yapı malzemeleri alanında birtakım gelişmelere yol açmıştır.

Dış duvar yalıtımı genellikle katı duvarların yalıtımı için istenen bir çözümdür. Dış yalıtım, genellikle koruyucu duvar veya dekoratif kaplama gibi mevcut duvara

sabitlenmiş bir izolasyon katmanından oluşur. Kaplama için ahşap paneller, taş veya kil fayansları, tuğla folyoları veya alüminyum paneller sıklıkla kullanılmaktadır. Dolu duvarlar için dış duvar yalıtımı, bina içi yaşam alanı kaybı, asgari bozulma ve yoğunlaşma riskini azaltır. Bununla birlikte, bazı durumlarda, tarihi binaların iç mekânlarının orijinal cephe özelliklerini korumak amacıyla kullanılabilen tek seçenek iç izolasyondur. İç duvar yalıtımı tipik olarak esnek termal kaplamalar şeklindedir ve kuru astar, lamine yalıtım alçı levhası, termal tahta ile yerinde tutulan lifli mineral ahşap gibi malzemeler kullanılmaktadır. Gözenekli duvar kullanımı da etkin ısı yalıtım yöntemlerinden biridir [16].

Uygulamalarda, ısı iletkenlik değerleri 1.7-2.5 W/(m.K) arasında değişen betonun, termal iletkenlik değerleri 0.030-0.040 W/(m.K) olan mineral yün gibi geleneksel yalıtım malzemeleri ile karşılaştırıldığında, ısı izolasyonunun beton bloklar için neden gerekli olduğu ortaya çıkmaktadır. Bununla birlikte, inşaatlarda yapısal destek sağlayarak yalıtım malzemelerinin dayanımının eksikliğini telafi etmek için sıklıkla beton kullanılır ki; bu, çoğu bina projesinde hayati bir öneme sahiptir. Bu nedenle, bir yalıtım malzemesiyle kaplanan beton, yeterli derecede yapısal mukavemeti muhafaza ederken, yeterince düşük bir termal iletkenlik (U) değeri ile tatmin edici bir ısı yalıtım sağlar. Günümüzde geleneksel yalıtım malzemelerinin bina mantolamalarında artan kalınlıkta kullanımı bugün için en iyi çözüm olabilir, ancak ekonomik, ulaşım, mimari ve diğer kısıtlamalarla ilgili sorunlar dikkate alındığında bu durumun sürdürülebilir olmadığı görülmektedir [4,17-21].

İnşaat sektöründe beton özelliklerinin iyileştirilmesi günümüzde oldukça büyük bir önem kazanmıştır. Araştırmacılar, uçucu kül, silis dumanı, granüle yüksek fırın cürufu ve çelik cürufu gibi atık malzemelerin yanında yenilikçi kimyasal katkı maddeleri ve çimento yardımcı malzemelerinin yardımıyla mekanik dayanıklılık özelliklerine ilişkin somut kalitenin geliştirilmesine odaklanmışlardır [22]. Dahası, aerojel gibi katkı maddelerinin etkin bir şekilde kullanılması, izolasyon özelliklerini daha yüksek tutarken basma mukavemeti gibi çimentoların mekanik özelliklerini de geliştirebilirler. Isıl iletkenlik değerinin 0.1 W/(m.K) veya daha düşük [20] değerlerde, basma dayanımının ise 20 MPa civarında tutulması bu çalışma için en uygun hedef olarak kabul edilmiştir.

Bununla beraber, yalıtım için kullanılan malzemelerin içerisinde durgun hava hapsedilerek termal iletkenlik azaltılabilir ve bu malzemeler ısı akısını engelleyen, hafif, belirgin bir yoğunluğu olan, gevşek ve gözenekli malzemeler olarak karakterize edilebilirler. Buna göre, inorganik yalıtım malzemeleri düşük yoğunluk, düşük su emme ve iyi sızdırmazlık özelliklerine sahip organik malzemelere kıyasla yanmazlık, geniş bir sıcaklık aralığında çalışabilme, kimyasal korozyona karşı iyi direnç gibi farklı üstün özelliklere sahiptirler [2].

2.1.1.1. Geleneksel yalıtım malzemeleri

Nispeten düşük termal iletkenliğe sahip bazı geleneksel malzemeler, mineral yün, genişletilmiş polistiren (EPS), ekstrüzyon polistiren (XPS), mantar, poliüretan (PUR) ve selüloz gibi yapılar yalıtımlarda yaygın olarak kullanılmaktadır [2]. Bu malzemelerin sınıflandırılması bu bölümde daha ayrıntılı olarak ele alınacaktır.

2.1.1.1.1. Mineral yün

Mineral yün mineral elyaf olarak da bilinir ve yüzyıllar boyunca üretilmiştir. Cam yünü, geri dönüştürülmüş camdan imal edilmiş cam elyafı, bazalttan yapılmış taş yünü ve cürufundan imal edilen cüruf yünü gibi birçok farklı yalıtım malzemesi de endüstriyel olarak üretilmektedir. Mineral yün farklı formlarda ticari olarak temin edilebilir ve lifler şeklinde veya gevşek malzeme olarak satın alınabilir. Taş yünü tabanlı yalıtım malzemeleri çelik, beton, duvar çatıları, bölmeler, duvar yalıtımı ve yüksek sıcaklık boru izolasyonunda [2,13,23] kullanılabilir. Mineral yünlerin çoğu, ateşe dayanıklıdır ve herhangi bir katkı maddesi içermez, bu yüzden yüksek sıcaklıklarda, mineral yün mükemmel bir seçim olacaktır. Bu tür bir izolasyon malzemesi çok pahalı olmasına rağmen, yangına daha dirençli olan diğer yalıtım malzemeleriyle birlikte kullanılması gerekir [23]. Mineral yün için tipik termal iletkenlik değeri 30 ila 40 mW/(m.K) arasındadır [24].

Isıl iletkenlik nem ile birlikte göreceli olarak artar ancak doğal elyaf kadar nem çekmezler. Örneğin mineral yün aynı koşullarda selülozdan 4 kat daha az su emer [25, 26] ayrıca mineral yününün termal iletkenliği sıcaklık ve kütle yoğunluğuyla değişir. Mineral yünlü ürünler, şantiyede ısı direnci kaybetmeden delinebilir, kesilebilir ve ayarlanabilir [17, 22].

2.1.1.1.2. Genişletilmiş Polistiren (EPS)

Genellikle (EPS) olarak bilinen Genişletilmiş Polistiren hafif, katı bir formadır ve stiren monomerinin polimerleştirilmesiyle köpük halinde üretilir. EPS genleşme ajanı içeren katı, içerisinde hapsedilmiş hava bulunan hücresel bir plastiktir. EPS, koruyucu ambalaj olarak, büyük oranda dış duvarda veya i duvarda yalıtım elemanı olarak, ayrıca ses yalıtımında da yaygın olarak kullanılmaktadır. İyi bir darbe emici, 10 °C'de 30-40 mW/(m.K) gibi düşük bir ısı iletkenlik, yüksek basma dayanımı, neme direnç ve 40 kg/m³'lk düşük bir yoğunluk EPS'nin üstün özellikleri arasında sayılabilir. EPS'nin ısı iletkenliği, sıcaklığa, neme ve kütlece yoğunluğa bağlı olarak değişir [2, 14]. Genel olarak, köpük duvar yalıtımı için ideal bir şekilde bloklar halinde üretilir ve çeşitli ebatlarda kesilir. EPS'nin köpük olarak yanıcı olması en ciddi dezavantajdır. Bu nedenle Hexabromosiklododekan (HBCD) olarak adlandırılan ateşe dayanıklı bir kimyasal ile kaplanması gerekir. HBCD'nin kullanımı ile ilişkili sağlık ve çevresel riskler nedeniyle son zamanlarda hakkında çok yoğun tartışmalar yaşanmaktadır [23].

2.1.1.1.3 Ekstrüzyon Polistiren (XPS)

Ekstrüde Polistiren (XPS) ve (XEPS) yaygın olarak Ekstrüzyon Genişletilmiş Polistiren olarak bilinir. Ekstrüzyon polistiren düzgün ve iyi düzenlenmiş bir hücre yapısına, düzgün ve sürekli yüzeyine ve tüm alanlardaki tutarlı niteliklere sahip olarak üretilmesi nedeniyle ekstrüzyon işlemi ile oluşturulur ve 10 °C'de 30-40 mW/(m.K) arasında tipik bir ısı iletkenlik değerine sahiptir. Ayrıca XPS, 40 kg/m³ yoğunluğa ve daha iyi nem direncine sahip olmasının yanında diğer yalıtım malzemelerinden daha yüksek bir ısı yalıtım kapasitesine sahiptir. Bununla birlikte, karşılaşılan tek sorun oldukça yanıcıdır ve yanlış kullanıldığında yangına neden olabilir. XPS, inşaat yalıtım malzemeleri, ses sönümleme ve döşeme gibi neredeyse tüm inşaat ve mühendislik alanlarında yoğun bir şekilde kullanılmaktadır [2].

2.1.1.1.4. Mantar

Çok yüksek bir ısı yalıtım kapasitesine sahip olan mantar, çok yüksek akustik dirence de sahiptir. 25 ° C'de 45 mW/(m.K) gibi çok düşük bir ısı iletkenlik ve 1×10⁻⁶ m²/s gibi bir termal difziviteye sahip olan mantarlar, mantar meşesinden yapılır. Çok düşük sıvı geçirgenlik, geniş sıkıştırılabilirlik, kimyasal kararlılık ve dayanıklılığa sahiptir.

Günümüzde mantar ürünleri, mükemmel sızdırmazlık kabiliyetinden ötürü binalar için izolasyon malzemesi, şarap şişelerinin dolgu macunu olarak yaygın bir şekilde kullanılmaktadır [2].

2.1.1.1.5. Poliüretan

Hafif poliüretan, yaygın olarak izosiyanatlarla polioller (birden fazla hidroksil grubu içeren alkoller) arasındaki kimyasal reaksiyon sonucu oluşur ve PUR olarak bilinir [2]. Genleşme işlemi sırasında, kapalı gözenekler HFC, CO₂ veya C₆H₁₂ gibi gazlar ile doldurulur. Yüzey kaplamalar, yapışkanlar, katı plastikler gibi yapı yalıtımında kullanılırlar. PUR'un, mineral yün, polistiren ve selülozik ısı yalıtım malzemesinden daha düşük kabul edilen 20-30 mW/(m.K) arasında tipik bir termal iletkenlik değeri vardır. Poliüretan kullanım amacına göre güvenli bir malzeme sayılmasına rağmen, ciddi sağlık sorunları ve yangın tehlikelerine neden olabileceği de bildirilmektedir. Ayrıca, yangın başladığında Poliüretan, (HCN) olarak bilinen hidrojen siyanürü ve çok zehirli olan izosiyanatları açığa çıkarır. HCN'nin zehirleyiciliği, hücresel solunumu önleyen CN olarak bilinen siyanür anyonundan kaynaklanmaktadır. Buna ilave olarak HCN, azot (N) içeren plastiklerden kaynaklı dumanda da bulunabilir [25].

2.1.1.1.6. Selüloz

Selüloz, geri dönüşüm kağıdı veya odun hamurundan üretilen organik bir bileşiktir. Selüloz ürünleri, ısı yalıtım sağlamak amacıyla binanın iç ve dış duvarlarında, akustik izolasyon sağlamak amacıyla duvar ve tavan boşluklarında kullanılmaktadır. İyi bir ses yalıtımı, yangın önleyici, buhar bariyeri ve iyi bir termal performansa sahiptir. Geleneksel selüloz ürünleri, 24-27,2 kg/m³ arasında bir yoğunluğa ve 10 mA'de 35 mW/(m.K) termal iletkenliğe sahiptir. Ek olarak, selüloz çevreyi korumak amacıyla tamamen yeşil ve geri dönüştürülebilen yalıtım malzemesidir. Her yıl kullanılan kağıtlar selülozik izolasyona dönüştürüldüğünde yaklaşık sekiz milyon ton CO₂ emisyonu sağlanabilmektedir [2].

2.1.2. Son Teknoloji İnşaat Termal Yalıtımı

Geleneksel yalıtım malzemeleri bina izolasyonunda pek çok farklı yönüyle kullanılabilir, ancak çok kalın bina mantolamaları; zemin alanı sınırlaması, taşıma hacmi sınırlaması ve mimari kısıtlamalar ile ekonomik sebeplerden dolayı pek fazla

istenmemektedir [2]. Aşağıda, günümüzün en güncel termal yalıtım malzemeleri hakkında bilgiler verilmiştir [25].

2.1.2.1. Vakum İzolasyonu

Vakum yalıtımı, katı bir bölgeyi çevreleyen gaz geçirmez bir muhafaza içeren ısı yalıtım şeklidir. (VIP) olarak bilinen vakumlu yalıtım panelleri piyasadaki en umut verici yüksek termal performans yalıtım çözümlerinden biri olarak kabul edilmektedir [16]. Geleneksel yalıtımdan daha iyi izolasyon performansı sağlamak için bina izolasyonlarında kullanılmaktadır. Örneğin, VIP'in tipik ısı iletkenliği 1 mbar'da kuru bir boşluk için 3-4 mW/(m.K) arasında değişirken, tipik genleşmiş polistiren (EPS) iletkenliği 35 mW/(m.K)'dir. VIP'in ısı iletkenlik değeri, 10 °C'de panel kenarları boyunca ısının yalıtım alanına girmesi durumunda genel olarak 8 mW/(m.K) değerine kadar çıkabilmektedir. VIP'in ısı iletkenlik değeri geleneksel yalıtım malzemelerinin ısı iletkenlik değerlerine kıyaslandığında bu değer beş ila sekiz kat daha yüksek olduğu görülmektedir [2, 24].

Bununla birlikte, VIP panel malzemeleri, kalite kontrol ve sızdırmazlık tekniklerine yönelik bazı şartlardan ötürü bu geleneksel malzemelerle karşılaştırıldığında kolay üretilmez. Dahası, vakumun yok olmaması adına binaların boyutlarına göre panelleri ayarlamak için VIP ürünleri kesilemez. Bu nedenle, standart olmayan büyüklükteki VIP'ler özel bir tarzda tasarlanacakları için kesinlikle üretim maliyeti artacaktır. VIP çok yüksek ısı yalıtım ve sıkı yalıtım şartlarına ihtiyaç duyulduğunda önemli hale gelmektedir [2].

Vakum yalıtım panelleri, çivi gibi delici malzemelerin darbelerine karşı savunmasızdır [26]. Ayrıca mekanik etki, hava ve nemin difüzyonuna karşı savunmasızlıktan dolayı yerinde kesilemezler. Vakum Yalıtım Malzemesi (VIM) VIP'e benzer, ancak koruyucu kılıf yerine kapalı gözenekli bir yapıya sahiptir. Tam hizmet ömrü boyunca vakumun sağlanması önemlidir [27].

2.1.2.2. Gaz Dolu Paneller

(GFP) 'ler olarak bilinen gaz dolu paneller, vakum yalıtımlı paneller (VIP) ile pek çok açıdan benzerdir. Bununla beraber GFP'ler VIP'deki vakum yerine kendisine termal

direnç, yanma koruması gibi özellikler sağlayacak argon, ksenon veya kripton gibi gazlarla doludurlar. GFP prototiplerin ısı iletkenlikleri deneysel olarak test edilmiş ve yaklaşık 40 mW/(mK) olduğu ölçülmüştür. Bunula beraber teorik olarak hesaplanan ısı iletkenlik değerinin çok daha yüksek olduğu bildirilmektedir. 25 ° C'de termal iletkenlik değeri 26 mW/(mK) olarak tespit edilmiş ancak ksenon kullanıldığında bu değerin 5.6 mW/(mK)'a kadar düşebileceği görülmüştür. Teorik olarak, hava, argon ve kripton içeren GFP'lerin iletkenliği sırasıyla 35, 21 ve 10 mW/(mK) olarak tahmin edilmiştir. Ancak hava ve argon ile yapılan deneylerde bu değerlerin 46 veya 40'a ulaşmadığını göstermiştir. Bundan dolayı, GFP'ler ev buzdolabı/dondurucu, bina, otomotiv ve nakliye için kullanılan geleneksel izolasyon malzemelerinden daha kötü bir performansa sahiptir. Ancak yine de enerji verimlilikleri artırılabilir ve ısı kayıpları azaltılabilir. VIP'lere kıyasla, GFP'ler yaklaşık 4 kat veya daha yüksek bir termal iletkenliğe sahiptir. Bu nedenle, VIP yalıtım panelleri ısı yalıtım için daha iyi bir seçim gibi gözükmemektedir [24,27].

Buna ek olarak, ısı yalıtımı için GFP'leri istenmeyen yapan başka nedenler de vardır. Bu nedenlerden birisi de önemli bir tasarım parametresi olan ve bölme plakalarında kullanılan boşlukların sayısıdır. Bu bölmeler tipik olarak havanın alınmasına izin veren ve daha sonra arzulanan gaz sıkıştırmasına olanak sağlayan ve panellerin kenarlarına açılan boşluklara sahiplerdir. Bölme levhası, panelin istenen şeklini korumasına yardımcı olur ve bölme sayılarının artırılması gaz hacminin artırılması adına önemlidir ve bu şekilde panellerin termal performansı artırılabilir. Bununla beraber termal performansın iyileştirilmesi amacıyla daha fazla katman eklenmesinin termal performansı çok fazla artırmayıp maliyeti daha da artıracığına dair yorumlar da bulunmaktadır. Genel olarak bakıldığında, GFP'ler için belirli bir gaz dolumu ve kalınlığı ile izolasyon uygulamasında bulunan sıcaklık farkı için bir panele eklenebilecek optimum sayıda panel katmanı için bazı çalışmalar da vardır [29].

2.1.2.3. Aerojel

Aerojeller, binalarda ısı yalıtım uygulamaları için son olarak ortaya konulan, ısı yalıtım çözümü için en umut verici, yüksek performanslı teknolojik bir ısı yalıtım malzemesidir [25]. Geleneksel ısı yalıtım malzemeleri ile karşılaştırıldığında çarpıcı özelliklere sahip oldukları görülmektedir. Ticari ürünler için termal iletkenlik değeri 13 mW/(m.K)'e

kadar düşmektedir [19]. Buna ek olarak, aerojeller % 99 hava içeren çok gözenekli nano yapıya sahip dünyanın en hafif katı malzemeleridir.

Aerogeller çok düşük yoğunluklu (3 kg/m^3) ve son derece düşük (14 mW/(m.K)) termal iletkenliğe sahip, yüksek spesifik yüzey alanı olan sentetik, gözenekli malzemelerdir [2]. Bu ilginç özellikler, aerojelleri optik, elektrik ve enerji kılme alanındaki işlevsel uygulamalar (termik ve akustik izolatörler gibi), ticari ve endüstriyel uygulamalar için ideal bir malzeme haline getirmektedir [30]. Silika aerogellerin, yapı yalıtım malzemeleri piyasasında en büyük potansiyele sahip olduğu da ayrıca görülmektedir.

Aerogeller, Kistler tarafından seksen yıl önce keşfedilmiş ve görünümünden ötürü sıklıkla ‘donmuş duman’ olarak tanımlanan nanometre ölçekli gözenekli kurutulmuş bir jeldir. Gözenek boyutları tipik olarak 5-100 nm aralığında değişmektedir. Aerogeller, çok sayıda hava ile dolu gözenekleri olan SiO_2 zincirlerinin çapraz bağlanmasıyla oluşan malzemelerdir. Bu özelliğinden dolayı olağanüstü fiziksel özelliklere sahiptirler. Katı maddeler arasında en düşük ısı iletkenliğe sahip malzemelerdir. Hem silika kaynağına hem de hazırlama işlemine bağlı olarak optik ve akustik özellikleri değişmektedir [10].

Genel olarak, aerogellerin yapısı, birbirine bağlı SiO_2 parçacıklarının üç boyutlu ağırları şeklindedir. Silindirik ve dallanmış, nano yapılı, içi hava ile dolu süngerimsi bir yapıdadır. Aerogeller, yüksek rijitlik/yoğunluk oranı olan oldukça kırılgan malzemelerdir. Düşük tokluğundan ötürü mekanik testlerinin yapılmasında büyük zorluklar yaşanmaktadır. Aerogellerin mekanik özelliklerinin karakterizasyonu, özellikle uzay uygulamaları, oksijen ve nem sensörleri ve elektrik izolasyonu, aerosol partikül koleksiyoncuları, uzay aynası koruyucuları, katalizör destekleri ve pil elektrotları gibi mühendislik uygulamalarını tasarlamak ve eşsiz fiziksel özelliklerini kullanmak için çok gereklidir [30].

Aerogel üretimi oldukça karmaşık ve pahalıdır. Üç temel aşaması vardır: Jel hazırlama, hücre yapısının güçlendirilip sertleştirildiği yaşlandırma ve kurutma. Aerogeller, farklı boyutlarda granüller halinde ve son derece saydam olan monolitik hava jelati şeklinde üretilebilirler [24].

Sentez

Silika aerogeller hem fiziksel yöntemlerle (mekanik öğütme yöntemi) hem de kimyasal yöntemlerle (sol-jel yöntemi, organometalik oksit yönteminin pirolizi ve çözücü çöktürme yöntemi vb.) sentezlenebilirler [31]. Bunlardan sol-jel işleme, silika aerogellerin, özellikle üniform, küçük partikül ebatlı ve değişik morfolojilere sahip metal oksitlerin sentezi için çok popüler ve güvenilir bir yöntemdir. Bu yöntem sıvı bir "sol" dan katı bir "jel" aşamasına geçilmesi işlemini içerir. Silika aerogellerin sentezi, sol-jel polimerizasyonu, yaşlandırma ve kurutma olmak üzere üç aşamalıdır [24,31]. Basitlik, yüksek kaliteli malzeme üretilebilirliği, ekonomik olması sol-jel yönteminin önemli avantajlarından birkaçı olarak sayılabilir [32-33].

Bununla birlikte, aerogellerin makul maliyetle geniş çapta üretilmesi ve kurutulması hala zordur. Silika aerogel üretiminde, atmosferik basınçta kurutma, dondurarak kurutma, süper-kritik kurutma, akışkan yataklı kurutma ve ortam basıncında kurutma gibi çeşitli kurutma yöntemleri mevcuttur [34].

Yüksek basınca bağlı basınçlı kurutma metodu pahalı bir yöntemdir. Bu nedenle bu problem bu malzemelerin gelecekteki gelişimi için önemli bir sorun olarak çözüm beklemektedir [35].

Son zamanlarda aerogellerin fiyatları (örneğin silika aerogel tozları için yaklaşık 5000 Euro/m³)'ya kadar düşürülmüştür. Bununla birlikte kimyasal süreçlerdeki sabit ilerleme ve aerogel uygulamalarının gelişimi özellikle de çok büyük ölçekte çalıştırılan optimize edilmiş proseslerle birlikte maliyetlerde önemli düşüşlerin yaşanmasına da neden olmaktadır [36].

Aerogelin kimyasal ve fiziksel özellikleri

Aerogeller, kimyasal yapısına, sentez yöntemine ve devamında kurutma prosesine bağlı olarak çok değişken özelliklere sahiptir. Silika aerogellerin sayısız uygulamalarının yanında düşük termal iletkenliği sayesinde eşsiz bir ısı yalıtımı malzemesi olarak kabul edilmektedir [37, 38]. Aerogelin iyi bilinen fiziksel özelliklerinden biri de yoğunluğudur ve bu değer 0.0011 ile 0.5 g/cm³ arasında değişmektedir. Tipik yoğunluk ortalaması 0.020 g/cm³ [39] değeri ile inanılmaz hafif bir malzemedir ve bu değer hava yoğunluğunun üç katıdır. Belki de % 95'in üzerinde gözenekliliğe sahip olan en yüksek

gözenekliliğe sahip malzemedir. Dahası, geniş bir gözenek boyutu dağılımı ve yüksek iç yüzey alanı vardır [40].

Aerogeller son derece düşük ısı iletkenliğine, düşük ses iletim hızına [39] ve yüksek ses emilimine [41] sahip, toksik olmayan, yanmayan ve neredeyse şeffaf; mavi ışık yayması gibi [40] ilginç fiziksel özelliklere sahip bir malzemedir. Bunların yanında kırılma aerogellerin en önemli dezavantajlarından biridir. Katı biçimde, silika aerogeller temel olarak cam [38] şeklindedir. Bu nedenle, sıkıştırma altında daha dayanıklı olan toz haline kolayca gelebilirler [40]. Aerogellerin termal direnci, en önemli diğer bir özelliğidir. Aerogellerin erime noktası 500 °C'ye ulaşırken, 1200 °C'ye kadar olan sıcaklıklara da dayanabilirler.

Aerogellerin kimyasal yapısı, adsorban özelliklerini kuvvetle etkiler. Aerogeller, kullanılan kurutma işlemine bağlı olarak hidrofilik veya hidrofobik hale getirilebilirler. Alkol ile kurutmada (yüksek sıcaklık ve basınç nedeniyle nadiren görülür), gözenek yüzeyleri alkoks grupları (bir polar olmayan organik mer'e bağlı bir oksijen atomu) ile kaplanır. Bu hidrofob aerogeller, suya tamamen batmaz ve süresiz olarak yüzerler.

Karbon dioksit ile kurutmada ise, gözenek yüzeyleri hidroksil (OH) gruplarla kaplanır. Bu hidrofilik aerogellerden bir tanesi nemli bir ortama yerleştirildiğinde, numuneyi ısıtmakla suyu kolayca uçurulabilir. Bununla birlikte, bu aerogeller suyun adsorbe edilmesi için kullanılamazlar. Kütlesinin % 20'sine kadar gözeneklerinde su adsorbe olur. Küçük gözeneklere su girdikten sonra suyun yüksek yüzey gerilimi onları parçalara ayırır. Aerogel kaybolmuş gibi gözüktür fakat gerçekte jel hacminin % 5'inden az olan ince bir toz haline dönüşmüştür [38].

Aerogel türleri

Günümüzde aerogeller farklı maddelerden hazırlanabilir, ancak en yaygın üç aerogel türü, silika, karbon ve metal oksitlerdir. Bunun yanında deneysel çalışmalarda ve pratik uygulamalarda sıklıkla kullanılan aerogel silisli olanıdır [40].

Silika, hidrofilik (su emici) ve hidrofobiktir (su itici) [41]. Silika aerogel, en yaygın aerogel türüdür ve en yaygın olarak çalışılmıştır [42]. Ayrıca silika jelden türetilen aerogel birçok uygulamada başarıyla kullanılmıştır [43]. Dünyanın en düşük yoğunluklu katısı 1.9 mg/cm³'lük yoğunluk değeri ile silis nano köpüktür. Havanın yoğunluğu 1.2

mg/cm³'tür. Son derece düşük ısı iletkenliği (0,03 W•m/(m²•K), 0,004 W•m /m²•K) ile olağanüstü yalıtım özelliklerine sahiptir [42].

Aynı zamanda, üstün mekanik özellikler için, polimer üzerine ağırlıkça % 0.05 ila % 30 arasında bir miktarda, tercihen sol-jel prosesine polimer katılır. [44]. Birçok uygulamaların pratikliği, ticari miktarlarda polimer aerogelinin maliyetine bağlı olacaktır. Her halükarda, bu tür ürünler başka bir tasarım esnekliği boyutuna sahiptir. [45]

Metal kalsiyojenürler, diğer aerogeller gibi metal kalsiyojenür aerogelleri, sünger benzeri, açık hücreli, nano-gözenekli bir çerçeve oluşturan birbirine bağlı nano parçacıklardan oluşan bir ağımsı malzemelerdir. Ancak bu aerogelleri yapmak için kullanılan özenle tasarlanmış nanoparçacıklar onları çok özel kılar. Metal kalsiyojenür aerogeller; aeroLKporosity, optik yarı saydamlık ve fotoluminesans gibi yeni, heyecan verici malzemelerdirdir. Fotovoltaik ve hidrojen ekstraksiyonu gibi kimyasal sensörler ile enerji alanındaki uygulamalar için umut vaat etmektedir [46].

Silika aerogelleri

Silika aerogeller muhtemelen aerogel sınıfı içinde en çok incelenen bir malzemedir ve birçok uygulama da kullanılmıştır [27,47]. Aerogeller, nano boyutlu, gözenekleri gaz ile dolu bir silika jelden oluşur. Çok hafif, çok kırılğan ve mükemmel bir izolasyon malzemesidir. Bu gözenekler yaklaşık 40 nm'lik bir gözenek boyutuna sahiptir ve bu kadar küçük gözenek içinde gaz molekülleri birbirlerine doğru değil de duvarlara çarpmaya başlarlar ve bu yüzden iletkenlik dramatik olarak azalır. En gelişmiş jellerin iletkenliği 4 mW/(m.K) kadar düşük olabilir ancak bilinenden daha iyi dayanıklılık gösterirler. Aerogelletin iletkenliği üzerine çok az etkisi olan seramik lifler yapı içine eklenerek daha sağlam hale getirilebilir [20].

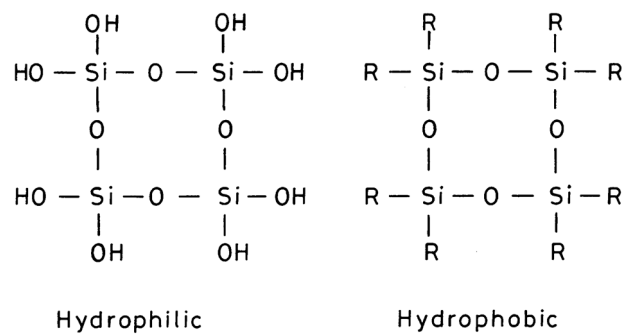
Hidrofilik ve Hidrofobik Yüzeyler

Silika aerogeller, SCD işlemi sırasında oluşan farklı yüzey gruplarına , sentez sırasındaki koşullara bağlı olarak hidrofilik veya hidrofobik olabilirler. Aerogel yapısında bulunan Si-OH silanol kutup grupları suyun adsorpsiyonunu teşvik edebildikleri için hidrofilik ana kaynaktır. Genellikle, alkil orto silikatların modifiye edilmemiş hidrolizi ve yoğunlaştırılmasıyla sentezlenen ve yüksek sıcaklıkta SCD ile kurutulan aerogeller

hidrofobiktir ve CO₂ ile kurutulmuş olanlar hidrofiliktir. LTSCD, yüzeyde hidroksil gruplarına (-OH) neden olup hidrofilik aerogel oluşturur. HTSCD, yüzey hidroksil gruplarının çözücü ile reaksiyona girerek metoksi grupları (-OCH₃) X oluşturmakta ve böylece hidrofobik aerogeller oluşmaktadır [35].

Hidrofobik ve hidrofilik terimi, Yunanca "su" anlamına gelen ‘hydro’, ‘nefret’ anlamına gelen ‘phobos’ ile ‘sevecen’ anlamına gelen ‘philic’ kelimelerinin birleşmesinden oluşmaktadır. Bu terimler, su ile yüzeyler arasındaki görünür itme ve çekmeyi tanımlar. Şekil 1'de gösterildiği gibi hidrofiliklik veya hidrofobiklik, temas açısının değerinden daha küçük veya daha büyüktür. Katı maddenin yüzey enerjisi düşük olduğunda suyun yüzeyinden püskürür ve bunun tersi durumda da suyu yüzeye sıkı bir şekilde tutunur [32, 33].

Aerogellerin hava atmosferinde 325 °C, azot atmosferi altında 450 °C'ye kadar hidrofobikliğini muhafaza ettiği ve bu sıcaklığın üstünde kaybolduğu bilinmektedir. Bunun nedeni, bu sıcaklıkta Si-CH₃ gruplarının, suyun emilmesinden sorumlu olan Si-OH içinde oksitlenmesidir [35]. Yüzey hidrolizi nedeniyle modifiye edilmemiş aerogeller az hidrofiliktir. Sonuç olarak, ortam havasına, özellikle nemli ortamlara maruz bırakıldıklarında, zamanla bozulabilirler. Yapısal istikrarsızlık, hidrofilik silika aerogellerin kullanımını sınırlar; bu da hidrofobik silika aerogel sentezinde önemli araştırmaların yapılmasına sebebiyet vermektedir [19].



Şekil 2.1. Hidrofilik ve hidrofobik silika aerogelleri gösteren şematik diyagram [33]

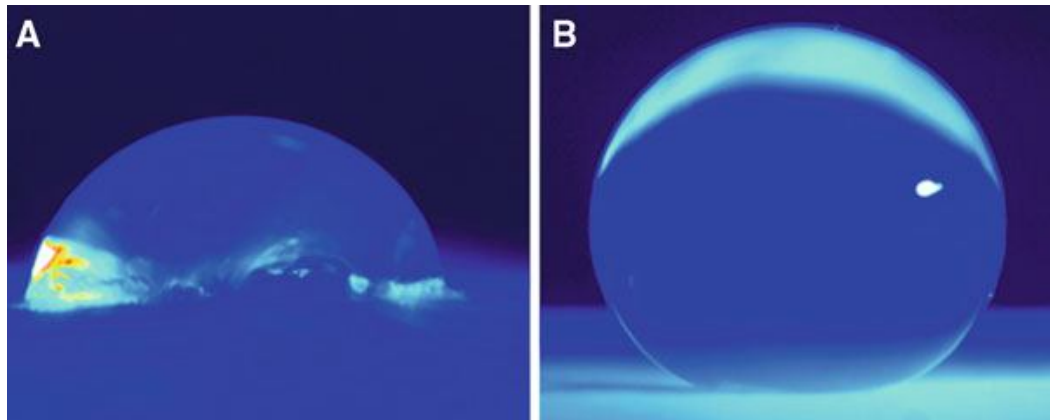
Aerogeli Hidrofobik Yapan Nedir?

Hidrofilik bir yüzey hidrofilik bir yüzeyi kolayca ıslatacaktır (bkz. Şekil 2.2A). Suyu çeken hidrofilik bir yüzeydir, ancak hidrofobik bir yüzey (Şekil 2.2B) üzerinde yüzey

davranışı boncuk olacak şekilde geniş bir yelpazededir; çoğu yüzey ne tamamen hidrofilik, ne de tamamen hidrofobiktir yani bu malzemelere melez malzeme de denilebilir. Silika sol-jel matrisleri, bireysel alkoksit moleküllerinin bir dizi yoğunlaşma reaksiyonu yoluyla oluşur. Elde edilen materyalin çoğunluğu silika (SiO_2)'dir. Bununla birlikte, bazı alkoksit yan zincirleri reaksiyona girmeden kalır (Si-OR) ve bazıları aşağıdaki şekilde gösterildiği gibi polimerizasyon reaksiyonunun sonunda kısmen reaksiyona girer (Si-OH) (Şekil 2.2a). Silika öncülleri, yoğunlaşma (Si-R) yoluyla tepkimeye girmeyen gruplar içeriyorsa, bu gruplar da aerogel matrisinde bulunacaktır. Bu gruplar (Si-OR , Si-OH , Si-R) aerogelinin yüzeyinde bulunursa, çevreyle olan suyla temasa girebilirler. Diğer bir deyişle, aerogeller diğer birçok malzemeye kıyasla olağanüstü yüksek yüzey alanlarına sahip olduğundan, çevredeki suyla rahatlıkla etkileşime girebilir.

Nemli ortamlarda silika aerogellerin su alımının belirginleşmesi, aerogel malzemesinin zamanla parçalanmasına neden olmaktadır. Bu durum termal izolasyon için aerogellerin kullanımını zorlaştırmaktadır.

Bir silis aerogelinin yüzeyinde önemli miktarda polar olmayan yan grupların (Si-R) bulunması, onu hidrofobik hale getirir. Su molekülleri hidrokarbonlar ve florohidrokarbonlar ile zayıf molekül içi kuvvetlerden başka su molekülleri ile çok güçlü molekül içi kuvvetlerden oluşur. Buna ek olarak, birçok araştırmacı, suyun üstünde yüzen hidrofob aerogelleri aylarca gözlemlemiştir. Yüzey modifikasyonunu kullanarak hidrofil hidroksil gruplarının yerini almak isteyen, hidrofobik silika aerogelleri yapmak için kullanılan üç temel teknik vardır. Bunlar ya işlemiden sonra buhar fazını ya da türetme yöntemlerini içerir.



Şekil 2.2. (a) Hidrofilik yüzey b) Hidrofobik yüzey

Silika aerojellerin özellikleri

Silika aerojellerin fiziksel, mekanik ve termal özellikleri, pratik metodoloji ve kullanılan maddeler (katalizör, çözücü ve silika prekürsörleri) gibi üretim sürecine oldukça bağlıdır. Bu nedenle, fiziksel, mekanik ve termal özellikler, özellikle dikkate alınan forma bağlı olarak geniş bir aralıkta farklılık gösterebilir [9].

1- Silika Aerojellerinin Fiziksel Özellikleri

Gözenek yapısı

Uluslararası Temel ve Uygulamalı Kimya Birliği, gözeneklerin çapları 2 nm'den küçük gözenekleri "mikro gözenekler" olarak adlandırıldığı bir sınıflandırmayı önerdi; çapları 2 ila 50 nm arasında olanlar ise "mezo gözenekler" olarak ve 50 nm'den büyük olanlar "makro gözenekler" olarak adlandırılmıştır. Silika aerojeller üç boyutlu gözeneklere sahiptir. Bununla birlikte, gözeneklerin çoğu, nispeten az sayıda mikro gözenek ile mezo gözenek aralığına düşer [35, 49].

Aerogel gözenek ağının önemli bir yönü "açık" doğası ve birbirine bağlı olmasıdır. Çeşitli malzemelerdeki gözenekler gözenek duvarlarının katı olup olmadıklarına veya gözenekli olmalarına (veya en azından "delikli") bağlı olarak açık veya kapalı şeklindedir. Açık havada gözenekli bir malzemenin makroskopik ortak bir örneği süngerdir; üzerinde küçük kapalı baloncukları olan ambalajlar kapalı gözenekli malzemeye bir örnektir. Kapalı gözenekli bir malzemede, gazlar veya sıvılar gözenek duvarlarını kırmadan gözenek içine giremez [49]. Aerojeller petek benzeri açık gözenek yapılarına da sahip olabilirler [50].

Tipik bir silis aerogelinin yaklaşık 0.017 W/(m.K) gibi bir termal iletkenliği vardır. Bu enerji transferinin büyük bir kısmı aerogelde bulunan gazlardan kaynaklanmaktadır. Bu, en kolay kontrol edilebilen taşıma modudur. Ortalama boşluk yolunun ortalama gözenek çapına göre uzatılması, üç şekilde başarılabilir; 1) Aerojelin gözenek çapını azaltarak, 2) Aerojeli havadan daha düşük bir moleküler kütlesi (ve daha uzun bir ortalama serbest yol) olan bir gaz ile doldurarak 3) Aerojel içindeki gaz basıncını düşürerek. İnce gözenek yapısının bir sonucu olarak, bir aerogelin ortalama gözenek çapı, standart sıcaklıklarda ve basınçlarda azot ve oksijen moleküllerinin ortalama serbest yoluyla büyüklük bakımından benzerdir. Belli bir gazın ortalama serbest yolu

bir aerogelin gözenek çapından daha uzunsa, gaz molekülleri gözenek duvarlarıyla birbirlerine oranla daha sık çarpışırlar. Bu durumda, gazın ısı enerjisi, hava jelinin katı kısmına (düşük özgün iletkenlik) aktarılır [51].

2- Yoğunluk

Silika aerogel, bilinen yoğunluğu havanın yoğunluğundan daha hafiftir ve en düşük yoğunluklu katı madde olarak bilinir [51]. Silika aerogellerin katı yapısıyla termal taşınmayı azaltmak için yapılabilecek çok az şey vardır. Daha düşük yoğunluklu aerogeller, mevcut katı miktarını azaltarak hazırlanabilir (0.003 g/cm^3 kadar düşük), ancak bu durum mekanik olarak zayıf aerogellerin oluşumuna yol açar [52].

3- Optik özellikler

"silika aerogelleri şeffaftır" şeklindeki bir tanımlama silika aerogellerin optik özelliklerini en iyi ifade eden bir tanımlamadır [53]. Bu tanım gözenekli bir malzeme için alışılmadık bir özelliktir. Bu nadir bulunan özelliğin nedeni, aerogel mikroyapısının ışığın dalga boyuna kıyasla onun küçük bir skalasına sahip olmasındandır. Şeffaflık, görünürde az miktarda saçılma olması, saçılmış ışığın nispeten izotropik bir açısal dağılımının olması ve çok az saçılma sergilemesi nedeniyle oluşur. Bu davranış, Rayleigh saçılım teorisi ile açıklanabilir.

Rayleigh saçılımı, cisme dikey pozisyonda kutuplanmış olarak giren ışığın izotropik dağılımı, yatay olarak polarize edilmiş ışık için saçılma açısı $\cos \Theta$ olarak değişen yoğunluk ve dağınık ışığın dalga boyuna bağımlılığı ile karakterize edilir [35].

4- Isıl iletkenliği

Silika aerogellerin başlıca özelliklerinden biri de, çok düşük termal iletkenliğe sahip olmasıdır. Bu yüzden bilinen en iyi ısı yalıtım malzemesi olarak kabul edilir. Silika aerogeller, gözenek sayısı ve nanometre gözenek boyutuna göre en düşük ısı iletkenliğine sahip yalıtkan malzemelerdir. Kistler, bir aerogelin ısı iletkenliğinin havadaki ortam basıncında 0.02 W/(m.K) ve boşaltıldığında ise 0.01 W/(m.K) düzeyinde olduğunu göstermiştir. Silika aerogelleri, katı silikanın çok küçük bir parçasına ($\sim\% 1-10$) sahiptir, bu nedenle daha düşük bir termal iletkenlik gösterirler..

Silika aerogel gözenekleri açıktır ve gazların içlerinden geçmesine izin verirler. Bu sayede gazlar termal enerjiyi aerogel vasıtasıyla da taşımaktadırlar.

Silika aerogeller üzerinden termal iletkenliğin bir başka yolu infrared radyasyondur. Bu transfer yolunu etkileyen önemli parametrelerden biri de geometrik kalınlığın ve aerogelin optik sönüm katsayısının bir sonucu olan verilen numunenin optik kalınlığıdır. Düşük sıcaklıklarda, termal iletkenliğin radyasyon bileşeni düşüktür, ancak daha yüksek sıcaklıklarda, radyasyon ile iletkenlik baskın bir hale gelir.

Bu üç yöntemin toplamından kaynaklanan toplam ısı iletkenliğin hesaplanmasında bir takım zorluklar ile karşılaşılabilir. Aerogellerde ısı iletkenliğin ölçülebilmesi için bir Vakum Yalıtım İletkenliği Test Cihazı'na (VICTOR) ihtiyaç vardır. Bazı araştırmacılar sıcak tel yöntemini kullanmışlardır [35]. Ayrıca aerogeller 250 °C'de ayrışmaya başlarlar. Ağırlıklarının % 5'ini 265 °C'de, % 10'unu 290 °C'de kaybederler ve yaklaşık 380 °C'de tamamen ayrışırlar.

Mekanik özellikler

Silika aerogelin mekanik özellikleri ile ilgili çok az şey bilinmektedir [54], ancak çalışılan aerogellerin tümü için mekanik davranış, kırılma mükemmel elastik davranış sergileyen bir malzemenin karakteristiğidir [55], kırılma nedeniyle zayıf mekanik özelliklere sahiptir [54]. Bu kırılma, düşük yoğunlukların yanı sıra, düzensiz gözenek yapısı, zayıf şekilde tanımlanmış partiküller arası bağlar ve yüksek yoğunluklara neden olan yoğun yığılmalara ve düzgün organize bir malzemeye sahip bozuk ağ morfolojisine atfedilebilir. Aerogellerin sentezinde uygulanan sol-jel metodu, düzensiz bir silika ağı oluşmasına neden olur.

Aslında, düşük mekanik mukavemet, silika aerogellerin farklı potansiyel yük taşıma uygulamalarında ciddi kısıtlamalar getirir. Literatürde silika aerogellerin mekanik özelliklerini güçlendirmek için çeşitli teknikler bildirilmiştir. [56]. Şimdiye kadar yapılan çalışmalarda, aerogellerin diğer benzersiz özelliklerden ödün vermeden mekanik özellikleri geliştirilmeye çalışılmıştır [56,57]. Silika aerogellerin güçlendirilmesi için geliştirilen yöntemler, esas itibarı ile 1) Ostwald parçacık olgunlaştırma ve büyütme, 2) ikincil takviye maddesinin eklenmesi veya 3) silika ağı ile moleküler öncüllerin yoğunlaştırılması yoluyla oluşturulmuş silika ağının takviye

edilmesi şeklinde özetlenebilir [58]. Bu tekniklerin amacı, kolayca deforme olabilen ve bükülme ve sıkışma esnasında şok enerjisini emme yeteneği gösterebilen düşük yoğunluklu aerojelleri geliştirmektir.

Son olarak, mekanik karakterizasyon için çeşitli test yöntemleri bildirilmiştir. Young modülü ve tokluk genellikle ultrasonik ses hızı, direkt boyuna sıkıştırma yöntemi ve üç nokta bükme-kiriş tekniği gibi yöntemler ile ölçülmektedir. Literatürde, Vickers ve Knoop girinti tekniklerinin kullanıldığı aerojellerin mekanik özelliklerini açıklamaya dönük yayınlanmış çalışmalar mevcuttur ancak bu kırılgan malzemeler üzerine çok küçük yükler uygulayarak mikro girinti deneylerine ilişkin henüz bir çalışma yayınlanmamıştır [59].

2.1.2.4. Faz Değiştiren Malzemeler (PCM)

Faz değiştiren malzemeler (PCM) belirli bir sıcaklık aralığında erime ve donma işlemi sırasında termal enerjiyi depolayabilme ve serbest bırakabilme yeteneğe sahip malzemelerdir. PCM, ısıtma ve soğutma gereksinimini azaltarak binalar için iyi bir ısı yalıtımı sağlayabilmektedirler. Sıcaklık yükseldiğinde PCM ısıyı endotermik bir işlemle emer ve faz katıdan sıvıya döner.

PCM'ler oda sıcaklığında katıdır, ancak sıcaklık yükseldikten sonra büyük miktarda enerjiyi emer, böylece binaları soğuturlar. PCM'in ısı yalıtım malzemesi olarak kullanılabilmesi için sahip olmaları gereken bazı özellikler şöyle sıralanabilir; erime sıcaklığı 25 °C'nin üzerinde olmalı, düşük maliyetli olmalı, kimyasal olarak kararlı olmalı, zehirleyici olmamalı, korozyona dayanıklı olmalı, hidroscopik olmamalı, iyi nükleasyon hızına sahip olmalıdırlar [3, 19].

2.1.2.5. Nano İzolasyon Malzemeleri

Bozulmamış durumda toplam ısı iletkenliği 4 mW/(m.K)'den daha düşük olan, enerji verimli binalarda kullanılan yalıtım amaçlı kullanılan, kapalı veya açık küçük nano gözenekli homojen bir yapıya sahip malzemelere Nano İzolasyon Malzemesi (NIM) adı verilmektedir. Silisyum nanoskopik küreler olarak adlandırılan NIM, havayı son derece küçük gözeneklerle sınırlama yeteneğine sahiptir ve ısı yalıtım alanında performansları oldukça yüksektir. Bu nedenle, bir NIM, gaz moleküllerinin ortalama serbest yolunun gözenekten büyük olduğu Knudsen etkisi [61, 62] denilen yöntem kullanılarak

gözeneklere vakum uygulamadan düşük termal iletkenlik elde edilebilir. Sonuç olarak, gözeneklerin içinde bulunan gaz molekülleri gözenek duvarına çarpacak ve başka bir gaz molekülü ile karşılaşmayacaktır. Nanoteknoloji inşaat sektöründe ve mimaride, örneğin çok dayanıklı, uzun ömürlü ve aynı zamanda son derece hafif inşaat malzemelerinin geliştirilmesine dönük ilgi çekici yeni fırsatlar sunmaktadır. Yapı sektöründe nanoteknolojinin yoğunlaştığı dört alan vardır. Bunlar; (1) çimentoya bağlı yapı malzemelerinin geliştirilmesi (2) gürültü azaltma ve ısı yalıtımı özelliklerinin iyileştirilmesi (3) çeşitli malzemelerin işlevselliğinin iyileştirilmesi için yüzey kaplamalarının geliştirilmesi (4) yanmazlık özelliklerinin iyileştirilmesi [62, 63].

2.2. Neden Süper Yalıtım?

1970'lerde meydana gelen ilk küresel petrol krizinden bu yana, kimya sanayi ve enerji taşıyıcılar için ana kaynak olan fosil yakıtların azlığı, modern toplumun ucuz enerji ve kaynaklara bağımlılığın önemini ortaya çıkardı. Petrol krizinin kısa ve uzun vadeli etkileri için, Birleşmiş Milletler kısa vadede petrol fiyatlarını düşürmek için yeni bir strateji önermiş ve uzun vadede alternatif enerji kaynaklarına yönelmesi gerektiğinin altını çizmiştir. Alternatif enerji kaynaklarının kullanımı zorunluluğu, dünya üzerindeki fosil yakıtlara olan bağımlılığımızın azaltılması gerekliliği ve dünya atmosferindeki karbondioksit (CO_2) konsantrasyonunun azaltılmasına dönük zorlayıcı yaptırımlar hükümetleri ve üst düzey yetkilileri temiz enerji kaynakları bulma noktasında sürekli olarak araştırmaya sevk etmektedir.

Bunlarla birlikte, dünyanın birçok bölgesinde (merkezi ve kuzey Avrupa hariç hemen hemen her yerde), gerçek ısı yalıtımı standartları arzulanan bir şey olmaya devam etmektedir. Dolayısıyla, CO_2 emisyonunu azaltmak için dünya genelinde iyi bir ısı yalıtımına sahip olmayan binaların kısa bir zaman içerisinde yalıtımlarının yapılmasının sağlanması gerekmektedir [21,64].

2.3. Beton Bloklar

Yoğunluk, hafiflik ve hapsolmuş hava içermeleri bu blokların üç temel özelliğidir. Dayanıklılık ve mukavemet özelliklerine sahip yoğun beton bloklar genellikle yük taşıyıcı duvarlar için seçilir. Dolgu için genellikle tercih edilen hafif bloklardır. Bu bloklar zaman ve maliyette daha fazla tasarruf sağlar, ancak mukemetleri olduça

düşüktür [65]. Bugün, beton bloklarla ilgili çok fazla ürün vardır. Kavite duvarları monolitik duvar, bölme duvar, ayırma duvarları bunlardan bazılarıdır. Beton blokların birçok avantajları vardır, ısı ve ses yalıtımı bunlardan sadece ikisidir.

Günümüzde yapılan binalarda tuğla yerine beton blokların kullanılması hem daha hızlı üretim sağlayacak hem de kullanılan harç miktarını yarı yarıya azaltacaktır. Beton bloklar kullanıldığında harç yalnızca blokların kenarları boyunca kullanılacak ve bu sayede harç miktarında %50'den daha fazla düşüş yaşanacaktır. Bunun yanında, harçlı bloklar için gerekli olan çimento miktarının, tuğla duvarda kullanılan harcinkinden çok daha fazla olduğu belirtilmektedir.

Beton bloklar çoğunlukla, 10 mm'lik maksimum boyutlu agregalarla ve/veya sırasıyla 1: 7, 1: 8 veya 1: 9 çimento kum karışımı oranlarında hazırlanır. Bu karışımlar, eğer iyi bir şekilde ayarlanabilirse betonarme bloklara bir katlı bina için gerekli olan değer in üstünde iyi bir basma kuvveti sağlanabilir. Blok formları katı, hücreli veya oyuk olabilir. Hücreli blokların boşluklarının bir tarafı kapalıdır ve boşluklar beton bloklara ısı yalıtımı özelliği kazandırmaktadırlar [66,67].

2.4. Beton Blok İzolasyonu

Konutlardaki beton bloklarda iç içe birçok katmanlar bulunabilir. Çekirdekleri, R-değerinin ortalamasını yükselten yalıtım (yapısal çelik takviye ve beton dolgu gerektiren hücreler hariç) ile doludur. Beton blok yalıtımı, tipik olarak, yenilenen konutlar veya büyük yenilenen evler için kurulur. Tesisat, duvarcılık becerileri gerektirdiğinden, sertifikalı çimento çalışanlarının bunu gerçekleştirmesi en iyisidir.

Beton duvar blokları, polistiren boncuklar, vermikülit veya perlit peletler gibi dökülebilen yalıtım malzemelerinin çoğundan daha iyi çalışabilmesi amacıyla blok gövdelerini yüksek basınçlı köpük ile doldurarak ana duvarda kullanılır. Blok boşluklarını özel blok tasarımlarıyla doldurmak bir blok duvarın termal özelliklerini iyileştirebilse de esasen hem dış hem de iç taraflarındaki blokların yüzeyine monte edilen izolasyona kıyasla ısı hareketini çok fazla azaltmayacaktır. Saha çalışmaları ve bilgisayar simülasyonları her türlü malzemenin içerdiği boşlukların doldurulmasının daha az yakıt tasarrufu sağlayacağını göstermiştir [13,68].

2.4.1. Beton blok izolasyon çeşitleri

Beton blok izolasyonları, R-değerlerinde bir artış sağlayabilir. Bu nedenle, üreticinin geleneksel betonun yalıtım değerinin en az on katına taşınması için beton karışımının içeriğine boncuk katması veya blok içerisinde havayı hapsedmesi gerekmektedir [69]. Beton blok yalıtımı, inşaat türüne bağlı olarak iç ve dış duvara yerleştirilen, harç ve yüzey bağları olmaksızın kurulan bir köpük levhadan oluşmaktadır.

Polistiren, poliizosiyanürat, poliizo ve poliüretan gibi köpük malzemeleri beton bloklara monte etmek için birkaç yol vardır. İnşaat bloklarının içi boş kısımları, dökme ve/veya enjeksiyon yoluyla gevşek köpük boncukları veya sıvı köpük ile doldurulabilir. Beton, sınırlı yapısal bütünlük sağlarken polistiren birleştirmeye yarar. En yaygın kullanılan bileşen grubu, Portland çimentosu, kum ve bazen vermikülit veya perlit peletleri ile doldurulmuş kimyasal katkıları ile karıştırılmış polistiren'dir [68]. Her duvar tasarımı bu yalıtım malzemelerinin her birine ilişkin birçok avantaj ve kısıtlamalara sahiptir. Yalıtım malzemesinin seçimi, arzulanan termal özellikleri, iklim koşulları ve yapım kolaylığına bağlı olarak değişen faktörlere bağlı olacaktır. [70].

Tablo 2.1'de büyük duvar inşaatlarında kullanılan malzemelerin yığın yoğunluk, ısı iletkenlik ve basma dayanımı gibi fiziksel ve mekanik özellikleri verilmiştir [28].

2.4.1.1. Alçı bloklar

Alçı bloklar, alçı ve bitkisel elyaf ya da odun yongası bağlayıcısından yapılır. Öncelikle iç mekân yükü olmayan duvarlar, yangına dayanıklı bölümler ve yapısal çelik çevresindeki muhafazalar için kullanılır. Alçı, temellerde, bina çerçevelerinde ve köprülerde kullanılan Portland çimentosunun bir bileşenidir. Alçı ürünleri, yangına dayanıklı yeni binaların yapımında yaygın olarak kullanılır. Alçı ürünlerinden üretilen bloklar yapıyı yazın serin kışın ise sıcak tutar. Bu tarz blokların çabuk üretimi için bu alçı ürünleri yanmaz çelik çerçeveler içerisine monte edilir ve piyasaya bu şekilde sunulur. Daha düşük nem içeriğine sahip alçı bloklar iklim koşullarına göre bazen dış yapı için kullanılamazlar. Bununla beraber Amerika'nın bazı kurak bölgelerinde başarıyla kullanılabildikleri görülmüştür. Çelik konstrüksiyonlu binalarda, bölmeler için ve beton zeminlerdeki dolgu maddeleri için alçı bloklarının kullanımı yaygındır ve binaya sadece yanmazlık değil, aynı zamanda yüksek inşaat hızı kazandırır [71, 72].

Tablo 2.1. Seçilen büyük duvarlı yapı malzemelerinin yığın yoğunlukları, ısı iletkenlikleri ve basma direnci [28].

Material	ρ (kg/m ³)	f_k / f_{lck} (MPa)	λ (W/(mK))
Hafif Beton Blok Bisomark Hbn	315-335	0.8	0.06
Havalandırılmalı Çimento Bloğu Ytong PP 1,6-0,25	250	0.8	0.07
Poroton Tuğla S9-MW	810-900	4.2	0.09
Havalandırılmalı Çimento Bloğu Ytong PP 2-0,40	400	1.8	0.10
Hafif ağırlıklı beton blok Bisoplan 14	600	2.5	0.14
Poroton Plane Tuğla T16	710-800	4.7	0.16
Kum-kireç tuğlası Silka KS L-R P 12-1,4	1210-1400	5.6	0.56-0.70
Hafif Agregalı Beton LC35 / 38	1500-1600	35.0	0.89-1.00
Kum-kireç Tuğla İpek KS-R P 20-2,0	1810-2000	10.5	0.99-1.10
Normal ağırlıklı Beton C12 / 15	2200-2400	12.0	1.65-2.0
Betonarme Beton C30 / 37	2300-2400	30.0	2.3-2.5

Üretim

Bir alçı bloğu alçı, sıva ve sudan imal edilir. Üretim, ham alçının ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) topraklandığı ve kurutulduktan sonra bağlı suyun dörtte üçünü uçurmak için ısıtıldığı ve böylece alçı sıva olarak bilinen kalsiyum sülfat hemihidrat ($\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$) haline dönüştürüldüğü üretim tesislerinde otomatik olarak gerçekleştirilir. Kalsine alçı veya Paris sıva da denilen işleme kalsinasyon adı verilir. Üretim aşamasında suyla karıştırılıp uygun sıcaklıkta tutulan alçılar uygun kalıplar içerisine dökülerek üretim gerçekleştirilir. Her blok, hızlı ve kolay montaj sağlamak için iki yanına dil ve oluklar konulur. Daha sonra bu noktalardan birleştirilir. Daha sonra ıslak alçı bloğu kalıplardan alınır ve kurutma odalarına konulur. Kurutulmuş alçı bloklar üretim tesisinde paketlenir ve depolarda saklanır [73].

Özellikleri

Alçı bloklar, pek çok farklı ülkede kullanılmaktadır. Alçı bloklarda harç, kum veya sıva kullanılmadığı için duvarların neredeyse kuru duvar gibi hiç su olmadan inşa edildiği söylenebilir.

Sonuç olarak alçı blokların ağırlığı yaklaşık olarak 54 kg/m^2 ile 120 kg/m^2 arasındadır, bu nedenle alçı bloklar taşıyıcı olmayan bölme duvarları, hafif bölme duvarlarında kullanılabilen malzemeler kategorisine girer. Yapım tekniği nedeniyle, mekanik zorlamaya karşı dirençli, kararlı ve sağlam duvarlardır. Bu nedenle bakım-onarım süresi ile masrafları düşüktür. Bölme duvarlarının kalınlığı 60, 70, 80 veya 100 mm aralığındadır ve bu değerler çok ince olup, etkin zemin alanının artmasına neden olabilir. İnce olmalarına rağmen çok sağlam, kararlı ve mekanik zorlamalara karşı dayanıklıdır.

2.4.1.2. Pomza bloğu

Pomza

Pomza, dünyanın pek çok farklı volkanik bölgelerinde bulunan hafif volkanik bir taştır. Bu tıpkı gazların genleşmesiyle oluşmuş bir malzeme gibidir. Pomza, ABD'de New Mexico, Arizona, California, Oregon, Washington ve Idaho gibi farklı yerlerde çok sık yataklarda bulunan gözenekli bir cam köpüktür. İki bin yıldan fazla bir süredir dayanıklılığı ve sağlamlığı nedeniyle hafif bir agrega olarak betonların içinde kullanılmıştır. Çelik ve betonun herhangi bir bileşeni ile reaksiyona girmeyen atıl bir malzemedir. Nemli ortam koşullarında malzemenin derecelendirmesine bağlı olarak metre küp başına ağırlığı 430-590 kg. arasında bir değişiklik gösterir [74].

Pomza Blok

Pomza bloğu genellikle pomza agregası, çimento ve su karışımı ile üretilen ve pumisit olarak adlandırılan bir malzemedir. Hafif beton üretiminde düşük termal iletkenliğe sahip hafif agrega kullanımı alternatif bir maliyet olarak etkin bir çözüm sağlayabilir. Hafif beton, düşük ağırlık ve iyi ısı yalıtım gibi çok üstün özelliklere sahip olsa da yük taşıyan duvarlar için düşük mekanik özellikte olması pomza için bir dezavantajdır. Yüksek gözenekli ve düşük yoğunluğa sahip olduğundan dolayı duvarcılıkta, düşük mukavemetli beton üretiminde doğal hafif agrega olarak kullanılmıştır. Çok katlı binalarda yükü azaltmanın en etkili yollarından birisi yapının ağırlığını hafifletmektir. Bu konuda yaygın olarak kullanılan pomza blokları $400\text{-}1300 \text{ kg/m}^3$ yoğunluk aralığında üretilebilir. Günümüzde, pomza dünya çapındaki inşaat sektöründe 20 milyon m^3 'den fazla üretilmektedir. Üretimde pomza agregasının fiziksel ve kimyasal

özellikleri pomza blokların kalitesini etkileyen en temel faktörlerdendir. Bunun yanında üretim teknolojisi ve karışım oranları da pomza bloğunun karakteristik özelliklerini etkilemektedir [48].

Pomza birinci sınıf bir agregadır ve yanmaz madde olarak sınıflandırılmıştır. Bunun sebebi pomzanın 1200 °C'nin üzerinde cama indirgenmeye başlamasıdır. Bu sayede 100 metrelik bir konfigürasyonda iki saatlik ateşe karşı direnç oluşturur. Bunlar ortalama basma dayanımları 3.6 ve 7.3 Newton olan standart olarak üretilen fonksiyonel bloklardır.

2.4.1.3 Polistiren bloklar

Polistiren

Polistiren, karbon atomları ve fenil gruplarının birbirine bağlanmasıyla oluşan uzun hidrokarbon zincirine sahip bir vinil polimeridir. Stiren monomerlerinin polimerizasyonu ile üretilir. Genişletilmiş Polistiren (ESP), işlenmemiş ham polistirenin ısıtılarak genleştirilmesiyle oluşur. Genişletilmiş Polistiren agregası % 98 havadan oluşan kapalı bir hücreli yapıya sahiptir. Polistiren agregası, farklı hacimlerde harç veya çimento macununa eklenerek çeşitli yoğunluklarda beton üretilebilir. Bu sebeple polistiren agregaları bina yapıları için gerekli olan düşük yoğunluklu betonların üretiminde sıklıkla kullanılmaktadırlar [78].

Polistiren Bloklar

İnşaat ve mühendislik alanlarında kullanılan kompozit malzemeler, polimerlerin ve diğer plastiklerin ortaya çıkışı ile beton konstrüksiyonlarında agregası olarak diğer yıllara göre daha sık kullanılmaya başlanmıştır. Bu malzemelerin ortaya çıkması, çeşitli kompozit betonlarda bazı termal ve mekanik özelliklerin eklenmesine de yol açmıştır. Özellikle, polistiren kompozit ile karıştırılmış polistiren beton (Epscrete), büyük agregaların kesilmiş polistiren granülleri ile karıştırılarak üretilen geleneksel betonlar ile aynı karakteristik özelliklere sahiptir.

Polistiren bloğunun yaygın olarak kullanılmasının temel nedenlerinden birisi de ortaya çıkan betonun ısı yalıtımlı olmasıdır. Üst uçta bazı karma bileşimler, ORNL testine göre 7.8'den 8.2'ye kadar R değerlerine sahiptir. Bu da yalıtımla kullanılabilecek

alternatiflerine hemen hemen eşit hatta bazı alternatiflerinden daha üstün olduğunu gösterir. Polistiren bloklar, iç yalıtım tekniklerini ortadan kaldırabildikleri için dış cephelerde de tercih edilebilir [79].

Atık polistiren ve uçucu külden yapılmış hafif beton üzerinde yapılan bir çalışmada, genişlemiş polistiren ve uçucu kül miktarı doğal kum ve Portland çimentosunun yerini alacak şekilde arttırıldığında betonun basma mukavemetinin düştüğü gözlemlenmiştir. Genişletilmiş Polistiren Betonun (EPC) basma mukavemeti polistirenin sıkıştırılmasındaki zayıflığa bağlı olarak çok düşüktür. Bu çalışmalarda sonuçlara bakıldığında Genişletilmiş Polistiren Betonun yapısal işler için uygun olmadığı açıkça görülmektedir. Uçucu külün su-çimento oranını azaltmak için kullanıldığı durumlarda büyük ebatlı strafor veya daha yoğun ve daha güçlü beton üreten puzolanlar bile EPC'nin gücünü artırmak için yeterli olmayacaktır. Bununla birlikte tüm köpük betonlar, geleneksel betonlarla karşılaştırıldığında kür süresi boyunca daha düşük mukavemet göstermektedir [80].

Polistiren bloklar, düşük işlenebilirlik ve düşük mukavemet gibi bir takım dezavantajlara sahiptir. Aşırı hidrofobik olan bu madde döküm esnasında ayrılma eğilimi gösterir. Bu sebeple yüzeyin kimyasal olarak saflaştırılması gereklidir. Önceki çalışmalarda, epoksi reçine veya polivinil propionatın sulu dispersiyonları gibi bazı bağlayıcı katkı maddeleri maliyet faktörü göz önüne alınmadan kullanımları önerilmiştir. Ancak yukarıda da belirtildiği gibi EPS betonu çok düşük mukavemetlidir. Daha sonraki çalışmalardan birinde hafif agregalar ile dayanıklılığı 20 MPa olan fiber takviyeli bir EPS beton türü geliştirilmiştir [81].

Otoklavlı gaz beton, doğal hammaddelerden prekast olarak yapılmış yapısal bir üründür. Başta çimento olmak üzere kireç, su ve kum karışımı, uçucu kül, alüminyum ile de zenginleştirilebilirler [82].

2.4.1.4. Petek kil blok

Petek kil blok, genellikle Alman ismi olan “Ziegel” olarak bilinir. Binlerce yıldır bütün kıtalarda duvar yapımında kullanılagelmiştir. Kil kendi doğası gereği modern binalar için sürdürülebilir en iyi çözümdür. Doğal özellikleri nedeniyle yalnızca düşük karbonlu olmakla kalmaz aynı zamanda 150 yıldan fazla bir süre bakım gerektirmeden

kullanılabilir. Killerin güçlü ve dayanıklı bir yapısı vardır. Ancak hafif olan alternatiflerine göre kullanımı daha zordur. Ayrıca kullanıldığı yerlerde yaşanan çevre için sürdürülebilir ses ve ısı kontrolü sağlayan yapılar oluştururlar [84].

Bloklar, Porotherm ve Thermo Plan olmak üzere iki ana marka da bulunur. İkisi de sıra boyunca bitişik bloklarla tutturulmuş iç içe geçmiş kuru dikey bağlantılarla harç sistemleri kullanmaktadır. Porotherm ince harcı, geleneksel yöntemlere göre % 90 daha az su kullanır ve blokların hassas mühendislik şekli ve hızlı kuruyan derzleri ile hızlı bir şekilde duvarların birleşmesine olanak tanır. Aynı zamanda petek kesiti en mükemmel seviyede termal ve akustik izolasyon sağlar. Hava ceplerini bloğun yoğun kil yapısı ile birlikte kullanmanın yararlarından biri de, sıcaklık derecelerinde aşırı dalgalanmalara karşı çalışan, duvarda depolanan bir ısının olmasıdır. Bir kaynak perspektifinden bakıldığında, tek bir cildin boşluk duvarından daha az blok ve petek tasarımı nedeniyle geleneksel tuğlalarda daha az kil kullanılmaktadır. Fırınlama işlemi sırasında kil içindeki havayı tutmak için küçük mikro gözenekler bırakır [85].

Termal kütlesi sayesinde ısıyı kontrol eder ve çevre için enerji tasarrufu sağlar. Isıyı ve nemi kürlemek veya bırakmak, tüm yıl boyunca oda konforunu kontrol etmeye ve sürdürmeye yardımcı olur. Kil blokları aynı zamanda duvarın içinde fare veya böcekler için yaşayabilecekleri bir alan bırakmaz ve 4 kata kadar konut, daire, ofis, okul gibi her türlü binanın kullanımına uygundur. Sonuç olarak daha sıcak, daha kuru, daha sağlıklı ve enerji tasarrufu yapan daha verimli bir yapı sağlayacaktır. Ziegel blokları uzun ömürlü bir yapıyı garanti eder. [86]

Mimari ölçeklendirme efektleri ve farklı renk seçenekleri ile üretilen petek kil bloklar, duvar yalıtımlarında 0.36 ve 0.30 W/(m.K) ısı iletkenliği sağlarlar [87]. Üretimden çıkan malzemenin yıllar geçse bile yalıtım değeri düşmez, sudan veya nemden etkilenmez. Aksine hızlı kurulur ve tüm bölgeler için uygundur. Tartışılmaz olan ses yalıtımı sayesinde apartmanlar için biçilmiş kaftandır. Ziegel tüm yapı malzemeleri arasında en doğal nem dengesine sahip olan malzemedir. Yazları serin, kışları ise küf oluşturmadan sıcak tutabilir ve bunu zararlı gazlar veya fiber ile değil içerisindeki doğal maddeler ile sağlar [88,89].

2.4.1.5. Otoklavlı hücresel beton

Otoklavlı hücresel beton, otoklavlı gazbeton [90] veya sıkıştırılmış hafif beton [91] olarak bilinir. ACC'ler daha hafif, ateşe karşı direnci daha yüksek ve daha iyi izolasyona sahiptirler. ACC'ler agrega içermeyen diğer beton türlerine benzerler. Yani ağırlıklarının % 70 kadarını su, çimento, alüminyum ve uçucu kül oluşturur. ACC lerin bazı tasarımları suda yüzebilecek kadar hafif ve ateşe karşı dirençli olması nedeniyle yüksek izolasyon değeri sağlayan bloklar olarak üretilirler. Ayrıca, kurulum maliyeti geleneksel beton blok veya kereste ile karşılaştırıldığında daha ucuzdur. ACC Avrupa'da inşaat sektöründe yaygın olarak kullanılan bir üründür [90,92]. Beton, ahşap, tuğla ve taş gibi herhangi bir geleneksel yapı malzemesinden ziyade ekonomik ve çevre dostu bir akustik soğurma özelliğine sahiptir [93,94].

2.4.1.6. Aerojel beton bloklar

Hafif ve ısı yalıtımlı beton için agrega olarak havalı pelte uygulamaları ile ısı iletkenliği 0.3197 W/(m.K) olmuştur. Ek olarak kompozitler, uygun mekanik dayanıklılık (Basma dayanımı $23.54\text{-}18.63 \text{ MPa}$ arasında değişebilir) ve bükülme mukavemeti ($3.63\text{-}4.94 \text{ MPa}$) sayesinde binalarda ve yapılarda ki enerji tasarrufu için tercih edilir hale gelmiştir.

Silika Aerojel İlaveli Binalar

Silika aerojel granülleri, bir çimento kalıbına ilave edilir [28]. Aerojel parçacıkları çimentolu malzemelerin hidrasyonu sırasında kararlıdır, Bu da bizi inşaat uygulamaları için aerojel ve beton malzemelerini birleştirme imkanını düşünmeye sürükler [8]. Çimento macununa silika aerojel ilavesi sıkıştırma mukavemetini ve ısı iletkenliği düşürürken su geçirgenliğini artırır [34]. Silika aerogeller, diğerleri gibi toz ve granül formlarında bulunabilir. Ancak çimento ile en çok kullanılan formları toz ve granüllerdir [96, 97].

Granüllerin çoğunlukla düzensiz olması ve boyutlarına göre heterojen dağılması gibi dezavantajları vardır. Sonuç olarak yoğunluk, mukavemet, ısı iletkenliği ve ses yalıtımı gibi malzeme özellikleri farklılık göstermektedir. Bu da doğal olarak ortaya çıkacak sonuçları etkilemektedir. Bu nedenle granüllerin boyutları göz önüne alınarak özellikleri belirlenip kullanılacağı yere göre dikkat edilmelidir. Tanecik boyutu büyük olan

granüller küçük olanlara göre daha fazla ısı iletkenliğine ve daha büyük yüzey alanına sahiptir. Aynı zamanda büyük boyutlu granüller ısı iletimini daha belirgin hale getirdiği için yüksek ısı iletkenliği de daha yüksektir [34].

Silika aerojel-Toz aerojel granülleri

Aerojeller, özellikle ısı yalıtımı için hidrofobik yapıdadır. Hidrofobik malzemeler su ve nem emilimini önlemede yardımcı olur [98]. Beton içerisine katılan aerojel parçacıkları, nihai hacimsel kompozisyonunu değiştirebilen su absorpsiyonunu önlemeye yardımcı olur. Hidrofilik aerojeller doğada nadiren kullanılırlar [8].

2.4.2. Genel

Duvar yapımında, duvar alanının yaklaşık % 8-22'si harçla (birim boyutuna bağlı olarak) yapılır, ancak kullanılan harcın duvarın üzerindeki etkisi önemlidir. İlk bakışta, harç, basitçe duvar birimleri için birleştirme malzemesi gibi görülebilir fakat duvar için oldukça önemlidir [75]. "Çimento", "beton" ve "harç" terimleri başlangıç seviye inşaatçılar için kafa karıştırıcı olabilir. Ancak çimentonun; harç, çimento ve kumdan oluşan ince bağlayıcı bir toz olması, betonun ise çimento, kum ve çakıldan oluşması aralarındaki temel farktır. Bu farkın yanı sıra kullanım alanları konusunda da belli farklılıklar bulunur.

Çimentoyu su ve kum ile karıştırdığımız zaman harç oluşur. Beton, tek başına durabilse de harç, tuğlaları, taşları veya diğer bileşenleri bir arada tutmak için kullanılır. Kısacası çimento harç veya beton yapının da kullanılır. Genellikle Portland çimentosu tavsiye edilir. Bunun sebebi ilk kez 1800 yılında İngiltere de "Joseph Aspdin" adında ki bir duvarcının kullanmış olması ve günümüze kadar gelip hala en yaygın kullanılan çimento olmasıdır. Portland çimentosu "hidrolik (su bazlı)" çimento olarak geçmektedir (su ile birleştiğinde sertleşir.) [100].

Harç Özellikleri

Duvarcılıkta kullanılan harçlar Plastik Harçlar ve Kürlenmiş Harçlar olmak üzere iki ayrı grupta sınıflandırılır. Plastik harç genellikle bitmiş yapısal elemanlar için kullanılır. Plastik harç yapının işlenebilirliğini ve su tutma özelliğini belirlemede yardımcı olur.

Kürlenmiş harç ise işlenmiş duvarın basma dayanımını ve dayanıklılığını belirlemede yardımcı olur [75].

2.5. Plastik Harç

2.5.1. İşlenebilirlik

İşlenebilirlik, plastik harç için çok önemli bir özelliktir. Çünkü işlenebilir harç taş yığınlarının arasına ve çatlaklara daha iyi yayılır ve duvarı destekleyerek hizalamaya yardımcı olur. Duvarı hizalamak için kuvvet uygulandığında harç yüzeylere kolayca yapışır. İşlenebilirlik, esneklik, tutarlılık, bütünlük ve yapışma gibi çeşitli özelliklerin bir kombinasyonudur. Harç sürülürken duvarın verdiği tepki ile işlenebilirliği en iyi şekilde değendirilir.

2.5.2. Su Tutma ve Sızdırmama

Su tutma özelliği, harcın karıştırılırken suyu emme kabiliyetidir. Bu özellik duvarı ayarlamak ve düzeltmek için belli bir zaman verir. Su tutma oranı harcın içine kum veya su tutucu maddelerin karıştırılmasıyla arttırılabilir.

2.5.3. Sertleştirme Özelliği

Plastik harcın sertleşmesi harcın özelliklerine ve kullanılan maddelere bağlıdır. Çimento esaslı malzemeler için laboratuvarında ölçülen başlangıç koşulları, düzgün hale getirilmiş çimento macunlarının hidrasyon derecesini veya özelliklerini belirtir. Harcın kullanımdan önce hemen sertleşmesi duvar için oldukça zararlıdır. Duvar işlerinde harç su kaybı ile sertleşir. Bu dönüşüm ısı ile hızlandırabilir veya soğuk ile yavaşlatılabilir. Tutarlı bir sertleşme oranı, duvarın dayanıklılığında önemli rol oynar [99].

2.6. Kürlenmiş Harç

2.6.1. Sıkıştırma mukavemeti

Harç sıkıştırma mukavemeti bazen harç türünün seçilmesinde temel bir kriter olarak kullanılır. Çünkü sıkışma mukavemetini ölçmek kolaydır. Genelde mukavemet, harcın emilmesi gibi diğer bazı özelliklerle ilgilidir. Harcın sıkıştırma mukavemeti büyük oranda çimento içeriğine ve su-çimento oranına bağlıdır. Bu noktada mukavemet,

çimento içeriği arttıkça artmakta ve kireç, kum, su veya hava içeriğindeki bir artış ile azalmaktadır.

Yapışma harçtaki sıkıştırma mukavemetini azaltırken, indirgeme miktarı, su eklenmesi ve karıştırılması mukavemeti arttırır. Sıklıkla aradaki bağı iyileştirmek mukavemeti kötü etkiler ve bu sebeple aradaki süreyi hatırlamak gerekir. Sıkıştırma mukavemeti harç seçiminde tek etken olmamalıdır. Aynı zamanda eğilme mukavemeti de önemlidir. Çünkü harç çatlamaya karşı dirençli olmalıdır. Harçlar tipik olarak taş yığınlarından daha zayıf olursa, herhangi bir çatlak ya da zararda onarımı kolay olacaktır.

2.6.2. Yapıştırma

Yapıştırmanın mukavemet, kapsam ve dayanıklılık olmak üzere üç bölümü vardır. Çok değişik bağ etkilerinden dolayı sürekli tekrarlanabilir sonuçlar ortaya çıkar ve bunların hepsi için aynı testi yapmak mümkün olmayacağından dolayı bölümlere ayrılmıştır. Bu değişkenler; hava içeriği ve harcın birleştirilmesi, harçla duvar birimi emme arasındaki geçen zaman, suyun buharlaşması, duvar masterına uygulanan basınç, duvar biriminin tabakalı yüzeylerinin dokusu gibi birçok koşula bağlıdır.

Harcın germe ve sıkıştırma mukavemeti, harç ile duvar taşı ünitesi arasındaki bağ kuvvetini aşar. Bu nedenle, harç derzlerinde, düşük çekme veya kesilme gerilme seviyelerinde bağ kopmaları meydana gelmektedir. Harç ve duvar birimi ara yüzündeki bir bağ eksikliği, bu eksiklik yoluyla nem nüfuzuna neden olabilir. Harç ve duvar taşı ünitesi arasındaki temas bağ için oldukça önemlidir. Bu bağ, doğru kompozisyona ve iyi işlenebilme özelliğine sahip harç kullanılması ve doğru şekilde yerleştirilmesi yoluyla en iyi şekilde sağlanabilir.

2.6.2.1. Hidrasyona bağlı çimento esaslı malzemeler

Bir hidrolik çimento olan Portland çimentosu, çoğu duvar harcında ana unsurdur. Portland çimentosu inşaat hızı için gerekli olan özelliklere sahiptir. Plastisite olmadıkları için doğrudan Portland çimento harçları kullanılmaz. Su tutma özellikleri düşük ve duvar çimentosu harçlarına kıyasla daha sert ve daha az uygulanabilirlik gösterirler.

Duvar çimentosu genelde Portland çimentosu ve öğütölmüş kireç taşı gibi diğér maddeler ile kullanılır. Harç çimentosu ise duvar çimentosuna benzer bir hidrolik çimentodur. Ancak harç çimentosu, hava içeriğı ve bükölme mukavemeti açısından daha ayrıntılıdır.

2.6.2.2. Karbonasyona Dayalı Çimento Esaslı Malzemeler

Sulandırılmış kireç, betona işlenebilirlik, su tutma ve elastikiyet sağlar. Kireç harçları, havadaki karbondioksitin etkisi ile giderek karbonatlaşır. Bu süreç, soğuk ve ıslak hava koşullarında yavaşlar. Bundan dolayı, tam bir sertleşme olabilmesi için uzun bir süre geçmesi gerekir. Bu iyileşme, küçük saç çizgisi kadar olan çatlaklarının onarılmasına da olanak sağlar.

Kireç, su ile birlikte çözeltiye girer ve suyun buharlaşmasıyla birlikte çatlaklara duvarlardan geçerek taşınır. Bu aynı zamanda erken yaşlarda bazı sızıntılara neden olabilir. Devam edegelen birikintiler eninde sonunda çatlaklara ulaşabilir. Böylece iyileşme, su varlığını azaltma eğiliminde olacaktır. Portland çimentosu, tam hidratasyonda kalsiyum hidroksit içindeki ağırlığının yaklaşık % 25'ini üretir. Bu kalsiyum hidroksit, karbonasyon, çözöndürme ve yeniden çökölme sırasında kireçle aynı şeyi gerçekleştirir.

2.6.2.3. Agregalar

Harç için kullanılan agregalar, doğal veya işlenmiş kumdan ibaret olup harca ait en büyük unsur hacim ve ağırlıktır. Kum, basma dayanımını etkilerken, inert bir dolgu maddesi gibi davranarak hem ekonomiklik hem de işlenebilirlik sağlarken çekme dayanımında düşüşlere neden olur. Kum oranında meydana gelen bir artış, duvar örme harcının sertleşme süresini arttırır, bununla beraber harç sıvasının büzölmesinden kaynaklanan çatlamlar da bu sayede azalır. Özel veya standart kumlarla gerçekleştirilen bazı laboratuvar harç test sonuçları, inşaat harçında kullanılan kumlarla yapılan çalışmaların sonuçlarından oldukça farklı sonuçlar verebilir.

İyi dereceli agrega, plastik harç içinde malzemelerin ayrılmasını azaltarak kaynamasını azaltır ve işlenebilirliğini geliştirir. Aşırı ince tozlu kumlar zayıf harçlar üretir ve büzölmeyi arttırır, diğér taraftan ince taneli kumlar ise sert harçlar üretir. Yüksek kireç veya yüksek hava içeriğı olan harçlar, zayıf dereceli agregalarla bile daha fazla kum

taşıır ve buna rağmen yeterli işlenebilirliği sağlar. Cüruf eksikliği olan tarla kumları, çimentolu malzemenin olumsuz olarak işlev görmesine neden olabilir.

2.6.2.4. Su

Betonun performansındaki en önemli faktörlerden biri karışımın su/çimento oranıdır. Su, betona mekanik mukavemet kazandıran çimento hidratasyonu için şarttır, ancak doğru dozajlanması gerekir. Çok fazla su, betonun gözenekliliğini arttırır ve böylece mekanik performansı ve dayanıklılığı azaltır. Karışımındaki su eksikliği çimentonun eksik hidratasyon reaksiyonlarına ve taze betonun işlenebilirliğinde azalmaya neden olabilir [101]. Su aşağıdaki üç görevi yerine getirir. 1) işlenebilirliğe katkıda bulunur, 2) çimentoyu hidratlar 3) kirecin karbonasyonunu kolaylaştırır. Gerekli su miktarı öncelikle harcın içindeki diğer katkı maddelerine bağlıdır. Metal veya harç için zararlı olabilecek suyun temiz ve zararlı safsızlıklardan arındırılmış olması gerekir.

Muhtemelen harç ve beton arasındaki gereksinimlerin karışıklığından dolayı, su içeriği duvar harçının en yanlış anlaşılan yönüdür. Harcın su gereksinimi düşük su/çimento oranının arzu edildiği yerde betonunkinden oldukça farklıdır. Harçlar, optimum işlenebilirlik için gerekli olan maksimum su miktarına ihtiyaç duyar. Buharlaşma ile kaybedilen suyun yerini doldurmak için harç da kullanılabilir.

2.6.2.5. Katkılar

Duvar harcı için katkılar geniş bir yelpazede değişkenlik gösterir. Taze veya sertleştirilmiş harçlar fiziksel veya kimyasal özellikleri etkiler. Bazı kimyasal katkı maddeleri, temel harç malzemelerinin üretiminde de şarttır. Hazır katkı harçlarının eklenmesi, hazır harçların imalatı için de gereklidir. Kuşkusuz, hazır beton mikserlerinin içine karıştırıldığında avantaj sağlayabilecek katkı maddelerinin olduğu yerde bazı özel durumlar da sözkonusu olabilir. Bununla birlikte, genel olarak, bu tür katkıların kullanılması önerilmemektedir. Harç karışımının dikkatli bir şekilde seçilmesi, kaliteli malzemelerin kullanılması ve iyi uygulanması, genellikle sağlam bir betonun ortaya çıkması demektir. Harç katkıları, belirli bir sonuca ulaşmak için harç karışımına genellikle küçük miktarlarda ilave edilen malzemelerdir. Katkı maddelerinin ilavesi ile elde edilebilecek faydalar aşağıdaki gibidir:

- İşlenebilirlik artar
- Harç ve duvar birimleri arasında daha güçlü bir bağ oluşur

Bir çok araştırmacı ve bilim adamı, betonun mukavemetini ve dayanıklılığını artırmak için bir takım parametreler ve teknikler geliştirmişlerdir. Mühendisler, yüksek fırın cürufu, uçucu kül, çelik cüruf, silis dumanı gibi ek çimento malzemesinin yardımıyla performansı artırmak için sınırları sürekli olarak zorlamaktadırlar [101].

Bu çalışmada nano silika, silis dumanı ve uçucu külün kullanımı üzerine odaklanılmıştır.

1- Silis dumanı ve nano silika

Silis dumanı, topaklanan ultra-ince ve amorf (kristalin olmayan) bir tozdur, yani mikro silika (MS) ve nano silika (NS) ortalama parçacık çapı 0,1 ila 0,5 μ 'dir [101-102]. Silis dumanı puzolan etkisi ve mikro dolgu etkisi ile betonun iyileştirilmesine yardımcı olur. Son zamanlarda, teknolojide somut bir şekilde uygulamaya sokulmuştur. En çok kullanılan nano malzemeden biri de nano silika (NS) 'dir. Bu ürün, mikro silika (MS) kullanımını değiştirmiştir. Nano silika ile geniş ölçekte beton çalışmasının ortaya koyduğu ilerleme, nano silisin standart betonda kullanılan silis dumanından çok daha iyi olduğunu kanıtlamıştır [102].

NS çok miktarda puzolanik yapıya sahiptir ve hidrasyon boyunca serbest kireci reaksiyona sokma kapasitesine sahiptir ve C-S-H jelini oluşturur ayrıca silis dumanından daha etkili bir şekilde mukavemet, geçirgenlik ve sağlamlık sağlar [101-102]. Son zamanlarda yapılan çalışmalarda, nano silikanın puzolanik aktivitesinin, silis dumanından çok daha büyük olduğu ortaya konulmuştur. Nano silika CH kristallerini tüketir, CH kristallerinin yönünü azaltır, arayüzdeki CH kristallerini azaltır ve arayüz yapısını silis dumanından daha etkili bir şekilde geliştirir. [103]. Nano teknoloji nano ölçekli parçacıkların yeni potansiyel kullanımları nedeniyle büyük ilgi çekmektedir [104]. Nano silika, nano titanyum oksit, karbon nano tüpler, nano alümina vb. gibi malzemeler nano malzemelere örnek olarak verilebilir [101].

Nano parçacıkların kullanımı, özellikle yeni işlevselliğe sahip imalat malzemeleri için pek çok uygulamada dikkat çekmektedir. Ultra-ince parçacıklar portland çimento

macununa, harç ya da betonlara dahil edildiğinde, geleneksel malzemelerden farklı özelliklere sahip malzemeler elde edilmektedir. Bununla birlikte çimento esaslı yapı malzemelerinde nano partiküllerin karıştırılmasına ilişkin çok az araştırma yapılmıştır [104].

Üçlü kalsiyum silikatın (C3S) hidratasyonunun, nano ölçekli silika veya C-S-H parçacıklarının eklenmesiyle hızlandırılabilirliğini ve C3S macunlarının hidratasyon sürecini ve 5 nm koloidal silis katkı maddesinin hızlandırıcı etkilerini izlediği tespit edilmiştir. Nano silika ilavesi ile karışımın viskozitesinin önemli ölçüde arttığı, buna paralel olarak hava boşlukları ve katılaşmış betonun gözenekliliğinin de arttığı gözlemlenmiştir. Bununla birlikte, nano silikanın çekirdeklenme etkisinden dolayı çimentonun hidrasyonu artırılabilir [105,106].

Nano silika, silis dumanına (SF) kıyasla harç sertleşme süresini azaltırken, kaynama suyunu ve ayrışmayı da azaltır. Bununla beraber taze haldeki karışımların daha kolay bir araya gelmesini sağlar. Çok ince uçucu kül ile birleştirildiğinde, tek başına silis dumanının kullanılmasıyla elde edilen performansa kıyasla daha iyi bir performans sağladığı görülmüştür. Ayrıca, silis dumanı ile harç veya betonun basma dayanımı, eklenmemiş formülasyonlar ile karşılaştırıldığında geliştiği görülmüştür. Bazı araştırmacılar, nano silikanın uygun bir yüzdesinin, karışım esnasında parçacıkların dağılma güçlüğünden kaynaklanan aglomerasyona bağlı olarak küçük (ağırlıkça% 1-5) olması gerektiğini savunmuşlardır [105].

Yapılan araştırmalar, nano SiO₂ parçacıklarının, bir nano dolgu maddesi gibi davranan C-S-H jelinin parçacıkları arasındaki boşlukları doldurabileceğini göstermiştir. Ayrıca, kalsiyum hidroksit ile puzolanik reaksiyon ile, C-S-H miktarı artmakta ve böylece matrisin yoğunlaşması daha da hızlanmaktadır. Buna bağlı olarak malzemenin mukavemeti ve dayanıklılığının arttığı tespit edilmiştir [104]. Nano silika (NS) ilavesinin beton ve harçların mekanik özelliklerinde etkili olduğu daha önce yapılan çalışmalarda görülmüştür. Daha önce de açıklandığı gibi, NS ilavesi yoğunluğu artırır, gözenekliliği azaltır ve çimento matrisi ve agregalar arasındaki bağları geliştirir, bu da daha yüksek sıkıştırma ve eğilme mukavemeti gösteren betonu meydana getirir. Aynı zamanda nano silika etkisinin doğaya ve üretime bağlı olduğu da gözlemlenmiştir.

Bununla birlikte NS'nın uygulanması ve beton içindeki etkisi henüz tam olarak anlaşılamamıştır [107].

2- Uçucu kül

Uçucu kül yanmayan maden kömüründen oluşur. Santrallerde kömür yakılmadan önce, ilk olarak tozun inceliği ayarlanır. Enerji santrallerindeki kazanlara ince taneli kömür üflenirken, silis, alümina ve kalsiyum bakımından zengin erimiş partikülleri geride bırakarak karbon yakılır. Bu yanmayan toz parçacıklar, uçup gitmeden önce santrallerin egzoz çıkışında mikroskobik, camsı küreler halinde katılaşır ve burada toplanırlar; dolayısıyla toplanan bu ürünler uçucu kül haline gelirler. Uçucu kül için iki temel sınıflandırma vardır: F Sınıfı ve C Sınıfı. ASTM C618'e göre uçucu kül, $(\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3) > \% 70$ ise F sınıfına aittir ve $\% 70 > (\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3) > \% 50$ ise C sınıfına aittir. Bu uçucu küllerin her ikisi de çimento ve suyun hidratasyonu sonucu çimento gibi kalsiyum silikat hidrat oluşturan kireç (kalsiyum hidroksit) ile puzolanik reaksiyona girer. Buna ek olarak, bazı C sınıfı uçucu küller, çimento hidrasyonundan elde edilen kireç ile puzolanik reaksiyona ek olarak kendi kendine yapışacak kadar kireç sahibi olabilirler.

Uçucu kül de yüksek inceliğe sahiptir, bu da porozite ve gözenek boyutunu azaltır ve basma dayanımını artırır. Harçta optimum çimento miktarı yaklaşık $\% 40$ 'dır ve bu oran OPC harcına kıyasla $\% 14$ daha yüksek basma dayanımı ve $\% 8$ daha yüksek gerilme mukavemeti sağlamaktadır [108]. Uçucu kül (50 w.t%) oranında kısmen çimento ile yer değiştirdiğinde, toplam gözenek hacmini muhafaza ederken görünür gözenekliliğini $\% 28$ 'den $\% 24$ 'e düşürür, bunun yanında referans harcın mekanik mukavemetinde belirgin bir azalma da meydana gelir. Gözeneklilik ile çimento harçlarının mekanik mukavemeti arasındaki bu atipik korelasyon için iki açıklama yapılabilir: i) mekanik mukavemete bağlı aralığı kapsayan çimento-uçucu kül tabanı için gözlenen çok daha dar makro gözenek boyut dağılımı; ii) uçucu kül-çimento hidratasyon ürünlerinin DRIFT spektrumlarından da görülebileceği gibi çimentodan daha uzun kürlenme sürelerine ihtiyaç duymaları ve dolayısıyla daha yavaş bir mukavemet geliştirmeleridir. Bu nedenle, 28 günde elde edilen sonuçlar, puzolanik etkiden dolayı mekanik mukavemete nihai uçucu kül katkısını yansıtmayabilir. Yavaş puzolanik reaksiyon nedeniyle FA beton, daha sonraki çağlarda mekanik özelliklerinde

belirgin bir iyileşme sağlamaktadır [14,109]. Uçucu kül içeriklerindeki artış ile hava içeriği artarken ünite ağırlığı azalır, işlenebilirlik artar bu sayede su geçirmezlik sağlanır ve betonun su çekme büzülmesi en aza iner [110]. Son olarak, uçucu kül ilavesi ile yoğunluk önemli ölçüde azalırken harç veya betonun termal iletkenliği önemli ölçüde azalabilir [111].

2.7. Literatür incelemesi

Sanayideki ısı yalıtımı bloklarındaki son gelişmeler, minimum kabul edilebilir mekanik özelliklerle ısı yalıtımının geliştirilmesine ağırlık vermek amacıyla ileri kompozit malzemelere olan ihtiyacı artırmıştır. İnşaat sektöründe böyle gelişmiş kompozit malzemeler esasen çimento ve hava jelleri gibi diğer malzemelerle yer değiştiren kumdan oluşmaktadır. Daha önce yapılan araştırma sonuçlarına göre termal izolasyon için tatmin edici neticeler elde edilmiştir. Buna mukabil mekanik özellikler daha az tatmin edicidir. Mekanik özellikler aşağıda listelenen çalışmalarda incelenmiştir.

Çimento matrisine silika aerojel granülleri yerleştirme fikri ilk kez araştırmacı Ratke (2008) tarafından ortaya atılmıştır. İyi bir ısı yalıtımı, yangın koruması ve ses direnci için istisnai özellikler taşıyan aerojel beton içeren yeni bir uygulama alanı sunmuştur [28]. Mounir Ltifia ve arkadaşları (2011) çalışmalarında nano parçacıkların çimento harçlarının davranışını etkilediğini gözlemlemişlerdir. Silika amorf nano-parçacıkları ağırlıkça % 3 ve % 10 oranında çimentoya dahil edilmiştir. Farklı harçların basma dayanımları, nano SiO₂ miktarının artmasıyla artmıştır. Buna ek olarak, nano SiO₂ çimento harcını daha kalın yapar ve çimento hidratasyon sürecini hızlandırmaktadır [104].

Hasan Biricika ve Nihal Sarierb (2013) % 5 w.t ve % 10 w.t oranında nano silika (NS) katkısının davranışını incelemişler ve sonuç olarak, harçların bükülme mukavemetlerindeki artışın, silis dumanı (SF) ve uçucu külün (F) ilgili numunelerindeki artışından daha yüksek olduğunu gözlemlemişlerdir [113]. Sughwan Kim ve diğerleri (2013) termal performanslarına göre çimento harcı ile aerogelin karışmasını incelemişlerdir. Aerojel ile çimento harcının karıştırılabilmesi için aerogelin metanol ile işleminden geçirilmesi gerektiği bu çalışmada ifade edilmiştir [114].

Kamal Gad Sharobim ve Hasan Ahmed Mohammedin (2013) kurutulmuş örnekler üzerine 7 gün sonra nano sıvı uygulamışlardır, sonuç olarak nano sıvının su emme ve geçirgenlik katsayısını azaltabileceğini göstermişlerdir. Bunun yanında betonun aşınma direncini artırabileceği ve betonun dayanımı üzerinde herhangi bir etkisi olmadığı ortaya konulmuştur [115]. Yu. Spiesz ve H. Brouwers (2014), en düşük gözenekliliğe sahip UHPC üretimi için nano silika kullanmışlardır. Takviye edilmiş UHPC'nin eğilme ve basma dayanımının yaklaşık 25 ve 135 MPa olduğu görülmüştür [105]. Tanveer Hussain ve Gopala Krishna Sastry (2014), % 7.5'e kadar SF, % 2'ye kadar NS çimento yerine ikame edilmiş, buna karşılık beton kompozitler için basma dayanımında ve eğilme mukavemetinde artış olduğu gözlemlenmiştir. Bununla birlikte % 7.5 SF ve % 2 NS'nın üzerinde takviyelerin beton karışımların basma dayanımlarını ve eğilme mukavemetlerinde düşüş olduğu görülmüştür [22].

Ficklera ve diğerleri (2015), iyi ısı yalıtım özelliklerini korurken basma dayanımını da arttırmak amacıyla silika aerojel granüllerinin yüksek mukavemetli çimento matrisine ilavesini araştırmışlar. Sonuç itibari ile basma dayanımlarının 3.0 MPa ile 23.6 MPa arasında olduğunu ısı iletkenlik değerlerinin ise 0.16 W/(m.K) ile 0.37 W/(m.K) arasında olduğunu gözlemlemişlerdir [28]. Pongsak Jittabuta (2015) nanosilika parçacıklarının basma dayanımı ve ısı iletkenlik üzerindeki etkilerini incelemiştir. Çalışmasında yüksek basma mukavemeti ve nispeten düşük termal iletkenlik sağlayan en uygun kompozisyonun % 4-5 nano silika içeren çimento harcının olduğunu ve termal iletkenlik değerinin ise 0.42-0.57W/(m.K) arasında değiştiğini ifade etmiştir [116].

Serina Ng ve diğerleri (2015), ultra yüksek performanslı beton (I-UHPC) yalıtım harcı ile aerojelin karışımını incelemişlerdir. Hacimsel olarak % 50'ik bir aerojel katkısının basma dayanımı değerini minimum 20 MPa değerinde tuttuğunu rapor etmişlerdir. AIM numunelerinin yaklaşık 0.55 W/(m.K)'lık bir termal iletkenlik değerinin olduğu ayrıca kayıt edilmiştir. Ancak aerojel içeriği özellikle hacimsel olarak % 80 gibi yüksek oranlarda katkılандığında, bu aerojel esaslı bileşimin mekanik mukavemetinde büyük bir düşüşe yol açmıştır [117].

Yapılan literatür çalışmasından da anlaşıldığı üzere, aerojel ve nano silika katkılı beton blokların mekanik özellikleri ile termal özellikleri üzerine herhangi bir çalışma yapılmamıştır. Literatürdeki bu boşluğu doldurmak için aşağıdaki çalışma yapılmıştır.

Bu çalışmada, mükemmel yalıtım ve iyi mekanik özelliklere sahip beton blokların üretimi amaçlanmış ve bu amaçla imeto harcı içerisine belli oranlarda arojel, nano silika, uçucu kül ve silis dumanı gibi katkı malzemeleri ilave edilmiştir. Üretilen beton blokların mekanik ve termal özellikleri incelenmiş ve sonuçlar SEM, BET gibi analiz yöntemlerinin yardımıyla yorumlanmaya çalışılmıştır.

BÖLÜM 3

DENEYSEL ÇALIŞMA

3.1. Giriş

Bu çalışmada, belli oranlarda arojel, nano silika, silis dumanı ve uçucu kül içeren beton blokların zaman ve maliyet kısıtlamalarından dolayı sadece basma ve eğilme gibi mekanik özellikleri, termal, fiziksel ve kimyasal özellikleri incelenebilmiştir.Çalışmada bütün testler 28 günlük 144 adet numune üzerinden yapılmıştır. Numunelerin özgül ağırlık, gözeneklilik, yığın yoğunluk, mikro yapı gibi fiziksel özellikleri, basma dayanımı, bükülme mukavemeti gibi mekanik özellikleri yanında termal özellikleri incelenmiştir. Çalışmada mekanik analizler için 40 x 40 x 160 mm boyutlarında kübik bloklar, termal özellikler için ise 300 x 300 x 20 mm boyutlarında numuneler kullanılmıştır.

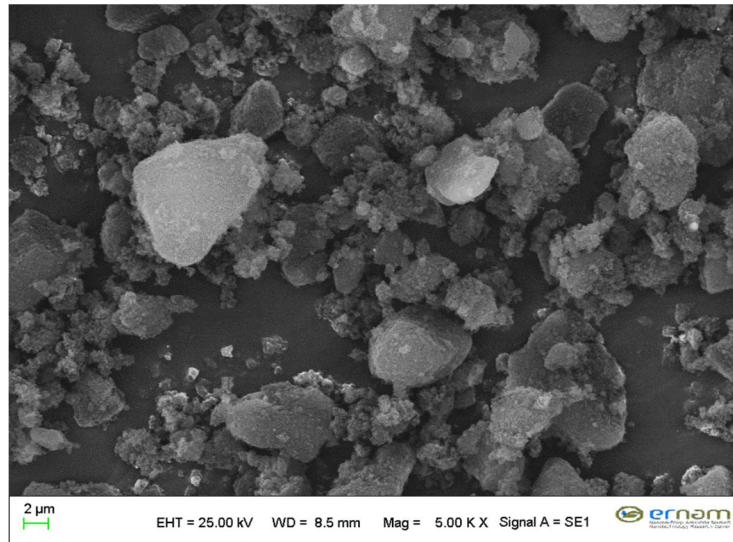
3.2. Kullanılan malzemeler

3.2.1. Arojel

Toz arojel, Rem Tech Co, L.t.d. (Kore) firmasından temin edilmiştir. Arojelin fiziksel özellikleri Tablo 1'de gösterilmektedir. Ayrıca, toz arojel için taramalı elektron mikroskop (SEM) görüntüsü şekil 1'de verilmiştir.

Tablo 3.1. Aerojelin fiziksel özellikleri

Technical data	Test method/Inspection	Unit	Measured value		
			Lower Limit	Upper Limit	Result
Particle size range	Master Sizer 2000 ASTM E2651-13	μm	2	20	10.98 (Mean Value)
Pore diameter (BET)	Micromeritics Tristar II 3020 ASTM D 1993-03 (2008)	nm	20	40	30.40
Tapped Density	J. Englesmann AG ASTM B-527-93	Kg/m^3	50	80	60
Surface chemistry	FT-IR		Hydrophobic	Hydrophobic	Hydrophobic
Thermal conductivity	NETZSCH LFA 457, DSC 200 F3 ASTM-E1461, ASTM-E1269	W/m.K at 25°C	0.016	0.020	0.019
Surface area (BET)	Micromeritics Tristar II 3020 ASTM D 1993-03 (2008)	m^2/g	300	400	364.36
Porosity	KSH ISO 2965	%	90	98	95



Şekil 3.1. Toz aerojelin SEM görüntüsü

3.2.2. Nano Silika

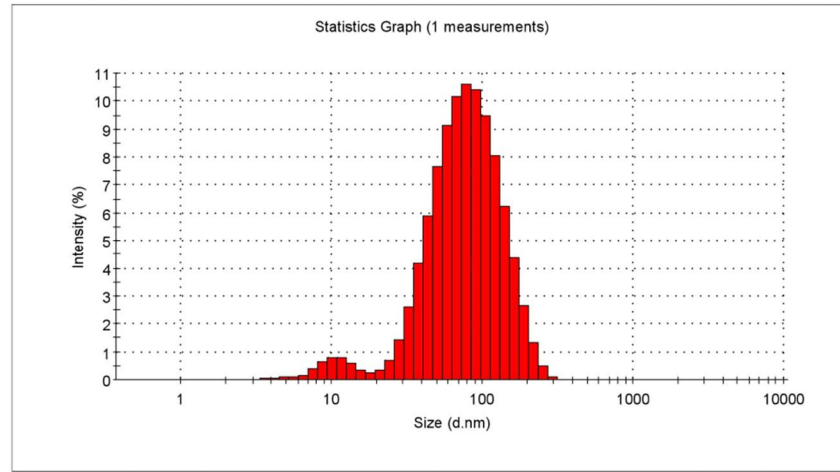
Bu çalışmada nano silika kaynağı olarak, AKZO Nobel pulp ve performans kimyasalları AB SE 445 80 Bohus Sweden tarafından Colloidal nano silica sağlandı (levasil CB17 ticari isim). Levasil CB17, betonda stabilite, ayrışma ve su kaybını kontrol etmek için kullanılan özel bir üründür.

Bu araştırmada kullanılan levasil CB17'nin tipik özellikleri Tablo 3.2'de gösterilmiştir. Şekil 3.2'de ERNAM Erciyes Nano Teknoloji Araştırma Merkezinde bulunan

ZetaSizer cihazı kullanılarak boyut analizi yapıldı. Kullanılan kolloidal sıvının boyut ortalaması 62.60963 nm olarak ölçülmüştür. Partikül dağılım aralığı ise yaklaşık 3 ile 150 nm arasında değişmektedir.

Tablo 3.2. Nano silikanın tipik özellikleri

SiO ₂ Ağırlıkça (%)	40
pH	9.4
Viskozite, (cP)	6
Yoğunluk, (g/cm ³)	1.3



Şekil 3.2. Çalışmada kullanılan Kolloidal Nano Silika'nın boyut dağılımı

3.2.3. Silis Dumanı

Çalışmada kullanılan silis dumanı, Antalya-Etibank Ferro-Chrome Fabrikasından temin edilmiştir. Kimyasal oksit bileşimi Tablo 4'te verilmiştir. Özgül ağırlık ve birim ağırlıkları sırasıyla 2.32 ve 245 kg/m³'tür. Pozzolanik kuvvet aktivite endeksi 28 günde % 122'dir. 45 mm elek üzerindeki silisdumanın geri kalan kısmı % 4.8 olarak ölçülmüştür.

Tablo 3.3. Çalışmada kullanılan silisdumanının kimyasal bileşimi (%)

Silis dumanı	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O	LOI
	81.40	4.47	1.40	0.82	1.48	1.35	n/a	n/a	7.26

3.2.4. Uçucu kül

Uçucu kül, Türkiye'nin Adana ili Yumurtalık ilçesinin Sugözü köyünde bulunan İSKEN-İskenderun Enerji Üretim Tesis'i'nden temin edildi. Kullanılan F sınıfı uçucu külün kimyasal bileşimleri Tablo 3.4'te verilmiştir. $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ toplam değeri %70'den yüksek olduğundan ve CaO miktarı %10'dan az olduğu için, mevcut uçucu kül ASTM C618 [30] spesifikasyonuna göre F türü ve düşük kireç uçucu külü olarak sınıflandırılır. Uçucu külün özgül ağırlığı (2.390) idi ve kalan 45 lm elekte %12 idi.

Tablo. 3.4 Uçucu külün (%) kimyasal bileşimleri

Oxide Fly ash	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	SO ₃	Na ₂ O	Free CaO	Cl-	LOI
	61.81	19.54	7.01	1.77	0.31	2.43	0.07	0.04	2.20

3.2.5. Çimento

Bu çalışmada kullanılan çimento, Kayseri Çimsa Çimento Sanayi ve Ticaret A.Ş.'den temin edilmiştir. CEM I 42,5R kodlu ve partikül yoğunluğu 3,14g/cm³ olarak piyasaya sürülmektedir. Kompozisyon detayları Tablo 3.4.'de verilmiştir.

Tablo 3.4. CEM I 42,5 Çimento Kimyasal Analizi (TS EN 196)

Bileşen	%
MgO	3,17
SO ₃	3,21
Kızdırma Kaybı	3,17
Na ₂ O	0,36
K ₂ O	0,74
Na ₂ O Eq.	0,85
Cl-	0,0097

3.2.6. Kum

Harç karışımlarının üretiminde kullanılan kum Limak CEN Standart kumdur ve TS EN 196-1 spesifikasyonuna uygundur. Standart kumun elek analizi ve standart değerleri Tablo 3.5'de sunulmuştur. Elek analiz sonuçlarının standartlar ile uyumlu olduğu bulunmuştur.

Tablo 3.5. Kullanılan kumun derecelendirilmesi ve standart limit değerleri

Kum tanelerinin çapı (mm)	0.08	0.16	0.5	1.0	1.6	2.0
Kalan (%)	99	87	72	34	6	0
Limitler (%)	99 ± 1	1.87 ± 5	67 ± 5	33 ± 5	7 ± 5	0

3.2.7. Su

Tüm çalışma boyunca damıtık su kullanılmıştır. Kullanılan suyun bağlayıcı oranı 0.4'tür.

3.3. Bloklar İçin Karışım Orantılandırma

3.3.1. Genel

Bu çalışmada, farklı agrega türlerinden farklı harçlar üretilmiştir; Isı yalıtımlı iki hafif harç çeşidi, farklı türden malzemeler kullanılarak hem kum içeren hem de kumsuz şekilde üretilmişlerdir. Hafif harçlar, aerojeli kum, nano silika, silis dumanı ve uçucu kül yerine agrega olarak kullanılarak geliştirilmiştir. Isı yalıtımı ve hafif bloklar için gerekli özelliklerin geliştirilmesine ilave olarak çimento miktarını azaltmak için çimento yerine diğer malzemelerin ikame edilmesi kum olmadan üretilmiştir.

3.3.2. Malzemelerin Oranları

Başlangıçta karışım içinde su ile birlikte yalnızca aerojel kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan aerojelin hidrofobik özelliklere sahip olmasından dolayı diğer agregalar ile uygun bir şekilde karıştırılamamıştır. Diğer taraftan aerojelin çok hafif olması nedeniyle havaya saçılması sağlık için bir risk oluşturmaktadır. Bundan dolayı aerojelin

diğer bütün özellikleri sabit tutularak hidrofilik hale dönüştürülmesi için önce aerojel fırına verilerek bir süre fırında bekletilmiş ve fırından alındıktan sonra soğumaya bırakılmıştır. Soğuma sonrası hacimsel olarak 1/0.7 (aerojel/metanol) oranında metanol ile muamele edilmiştir. Daha sonra diğer agregalar ile karışım hazırlanmıştır. Fakat daha sonraki çalışmalarda su diğer agregalar ile beraber aynı anda ilave edilmiştir. Yapılan ilk denemelerde başarısız olunmuş ve dökülen beton blokların çatladığı gözlemlenmiştir (şekil 3.3). Döküm esnasında yapılan gözle muayenede karıştırma zorluğu, kabarcık oluşumu gibi herhangi bir olumsuzlukla karşılaşılmamıştır. Kürlemeden sonra yapılan basma dayanımı testlerinde üretilen blokların basma dayanımlarının çok küçük olduğu tespit edilmiştir (şekil 3.4)

Yapılan ilk denemelerde beton harcı içerisine kum ilavesi yapılmamıştır. Sonuçların başarısız olmasından dolayı karışımlar, kum katkılı olarak modifiye edilmiş ancak harç içerisindeki kum oranının yüksek olmasından dolayı katılaşmış beton bloklar kalıptan çıkarılırken parçalanmışlardır. Yapılan ön denemeler neticesinde karışım oranları kabaca optimize edilmiş ve tüm numuneler için kabul edilen karıştırma oranları değiştirilmiştir. Hidrofobik özellik aerogeller için önemli bir özelliktir. Harç içerisinde bulunan aerogelin bu özelliği sayesinde betonun fazla su emmesi engellenmiş olur. Dolayısı ile betonun ısı yalıtım kapasitesi de bu sayede artırılmış olacaktır. Aerojelde bulunan nemin uzaklaştırılması amacı ile malzeme fırında 130°C sıcaklıkta 15 dakika süreyle bekletilmiştir.



Şekil 3.3. Fazla miktarda kum ve aerojel içeriği nedeniyle blokta meydana gelen çatlaklar



Şekil 3.4. Denemelerde üretilen blokların basma dayanım testindeki başarısızlığı

Hazırlanan harç karışımlarının su/bağlayıcı oranı %40'dır, kum/bağlayıcı oranı ise %60 tır. Ancak kısmi olarak tüm numunelerde bir miktar değiştirilmiştir. Bununla beraber karşılaştırma yapabilmek amacıyla bir beton blokta agrega olarak sadece aerojel kullanılmıştır. Çimento harcında agrega olarak kullanılan silis dumanı, uçucu kül, nano silika ve aerojel katkı oranları Tablo 3.7'de gösterilmektedir.

Tablo 3.6. Agrega olarak kullanılan malzemeler ve karışım oranları

Tip	Miktarlara Göre Karışım Oranları						
	Bağlayıcı matrisi (Toplam Karışımın %40'ı)				Agrega (Kum ve hava jelinin hacmi harç numunesinin hacimce %60'ı)		Bağlayıcı suyu
	Çimento	Silis dumanı	Uçucu kül	Nano silika	Kum	Aerojel	
Referans	100%	0	0	0	100%	0	40%
Grup N (Nano silika)	99%	0	0	1%	100%	0	40%
	98%	0	0	2%	100%	0	40%
	97%	0	0	3%	100%	0	40%
	90 %	10%	0	0	100%	0	40%
Grup SN (Nano silika + silis dumanı)	89%	10%	0	1%	100%	0	40%
	88%	10%	0	2%	100%	0	40%
	87%	10%	0	3%	100%	0	40%
	90%	10%	0	0	40%	60%	40%
Group ASN (Nano silika + silis dumanı)	89%	10%	0	1%	40%	60%	40%
	88%	10%	0	2%	40%	60%	40%
	87%	10%	0	3%	40%	60%	40%
	50%	0	50%	0	100%	0	40%
Group FN (Nano silika + Uçucu Kül)	49%	0	50%	1%	100%	0	40%
	48%	0	50%	2%	100%	0	40%
	47%	0	50%	3%	100%	0	40%
	50%	0	50%	0	40%	60%	40%
Group AFN (Nano silika + Uçucu Kül + aerojel)	49%	0	50%	1%	40%	60%	40%
	48%	0	50%	2%	40%	60%	40%
	47%	0	50%	3%	40%	60%	40%
	100%	0	0	0	40%	60%	40%
Group AN (Nano silika + aerojel)	99%	0	0	1%	40%	60%	40%
	98%	0	0	2%	40%	60%	40%
	97%	0	0	3%	40%	60%	40%
	49%	10%	40%	1%	0	100%	40%
Group (L) (Nano silika + Uçucu Kül + aerojel + silis dumanı)							

Bu çalışmada su oranı, karışımı oluşturan malzemelerin ihtiyaçlarına bakılmaksızın bütün karışım oranları için sabit tutulmuştur. Aerojel ve nano silikanın yüksek su emme kapasiteleri bulunmaktadır bundan dolayı silis dumanı ve uçucu kül gibi diğer karışım malzemelerine göre çok daha fazla suya ihtiyaç duyarlar.

3.4. Deneyler

3.4.1. Test Örneği İçin Malzemelerin Karıştırılması

Her bir test numunesi için, karışımı oluşturan malzemeler her defasında harç karıştırıcısı ile taze olarak hazırlanmış ve kalıplara bu şekilde alınmıştır. Ancak aerojel karışım öncesi 15 dakika boyunca 130°C'de fırında bekletilmiş ve soğuduktan hemen sonra metanol ile işleminden geçirilerek karışıma dahil edilmiştir.

3.4.2. Katılaşmış Harç Karışımlarının Fiziksel Özelliklerinin Belirlenmesi

Bu çalışmada katılaşmış harçların yoğunluk ve gözeneklilik gibi özelliklerinin yanı sıra morfolojik ve mikroyapısal karakterizasyonları da yapılmıştır.

3.4.2.1. Kütleli Yoğunluk

Kütleli yoğunluk, birim hacim başına düşen kütle olarak tanımlanabilir. Hacimsel kütle yoğunluğu olarak adlandırılır ve ρ olarak ifade edilir.

$$\text{Yoğunluk} = \text{kütle} / \text{hacim}$$

$$d = m / v$$

Yoğunluk testi, grup (AFN) hariç tüm gruplar için normal şartlar altında 1. Gün sonunda ölçülmüştür. Çeşitli kürleme işlemlerinden dolayı bazı numunelerin 28. gün sonunda da ölçümleri yapılmıştır.

3.4.2.2. Gözenek boyutu ve BET Yüzey Alanı

Ölçümler, gözeneklerin ve BET Yüzey Alanının türünü ve boyutunu belirlemek amacıyla her bir gruptan sadece bir örnek (Re, A, N3, ASN3, AFN3, L) için yapılmıştır.

3.4.2.3. Morfolojik ve Mikroyapısal Karakterizasyon

Taramalı elektron mikroskobu (SEM), raster tarama modelinde yüksek enerjili bir elektron demeti tarayarak numune yüzeyini görüntüleyen bir elektron mikroskopudur. Elektronlar, numuneyi oluşturan atomlarla etkileşime girerek, numunenin yüzey topoğrafyası, bileşimi hakkında bilgi içeren sinyaller üretir.

Mikroyapısal çalışmalar, 28 günlük numunelerden alınan kırık parçalar üzerinde taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanılarak gerçekleştirildi. BET analizi ise bu numunelerden öğütülerek hazırlanmış numneler üzerinde yapılmıştır. Testler, her bir gruptan sadece bir örnek (Re, A, N3, A-SF-N3, A-ASH-N3, L) için yapılmıştır.

3.4.3. Harçların Mekanik Özelliklerinin Belirlenmesi

Bu çalışmada eğme ve basma mukavemeti gibi mekanik özellikler incelenmiştir.

3.4.3.1. Harç blokların eğme mukavemeti

Harçların eğilme dayanımları TS EN 1015-11'e göre belirlenmiştir. Esneklik testi, deney numunesinin gerilme mukavemetini belirtir. Analizlerde, 40x40x160 mm ebatlarında prizma şeklindeki numuneler kullanılmıştır. Prizma kalıpların içerisine taze harç doldurulduktan sonra sıkıştırma uygulanması için sarsma masasına yerleştirilmiştir. Taze harcın konulduğu sarsma tablasına 60 saniye boyunca titreşim verilmiştir. Bu işlemten sonra çeşitli kürleme/kürleme stratejileri incelenmiş ve sonuçlar tartışılmıştır.

1. Numuneler, ilk döküm sonrasında 24 saat süre ile hava ile kurutuldu (Şekil 3.5). Daha sonra ilgili iklimlendirme kabiniinde 25 °C sıcaklıkta ve %50 bağıl nemde 7 gün boyunca bekletildi (Şekil.3.6). Daha sonra yaklaşık 25 °C'lik oda sıcaklığında 21 gün hava ortamında bekletildi (Şekil 3.7)



(a)



(b)

Şekil 3.5. Test numuneleri (a) 300x300x20 mm kalıpta, (b) 40x40x160 mm kalıpta



Şekil 3.6. 7 günlük numuneleri iklimlendirme kabini içerisinde + 25 °C



(a)



(b)

Şekil 3.7. Belirlenen test zamanına kadar hava ortamında kürlenene numuneler

2- Numuneler, başlangıçta 24 saat boyunca hava ortamında kurumaya bırakıldıktan sonra katılaştırmaları için su havuzunda 7 gün bekletildi (şekil.3.8). Numuneler, 7 gün sonra sudan çıkarıldı ve yaklaşık 25 °C'lik oda sıcaklığında 21 gün hava ortamında bekletildi. Daha sonra basma dayanımları ve eğme mukavemetleri ölçüldü.



Şekil 3.8. Su havuzunda küremeye bırakılan numuneler

3- 24 saatlik bekleme süresinden sonra kalıplardan alınan numuneler 28 gün boyunca kürlenmek üzere su havuzuna daldırılmışlardır. Numuneler, 28 gün sonra sudan çıkarıldı ve yaklaşık 25 °C'lik oda sıcaklığında 24 saat hava ortamında doğal kurumaya bırakıldı, daha sonra testler yapıldı.

Eğme testinde, test numuneleri eğme test makinesi üzerine yerleştirildi. Sonra kırılma oluşana kadar numunenin üst orta kısmına saniyede $N \pm N$ oranında kuvvet uygulandı (Şekil 8). Harç örnekleri sadece 28. günde test edildi. Herbir karışım için üç numune test edildi. Eğme test düzenekleri şekil 3.9 (a, b, c, d) 'de gösterilmiştir.



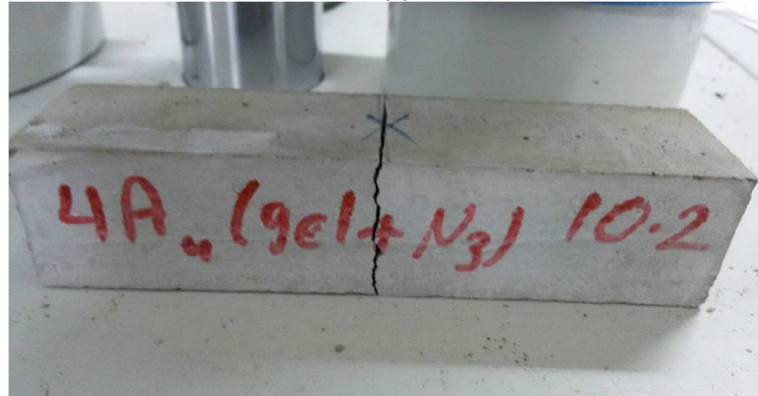
(a)



(b)



(c)



(d)

Şekil 3.9. Çeşitli numuneler için eğme testi

3.4.3.2. Harçların Basma Dayanımı

Bu deneyde, eğilme mukavemeti testinden hemen sonra alınan test numuneleri, bir test numunesi olarak kullanılmıştır. Harç örneklerinin basma dayanımları 28 günde test edilmiştir. Üç numune test edilmiştir. Test numuneleri, basma dayanım test makinesine konulmuştur (Fotoğraf 3.9). Tekdüze dağılmış kuvvet, test örneğinin üst yüzeyinde (40 x 40 mm) saniyede 500 N hızla kırığa kadar uygulanmıştır (Fotoğraf 3.10).

Fotoğraf 3.9 Test numuneleri, basma dayanım testi makinesinin üzerine



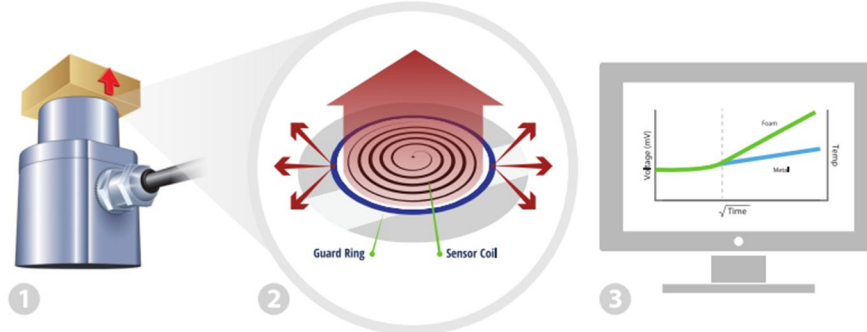
Şekil 3.10. Basma dayanım testi sonrası numuneler

3.4.4. Farklı blokların TCi Termal İletkenlik Analiz Cihazı ile ısıl iletkenlik katsayısının tayini

3.4.4.1 TCi Termal İletkenlik Analiz Cihazı

Varsayılan C-Therm TCi Isı İletkenliği analizörü, malzemelerin ısıl iletkenliğini ve etkinliğini karakterize eden Değiştirilmiş Geçici Düzlem Kaynak (MTPS) tekniğini kullanmaktadır. TCi, numuneye bir anlık sabit ısı kaynağı uygulayan tek taraflı, ara yüzey ısı yansıtma sensörü kullanmaktadır. Diğer cihazların aksine, TCi, katı, sıvı, toz halinde ve karışık haldeki malzemelerin termal iletkenliğini ölçebilmektedir. Buna ek olarak, sadece bir tarafı kullanarak ısıl iletkenliği ölçülebilir. 300 x 300 x 20 mm boyutlarındaki tüm numuneler, üç nokta termal iletkenlik testine tabi tutulmuştur.

Tipik olarak, ölçüm darbesi 1 ila 3 saniye arasındadır. Termal iletkenlik ve etkinlik doğrudan ölçülür ve numune malzemesinin ısı transfer özelliklerine ayrıntılı bir bakış sağlar. (Şekil 3.11)



Şekil 3.11. Numune malzemesinin ısı transfer özelliklerine genel bakış.

Nasıl Çalışır?

- (1) Algılayıcının spiral ısıtma elemanına az miktarda ısı sağlayan bilinen bir akım uygulanır.
- (2) Bir bekçi halkası, numuneye bir boyutlu ısı transferini desteklemek için birincil sensör bobinini sarar. Uygulanan akım, sensör ve numune arasındaki arayüzde sıcaklık artışı ile sonuçlanır ve sensör elemanının voltaj düşüşünde bir değişiklik meydana getirir.

(3) Sensör gerilimindeki artış oranı, numunenin termal özelliklerini belirlemek için kullanılır. Voltaj, fabrikada kalibre edilmiş olarak sıcaklığa ayarlanmıştır. Isı iletkenliği, sensör ile numune arasındaki temas noktasındaki sıcaklık artış hızıyla ters orantılıdır. Voltaj, sıcaklığın temsilcisi olarak kullanılır ve daha düşük termal iletkenlik malzemeleri test edildiğinde daha dik yükselir. Tersine, voltaj eğimi, daha yüksek termal iletkenlik malzemeleri için daha düz olacaktır. C-Therm TCi ile sonuçlar gerçek zamanlı olarak rapor edilmekte ve termal iletkenlik ölçümleri hızlı ve kolay olmaktadır.

3.4.4.2. Örnekleri ve Test Prosedürü Blokları

Bu araştırmada, blokların ısı iletkenlik katsayısını belirlemek için blok türleri oluşturulmuştur. Bu araştırmada blokların büyüklüğü kullanılmıştır. Daha önce de açıklandığı gibi, farklı hafif harç şekillendirilerek 300 x 300 x 20 mm boyutlarındaki termal iletkenlik katsayısı oluşturulmuştur. Dolayısıyla termal iletkenlik katsayısını oluşturmak ve aralarında karşılaştırma yapmak için farklı malzemelerle birkaç blok oluşturulmuştur.

BÖLÜM 4

SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR

4.1. Giriş

Bu bölümde, farklı malzeme türlerinden (aerojel, nano silika, silis dumanı, uçucu kül, kum ve çimento) yapılmış harçların sertleştirilmiş karışım özellikleri (fiziksel olarak) ve mekanik özellikleri birlikte kullanılmış ve belirtilen gruplara göre ayrılmış deneysel test sonuçları ele alınmıştır. Önceki bölümde, harç için yoğunluk, gözeneklilik, mikroyapı, bükülme mukavemeti, basma dayanımının deneysel test sonuçları verilmiştir. Ayrıca, bu bölümde termal iletkenlik test sonuçları da açıklanmıştır.

4.2. Yapılan Testler

4.2.1. Dökme yoğunluğu

Tablo (4.7 4.8) ve Şekil 4.14'te olduğu gibi farklı kütleme türlerinin kullanılması nedeniyle (AFN) bir günlük kürlemeden sonra hesaplanan dökme yoğunluğu verilmiştir.

Tablo 4.1. Harç karışımlarının 1. Gün sonundaki yığın yoğunluk değerleri

	gruplar	namuna adı	Ağırlık gm	dökme yoğunluğu
1	Re	Re35%	588.33	2.298
1		Re 40%	550.3	2.149
2	Grup N	N1	543.3	2.122
3		N2	543.3	2.122
4		N3	534.5	2.08
5	A	A 40%W	508	1.984
6		A 45%W	472	1.843
7	Grup N+A	AN1	504	1.969
8		AN2	505	1.972
9		AN3	500	1.953
10	Grup N+S	SF	522	2.039
11		SFN1	531.8	2.077
12		SFN2	531.5	2.076
13		SFN3	528.3	2.063
14	Grup N+F	ASH	491.6	1.918
15		ASHN1	495	1.934
16		ASHN2	489.6	1.912
17		ASHN3	498	1.945
18	Grup N+A+S	A- SF	489	1.910
19		A-SF-N1	495	1.933
20		A- SF-N2	481	1.874
21		A-SF-N3	489	1.910
22	Grup N+F	A- ASH	461.5	1.802
23		A-ASH-N1	457	1.786
24		A-ASH-N2	458.5	1.791
25		A-ASH-N3	454.5	1.777
26	L	L	424.83	1.659
27		LW28	421.83	1.647

Tablo 4.2. Grup (N+A+F) için 1. ve 28. Gün sonunda ölçülen yığın yoğunluklar

	gruplar	Ağırlık gm 1 gün sonra	dökme yoğunluğu 1 gün sonra	Ağırlık gm 28 gün sonra	dökme yoğunluğu 28 gün sonra
1	Re	550.33	2.149	541	2.11
2	A-ASH	461.5	1.802	428.833	1.675
3	A-ASHN1	457.33	1.78	427.5	1.669
4	A-ASHN2	458.5	1.791	413.66	1.615
5	A-ASHN3	454.5	1.77	409	1.597
6	A-ASH)7	462.33	1.805	437.166	1.707
7	A-ASHN1)7	457.33	1.786	429.66	1.678
8	A-ASHN2)7	453.33	1.770	425.5	1.662
9	A-ASHN3)7	456.36	1.782	427.66	1.670
10	A-ASH)28	459.66	1.795	469.83	1.835
11	A-ASHN1)28	464.33	1.813	469.66	1.834
12	A-ASHN2)28	464.66	1.815	467.66	1.826
13	A-ASHN3)28	455	1.77	457.33	1.786

4.2.2. Gözenek boyutu ve BET Yüzey Alanı

1-Referans numunesi için ortalama gözenek boyutu 206.661 Å.

2- Silika aerojelin numune içindeki ortalama gözenek boyutu 308.701 Å. Silika aerojel, tüm numunelerde yapı içinde reaksiyona girmeyen nötr yapıya sahip alanların oluşumun neden olmuştur ve yapının her yerine dağılmıştır. Ayrıca, kullanılan metanol nedeniyle küçük gözenek oluşumundan dolayı yapı içinde çatlaklar oluşmuştur. Buna karşılık nemlilik örneklerin basma ve eğilme direncini etkilemiştir.

3- Nano silika içeren numuneler için ortalama gözenek boyutu 197.938 Å'dır.

4- Ortalama gözenek boyutu 171.241 Å olan (ASN3) numunesi için, nanoparçacıklar yüksek yüzey/hacim oranına sahiptir, bu da potansiyel olarak artan yüzey alanı demektir. Artan yüzey alanı ile birlikte yüzey reaksiyonu artar ve çözünme kolaylaşır.

5- Uçucu kül parçacıklarının içi boş ve küresel yapısı yapısı daha belirgin gözenekliliğe katkıda bulunur ve ayrıca aerojel gözenek çapı ASH çapından çok daha küçüktür. Bunun yanında, SEM görüntülerinde, uçucu kül partiküllerinin kısmi reaktivitesi

gözlemlenmiştir. Dahası, EDX analizi (Şekil 9) çimento esaslı malzemelerde bulunan tipik hidratasyon ürünlerini göstermektedir.

6- Numune (AFN3) için ortalama gözenek boyutu 167.8590 Å.

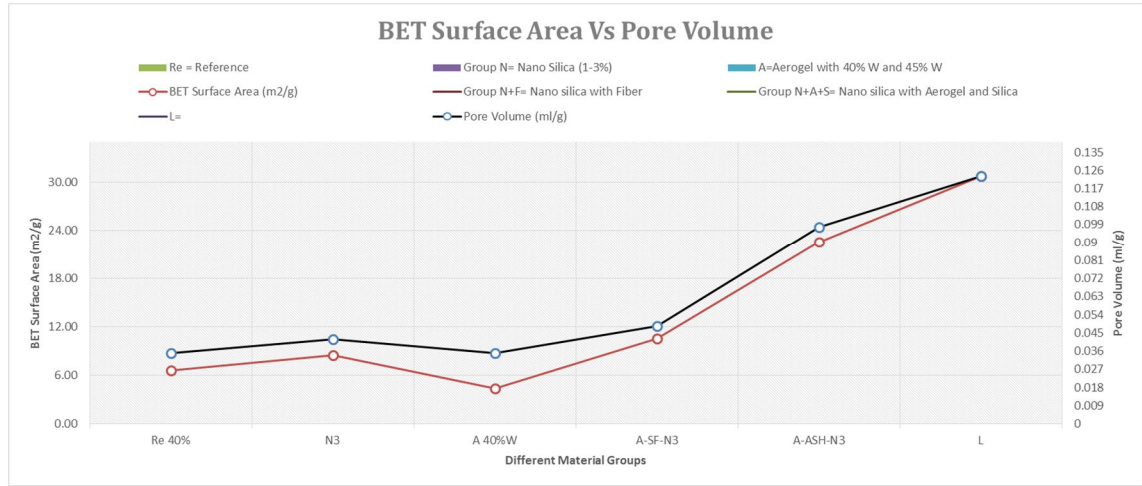
7- Numune için (L) ortalama gözenek boyutu 152Ç63Å.

L numunesi yaklaşık 30.8343 m²/g'lik en yüksek yüzey alanı BET'e sahip olmasına karşılık, (ANF) numunesi yaklaşık 22.5266 m²/g civarında yüzey alanına sahiptir ve mevcut en az gözenek sayısı aerogel içeren numunelerdedir.

BET, gözenek boyutu, gözenek hacmi ve EDX analizi Tablo (4.3) 'te gösterilmektedir.

Tablo 4.3. BET, gözenek boyutu, gözenek hacmi ve EDX analizi

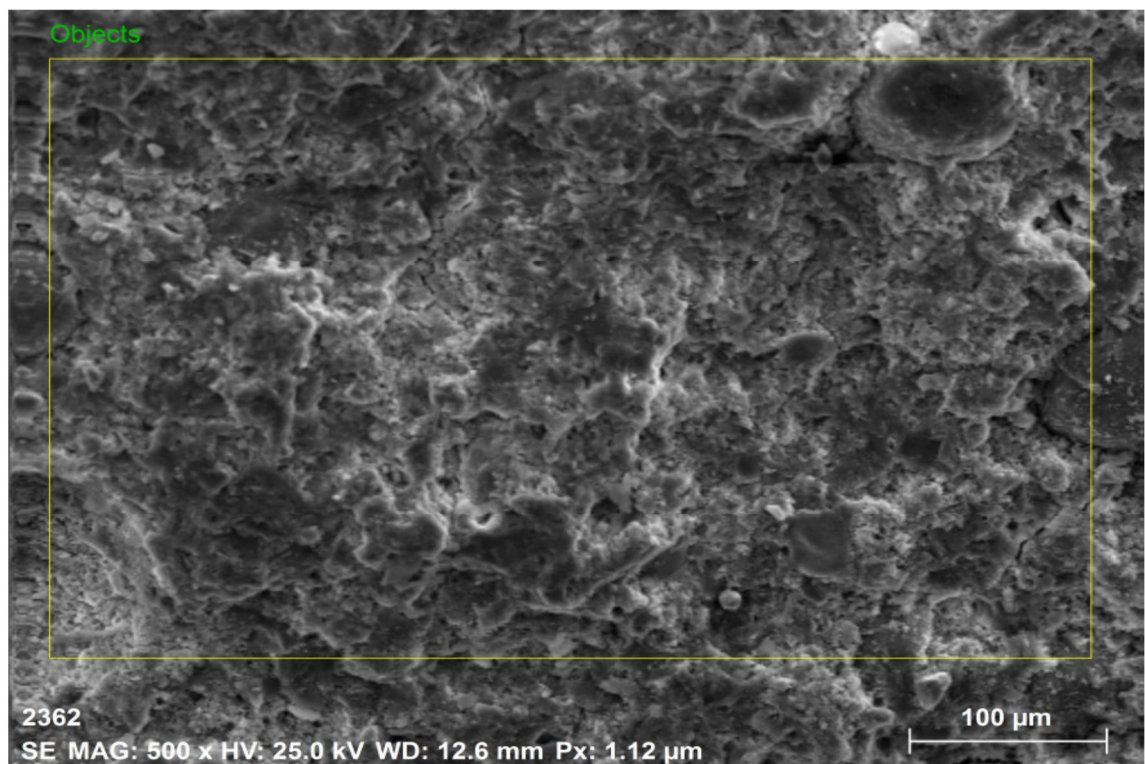
	BET(m ² /g)	Gözenek boyutu (Å)	Gözenek hacmi (cm ³ /g)	Ca/Si [wt.%]
Re	6.5690	206.6618	0.033939	2.347
N3	8.4535	197.9386	0.041832	4.266
A	4.3622	308.7019	0.033665	4.158
ASN3	10.5358	171.2418	0.045104	3.498
AFN3	22.5266	167.8590	0.094533	1.547
L	30.8343	152.6326	0.117658	1.575



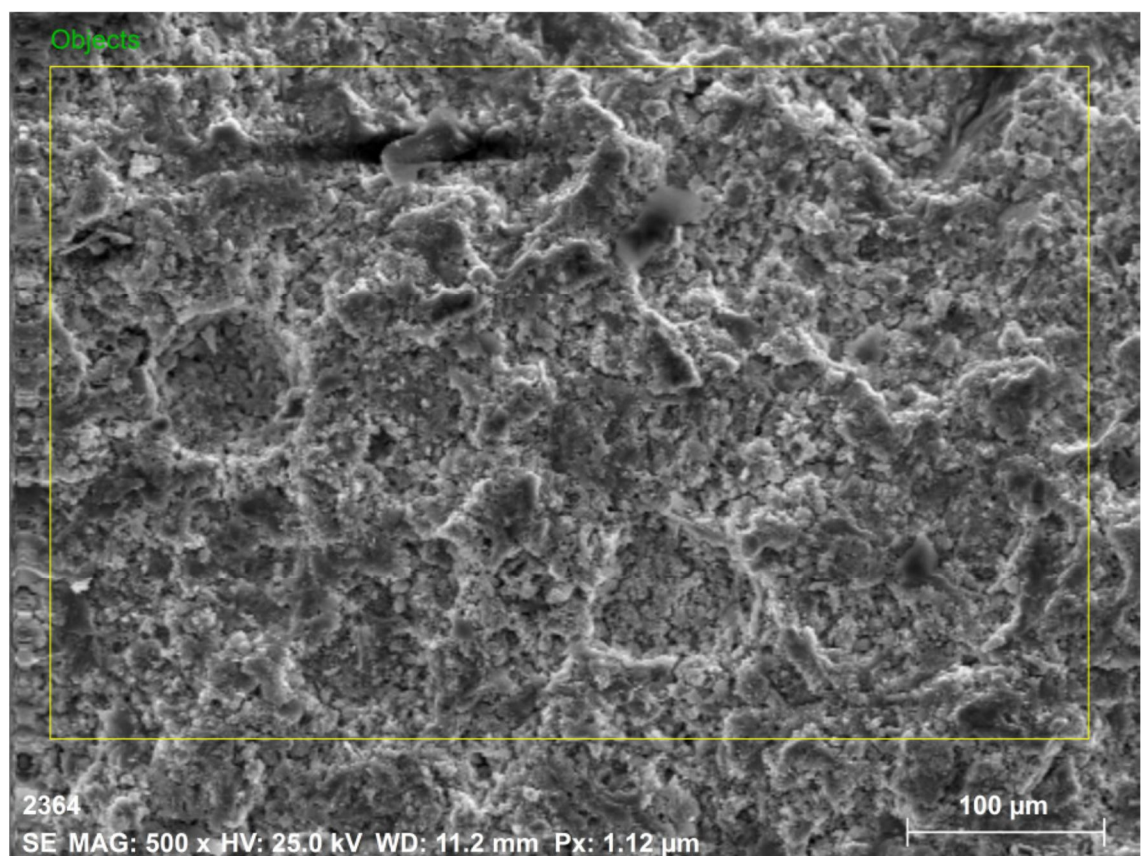
Şekil 4.1. BET Yüzey alanı ve gözenek hacminin karşılaştırılması

4.2.3. Mikroyapısal ve Morfolojik Karakterizasyon

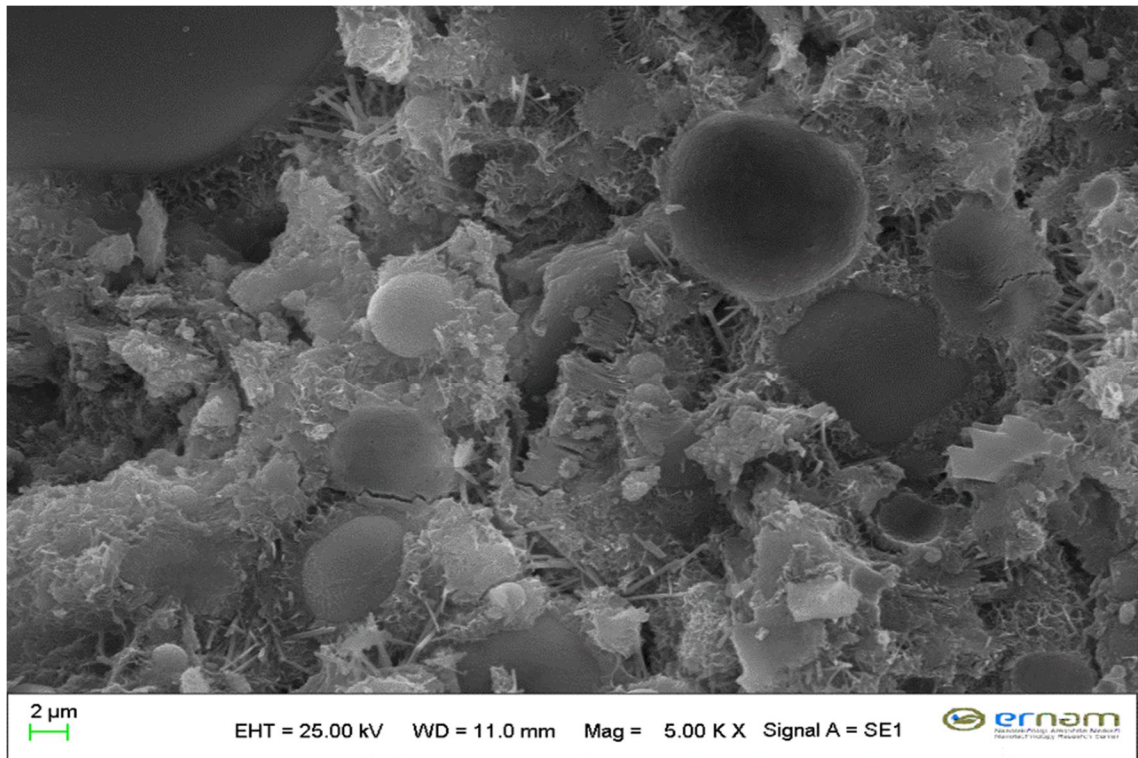
Şekil 4.2'de morfolojik ve mikroyapısal karakterizasyon taramalı elektron mikroskopik (SEM) görüntüleri silika aerogellerin inert yapılarını göstermektedir. Dahası ilave metanol nedeniyle gözenekler SEM görüntülerinde daha küçük görülebilmektedir.



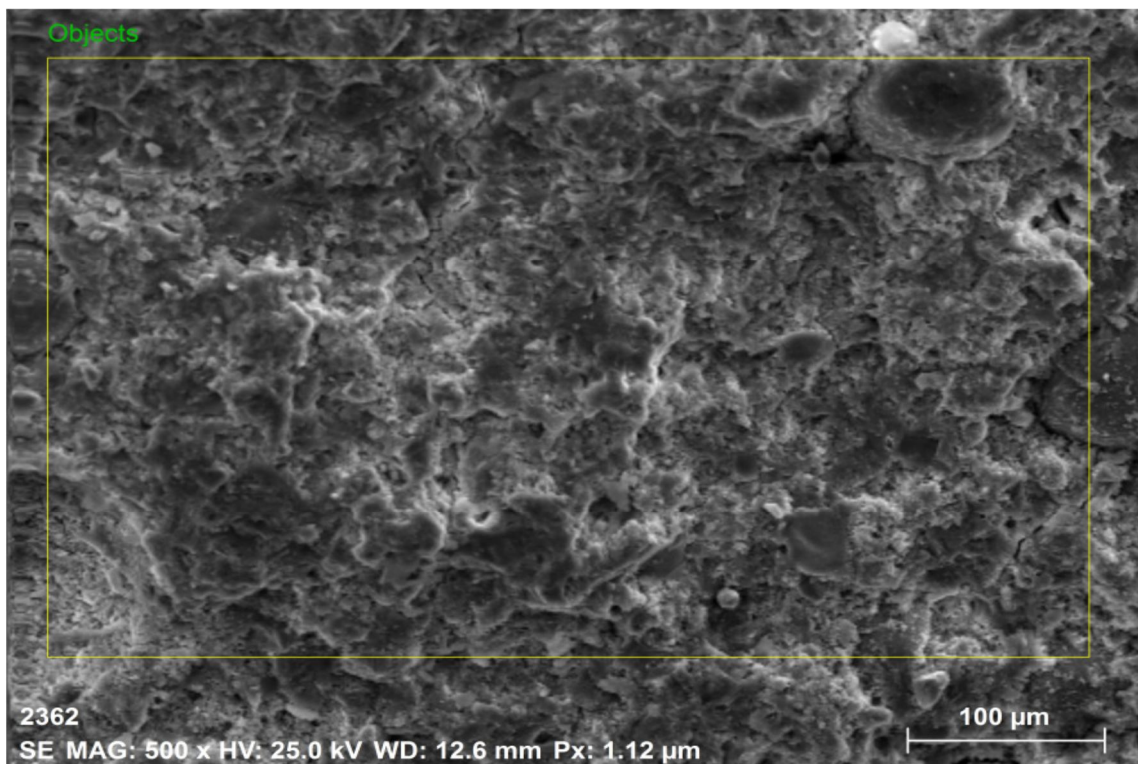
(a)Referans örneği



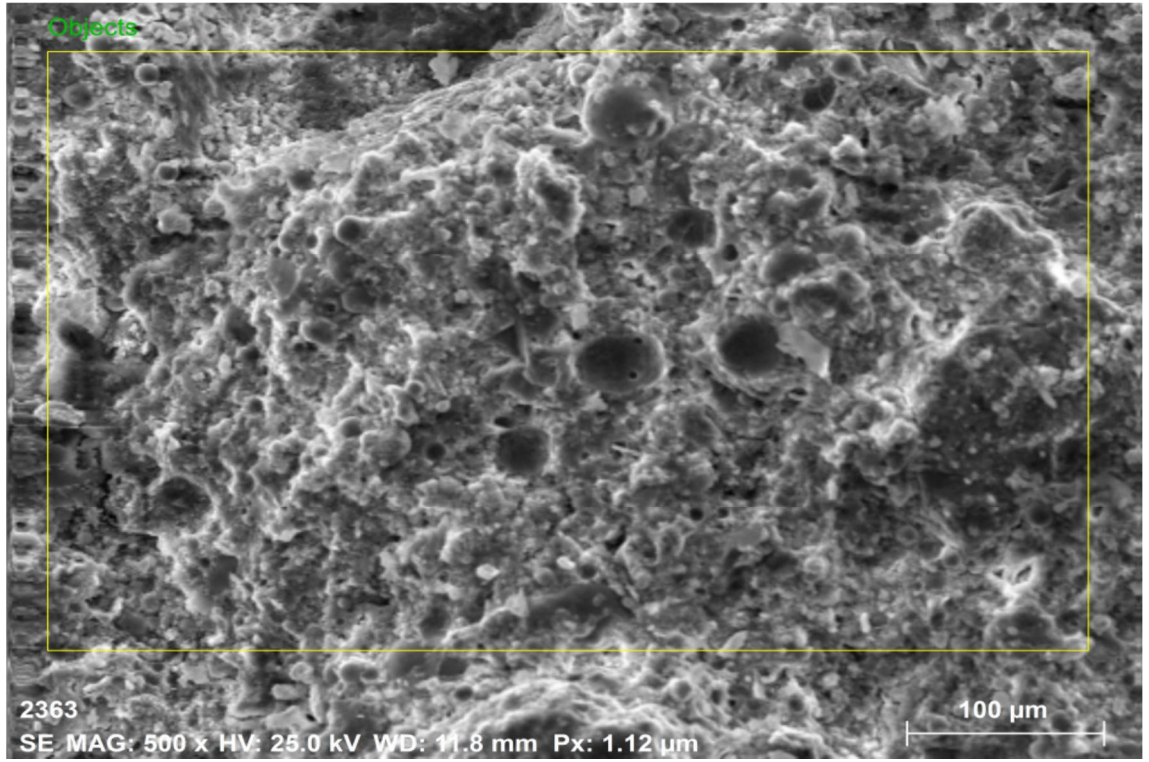
(b)Aerojel örneği



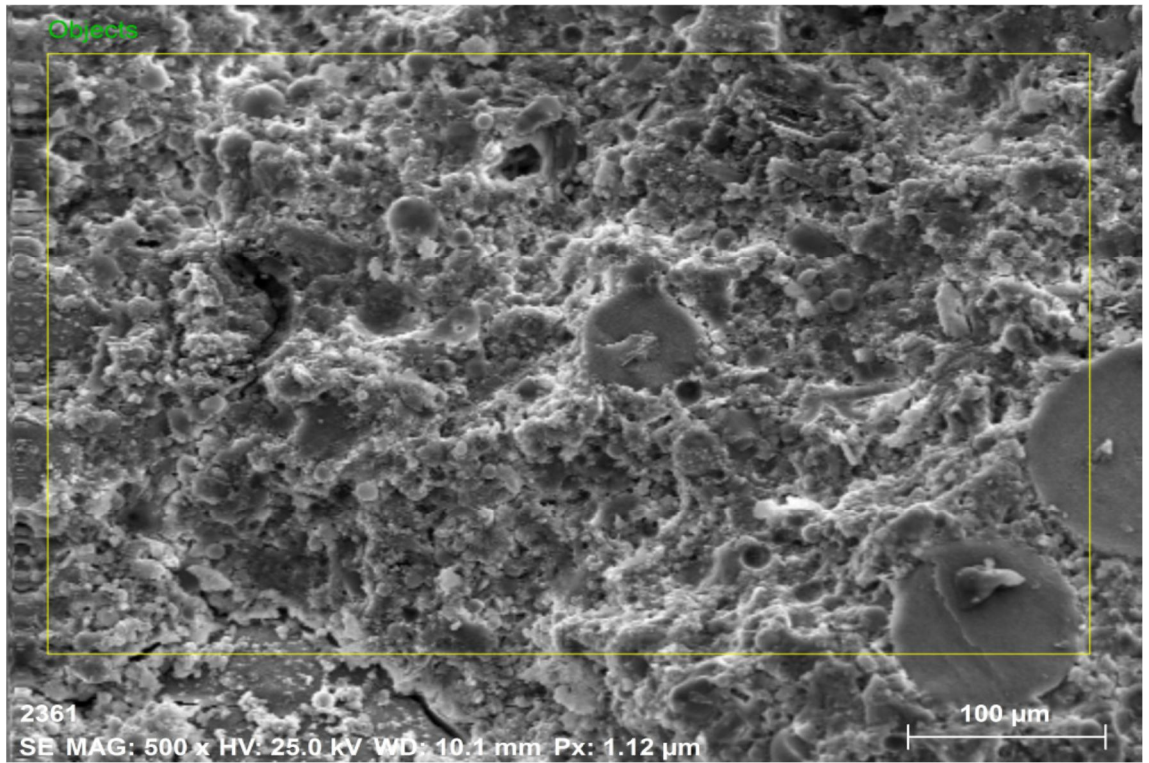
(c) Nano silica örneği



(d) (ASN3) örneği



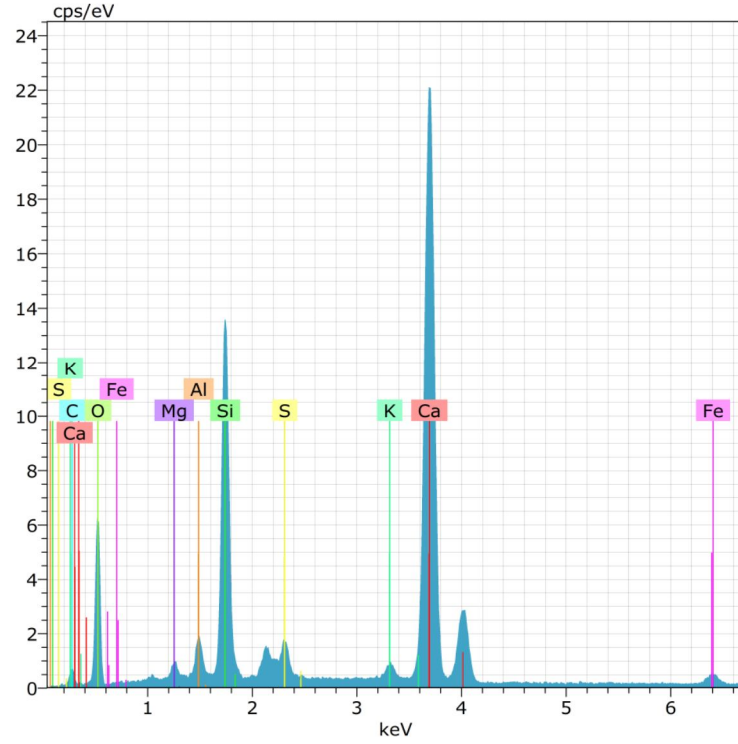
(e)(AFN3) Örneği



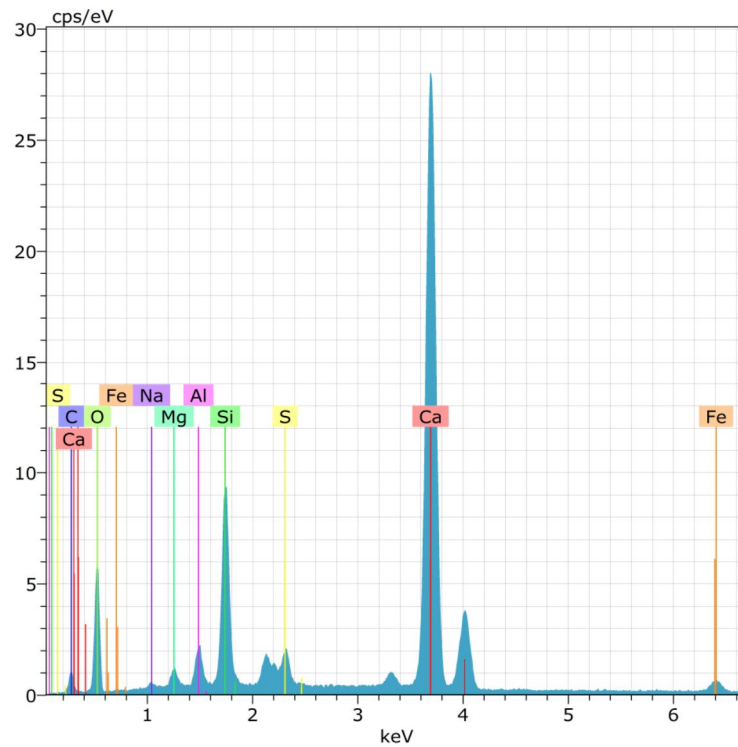
(F) (L) örneği

Şekil 4.2. Grupların örneklerinden SEM görüntüleri

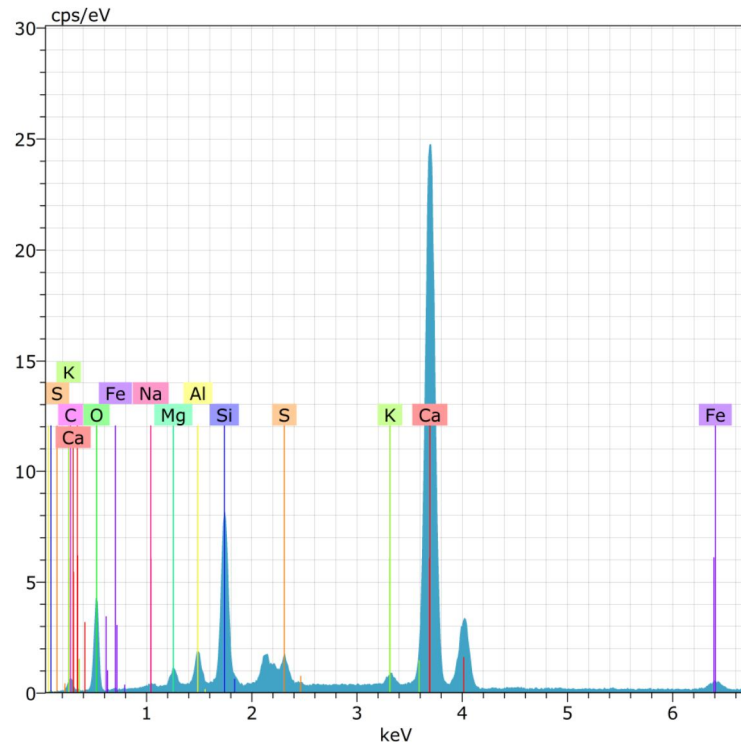
EDX analizleri (Şekil 9) çimento esaslı malzemelerde bulunan tipik hidrasyon ürünlerini göstermiştir.



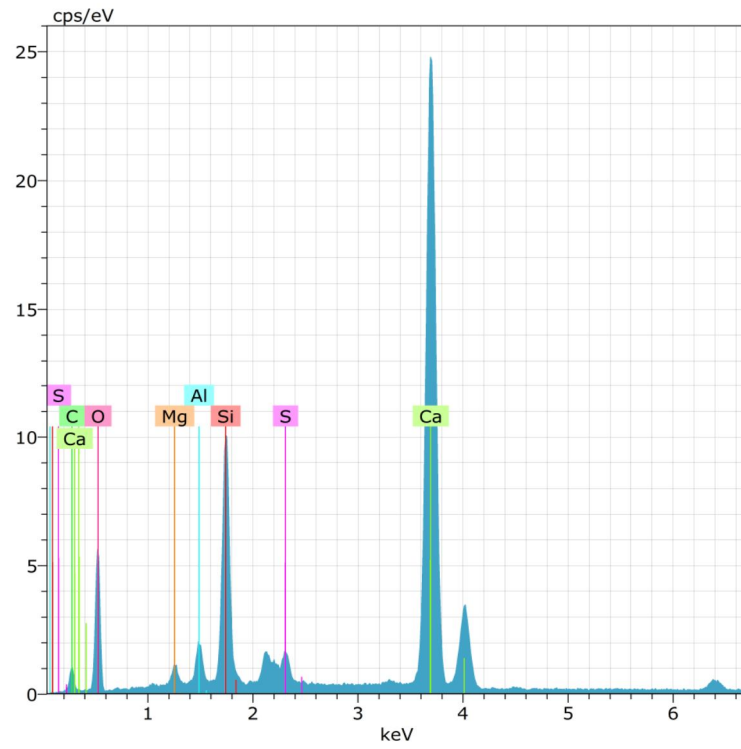
(a) Örnek referans numunesinin iç yüzeyinden bir alanın EDX haritalaması



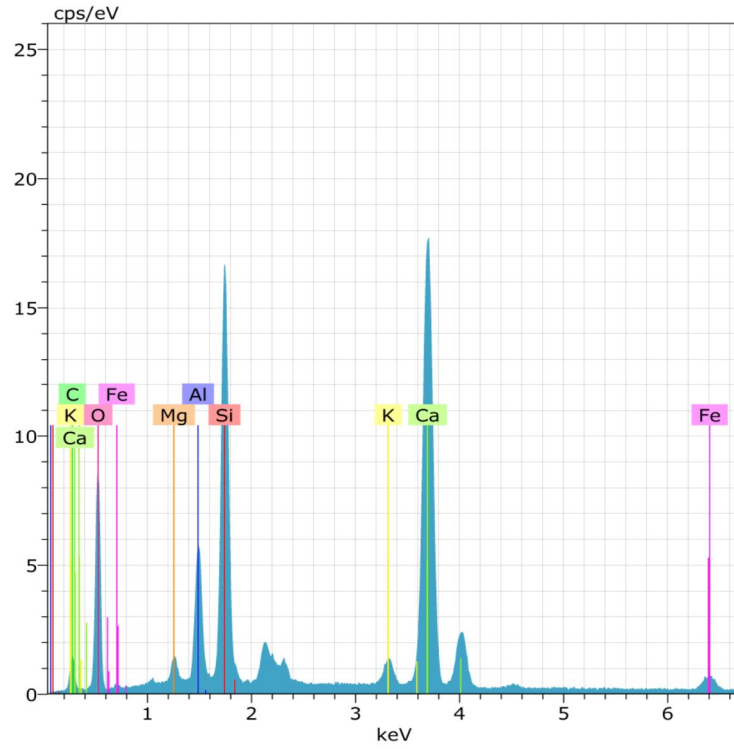
(b) Numune aerogelinin iç yüzeyinden bir alanın EDX haritalaması



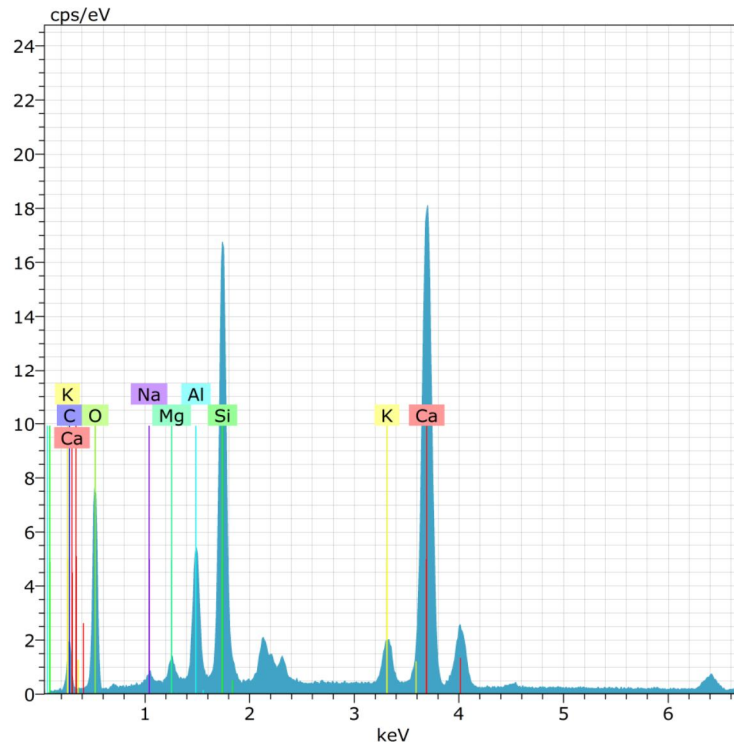
(c) Numunenin iç yüzeyinden bir alanın EDX haritalaması N3



(d) Numunenin iç yüzeyinden bir alanın EDX haritalaması (ASN3)



(e) Numunenin iç yüzeyinden bir alanın EDX haritalaması (AFN3)



(f) Numunenin iç yüzeyinden bir alanın EDX haritalaması (L)

Şekil 4.3. Grup örneklerinin iç yüzeylerinden bir alanın EDX haritalamaları

4.2.4. Eğilme Mukavemeti Testi

Hafif blokların bükülme mukavemetine ilişkin sonuçlar sırasıyla Tablo 4.15 ve Tablo 4.16'da verilmiştir. En yüksek değerler (% 40 su) referans numunesi için (10.71 MPa) iken (% 35 su) referans numunesi için (11.67 MPa)'dır. (% 45 su) aerogel içeren örnekler için (6.07), (% 40 su) içeriğe sahip aerogel için bu değer (8.11 MPa)'dır. Bu değer referans numuneden yaklaşık %24 daha düşüktür. Çalışmada hazırlanan örneklerin geri kalanları için sonuçlar aşağıdaki gibidir:

1- Nano partikül içeren Grup (N) numuneleri için eğme mukavemet değerleri (8.8, 8.69, 9.23 MPa)'dır. Bu değerler referans numunenin değerinden yaklaşık yüzde %19 daha düşüktür.

2- Aerogel ve nano Si içeren Grup (AN) numuneleri için eğme mukavemet değerleri (8.01, 7.04 ve 7.79 MPa)'dır. Bu değerler referans numunenin değerinden yaklaşık yüzde %34 daha düşüktür.

3- Aerogel ve silis dumanı içeren Grup (ASN) numuneleri için eğme mukavemet değerleri (8.31, 7.62 ve 8.25 MPa)'dır. Bu değerler referans numunenin değerinden yaklaşık yüzde %26 daha düşüktür. Bu azalış Grup AS numuneleri için %35,5 civarındadır ve eğme mukavemet değeri 6,90 MPa'dır.

4- Aerogel ve uçucu kül içeren Grup (AFN) numuneleri için eğme mukavemet değerleri (6.57, 5.48, 5.74 MPa)'dır. Bu değerler referans numunenin değerinden yaklaşık yüzde %48,8 daha düşüktür. Bu azalış Grup AF numuneleri için % 41 civarındadır ve eğme mukavemet değeri 6,31 MPa'dır.

5- Silis dumanı içeren Grup (NS) numuneleri için eğme mukavemet değerleri (9.89, 9.40, 9.14 MPa)'dır. Bu değerler referans numunenin değerinden yaklaşık yüzde % 15 daha düşüktür. Bu değerler referans numuneden sonra en yüksek değerlerdir.

6- Uçucu kül içeren Grup (NF) numuneleri için eğme mukavemet değerleri (7.23, 7.16 ve 6.76 MPa)'dır. Bu değerler referans numunenin değerinden yaklaşık yüzde % 37 daha düşüktür. Bu değerler referans numuneden sonra en yüksek değerlerdir.

Son olarak aerogel içeren, kum içermeyen hafif blok numunesi için eğme mukavemet değeri 4,93 MPa'dır. Bu değer referans numunenin değerinden yaklaşık yüzde % 60 daha düşüktür. Bu değer, hafif beton 1. numunesi için 3,82 MPa'dır ve referans numunenin değerinden yaklaşık yüzde % 64,33 daha düşüktür.

28 günlük suda kür edilen numunelerin eğme mukavemet değeri 4.93 MPa olarak ölçülmüştür. Bu değer 1 günlük kr numunesine göre % 22.5 daha yüksektir ancak referans numuneye göre % 54 oranında daha dştktr.

Deneyssel araştırtma sonuçlarına göre, farklı krlemelerin malzemelerin özelliklerini etkilediğini göstermektedir. Kr süreleri eğme mukavemet değerlerini etkilemişt ve hafif oranda değiştımlere neden olmuştur. Karıştımların kr sürelerine göre eğme mukavemet değerlerinin değiştımi Tablo 4.5'de gösterildiği gibidir.

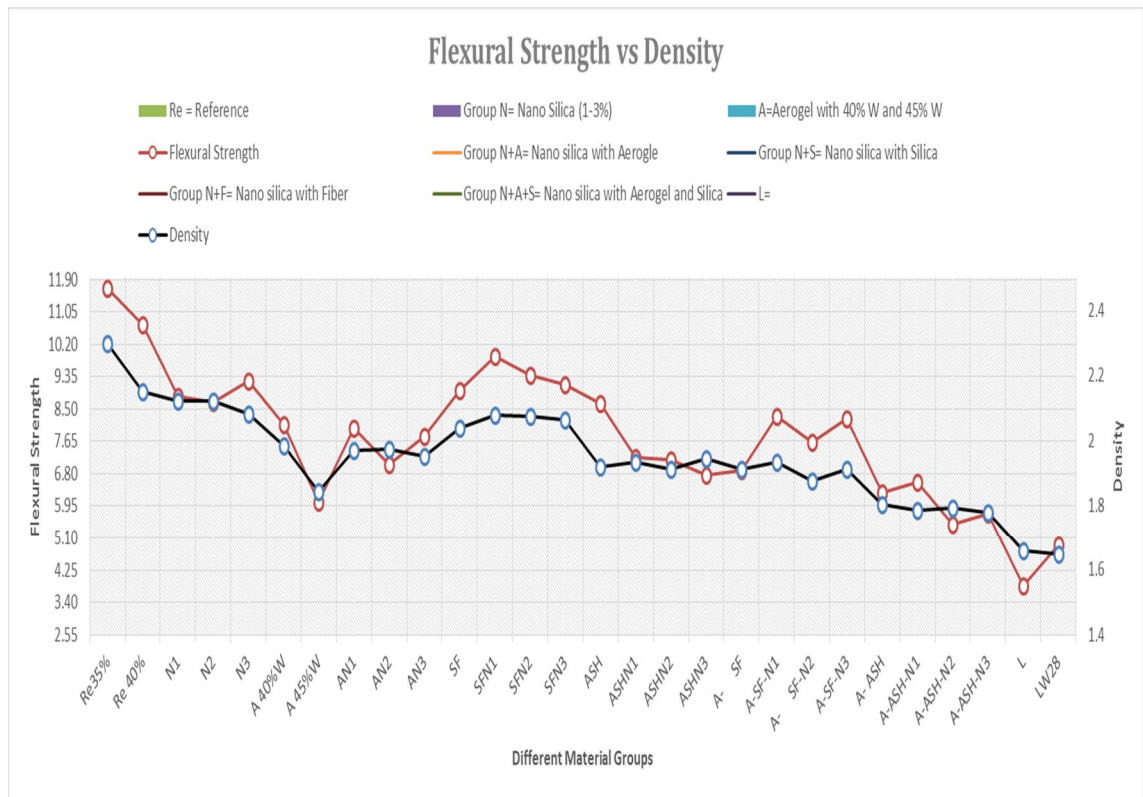
Beton içinde nano silika varlığı, gözenek miktarını dolayısıyla gözenek içindeki suyun miktarını azaltmaktadır. Bu durum beton içindeki gerilmeleri ve viskoziteyi artırmaktadır. Dolayısıyla, bu çalıştırmada, düştük youğunluk beton blokların plastik viskozitesi, nano silika miktarının artması ile belirgin olarak artmakta ve sonuç olarak iştenebilirliği gözle görünür bir şekilde azalmaktadır.

Tablo 4.4. K rleme için eğilme direnci testi 1

N		namuna adı	eğilme direnci testi MPa
1	Re	Re35%	11.67
1		Re 40%	10.71
2	Grup N	N1	8.84
3		N2	8.69
4		N3	9.23
5		A	8.11
6	Grup AN	AN1	8.01
7		AN2	7.04
8		AN3	7.79
9		SF	9
10	Grup SN	SFN1	9.89
11		SFN2	9.40
12		SFN3	9.14
13		ASH	8.65
14	Grup FN	ASHN1	7.23
15		ASHN2	7.16
16		ASHN3	6.76
17		A- SF	6.90
18	Grup AS	A-SF-N1	8.31
19		A- SF-N2	7.62
20		A- SF-N3	8.25
21		A- ASH	6.31
22	Grup AF	A-ASH-N1	6.57
23		A-ASH-N2	5.48
24		A-ASH-N3	5.74
25	L	L	3.82
26		LW28	4.93

Tablo 4.5. Farklı sertleşme için eğilme direnci testi 1

	Namuna adı	Eğilme direnci testi MPa
1	Re	10.71
2	A-ASH	6.31
3	A-ASHN1	6.57
4	A-ASHN2	5.48
5	A-ASHN3	5.74
6	A-ASH)7	5.96
7	A-ASHN1)7	5.71
8	A-ASHN2)7	5.46
9	A-ASHN3)7	5.15
10	A-ASH)28	5.48
11	A-ASHN1)28	5.96
12	A-ASHN2)28	5.64
13	A-ASHN3)28	5.10



Şekil 4.4. Eğilme mukavemeti ve yoğunluğunun karşılaştırılması

4.2.5. Basma mukavemeti Testi

Ağırlıkça % 40 ve % 35 su içeren referans numunelerinin basma mukavemeti değerleri sırasıyla 70.60 MPa ve 56,14 MPa dır. Basma dayanımlarındaki fark yaklaşık % 20.48'dir. Referans numunedeki çimentonun yerine ağırlıkça üç farklı oranda (%1, %2 ve % 3) nano silika ikame edilerek N serisi numuneler hazırlanmış ve bu numunelerin basma dayanımları ölçülmüştür. Elde edilen basma dayanımı referans numuneninkinden yaklaşık yüzde % 9 daha düşük olduğu görülmüştür. Benzer ancak daha düşük sonuçlar nano silika ile silis dumanı kullanılarak hazırlanan numunelerden elde edilmiştir.

Silis dumanı ve nano silika ile hazırlanmış numunenin basma dayanımı referans numunenin basma dayanımından %10 daha düşük olduğu bulunmuştur. Buna karşılık, nano silika ile aerojel içeren numuneninki yaklaşık %16,3, aerojel, nano silika ve silis dumanı içeren numuneninki %21, nano silika, uçucu kül içeren numuneninki yaklaşık %53, uçucu kül, nano silika ile aerojel içeren numunenin basma dayanımı ise yaklaşık %59 oranında referans numunenin basma dayanımından daha düşük olduğu bulunmuştur.

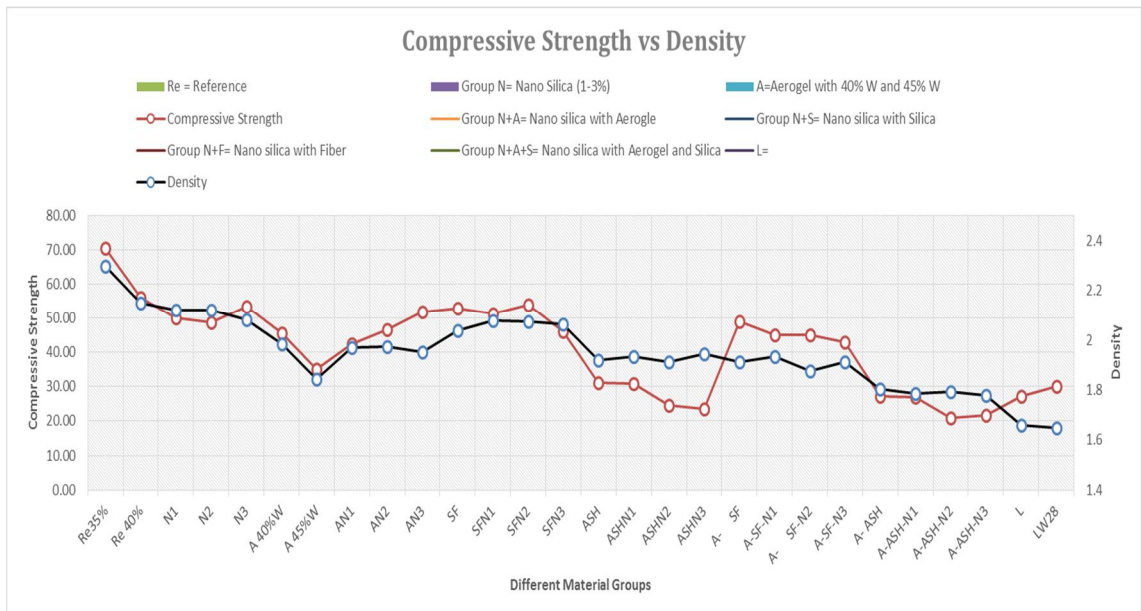
Son olarak, kum içermeyen hafif blok için aerojel oranı %60 civarındadır. En düşük ısı iletkenlik değeri bu numune için 1 günlük kürlenme sonunda elde edilmiştir ve yaklaşık %51,7 oranında referans numuneninkinden daha düşüktür. 28 günlük suda kürlenmeden elde edilen numunelerinki 1 günlük kürlenmeye tabi tutulan numuneninkilerden yaklaşık %10,2 oranında daha yüksektir, bununla beraber yine de her iki jür sonundaki değerler referans örneğe göre %46,17 oranında daha düşüktür.

Tablo 4.6. K rleme İçin Basma Dayanımı Testi 1

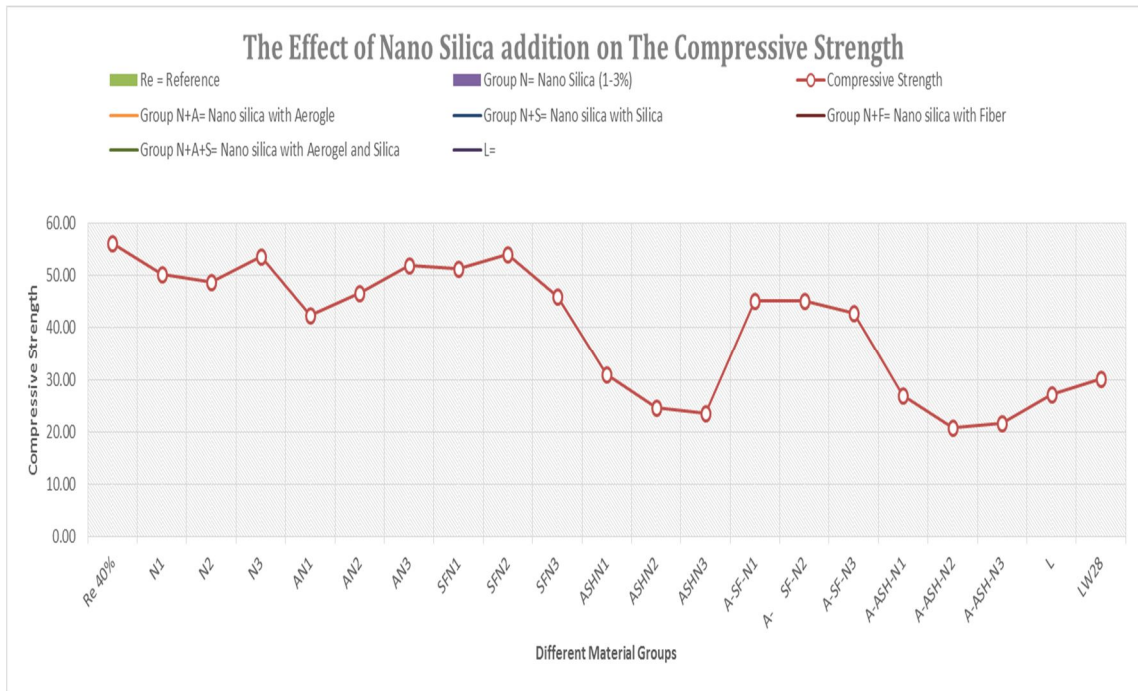
sayı		Namuna adı	Basınç mukavemet Testi MPA
1	Re	Re35%	70.60
1		Re 40%	56.14
2	Grup N	N1	50.18
3		N2	48.79
4		N3	53.57
5	A	A 40%W	45.53
6		A 45%W	35.06
7	Grup AN	AN1	42.42
8		AN2	46.59
9		AN3	51.92
10	Grup SN	SF	53.09
11		SFN1	51.31
12		SFN2	54.01
13		SFN3	46.08
14	Grup FN	ASH	31.06
15		ASHN1	31
16		ASHN2	24.66
17		ASHN3	23.62
18	Grup ASN	A SF	49
19		A-SF-N1	45.10
20		A SF-N2	45.18
21		A-SF-N3	42.93
22	Grup FN	A- ASH	27.21
23		A-ASH-N1	26.88
24		A-ASH-N2	20.90
25		A-ASH-N3	21.59
26	L	L	27.11
27		LW28	30.22

Tablo 4.7. Çeşitli Sertleşme İçin Basınca Dayanıklılık Testi

sayı	Namuna adı	Basınç mukavemet Testi MPA
1	Re	56.14
2	A-ASH	27.21
3	A-ASHN1	26.88
4	A-ASHN2	20.90
5	A-ASHN3	21.59
6	A-ASH)7	31.05
7	A-ASHN1)7	29.28
8	A-ASHN2)7	30.29
9	A-ASHN3)7	29.89
10	A-ASH)28	26.78
11	A-ASHN1)28	28.89
12	A-ASHN2)28	24.82
13	A-ASHN3)28	25.99



Şekil 4.5. Basma dayanımının ve yoğunluğunun karşılaştırılması



Şekil 4.6. Nano silika katkısının basma dayanımına etkisi

Farklı kürlenme şartlarının ortaya koyduğu deneysel araştırma bulguları Tablo (4) 'te gösterilmiş ve maddeler halinde aşağıda verilmiştir.

1- 25 °C'de ve %50 bağıl nemde 7 gün boyunca ilgili klima dolabında kürlenmeden sonra test için belirlenen güne kadar açık havada kurutulan numunelerin basma dayanım değerleri düşüktür ve değerler 21.59 MPa ile 27.21 MPa arasında değişmektedir. Bu değerler referans numunenin değerinden yaklaşık olarak %61,5- %51,5 oranında daha azdır.

2- 7 gün su içinde kürlenme için en yüksek ve en düşük basma dayanımı değerleri sırasıyla 31.05-29.89 MPa'dır. Bu değerler referans numuneninkinden yaklaşık % 44.6 - % 46.75 daha düşüktür.

3- 28 gün su içinde kürlenme için en yüksek ve en düşük basma dayanımı değerleri sırasıyla 28,89-24,82 MPa'dır. Bu değerler referans numuneninkinden yaklaşık % 48.5 - % 55.7 daha düşüktür.

4.2.6. Isı Yalıtımı

Ağırlıkça % 40 ve % 35 su içeren referans numunelerinin ısı iletkenlik değeri sırasıyla 1,460 w/(m.K) ve 1,632 w/(m.K)'dir. Isı iletkenlik değeri arasındaki fark yaklaşık % 10,5'dir. Silis dumanının ısı iletkenlik değeri 1,992 w/(m.K) dir ve bu değeri referans numunenin değerinden daha yüksektir. İçerisinde %45 aerogel bulunan numuneler için iletkenlik değeri 0,866 W/m. K iken uçucu kül içeren numunelerin iletkenlik değeri 1,746 W/(m.K) olmuştur. % 40 aerogel içeren numunelerin ısı iletkenlik değeri 1,035 W/(m.K) olarak bulunmuş ve bu değeri referans numunenin değerinden %29 daha azdır.

Konu ile alakalı yapılan analizlerden elde edilen diğer sonuçlar aşağıdaki şekilde özetlenmiştir.

Referans numunedeki çimentonun yerine ağırlıkça üç farklı oranda (%1, %2 ve % 3) nano silika ikame edilerek N serisi numuneler hazırlanmış ve bu numunelerin ısı iletkenlik değeri sırasıyla 1,808, 1.418, 2.067 W/(m.K) olarak ölçülmüştür. Elde edilen ısı iletkenlik değeri referans numuneninkinden yaklaşık yüzde % 3 oranında belirgin olmyan bir şekilde farklılık göstermiştir.

2- Aerogel ve nano silika içeren numunelerin (NA) termal iletkenlik değeri referans değerden %37,5 oranında daha düşüktür.

3- Aerogel ve silis dumanı içeren numunelerin (NAS) termal iletkenlik değeri 0.849, 0.966, 0.8213 W/(m.K) olarak ölçülmüştür. AS kodlu numune için termal iletkenlik değeri 0.946 W/(m.K) olarak okunmuştur. Bu değeri referans ile olan farkı %35 civarındandır.

4- Aerogel, uçucu kül ve nano silika içeren numunelerin (GRUP NAF) termal iletkenlik değeri sırasıyla 0.762, 0.865, 0.823 W/(m.K) olarak ölçülmüştür. Referans numunenin değerinden ortalama %44 daha düşüktür.

5- Silis dumanı içeren numunelerin (NS) termal iletkenlik değeri 1.332, 2.042, 1.437 W/(m.K) olarak ölçülmüştür. Bu değerlerin en küçüğü referans numuneden ortalama %8,7 oranında daha azdır.

6- Uçucu kül içeren içeren numunelerin (NF) termal iletkenlik değerleri 1.224, 1.338 ve 1.395 W/(m.K) olarak ölçülmüştür. Bu değerlerin en düşüğü referans numuneden ortalama % 16 oranında daha düşüktür.

Farklı kürleme şartlarının ortaya koyduğu deneysel araştırma bulguları Tablo 4.9'da gösterilmiş ve maddeler halinde aşağıda verilmiştir.

1- 25 °C'de ve %50 bağıl nemde 7 gün boyunca ilgili klima dolabında kürlemeden sonra test için belirlenen güne kadar açık havada kurutulan numunelerin termal iletkenlik değerleri 0,762 – 0,865 W/(m.K) arasında değişmektedir.

2- 7 gün su içinde kürleme için en düşük ve en yüksek termal iletkenlik değerleri sırasıyla 0,75 – 0,973W/(m.K).

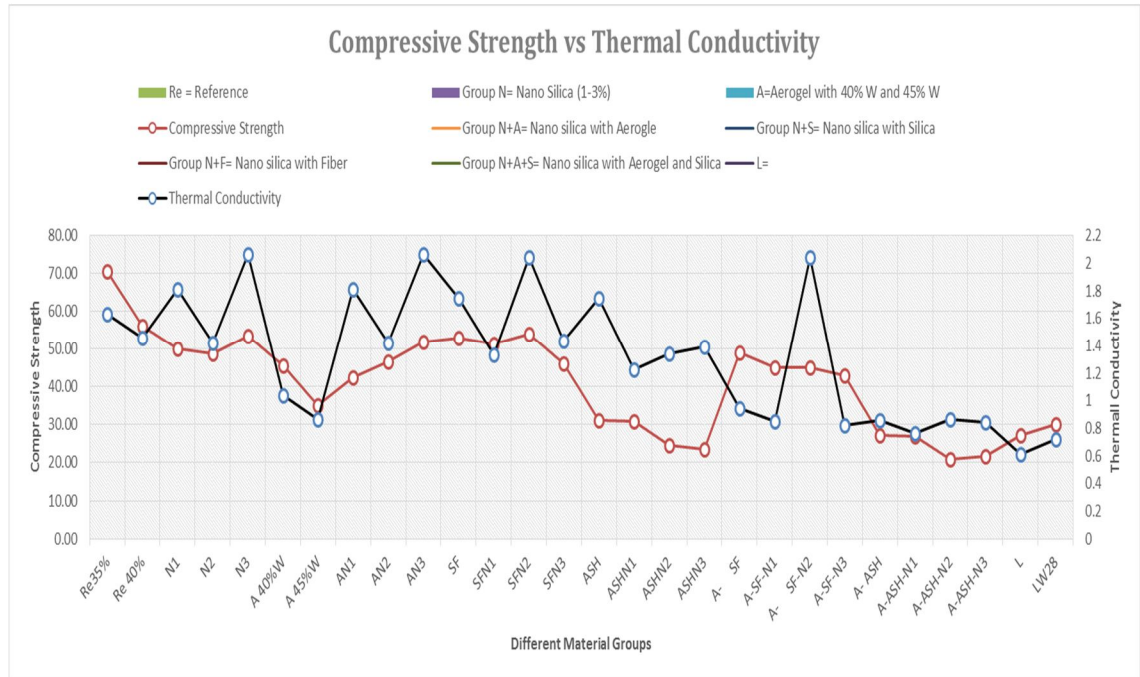
3- 28 gün su içinde kürleme için en düşük ve en yüksek termal iletkenlik değerleri sırasıyla 0,918 – 1,051 W/(m.K)'dir.

Tablo 4.8. K rleme İçin Termal İletkenlik Testi 1

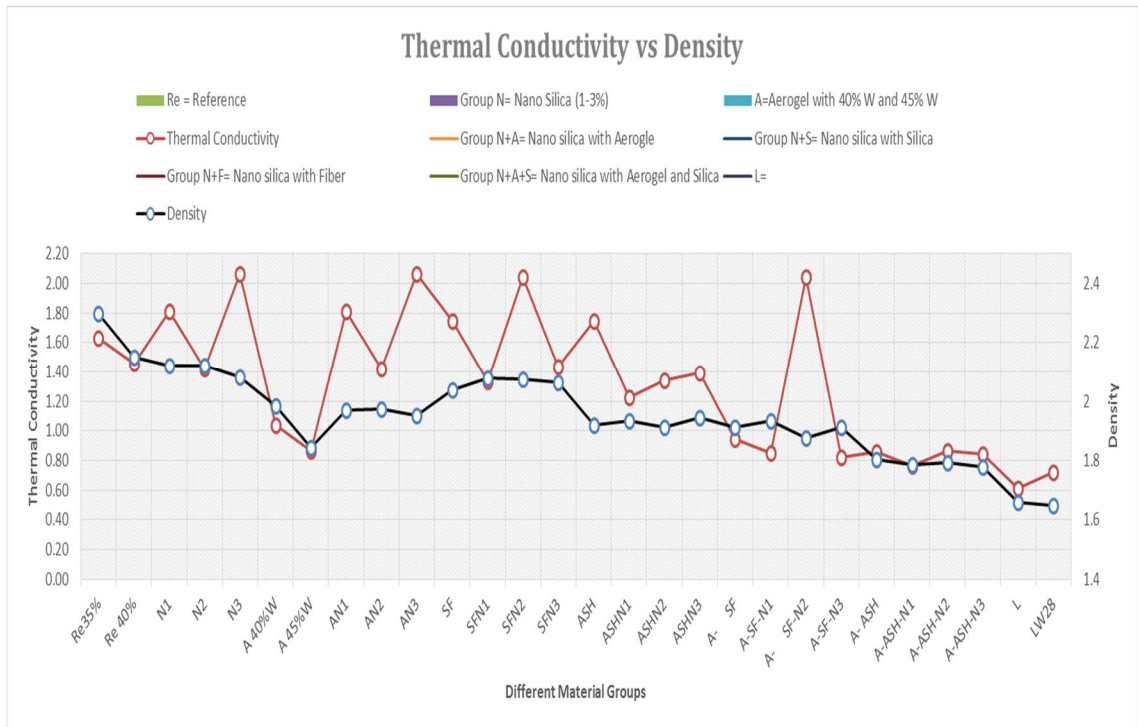
Sayı		Namuna adı	Termal iletkenlik W/MK
1	Re	Re35%	1.632
1		Re 40%	1.460
2	Group N	N1	1.808
3		N2	1.418
4		N3	2.067
5	A	A 40%W	1.035
6		A 45%W	0.866
7	Group N+A	AN1	1.808
8		AN2	1.418
9		AN3	2.067
10	Group N+S	SF	1.746
11		SFN1	1.332
12		SFN2	2.042
13		SFN3	1.437
14	Group N+F	ASH	1.746
15		ASHN1	1.224
16		ASHN2	1.338
17		ASHN3	1.395
18	Group N+A+S	A- SF	0.946
19		A-SF-N1	0.849
20		A- SF-N2	2.042
21		A-SF-N3	0.8213
22	Group N+F	A- ASH	0.858
23		A-ASH-N1	0.762
24		A-ASH-N2	0.865
25		A-ASH-N3	0.843
26	L	L	0.611
27		LW28	0.717

Table 4.9. Çeşitli Kütleme İçin Isıl İletkenlik Testi

Sayı	Namuna adı	Termal iletkenlik W/M.K
1	Re	1.4606
2	A-ASH	0.858
3	A-ASHN1	0.762
4	A-ASHN2	0.865
5	A-ASHN3	0.843
6	A-ASH)7	0.833
7	A-ASHN1)7	0.973
8	A-ASHN2)7	0.75
9	A-ASHN3)7	0.9256
10	A-ASH)28	0.918
11	A-ASHN1)28	1.051
12	A-ASHN2)28	0.979
13	A-ASHN3)28	0.933



Şekil 4.7. Basma dayanımının ve ısı iletkenliğinin karşılaştırılması



Şekil 4.8. Isıl iletkenlik ve yığın yoğunluğunun karşılaştırılması

Isıl iletkenlik ölçüm metotları, iki türdür. Bunlardan bir tanesi yüzeyden bir uç yardımı ile ölçümün yapıldığı yöntem, ikincisi ise bir kalınlık boyunca bir bloğu ısı akımına maruz bırakarak yüzeyler arasındaki sıcaklık farkını ölçmek suretiyle Fourier kanunu da kullanılarak ısı iletkenlik katasayısının hesaplandığı yöntemdir. Bunlardan yüzeyden ölçümün yapıldığı yöntem; homojen dağılımlı, içerisinde gözeneklerin bulunmadığı sıkı dokulu malzemeler için uygun bir yöntemdir. Ancak heterojen dağılım gösteren içerisinde gelişgüzel gözeneklerin bulunduğu dokular için bu yöntem uygun bir yöntem değildir. Bu çalışmadan elde edilen numunelerin bir kısmı için her iki yöntemin de kullanıldığı termal iletkenlik değerleri aşağıda tablo 4.10 da gösterilmektedir. Tablodaki verilerden de görüleceği üzere kullanılan her iki metottan elde edilen veriler birbirinde oldukça farklıdır. Bu sonuç yukarıda verilerin ifadeyi doğrulamaktadır.

Tablo 4.10. Bir yüzdeki termal iletkenliğin ve kalınlığın karşılaştırılması

Numunelerin adı	Kalınlığa göre termal iletkenlik 2 cm (w / mk)	Tek taraflı ısı iletkenliği (w / mk)
SF	0.333325	1.992
ASH	0.239723	1.746
N1	0.309379	1.808
N3	0.298473	2
SN2	0.487607	2.042

BÖLÜM 5

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1. Genel

Deneysel araştırma bulguları, kumsuz hafif blokların diğer gruplara kıyasla daha düşük eğilme mukavemetine sahip olduğunu göstermektedir. Eğme ya da eğilme mukavemeti özelliklerine gelince, arojelın tek başına veya nano ve silis dumanı ile mekanik özelliklerinin yüksek olduğunu, ancak uçucu kül ile karıştırıldığında sonuçların yarı yarıya azaldığını bunula beraber ısı yalıtımı değerlerinin de arojel lehine daha iyi olduğu görülmektedir.

Bu çalışmanın esas amacı kabul edilebilir mekanik özelliklere sahip en iyi ısı yalıtım özelliği sağlayan hafif beton bloğu üretimidir. Sonuçlar dikkatle incelendiğinde basma mukavemetinin düşmesine karşılık ısı yalıtım depğerlerinin iyileştiği görülmektedir. Bu bölümde üretilen çeşitli blokların teknik avantajları ve dezavantajları tartışılmıştır. Ayrıca, bu tez konusu ile ilgili olarak daha ileri araştırmalar için bazı öneriler de bu bölümde sunulmuştur.

5.2. Sonuçlar

5.2.1. Dökme Yoğunluğu

Tüm numunelerin yoğunluğu bir günlük kürlemeden sonra hesaplanmıştır. Sonuçlardan da görüleceği üzere referans numuye göre guplar içinde kürleme yoğunluğu en düşük olan bloklar uçucu külün kullanıldığı AFN ve kum yerine arojelın kullanıldığı L gruplarındaki numunelerdir (% 17-% 23.35). Farklı kürleme yöntemlerine göre ölçülen yoğunluklar ise birbirnden biraz farklıdır ancak 3. tür kürleme yönteminden elde edilen sonuçlar diğerlerine kıyasla çok az değişim göstermiştir.

Referans numuneye kıyasla en hafif olan ve referans değerin altında kalan gruplar yaklaşık % 23.5 oranında bir diğer harçlar en düşük değere sahip numune ise % 17.5 değer ile AFN grubudur. Kumun yoğunluğundan dolayı kum içermeyen hafif harçlar birim hacim başına kum içeren numunlerden daha ağırdır. Bu nedenle, duvar yapımında hafif harçların (L) kullanılması binanın ölü yükünde belirgin azalmaya neden olacaktır.

5.2.2. Porosite boyutu ve BET Yüzey Alanı

L kodlu numune, yaklaşık $30.8343 \text{ m}^2/\text{g}$ 'lik en yüksek yüzey alanına sahipken, AFN kodlu numune yaklaşık $22.5266 \text{ m}^2/\text{g}$ civarında yüzey alanına sahiptir. En düşük BET'e sahip numune Aerojel içeren A kodlu numunedir. Burada BET'i etkileyen önemli faktörlerden birisi de gözenek sayısıdır. Bununla birlikte başka sebepler de vardır.

5.2.3. Morfolojik ve Mikroyapısal Analizler

Numunenin mikro-morfolojik incelemeleri yapıldığında, çimentolu kompozitlerdeki aerojel katkısı gözenekli bir iç yapının oluşmasına neden olmuştur. Gözenek boyutları, referans numune için yüksek ve L grubundaki hafif bloklar için en düşük değerde olduğu tespit edilmiştir ($308.7019 \text{ Å} - 152.632 \text{ Å}$). Bu gözenekler SEM görüntülerinde görülebilir. Bunla beraber SEM görüntülerinde gözeneklerin arasının da küçük görülmüştür. Aerogele bağlı olarak yapı içerisinde giren metanol, düşük poroziteye neden olmuştur. AFN3 kompozit numunelerindeki aerojel genellikle yapı içinde kırık olarak görülmektedir. Bu nedenle kompozit yapı içerisinde bulunan bu çatlaklar yapı içerisinde meydana gelen gerilmelere karşı koyamamakta ve mekanik mukavemetin düşmesine neden olmaktadır.

Yapı içerisinde C-S-H jelinin artan miktarı ile beton blokların basma ve eğme mukavemetleri artmaktadır.

Ca/Si oranının en yüksek olduğu (A) ve (N) örnekleri için yüksek Ca/Si oranlarında üretilen C3S ve C-S-H jellerinin oluşumu oldukça farklı nano yapılardan kaynaklanmaktadır. Bu yapı farklılıkları, C-S-H jelinin maksimum Ca/Si oranının 1.7-1.8 olduğu, sentetik C-S-H jelinde ise genel olarak 3'e yakın olması gerçeğine dayanmaktadır. Bu çalışmada, harç içerisine silis dumanı ilave edildiğinde Ca/Si oranı (ASN3) kodlu numuneler için yaklaşık 1-3 arasında değişmektedir. Hidratasyon

sırasında Ca, ara yüz bölgesine tercihen geçtiği için, pozolanik reaksiyona girmek için fazla miktarda Silisyuma ihtiyaç duyar.

Başlangıçta ara yüzey bölgelerinde bulunan aşırı miktardaki Si, bu bölgedeki çimento eksikliğini ortadan kaldırır ve C-S-H üretmek için gelen Ca ile reaksiyona girer ve normalde agrega-çimento karışım arayüzünde bulunan zayıf alanları ortadan kaldırır.

Referans numunesine (Re) kıyasla en düşük azalma (1.6) olmuştur. (L) numunleri için bu değer (1.104)'tür. Basma dayanımlarındaki en düşük değer (AFN3) kodlu numunelerde görülmüştür. Bunun nedeni karışım içerisindeki uçucu kül partiküllerinin yavaş yavaş reaksiyona girerek CH ile C-S-H jellerini oluşturması ve sürecin yıllarca devam edebilmesidir.

5.2.4. Basma ve Eğilme Mukavemeti

Bu çalışmada farklı malzemeler kullanılarak hazırlanan beton blokların basma dayanımı açısından karşılaştırılması görülebilmektedir; basma dayanım değerleri, beton üzerindeki ısı iletkenlik ile ters orantılıdır, burada basma dayanımındaki artışlar ısı iletkenlik değerini azaltmaktadır. 56.14-20.90 MPa arasındaki basma dayanım farkı yeterli mekanik özellik seviyesini göstermektedir.

Kum harcın basma dayanımı önemli derecede artırmaktadır. Referans blokun basma dayanımındaki artış harç içerisine eklenen aerogelin miktarı ile azalmaktadır. Çalışmada referans ile sade aerjel katkısı ile üretilen beton blokların dayanımlarının neredeyse iki katıdır. Harç içerisine aerjel ve nano silika ikili katkısında takviye edilen nano silika miktarı arttıkça basma mukavemetinin azaldığı görülmüştür. Bunun nedeni, pozolanik reaksiyonlardır. Nano silika ilavesi nedeniyle sistemde düşük kalsiyum silikat hidrat (CSH) jeli oluşumu gözlenmektedir. Bu da dayanımın azalmasına neden olmaktadır. Aerjel sementasyon karışımlarının su talebini büyük oranda arttırdığı halde, uçucu kül normalden daha az su gerektirmektedir.

Ayrıca ilave edilen uçucu kül miktarı arttıkça uçucu külün Ca içeriği nedeniyle mukavemette azalma meydana gelmektedir (1.77). SEM görüntülerinden, (AFN3) parçalarındaki aerjeller çoğunlukla kompozit yapı içinde kırık olarak görülmektedir. Bu parçacıklar düşük mekanik mukavemetli kompozitlerin içerdeki gerilmelere direnmesine yardımcı olamazlar. Kum ile tüm grupların eğilme direnci (28 günlük yaş),

kum içermeyen L numunelerine kıyasla daha yüksektir. Referanslara kıyasla, tüm numuneler için aralık 10.71'dir (3.82 - 9.89).

Aerogel Katkılı Bloklarla İlgili Sonuçlar

Beton içerisine aerogel eklemek potansiyel olarak harç kuvveti üzerinde iki zıt etkiye sahiptir:

Aerogel kullanıldığında su çimento oranı değişmektedir. Bunun yanında agregalar ile çimento arasındaki ara yüzde etkileşim farklılaşmaktadır. Aerogel ilavesiyle beton kürlenme sırasında ortamdan daha çok su emer, bu durumda betonun dayanımı ciddi bir şekilde azalır. Bu aşamada aerogel hidrofilik durumdadır ve ortamdaki suyu emmesi bu yüzdendir. Fakat birkaç saat geçtikten sonra aerogel tekrar hidrofobik hale gelir ve hidrojen molekülleri bertaraf edilir.

5.2.5. Termal iletkenlik

Süper termal iletkenliğe sahip hafif bloklar üretmek için aerogel kullanımı kürleme türünü değiştirir. Ayrıca çimento yerine çok ince uçucu kül, silis dumanı gibi diğer pozolanik malzemelerin kullanımı gerekli hale gelir. Bu nedenle, betonda nano silika kullanımı ekonomik ve çevresel yararlar sağlayabilir. Nano silika, diğer nano malzemelere kıyasla daha makul bir maliyetle elde edilebilir. Bu yüzden cazip bir alternatif olabilir.

İçerisinde aerogel ve uçucu kül içeren referans örnek numunelerin termal iletkenlikleri karşılaştırıldığında, termal iletkenliğin % 58' oranında daha düşük olduğu, kumsuz numunelerin kumlu olanlara göre kıyasla daha düşük termal iletkenlik değerlerine sahip olduğu görülmüştür. Düşük yalıtımın temel nedeni gözenekliliktir. Bu oran yüksek olduğu durumda (% 45) betonun su ihtiyacı daha fazla olmuştur (% 45). Ancak durumda referansa numuneye göre (% 40) daha düşük basma mukavemeti elde edilmiştir.

Basma mukavemeti ile ısı iletkenliği arasında ters bir orantı vardır.

5.3. Öneriler

Daha ileri araştırmalar için aşağıdaki tavsiyeler dikkate alınabilir:

1- Polimerler veya cam gibi geri dönüştürülebilen, beton ile uyumlu davranabilecek yüksek mekanik özelliklere sahip başka malzemeler de benzer bir çalışmada incelenebilir.

2- Daha farklı kürleme şartları incelenebilir.

3- Su miktarı ve içindeki çözünmüş kimyasallar, sonuçlar üzerinde önemli bir etkiye sahiptir (serbest su, damıtılmış su, içme suyu). Nano boyutta malzeme içeren karışımların yüksek mukavemete sahip olabilmeleri için yüksek miktarda suya ihtiyaç duyarlar. Bu anlamda farklı suların kullanıldığı betonların özellikleri incelenebilir.

4- Eklenen uçucu kül yüzdesi % 50 olduğunda, mekanik özelliklerin kötüleşmesi yanında bir çok saç kılı şeklinde çatlakların oluşumu gözlenmiştir. Ancak oran, % 40'a düşürüldüğünde sonuçların daha iyi olduğu ve çatlak oluşumlarının önlendiği görülmüştür. Bundan dolayı uçucu külün yüzdesi değiştirilerek çalışmalar tekrarlanabilir.

5- Metanolün yüksek miktarda suya ihtiyacı olduğu için metanol yerine başka bir kimyasalın kullanılmasına yönelik çalışmalar yapılabilir. Bununla birlikte metanolün zehirli olmasından dolayı laboratuvar deneylerinde kullanımı sakıncalıdır.

6- Kum ilavesi mekanik özellikleri artırdığı için kum oranının etkisi de incelenebilir.

7- Harca ilave edilen suyu hızlı bir şekilde kullanan nano silika üzerine, ilave edilecek belli miktardaki suyun harç içerisine bir seferde değil yavaş yavaş illave edilmesi önerilmektedir. Bu durumda nano silisin harcın işlenebilirliği üzerindeki olumsuz etkisini en aza indirilebilir.

KAYNAKLAR

1. Schlanbusch, R.D., 2013. A New Nano Insulation Material for Applications in Zero Emission Buildings (Master's thesis, Institutt for materialteknologi).
2. Huang, L., 2012. Feasibility study of using silica aerogel as insulation for buildings. Master of Science thesis, KTH School of Industrial Engineering and Management, Stockholm, Sweden.
3. Ng, S., Jelle, B.P., Zhen, Y. and Wallevik, Ó.H., 2016. Effect of storage and curing conditions at elevated temperatures on aerogel-incorporated mortar samples based on UHPC recipe. **Construction and Building Materials**, **106**, 640-649.
4. Sharma, S.K., 2013. Zero energy building envelope components: a review. **Int J Eng Res Appl**, **3**(2), 662-675.
5. US Department of Energy (2015) 'Quadrennial Technology Review An Assessment of Energy Technologies and Research Opportunities: Chapter 5: Increasing Efficiency of Building Systems and Technologies September 2015'. Available at: <https://energy.gov/under-secretary-science-and-energy/downloads/chapter-5-increasing-efficiency-buildings-systems-and-technologies> (Accessed: 17 July 2017).
6. Berge, A. and Johansson, P., 2012. Literature review of high performance thermal insulation. Chalmers University of Technology.
7. de Fátima Júlio, M., Soares, A., Ilharco, L.M., Flores-Colen, I. and de Brito, J., 2016. Silica-based aerogels as aggregates for cement-based thermal renders. **Cement and Concrete Composites**, **72**, 309-318.
8. Gao, T., Jelle, B.P., Gustavsen, A. and Jacobsen, S., 2014. Aerogel-incorporated concrete: An experimental study. **Construction and Building Materials**, **52**, 130-136.
9. Torgal, F.P., Buratti, C., Kalaiselvam, S., Granqvist, C.G. and Ivanov, V. eds., 2016. Nano and Biotech Based Materials for Energy Building Efficiency. Springer.

10. Concrete Construction Staff (1983) INSULATION FOR CONCRETE WALLS. Available at: http://www.concreteconstruction.net/how-to/construction/insulation-for-concrete-walls_o (Accessed: 17 July 2017).
11. Fehr, R.L. (2009) Chapter 5: Insulation: Materials and Techniques. Guide to Building Energy Efficient Homes in Kentucky and Mixed Humid Climate Zone 4. University of Kentucky, pp. 59-87.
12. Insulation for concrete walls
13. The Worlds of David Darling (2012) concrete block insulation. Available at: http://www.daviddarling.info/encyclopedia/C/AE_concrete_block_insulation.html (Accessed: 17 July 2017).
14. de Fátima Júlio, M., Soares, A., Ilharco, L.M., Flores-Colen, I. and de Brito, J., 2016. Aerogel-based renders with lightweight aggregates: Correlation between molecular/pore structure and performance. *Construction and Building Materials*, 124, pp.485-495.
15. Buratti, C., Moretti, E., Belloni, E. and Agosti, F., 2014. Development of innovative aerogel based plasters: preliminary thermal and acoustic performance evaluation. *Sustainability*, 6(9), 5839-5852.
16. Xing, Y., Hewitt, N. and Griffiths, P., 2011. Zero carbon buildings refurbishment—A Hierarchical pathway. *Renewable and sustainable energy reviews*, 15(6), 3229-3236.
17. Jelle, B.P., 2011. Traditional, state-of-the-art and future thermal building insulation materials and solutions—Properties, requirements and possibilities. *Energy and Buildings*, 43(10), 2549-2563.
18. Ng, S., Jelle, B.P. and Stæhli, T., 2016. Calcined clays as binder for thermal insulating and structural aerogel incorporated mortar. *Cement and Concrete Composites*, 72, 213-221.
19. Baetens, R., Jelle, B.P. and Gustavsen, A., 2011. Aerogel insulation for building applications: a state-of-the-art review. *Energy and Buildings*, 43(4), 761-769.

20. Ng, S., Sandberg, L.I.C. and Jelle, B.P., 2015. Insulating and strength properties of an aerogel-incorporated mortar based on UHPC formulations. **Key Eng Mater**, 629-630.
21. Aegerter, M., Leventis, N. and Koebel, M.M. eds., 2011. Aerogels handbook. Springer Science & Business Media.
22. Hussain, S.T. and Sastry, K.G.K., 2014. Study of strength properties of concrete by using micro silica and nano silica. **International Journal of Research in Engineering and Technology**, 3(10), 1-6.
23. Pacorinc. (2014) The Advantages of Aerogel Insulation Compared to Other Types of Insulation. Available at: <http://www.pacorinc.com/blog/2014/04/advantages-aerogel-insulation-compared-types-insulation/> (Accessed: 17 July 2017).
24. Pacheco-Torgal, F., Rasmussen, E.S., Granqvist, C.G., Ivanov, V., Kaklauskas, H.A. and Makonin, S. eds., 2016. Start-Up Creation: The Smart Eco-Efficient Built Environment. Woodhead Publishing.
25. Terry, N., Palmer, J. and Cooper, I., 2012. Insulation and Thermal Storage Materials.
26. Gustavsen, A. (2013) 'New Insulation Materials–Is Nanotechnology the Solution?' [PowerPoint presentation]. Available at: http://www.zeb.no/index.php/en/conference/item/download/20_3fcd4a444cbe71552faf87205d9df509. (Accessed: 17 July 2017).
27. Centre for Environment-friendly Energy Research (CEER/FME). (2009) 'Zero Emission Buildings' [PowerPoint presentation]. Available at: http://www.zeb.no/index.php/en/conference/item/download/41_19956e38c98c8e35a19807c1376344ad. (Accessed: 17 July 2017).
28. Fickler, S., Milow, B., Ratke, L., Schnellenbach-Held, M. and Welsch, T., 2015. Development of high performance aerogel concrete. **Energy Procedia**, 78, 406-411.

29. Griffith, B.T., Arasteh, D. and Türler, D., 1995, October. Gas-filled panels: an update on applications in the building thermal envelope. *In Proceedings of the BETEC Fall Symposium, Superinsulations and the Building Envelope*, Washington, DC.
30. Haj-Ali, R., Eliasi, R., Fourman, V., Tzur, C., Bar, G., Grossman, E., Verker, R., Gvishi, R., Gouzman, I. and Eliaz, N., 2016. Mechanical characterization of aerogel materials with digital image correlation. **Microporous and Mesoporous Materials**, **226**, 44-52.
31. Dodson, B. (2012) Flexible, high-strength polymer aerogels deliver "superinsulation" properties. Available at: <http://newatlas.com/polymer-aerogel-stronger-flexible-nasa/23955/> (Accessed: 17 July 2017).
32. Brock. (2007) Semiconducting Metal Chalcogenide Aerogels. Available at: <http://www.aerogel.org/?p=560> (Accessed: 17 July 2017).
33. Wagh, P.B. and Ingale, S.V., 2002. Comparison of some physico-chemical properties of hydrophilic and hydrophobic silica aerogels. **Ceramics International**, **28**(1), 43-50.
34. Joshi, S.C. and Sachithanadam, M., Nanyang Technological University, 2014. Silica aerogel composite. U.S. Patent Application 14/542,260.
35. Huang, L., 2012. Feasibility study of using silica aerogel as insulation for buildings. Master of Science thesis, KTH School of Industrial Engineering and Management, Stockholm, Sweden.
36. Gurav, J.L., Jung, I.K., Park, H.H., Kang, E.S. and Nadargi, D.Y., 2010. Silica aerogel: synthesis and applications. **Journal of Nanomaterials**, **23**.
37. Rößler, M., 2014. Synthesis and characterization of aramid-honeycomb reinforced silica aerogel composite materials (Doctoral dissertation, RWTH Aachen).
38. Hüsing, N. and Schubert, U. (1998), Aerogels—Airy Materials: Chemistry, Structure, and Properties. **Angewandte Chemie International Edition**, **37**: 22–45. doi:10.1002/(SICI)1521-3773(19980202)37:1/2<22::AID-ANIE22>3.0.CO;2-I

39. Thomas, G.P. (2012) What is Aerogel? Theory, Properties and Applications. Available at: **<http://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=6499>**. (Accessed: 17 July 2017).
40. Beckingham, G. (2001) Aerogels: Their History, Structure, and Applications. Available at: **<http://geobeck.tripod.com/frontier/aerogels.html>**. (Accessed: 17 July 2017).
41. Mechanical Engineering Blog (2012) Aerogel, World's Lightest Material, Aerogel Lighter Than Air, Aerogel Insulation. Available at: **<http://www.mechanicalengineeringblog.com/latest-automobile-technology/aerogel/>**. (Accessed: 17 July 2017).
42. Ratke, L., 2011. Aerogels: Structure, properties and applications.
43. Creasey, J., 1999. Aerogels and applications for thermal insulation. Lockheed Martin, ASEN, 5519, pp.1-10.
44. Quinlan, H. (2014) How Aerogels Work. Available at: **<http://science.howstuffworks.com/aerogel2.html>**. (Accessed: 17 July 2017).
45. Aerogel Technologies (2014) About Aerogels. Available at: **<http://www.aerogeltechnologies.com/about-aerogels>**. (Accessed: 17 July 2017).
46. New World Encyclopedia (2014) Aerogel. Available at: **<http://www.newworldencyclopedia.org/entry/Aerogel>**. (Accessed: 17 July 2017).
47. Building Green (2012) Autoclaved Aerated Concrete (AAC): Will the U.S. Ever Lighten Up?. Available at: **<https://www.buildinggreen.com/news-article/autoclaved-aerated-concrete-aac-will-us-ever-lighten>**. (Accessed: 17 July 2017).
48. İlter, O., 2010. Use of pumice in mortar and rendering for lightweight building blocks (Doctoral dissertation, Eastern Mediterranean University (EMU)).
49. Tenkayala, S.R., 2009. Optimization of the synthesis characterization and applications of water glass based silica aerogels and their hybrids. Chapter 4: Synthesis of silica Aerogel Powder Byabd Technique. pp.51-66.

50. Dorcheh, A.S. and Abbasi, M.H., 2008. Silica aerogel; synthesis, properties and characterization. **Journal of materials processing technology**, **199**(1), 10-26.
51. Perrut, M. and Francais, E., 2008. AEROGEL DRYING. Future ChemTech.
52. Wang, H., Liu, S.M. and Zeng, L.K., 2011. Preparation and Properties of Hydrophobic Silica Aerogels by ambient pressure drying method. **In Applied Mechanics and Materials**, **71**, 1040-1043.
53. The Norris Research Group (2010) Pore Structure of Silica Aerogels. Available at: <https://pamelanorris.wordpress.com/resources/pore-structure-of-silica-aerogels/>. (Accessed: 17 July 2017).
54. Jet Propulsion Laboratory (2012) Aerogels Mystifying Blue Smoke. Available at: https://stardust.jpl.nasa.gov/aerogel_factsheet.pdf. (Accessed: 17 July 2017).
55. MarkeTech International Inc. (2017) Silica Aerogel. Available at: <https://mkt-intl.com/materials/aerogel/silica-aerogel/>. (Accessed: 17 July 2017).
56. The Norris Research Group (2010) Thermal Properties of Silica Aerogels. Available at: <https://pamelanorris.wordpress.com/resources/thermal-properties/>. (Accessed: 17 July 2017).
57. The Norris Research Group (2010) Optical Properties of Silica Aerogels. Available at: <https://pamelanorris.wordpress.com/resources/optical-properties/>. (Accessed: 17 July 2017).
58. Woignier T., Phalippou J.. (1989). Scaling Law Variation Of The Mechanical Properties Of Silica Aerogels. **Journal de Physique Colloques**, **50** (C4), pp.C4-179-C4-184.
59. Shimpi, N., 2005. Mechanical Testing and Numerical Simulation of Mechanical Structure-Property Relationship of Silica Aerogel (Doctoral dissertation, Oklahoma State University).
60. Souayfane, F., Fardoun, F. and Biwole, P.H., 2016. Phase change materials (PCM) for cooling applications in buildings: A review. **Energy and Buildings**, **129**, 396-431.

61. Sobolev, K. and Shah, S.P., 2015. Nanotechnology in construction. Proceedings of NICOM5, Chicago USA.
62. Van Broekhuizen, P., van Broekhuizen, F., Cornelissen, R. and Reijnders, L., 2011. Use of nanomaterials in the European construction industry and some occupational health aspects thereof. **Journal of Nanoparticle Research**, **13**(2), 447-462.
63. Nanowerk (2010) Nanotechnology in the Construction Industry. Available at: **<http://www.nanowerk.com/nanotechnology-in-construction-industry.php>**. (Accessed: 17 July 2017).
64. Koebel, M., Rigacci, A. and Achard, P., 2012. Aerogel-based thermal superinsulation: an overview. **Journal of sol-gel science and technology**, **63**(3), 315-339.
65. Mark, L. (2012) Blockwork. Available at: **<https://www.architectsjournal.co.uk/buildings/specification/blockwork/8638765.article>** (Accessed: 17 July 2017).
66. Green Spec (2017) Blocks: Concrete masonry and its alternatives. Available at: **<http://www.greenspec.co.uk/building-design/blocks/>** (Accessed: 17 July 2017).
67. Food and Agriculture Organization of The United Nations (2017) Concrete blocks -sand - cement blocks. Available at: **<http://www.fao.org/3/a-s1250e/S1250E09.htm>** (Accessed: 17 July 2017).
68. Taylor, G. (2017) How to Increase the R-Value of a Concrete Block Wall. Available at: **<http://homeguides.sfgate.com/increase-rvalue-concrete-block-wall-54431.html>** (Accessed: 17 July 2017).
69. Rodriguez, J. (2016) What is Insulation? Types of Insulation. Available at: **<https://www.thebalance.com/what-is-insulation-types-of-insulation-845080>**. (Accessed: 17 July 2017).
70. National Concrete Masonry Association, 2010. Insulating Concrete Masonry Walls. NCMA Publications, (703), pp.713-1900.
71. Hornbostel, C., 1991. Construction materials: Types, uses and applications. John Wiley & Sons.

72. Gypsum Association, (2017) What is Gypsum?. Available at: <https://www.gypsum.org/about/gypsum-101/what-is-gypsum/>. (Accessed: 17 July 2017).
73. Wikipedia, The free encyclopedia, (2016) Gypsum block. Available at: https://en.wikipedia.org/wiki/Gypsum_block. (Accessed: 17 July 2017).
74. Machardy, S. (2017) Pumice Defined. Available at: http://www.pumicecrete.com/Pumice_Definition.htm. (Accessed: 17 July 2017).
75. Masonry Institute of British Columbia, 2007. *Masonry Technical Manual*. Vancouver.
76. W.D.L Concrete (2017) PUMICE INSULATION. Available at: <http://www.wdlconcrete.co.uk/services/pumice/> (Accessed: 17 July 2017).
77. Kin, L.W. and Ariffin, M.A.M., Strength Properties of Expanded Polystyrene Concrete and Cold Formed Steel Wall Frame Composite.
78. English, T. (2016) Polystyrene Concrete: A Versatile Construction Alternative. Available at: <http://interestingengineering.com/polystyrene-concrete-construction-alternative/> (Accessed: 17 July 2017).
79. Legerlite INC. (2017) Expanded polystyrene (Styrofoam) in block form is an ideal product for civil engineering. Available at: <http://www.legerlite.ca/en/products/specialty-products/expanded-polystyrene-blocks> (Accessed: 17 July 2017).
80. Chen, B. and Liu, J., 2004. Properties of lightweight expanded polystyrene concrete reinforced with steel fiber. **Cement and Concrete Research**, **34**(7), 1259-1263.
81. Babu, D.S., Babu, K.G. and Tiong-Huan, W., 2006. Effect of polystyrene aggregate size on strength and moisture migration characteristics of lightweight concrete. **Cement and Concrete Composites**, **28**(6), 520-527.
82. IOLITE CUBE INFRAMATERIAL PVT LTD, (2017) Autoclaved Aerated Concrete Block. Available at: <http://optimacube.tradeindia.com/autoclaved-aerated-concrete-block-363113.html> (Accessed: 17 July 2017).

83. Low Energy House, (2017) Low Energy House - Insulating Blocks - Lightweight Concrete. Available at: <http://www.lowenergyhouse.com/insulating-blocks.html> (Accessed: 17 July 2017).
84. Understanding Cement, (2017) Autoclaved aerated concrete (AAC, Aircrete). Available at: <http://www.understanding-cement.com/autoclaved-aerated-concrete.html> (Accessed: 17 July 2017).
85. Abdel Hamid, A. (2016) Blocks – The ABCs of Green Building Materials. Available at: <https://greenbuildingelements.com/2016/08/24/blocks-abc-green-building-materials/> (Accessed: 17 July 2017).
86. Wienerberger Ltd, (2016) Precision-made clay block walling system. Available at: <http://wienerberger.co.uk/downloads/20160321081326/porotherm-brochure.pdf> (Accessed: 17 July 2017).
87. Raynor, J.S., 1930. Solid-wall construction. U.S. Patent 1,764,748.
88. Ziegel NZ, (2017) Ziegel Construction. Available at: <http://www.ziegel.co.nz/construction.html> (Accessed: 17 July 2017).
89. Lyons, A., 2010. Materials for Architects and Builders: Blocks and Blockwork. Elsevier, 3rd, pp.32-47.
90. Sutton, M.E., 1999. Autoclaved cellular concrete, the future of fly ash. In Proceeding of international ash utilization symposium, paper (Vol. 73).
91. Aerated Concrete Block, (2017) AAC Blocks Introduction. Available at: <http://www.aeratedconcreteblock.com/> (Accessed: 17 July 2017).
92. America's Cement Manufacturer, (2017) Autoclaved Aerated Concrete. Available at: <http://www.cement.org/structures/buildings-structures/concrete-homes/building-systems-for-every-need/autoclaved-aerated-concrete> (Accessed: 17 July 2017).
93. Light Weight Blocks, (2017) LIGHT WEIGHT AAC SIPOREX BLOCKS. Available at: <http://www.lightweightblocks.in/siporex.php> (Accessed: 17 July 2017).
94. Rodriguez, J. (2016) What Is and When to Use Autoclaved Aerated Concrete (AAC). Available at: <https://www.thebalance.com/what-is-autoclaved-aerated-concrete-844759> (Accessed: 17 July 2017).

95. Hanif, A., Diao, S., Lu, Z., Fan, T. and Li, Z., 2016. Green lightweight cementitious composite incorporating aerogels and fly ash cenospheres– Mechanical and thermal insulating properties. **Construction and Building Materials**, **116**, 422-430.
96. JIOS Aerogel Limited, (2015) JIOS AeroVa® Aerogel Powder. Available at: <http://www.jiosaerogel.com/aerova-aerogel-powder/> (Accessed: 17 July 2017).
97. Aerogel UK Ltd., (2017) Aerogel Granules. Available at: <http://www.aerogel.uk.com/newgranule2.html> (Accessed: 17 July 2017).
98. Buratti, C., Moretti, E., Belloni, E. and Agosti, F., 2014. Development of innovative aerogel based plasters: preliminary thermal and acoustic performance evaluation. **Sustainability**, **6**(9), 5839-5852.
99. Rezaei, E. and Moghaddas, J., 2016. Thermal conductivities of silica aerogel composite insulating material. **Adv. Mater. Lett**, **7**, 296-301.
100. Beaulieu, D. (2017) While Curing Concrete, Why Do People Cover It With Plastic?. Available at: <https://www.thespruce.com/while-curing-concrete-why-cover-with-plastic-2130887> (Accessed: 17 July 2017).
101. Rodrigues, Fernando, Evangelista, Luís, & Brito, Jorge de. 2013. A new method to determine the density and water absorption of fine recycled aggregates. **Materials Research**, **16**(5), 1045-1051. Epub May 21, 2013. <https://dx.doi.org/10.1590/S1516-14392013005000074>
102. Arun Nishchal Guleria and Sandeep Salhotra, 2016. Effects of Silica Fume (Micro Silica or Nano Silica) On Mechanical Properties of Concrete: A Review. **International Journal of Civil Engineering and Technology**, **7**(4), 345–357.
103. Qing, Y., Zenan, Z., Deyu, K. and Rongshen, C., 2007. Influence of nano-SiO₂ addition on properties of hardened cement paste as compared with silica fume. **Construction and building materials**, **21**(3), 539-545.
104. Ltifi, M., Guefrech, A., Mounanga, P. and Khelidj, A., 2011. Experimental study of the effect of addition of nano-silica on the behaviour of cement mortars. **Procedia Engineering**, **10**, 900-905.

105. Yu, R., Spiesz, P. and Brouwers, H.J.H., 2014. Effect of nano-silica on the hydration and microstructure development of Ultra-High Performance Concrete (UHPC) with a low binder amount. **Construction and Building Materials**, **65**, 140-150.
106. Amudhavalli, N.K. and Mathew, J., 2012. Effect of silica fume on strength and durability parameters of concrete. **International Journal of Engineering Sciences & Emerging Technologies**, **3**(1), 28-35.
107. Quercia, G. and Brouwers, H.J.H., 2010, June. Application of nano-silica (nS) in concrete mixtures. In *8th fib International Ph. D. Symposium in Civil Engineering*. Lyngby (pp. 431-436).
108. Islam, M.M. and Islam, M.S., 2010. Strength behavior of mortar using fly ash as partial replacement of cement. **Concrete Research Letters**, **1**(3), 98-106.
109. Kiran, T.G.S. and Ratnam, M.K.M.V., 2014. Fly ash as a partial replacement of cement in concrete and durability study of fly ash in acidic (H₂SO₄) environment. **International Journal of Engineering Research and Development**, **10**(12), 1-13.
110. Verma, A., Srivastava, D., Singh, N. K., 2017. A Review on Partial Replacement of Cement by Fly ash and Effect of Steel Fibers. **IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering (IOSR-JMCE)**, **3**(1), 104-107.
111. Bentz, D.P., Peltz, M.A., Durán-Herrera, A., Valdez, P. and Juarez, C.A., 2011. Thermal properties of high-volume fly ash mortars and concretes. **Journal of Building Physics**, **34**(3), 263-275.
112. Ratke, L., 2008. Herstellung und Eigenschaften eines neuen Leichtbetons: Aerogelbeton. **Beton-und Stahlbetonbau**, **103**(4), 236-243.
113. Biricik, H. and Sarier, N., 2014. Comparative study of the characteristics of nano silica-, silica fume-and fly ash-incorporated cement mortars. **Materials Research**, **17**(3), 570-582.
114. Kim, S., Seo, J., Cha, J. and Kim, S., 2013. Chemical retreating for gel-typed aerogel and insulation performance of cement containing aerogel. **Construction and Building Materials**, **40**, 501-505.

115. Sharobim, K.G. and Mohammedin, H.A., 2013. The effect of Nano-liquid on the properties of hardened concrete. **HBRC Journal**, 9(3), 210-215.
116. Jittabut, P., 2015. Effect of Nanosilica on Mechanical and Thermal Properties of Cement Composites for Thermal Energy Storage Materials. **Energy Procedia**, 79, 10-17.
117. Ng, S., Jelle, B.P., Sandberg, L.I.C., Gao, T. and Wallevik, Ó.H., 2015. Experimental investigations of aerogel-incorporated ultra-high performance concrete. **Construction and Building Materials**, 77, 307-316.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİ

Ad Soyad: Issra Kadum Aziz Al Zaidi
Uyruk: Irak
Doğum tarihi ve yeri: 1 Mayıs 1984, Bağdat
Sosyal statü: Bekâr
Tel: +90 5396205309
E-posta: assrakadum@yahoo.com
Adres: Bahçelievler Mahallesi Mevlana Sokak Gaye Apt .Blok No.8
Kapı No: 8 Talas-Kayseri

EĞİTİM

Derecesi	Kurum	Mezuniyet Yeri
Yüksek Lisans	ERU Fen Bilimleri Enstitüsü	2017
Lisans	Teknoloji Üniversitesi	2007
Lise	AL-Satış Okulu	2003
Deneyimler		2008 - 2014