

**T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**FIBERCEMENT KARIŞIMLARININ VE ÖZELLİKLERİNİN
İYİLEŞTİRİLMESİ**

BERKAY ZAFER ERDEM

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
YAPI PROGRAMI**

**DANIŞMAN
PROF. DR. NABİ YÜZER**

**EŞ DANIŞMAN
YRD. DOÇ. DR. CEREN İNCE**

İSTANBUL, 2015

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

FIBERCEMENT KARIŞIMLARININ VE ÖZELLİKLERİNİN
İYİLEŞTİRİLMESİ

Berkay Zafer Erdem tarafından hazırlanan tez çalışması 14.07.2015 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Prof. Dr. Nabi YÜZER
Yıldız Teknik Üniversitesi

Eş Danışman

Yrd. Doç. Dr. Ceren İNCE
Yeditepe Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Nabi YÜZER
Yıldız Teknik Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Ceren İNCE
Yeditepe Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Özgür ÇAKIR
Yıldız Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Bekir Yılmaz PEKMEZCİ
İstanbul Teknik Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Ünal Anıl DOĞAN
İstanbul Teknik Üniversitesi

ÖNSÖZ

İnşaat mühendisliği, malzeme ve tekniği en iyi şekilde bir araya getiren, yapıların plan, proje, yapım ve denetlenmesiyle uğraşan temel mühendislik dalıdır. İnşaat mühendisliği mesleğinin öğrenilmesinde ara kademelerden biri olan yüksek lisans eğitiminin sonuna gelmiş bulunuyorum. Mesleğimin ayrıntılarını öğrenmek ve faydalı bir mühendis olabilmek için önümde aşmam gereken birçok engel olduğunun farkında olarak;

Lisans ve yüksek lisans eğitimin boyunca ilminden faydalandığım, insani ve ahlaki değerleri ile de örnek edindiğim, yanında çalışmaktan onur duyduğum ve ayrıca tecrübelerinden yararlanırken göstermiş olduğu hoşgörü ve sabırdan dolayı değerli hocalarım Yard. Doç. Dr. Ceren İNCE, Yard. Doç. Dr. Shahram DEROGAR ve Prof. Dr. Nabi YÜZER başta olmak üzere,

Lisans ve yüksek lisans eğitimimde bana yardımcı olan hocalarıma, birlikte çalışmaktan büyük mutluluk duyduğum araştırma görevlisi arkadaşlarıma,

Bu günlere gelmemde büyük pay sahibi olan aileme ve dostlarıma teşekkürlerimi sunarım.

Temmuz, 2015

Berkay Zafer ERDEM

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ.....	viii
KISALTMA LİSTESİ	ix
ŞEKİL LİSTESİ.....	x
ÇİZELGE LİSTESİ	xii
ÖZET	xiv
ABSTRACT.....	xvi
BÖLÜM 1	
GİRİŞ	1
1.1 Literatür Özeti.....	1
1.2 Tezin Amacı.....	1
1.3 Hipotez.....	3
BÖLÜM 2	
FIBERCEMENT LEVHA	4
2.1 Fibercement Levhalar	4
2.1.1 Fibercement Levha Üretim Şekli.....	5
2.1.2 Fiber Cement Levhaların Kullanım Alanları	9
2.1.3 Fibercement Levhaların Kullanımı	10
2.1.3.1 Dünya’da.....	10
2.1.3.2 Türkiye’de.....	10
2.1.4 Fibercement Levha Üreticileri.....	16
2.1.4.1 Global Olarak Hizmet Veren Şirketler.....	16
2.1.4.2 Türkiye’deki Fibercement Levha Üreticileri	16
2.2 Fibercement Levha Üretiminde Kullanılan İnert Malzemeler.....	18
2.2.1 Kuvars Kumu	18
2.2.1.1 Kuvars Kumunun Tanımı ve Sınıflandırılması	18
2.2.1.2 Dünya’da Bulunan Kuvars Rezervleri	18

2.2.1.3	Türkiye’de Bulunan Kuvars Rezervleri	19
2.2.1.4	Kuvars Kumunun Elde Edilişi	19
2.2.1.5	Sektörde Üretim Yapan Önemli Yerli Kuruluşlar	19
2.2.1.6	Kuvars Kumunun Kullanım Alanları	20
2.2.1.7	Kuvars Kumu ile Yapılan Literatür Çalışmaları	22
2.2.2	Diatomit	22
2.2.2.1	Diatomitin Tanımı	22
2.2.2.2	Diatomitin Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri	24
2.2.2.3	Dünya’da Bulunan Diatomit Rezervleri	24
2.2.2.4	Türkiye’de Bulunan Diatomit Rezervleri	25
2.2.2.5	Diatomitin Elde Edilişi ve Üretimi	26
2.2.2.6	Diatomit’in Kullanım Alanları	27
2.2.2.7	Diatomit ile İlgili Yapılan Literatür Çalışmaları	28
2.3	Fibercement Levha Üretiminde Kullanılan Bağlayıcı Malzemeler	30
2.3.1	Çimento	30
2.3.1.1	Çimentonun Tanımı ve Tarihi	30
2.3.1.2	Çimento Üretimi	31
2.3.1.3	Çimento Çeşitleri	32
2.3.1.4	Çimentonun Çeşitlerinin Kullanım Alanları	34
2.3.2	Granüle Yüksek Fırın Cürufu	35
2.3.2.1	Granüle Yüksek Fırın Cürufunun Tanımı	35
2.3.2.2	Granüle Yüksek Fırın Cürufu Üretimi	36
2.3.2.3	Granüle Yüksek Fırın Cürufu Kullanımının Avantajları	37
2.3.2.4	Granüle Yüksek Fırın Cürufu Betonun Kullanım Alanları	38
2.3.2.5	Granüle Yüksek Fırın Cürufu ile Yapılan Literatür Çalışmaları	38
2.3.3	Uçucu Kül	42
2.3.3.1	Uçucu Külün Tanımı	42
2.3.3.2	Uçucu Küllerin Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri	42
2.3.3.3	Uçucu Küllerin Pozolanik Özelliği	43
2.3.3.4	Uçucu Küllerin Sınıflandırılması	44
2.3.3.5	Uçucu Kül Üretimi	45
2.3.3.6	Uçucu Külün Kullanım Alanları	46
2.3.3.7	Uçucu Kül Kullanımının Avantajları	47
2.3.3.8	Uçucu Kül ile Yapılan Literatür Çalışmaları	48
2.4	Fibercement Levha Üretiminde Kullanılan Lifler	50
2.4.1	Liflerin Sınıflandırılması	51
2.4.1.1	Doğal Lifler	51
2.4.1.2	İnsan Yapımı Lifler	52
2.4.2	Selüloz Lif	52
2.4.2.1	Selüloz Lifin Genel karakteristikleri	53
2.4.2.2	Selüloz Lif Özellikleri	53
2.4.2.3	Selüloz Lif Kullanımı	54
2.4.2.4	Selüloz Lif Kullanım Alanları	54
2.4.2.5	Selüloz Lif ile Yapılan Literatür Çalışmaları	54
2.4.3	Polipropilen Lif	56
2.4.3.1	Polipropilen Lif Üretimi	56
2.4.3.2	Polipropilen Lifin Kullanımının Avantajları	57
2.4.3.3	Polipropilen Liflerin Fibercement Levha Üzerindeki Rolü	58

2.4.3.4 Polipropilen Lif ile Yapılan Literatür Çalışmaları	58
--	----

BÖLÜM 3

KULLANILAN MALZEMELER ve DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	60
3.1 Fibercement Levhaların Karışım Dizaynında Kullanılan Malzemeler	60
3.1.1 Kuvars Kumu	60
3.1.2 Diatomit	61
3.1.3 Çimento.....	62
3.1.4 Lifler	62
3.1.4.1 Selüloz Lif.....	62
3.1.4.2 Polipropilen Lif	63
3.1.5 Mineral Katkılar.....	64
3.1.5.1 Granüle Yüksek Fırın Cürufu	64
3.1.5.2 Uçucu Kül	65
3.1.6 İnert Malzeme İçeren Fibercement Levhaların Karışım Dizaynı	66
3.1.7 Mineral Katkı İçeren Fibercement Levhaların Karışım Dizaynı	67
3.1.8 Lif İçeren Fibercement Levhaların Karışım Dizaynı.....	70
3.2 Numune Hazırlama Prosedürü.....	73
3.3 Kıvam Deneyi	75
3.4 Kütle Ölçümü.....	77
3.5 Kılcal Su Emme Deneyi	78
3.6 Basınç ve Eğilme Dayanımı Deneyi.....	79
3.7 Karbonatlaşma Deneyi.....	82

BÖLÜM 4

SONUÇLAR ve DEĞERLENDİRMELER.....	83
4.1 İnert Malzemelerin Fibercement Karışımlarının Özelliklerine Etkisi	83
4.1.1 Kütle Ölçümü Sonuçları	83
4.1.2 Kıvam Deneyi Sonuçları.....	85
4.1.3 Kılcal Su Emme Deneyi Sonuçları	87
4.1.4 Basınç Dayanımı Deneyi Sonuçları	88
4.1.5 Eğilme Dayanımı Deneyi Sonuçları	90
4.2 Liflerin Fibercement Levha Karışımlarının Özelliklerine Etkisi.....	92
4.2.1 Kütle Ölçümü Sonuçları	92
4.2.2 Kıvam Deneyi Sonuçları.....	92
4.2.3 Kılcal Su Emme Deneyi Sonuçları	94
4.2.4 Selüloz Lif İçeren Fibercement Levhaların Basınç Dayanımı.....	95
4.2.5 Polipropilen Lif İçeren Fibercement Levhaların Basınç Dayanımı	96
4.2.6 Polipropilen Lif İçeren Fibercement Levhaların Eğilme Dayanımı	98
4.3 Mineral Katkıların Fibercement Karışımlarının Özelliklerine Etkisi	99
4.3.1 Kütle Ölçümü Sonuçları	99
4.3.2 Kıvam Deneyi Sonuçları.....	99
4.3.3 Kılcal Su Emme Deneyi Sonuçları	100

4.3.4 Uçucu Kül İçeren Fibercement Levhaların Kısa Süreli Basınç Dayanımı Sonuçları	101
4.3.5 Granüle Yüksek Fırın Cürufu İçeren Fibercement Levhaların Kısa Süreli Basınç Dayanımı Sonuçları	102
4.3.6 Granüle Yüksek Fırın Cürufu İçeren Fibercement Levhaların Uzun Süreli Basınç Dayanımı Sonuçları	104
4.3.7 Karbonatlaşma Deneyi Sonuçları	105
4.3.8 Kür Şartlarının Fibercement Levhaların Basınç Dayanımına Etkisi	106
BÖLÜM 5	
SONUÇ.....	109
KAYNAKLAR	111
ÖZGEÇMİŞ	116

SİMGE LİSTESİ

kg	Kilogram
g	Gram
m	Metre
cm	Santimetre
mm	Milimetre
l	Litre
MPa	Megapascal
t	Zaman
k	Kılcal su emme katsayısı

KISALTMA LİSTESİ

D	Diatomit
GYFC	Granüle Yüksek Fırın Cürufu
K	Kuvars Kumu
UK	Uçucu Kül

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2.1 Hatschek makinesi	6
Şekil 2.2 Fibercement levhaların Hatchek makinası ile üretim aşamaları.....	7
Şekil 2.3 Sıkma makinesinin sistematik şeması	8
Şekil 2.4 Fourdrinier makinesi.....	8
Şekil 2.5 1950 yılında fibercement kullanımı.....	11
Şekil 2.6 2005 yılında fibercement kullanımı.....	11
Şekil 2.7 1950 yılında çatı malzemeleri üretimi	12
Şekil 2.8 2005 yılında çatı malzemeleri üretimi	13
Şekil 2.9 Endüstriyel binalarda fibercement ve sandviç panel kullanımı	15
Şekil 2.10 Çimento üretim şeması	32
Şekil 2.11 Granüle yüksek fırın cürufu üretim şeması	37
Şekil 2.12 Kömür yakıtlı elektrik santrali	45
Şekil 2.13 Küresel uçucu kül parçacıkları	46
Şekil 2.14 Doğal lifler.....	51
Şekil 2.15 İnsan yapımı (suni) lifler	52
Şekil 2.16 Polipropilen lif üretimi	56
Şekil 3.1 Diatomit.....	61
Şekil 3.2 Selüloz lif.....	62
Şekil 3.3 Polipropilen lif.....	63
Şekil 3.4 Granüle yüksek fırın cürufu.....	64
Şekil 3.5 Uçucu kül.....	65
Şekil 3.6 Mikser.....	74
Şekil 3.7 Kiriş ve küp numune kalıpları	75
Şekil 3.8 Yayılma tablası	77
Şekil 3.9 Elektronik terazi	78
Şekil 3.10 Kılcal su emme deneyi	79
Şekil 3.11 Basınç ve eğilme dayanımı cihazı	80
Şekil 3.12 Basınç dayanımı deneyi başlığı	81
Şekil 3.13 Eğilme dayanımı deneyi başlığı	81
Şekil 4.1 Diatomit ikame oranı artışının fibercement levhaların kütlesi etkisi	85
Şekil 4.2 Levhaların içerdiği su / çimento oranı ve kıvamları arasındaki ilişki	86
Şekil 4.3 Diatomitin fibercement levhaların kılcal su emilimine etkisi	87
Şekil 4.4 Diatomit ikame oranını artışının fibercement levhaların basınç dayanımına etkisi.....	89
Şekil 4.5 Diatomit ikame oranı artışının fibercement levhaların kütlesine ve basınç dayanımına etkisi	90

Şekil 4.6 Diatomit ikame oranı artışının fibercement levhaların eğilme dayanımına etkisi	91
Şekil 4.7 Selüloz lif miktarının fibercement levhaların kıvamlarına etkisi	93
Şekil 4.8 %100 diatomit içeren levhaların lif hacim oranı ve su miktarı	93
Şekil 4.9 Selüloz ve polipropilen lifin fibercement levhaların kılcal su emilimine etkisi	94
Şekil 4.10 Selüloz lif miktarının fibercement levhaların basınç dayanımlarına etkisi ..	96
Şekil 4.11 Polipropilen lif içeren fibercement levhaların basınç dayanımlarının karşılaştırılması	97
Şekil 4.12 Polipropilen lifin fibercement levhaların eğilme dayanımına etkisi	98
Şekil 4.13 Granüle yüksek fırın cürufu ile üretilen fibercement levhaların kıvam değerleri	99
Şekil 4.14 Sabit kıvam değeri için granüle yüksek fırın cürufu ile su hacim oranı arasındaki ilişki	100
Şekil 4.15 Granüle yüksek fırın cürufunun fibercement levhaların kılcal su emilimine etkisi	101
Şekil 4.16 Uçucu kül içeren fibercement levhaların basınç dayanımlarının karşılaştırılması	102
Şekil 4.17 Granüle yüksek fırın cürufunun fibercement levhaların basınç dayanımına etkisi	103
Şekil 4.18 Granüle yüksek fırın cürufunun içeren fibercement levhalardaki uzun vadeli basınç dayanımı	105
Şekil 4.19 Karbotlaşma derinliği ile basınç dayanımı arasındaki ilişki	106
Şekil 4.20 Kür şartlarının fibercement levhaların basınç dayanımına etkisi	107

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 2.1 Kuvars kumu üreten önemli yerli kuruluşlar	20
Çizelge 2.2 Uçucu külün inşaat sektöründe kullanıldığı alanlar	47
Çizelge 3.1 Kullanılan kuvars kumunun kimyasal içeriği	60
Çizelge 3.2 Kullanılan diatomitin fiziksel ve kimyasal özellikleri	61
Çizelge 3.3 Kullanılan selüloz lifin fiziksel özellikleri	62
Çizelge 3.4 Kullanılan polipropilen lifin fiziksel özellikleri	63
Çizelge 3.5 Kullanılan granüle yüksek fırın cürufunun kimyasal bileşimi	64
Çizelge 3.6 Kullanılan uçucu külün kimyasal ve fiziksel özellikleri	65
Çizelge 3.7 Kuvars Kumu ve diatomit içeren karışımlardaki malzeme miktarları	66
Çizelge 3.8 %100 Kuvars kumu ve uçucu kül içeren karışımlardaki malzeme miktarları	67
Çizelge 3.9 %50 Kuvars kumu - %50 diatomit ve uçucu kül içeren karışımlardaki malzeme miktarları	68
Çizelge 3.10 %100 Diatomit ve uçucu kül içeren karışımlardaki malzeme miktarları ..	68
Çizelge 3.11 %100 Kuvars kumu ve granüle yüksek fırın cürufu içeren karışımlardaki malzeme miktarları	69
Çizelge 3.12 %50 Kuvars kumu - %50 diatomit ve granüle yüksek fırın cürufu içeren karışımlardaki malzeme miktarları	69
Çizelge 3.13 %100 Diatomit ve granüle yüksek fırın cürufu içeren karışımlardaki malzeme miktarları	70
Çizelge 3.14 %100 Kuvars kumu ve selüloz lif içeren karışımlardaki malzeme miktarları	71
Çizelge 3.15 %50 Kuvars kumu - %50 diatomit ve selüloz lif içeren karışımlardaki malzeme miktarları	71
Çizelge 3.16 %100 Diatomit ve selüloz lif içeren karışımlardaki malzeme miktarları ..	72
Çizelge 3.17 %100 Kuvars kumu ve polipropilen lif içeren karışımlardaki malzeme miktarları	72
Çizelge 3.18 %50 Kuvars kumu - %50 diatomit ve polipropilen lif içeren karışımlardaki malzeme miktarları	73
Çizelge 3.19 %100 Diatomit ve polipropilen lif içeren karışımlardaki malzeme miktarları	73
Çizelge 4.1 Diatomit ikame oranı artışının fibercement levhaların kütleline etkisi	84
Çizelge 4.2 Kıvam deneyi sonuçları	86
Çizelge 4.3 Fibercement levhaların basınç dayanımı sonuçları	88
Çizelge 4.4 Fibercement levhaların eğilme dayanımı deneyi sonuçları	91
Çizelge 4.5 Selüloz lif hacim oranının fibercement levhaların basınç dayanımlarına etkisi	95

Çizelge 4.6 Polipropilen lif içeren fibercement levhaların basınç dayanımı	97
Çizelge 4.7 Polipropilen lifli içeren fibercement levhaların eğilme dayanımı	98
Çizelge 4.8 Uçucu külün içeren fibercement levhaların basınç dayanımı.....	101
Çizelge 4.9 Granüle yüksek fırın cürufunun içeren fibercement levhaların basınç dayanımı.....	103
Çizelge 4.10 Granüle yüksek fırın cürufu içeren fibercement levhalardaki uzun vadeli basınç dayanımı	104
Çizelge 4.11 Farklı kür şartlarının fibercement levhaların basınç dayanımına etkisi ..	107

FIBERCEMENT KARIŞIMLARININ VE ÖZELLİKLERİNİN İYİLEŞTİRİLMESİ

Berkay Zafer ERDEM

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Nabi YÜZER

Eş Danışman: Yard. Doç. Dr. Ceren İNCE

Fibercement 19. yüzyılın sonlarına doğru, kum, çimento ve lif kullanılarak üretilmiş kompozit bir malzemedir. Fibercement levhalar genellikle pürüzsüz düz yüzey kaplamaları, iç mekanlarda ahşap görünümü veren dekoratif kaplama elamanı ve kenar uygulamalarında kullanılan çok yönlü bir malzemedir. Fibercement levhalar, uzun ömürlü yapı malzemeleridir ve inşaat sektöründe kullanımı açısından sürdürülebilirliği ile ön plana çıkmaktadır. Yapılan çalışmalarda fibercement levha karışımlarının ve özelliklerinin iyileştirilmesini incelemek ve bu özellikleri daha da geliştirmek amacıyla inert malzemeler, lifler ve mineral katkıları kullanılmıştır. İnert malzeme olarak kuvars kumu ve diatomit, lif olarak selüloz ve polipropilen lif, mineral katkı maddeleri olarak ise granüle yüksek fırın cürufu ve uçucu kül seçilmiş ve bu malzemelerin fibercement levhaların durabilite ve mekanik özelliklerine olan etkisini inceleyebilmek amacıyla kütle ölçümü, kıvam, kılcal su emme, basınç dayanımı, eğilme dayanımı ve karbonatlaşma deneyleri gerçekleştirilmiştir. Kuvars kumu ve diatomit malzemeleriyle yapılan deneyler sonucunda, diatomit ikame oranının artırılmasıyla fibercement levhaların kütlede azalma, basınç ve eğilme dayanımlarında ise artış gözlemlenmiştir. Ayrıca diatomit ikame oranını artışıyla levhaların karbonatlaşma derinliğinde ve kılcal su emme miktarında azalma gözlemlenmiştir. Lif malzemeleri ile yapılan deney sonuçlarında lif miktarının artırılmasıyla levhaların basınç dayanımlarında ve özellikle polipropilen lif içeren fibercement levhaların eğilme

dayanımlarında artış görülmüştür. Ayrıca kılcal su emme deneyi sonucunda selüloz lif içeren fibercement levhaların polipropilen lif içeren levhalara kıyasla kılcal su emme miktarının daha az olduğu sonucuna varılmıştır. Mineral katkıları ile yapılan çalışmalarda ise levhaların özellikle durabilitesi üzerinde durulmuştur. Deneylerde granüle yüksek fırın cürufu ve uçucu kül ikame oranı arttırıldığında levhaların karbonatlaşma derinliğinde ve levhaların 28. gün basınç dayanımlarında azalma gözlemlenmiştir. Çalışmalarda ayrıca uzun vadeli basınç dayanımı deneyleri yapılmasına karar verilmiş ve olumlu sonuçlar elde edilmiştir. Son olarak %100 diatomit ve granüle yüksek fırın cüruf içeren levhaların farklı kür ortamlarındaki basınç dayanımlarını incelemek için normal laboratuvar koşulları, su kürü (22°C) ve sıcak su kürü (40°C) koşullarında bekletilmiş ve en yüksek basınç dayanımını veren levhalar sıcak su kürü içerisinde bekletilen numunelerde görülmüştür.

Tezde fibercement karışımlarının ve özelliklerinin iyileştirilmesi incelenmiş ve raporlanmıştır. Yapılan çalışmalarda diatomit kullanarak daha hafif, daha dayanıklı ve yüksek mukavemetli levhalar üretilebileceği ve bunun yanında mineral katkıları kullanılarak sürdürülebilir yapı malzemesi üretimi için pratik sonuçlar elde edilmesi sağlanmıştır.

Anahtar kelimeler: Diatomit, durabilite, mukavemet, mineral katkı malzemeleri, lif

ABSTRACT

IMPROVING PROPERTIES OF FIBRECEMENT MIXTURES

Berkay Zafer ERDEM

Department of Civil Engineering

MSc. Thesis

Adviser: Prof. Dr. Nabi YUZER

Co-Adviser: Yard. Doç. Dr. Ceren INCE

Fibre cement is a composite material made using sand, cement and fibres invented in the late 19th century. Fibre cement plates generally used for various interior and exterior applications as a smooth, flat surface for cladding, partitioning and edging. The use of fibre cement plates in construction industry is increasing due to its advantages over traditional materials. In this thesis in order to investigate factors affecting durability and mechanical properties of fibre cement plates inert materials, fibres and supplementary cementing materials (SCMs) are used. As an inert material quartz sand and diatomite, as a fibre cellulose and polypropylene fibres and as a supplementary cementing materials fly ash (FA) and ground granulated blast furnace slag (GGBS) are used as partial replacement materials to the binder and mass measurement, consistency, sorptivity, compression strength, flexural strength and carbonation experiments were carried. Diatomite has much lower density and has smaller fine particles compared to quartz sand. The experimental results using quartz sand and diatomite indicated that the increase in the partial replacement levels of diatomite resulted in a significant decrease in the total mass of fibre cement plates and increase in compressive and flexural strength. Durability characteristics such as sorptivity and resistance to carbonation are improved considerably with the use of diatomite. The experimental results using cellulose and polypropylene fibres indicated that increase in volume of cellulose and polypropylene fibre increased

compressive strength of fibre cement plates and especially flexural strength of fibre cement plates when polypropylene fibres were used. Another result using fibres in sorptivity experiment is fibre cement plates produced with cellulose fiber showed low sorptivity than plates which produced with polypropylene fibers. At last, the experimental results using fly ash and ground granulated blast furnace slag indicated that the increase in the replacement levels of both FA and GGBS resulted in a systematic decrease in the short-term compressive strength but increase resistance to carbonation of fibre cement plates. With this result, a long-term study is determined to investigate the development of the compressive strength of fibre cement plates using SCMs. Effects of curing conditions to compressive strength of fibre cement plates which includes %100 diatomite and granulated blast furnace slag also investigated by comparison of plates which are cured in normal laboratory condition, under water (22°C) and under hot water (40°C) and results showed that plates cured in hot water gave highest compressive strength.

The major factors that affect the durability and mechanical properties of the fibre cement plates are studied in this thesis. The author strongly believes that the results generated throughout the thesis have important practical consequences in terms of producing light weight, more durable and high strength plates as well as supporting more sustainable production of these plates using SCMs.

Keywords: Diatomite, durability, strength, supplementary cementing materials, fibre

1.1 Literatür Özeti

Fibercement levhalar, yapıların her türlü iç ve dış cephe uygulamalarında kullanılan, otoklavda sertleştirilmiş, düz veya ahşap desenli yüzey görünümüne sahip doğal lif katkılı ve çimento esaslı levhalardır. Fibercement levhalar ilk olarak çimento, su ve asbest lif malzemeleri kullanılarak üretiliyordu. Asbest lifin yapılan araştırmalar sonucu sağlığa zararlı olduğu kanıtlandıktan sonra asbest lifin yerini daha doğal, sürdürülebilir ve zararsız bir lif çeşiti olan selüloz lif almıştır. Fibercement levhaların sandviç panel şeklinde ara bölme duvar elemanı, çatı kaplama malzemelerinin altında destek elemanı, iç mekanlarda ahşap görünümü veren dekoratif kaplama elemanı ve her türlü yapıda dış ve iç cephe kaplama malzemesi olarak kullanımı çeşitli kullanım alanlarından sadece birkaçıdır. Fibercement levhaların kullanım alanlarının çeşitliliği sayesinde inşaat sektörünün birçok alanında tercih edilmesine artı olarak bu levhaların kullanımı ve önemi günden güne artmaktadır. Bugün ise malzeme çeşitliliği ve teknolojinin üreticilere sağladığı yeni üretim teknikleri sayesinde daha hafif ve daha fazla dayanım sağlayabilen levhalar üretmek mümkün hale gelmiştir. Yeni malzemelerle oluşturulan fibercement levhaların mekanik özelliklerinin iyileştirilmesi ve daha da geliştirilmesi, sürdürülebilirlik kavramının önem kazandığı günümüzde sürdürülebilir yapı elemanı olarak birçok alanda kullanılabilir olması levhaların kullanımının öneminin daha da artacağını öngörmektedir.

1.2 Tezin Amacı

Tezin amaçlarını üç ana başlık altında toplamak mümkündür. İlk amaç farklı özelliğe sahip olan ve farklı ikame oranında diatomit ve kuvars kumu kullanarak kullanarak fibercement karışımlarının ve özelliklerinin iyileştirilmesidir. Fibercement levhalarda

kullanılan inert malzeme kuvars kumudur ve özgül ağırlığı yüksek olduğundan levhaların ağır olmasına neden olmaktadır. Daha hafif levhalar üretilmesi açısından özgül ağırlığı düşük ve elde edilmesi kolay olan alternatif malzemelerden birini seçerek yeni malzemenin levhalar üzerindeki mekanik özellikleri üzerindeki etkisini araştırmak önem taşımaktadır. Bu amaçla yapılan çalışmalar değerlendirilerek diatomit malzemesinin kullanımına karar verilmiştir. Diatomit ve kuvars kumunun farklı ikame oranlarında kullanımının levhaların karakteristikleri ve mekanik özellikleri üzerindeki etkisini gözlemlemek için %100 kuvars kumu içeren levhalardan başlanarak her adımda %10 oranında diatomit ikame edilmesiyle %100 diatomit içeren fibercement levhalar oluşturulmuş ve deneyler gerçekleştirilmiştir.

İkinci amaç farklı özelliklere sahip ve farklı miktarda lif kullanarak liflerin fibercement karışımlarının ve özelliklerinin iyileştirilmesidir. Fibercement levhalarda asbest lifin kullanımının yasaklanmasından sonra araştırmalar sonucunda selüloz lif kullanımına geçilmiştir ve halen günümüzde fibercement levha üretiminde tercih edilen lif türüdür. Tezde fibercement levhalarda hem kullanılan selüloz liflerin hemde farklı bir lif türünün levhalar üzerindeki etkisini araştırmak ve lifler arasında karşılaştırma yapabilmek amacıyla polipropilen lif kullanılmasına karar verilmiştir. Polipropilen lif inşaat sektöründe sıklıkla kullanılan yapay lif çeşitidir. Yapılan çalışmalarda farklı lif oranının levhalar üzerindeki mekanik özelliklerini incelemek amacı ile selüloz lifler için 166.25, 175 ve 183.75 gram kullanılırken, polipropilen lifler için 1g, 2g ve 4g kullanılarak deneyler gerçekleştirilmiştir ve sonuçlar elde edilmiştir.

Üçüncü amaç ise farklı ikame oranında mineral katkı maddeleri kullanarak fibercement karışımlarının ve özelliklerinin iyileştirilmesidir. Mineral katkı maddelerinin diatomit ve kuvars kumu ile oluşturduğu kombinasyonları incelemek amacı ile inşaat sektöründe mineral katkı maddesi olarak sıklıkla kullanılan uçucu kül ve granüle yüksek fırın cürufu malzemeleri kullanımı tercih edilmiştir. Yapılan çalışmalarda uçucu kül ve granüle yüksek fırın cürufu %100 kuvars kumu, %50 kuvars kumu - %50 diatomit ve %100 diatomit içeren fibercement levhalarda mineral katkı maddesi olarak kullanılmıştır. Hem uçucu kül hemde granüle yüksek fırın cürufu çimento ile ayrı ayrı %10, %20, %30 ve %40 oranında çimento ile ikame edilerek levhalar oluşturulmuş ve deneyler gerçekleştirilmiştir.

1.3 Hipotez

Yapılan çalışmada fibercement levhala karışımlarının ve özelliklerinin iyileştirilmesi için yapılan çalışmaları ve ulaşılmaya çalışılan hedefleri üç ana başlık altında incelemek mümkündür.

İlk hipotez kuvars kumu ile üretilen fibercement levhaların yerine alternatif malzeme kullanarak bu levhaların basınç dayanımını, durabilitesini arttırırken, kütlelerini azaltmaktır. Yapılan araştırmalar sonucu diatomit malzemesinin daha düşük yoğunluğa sahip olduğu ve doğru su oranı ile birlikte kullanıldığında basınç dayanımında olumlu etki sağlayacağı düşünüldüğünden deneyler diatomit malzemesinin kullanımına önem verilerek gerçekleştirilmiştir.

İkinci hipotez lif olarak selüloz lif kullanılan fibercement levhalarda ayrıca yapay bir lif olan polipropilen lif kullanarak fibercement karışımlarının ve özelliklerinin geliştirilmesidir. Polipropilen lifin inşaat sektöründe lifli beton üretiminde sıklıkla kullanılması ve saydamsı yapısı sayesinde kullanıldığı betonda dış görünüşü etkilememesi gibi özelliklerinden dolayı bu lif ile çalışılmaya karar verilmiştir. Polipropilen lif kullanılan fibercement levhaların özellikle eğilme dayanımında artış göstermesi beklenmektedir.

Üçüncü hipotez ise granüle yüksek fırın cürufu ve uçucu kül kullanılarak fibercement levhaların durabilitesini arttırmaktır. Granüle yüksek fırın cürufu ve uçucu kül inşaat sektöründe sıklıkla kullanılan mineral katkı maddeleri olduğundan fibercement levhaların durabilitesi üzerindeki etkisinin araştırılması önem taşımaktadır. Yapılacak olan çalışmalarda mineral katkı maddelerinin fibercement levhaların kılcal su emme miktarının azaltması ve karbonatlaşmaya karşı direncini arttırmasının yanında %100 diatomit içeren fibercement levhaların uzun dönem basınç dayanımında olumlu sonuç alınması hedeflenmiştir.

BÖLÜM 2

FIBERCEMENT LEVHA

2.1 Fibercement Levhalar

Lif takviyeli çimento ürünleri Ludwig Hatschek tarafından 19. yüzyılın sonlarına doğru icat edildi. Ludwig Hatschek bir karton makinesinde %90 oranında çimento ve %10 asbest lifi su ile karıştırarak güçlü bağlara sahip ince levhalar üretti. Başlangıçta takviye sağlayan lifler asbestten yapılıyordu ve bu malzeme düşük maliyeti, yangına karşı direnci, su geçirmezliği, stabilitesi ve düşük özgül ağırlığı gibi özelliklerinden dolayı binaların dış cephe uygulamalarında genellikle tercih ediliyordu. 1970’lerde asbestos kullanımının sağlığa zararlı olduğu ortaya çıktı ve doğrudan bu maddeye maruz kalan kişilerde asbestosis, pleural mesothelioma (akciğer hastalığı) ve peritoneal mesothelioma (karın rahatsızlığı) gibi son derece ölümcül hastalıklara sebep olduğu kanıtlandı. Sonuç olarak asbestos kullanımı yasaklandı ve güvenlik için alternatif lifler araştırılmaya başlandı. Araştırılan liflerden en önemlilerinden biri olan selüloz lif üzerinde araştırmalar sürdürüldü ve bu lif hakkında daha fazla bilgi edinilerek deneyler yapıldı. Bugün ise lif takviyeli çimento levha üretiminde birçok malzeme ve yöntem araştırılıp kullanılmaktadır [1].

Fibercement levhalar, yapıların her türlü iç ve dış cephe uygulamalarında kullanılan, otoklavda sertleştirilmiş, düz veya ahşap desenli yüzey görünümüne sahip doğal lif katkılı ve çimento esaslı levhalardır. Fibercement levhalar selüloz elyaf, kuvars kumu ve çimento gibi malzemeler kullanılarak ve özel makinelerde işlemlerden geçilerek levhalar haline getirilmesi ve daha sonra otoklavlanması ile elde edilirler [1]. Fibercement levhalar her türlü yapıda iç ve dış cephe kaplama malzemesi olarak binanın her detayında rahatlıkla kullanılabilir. Levhalar bütün olarak kullanılabilirdiği gibi istenilen ebatla kesilip şekillendirilerek pratik olarak uygulanabilir [1].

2.1.1 Fibercement Levha Üretim Şekli

Yapılarda iç ve dış cephe uygulamalarına yönelik yeni çözümler bulma düşüncesi insanoğlunu sürekli arayışa sevk etmiş ve bu konuda çok farklı ürünler geliştirilmiştir. 1990 yılı öncesinde tüm dünyada yaygın olarak kullanılan asbestli çimento levha üretiminin, asbestin yasaklanmasından dolayı bu zararlı malzemenin kullanımının sona erdirilmesi çimento levha üreticilerini alternatif ürün yaratma konusunda araştırmaya yönlendirmiştir. Bu çalışmalar sonucunda iki temel ürün grubu ortaya çıkmıştır. Bunlardan bir tanesi sentetik elyafli çimento esaslı ürünler, diğeri ise fibercement ürünlerdir. Her ne kadar asbestos kadar tehlikeli değilse bile sonuç olarak sentetik olan ve insan sağlığı üzerinde uzun vadede ne gibi zararlı sonuçlar doğuracağı bilimsel olarak kanıtlanmamış elyaflar yerine tamamen doğal lif olan selüloz lif kullanımına daha sıcak bakılıyordu. Selüloz lifin, çimento ve öğütölmüş silis kumu karışımından elde edilen fibercement ürünleri gibi özellikle iç ve dış cephe kaplamasında kullanılan düz levha üretiminde kullanımı daha fazla tercih edilmiştir. Sentetik lifli ürünler ise daha ziyade presli çatı elemanı olarak kullanılmıştır [2].

Lif katkılı çimento üretimi organik ve inorganik hammaddelerin biraraya getirilmesi ile yapılır [3].

İnorganik maddeler: Bitki ve hayvan dışındaki maddelerden oluşan hammaddelerdir.

- Portland çimentosu
- Su
- Silika
- Silis dumanı
- Kireçtaşı tozu
- Metakaolin
- Uçucu kül
- Kalsiyum silikat

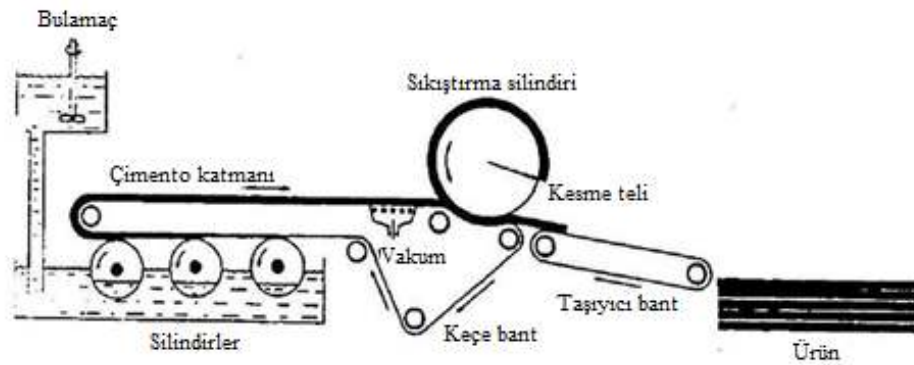
Organik bileşenler: Organik hammaddeler doğal ortamda bulunan bitki ve hayvanların organizmalarının kalıntılardan ve atık malzemelerden oluşan maddelerdir.

- Selüloz Hamuru (Kraft)
- Geri dönüşümlü lifler
- Sentetik lifler, flokülantlar ve köpük gidericiler gibi bileşenlerdir.

Fibercement levhaların temel bileşenleri olarak çimento, su, silika, kireçtaşı tozu ve lifler kullanılır. Günümüzde lif takviyeli çimento levha üretimi yapan şirketler teknolojinin gelişmesi ile araştırmalarında değişik türde lifleri test edip ürünlerinde bu malzemeleri kullanabilmektedir. Yapılan çalışmalarda görüldüğü gibi ekonomik avantajlarından dolayı birçok üretici selülozik lifler üzerinde yoğunlaşmıştır, fakat şu ana kadar kullanılması düşünülen liflerin hiçbiri asbest lifin özelliklerini karşılayamamakta ve ekonomik açıdan asbestos kadar uygun olamamaktadır [3].

Dünyada birçok farklı özellikte fibercement üretim yöntemi inşaat ve endüstriyel alanlara hizmet vermek için kullanılmaktadır. Daha az gelişmiş uluslar halen bu işlemlerin büyük bir kısmını asbest lif kullanarak yapmaktadır ve asbest lif kullanımından dolayı sağlık sorunları günden güne artış göstermektedir. Bu nedenle asbest lif kullanan birçok tesis önümüzdeki on veya yirmi yıl içerisinde tamamen kapatılacağı düşünülmektedir. Buna karşılık gelişmiş uluslar ise fibercement üretimi konusunda değişik türde lifler geliştirerek bölge koşullarına göre farklı türde üretim yöntemi kullanmaktadırlar [3]. Dünyada fibercement üretim yapan tesislerin tam sayısı bilinmemesine rağmen yaklaşık 1100 ile 1500 üretim tesisinin fibercement üretimi gerçekleştirdiği varsayılıyor. Bu üretimlerin büyük bir çoğunluğu ise küçük yerel pazarlara hitap etmektedir [3].

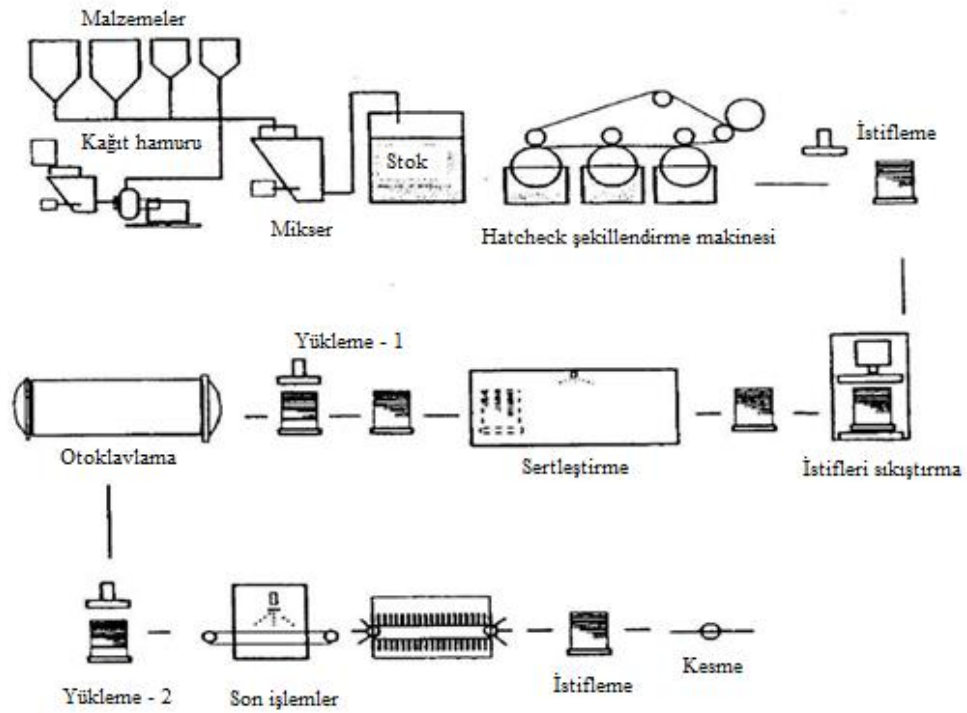
Fibercement üretiminde en yaygın ve tercih edilen yöntem 1911 yılına dayanan “Hatschek” yöntemidir. Bu yöntem ismini hamur ve kağıt üzerine yapmış olduğu buluşla gerçekleştirmiş olan Ludwig Hatschek’ten almıştır. Bu proseste başlangıç olarak %7-10 oranında lif ve çimentodan oluşan sulu bir karışım silindirler vasıtasıyla tutma tankına aktarılmaktadır. (Şekil 2.1)



Şekil 2.1 Hatschek makinesi [3]

Silindirler vasıtasıyla sulu karışımın içindeki su uzaklaştırılarak geriye katı kısmının kalması sağlanmaktadır. Silindirler üzerindeki bant, karışımın üzerindeki kısımdan ince katman halinde fibercement tabakalarını almaktadır. Daha sonra bu plaka su azaltmaya yarayan bir vakum makinesine aktarıldıktan sonra burada suyun büyük bir çoğunluğu malzemeden alınmaktadır ve silindirlere aktarılan plaka istenilen kalınlığa ulaşıncaya kadar ek karışım ile desteklenmektedir. Bu şekilde oluşturulan fibercement levha tekrar silindirler ile basınca maruz bırakılmaktadır ve bu basınç levhaları sıkıştırarak hem levhaların konsolide olmasını sağlamakta hemde yüzey profilinin (tahta, damar deseni vb) oluşturulması sağlanmaktadır [3].

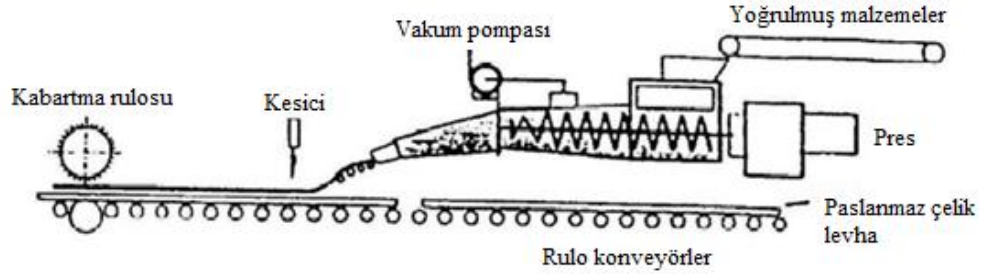
Arzu edilen tabaka kalınlığı elde edildikten sonra plakaların kesilmesi için kalıp levha yardımıyla parçalar basınçla birlikte kesilme işlemine aktarılmaktadır. Şekil 2.2’de Hatchek makinesi ile levha üretim süreci şematik olarak gösterilmektedir [3].



Şekil 2.2 Fibercement levhaların Hatchek makinesi ile üretim aşamaları [3]

Şekil 2.2’de çimento, lif ve katkı maddelerinin sırayla eklenmesi, karıştırılması ve stok rezervuarına aktarılması gösterilmiştir. Malzemeler rezervuardan Hatchek makinesine aktarılmış ve levhalar oluşturulduktan sonra istiflenmiştir. Bu levhalar daha sonra sıcaklık ve nemin bulunduğu sertleşme bölgesine aktarılarak donmuş ve sertleşmiş olan bu levhalar otoklavlama işlemine tabi tutulmuşlardır. Otoklavlama işleminde levhalar

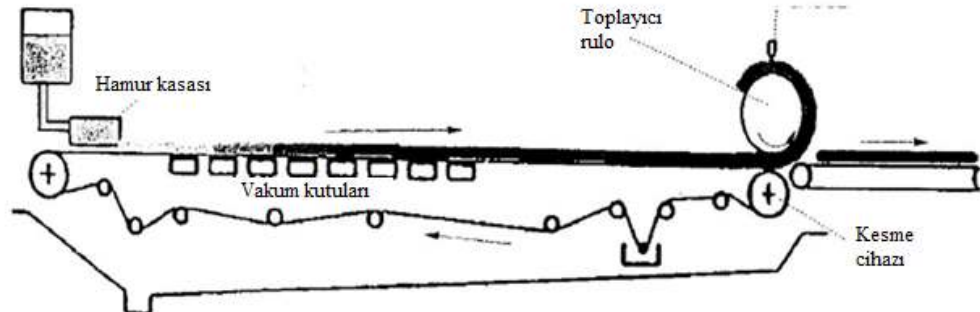
nihai mukavemetlerine 24 saat içerisinde ulaşması sağlanmaktadır. Bu aşamada levhalar astar ve son işlemlere hazır hale getirilirler. En son olarak ise kesme işlemleri ve diğer hazırlıklar yapılarak çeşitli bölgelerdeki pazarlara ulaştırılmak için nakil edilirler. Dünyanın pek çok yerinde düz levhalara ek olarak oluklu ürünlerde genellikle çatı uygulamaları için üretilmektedir. Oluklu ürünleri üretebilmek için plakalar toplama çemberine geldikten sonra çelik kalıplar ile preslenerek son şekilleri verilmektedir. Hatchek sürecine ek olarak, üreticiler ayrıca fibercement üretimi için ekstrüzyon teknolojisi (extrusion technology) ile ilgilenmişlerdir. Şekil 2.3’de görüldüğü gibi malzemenin hamur olarak yoğurulması, vakum pompasından geçmesi ve konveyörden çıkması işlemleri şematik olarak gösterilmiştir [3].



Şekil 2.3 Sıkma makinesinin sistematik şeması [3]

Kabartma ve şekillendirme silindirleri ile yine bu plakalarda istenilen desenler aşamaların sonuna doğru verilebilmektedir.

Levha üretimi için kullanılan bir diğer makine Fourdrinier makinesidir. Bu süreçte başlangıç olarak lif ve çimentodan oluşan karışım Fourdrinier makinesinin tepesinde bulunan stok tankına pompalanmaktadır. (Şekil 2.4)



Şekil 2.4 Fourdrinier makinesi [3]

Karışım, hamur kasasından (headbox) şekillendirici bir bant üzerinde dökülmektedir. Daha sonra vakum yardım ile karışımdaki fazla su uzaklaştırılmaktadır. Bu işlemlere takiben istenilen kalınlık elde edilene kadar toplayıcı silindirde döndürülmektedir. Kalınlık olarak levhalar 3mm'den 25mm'ye kadar ayarlanabilmektedir. Hedeflenen kalınlığa gelindiği zaman otomatik bir kesme makinesi birleşik levhayı keserek istenilen uzunluğun elde edilmesine olanak sağlamaktadır [3].

Fibercement levhalar için bir çok yöntem ve teknoloji tercih edilmesine rağmen en genel ve tercih edilen üretim yöntemleri yukarıda özetlenmiştir.

2.1.2 Fiber Cement Levhaların Kullanım Alanları

Fibercement levhalar her türlü yapıda dış ve iç cephe uygulamalarında kullanılabilir. En çok tercih edilen kullanım alanları dış ve iç cephe kaplamaları, döşemeler ve binaların detay kısımlarıdır. Fibercement levhalar uygulanabilirlik açısından bütün halinde yada istenilen ölçülerde şekillendirilerek montelenebilmesi özelliğiyle yapı uygulamalarında büyük avantaj oluşturmaktadır. En yaygın uygulama alanları aşağıdaki gibi özetlenebilir [4].

- Sandviç Panel şeklinde ara bölme duvar elemanı olarak,
- Her türlü yapıda dış ve iç cephe malzemesi olarak,
- Asma tavan elemanı olarak (6mm),
- Çok katlı yapılarda ara kat döşeme malzemesi olarak (16mm),
- Çatı kaplama malzemelerinin altında destek elemanı olarak,
- Seramik altı malzemesi olarak,
- Zemin betonu üzerinde döşeme malzemesi olarak (böylelikle şap uygulamasına gerek kalmaz),
- İç mekanlarda ahşap görünümü veren dekoratif kaplama elemanı olarak,
- Saçak altı ve alın kaplama malzemesi olarak,
- Hazır kaplama elemanı olarak,
- Islak hacimlerde ara bölme elemanı olarak,

- Reklam panolarında zemin malzemesi olarak,
- Fibercement siding uygulamalarında köşe elemanı olarak,
- Muhtelif kaplama malzemeleri ile birlikte kompozit eleman olarak,
- Bahçe duvarlarında dekoratif yüzey elemanı olarak kullanılırlar.

2.1.3 Fibercement Levhaların Kullanımı

2.1.3.1 Dünya’da

Fibercement levhalar Dünya’da gelişmiş ülkelerde farklı özellikte ve çeşitlilikte binalarda uygulanabilme amacı ve farklı taleplerin karşılaşması için tercih edilen bir ürün haline gelmiştir. Özellikle levha teknolojisinin başladığı Amerika ve Avrupa bölgesi Dünya’da fibercement levha üretiminin yaygınlaşmasında öncülük etmiştir. Amerika kıtasının kuzey bölgesinde, Avrupa’da İspanya ve Asya kıtasında Güney Kore özellikle fibercement levha üretimi ve kullanımı açısından büyük bir rol oynamaktadır. Buralardaki üreticiler hem bulunduğu bölgelerdeki fibercement ihtiyacını karşılamakta hemde ihracat yaparak bölgelerinin gelişmesine olanak sağlamaktadır.

2.1.3.2 Türkiye’de

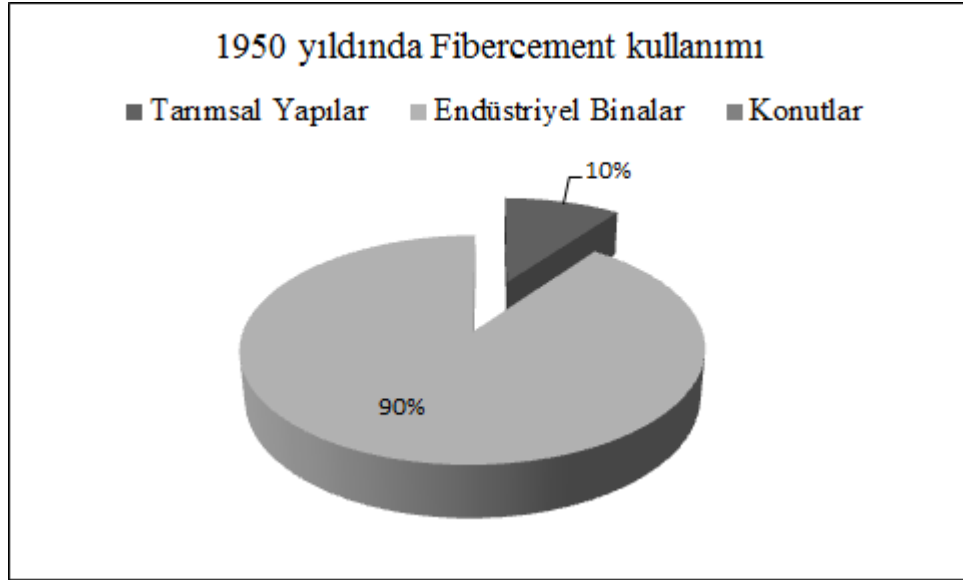
Lif takviyeli çimento levha 19. yüzyılda bazı anıtsal yapılarda ithal arduvaz olarak kullanılmak üzere Türk pazarına sunuldu. Buna rağmen 1956 yılına kadar lif katkılı çimento üretmek için herhangi bir fabrika bulunmamaktaydı. Adana’da 1956 yılında kurulan lif katkılı çimento fabrikasından önce burası sadece Akdeniz kıyısına yakın güney Türkiye’deki pamuk ve tekstil şehri olarak bilinmekteydi [5].

Artemit, Werhahn’dan iki adet makineye sahipti ve bu makineler günde tek vardiya olarak yılda sadece üç ay boyunca çalışmaktaydı. Türk standartları olan 5¼ oluklara sahip, 92 cm genişliğinde ve 6 mm kalınlığında levhalar üretiliyordu. Tesisin çatısı kil kremit ile kaplıydı ve bu malzeme bölgenin geleneksel çatı malzemesiydi. Kullanılan çimento ise Romanya’dan 50 kg lık çuvallar halinde ithal edilmişti [5].

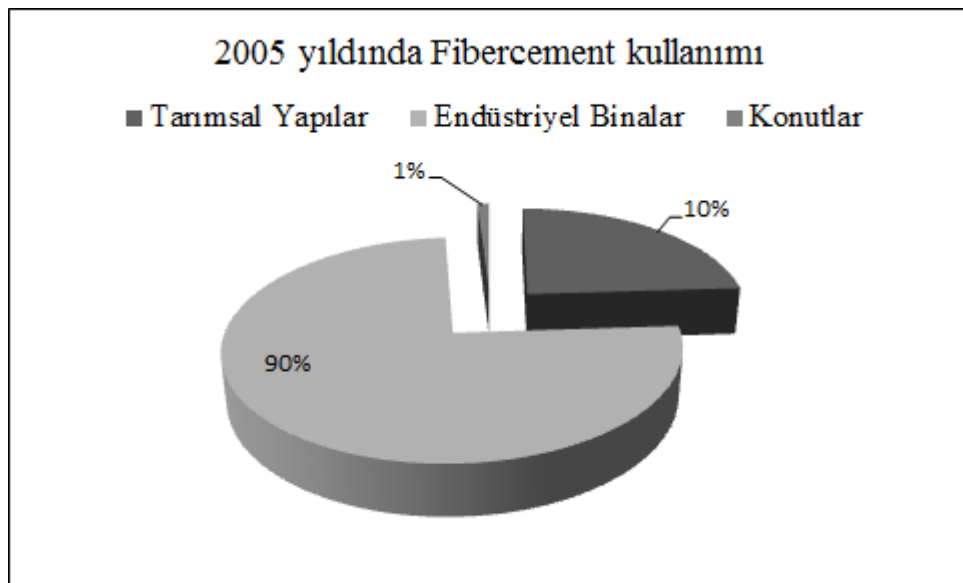
Türkiye’de lif takviyeli çimento levha çoğunlukla endüstriyel binalar için kullanılmıştır. Son zamanlarda lif takviyeli çimento levhanın tarımsal binalarda kullanımının

artmasının nedeni bazı mimarların endüstriyel binalarda sandviç panelleri tercih ediyor olmasıydı [5].

Fibercement genellikle tarımsal binalarda, konutlarda ve endüstriyel binalarda kullanılmaktaydı. Şekil 2.5’de ve Şekil 2.6’da fibercement levhaların 1950 ve 2005 yıllarındaki kullanımı gösterilmiştir.



Şekil 2.5 1950 yılında fibercement kullanımı [5]

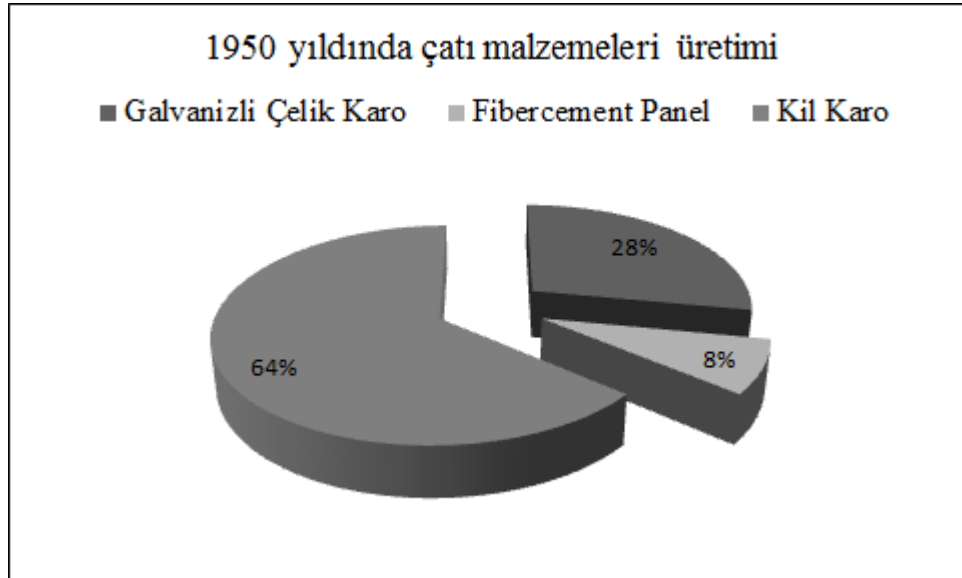


Şekil 2.6 2005 yılında fibercement kullanımı [5]

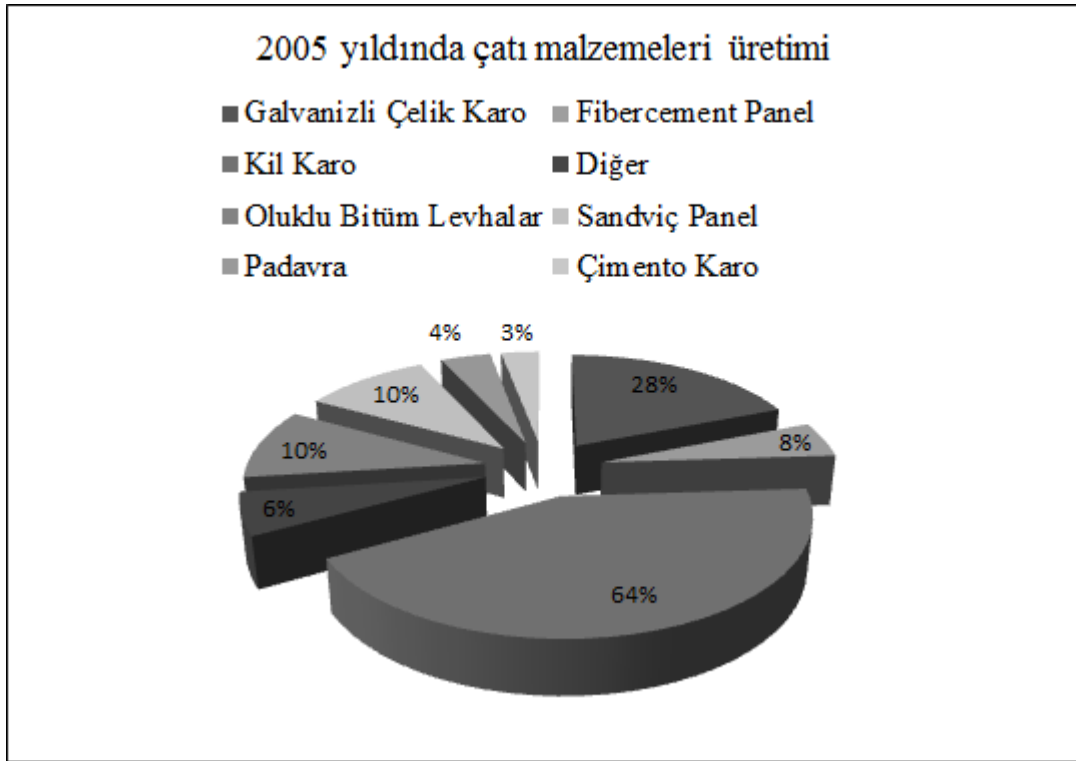
1950 yılından 2005 yılına kadar olan süreçte fibercement kullanımı tarımsal binalarda %14, endüstriyel binalarda %15, ve konutlarda %1 oranında artış göstermiştir.

1950-1989 Yıllarında Fibercement Kullanımı

1950’de Türkiye’deki çoğu binalarda çatıda kullanılan iki tür malzeme vardı: kil karoları genellikle konutların çatılarında olmak üzere Anadolu’da, Türkiye’nin batısında ve güneyinde, galvanizli çelik karoları ise genellikle tarımsal ve endüstriyel binalarda kullanılmıştı. Dağlık doğu ve Karadeniz bölgesinde ise genellikle halen galvanizli çelik karolar tercih edilmekteydi. Ülkenin güneydoğusunda ise çoğu bina düz çatı veya teras olarak kullanılmaktaydı [5]. Şekil 2.7’de ve Şekil 2.8’de 1950 yılında Türkiye’de üretilen farklı çatı malzemelerinin oranlarının 2005 yılına karşılaştırması verilmiştir [5].



Şekil 2.7 1950 yılında çatı malzemeleri üretimi [5]



Şekil 2.8 2005 yılında çatı malzemeleri üretimi [5]

Lifli çimento üreten ikinci tesis (Oralit) 1957’de İstanbul’da inşa edilmişti. Bu tesis genişliği 100 cm ve standart kalınlığı 6 mm olan paneller üretmekteydi.

1965’e kadar iki tesisde günde 24 ton olmak üzere yılda sadece 4 ay (toplam üretim yılda 450,000 m²) üretim yapabiliyordu. Bu düşük kapasitenin iki sebebi vardı: Ülke 1960’a kadar sanayileşmeye başlamamıştı ve asbestosun ithalatı için kısıtlamalar getirilmişti [5].

1965’den 1971 yılına kadar iki tesistede Türkiye’nin sanayileşmesi ile birlikte üretim kapasitelerini artırmıştı. Tesislerde günde 45 ton ile yılda 10 ay çalışır halde üretim yapmaktaydı. Ancak, fibercement ürünleri hala sadece endüstriyel ve tarımsal binalarda kullanılmaktaydı [5].

1971’de yeni bir şirket olan Superlit İstanbul’da üretime başlamıştı. 1978 yılında Eternit bir Türk şirketi ile ortak olarak aynı şekilde üretime başlamıştı. Tesis Bursa’da İstanbul’dan 150km uzaklıkta sanayileşmiş bir şehirde bulunmaktaydı [5].

1970’lerde üretim yapan tesisler gelişmeye ve büyümeye başlamaktaydı. Atermit 1978’de İzmir’de yeni bir tesis kurmuştu. Superlit İstanbul’un 200 km doğusunda olan

Düzce’de ikinci üretim tesisini kurmuştu. Tüm tesisler mevcut makinelerine yenisini eklemişler ve 1970’te toplam üretim her bir tesiste yılda 20,000 tona kadar yükselmişti [5].

İthal asbestos sıkıntısına aşmak için bütün üreticiler asbestosu Türkiye’deki madenlerden elde etmeye çalışmıştı, fakat bu madenlerde bulunan asbestosun düşük kalitede olmasından dolayı kullanılan malzemelerin çoğu yurtdışından ithal edilmek zorunda kalınmıştı [5].

1980’ler Türkiye’nin fiber çimento üretimi için en verimli dönemi idi. 1976’da yaşanan petrol krizinden sonra yalıtım daha önemli bir hale gelmişti. Sandviç paneller halen çok pahalı ve yeni bir malzemeydi (ilk üretimi 1976’da) ve bu yüzden çatılar genellikle cam yünü ile izole edilmekteydi. İzole işlemlerinin uygulanmasının amacı Türkiye’de kışın sıcaklıklar 0°C nin altına hatta iç ve doğu bölgelerde -10°C nin altına düşmesiydi. Genel uygulama iki fibercement panelinin arasına cam yünü konularak yalıtım sağlanmaktaydı. Bu uygulama daha fazla fibercement levhanın satılmasına olanak sağladı ve çatılardaki panel kullanımını ikiye katlamış oldu [5].

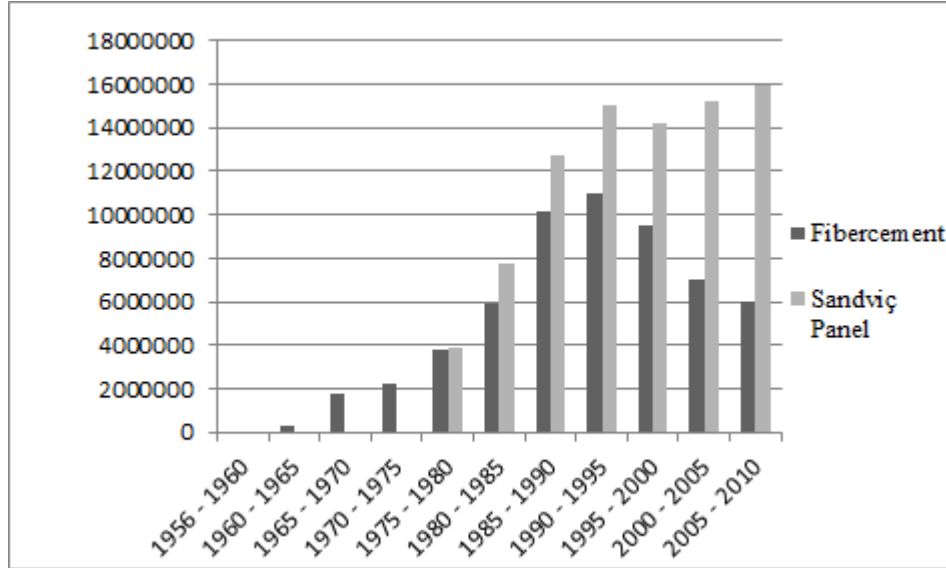
1986’da Atermit İstanbul’da üçüncü tesisini kurmuştu. Bu noktada 4 şirkette 7 tane makine çalışmaktaydı.

1990’da asbestostan dolayı sağlık sorunları ortaya çıkmaya başlamıştı ve mavi asbestos kullanımına yasak getirilmişti. Bu olay, mühendislerin üretim hakkında daha çok şey öğrenmesi gerektiği anlamına gelmekteydi. Mavi asbestosun kaldırılması üretimde ve üretim sonrasında büyük aksamalara neden olmuştu. Bu yıllarda sadece krisotil asbestos kullanımından dolayı bütün şirketler üretim sonrasında panellerin uçlarında çatlak oluşması problemi ile karşı karşıya kalmıştı [5].

Asbestosun yol açtığı sağlık sorunları bilgileri daha yayıldıkça bazı çokuluslu firmalar çatı ve cephe kaplamada sandviç plak kullanmaya başlamıştı. Asbestosun yasaklanmasından dolayı Eternit Türkiye’de 1992 yılında üretimini durdurmak zorunda kaldı [5].

Türkiye’nin en büyük holdinglerinden biri olan Oralit 1998’de üretimi durdurmak zorunda kaldı. Bu sırada Superlit’in satışları azalmaya başladı ve tesislerinden birini kapadı.

Asbest yasağı ile birlikte levha üretimi azalmakta ve sandviç panel üretimi artmaktaydı. Şekil 2.9'da Türkiye'de endüstriyel binalarda fibercement levha ve sandviç panellerin üretiminin grafiği gösterilmiştir.



Şekil 2.9 Endüstriyel binalarda fibercement ve sandviç panel kullanımı [5]

Asbestos Yasağı

Türkiye'nin Avrupa Birliğine adaylığının ciddileşmesinden dolayı asbestosun yasaklanması üyelik müzakerelerine devam edilmesi için bir zorunluk haline gelmişti. 2006'da Superlit fibercement levhaların üretimini durdurma kararı almıştı. 2006'nın Nisan ayında üretim için kullanılan asbestos tozunun seviyesi 0.1 fiber/ml'ye kadar düşürülmüştü. Bu durum asbestos liflerinin Türkiye'ye ithalatını durdurmuş oldu ve sadece geriye kalan Atermit asbestos lif içermeyen fibercement üretimine geçmişti. Şu an için Türkiye'de asbestos içeren beton üretimi yapılmamaktadır, fakat asbestos içeren çimento levhaların ithalatına bir süre izin verilmiştir. 1956'dan 2007'ye kadar asbest lif içeren levhalar ithal edilebildi, fakat 1 Ocak 2007'de yapı malzemelerindeki CE işareti mevzuatı dolayısıyla Avrupa Birliği ile tekrar sorunlar yaşandı. Türkiye'de üretilen asbestoslu çimento levhalar endüstriyel binalarda (%80) ve tarımsal binalarda (%20) kullanılmaktaydı [5].

Asbestos İçermeyen Fiber Cement Üretimi

Asbestos içermeyen fibercement levha üretimine geçildikten sonra piyasanın bu değişime olan reaksiyonu hakkında birşey söylemek için erkendi. Bazı müşteriler asbestos katkılı fibercement levhaların yarattığı sağlık sorunlarını tekrar yaşamaktan çekinmekteydi. Bunlara rağmen yeni üretilen ve asbestos içermeyen levhaların daha esnek, daha hafif ve daha ucuz olması müşterilerin bu ürünlere olan ilgisini artırmaktaydı [5].

Teknolojinin gelişmesi ile birlikte fibercement levhaların üretiminde kullanılan makine ve malzemelerde değişim göstermişti. Makinelerin sayesinde fibercement levhalar için farklı çeşitte malzemelerin işlenebilirliği sağlanmış oldu. Bunlardan en önemlisi ve gelecekte yaygınlığının artması düşünülen selüloz lif kullanımı idi. Selüloz lif hem hafifliği hemde çevre dostu bir malzeme olması açısından levhalar için en ideal malzemelerden biri haline gelmişti. Artık daha hafif ve daha dayanıklı fibercement panel üretimi için üreticilerin elinde birçok yöntem bulunmaktaydı [5].

2.1.4 Fibercement Levha Üreticileri

2.1.4.1 Global Olarak Hizmet Veren Şirketler

Astern Architectural Products, LLC, BNBM Public Limited, Beijing Huacheng nine German building materials, Cembrit, China National United Equipment Group Corp, China conch venture holdings limited, Etex Group, Everest Industries Limited, FRAMECAD, GYPROC INDIA, Guangdong Newelement, Header Board Building Materials, Hume Cemboard Industries, James Hardie, Jiang Su Ai Fu Xi New Building Materials, Jinqiang, KingTec Materials, Kmew, LTM LLC, Lato JSC, Mahaphant, NiChiha Corporation, Ningbo Yihe Green Board, Penny Panel, Plycem, SCG Building Materials, Sanle Group, Shandong Lutai Building Materials, Shanghai Xinlong Firproofing Materials [6].

2.1.4.2 Türkiye’deki Fibercement Levha Üreticileri

Fibercement levha teknolojisi Türkiye’de birçok firma tarafından dikkate alınmıştır fakat bazı firmalar üretim ve teknoloji açısından fibercement levha üretiminde öne çıkmıştır. Türkiye’de fibercement levha üretiminde öne çıkan firmalar:

Hekim Yapı Endüstrisi San. ve Tic.A.Ş.

En son teknolojiyi kullanarak toplam 170.000 m² üretim alanına sahip Hekim Holding A.Ş. hazır yapıların üretiminde kullanılan ana ham maddelerin tamamına yakınıni kendi entegre tesislerinde üreten, yüksek kapasite ve geniş ürün yelpazesine sahip dünyanın tek hazır yapı üreticisidir [7].

TEPE BETOPAN Yapı Malzemeleri San. Ve Tic.A.Ş.

Tepe Grubu tarafından Türkiye'nin ilk çimento yonga levhası olan markalı levhaları üreten fabrikanın temeli ise, Ankara Beytepe'de 26.09.1983'de atılıp, deneme üretimine 22.08.1984'de yıllık 25,000 m³'lük kapasite ile başladı. Başlangıçta, Bison firmasının teknolojisiyle iki katmanlı havalı serim sistemi ile üretim yapan bir tesis iken, 1999 yılının sonunda yapılan modernizasyon yatırımı ile yenilenerek kendi bünyesinde geliştirilen üç katmanlı mekanik serimli üretim sistemine geçilip kapasitesi yıllık 35,000m³'e yükseltildi. 2001 yılında Arhavi'de kurulu bulunan diğer çimentolu yonga levha fabrikası satın alındı ve Türkiye'de tek üretici, Dünya'da ise 50.000 m³/yıl kapasitesi ile sayılı üreticilerden biri konumuna geldi. 2006 yılında bazı makine ve ekipman revizyonları ile yeni makine ilaveleri ve 2008 yılında Arhavi'de bulunan makine hattının Ankara Bilkent'te bulunan tesislere taşınmasıyla üretim ve sevkiyat hacmi tek noktada toplandı ve yıllık üretim kapasitesi 67500 m³'e çıkartıldı [8].

VEFA HOLDİNG EKOBOARD

Ekobord, yıllık 24.000 m³ üretim kapasitesine sahip olan Bilecik'teki fabrikasında kesintisiz üretim yapmaktadır. Geniş üretim hattına sahip fabrikasında üretim otomasyonla gerçekleştirilmektedir. Üretilen tüm ürünlere ilişkin olarak fabrikada yer alan laboratuvarlarda teknik ve fiziksel özelliklerin testleri yapılmaktadır.

Ekobord fibercement levhalar farklı şartlara dayanaklı düz ve çeşitli desenli levhalar olarak üretilmektedir. Tüm ürünler, düz ve desenli ile birlikte istendiğinde son kat boyalı olarak üretim hattına entegre edilen kesme hattı ile birlikte standart ebatların yanında özel ebatlı olarak da üretilmektedir. Ekobord, Vefa güvencesi altında hazır dış cephe uygulama sistem paketi, boyalı levhalar, dış cephe uygulamalarında daha fazla desen alternatifi ile ekonomik çözümler sunmaktadır.

2.2 Fibercement Levha Üretiminde Kullanılan İnert Malzemeler

2.2.1 Kuvars Kumu

2.2.1.1 Kuvars Kumunun Tanımı ve Sınıflandırılması

Kuvars kumu, kuvarsça zengin magmatik, metamorfik kayaçların ayrışması sonucu oluşan 2 mm'den küçük kuvars (SiO_2) tanecikleridir. Kuvars kumları beyaz renklidir; demir oksit içeriyorsa, renkleri pembeden kızıla veya kahverengine kadar çeşitlilik gösterir. Silisten (SiO_2) oluşan kuvars kumu az miktarda kil, feldspat, demir oksitler, karbonatlar ihtiva edebilir. Doğada saf olarak bulundukları gibi istenmeyen safsızlıklar ile karışmış olarak da bulunabilir. Kuvars kumları kullanılma amaçlarına göre gerek fiziksel, gerekse kimyasal açıdan istenen özelliklere getirilebilmeleri için cevher hazırlama işlemlerine tabi tutulabilirler. Kuvars kumları oluşumları açısından ikiye ayrılırlar. Birincisi allokton oluşum dediğimiz, kuvarsca zengin magmatik ve metamorfik kayaçların ayrışmasından sonra serbest kalan kuvarsların taşınarak, killi gevşek bir çimento ile istiflenmesinden meydana gelir. İkincisi otokton oluşumdur ve bu oluşum silisçe zengin kayaçların bir faylanma veya metamorfizmanın etkisiyle yerinde ayrışmasıyla meydana gelirler. Bu tip kuvars kumları allokton oluşumlara göre daha az impürite içerirler. Kuvars kumunun yer kabuğundaki egemenliğine karşın, tüketici kuruluşların üründe birtakım fiziksel ve kimyasal özellik aramalarından ötürü, çok az bir kısmı ticari öneme sahip olmaktadır. Kuvars kumlarının ana kullanım alanları cam ve döküm sanayileri olup inşaat sanayinde, aşındırıcıların üretiminde, metallurji, deterjan, boya plastik, lastik, seramik sanayilerinde ve petrol üretiminde de kullanılmaktadır [9].

2.2.1.2 Dünya'da Bulunan Kuvars Rezervleri

Dünya kuvars kumu rezervleri kesin bir şekilde hesaplanamamasına rağmen milyar ton seviyelerinde olduğu bilinmektedir. Kuvars kumu rezervleri; Avrupa'da; Belçika, Almanya, Hollanda, Fransa, İngiltere, İspanya, İtalya, Avusturya, Rusya, İsveç, Kuzey Amerika'da; Kanada, Güney Amerika'da; Arjantin, Brezilya, Paraguay, Asya' da; Filipinler, Hindistan, Malezya, Afrika'da; Mısır, Madagaskar, Güney Afrika Cumhuriyeti, ve Avusturya'da bulunmaktadır [9].

2.2.1.3 Türkiye’de Bulunan Kuvars Rezervleri

Türkiye’de başlıca kuvars kumu bulunan bölgeler İstanbul (Şile, Çatalca, Beykoz, Yalova), Tekirdağ (Saray - Safaalan), Zonguldak (Merkez - Kozlu - Virancık, Mekez - Kardeşler - Kokurdan) ve Sinop’tur.

2.2.1.4 Kuvars Kumunun Elde Edilişi

Kuvars kumu üretiminde açık işletme yöntemi uygulanır. Kumun üzerindeki örtü malzemesi nispeten sert ise patlayıcı madde ile ayrıştırılır. Örtü malzemesi dozer, loader, ekskavatör gibi kazıyıcı ve yükleyici iş makineleri kullanılarak ya kuvars kumu yatağının hemen yakınında uygun bir yere itilir veya döküm alanı olarak tespit edilen alana kamyonlar ile taşınarak uzaklaştırılır. Üzerindeki örtü tabakası alınan kuvars kumunun kalite açısından uygun olmadığı için, ocaktan elde edildiği gibi kullanılması genelde mümkün olmamaktadır. Elde edilen kuvars kumunun kullanılır hale getirilebilmesi için önce eleme, sonra kil türü yabancı malzemelerin bünyeden uzaklaştırılması amacıyla yıkama, daha sonra gerekiyor ise flotasyon ve manyetik separasyon uygulanır. Böylece, hem Fe_2O_3 oranı açısından hem de diğer özellikleri açısından istenilen kalitede kuvars kumu elde edilmiş olur. Kuvars kumu elde ediliş teknolojisi kullanım alanına göre bazı değişiklik gösterse bile genel yapısı ile birbirinin benzeri prosesleri içermektedir. Kuvars kumu madenciliği ve zenginleştirilmesi konularında dünyadaki teknolojik gelişmeler ülkemizde de takip edilerek uygulanmaktadır [9].

2.2.1.5 Sektörde Üretim Yapan Önemli Yerli Kuruluşlar

Cam, döküm, seramik, boya v.s. sanayilerinin kuvars kumu ihtiyaçlarını karşılayan önemli üretici kuruluşların listesi Çizelge 2.1’de verilmiştir. Türkiyede kuvars kumu üretimi mülkiyeti özel sektöre ait olan tesislerde gerçekleştirilmektedir. Kuvars kumu üretiminde faaliyet gösteren yabancı sermayeli bir şirket bulunmamaktadır [9].

Çizelge 2.1 Kuvars kumu üreten önemli yerli kuruluşlar [9]

Kuruluş Adı	Yeri	Üretim Konusu	Kapasitesi (ton/yıl)
Camiş Madencilik A.Ş.	Yalıköy	Cam Kumu	600.000
Camiş Madencilik A.Ş.	Kırklaredli	Cam Kumu	600.000
Siltaş A.Ş.	İstanbul	Döküm Kumu	250.000
Kumsan A.Ş.	İstanbul	Döküm Kumu	100.000
Çeliktaş A.Ş.	İstanbul	Döküm Kumu	150.000
Erbatu A.Ş.	İstanbul	Döküm Kumu	100.000
Trakya Silis Ltd.	İstanbul	İnşaat, Dolgu	200.000
Marmara Silis A.Ş.	İstanbul	İnşaat, Dolgu	110.000
Matel A.Ş.	Bilecik	Seramik Kumu	40.000
Esan A.Ş.	Bilecik	Seramik Kumu	20.000
Kale Maden A.Ş.	Şile	Seramik Kumu	100.000
Diğer		Seramik Kumu	90.000

2.2.1.6 Kuvars Kumunun Kullanım Alanları

Kuvars kumu, sanayinin birçok dalında ihtiyaç duyulan ve yüksek miktarlarda kullanılan önemli bir hammaddedir. Kimyasal ve fiziksel özelliklerine göre döküm sanayi, cam üretimi, inşaat sektörü, boru imalatı, aşındırıcı üretimi, arıtma tesisleri, yüzey sertleştirici üretimi, kimya sektörü ve spor alanları kullanım alanlarının başlıcalarıdır [10].

Cam İmalatı; Kuvars kumu camın temel bileşimi olan SiO_2 içerir. Cam kalitesi kuvars kumunun yüksek saflıkta olmasına bağlıdır. Diğer minerallerin varlığı camda şekil ve renk bozukluklarına neden olabilmektedir.

Metal Endüstrisi; Döküm kalıpları ve maça döküm kumlarının ana hammaddesi, ferroalyaj/alaşımlayıcı üretiminde hammadde, demir çelik ve demir dışı metal

retiminde cüruf yaptırıcı olarak, metallerin fiziksel ve kimyasal kaplamalarından önce temizliği ve pürüzlülük vermek maksadıyla kumlama, aşındırıcı ve kesicilerin ana malzemesi olan SiC/Silisyum Karbür retiminde hammadde olarak kullanılır.

Seramik ve Refrakter Endüstrisi; Cam, vitrifiye, fayans ve emaye ürünlerin sırlarının ana hammaddesi olarak, ateş tuğlası hammaddesi, optik fiberlerin hammaddesi olarak kullanılır.

İnşaat Sektörü; Kuvars kumu, yoğunluğu ve kristal yapısının bir sonucu olarak ortaya çıkan yüksek basma mukavemeti sayesinde birçok kompozit karışımın içinde dolgu malzemesi olarak geniş bir kullanım alanına sahiptir. Beton, fayans ve seramik yapıştırıcıları, tamir harçları, yüzey sertleştiriciler kuvars kumunun inşaat sektöründeki bazı uygulamalarıdır. Ayrıca ısı yalıtımında yaygın olarak kullanılan cam elyafının hammaddesi de kuvars kumudur.

Yapı Endüstrisi; Fayans ve seramik yapıştırıcıları, tamir harçları, derz harçları, epoksi zemin ve yüzey sertleştiricileri, cam yünü üretimi, elyaf takviyeli prekast yapımı, dış cephe kaplaması söve üretiminde, izocam ve taş yn üretiminde hammadde, boru imalatı ve ctp boru (Cam elyafı, cam yn ve reçine ile birlikte boruya mukavemet vermek amacıyla kullanılır), atık su ve temiz su demir boru (iç yüzeylerin kaplanarak korozyona karşı dayanıklılığı artırmak için kullanılır).

Endüstriyel Temizlik; Metal ve metal dışı yüzeylerin boya ve astar öncesi kumlama ve temizlenmesi amacıyla, arıtma tesislerinde çeşitli amaçlarla kullanılacak su ve diğer sıvıların berraklaştırılması, arıtılması ve filtrasyonunda kullanılır.

Kimya Endüstrisi; Na, K Silikat / cam suyu ve silika jel üretiminde hammadde, süzme ve filtrasyon işlemlerinde kullanılır.

Tekstil Endüstrisi; Kumaş kumlamak amacıyla kullanılmaktadır.

Arıtma Tesisleri; Tane büyüklüğüne bağlı olarak oluşturduğu yığın yoğunluğu sayesinde kuvars kumu, su ve diğer birçok sıvının filtrelenmesinde etkin ve ucuz bir metottur.

Spor Alanları; Hipodrom, manej, golf ve halı saha gibi bazı spor alanlarında, yüksek su geçirgenliği ile yüzey sularının drenajına imkan sağlamasından dolayı zemin düzenlemesinde kuvars kumu kullanılır.

2.2.1.7 Kuvars Kumu ile Yapılan Literatür Çalışmaları

Yang vd. (2000) yapmış oldukları çalışmada buhar-otoklav kürleme ile kuvars kumunun yüksek dayanımlı beton üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Yapılan çalışmada kuvars kumunun çimento ile yer değiştirilmesi, SiO₂ içeriği, kuvars kumunun yüzey alanı ve kürleme sıcaklığı gibi faktörlerin buhar-otoklav uygulanmış yüksek dayanımlı betonun mekanik özelliklerine etkisi araştırılmıştır. Kuvars kumunun çimento ile yer değiştirilme mekanizması XRD ile analiz edilmiştir. Bu çalışmalara ilaveten betonun içerisinde çimento ile kuvars kumu yer değiştirildikten sonra betondaki hammaddelerin ayarlanmasıyla maliyet arasındaki ilişki araştırılmıştır. Sonuç olarak, harç hazırlanırken karışım süresinin arttırılarak ve mikserin dönme hızını azaltarak kuvars kumu katılmış harçların daha homojen ve mukavemetinin artmasında önemli olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca kuvars kumu içeren numunelerde buhar kürü sıcaklığının doğrudan etkili olduğu ve kuvars kumu kullanımı artışı ile betonda kullanılan diğer malzemelerden tasarruf sağlanmış ve daha az maliyetli ürün elde edilmiştir [11].

Hu vd. (2014) yapmış oldukları çalışmada kuvars kumunun ve granüle yüksek fırın cürufunun buhar ve otoklav kürleme ile yüksek dayanımlı betona etkisini araştırmışlardır. Yaptıkları çalışmada yüksek dayanımlı beton, otoklav kür uygulanarak tek ve çift karışım yöntemiyle oluşturulmuştur. Granüle yüksek fırın cürufu (GYFC) ve kuvars kumu (KK) içeren betonun basınç dayanımı XRD ve TEM yöntemleri kullanılarak araştırılmıştır. Karışım oranının (GYFC : KK=1:1) en iyi sonuç alındığı doz oranı %30 olmuştur ve harcın karıştırılma ile daha yoğun bir hale geldiğini gözlemişlerdir. Doz 10-35% olduğu zaman fırın cürufunun betonun basınç dayanımındaki olumlu etkisi kuvars kumundan daha fazla olduğunu belirtmişlerdir [12].

2.2.2 Diatomit

2.2.2.1 Diatomitin Tanımı

Filtrasyondan dolgu maddesinden refrakterlere kadar uzanan geniş bir alanda kullanım yeri bulunan, "Diatomit"; diatom adı verilen tek hücreli mikroskopik alglerin fosilleşmiş silisli kavkılarından oluşmuş bir çökteldir. İngilizce literatürde "Diatomit" veya "Diatome toprağı" olarak yer alan bu organik kökenli mineral için kullanılan "Tripoli", "Tripolit", "Infusorial Earth" isimleri artık bırakılmıştır. Almanca ve Fransızca

literatürde ise bu mineral "Kizelgur" adı ile geçmektedir. Minerali meydana getiren diatomlar, bugün de yaşamlarını sürdürmektedirler, ancak sayılan geçmiştekinin çok ufak bir oranı kadardır. Günümüzde ticari amaçla kullanılmakta olan diatomit rezervlerinin Miosen sonu ve Pliosen başlarında oluştuğu sanılmaktadır. Bu dönemdeki volkanik faaliyetlerle sulardaki silis oranının yükselmiş olduğu ve diatomlar için uygun bir yaşama ve çoğalma ortamı sağlamıştır.

Rezervleri oluşturan diatomlar su yosunları sınıfından tek hücreli veya koloniyel bitkilerdir. Sudaki erimiş silis oranı diatomların büyüme ve çoğalma hızını belirler, nem ve ışıkla beslenen diatomlar denizlerde genellikle koloniler halinde, göl ve nehir yataklarında, ıslak kayalarda ise tek bireyler halinde gelişme şansı bulmuşlardır. Denizlerdeki besin zincirinin ilk halkalarının diatomlar tarafından oluşturulduğu sanılmaktadır. Yaşanılan ortam ve diatom türleri çoğalma hızlarını büyük ölçüde etkilemektedir. Tek bir diatom haftada en çok bir diatom oluşturabildiği gibi, ayda bir milyar diatom veren türler de vardır. Diatomların hücre çeperleri (kavkıları) amorf silisten ($\text{SiO}_2 \times n\text{H}_2\text{O}$) oluşmuştur. Ancak bu opal (amorf silis) çeşitli oranlarda Al, Fe, Ca, Mg, Na, K elementlerinin silikatları ile birlikte bulunmaktadır ve az oranda da olsa diatomun yaşamı için hücrede bu elementlere ihtiyaç duyulmaktadır. Diatomların yaklaşık 15000 türü olduğu saptanmıştır. Her türün kendine özgü geometrik şekli, gözenek yapısı (C deseni) ve büyüklüğü vardır. Büyüklükleri 2 ila 500 mikron arasında değişir. Ülkemizde 5-150 mikron arasında değişen büyüklüklerde diatomit türlerine rastlanmaktadır. Yukarıda bahsedilen diatomların çeşitli nedenlerle yaşamlarının sona ermesi ile silisli kavkıları bir araya toplanarak çökelmekte ve diatomit rezervlerini oluşturmaktadırlar. Tür ve çoğalma hızları arasındaki farklılıklara bir de rezervin oluştuğu ortam şartları eklendiğinde, çökme hızı yılda 0,1 - 4mm arasında değişebilmektedir. Deniz, göl ve durgun nehir yataklarında çökelen bu rezervler daha sonraki yer kabuğu hareketleri ile yükselerek beyaz görünümlü tepecikleri meydana getirmektedirler. Daha çok volkanik sahalara yakın yerlerde tespit edilen diatomit rezervleri, daha sonraki yer hareketleri ile kırılma ve kirlenmelere uğramış ve çağlar boyunca bu rezervler kil, kalker, kuvars ve volkanik küllerle karışık veya ardışık katmanlar oluşturmuşlardır. Bir diatomit rezervinin işletilmesi, diğer kirlenici katmanlardan ayrılıp ayrılmadığının tesbiti ile başlamalıdır. Kil, kalker ile karışık bulunan diatomit yataklarının, daha çok refrakter, hafif yapı ve izolasyon malzemesi olarak kullanılabilirliği araştırılması önem taşımaktadır [13].

2.2.2.2 Diatomitin Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

Diatomların hücre çeperleri (früstül) amorf silisten ($\text{SiO}_2 \times n\text{H}_2\text{O}$) oluşmuştur. Ancak bu opal (amorf silis) çeşitli oranlarda Al, Fe, Ca, Mg, Na, K elementlerinin silikatları ile birlikte bulunmaktadır [15]. Diatomeler hayatlarını sürdürebilmek için silis kaynağına ihtiyaç duyduklarından, daha çok volkanik faaliyetlerin yoğun olduğu tatlı sularda, az tuzlu göllerde ve deniz sularında yaşamaktadırlar [16,17,18]. Diatomit; saf, kumlu, milli, killi, kireçli, marnlı, tüflü tiplerde gelişebilir. Masif olabilir veya lâminalı tabakalanma da gösterebilir. Tane boyu dağılımı diatomelerin iriliğine, kabukların tam veya kırık oluşuna, kil ve kum gibi katkıların varlığına ve oranına bağlı olarak değişir [19]. Kayaç; yumuşak, hafif, mümkün olduğunca beyaz, ele alındığında kolayca dağılabilen tipte olmalıdır. Mineral örneğinin diatomit olarak kesin tanısı mikroskopik görünüşüdür. Diatomit rezervden alındığında PH değeri 5 - 9 arasında değişir. Diatomitin kayaç olarak sertliği Mohr ölçeğine göre 1.5 civarındadır, fakat silisli kavkının kendi sertliği 4.5 - 5.0 arasındadır [15]. Diatomitin basınç dayanım değeri 3-18 kgf/cm^2 arasındadır [19,20]. Poroz yapısının bir sonucu olarak spesifik yüzey alanı oldukça yüksektir. Isı iletkenliği son derece düşüktür. Düşük sıcaklıklarda, 100 - 300°C'de 0.08 $\text{kcal/m}^2 \cdot \text{C}^\circ \cdot \text{h}$, 800°C ve yukarısında ise 0.11 $\text{kcal/m}^2 \cdot \text{C}^\circ \cdot \text{h}$ mertebesindedir. Diatomitin erime noktası, bileşimindeki safsızlıklarla ilgili olarak 1000°C - 1590°C arasında değişir. Bu hali ile refrakter hammadde tanımı içine girer [15]. Diatomit birçok kimyasal maddeye karşı inert olup, yalnız yüksek sıcaklıkta kuvvetli bazlardan ve asit olarak da sadece HF (hidroflorik asit)'den etkilenir [21] [14].

2.2.2.3 Dünya'da Bulunan Diatomit Rezervleri

Dünyanın en büyük yatakları Amerikan Birleşik Devletleri'nde yer alır. Kaliforniya'nın Lompoc ve Monterey yataklarında toplam kalınlığı 250 m'ye ulaşan diatomit katmanları vardır. Diğer bölgelerden, Maryland ve Virginia'da Denizel, Nevada, Oregon, New Mexico ve Washington'da tatlı su kökenli diatomit yatakları bulunur. Kanada, Meksika ve Brezilya'da da tatlı su diatomitleri işletilir.

Viyana havzasının Limberg diatomitleri Avrupa'nın en ünlü yataklarındandır. Fransa'nın Auvergne, İtalya'nın Toskana, Bohemya'nın Franzensbad bölgelerinde diatomitler bulunur.

Avrupa'da ayrıca İspanya, Portekiz, Yugoslavya, Macaristan, Kuzey İrlanda ve İskoçya'da da diatomit yatakları işletilir.

Sovyetler Birliği'nde Urallar, Ermenistan ve Kafkasya'da, Japonya'da Hokkaido'da, Kore'de diatomit yatakları yer alır. Bunun yanısıra Endonezya ve Avustralya'da da tatlı su kökenli diatomitler bulunmaktadır.

Kenya ve Güney Afrika'da da diatomit yatakları olduğu bilinmektedir.

2.2.2.4 Türkiye’de Bulunan Diatomit Rezervleri

İç Anadolu'nun güneydoğusu; Kayseri, Nevşehir ve Niğde illerinde diatomit yatakları boldur. Hırka (Kayseri) Türkiye'nin bilinen en büyük yatağıdır. Kayseri'nin 30 km kadar kuzeyinde, Emmiler-Hırka Neojen havzasında yer alır. Hırka'da diatomit toplam 21m kalınlığa ulaşan diatomitlerle değişik kalınlıkta kil, mil ve tüfitik kum ara katkılarından yapılıdır. Arazide tabandan tavana doğru dizilen kumlu, saf, killi ve kireçli dört diatomit litotipi ayırt edilmiştir [20]. Ayrıca Keprin-Toklar, Melenki, Oymaağaç, Beydeğirmen köyleri yakınında diatomit yatakları bulunmaktadır. Ürgüp yakın dolayında da diatomit yatakları yer alır [19] [21]. Aksaray ilinin 45 km güneydoğusunda İhlara vadisinde bulunan Melendiz Çayı'nda yapılan bir jeolojik çalışmada, Gabriel ve Malecha [22] vadinin Belisırma mevkinde bulunan diatomitin 15m - 20m kalınlığındaki tabakalar halinde olup geç Pleosen zamanında oluştuğunu bulmuşlardır. %40'ından fazlası diatome kabuklarından meydana gelen bu toprağın endüstride geniş bir kullanım alanı vardır. Yapılan çalışmalar sonucunda buradaki kaynakta bulunan diatomelerin hemen hepsinin tatlı su habitatlı olduğu belirlenmiştir [23] [14].

Ankara-Çankırı Bölgesi; Çankırı il sınırları içinde Çerkeş, Orta, Şabanözü ilçeleri arasında kalan bir alanda Akhasan, Karaağaç, Bastak diatomitleri yer alır. Bunların bir kısmı işletilmektedir. Ankara il sınırları içinde ise Güvem, Gürcüköy ile Ayaş'ın Başberket ve Gücügöz yatakları bilinmektedir [19, 24]. Aruntaş ve arkadaşlarının çalışmalarına [25] göre; Ankara ve Çankırı yöresi diatomitlerinin amorf yapıda, nem ve su emme değerlerinin yüksek, özgül ağırlıklarının 2.0 g/cm^3 'den küçük, yüksek gözenekli mikro yapıya sahip saf bir malzeme olduğu belirlenmiştir. Fiziksel özellikler yönünden, her iki diatomit de ticari diatomit niteliği taşımaktadır. Kimyasal kompozisyon açısından ise, yalnız Ankara diatomitleri'nin filtrasyon malzemesi olarak

kullanılabileceği belirtmişlerdir. Diğer taraftan her iki diatomit de, portland çimentolu betonlarda puzolanik malzeme olarak kullanılabileceği, Kütahya yöresi diatomitleri ile benzer özellikler gösterdiğinden dolayı izole tuğla yapımında ve yüksek gözenekli mikro yapıda olması nedeniyle de yapılarda yalıtım malzemesi olarak kullanılabileceği belirtilmiştir [14].

Batı Anadolu Bölgesi; Bu yörede Afyon-Şeydiler, Kütahya-Alayunt, Uşak-Kayağıl diatomitleri araştırılmıştır. Aydın-Karacasu, Denizli-Tırkaz ve Karakıran yataklarında tanınmaktadır. Bunun yanısıra Balıkesir-Gönen ile Bursa- Orhuneli’nde de diatomite rastlanılmıştır. Kütahya-Alayunt diatomitleri yaklaşık 15 milyon ton rezervlidir ve %92 SiO₂, %75 SiO₂, %55 SiO₂ oranlı olmak üzere 3 farklı kalitede bulunurlar. Bu diatomitler için şimdiye kadar farklı araştırmacılar tarafından çeşitli özellikleri araştırılmıştır [26] [27] [28]. Afyon ve çevresinde bulunan diatomitlerin kabuk şekli açısından yapıları çubuk şeklinde olan hücrelerden oluştuğu bildirilmiştir [29]. Bentli’nin Kütahya-Alayunt diatomit cevheri üzerinde yaptığı zenginleştirme işlemleri sonucunda yatağın önemli bir potansiyel olduğu ve ham haliyle bile ticari diatomit sınıfına girdiği belirlenmiştir [30]. Fiziksel ve kimyasal analizler sonucunda hidrosiklon zenginleştirme ürününün dolgu ve seramik sanayinde, hidrosiklon ve kalsinasyon ile elde edilen ürünün ise filtrasyon alanlarında kullanılabilecek özelliklerde olduğu saptanmıştır [14].

Doğu Anadolu Bölgesi; Literatüre ayrıntılı olarak geçmiş bir diatomit yatağı yoktur. Bununla birlikte Neojen’deki linyit araştırmalarında diatomeli killere rastlanılmış olması, ayrıca bölgede volkanizmanın çok yaygın bulunması bu bölgede de diatomit yataklarının olabileceğini göstermektedir. Hacim yönünden en büyük yataklar İç Anadolu’nun güneydoğusunda toplanmıştır. Türkiye diatomitleri genellikle tatlı su ortamlarının küçük, planktonik diatomelerinden oluşan, kil ve tuf, tüfit ara katkılı çökeltileridir [19] [14].

2.2.2.5 Diatomitin Elde Edilişi ve Üretimi

Diatomit rezervden alındığında %30 - %60 civarında nem içerir. Genellikle ocaktan taşınması esnasında ufalanan bu ham diatomit çeşitli büyüklüklerde topraklarda bulunur. Bu haliyle rengi kirli beyazdan açık kahverengine kadar değişir. Diatomit üretimi ham diatomitin fabrikanın açık sahasına gelmesiyle başlar. Kapsadığı nemin doğal yollardan

atılması için hammadde güneşli veya yağışsız günlerde sahaya mümkün olduğunca ince olarak yayılır. Zaman ve yerin elverdiği ölçülerde açık sahada tutulan hammadde çekiçli kırıcı bunkerine verilerek fabrikasyona alınır. Kırıcıdan geçen hammadde bant taşıyıcılar ile ham fabrika bunkerine alınıp günlük işleme kapasitesine göre ön kurutma kolonlarına verilir. Doğrudan sıcak havayla karşılaşan hammadde rutubetini üç kademe halindeki bu kolonlardan geçerek kaybeder. Kalsinasyon için döner fırına gelmeden önce, bir seperatör vasıtası ile diatomitten ağır olan kum, kil gibi kirleticiler ayrılır. Kuru ve nisbeten temiz olan diatomit döner fırında hammaddenin özelliğine ve üretim şekline göre 600 - 1000°C arasında ısıtılarak kalsinasyona tabi tutulur. Bu aşamada diatomite fırın giriş öncesinde %2 - %8 oranlarında katılarak eriyebilen bir alkali tuzu, diatomitin içerdiği demirin uzaklaştırılmasını sağladığı gibi, taneciklerin sinterleşerek büyümesini de sağlar. Böylece üretilen ürün beyaz renktedir. Herhangi bir tuz katılmaksızın kalsinasyona tabi tutulan diatomit ise pembeden açık kahverengine kadar değişen renklerde ürün verir. Birinci flaks kalsine ürün ikinci üretim ise kalsine ürün olarak isimlendirilir. Her iki üretim şeklinde de fırından çıkan malzeme soğutulduktan sonra bir topak kırıcıdan geçer ve havalı ayırıcılarda, siklonlarda, tane boyutlarına göre sınıflandırılır. Kalsinasyon işlemi uygulanmadan sadece kurutma ve kum ayırma işlemlerinden geçirilerek belli tane boyutlarında üretilen bir ürün daha vardır ki buna doğal diatomit denir. Bu üretim de deneme mahiyetinde gerçekleştirilmiştir [13].

Flaks kalsine ürün tane boyutlarına göre No. 2, No. 3 ve No. 4 olarak sınıflandırılır. Kalsine ürün ise daha küçük tanecik boyutlarında olduğundan böyle bir ayırma tabi tutulmaz. Üretilen diatomitin büyük bir kısmı şeker fabrikalarında filtrasyon işlemlerinde filtre yardımcısı olarak kullanılmaktadır. Kalan kısım ise piyasaya sunulmaktadır [13].

2.2.2.6 Diatomit'in Kullanım Alanları

Diatomitin kullanım alanları son derece çeşitlidir. Başlıca şu gruplarda toplanabilir:

- Her türlü filtrasyon işlemlerinde filtre yardımcı maddesi; şeker fabrikasyonunda, bira, şarap, meyve suyu, meşrubat ve her türlü içecek üretiminde, hayvani, nebati, makina ve yağlama yağlarının süzülmesinde, atık suların, havuz sularının filtrasyonunda, kuru temizleme çözeltilerinin geri kazanılmasında, ilaç

sanayindeki süzme işlemlerinde, asit ve kimyasal madde üretiminde ve daha pek çok hassas veya kaba süzme gerektiren işlemlerde kullanılırlar,

- Dolgu malzemesi olarak,
- Katkı maddesi; boya, diş macunu, lastik, plastik, ilaç, kozmetik, kağıt, kibrit, cila, sır, temizlik maddesi ve benzerlerinin imalatında,
- Katalizör taşıyıcısı olarak kimyasal reaksiyonlarda,
- Silis kaynağı olarak birçok kimyasal madde hazırlanmasında,
- İzolasyon malzemesi imalinde; ısı, ses ve elektrik iletkenliğinin son derece düşük olması nedeniyle,
- Hafif yapı malzemesi ve refrakter malzeme imalatında ve genelde seramik hammaddesi olarak,
- Aşındırıcı ve yüzey temizleyici olarak,
- Gübrelerde taşıyıcı ve topraklanmayı önleyici olarak geniş uygulama alanları vardır [15] [21] [14].

2.2.2.7 Diatomit ile İlgili Yapılan Literatür Çalışmaları

Yılmaz vd. (2006) yaptıkları çalışmada Kütahya-Alanyurt bölgesi killi diatomitlerin çimento üretiminde kullanılabilirliğin araştırmışlardır. Yaptıkları çalışmada, Kütahya - Alayunt bölgesi killi diatomitlerinin katkılı çimento üretiminde puzolanik malzeme olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır. Çimento bileşimine %5, %10 ve %20 oranlarında katılan killi diatomit, klinker ile birlikte öğütülerek çimentolar elde edilmiştir. Deneyler sonucunda %10 ve %20 killi diatomit katkısının portland çimentosu klinkerinin dayanım değerlerinin 50N/mm^2 civarında olduğu taktirde 42,5 sınıfı çimento üretiminde kullanılabileceği tespit edilmiştir. Bu malzemenin kullanımı ile hem $1450\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de üretilen klinker kullanımı azaltılarak çevreye daha az emisyon verilecek hem de diatomitin düşük özgül ağırlığı ile kullanıldığı betonda ısı ve ses izolasyonunun arttırılabilmesi nedeni ile özel bir çimento tipi oluşturabileceğini belirtmişlerdir [31].

Ünal vd. (2007) yaptıkları çalışmada diatomitin hafif beton üretiminde kullanımını incelemişlerdir. Yaptıkları çalışmada, diatomit agregalarıyla üretilen hafif betonun mekanik ve fiziksel özellikleri araştırılmıştır. Betonların çimento miktarı 250 ve 400 kg/m^3 arasında değiştirilerek su/çimento oranı 0.15 olarak sabit tutulmuştur. Üretilen

numuneler üzerinde, basınç dayanımı, ısı iletkenlik, su emilimi, birim hacim ağırlık, ultrases hızı ve porozite deneyleri yapılmıştır. Ayrıca bazı numunelerin mikro yapısı TEM yoluyla incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda sahip olduğu bazı özellikler açısından diatomitin agrega olarak hafif beton üretiminde kullanılabilceğini belirtmişlerdir. Yapılan çalışmalar sonucunda diatomitle üretilen hafif agregalı betonların dayanımlarının düşük olması ancak ısı yalıtım değerlerinin yüksek olması nedeniyle hafif agrega olarak hafif beton üretiminde kullanılması ile taşıyıcı olmayan ancak ısı yalıtımı yüksek olan yalıtım amaçlı hafif betonlar veya bloklar üretilbileceğini belirtmişlerdir. Bu durumda hem hammadde kaynaklarımızın değerlendirilerek ülke ve birey ekonomisine katkı sağlanması hem de ısı yalıtımı açısından enerji tasarrufunun arttırılacağı belirtilmiştir [32].

Değirmenci vd. (2009) yaptıkları çalışmada diatomitin portland çimentosundaki kullanımını incelemişlerdir. Yaptıkları çalışmada diatomit malzemesinin portland çimentosunda kullanımıyla birlikte etkilerini incelemişlerdir. Yaptıkları deneylerde ağırlığın 0%, 5%, 10% ve 15%'i kadar diatomit kullanılmış ve kum ile su oranları sabit tutulmuştur. Hazırlanan betonun basınç ve eğilme dayanımı, donma-çözülme direnci, sülfat atak direnci, kılcal su emme ve kuru birim hacim ağırlığı değerleri ölçülmüştür. Deneyler sonucunda diatomit ikame oranının artışı ile birlikte numunelerin basınç ve eğilme dayanımlarında düşüş gözlemlenmişlerdir. Diatomit kullanımı genel olarak betonun 25 donma-çözülme döngüsünün etkisinden sonra basınç dayanımını arttırdığı gözlemlenmiştir. Ayrıca, diatomit artışı ile birlikte hazırlanan numunelerle yapılan deneylerle numunelerin kılcal su emme miktarında azalma gözlemlenmiştir. Kuru birim hacim ağırlığı aynı şekilde diatomit ikame oranı artışı ile azalmıştır. %5 sodyum sülfat etkisine maruz bırakılan numunelerde diatomit artışı ile birlikte numunelerin sülfata karşı olan direncinde artma görülmüştür [33].

Senff vd. (2011) yapmış oldukları çalışmada diatomitin taze ve sertleşmiş çimento harçları üzerindeki etkisini karışım deneyleri üzerinden incelemişlerdir. Yaptıkları çalışmada hazırlanan numunelerde ağırlıkça 52% - 67% oranında portland çimentosu, 0 -10% oranında diatomit ve 33% - 38% oranında su kullanılmıştır. Karışım dizaynında hazırlanan harçlardaki formülosyonu reoloji ve akış tablosu ölçümlerine

dayandırılmıştır ve sürüklenmiş hava, taze yoğunluk, priz süresi, hidrasyon ısısı gibi deneyler uygulanmıştır. Bu deneylerle birlikte basınç dayanımı, su emme deneyi ve görünür porozite deneyleri 28 gün kürlenmiş numunelerde incelenmiştir. Yapılan çalışmalarda belirli formülasyonlar izlenmiştir. Fakat, tüm karışımlarda uygun bir şekilde işlenebilirlik öneme alınmıştır. Diatomit eklenmiş karışımlarda akma gerilimi, plastik viskozite ve sürüklenen hava artmış, diğer özellikler ise düşmüştür. Diatomit kullanılan numunelerde basınç dayanımı 30 MPa değerini aşmıştır. Sonuç olarak kullanılan su oranlarının diatomitin karışımda göstereceği davranışta aşırı derecede önemli olduğunu belirtmişlerdir [34].

2.3 Fibercement Levha Üretiminde Kullanılan Bağlayıcı Malzemeler

2.3.1 Çimento

2.3.1.1 Çimentonun Tanımı ve Tarihi

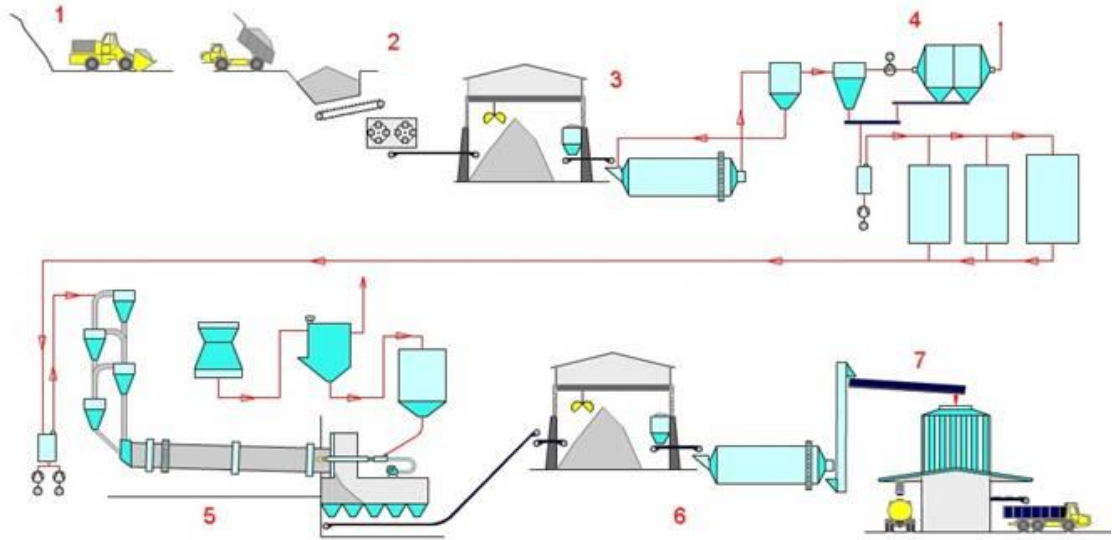
Çimento: Killi kalkerleri özel fırınlarda pişirip ezmekle elde edilen, çamuru çarçabuk katılaşp sertleşen ve yapılarda harç malzemesi olarak kullanılan kül renginde veya beyaz tozdur.

Dünyada ilk çimento üretimi 1824 yılında İngiltere'nin Leeds kentinde Joseph Aspdin tarafından ince taneli kalker ve kil karışımının pişirilmesinin ardından öğütülerek gerçekleştirilmiştir. Üretilen çimentonun özellikleri ve rengi Leeds'e yakın Portland isimli adadan getirilen doğal yapı taşına benzediği için adına Portland çimentosu denilmiştir. Çimento yeterli sıcaklıkta pişirilmediği için bazı olumsuz (yetersiz) tarafları görülmüştür. 1845 yılında Isaac Johnson isimli İngiliz, Portland çimentosunun özelliklerini iyi pişirmeden sonra geliştirerek bugün dünyanın her tarafında kullanılır hale getirmiştir. 1845 yıldan bu yana üretilmekte olan çimento, günümüzde en önemli yapı malzemesi olma özelliğini korumaktadır. Bu süre içinde çimento üretim teknolojisinde büyük önem kaydedilmiştir. Öncelikle yaş öğütme sistemden kuru öğütme sisteme geçilerek enerjide büyük ölçüde tasarrufu sağlanmıştır. Bunun yanında üretilen çimento kalitesinde geliştirilerek kalitede iyileşme sağlanmıştır [35].

2.3.1.2 Çimento Üretimi

Portland çimento klinkeri esas olarak kalker ve kilin uygun oranlarda karıştırılması ve döner fırında yüksek sıcaklıkta sinterleşmeye kadar kızdırılmasıyla elde edilmektedir. Dolayısıyla klinker kabaca CaO , SiO_2 , Al_2O_3 ve Fe_2O_3 bileşenlerinden oluşmaktadır. Çimento üretimi sırasında priz ayarlayıcısı olarak bir miktar alçıtaşı da ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) katılmaktadır. Ancak Portland çimentosu içinde her bir bileşenin kütle oranının belli sınırlar içinde tutulması zorunludur. Klinker bileşiminde bulunan bu oksitler, stokiometrik değerlere, klinkerin fırında kızdırılma sıcaklığına ve fırın çıkışında soğutma derecesine bağlı olarak değişik oranlarda kalsiyum silikat ve alüminyum silikat bileşiklerini oluştururlar.

Çimento çeşitlerinin çok fazla olmasına rağmen bugün Dünya’da en çok Portland çimentosu üretimini sağlayan ve en uygun kayaç marnlı (killi kireçtaşı) kalkerdir. Fakat her yerde uygun kimyasal bileşimdeki kayacı bularak tek hammaddeden çimento klinkeri yapmak mümkün değildir. Portland çimentosu klinkerinin temel hammaddeleri olan kireçtaşı ve kil hiçbir vakit doğada saf halde bulunmaz. Bunların içinde çeşitli yabancı maddeler bulunur ve bunlarda çimento içinde yer alırlar. Bu nedenle Portland çimentolarının %90’ını oluşturan CaO , SiO_2 , Al_2O_3 ve Fe_2O_3 gibi temel bileşenleri dışında MgO , SO_3 ve alkali oksitler (K_2O , Na_2O) bulunur. Çimentoyu oluşturan CaO , SiO_2 , Al_2O_3 ve Fe_2O_3 klinker oluşumu sırasında yüksek sıcaklıkta birbiri ile birleşerek trikalsiyum silikat ($3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$), dikalsiyum silikat ($2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$), trikalsiyum alüminat ($3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$) ve tetra-kalsiyum alümino ferrit’i ($4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$) oluşturur. Bu bileşikleri saf bir şekilde laboratuvarında elde etmek mümkündür. Ancak hammadde karışımı içinde değişik stokiometrik oranda bulunan oksitlerin birbirlerini etkilemeleri ve bunların dışında yabancı maddelerinde bulunması klinker bileşenlerini ideal ve teorik durumlardan farklı bir şekilde bulunmasına yol açar [35]. Şekil 2.10’da çimento üretim aşamaları şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 2.10 Çimento üretim şeması

- 1) Çimento üretiminde kullanılan hammaddeler; hammadde ocaklarından genellikle sert oldukları için patlayıcı maddeler yardımıyla çıkartılır ve yükleyici iş makineleri ile nakil araçlarına yüklenerek kırılmak üzere konkasörlere (taş kırıcılara) taşınır.
- 2) Hammaddeler, konkasörlerde kırıldıktan sonra stokholde stoklanır.
- 3) Vinçler yardımıyla stokholden alınan hammaddeler belli oranlarda karıştırılarak farin değirmenlerine alınarak öğütülürler.
- 4) Farin adını alan karışım pişirmek üzere hazır olarak farin stoklarında stoklanır.
- 5) Ön ısıtıcılardan geçirilerek döner fırına sevk edilen farin yaklaşık 1400 - 1450 derece sıcaklıkta pişirilir.
- 6) Döner fırından klinker olarak çıkan yarımamül ürün soğutucuda soğutulur ve klinker stokholünde stoklanır. Alçıtaşı ve üretilecek çimento cinsine uygun katkılarla çimento değirmenlerinde öğütülür.
- 7) Çimento cinslerine göre ayrı ayrı silolarda stoklanan çimento, torbalı ve dökme çimento olarak satışa sunulur [35].

2.3.1.3 Çimento Çeşitleri

Çimento belirli standartlara dayanılarak üretilmektedir. Avrupa ülkelerinin çoğunluğu için geçerli olacak çimento standartlarının hazırlanmasına 1973 yılında Avrupa Standardizasyon Komitesi'nin teknik komitesi TC51 ile başlamıştır. Çeşitli Avrupa

lkelerinde çok sayıda imento türünün yerel standartlara uygun olarak kullanılmakta olduğunu dikkate alan komite, genel çimentolar için hazırladığı EN 197-1 de çok sayıda imento türüne yer vermiştir. Doğrudan Türk standardı olarak kabul edilen bu Avrupa standardı da genel amaçlı Türk çimentolarının yerini almıştır [36].

Yeni genel imentolar TS EN 197-1’de “CEM imentosu” olarak adlandırılır.

Buna göre;

CEM imentosu: Hidrolik sertleşmesi öncelikle kalsiyum silikatların hidratasyonu sonucu meydana gelen ve içindeki reaktif CaO ve reaktif SiO₂ toplamının kütlece en az %50 olması gereken çimentodur. Bileşimi portland imentosu klinkeri, kalsiyum sülfat ve çeşitli mineral katkılardır.

Standarda göre CEM imentoları, 27 alt çeşidi kapsayan 5 ana tiptedir.

CEM I: Bu grupta klinkerin sadece kalsiyum sülfat ve minör bileşen olarak ağırlıkça en fazla % 0 - 5 arası mineral katkı ile öğütülmesi sonucunda Portland imentosu elde edilir.

CEM II: Bu grupta mineral katkı miktarı %6 - 35 arasındadır. Katkı türüne bağlı olarak bu gruptaki imentolar Portland crflu, Portland puzolanlı gibi isimler de almaktadır.

CEM III: Bu grupta yüksek fırın crflu çimentolar bulunur. Katkı miktarı % 36 - 95 arasındadır.

CEM IV: Bu grupta puzolanik çimentolar yer alır. Bunlarda crf veya kalker katkı maddesi olarak kullanılmaz. Katkı madde oranı puzolan ve uçucu kül katkıları ile birlikte %11 - 55 arasında değişmektedir.

CEM V: Bu grupta kompoze çimentolar bulunur. Bunlara hem crf (%18 - 50) hemde puzolan ve uçucu kül (%18 - 50) miktarı belirlenen sınırlar içerisinde değiştirilerek birlikte katılır, miktarları klinker oranı %20 - 64 arasında kalacak şekilde ayarlanır [36].

Bunların haricinde gerek klinker üretimi sırasında, gerekse sonradan ilave edilen mineral katkılar sayesinde özel kullanım amaçlı olarak üretilmiş, TS EN 197-1 standardının kapsadığı 5 çeşit daha imento bulunmaktadır. Bunlar:

Sülfata Dayanıklı imentolar: Trakalsiyum alüminat miktarı sınırlanmış (maks. %5) olarak üretilen klinkerin kalsiyum sülfat ile birlikte öğütülmesi ile elde edilir [36].

Beyaz Portland Çimentosu: Özel nitelikli kil ile kireçtaşının birlikte pişirilmesiyle elde edilen beyaza yakın klinkerin bir miktar kalsiyum sülfat ile birlikte öğütülmesiyle elde edilir.

Harç Çimentosu: Dayanım gelişmesi için gerekli Portland Çimentosu Klinkeri içeren ince öğütülmüş hidrolik bağlayıcıdır. İlave bileşene ihtiyaç duyulmadan sadece kum ve su karıştırılarak duvar, sıva ve kaplama işlerinde kullanıma uygun harç yapımını sağlar.

Yüksek Fırın Cürufu Katkılı, Düşük Erken Dayanımlı Çimentolar: Sınırlandırılmış hidratasyon ısisına sahip, yüksek fırın cürufu katkılı ve erken dayanımı düşük olan çimentodur.

Çok Düşük Hidratasyon Isılı Özel Çimentolar: Su ile karıştırıldığında hidratasyon reaksiyonları ve prosesler nedeniyle priz alan ve sertleşen bir hamur oluşturan, sertleşme sonrası suyun altında bile dayanımı ve kararlılığını koruyan ve geliştiren, genel çimentoların hidratasyon reaksiyonlarına sahip bir çimentodur [36].

2.3.1.4 Çimentonun Çeşitlerinin Kullanım Alanları

Beyaz Portland Çimento: Üstün kaliteli beyaz çimento (Süper Beyaz), dekoratif amaçlı olarak üretilen bir hidrolik bağlayıcıdır. Ayırt edici temel özellikleri dayanım kazanımının yüksek olması, estetik ve dekoratif özelliklere sahip olması, yüzey düzgünlüğü ve görünüş güzelliğidir. Minimum %85 beyazlık oranına sahiptir.

Beyaz Portland Kalkerli Çimento: Portland Kalkerli beyaz çimento (Ekstra Beyaz), genel kullanım ve estetik amaçlı yapılar içindir. Çok ince olması nedeniyle daha pürüzsüz yüzeyler elde edilir. Ayrıca katkılı çimento olması nedeniyle çevreci bir üründür. Minimum %82 beyazlık oranına sahiptir.

Portland Çimento: Genel kullanım amaçlıdır. Yüksek dayanımlı beton gerektiren yerlerde, ilk dayanımın yüksek olması istenen beton yapımında kullanılan çimento tipidir.

Portland Kompoze Çimento: Portland çimentonun kullanıldığı alanlarda kullanılabilir. Katkı içermesi nedeniyle hidratasyon ısisı portland çimentoya göre düşüktür.

Yüksek Fırın Cürufu Çimento: Kıyı ve liman inşaatları, açık deniz yapıları, atık su tesisleri gibi kimyasal ataklara karşı direnç gerektiren inşaatlarda, barajlar, betonarme

yeraltı su boruları, tünel kaplamaları, genel amaçlı inşaatlarda ve düşük hidratasyon ısısına gerek duyulan kötü betonlarında kullanılır.

Kompoze imento: Genel olarak baraj, sıva ve duvar harcı, su kanaletleri, arıtma tesisleri, kötü beton dökümünde, yol kaplama betonları ve yapı kimyasalları üretiminde kullanılır [37].

2.3.2 Granüle Yüksek Fırın Cürufu

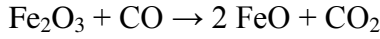
2.3.2.1 Granüle Yüksek Fırın Cürufunun Tanımı

Beton içerisinde mineral katkı malzemesi olarak kullanılan yapay puzolanlardan biriside demir-elik fabrikalarında pik demirin üretimi sırasında meydana gelen endüstriyel atık konumundaki granüle yüksek fırın cruflarıdır. Yüksek fırından eriyik bir durumda, atık malzeme olarak dışarı alınan cüruf yaklaşık 1500°C sıcaklıkta olduğundan, cürufun herhangi bir amaçla kullanımı, ancak soğutulmasından sonra mümkün olmaktadır. Yüksek oranda silis ve alümin içeren ve amorf yapıya sahip olan yüksek fırın cürufları, uygulanan soğutma tekniğine göre değişik yapısal karakteristikler göstermektedirler. Genellikle bol miktarda suda, çok hızlı soğutulma işlemine tabi tutulan cüruflar, kum taneleri gibi (en büyük boyutu yaklaşık 4mm) parçacıklar oluşturduklarından, “granüle yüksek fırın cürufu” olarak anılmaktadır. Granüle yüksek fırın cürufu, yüksek fırında demir cevherinin işlenmesi sırasında pik demirle aynı anda yan ürün olarak ortaya çıkan, ana bileşenleri kalsiyum ve alüminyum silikatlar olan ve ani olarak soğutulma sonucunda puzolanik aktivite kazanarak granüle hale gelen bir malzemedir. Hem puzolanik olması hem de kalsiyum oksit oranının nispeten yüksek olmasından dolayı kendi başına bir miktar bağlayıcı özelliğe sahiptir. Standartta belirtilen oranlarda granüle yüksek fırın cürufu ile portland imentosu klinkerinin karışımına küçük bir miktar alçıtaşı ile birlikte öğütülmeleri sonucu yüksek fırın cüruflu çimentolar elde edilir. Yüksek fırın cürufu, TS EN 197-1 Genel imentolar standardında belirtilen oranlarda klinker ve minör ilave bileşenlerle birlikte kullanılmasıyla CEM II, CEM III (Yüksek Fırın Cüruflu imento) ve CEM IV çimentolarının üretiminde kullanılmaktadır [38].

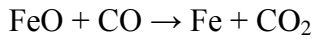
2.3.2.2 Granüle Yüksek Fırın Cürufu Üretimi

Yüksek fırında demir cevherinin indirgenerek sıvı ham demir elde edilmesi esnasında, cüruf yapıcı elementlerin oksitlenerek, sıcak maden üzerinde toplanmasıyla, “yüksek fırın cürufu” oluşur.

Demir-çelik üretiminde kullanılan yüksek fırınlarda, demir oksit (maden filizi, peletler, sinter), akıcılık düzenleyiciler (kalker, dolomit), ve yakıt (kok) kullanılır. Fırından iki ürün elde edilir: fırının alt kısmında toplanan erimiş demir ve erimiş demir üzerinde yüzen sıvı yüksek fırın cürufu. Yüksek fırın cürufunun kompozisyonu yüksek fırına beslenen maden filizi, akıcı taş ve koktaki safsızlıklara bağlıdır. Genelde yüksek fırın cürufunun %95'i veya daha fazlası silika, kalsiyum, alüminyum, magnezyum ve oksijenden oluşur [39].

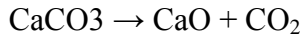


CO₂ kok ile tepkiyerek CO oluşturur



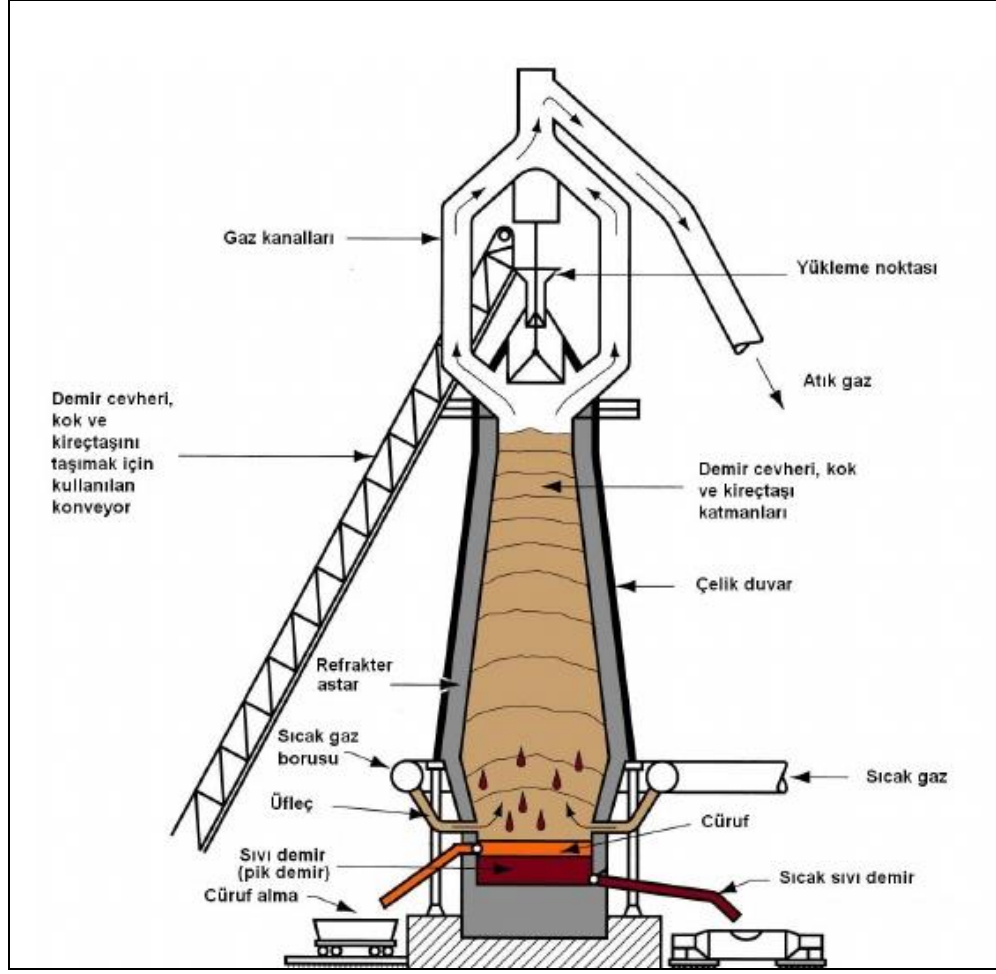
Sıvı demir aşağı doğru damlar ve yüksek fırının tabanında birikir. Bu sıvı demir belli aralıklarla alınır.

Kireçtaşı ise;



Kireç silika (SiO₂), kükürt (S), alümina (Al₂O₃) gibi safsızlıklarla birleşerek sıvı demirin üzerinde ergiyik cüruf oluşturur.

Kireç silika (SiO₂), kükürt (S), alümina (Al₂O₃) gibi safsızlıklarla birleşerek sıvı demirin üzerinde ergiyik cüruf oluşturur. İlk tepkimede üretilen CO ve CO₂ üst taraftan dışarı atılır. Diğer üç tepkimenin ürünleri cüruf olarak ergiyik çeliğin üzerinde birikir. Kireç safsızlıkların cürufta toplanmasını sağlayarak temizleyici işlevi görür.



Şekil 2.11 Granüle yüksek fırın cürufu üretim şeması [39]

2.3.2.3 Granüle Yüksek Fırın Cürufu Kullanımının Avantajları

Cürufu çimento ince öğütülmesinden ve camsı yapısından dolayı betonda işlenebilirliği artırır ve gelişmiş işlenebilirlik, sıkıştırmada ve ürünü şekillendirmede kolaylık sağlar. Beton elemanları daha az yüzey boşluğu içerir ve yerleştirilmesi kolaylaşır. Daha homojen dağılım ve daha yüksek akışkanlık gösterir. Beton içinde gözenek boyutlarının az olması nedeniyle donma çözülme direncini de yükseltmektedir. Cürufu çimento aynı zamanda kendiliğinden yerleşen beton uygulamalarında da kullanılmaktadır [40].

Sülfat ve asit ataklarına karşı yüksek dayanım: Sülfatlı, klorlu, termal, deniz suları, buz çözücü maddelere karşı performansı oldukça yüksektir. Asitli, sülfatlı ve klorlu suların bulunduğu zararlı ortamların etkisine karşı cürufu çimentoların diğer çimentolardan daha yüksek performans sergilediği kanıtlanmıştır. Özellikle klor geçirimsizliğine ve sülfat etkisine karşı cürufu çimentonun belirgin üstünlüğü bilinmektedir [40].

Klorür iyonlarının betona sızmasının engellenmesi: Çelik donatının bozunmasına yol açan klorit iyonlarının geçirimsizliğini ve karbonatlaşma derinliğini de azaltır [40].

Alkali silika reaksiyonundan dolayı oluşabilecek genleşmeye karşı etkin: Alkali silika reaksiyonunu minimize ederek, zararlı hacim genleşmesini ve betonun bozulmasına neden olan su emici kalsiyum silikat jellerinin oluşumunu engellemektedir [40].

CEM I tip çimentoya göre daha uzun süreli dayanım artışı: 28 günlük sürede CEM I ile yapılan beton dayanımını yakalar ve aşar [40].

Yapıların ekonomik ömrünü uzatma: Betonun kullanıldığı ortam koşullarından kaynaklanan yıpratıcı fiziksel ve kimyasal olaylar karşısında, betonun hizmet süresi boyunca gösterebileceği direnme kabiliyeti artar [40].

Yangın gibi yüksek sıcaklıklara karşı dayanım: Cürufu beton yangına ve yüksek sıcaklıklara maruz kaldığında cürufsuz betona göre daha yüksek dayanım göstermektedir [40].

Geçirimsizlik özelliği: Betonda kalsiyum hidroksit içeren boşluklar, cürufu çimento hidrasyonu sonucu oluşan silikat hidratlarıyla dolar ve pastadaki geçirimsizliği azaltarak agresif sülfatların girişini önler [40].

2.3.2.4 Granüle Yüksek Fırın Cürufu Betonun Kullanım Alanları

Yüksek fırın cürufunun en çok kullanıldığı alanlar barajlar, köprüler, liman, dalgakıran, rıhtım inşaatları, marina yapıları, deniz duvarları, arıtma tesisleri, sulama kanalları, su altı beton enjeksiyonları, beton kuyular, otoyollar, yer altı yapıları, havaalanı pist ve apron inşaatları, kütle betonlar, asit yağmuru veya klorür atağına maruz yapılar, nükleer atık kapsüllemesi, biogaz tesisleri ve tarımsal inşaatlardır.

2.3.2.5 Granüle Yüksek Fırın Cürufu ile Yapılan Literatür Çalışmaları

Bilgen vd. (2010) yüksek fırın cürufunun inşaat sektöründeki yeri ve önemini araştırmışlardır. Yapmış oldukları çalışmada çelik üretimi esnasında ortaya çıkan, bir yan ürün olan “Yüksek Fırın Cürufu (YFC)” nun inşaat sektöründe kullanılabilirliği irdelenmişlerdir. Demir çelik fabrikalarında demir ve çelik üretiminin yaklaşık % 25 - 30’u oranında YFC elde edildiğini ve bünyesinde kil ve silt bulunmaması, iyi bir

sürtünme özelliğine sahip olması ve pürüzlü bir yüzeye sahip olması nedeni ile aderansı yüksek olduğunu belirtmişlerdir. Bunun yanında donma-çözölmeye karşı gösterdiği dirençinde oldukça fazla olduğunu ve sahip olduğu yüksek soyulma direnci, yoğunluk, düşük su emme yüzdesi ve öğütölüp katıldığında bağlayıcılığı artırması gibi avantajları, cürufun karışımlarda kullanılabilirliği açısından önem taşıdığını belirtmişlerdir. Bu özellikler inşaat sektöründe agrega ve puzolan olarak tercih edilmesine sebep olduğunu belirtmişlerdir. Özellikle puzolan olarak çimento ve betonda kullanılabilirliği üzerine birçok çalışmalar olduğunu ve mevcut durumda “Cürufu Çimento” olarak da üretimi oldukça yaygın olduğunu vurgulamışlardır. Duvar bloğu yapı elemanı üretimlerinde, zemin stabilizasyonunda ve yalıtım sektöründe de oldukça ilgi gördüğünü ve zemin iyileştirme çalışmalarında özellikle killi zeminlerin iyileştirilmesi üzerine yapılan çalışmalardan alınan sonuçların da olumlu olduğunu belirtmişlerdir. Yaptıkları çalışmada YFC ve inşaat sektöründe değişik şekillerde kullanımı üzerine yapılan araştırmalar derlenerek beton ve zemin stabilizasyonunda kullanılmasıyla ilgili yazarlar tarafından yapılan çalışmaları sonuçları ile birlikte sunmuşlardır. Yaptıkları araştırmada sonuç olarak YFC; Dünya’da kullanım alanlarının artmasıyla, giderek önemli bir atık malzeme haline geldiğini, YFC’nun çimento ve beton yapımında oldukça olumlu bir puzolan olduğunun bilinmesiyle birlikte özellikle çimento ile ikame ettirilerek hem mühendislik özellikleri daha üstün, hem de daha ucuz beton üretimine olanak verdiğini belirtmişlerdir. Ayrıca, YFC betonda olduğu gibi zeminde de tercih edilmesi gereken bir malzeme olduğunu, hatta zemine olan katkıları çok daha fazladır ve yol altyapıları için mutlaka tercih edilmesini önermişlerdir. YFC özellikleri değişken bir malzeme olduğundan, ilgili standart ve şartnamelerden faydalanılarak, özelliklerine bakılarak ve araştırmaları yapılarak beton ya da zemin içinde kullanılması gerektiğini, YFC; hem atık bir malzemenin geri dönüşümünü sağlayarak, hem de çimento ve beton gibi diğer malzemelerin CO₂ yayarak verdikleri zararı indirgeyerek, çevre yönünden olumlu bir malzeme haline geldiğini belirtmişlerdir. Demir-çelik fabrikalarının yan ürünü veya atık malzemesi olan çelikhane cürufunun da inşaat sektörü için değerli bir hammaddeye dönüşmesi, ülkemizde bu malzeme üzerine de yapılacak araştırmalara bağlı olduğunu belirtmişlerdir [41].

Okyay vd. yapmış olduğu araştırmada yüksek dayanım ve yüksek performanslı betonlarda yüksek fırın cürufu kullanımını incelemiş ve yüksek fırın cürufu kullanımı

daha az çevre kirlenmesi, enerji tüketiminin azalması, yüksek performanslı ve servis ömrü yüksek betonların yapılmasına yardımcı olduğunu belirtmiştir. Yaptığı çalışmada yüksek dayanımlı ve yüksek performanslı betonların tasarımında yüksek fırın cürufu kullanımının geçirimsizlik ve durabilite özelliklerine etkilerini incelemiştir. Sonuç olarak öğütülmüş yüksek fırın cürufu kullanılarak erken ve ileri yaş dayanımları (7. günde 50 MPa ve 28. günde 80 MPa) yüksek dayanımlı betonlar üretmek mümkün olduğunu ve bu betonlar, sadece yüksek dayanımlı olmayıp, aynı zamanda yüksek işlenebilirliğe ve kendiliğinden sıkışma özelliğine de sahip olabileceğini belirtmiştir. Yüksek fırın cürufu kullanımı ve uygun çimento tipi seçimi ile bu betonların erken yaşta ısıl çatlak oluşturma riskini azalttığını gözlemlemiştir. Öğütülmüş yüksek fırın cürufu, yüksek performans kriterleri arasında sayılabilecek geçirimsizlik ve donma-çözülme dayanımı açısından da betona olumlu katkıda bulunduğunu ve öğütülmüş yüksek fırın cürufu kullanılarak üretilmiş betonun klorür geçirimsizliği ve kılcal su geçirimsizliğinin düşük olduğunu gözlemlemiştir. Buz çözücü tuzlar etkisinde, donma-çözülme kaynaklı yüzeysel soyulmalara karşı dayanımı istenilen kriterleri sağladığını belirtmiştir [42].

Barnett vd. (2006) yaptıkları çalışmada granüle yüksek fırın cürufu içeren çimentosunun basınç dayanımını kür sıcaklığı etkisi ile incelemişlerdir. Çalışmada farklı oranlarda bağlayıcı malzeme, su-bağlayıcı malzeme oranları kullanmış ve farklı sıcaklıklarda kür uygulamışlardır. Tüm harçların yüksek sıcaklarda daha hızlı mukavemet kazandığını, fakat maksimum dayanımlarının düştüğünü gözlemlemiştir. Hesapladıkları maksimum dayanımlar kullanılan farklı granüle yüksek fırın cürufu ve su-bağlayıcı oranlarında aşırı bir fark göstermemesine rağmen, kür sıcaklığının ciddi bir etki yarattığını gözlemlemiştir. Sonuç olarak yüksek fırın cürufu içeren çimentonun erken mukavemetinin sıcaklığa önemli derecede bağlı olduğunu belirtmişlerdir. Standart kür ortamında yüksek fırın cürufu içeren çimentonun mukavemet kazancının sıradan Portland çimentosundan daha düşük olduğunu, fakat yüksek sıcaklıklarda yüksek fırın cürufu içeren karışımların sıradan Portland çimentolu karışımlara oranla daha hızlı mukavemet kazandığını ve yüksek fırın cürufunun karışımda kullanım oranının artması ile bu mukavemet kazancının daha hızlandığını belirtmişlerdir. Normal kür sıcaklığının 10°C artışı dahi ciddi anlamda yüksek fırın cürufu oranının fazla olduğu karışımların mukavemeti etkilerken, 40 ve 50 °C fark ile Portland çimentosunun mukavemetine 3 günde ulaşılabilirdiğini belirtmişlerdir [43].

Dubey vd. (2012) yapmış oldukları çalışmada granüle yüksek fırın cürufunun betonda kullanımının basınç dayanımı üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Portland çimentosunun beton üretiminde ana malzeme olduğunu, fakat üretiminde çok fazla karbondioksit açığa çıkmasına ve sera etkisine yol açıp küresel ısınmaya neden olduğunu, bu sebeple beton üretiminde çimento kullanımını azaltmak için farklı malzemeler kullanılmasının kaçınılmaz olduğunu belirtmişlerdir. Bu farklı malzemenin çimentoda mineral katkı malzemesi olarak kullanılması, üretim ve kullanımında çevreye olan zararının minimum olmasıyla birlikte sürdürülebilirlik kavramına katkı sağlaması gerektiğini belirtmişlerdir. Yaptıkları çalışmada çimentoya %5'den %30 oranına kadar fırın cürufu kullanılmış ve basınç dayanımları karşılaştırılmıştır. Yapılan deneylerin sonucunda fırın cürufu ikame oranının artışı ile birlikte basınç dayanımında düşüş sağlanmış, fakat %15 ikame oranında fırın cürufu kullanımının basınç dayanımı düşüşünün tolerans edilebilir seviyede olduğunu çünkü sürdürülebilirlik açısından fırın cürufunun sağladığı birçok avantajı olduğunu belirtmişlerdir [44].

Arivalagan vd. (2014) yapmış olduğu araştırmada yüksek fırın cürufunun çimentoda katkı malzemesi olarak kullanımının sürdürülebilirlik üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Mineral katkı maddelerinin beton kompozitlere ekonomik ve diğer birçok yönden avantaj sağladığını ve bu tamalayıcı çimento malzemelerinin betonda kullanımının kabul gördüğünü belirtmişlerdir. Yaptıkları çalışmada granüle yüksek fırın cürufunun betonda farklı ikame oranlarında kullanılmasıyla birlikte basınç dayanımı ve betondaki verimini incelemişlerdir. Betonda yüksek fırın cürufunun kullanılmasıyla birlikte çimento tasarrufu, enerji tasarrufu, maliyet tasarrufu ve çevre ile sosyo-ekonomik açıdan değerlendirildiğinde birçok endüstri alanının bu malzemeye önem verdiğini belirtilmiştir. Yaptıkları çalışmada sonuç olarak fırın cürufunun tane boyutunun Portland çimentosundan küçük olmasıyla birlikte, erken yaşta basınç dayanımının portland çimentosundan daha az olduğunu, fakat zamanla dayanımının arttığını belirtilmiştir [45].

2.3.3 Uçucu Kül

2.3.3.1 Uçucu Külün Tanımı

Uçucu kül üretimi; santral tipi, işletim biçimi, yakılan kömürün cinsi, yanma biçimi gibi çeşitli faktörler etkilemekle birlikte genel olarak elektrik enerjisi üreten termik santrallerde kullanılan taşkömürünün %10 - 15'si, linyit kömürünün ise %20 - 50'si kül olarak ortaya çıkmaktadır. Yanma sonucu ortaya çıkan külün %75 - 85'i baca gazları ile kazandan çıkar ve bu atıklar "uçucu kül" olarak tanımlanırlar. Santrallerde baca gazlarından uçucu küllerin tutulması amacıyla genel olarak yüksek verimli elektroflitreler kullanılmaktadır [46].

Uçucu külün fiziksel, kimyasal, minerolojik ve puzalonik özelliklerinin en belirgin ortak yanı, bunların yöreden yöreye, hatta aynı yörede dahi değişkenlik göstermeleridir [46].

Bu değişkenlik;

- Uçucu külün kaynağının oluşturan kömürün türü ve değişkenliğine,
- Kömürün yakılmadan önceki öğütülme (pulvarizasyon) derecesine,
- Kazan türüne,
- Yakma sıcaklığı ve diğer işletme parametrelerine,
- Kül toplama ve uzaklaştırma sistemlerinin özellikleri ve işleyişine,
- Çevre korunması amacıyla kömüre ilave edilen katkı maddeleri gibi faktörlerden ve faktörlerin de zamana göre değişebilmelerinden kaynaklanan özelliklere bağlıdır (Kefelioğlu, 1998; Hycnar, 1983) [46].

2.3.3.2 Uçucu Küllerin Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

Uçucu kül, koyu gri renkte, çok ufak taneli bir malzemedir. Renginin koyuluğu açıklığı, elde edildiği kömüre ve yanış özelliğine bağlıdır. Yanmanın tam olmadığı durumda oluşan uçucu küle siyah renk veren içindeki yanmamış karbondur. İyi yanma sonucu oluşan uçucu kül diğerine göre daha açık renktedir. Uçucu külün inceliği öncelikle kazana verilen kömürün öğütülme derecesine bağlıdır, inceliğe etki eden ikinci faktör ise küllerin mümkün olabildiğince bacadan kaçmasına engel olunarak tutulmasıdır. Bacadan kaçan kısım azaldıkça incelik artar. Boyutları genellikle 0.5 ile 200 mikron arasında değişen, camsı ve çoğunlukla küresel karakterdeki parçacıklardır. Spesifik

yüzeyleri 1800 - 5000 cm/gr arasında değişmekle birlikte, ortalama 2800 - 3800 cm²/gr dolayındadır [46].

Uçucu külün yoğunluğu inceliğine ve mineralojik yapısına bağlıdır. İçi dolu küresel tanelerden meydana gelen uçucu küllerin mutlak yoğunluğu 2.2 - 2.7 gr/cm³ arasındadır (EtE, 1979 ve 1982). Kimyasal kompozisyon olarak incelendiklerinde, uçucu küllerin SiO₂, Fe₂O₃ ve MgO bileşiklerinden oluştuğu görülmektedir. İçerisinde bulunabilen karbon miktarı kömür tipine ve yakma işlemine göre değişiklikler göstermektedir. Ayrıca, kullanılan kömür tipine bağlı olarak bazılarında önemli miktarda CaO bulunabilmektedir. Türkiye'de bu tür bir sınıflandırma mevcut olmamakla birlikte, bazı ülkelerin standartlarında, %10'dan daha fazla miktarda CaO bulunduran küller "yüksek kireçli uçucu kül" olarak tanımlanmaktadır {Kefelioğlu, 1998}.

Mineralojik ve kimyasal özellikler açısından uçucu küller, içi boşluklu ve boşluksuz, camsal kürecikler süngerimsi mineral parçacıklar ve yanmamış taneciklerden oluşurlar. Kimyasal yapılarında temel element olarak Si, Al, Ca ve S bulunur. Uçucu küllerin matrisi esas olarak alümina silikatlardan ve bunlarla birlikte bulunabilen Fe, Mg, Na, K, Ca, Ti ve nadir toprak elementlerinden oluşur. Uçucu olan veya uçucu oksitleri oluşturan As, Cd, Ga, Mo, Pb, Se ve Zn gibi elementler matrise girme eğilimi göstermezler. Bu elementler derişimleri tane boyutu ile ters orantılı olarak uçucu küllerin yüzeylerinde toplanırlar [46].

2.3.3.3 Uçucu Küllerin Puzolanik Özelliği

Puzolanlar, kendileri hidrolik bağlayıcı olmamalarına karşın ince olarak öğütüldüklerinde nemli ortamda ve normal sıcaklıkta kalsiyum hidroksille reaksiyona girerek bağlayıcı özellikte bileşikler oluşturan doğal veya yapay malzemelerdir. Puzolanlar, gerek çimento yapımı sırasında klinkerle birlikte öğütülerek, gerekse şantiyede çimentoya yapının özelliğine göre değişik oranlarda katılarak beton yapımında kullanılmaktadır. Puzolanların kullanılması ekonomi dışında çimento ve betona pek çok iyi özellikler kazandırmaktadır. Diğer bir deyimle puzolanlı çimentolara, hataları düzeltilmiş Portland çimentoları denebilir. Uçucu küller de puzolanik özellikleri nedeni ile puzolan olarak kullanılabilen malzemelerdir. Ancak, çimento veya klinkere katılacak puzolanların belirli bir özellikte olması gerekmektedir. Klinker ve beton uçucu küllerinin sahip olması gereken özellikler "Türk Standartlarında"

TS – 639’da ve TS - 640’da verilmiştir. Gerek çimento fabrikasında klinkere, gerekse şantiyede çimento içerisine katılacak uçucu külün mutlaka puzolanik özelliğinin tespit edilmesine ihtiyaç vardır, istenen düzeyde puzolanik aktivitesi olmayan uçucu kül bu iki amaç için kullanılamaz. Gerekli puzolanik aktiviteye ek olarak, uçucu külün kimyasal özelliklerinin ($\text{SiO}_3 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$, SO_3 kızdırma kaybı, nem, alkaliler) ve fiziksel özelliklerinin (incelik, basınç dayanımı, büzülme, su alma kapasitesi, çimento alkalinitesi ile şişme) bilinmesi gerekmektedir. Farklı ülkelerin standartlarında bu sayılan fiziksel ve kimyasal özelliklerin bazıları veya tümü istenmektedir [46].

2.3.3.4 Uçucu Küllerin Sınıflandırılması

Uçucu küllerin sınıflandırılmasında, kimyasal bileşen yüzdesine göre esas olarak ASTM C 618 ve TS EN 197-1 standartları baz alınmaktadır [48,49,50] [47].

ASTM C 618 standardına göre uçucu küller F ve C sınıflarına ayrılırlar :

a) F sınıfına, bitümlü kömürden üretilen ve toplam $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ yüzdesi %70’den fazla olan uçucu küller girmektedir. Aynı zamanda bu küllerde CaO yüzdesi %10’un altında olduğu için düşük kireçli olarak da adlandırılırlar. F sınıfı uçucu küller, puzolanik özelliğe sahiptirler. [47].

b) C sınıfı uçucu küller ise, linyit veya yarı-bitümlü kömürden üretilen ve toplam $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ miktarı %50’den fazla olan küllerdir. Aynı zamanda, C sınıfı uçucu küllerde $\text{CaO} > \%10$ olduğu için bu küller yüksek kireçli uçucu kül olarak da adlandırılırlar. C sınıfı uçucu küller, puzolanik özelliğin yanısıra bağlayıcı özelliğe de sahiptirler [47].

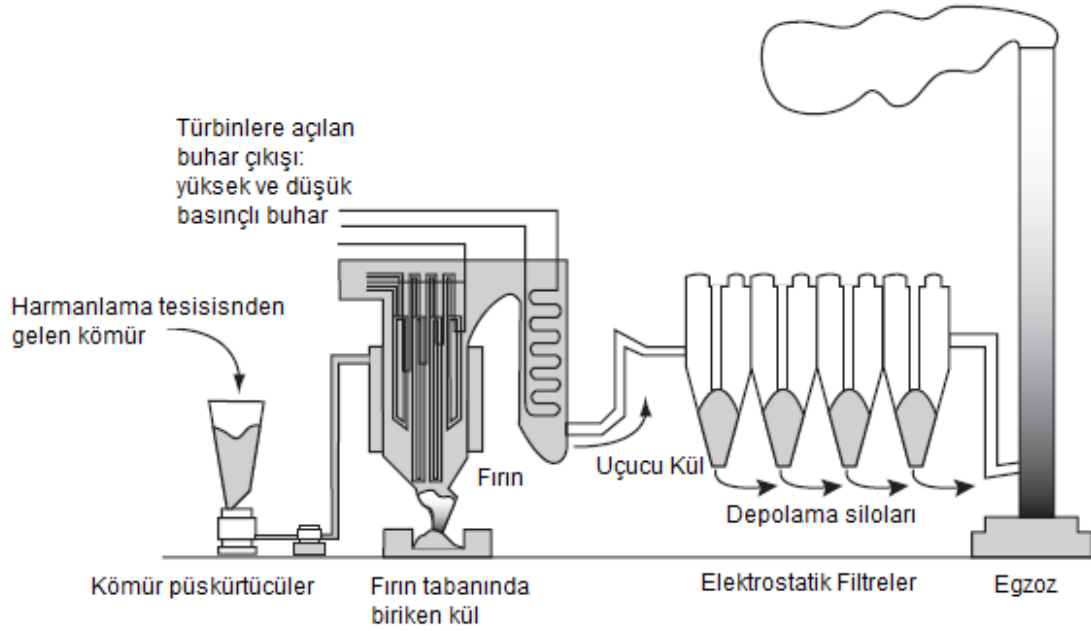
TS EN 197-1 standartlarına göre sınıflandırmada uçucu küller silissi (V) ve kalkersi (W) olmak üzere iki gruba ayrılırlar :

a) V sınıfı uçucu küller, çoğunluğu puzolanik özelliklere sahip küresel taneciklerden meydana gelen ince bir toz olup, esas olarak reaktif silisyum dioksit (SiO_2) ve alüminyum oksitten (Al_2O_3) oluşan ve geri kalanı demir oksit ve diğer bileşenleri içeren küllerdir. Bu küllerde, reaktif kireç (CaO) oranının %10’dan az, reaktif silis miktarının %25’den fazla olması gerekmektedir. [47].

b) W sınıfı küller ise, hidrolik ve/veya puzolanik özellikleri olan ince bir toz olup, esas olarak reaktif kireç (CaO), reaktif SiO_2 ve Al_2O_3 ’den oluşan ve geri kalanı demir oksit

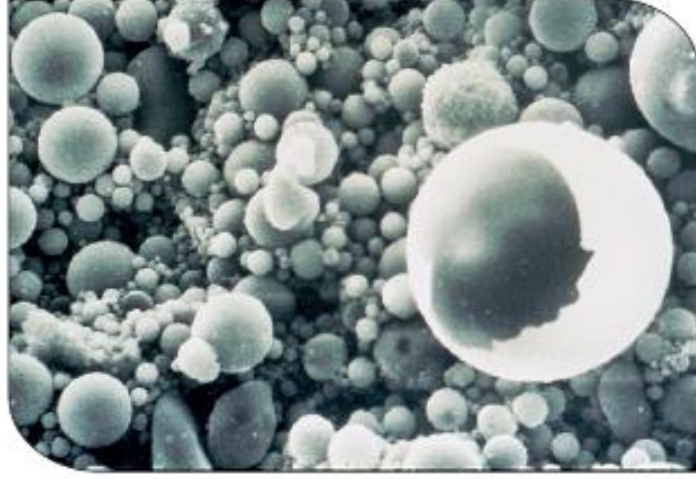
(Fe_2O_3) ve diğer bileşenleri içeren küllerdir. Bu küllerde, reaktif kireç (CaO) oranının %10'dan fazla, reaktif silis miktarının da %25'den fazla olması gerekmektedir [47].

2.3.3.5 Uçucu Kül Üretimi



Şekil 2.12 Kömür yakıtlı elektrik santrali (Sear 2001) [51]

Uçucu kül üretiminde kömür ilk olarak değirmen kısmında öğütülür, daha sonra hava ile şişirilerek kazanın yanma bölgesine aktarılır. Bu bölgede kömür yakılarak yaklaşık olarak 1500°C (2700°F) sıcaklık elde edilir. Bu sıcaklıkta yanmayan inorganik malzemeler (kuvars, kalsit, alçı, pirit, feldispat ve kil mineralleri) fırında erir ve birleşerek minik erimiş damlacıklar oluşturur. Bu damlacıklar baca gazlarıyla birlikte yanma odasından taşınır. Yanma bölgesinden kurtulduğu zaman bu damlacıklar soğuyarak camsı küre şeklindeki uçucu külleri oluştururlar (Şekil 2.13). En son olarak uçucu kül mekanik ve elektrostatik çöktürücülerle egzoz gazlarından toplanır [51].



Şekil 2.13 Küresel uçucu kül parçacıkları [51]

2.3.3.6 Uçucu Külün Kullanım Alanları

Dünya’da 1970’li yıllarda başlayan petrol krizinin ardından enerji kullanımını azaltmaya ve alternatif malzemelerin kullanılmasına yönelik çalışmalar artarak devam etmektedir. Uçucu küllerin fiziksel, kimyasal ve mineralojik özellikleri incelendiğinde, bunların inşaat sektöründe rahatlıkla kullanılabileceği ve dolayısıyla bir yandan malzeme ve enerji üretiminde ekonomi sağlanırken diğer taraftan çevre kirliliğinin önlenmesi ile ekolojik dengenin korunması da mümkün görülmektedir. İnşaat sektöründe uçucu kül; çimento, beton, agrega, kerpiç, tuğla, gaz beton ve yalıtım malzemesi üretiminde, baraj ile yol yapımında ve geoteknik uygulamalarda kullanılmaktadır. Türkiye’de ve Dünya’da uçucu küllerin inşaat sektöründe kullanıldığı alanlar Çizelge 2.2’de gösterilmiştir [52].

Çizelge 2.2 Uçucu külün inşaat sektöründe kullanıldığı alanlar [52]

Kullanıldığı Malzeme	Kullanım amacı / yeri
Çimento	Hammadde, katkı ve ikame malzemesi olarak
Agrega	İnce agrega, iri agrega ve hafif agrega olarak
Beton	Katkı ve ikame malzemesi olarak
Tuğla, ateş tuğlası	Katkı malzemesi olarak
Kerpiç	Bağlayıcı malzeme olarak
Yapı malzemeleri	Blok, panel, duvar, gaz beton, beton boru, cam, boya, seramik, plastik, harç
Çeşitli yapılar / uygulamalar	Baraj, otoyol, nükleer santral, geoteknik uygulamalar

2.3.3.7 Uçucu Kül Kullanımının Avantajları

Uçucu kül kullanımının en önemli avantajı su ve agresif kimyasalların geçirgenliğini azaltmasıdır. Uçucu kül kullanılmış ve iyi bir şekilde kürlenmiş betondaki boşluklar daha küçük olduğu için daha yoğun bir matrise sahiptir. Bu özellik dayanımda artış sağlarken ve geçirgenliği azaltır.

Bugün uçucu külü daha yararlı hale getirmek için en az iki yöntem kullanılmaktadır. Bu yöntemler kuru süreç içeren triboelektrik statik ayırma ve ıslak süreci içeren köpük flotasyonu yöntemidir. Bu prosedürler uçucu külde karbon içeriğini azaltır. Düşük karbon içerikli uçucu kül daha iyi hava sürüklemeye sağlar ve donma-çözülme dayanıklılığı problemini azaltır. Uçucu kül kullanımı maliyeti ve çimento kullanımını azaltıp betona birçok fayda sağlamaktadır [53].

Uçucu Külün Taze Betona Kattığı Avantajlar

Uçucu kül partikülleri, küre şeklinde ve portland çimentosu ile aynı boyut aralığı içinde olduğu için beton karıştırma ve yerleştirilmesi için gerekli olan su miktarında azalma sağlanabilir. Prekast betonda bu özellik daha iyi işlenebilirlik, daha belirgin ve keskin

köşeler ve daha düzgün yüzey özelliklerine dönüştürülebilir. Bu özellik sayesinde kalıp kullanarak daha karmaşık şekiller ve desenler elde edilebilir. Uçucu kül aynı zamanda prekast betonların erken bozunmasına neden olan geçirgenliğini azaltır. Uçucu külün kullanımı daha iyi işlenebilirlik, pompalanabilirlik, kaplama, nihai mukavemet ve dayanıklılık sağlayabilir. Küçük uçucu kül parçacıklarının yardımı ile sünme ve segregasyon azaltılabilir ve pompalama ile perdelama işlemlerinde kolaylık sağlayabilir [53].

Uçucu Külün Sertleşmiş Betona Kattığı Avantajlar

Betonun mukavemeti birçok faktöre bağlıdır. Bu faktörlerden en önemlisi su/çimento oranıdır. Kaliteli uçucu kül genellikle işlenebilirliği artırır yada en azından daha az su ile aynı akışkanlık sağlayabilir ve su kullanımının azalması ile mukavemet artışı sağlanabilir. Bazı uçucu küller portland çimentosundan daha büyük veya daha az reaktif parçacıklar içerdiğinden, hidrasyon süreci altı ay veya daha fazla süreye kadar devam edebilir ve uçucu kül içermeyen betonun basınç dayanımı geçebilir.

Uçucu külün betonda kullanımı erken zamanda basınç dayanımını azalttığı gözlemlenmiştir. Bazı uçucu kül malzemeleri erken dayanımı düşürdüğü ve priz süresini yavaşlattığı halde günümüzde bu bir sorun değildir. Bazı uçucu küller aslında priz süresini ivmelendirir. Hızlandırıcılar ve plastikleştiriciler kullanılarak bu sorunların üzerinden gelinmesi mümkündür [53].

2.3.3.8 Uçucu Kül ile Yapılan Literatür Çalışmaları

Topçu vd. (2001) yaptıkları çalışmada uçucu kül kullanımının betondaki etkilerini incelemişlerdir. Yaptıkları çalışmada endüstriyel bir atık olan uçucu külün betonda bağlayıcı malzeme olarak kullanılmasının betonun özelliklerine olan etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla Çayırhan Termik Santrali'nden elde edilen uçucu kül, Eskişehir bölgesi agregaları ve PKÇ/B 32.5R çimentosu kullanılarak beton numuneleri üretilmiştir. Numuneler 300, 350, 400 kg/m³ dozajda ve bu dozajların her biri için çimento yerine %20 ve %40 oranında uçucu kül katılarak elde edilmiştir. Üretim sırasında taze betonlarda çökme, VeBe, yayılma ve birim ağırlık deneyleri yapılmış ve sonuçları değerlendirilmiştir. Laboratuvar ortamında bekletilen numuneler 7, 28 ve 60. günün sonunda yapılan deneylerle uçucu külün beton üzerindeki fiziksel ve mekanik etkileri incelenmiştir. Sonuç olarak işlenebilirlik açısından yapılan incelemelerde dozaj

azaldıkça uçucu kül katılan betonlarda uçucu kül katkısız kontrol betonlarına göre VeBe süresinin azaldığı görülmüştür. Uçucu kül kullanımının beton basınç dayanımını azalttığı ve uçucu kül miktarının artırılması durumunda dayanımın daha da geç kazanıldığı anlaşılmıştır. 2000 yılı birim fiyatları ile yapılan maliyet analizinde çimento yerine %20 uçucu kül kullanılması ile beton birim maliyetinde ortalama %10'luk, %40 uçucu kül kullanılması ile de %18'lik bir ekonomik kazanç elde edildiğinin belirtmişlerdir. Ayrıca endüstriyel bir atık olması uçucu kül betonda kullanılması ile bu atığın depolanması maliyetini de düşüreceğini önemle vurgulamışlardır [54].

Aruntaş (2006) yaptığı çalışmada uçucu küllerin inşaat sektöründe kullanımını incelemiştir. Yapılan çalışmada, termik santrallerden elde edilen uçucu küllerin inşaat sektöründe kullanım potansiyeli incelenmiştir. 1970'li yıllarda bütün Dünya'da yaşanan petrol krizinden sonra alternatif enerji kaynakları bulmaya, enerji kullanımını azaltmaya ve daha ekonomik malzemeler üretmeye yönelik çalışmalar yapıldığını ve inşaat sektöründe de atık malzemelerin kullanılması ile ilgili araştırmalar halen devam ettiğini belirtmiştir. Termik santral atığı olan uçucu küller, çok önemli çevre kirliliğine neden olduğunu vurgulamıştır. Bu sebeple uçucu külün çeşitli alanlarda kullanılması ve değerlendirilmesi çok önemli olduğunu belirtmiştir. Uçucu külün özellikleri, bu malzemenin puzolanik bir malzeme olduğunu ve inşaat sektöründe yaygın olarak kullanılabileceğini belirtmiştir. Yaptığı çalışmadan elde edilen sonuçlar, uçucu küllerin inşaat sektöründe çok büyük kullanım potansiyelinin bulunduğunu göstermektedir. Uçucu küllerin kullanımının özellikle çimento, beton ve yapı malzemelerinin üretiminde daha yaygın olduğu görülmektedir. Bununla birlikte uçucu külün zararlı ortamlara dayanıklılık, ekonomi ve çevreye etkisini inceleyen uzun süreli daha çok araştırmaya ihtiyaç duyulmaktadır. Türkiye'de ve Dünya'da bu atığın değerlendirilmesi durumunda, enerji tasarrufu sağlanması, daha ucuz ve kaliteli malzeme üretilmesi, atık malzemenin geri dönüştürülmesiyle ülke ekonomisine katkı sağlanmasının yanı sıra hem doğal hammadde ile ekolojik dengenin korunması hem de çevre kirliliğinin önlenmesi mümkün görünmektedir [55].

Subaşı vd. yaptıkları çalışmada uçucu kül katkı miktarının beton işlenebilirliği ve sertleşme sürelerine olan etkisini incelemişlerdir. Yaptıkları çalışmanın amacı, hazır beton sektöründe yaygın olarak kullanılan uçucu kül katkı miktarının beton işlenebilirliğine ve sertleşme sürelerine olan etkisini belirlemektir. Bu amaçla karışım içerisinde %5, %10, %20 ve %30 oranlarında uçucu kül ikamesi yapılan beton

karışımları hazırlamışlardır. Beton işlenebilirliği slump ve VeBe deneyleri ile belirlenmiştir. Hazırlanan her bir karışım için penetrasyon direnci yöntemiyle beton ve priz süresi tayini deneyi ile betonun 0,5 MPa, 1 MPa ve 3 MPa'lık direnç gösterdiği süreler hesaplanmıştır. Ayrıca hazırlanan karışımlardan elde edilen betonların 28 günlük basınç dayanımları belirlenmiştir. Beton üretiminde, beton bileşen miktarları, dozaj ve çökme değeri sabit seçilmiştir. Sonuç olarak çalışmada kullanılan uçucu kül ikame miktarına bağlı olarak beton işlenebilirliğinin önemli ölçüde değiştiği, basınç dayanım değerlerinin uçucu kül ikame miktarı artışına bağlı olarak azaldığı görülmüştür. Ayrıca karışımlarda kullanılan uçucu kül ikame miktarına bağlı olarak beton sertleşme sürelerinde değiştiği tespit edilmiştir [56].

Koçak vd. (2011) yaptıkları çalışmada uçucu külün betonun fiziksel ve mekanik özelliklerine etkisini incelemişlerdir. Yaptıkları araştırmada, çimento ve beton sektöründe yaygın olarak kullanılan uçucu külün, betonun bazı fiziksel ve mekanik özelliklerine etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla, ağırlıkça %0, %10, %20 ve %30 oranlarında uçucu kül, CEM I 42,5 R Portland çimentosu ile ikame edilerek betonlar üretilmiştir. Her bir deney için 3'er adet 15 x 15 x 15 cm boyutlarında beton küp numuneler hazırlanmıştır. Beton numunelerine birim ağırlık, su emme, ultrases hızı ölçümü, kapilerite ve basınç dayanımı deneyleri yapılmıştır. Deneylerden elde edilen veriler üzerinde istatistiksel analizler gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak, uçucu kül ikamesi ile elde edilen betonların su emme ve kapiler su emme miktarlarında artma görülürken, birim ağırlık, ultrases geçiş hızları ve basınç dayanımlarında azalma olduğu tespit edilmiştir [57].

2.4 Fibercement Levha Üretiminde Kullanılan Lifler

İnşaat Mühendisliği alanında sağladığı avantajlar bakımından lifli betonların önemi hızla artmaktadır. Lifli beton; çimento, agrega ve çoğunlukla süreksiz dağılılı liflerin su ile karıştırılmasıyla meydana gelen beton olarak tanımlanmaktadır. Beton içerisinde yaygın olarak kullanılan lifler; çelik, polipropilen, karbon ve alkali dirençli cam liflerdir. Lifli betonlarda, bütün lif çeşitlerinde sağlanması gereken en önemli özellik liflerin beton içerisinde homojen olarak dağılması ve bu dağılımın beton karıştırıldıktan sonra da bozulmamasıdır. Üniform bir şekilde dağılılı liflerin beton içerisinde oluşan çatlakları önlemekte ve çatlakların beton içerisinde ilerlemesini yavaşlatarak betonu daha dayanıklı hale getirdiği bilinmektedir. Bu nedenle betonarme kazık, yol ve hava

alanları, su boruları, genel olarak büyük fabrika inşaatlarının döşeme betonlarında ve prefabrike yapı elemanları üretiminde lifli betonların tercih edilmeleri halinde daha iyi sonuçlar alınacağı bilinmektedir [58].

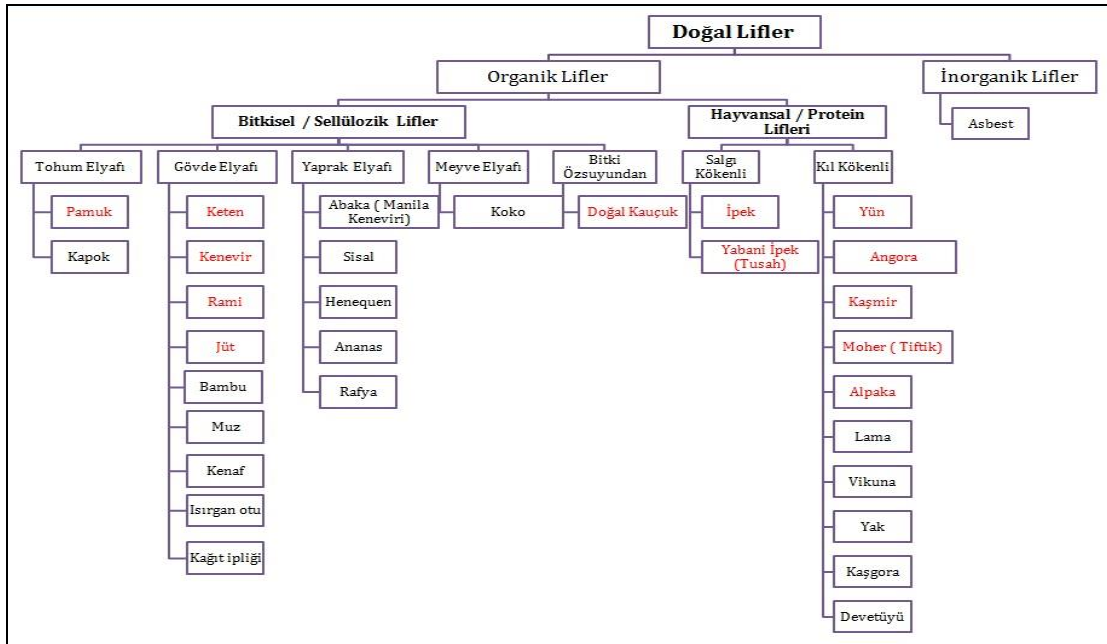
2.4.1 Liflerin Sınıflandırılması

Genel olarak lifler şu sınıflara ayrılırlar:

- Doğal Lifler
- İnsan Yapımı Lifler

2.4.1.1 Doğal Lifler

Doğal lifler: Doğal kaynaklardan elde edilen, lif oluşturma ve yeniden yapılandırma işlemlerine ihtiyaç duymayan tüm lifler, doğal lifler olarak sınıflandırılır [59]. Şekil 2.14’te doğal liflerin kategorileri gösterilmiştir.

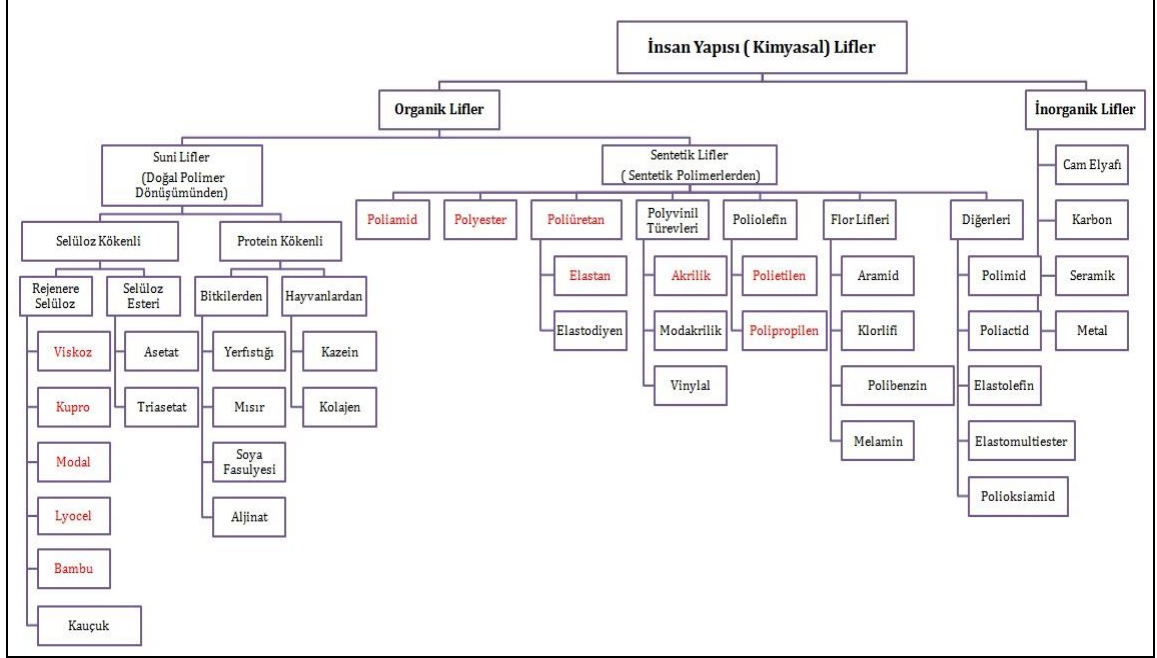


Şekil 2.14 Doğal lifler [59]

Doğal lifler doğadan elde edilişleri açısından, birçok üründe kullanıldığında ise sürdürülebilirlik için önemli bir yer tuttuğundan ve malzeme olarak geri dönüşümü ile tekrar kullanılabilirliği açısından incelendiğinde birçok sektör için önemli bir alana sahiptir. İnşaat sektöründe kullanılan doğal lifler içerisinde en önemli olan lif türü bitkisel lif sınıfında olan selülozik liflerdir.

2.4.1.2 İnsan Yapımı Lifler

İnsan yapımı lifler laboratuvar ve fabrikalarda, kimyasal yollarla elde edilir. İnsan yapımı lif kesintisiz olarak elde edildikten sonra istenen uzunlukta kesilerek kesik lif elde edilebilir [59].



Şekil 2.15 İnsan yapımı (suni) lifler [59]

Suni lifler teknolojinin ilerlemesi ile üretilmiş, doğal liflerin kullanıldığı alanlardaki özelliklerini geliştirmek amacıyla güçlendirilmiş liflerdir. İnsan yapımı liflerden inşaat sektöründe en çok kullanılanları sentetik lif sınıfının altında bulunan polipropilen lifler ve doğal polimer dönüşümünden elde edilen lif olan rejenere selüloz liflerdir.

2.4.2 Selüloz Lif

Selüloz lif orijini odun yada bitkiden gelen, büyüklük, şekil, saflık ve lif dayanımı açısından değişiklik gösteren doğal liflerdir. Doğal liflerin en çok tercih edilenlerinden biri olan selüloz esaslı lifler glukozdan oluşan bir polimerdir.

İşlenmemiş bir şekilde kullanılan selüloz esaslı liflerin ilk kullanılmaya başlandığı zaman 2000 yıl öncesine dayanmaktadır. Liflerin malzemede sağladığı çatlak kontrolü ve takviye özellikleri sayesinde birçok modern toplumlar tarafından dikkate alınmıştır. Modern çağda, rafine ve işlenmiş selüloz lifler birçok mühendislik alanında yapı malzemesi ve beton uygulamalarında tercih edilmiştir.

Molekül seviyesinde incelendiği zaman polimerizasyon derecesi ve kristal yapıları incelendiği zaman bütün selüloz liflerin aynı yapıya sahip olmadığını ve farklı özelliklere sahip olduğunu bilinmektedir. Bu farkları ve kullanım alanlarını göz önünde bulundurarak, kullanılan beton ve kullanım alanı için en yüksek polimerizasyon derecesine sahip olan ve en kuvvetli fiberi seçmek büyük önem taşımaktadır [60].

2.4.2.1 Selüloz Lifin Genel karakteristikleri

Selüloz liflerin ortalama uzunluğu 2mm, çapların 16µm'dur. 1m³'de 1.4 milyar selüloz parçacığı bulunur ve toplam ağırlığı ağırlığı 0.9kg'dır. Paketleme konusunda 450 gramdan 180kg'lık paketlere kadar değişkenlik gösterebilir ve tedarik edilmesi kolay bir üründür. Genel olarak metreküp başına 0.9 kg selüloz lif kullanılır. Bu oran genel olarak bilinden en etkili selüloz lif kullanma oranıdır, fakat daha fazla dozajda kullanımı betonun özelliklerini koşullara göre artırabilir. Boyutları çimento parçacıklarından daha küçüktür, bu sayede betonun mekanik özelliğini etkili bir şekilde iyileştirebilirler. Selüloz lifli beton hazırlarken, kullanılan su normal betona göre çok farklılık göstermez. Bu nedenle kullanılan veya istenilen çimento mekanik özellikleri korunmuş olur [60].

2.4.2.2 Selüloz Lif Özellikleri

- Ortalama lif uzunluğu : 2.1mm
- Çap : 0.016mm
- Maksimum nem tutumu : Lif ağırlığının %85'i kadar
- Lif sayımı : 0.9kg / m³ 1.44 milyar
- Yoğunluk : (Su = 1.0) 1.10
- Yüzey Alanı (cm²/g) : 25,000
- Lif çekme dayanımı : 620 - 900 MPa
- Betonda lif aralığı : (0.9 kg/m³) 480µm ort.
- Plastik çatlak direnci : (0.9 kg/m³) betondan 85.1% daha az.
- Basınç Dayanımı Artışı : (0.9 kg/m³, 28günde) 7 - 16%
- Eğilme Dayanımı Artışı : (0.45kg/m³, 28günde) 8% [60]

2.4.2.3 Selüloz Lif Kullanımı

Selüloz lif beton karışımında kullanıldığında malzemeye homojen olarak dağılır ve gözle görünmesi çok zor bir hale gelir. Bu sayede elde edilen karışım homojen bir görünüme sahip olur. Selüloz liflerin en önemli özelliklerinden biri yukarıda belirtildiği gibi boyutunun küçük olması ve genel olarak diğer liflerden küçük olduğu için ayırt edilmesi zordur. Selüloz lif betonun yüzey işlemlerinde uygulansa bile görünmez özelliğine sahiptir ve bu sayede lif katkılı çimento dış cephelerde dekoratif amaçlı kullanılabilir. Selüloz lifler betonun içinde çimento ile entegre bir biçimde bulunur ve betondan ayrılmaz, bu sayede betonun özellikleri aynen korunmuş olur [60].

2.4.2.4 Selüloz Lif Kullanım Alanları

Selüloz liflerin en önemli avantajı neredeyse bütün beton uygulamalarında kullanılabilir olmasıdır. Selüloz lif içeren betonların genel olarak kullanım alanları aşağıda verilmiştir [60].

- Konut zemin döşemelerinde,
- Yollar ve patikalarda,
- Hazır beton, ön yada ard gerimli betonlarda,
- Cilalı dekoratif betonlarda,
- Yüzme havuzları çevresinde,
- Kanallarda,
- Yüksek binalarda giriş ve kolonlarda,
- Donatılı ve donatısız betonda,
- Yangına dayanıklı ürünlerde,
- Geçirgen betonlarda kullanılabilirler.

2.4.2.5 Selüloz Lif ile Yapılan Literatür Çalışmaları

Bulut vd. (2011) yaptıkları çalışmada selüloz esaslı doğal liflerin kompozit malzeme üretiminde takviye meteryali olarak kullanımını incelemişlerdir. Doğal lif takviyeli kompozit meteryallerde takviye meteryali olarak kullanılan selüloz esaslı liflerin mekanik ve fiziksel özelliklerini, matris polimerleri ve iç yapıları ayrıntılı olarak incelemişlerdir. Yaptıkları çalışmada sonuç olarak polimere hem mukavemet ve dayanıklılık kazandıran hem de biyouyumluluk özelliği ile ön plana çıkan doğal liflerin

takviye edilmesi ile geliştirilen kompozit malzemeler çok farklı alanlarda üstün özellikleriyle alternatif ürün olarak kullanım olanağı sağladığını belirtmişlerdir [61].

Bentchikou vd. (2012) yapmış oldukları çalışmada selüloz liflerin hafif çimento kompozitlerindeki etkisini incelemişlerdir. Yapılan çalışmada atık gazete ve karton kutulardan geri dönüştürülerek elde edilen selüloz lifler kütlece %0'dan %16 oranına kadar çimentoya katılmıştır. Numuneler 28 gün kür edildikten sonra basınç ve çekme dayanımları, yoğunluk ve ısı geçirgenliği testleri yapılmıştır. Ayrıca bu numuneler taramalı elektron mikroskopunda incelemişlerdir. Sonuç olarak selüloz fiber içeriğinin artmasıyla birlikte numunelerin basınç dayanımında düşüş yaşandığı, ısı geçirgenliği açısından daha az geçirgen olarak avantaj sağladığı bulunmuştur. Taramalı elektron mikroskopundan çıkarılan sonuç, farklı oranlarda katılan selüloz liflerin yeterli derecede su/çimento oranı kullanımı ile matrisi daha homojen bir hale getirdiği gözlemlenmiştir. Yaptıkları çalışmalar sonucunda da çıkardıkları sonuç ise bu maddenin yük olmayan taşıyıcı duvar, bölmeler, tavan ve çatıda kullanımı tavsiye etmişlerdir [62].

Bentchikou vd. yapmış oldukları çalışmada selüloz lif kullanımının betonun termal ve mekanik özellikleri üzerinde etkisini incelemişlerdir. Yapılan çalışmada geri dönüşümlü selüloz liflerin çimentoya katılarak betonun mekanik ve termal özelliklerinin üzerindeki etkisini incelenmiştir. Yapılan çalışmada betonun ısı geçirgenliği, çekme ve basınç dayanımları, lif içeriği ve lif boyutu açısından incelenmiştir. Sonuçlar ısı geçirgenliğinin lif oranı arttıkça azaldığı ve oran 10%'a ulaştığında bu değer belli bir değerde olduğu görülmüştür. Lif oranı 16%'ya kadar kullanımı basınç dayanımı açısından yük taşımayan beton duvar için standartları aşmaktadır. Bu yüzden selüloz lif katkılı çimento sadece belirli duvarlarda, tavanlarda ve konut çatılarında kullanılması tavsiye edilmiştir. Son olarak ise bu örnekler taramalı elektron mikroskopunda incelendiğinde su/çimento oranının belli bir yüzedeye kadar arttırılması lif dağılımını arttırdığı ve mekanik özelliği iyileştirdiği gözlemlenmiştir [63].

Mello vd. (2014) yapmış oldukları çalışmada lif ilavesi ile betonun özelliklerinin iyileştirilmesini incelemişlerdir. Yapılan çalışmada betonun özelliklerini artırabilmek amacıyla selüloz lif, çelik lif, karbon lif ve polyethylene terephthalate (PET) lif kullanılmıştır. Her fiber tipi %4 oranında çimentoya katılmış ve 28 gün kür edildikten sonra basınç eğilme ve çekme dayanımları incelenmiştir. Sonuç olarak basınç

- 1) Ekstrüzyon: $L / D = 30$, sıkıştırma oranı = 1 : 3.5
- 2) Döndürücü: Döndürme elemanı filtrelerden, dağıtıcıdan (erimiş polimeri yüzeye dağıtır) ve kalıp olmak üzere üç parçadan oluşur.
- 3) Söndürücü: Yeni ekstrüde edilmiş filamentler burada zarar vermeden soğutulur.
- 4) Gerici ve gevşetici: Lifleri germe ve gevşetme görevini üstlenir.
- 5) Sıcak Germe Elemanı: Fiziko-mekanik özelliklerinin geliştirmek amacıyla kullanılır.
- 6) Gerici ve gevşetici: Lifleri germe ve gevşetme görevini üstlenir.
- 7) Termoset: Sıcak hava ve buhar uygulayarak liflerdeki gerilimi azaltır.
- 8) Gerici ve gevşetici: Lifleri germe ve gevşetme görevini üstlenir.
- 9) Sıkma: Malzeme hacmini artırmak için uygulanır.
- 10) Kesme: Lifler istenilen ürün boyutuna göre kesilir.

2.4.3.2 Polipropilen Lifin Kullanımının Avantajları

- Polipropilen (PP) lif yağunluğu (0,91 g/cm) olan ve sentetik liflerin en düşük yağunluğuna sahip liftir.
- Nemi absorbe etmez. Bu özellik lifin ıslak ve kuru özelliklerinin aynı olduğu anlamına gelir.
- Mükemmel kimyasal dirence sahiptir. Polipropilen lif asitlere ve alkalilere karşı çok dayanıklıdır.
- Polipropilen lifin termal iletkenliği diğer liflerden daha düşüktür.
- Betonun darbe yüklerine karşı dayanımı artırır.
- Yangın hasarına karşı betonun direncini artırır.
- Betonun su geçirimsizliğini artırır.
- Betonun donma-erimeye karşı direncini artırır.
- Betonun köşe ve kenarlarındaki kırılmalara karşı direncini artırır.
- Kalıp sökümü sırasında oluşan kırılımları azaltır.
- Aşınma dayanımı artırır.
- Plastik büzülme çatlaklarını azaltır.

2.4.3.3 Polipropilen Liflerin Fibercement Levha Üzerindeki Rolü

Polipropilen lif ilk olarak 1965 yılında patlamaya dayanıklı yapılarda kullanılacak malzemelere katılması hakkında US Corps of Engineers tarafından önerilmiştir. Bu tarihten sonra polipropilen lif ile ilgili çalışmalar dahada ileriye taşınmıştır. Günümüzde polipropilen lif birçok alanda kullanıldığı gibi inşaat mühendisliğinde de çimento katkısı olarak çok önemli bir malzeme konumundadır. Özellikle ince levhalarda malzemeye kattığı özellikler sayesinde birçok alanda tercih edilmesine olanak sağlar. Polipropilen lifin betona kattığı en önemli özellikler arasında dayanıklılık, eğilme dayanımı, çekme dayanımı ve darbe mukavemetini artırma gibi özellikler bulunmaktadır. Polipropilen lif bol miktarda üretilebilinmesi, fiyatının uygun olması ve kalitesinin standart olması ile büyük avantajlar sağlar. Polipropilen lif katkılı beton üzerinde birçok araştırma yapılmış ve çok değerli sonuçlar elde edilmiştir.

2.4.3.4 Polipropilen Lif ile Yapılan Literatür Çalışmaları

Ahmed vd. (2006) yapmış oldukları çalışmada polipropilen lifin lif takviyeli beton üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Yaptıkları çalışma öncesinde Portland çimentosundan yapılan betonun bazı karakteristik özelliklere sahip olduğunu: basınç dayanımının çekme dayanımına göre yüksek olması ve kırılgan olma eğiliminde olduğunu belirtmişlerdir. Çekme dayanımının az olması ve kırılgan olma eğiliminde olması meteryali kullanım açısından sınırlandırdığını ve betonun bir başka temel zayıflığı ise yerleştirildiği andan sonra donma evresine kadar çatlaklar oluşabileceğini belirtmişlerdir. Bu çatlaklar betonun dayanımının düşük olmasının başlıca nedenleri olabileceği gibi büyük uygulamalarda ciddi sorunlar ortaya koyabileceğini belirtmişlerdir. Çekme dayanımındaki bu zayıflığın lif kullanılarak giderilebileceği amaçlamışlardır. Yapmış oldukları çalışmada değişik oranlarda polipropilen lif kullanımının beton üzerindeki etkisi incelenmiştir. Deney programında basınç dayanımı, çekme dayanımı, eğilme dayanımı, kesme mukavemeti ve plastic rötre çatlakları incelenmiştir. Sonuçlarda 28. günde ölçülen basınç dayanımında polipropilen lifin düşük miktarda kullanımının basınç dayanımında gözle görünür bir artma sağlamazken, lifin yüksek miktarda kullanımı basınç dayanımını 3% - 5% oranında azaltmıştır. Çekme dayanımında polipropilen lifin 0.40% oranına kadar kullanımı 65% - 70% oranında artış sağlarken bu orandan sonra düşüş göstermiştir. Eğilme dayanımında lifin 0.20%'ye kadar kullanımı 80% oranında artış sağlarken bu

orandan daha fazla fiber kullanımı dayanımı azaltmıştır. Kesme mukavemetinde çatlaklar oluşuktan sonra betonun taşıyabildiği yük kapasitesi önemli bir şekilde artmıştır. Rötire çatlakları lifin 0.35% ile 0.50% arasında kullanımı bu çatlakları 83% ile 85% oranında azaltmıştır [66].

Patel vd. yapmış oldukları çalışmada değişik oranlarda polipropilen lif kullanarak bu oranların yüksek dayanımlı beton üzerindeki etkileri incelenmişlerdir. Araştırmanın amacı yüksek dayanımlı betonda basınç dayanımı, çekme dayanımı, eğilme dayanımı, kayma direnci ve plastic rötire çatlaklarını gözlemlemek olmuştur. Yapılan çalışmada ilk olarak bölgede bulunabilen malzemelerden oluşan yüksek dayanımlı beton (M40) oluştururken 0.5%, 1.0% ve 1.5% oranında lif kullanarak optimum değer sağlanmaya çalışılmıştır. Beton numuneler belirli günlerde küp basınç dayanımı, ayrık çekme dayanımı, eğilme dayanımı ve diğer testlerle mekanik özelliklerin gözlemlenebilmesi için testlere tabi tutulmuştur. Sonuç olarak eğilme, çekme ve kayma dayanımlarında gözle görülür şekilde artış olmuştur. [67]

BÖLÜM 3

KULLANILAN MALZEMELER ve DENEYSEL ÇALIŞMALAR

3.1 Fibercement Levhaların Karışım Dizaynında Kullanılan Malzemeler

Fibercement levha karışımlarının ve özelliklerinin iyileştirilmesi için hazırlanan karışımlarda kuvars kumu, diatomit, selüloz lif, polipropilen lif, granüle yüksek fırın cürufu ve uçucu kül malzemeleri kullanılmıştır.

3.1.1 Kuvars Kumu

İnert malzemelerin fibercement levhaların durabilite ve mekanik özelliklerine etkisini incelemek için yapılan çalışmalarda kullanılan kuvars kumunun kimyasal içeriği Çizelge 3.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.1 Kullanılan kuvars kumunun kimyasal içeriği [68]

	% SiO ₂	% Al ₂ O ₃	% Fe ₂ O ₃
Kuvars kumu- İnşaat	89,50 - 90,56	1<	0,70

Doğal puzolandaki SiO₂, Fe₂O₃ ve Al₂O₃ bileşenlerinin toplam değerlerinin yüksekliği puzolanik aktiviteyi artıran önemli bir etken olduğunu bilinmektedir. Çizelge 3.1’de de görüldüğü gibi kullanılan kuvars kumu örneğinin SiO₂ içeriği 89,50 - 90,56 gibi yüksek orandadır. Ancak kristal mikro yapısı dolayısı ile puzolanik özellik göstermemektedir.

3.1.2 Diatomit

Yapılan deneylerde kullanılan diatomitin fiziksel ve kimyasal özellikleri Çizelge 3.2’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.2 Kullanılan diatomitin fiziksel ve kimyasal özellikleri [69]

Fiziksel		Kimyasal	
Renk	Sarımtırak	SiO ₂	92.80%
Hacim yoğunluğu	225 g/l	Al ₂ O ₃	4.20%
Nem	1 - 5%	Fe ₂ O ₃	1.50%
Kızdırma kaybı	0.4	CaO	0.60%
PH değeri	6.5	MgO	0.30%
Islak hacim yoğunluğu	390 gl	Diğer oksitler	0.50%
Akış oranı	0.07	S	0.01%

Kullanılan diatomitin SiO₂, Al₂O₃ ve Fe₂O₃ kimyasal bileşenlerin toplam oranı %90’dan fazla olduğu, ayrıca amorf yapıya sahip olduğu için doğal puzolanik özelliği taşımaktadır.



Şekil 3.1 Diatomit

3.1.3 Çimento

Yapılan deneysel çalışmardada TS EN 197-1 [70] standardına uygun CEM I çimentosu kullanılmıştır. CEM I çimentonun kullanılmasındaki amaç CEM I çimentosu kimyasal katkı maddeleri içermemesidir.

3.1.4 Lifler

3.1.4.1 Selüloz Lif

Selüloz liflerin genel özellikler Bölüm 2’de gösterilmiştir. Deneysel çalışmalarda kullanılan selüloz liflerin özelliği Çizelge 3.3’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.3 Kullanılan selüloz lifin fiziksel özellikleri [71]

Selüloz Lif	Jelucel 300H
Yüzey Alanı (cm ² /g)	25.000
Yoğunluk (g/cm ³)	1.10
Çap (mm)	0,016
Uzunluk (mm)	0,21



Şekil 3.2 Selüloz lif

3.1.4.2 Polipropilen Lif

Deneysel çalışmalarda kullanılan polipropilen lifin özellikleri Çizelge 3.4’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.4 Kullanılan polipropilen lifin fiziksel özellikleri [72]

Lif uzunluğu	24 mm + / - 1 mm
Çekme mukavemeti	380 - 650 MPa
Yoğunluk	0.91 g / cm ³
Uzama miktarı	20 - 25 %
Elastik modülü	> 3400 MPa



Şekil 3.3 Polipropilen lif

3.1.5 Mineral Katkılar

3.1.5.1 Granüle Yüksek Fırın Cürufu

Deneysel çalışmalarda kullanılan granüle yüksek fırın cürufunun özellikleri Çizelge 3.5’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.5 Kullanılan granüle yüksek fırın cürufunun kimyasal bileşimi [73]

Kimyasal Bileşim	Ortalama (%)	Aralık (%)	Tane İriliği Dağılımı	Aralık (%)
CaO	32.70	26-38	+ 6.35 mm	1 max.
MgO	7.3	5-10	- 6.35, + 3.15 mm	2 max.
SiO ₂	41.2	38-45	- 3.15, + 1.60 mm	16 - 19
Al ₂ O ₃	14.3	13-19	- 1.60, + 1.00 mm	33 - 37
S	0.8	1,5 max.	- 1.00, + 0.40 mm	35 - 40
MnO	0.8	2,5 max.	- 0.40, + 0.15 mm	3 - 6
FeO	0.8	1,0 max.	- 0.15 mm	6 max.
K ₂ O	0.9	2,0 max.	Rutubet	7-20
TiO ₂	1.1	1,5 max.	Yığın Yoğunluğu (t/m ³)	1-1,3



Şekil 3.4 Granüle yüksek fırın cürufu

3.1.5.2 Uçucu Kül

Deneysel çalışmalarda kullanılan uçucu külün özellikleri Çizelge 3.6’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.6 Kullanılan uçucu külün kimyasal ve fiziksel özellikleri [74]

	Tunçbilek Uçucu Külü
$\text{SiO}_2+\text{Al}_2\text{O}_3+\text{Fe}_2\text{O}_3$	% 84,5
MgO	% 2,7
Rutubet	% 0,27
SO_3	% 0,48
Kızdırma Kaybı	0,84
Cl-(klorür)	% 0,008
Serbest CaO	% 0,24
Puzolanik Aktivite	89,4
Aktivite Endeksi (28 günlük)	87,5
İncelik(45m μ)	% 2-4
Yoğunluk(g/cm ³)	2,0-2,4



Şekil 3.5 Uçucu kül

3.1.6 İnert Malzeme İçeren Fibercement Levhaların Karışım Dizaynı

Karışım dizaynlarında genel olarak kullanılacak malzemelerin ilk olarak yoğunlukları ölçülmüştür. Daha sonra levhaların karışımlarında kullanılan ve önerilen hacim oranları ile yoğunluk değerleri çarpılarak gerekli kütle miktarları hesaplanmıştır. En son aşamada ise kütle miktarları karışımlardan 6 küp ve 3 kiriş numune elde edilebilmesi için 700 ile çarpılarak gereken miktarda malzemenin hazırlanması sağlanmıştır.

Karışımlarda %100 kuvars kumundan başlanılarak her adımda diatomitin %10 oranında ikame edilmesiyle %100 diatomit içeren levhalara kadar karışım dizaynı yapılmıştır. Diatomit malzemesi, küçük tane boyutundan dolayı kuvars kumu içeren levhalara kıyasla aynı kıvam değerine ulaşabilmesi için daha çok su ihtiyacı duymaktadır. Bu amaçla %100 kuvars kumu içeren karışımlardan başlanılarak %100 diatomit içeren karışımlara kadar izlenilen 11 adım için ayrı ayrı su miktarları tayin edilmiş ve bu değerler daha sonra dökümler esnasında kayıt edilerek ve karşılaştırma yapılarak incelenmiştir. Çizelge 3.7’de oluşturulan karışımlardaki malzeme miktarları gösterilmiştir.

Çizelge 3.7 Kuvars Kumu ve diatomit içeren karışımlardaki malzeme miktarları (g)

	Diatomit	Kuvars Kumu	Su	Çimento	Selüloz Lif	Toplam
%100 Kuvars Kumu	-	1352,4	924	924	175	3370,15
%90K-%10D	43,61	1217,16	927,5	924	175	3287,27
%80K-%20D	87,22	1081,92	936,25	924	175	3204,39
%70K-%30D	130,83	946,68	945	924	175	3121,51
%60K-%40D	174,44	811,44	953,75	924	175	3038,63
%50K-%50D	218,05	676,2	962,5	924	175	2955,75
%40K-%60D	261,66	540,96	971,25	924	175	2872,87
%30K-%70D	305,27	405,72	980	924	175	2789,99
%20K-%80D	348,88	270,48	988,75	924	175	2070,11
%10K-%90D	392,49	135,24	997,5	924	175	2624,23
%100 Diatomit	436,1	-	1006,25	924	175	2541,35

Çizelge 3.7’de görüldüğü gibi diatomit ikame oranının artışıyla birlikte karışımların kütlelerinde azalma görülmüştür.

3.1.7 Mineral Katkı İçeren Fibercement Levhaların Karışım Dizaynı

Granüle yüksek fırın cürufu ve uçucu kül ile yapılan karışım dizaynlarında çeşitli hacim oranlarında fırın cürufu ve uçucu kül çimentoya mineral katkı malzemesi olarak kullanılmıştır. Uçucu kül ve fırın cürufu ayrı ayrı %10, %20, %30 ve %40 ikame oranlarında %100 diatomit içeren karışımlarda kullanılmıştır. Oluşturulan karışımlarda aynı kıvam değerini yakalamak amacıyla %10, %20, %30 ve %40 ikame oranında fırın cürufu içeren harçlar için gereken su miktarları her karışımda ayrı ayrı hesaplanmış ve kayıt edilmiştir. Hedeflenen kıvama ulaşmak için kullanılan fırın cürufu ikame oranı arttıkça karışıma eklenen su miktarlarında arttırılmıştır. Aynı prosedür uçucu kül ile tekrarlanmıştır. Karışımların kıvamlarını sabitlemek amacı ile %10, %20, %30 ve %40 ikame oranında uçucu kül içeren harçlar için gereken su miktarları her karışımda ayrı ayrı hesaplanmıştır. Çizelge 3.8, 3.9 ve 3.10’da uçucu kül içeren karışımlardaki malzeme miktarları, Çizelge 3.11, 3.12 ve 3.13’de ise granüle yüksek fırın cürufu içeren karışımlardaki malzeme miktarları gösterilmiştir.

Çizelge 3.8 %100 Kuvars kumu ve uçucu kül içeren karışımlardaki malzeme miktarları (g)

	Kuvars Kumu	Su	Çimento	Uçucu Kül	Selüloz Lif	Toplam
%100 Kuvars Kumu - %10 UK	1352,4	933,33	831,6	115,92	175	3408,25
%100 Kuvars Kumu - %20 UK	1352,4	947,92	739,2	231,84	175	3446,36
%100 Kuvars Kumu - %30 UK	1352,4	962,5	646,8	347,76	175	3484,46
%100 Kuvars Kumu - %40 UK	1352,4	977,08	554,4	463,68	175	3522,56

Çizelge 3.9 %50 Kuvars kumu - %50 diatomit ve uçucu kül içeren karışımlardaki malzeme miktarları (g)

	Kuvars Kumu	Diatomit	Su	Çimento	Uçucu Kül	Selüloz Lif	Toplam
%50K-%50D - %10 UK	676,2	218,05	977,08	831,6	115,92	175	2993,85
%50K-%50D - %20 UK	676,2	218,05	991,66	739,2	231,84	175	3031,96
%50K-%50D - %30 UK	676,2	218,05	1006,25	646,8	347,76	175	3070,06
%50K-%50D - %40 UK	676,2	218,05	1020,83	554,4	463,68	175	3108,62

Çizelge 3.10 %100 Diatomit ve uçucu kül içeren karışımlardaki malzeme miktarları (g)

	Diatomit	Su	Çimento	Uçucu Kül	Selüloz Lif	Toplam
%100 Diatomit - %10 UK	436,1	1006,25	831,6	115,92	175	2564,87
%100 Diatomit - %20 UK	436,1	1020,83	739,2	231,84	175	2602,97
%100 Diatomit - %30 UK	436,1	1035,41	646,8	347,76	175	2641,07
%100 Diatomit - %40 UK	436,1	1050	554,4	463,68	175	2679,18

Çizelge 3.11 %100 Kuvars kumu ve granüle yüksek fırın cürufu içeren karışımlardaki malzeme miktarları (g)

	Kuvars Kumu	Su	Çimento	Granüle Yüksek Fırın Cürufu	Selüloz Lif	Toplam
%100 Kuvars Kumu - %10 GYFC	1352,4	933,33	831,6	87,36	175	3379,69
%100 Kuvars Kumu - %20 GYFC	1352,4	947,92	739,2	174,72	175	3389,23
%100 Kuvars Kumu - %30 GYFC	1352,4	962,5	646,8	262,08	175	3398,78
%100 Kuvars Kumu - %40 GYFC	1352,4	977,08	554,4	349,44	175	3408,32

Çizelge 3.12 %50 Kuvars kumu - %50 diatomit ve granüle yüksek fırın cürufu içeren karışımlardaki malzeme miktarları (g)

	Kuvars Kumu	Diatomit	Su	Çimento	Granüle Yüksek Fırın Cürufu	Selüloz Lif	Toplam
%50K-%50D - %10 GYFC	676,2	218,05	977,08	831,6	87,36	175	2965,3
%50K-%50D - %20 GYFC	676,2	218,05	991,66	739,2	174,72	175	2974,84
%50K-%50D - %30 GYFC	676,2	218,05	1006,25	646,8	262,08	175	2984,38
%50K-%50D - %40 GYFC	676,2	218,05	1020,83	554,4	349,44	175	2993,92

Çizelge 3.13 %100 Diatomit ve granüle yüksek fırın cürufu içeren karışımlardaki malzeme miktarları (g)

	Diatomit	Su	Çimento	Granüle Yüksek Fırın Cürufu	Selüloz Lif	Toplam
%100 Diatomit - %10 GYFC	436,1	1006,25	831,6	87,36	175	2536,31
%100 Diatomit - %20 GYFC	436,1	1020,83	739,2	174,72	175	2545,85
%100 Diatomit - %30 GYFC	436,1	1035,41	646,8	262,08	175	2555,4
%100 Diatomit - %40 GYFC	436,1	1050	554,4	349,44	175	2564,94

3.1.8 Lif İçeren Fibercement Levhaların Karışım Dizaynı

Selüloz lif miktarının levhalar üzerindeki etkisini inceleyebilmek için 166.25 g (0,95 hacim oranı), 175 g (1 hacim oranı) ve 183.75 g (1.05 hacim oranı) selüloz lif kullanılmıştır. Polipropilen lif içinse karışımlarda 1g, 2g ve 4g olmak üzere üç farklı gramda lif kullanılmıştır. Selüloz lif %100 kuvars kumu içeren fibercement levhalardan %100 diatomit içeren fibercement levhalara kadar olan 11 adımda kullanılmasına artı olarak selüloz lif hacim oranının fibercement levhalar üzerindeki etkisini inceleyebilmek için %100 diatomit, %50 kuvars kumu - %50 diatomit ve %100 kuvars kumu içeren numunelerde 166.25, 175, 183.75 gram kullanılmış ve sonuçları kayıt edilmiştir. Polipropilen lifler ise aynı şekilde %100 diatomit, %50 kuvars kumu - %50 diatomit ve %100 kuvars kumu içeren numunelerde 1g, 2g ve 4g oranlarında kullanılmış ve sonuçları kayıt edilmiştir. Çizelge 3.14, 3.15 ve 3.16'da selüloz lif içeren karışımdaki malzeme miktarları, ve Çizelge 3.17, 3.18, 3.19'da ve polipropilen lif içeren karışımlardaki malzeme miktarları gösterilmiştir.

Çizelge 3.14 %100 Kuvars kumu ve selüloz lif içeren karışımlardaki malzeme miktarları (g)

	Kuvars Kumu	Su	Çimento	Selüloz Lif
%100 Kuvars Kumu - 166,25g Selüloz Lif	1352,4	924	924	166,25
%100 Kuvars Kumu - 175g Selüloz Lif	1352,4	924	924	175
%100 Kuvars Kumu – 183,75g Selüloz Lif	1352,4	924	924	183,75

Çizelge 3.15 %50 Kuvars kumu - %50 diatomit ve selüloz lif içeren karışımlardaki malzeme miktarları (g)

	Diatomit	Kuvars Kumu	Su	Çimento	Selüloz Lif
%50K-%50D - 166,25g Selüloz Lif	218,05	676,2	962,5	924	166,25
%50K-%50D -175g Selüloz Lif	218,05	676,2	962,5	924	175
%50K-%50D - 183,75g Selüloz Lif	218,05	676,2	962,5	924	183,75

Çizelge 3.16 %100 Diatomit ve selüloz lif içeren karışımlardaki malzeme miktarları (g)

	Diatomit	Su	Çimento	Selüloz Lif
%100 Diatomit - 166,25g Selüloz Lif	436,1	1006,25	924	166,25
%100 Diatomit - 175g Selüloz Lif	436,1	1006,25	924	175
%100 Diatomit - 183,75g Selüloz Lif	436,1	1006,25	924	183,75

Çizelge 3.17 %100 Kuvars kumu ve polipropilen lif içeren karışımlardaki malzeme miktarları (g)

	Kuvars Kumu	Su	Çimento	Polipropilen Lif
%100 Kuvars Kumu - 1g Polipropilen Lif	1352,4	395	924	1
%100 Kuvars Kumu - 2g Polipropilen Lif	1352,4	395	924	2
%100 Kuvars Kumu - 4g Polipropilen Lif	1352,4	395	924	4

Çizelge 3.18 %50 Kuvars kumu - %50 diatomit ve polipropilen lif içeren karışımlardaki malzeme miktarları (g)

	Diatomit	Kuvars Kumu	Su	Çimento	Polipropilen Lif
%50K - %50D - 1g Polipropilen Lif	218,05	676,2	557,5	924	1
%50K - %50D - 2g Polipropilen Lif	218,05	676,2	557,5	924	2
%50K - %50D - 4g Polipropilen Lif	218,05	676,2	557,5	924	4

Çizelge 3.19 %100 Diatomit ve polipropilen lif içeren karışımlardaki malzeme miktarları (g)

	Diatomit	Su	Çimento	Polipropilen Lif
%100 Diatomit - 1g Polipropilen Lif	436,1	720	924	1
%100 Diatomit - 2g Polipropilen Lif	436,1	720	924	2
%100 Diatomit - 4g Polipropilen Lif	436,1	720	924	4

3.2 Numune Hazırlama Prosedürü

Kullanılan Araç ve Gereçler

- Mikser kalıbı ve mikser cihazı : BS EN 1015-2 [75] ve BS EN 197-1 [76] standartlarına uygun
- Hassas elektronik tartı
- Beher

- Spatula
- El küreği
- Kronometre

Numune Hazırlama Prosedürü

Deney için gerekli olan malzemeler hazırlandıktan ve tartıldıktan sonra oda sıcaklığı yaklaşık olarak 20 ± 5 °C olan ortamda BS EN 1015-2 [75] ve BS EN 197-1 [76] standartlarına uyularak karıştırılmıştır. İlk olarak gerekli miktarda su mikser kabına eklenmiştir. Bu aşamaya takiben mikser kabına bağlayıcı malzeme (çimento) ve/veya mineral katkı maddeleri (yüksek fırın cürufu veya uçucu kül) eklenip malzemeler bir dakika boyunca düşük hızda karıştırılmıştır. Bir dakikanın sonunda karışıma lif (selüloz veya polipropilen) eklenip bir dakika daha karıştırılmıştır. En son olarak ise inert malzeme (kuvars ve/veya diatomit) mikser durdurulmadan iki seferde ilave edilmiş ve tekrar bir dakika boyunca karıştırılmıştır. Tüm malzemeler eklendikten sonra mikser bir dakika daha karıştırılmıştır ve bu sürenin sonunda mikser durdurulup mikser kabının kenarlarında kalan malzemeler spatula yardımı ile karışıma eklenmiş ve karışım 6 dakika daha karıştırılarak toplam karışım süresinin yaklaşık olarak 10 dakika tutması sağlanmıştır.



Şekil 3.6 Mikser

Karışım hazırlandıktan sonra küp ve kiriş kalıplara yerleştirilmiştir. Karışımın kalıplara yerleştirilmesi sırasında sarsma tablasına yerleştirilmesi büyük önem taşımaktadır. Sarsma tablası ile karışımın kalıplara boşluksuz bir şekilde yerleştirilmesi sağlanmış ve bu sayede diğer deney aşamalarında kullanılacak olan numunelerden daha doğru sonuçlar elde edilmiştir. İlk olarak kalıpların yarısına kadar karışım konulmuş ve sarsma tablası yardımıyla kalıplar 30 vuruş olmak üzere titreşime maruz bırakılmıştır. 30 vuruştan sonra kalıpların kalan yarısı doldurulmuş ve üzerleri spatula yardımı ile pürüzsüz hale getirilerek tekrar 30 vuruş yapılmış ve karışımın kalıplara boşluksuz bir şekilde yerleştirilmesi sağlanmıştır. Oluşturulan küp numunelerin boyutları 50 x 50 x 50 mm ve kiriş numunelerinin boyutları 160 x 40 x 40 mm'dir. Numuneler Şekil 3.7'deki kalıplar kullanılarak oluşturulmuştur.



Şekil 3.7 Kiriş ve küp numune kalıpları

3.3 Kıvam Deneyi

Kullanılan Araç ve Gereçler

- **Yayılma tablası :** Yayılma tablası üzerine betonun konulabileceği, (700 ± 2) mm x (700 ± 2) mm ölçülerinde alana sahip, hareketli, düz plâka ve bu plâkanın üzerine belirli yükseklikten düşürüleceği, üstteki plâkanın menteşeyle bağlı olduğu sert alt tabakadan meydana gelen, yayılma tablasının üst plâkası en az 2 mm kalınlığa ve düz metal yüzeye sahiptir. Metal üst yüzey çimento hamurundan olumsuz şekilde etkilenmez ve paslanmazdır. Yayılma tablasının üst plâkası $(16 \pm 0,5)$ kg kütleye sahiptir ve tartılabilmesi için takılıp çıkarılabilir

menteşelidir. Plâkanın yapısı, plâka üst yüzeyinin bükülmesini engelleyecek tarzdadır. Tabla ortası, tablanın orta noktasından geçen birbirine dik ve kenarlara paralel iki çizgi ve merkez etrafında (210 ± 1) mm çaplı daire şeklinin metal üzerine kazınmasıyla belirtilir. Plâka ön köşelerinin alt kısmına, iki sert blok sıkıca tespit edilmelidir. Bu bloklar ıslanınca şekillerinde bozulma meydana gelmeyen ve su emmeyen özelliktedir. Bu durdurucu bloklar, üst plâka yükünü alt plakâya, plâkada herhangi eğilme veya bozulma meydana gelmeden aktaracak özelliktedir. Alt çerçeve, bu yükü, cihazın üzerine yerleştirildiği zemine doğrudan aktaracak şekildedir. Alt çerçevenin bu şekilde tertip edilmesi, serbestçe düşmesi esnasında, üst plakânın sıçrama eğilimini en aza indirir. Plâkanın kullanım esnasında kararlılığını sağlamak için durdurucu ayaklar monte edilmiştir. Üst plakânın ön kenarı ortasında ölçülen düşme yüksekliği, bir veya daha fazla durdurma ayağı ile (40 ± 2) mm olarak sınırlandırılmıştır. Üst plâkanın sarsılmadan kaldırılabilmesi için kaldırma mekanizması kullanılmış ve plâka, kaldırılan en üst yükseklikten serbestçe düşecek şekilde bırakılmıştır.

- **Yayılma deneyi kalıbı :** Deney numunesi oluşturmak üzere çimento hamurundan olumsuz etkilenmeyen metalden yapılmış ve 1,5 mm'den daha kalın olan metal kalıptır. Kalıp iç yüzeyinde perçin başlığı benzeri çıkıntıya sahiptir, iç yüzey düz olmalı ve yüzeyde oyuk, çentik bulunmamaktadır. Kalıp aşağıda verilen iç boyutlara sahip içi boş kesik koni şeklindedir :

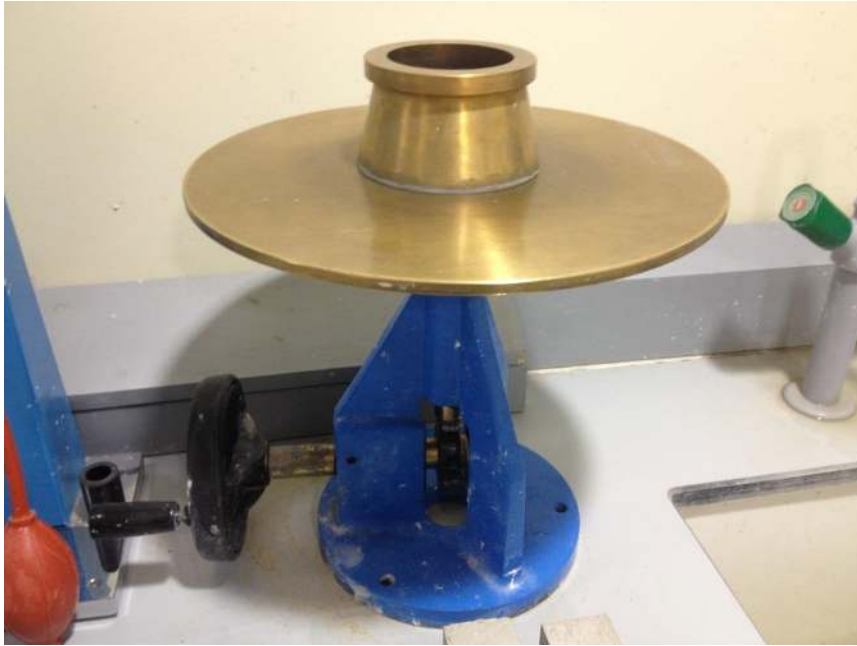
- Taban çapı : (200 ± 2) mm,
- Üst yüz çapı : (130 ± 2) mm,
- Yükseklik : (200 ± 2) mm.

Kalıp alt ve üst yüzü açık, birbirine paralel ve koni boyuna eksenine diktir. Koniye oynamaz şekilde tutmak için, koninin üst bölümünde iki adet tutma parçası ve alt kısmında tespit kelepçeleri veya ayakla basma parçaları bulunur. Tabana tespit kelepçeleriyle tutturulmuş kalıp kullanımına, kelepçenin gevşetilerek kalıbı serbest bırakması esnasında kalıbı oynatmaması veya beton çökmesine etki etmemesi şartıyla izin verilir.

- **Cetvel :** En az 700 mm uzunlukta ve tüm uzunluğunca 5 mm aralıklı bölümlenmiş
- **Kronometre :** Zamanı 1 saniye doğrulukla ölçmeye uygun özellikte.

Kıvam Deneyi Prosedürü

Mikserde hazırlanan karışımlar kıvam deneyinin uygulanması için spatula yardımı ile yayılma tablasının ortasındaki koni şeklindeki kalıba yerleştirilmiştir. Karışım koni şeklindeki kalıba yerleştirilirken iki katman şeklinde konulmuştur. Malzemenin iki katman şeklinde yerleştirilmesindeki amaç kalıbın içerisine malzeme yerleştirilirken kalıpta hava boşluklarını önlemektir. Kalıp tam olarak doldurulduktan sonra kalıbın üzerinde kalan fazlalıkları ve yayılma plakasındaki fazlalık malzemeler spatula yardımı ile alınmıştır. Deneyin sağlıklı sonuç verebilmesi için kalıp etrafındaki temizlik önemlidir. Kalıp çıkarıldıktan sonra malzeme 15 saniye dinlendirilmiştir. Daha sonra yayılma tablasının kolu her saniyede bir tam tur çevirilecek şekilde 15 kez çevrilmiştir. En son olarak cetvel vasıtasıyla numune iki farklı yönde ölçülmüş ve sonuçlar kayıt edilmiştir.



Şekil 3.8 Yayılma tablası

3.4 Kütle Ölçümü

Kullanılan Araç ve Gereçler

- Elektronik terazi : Hassas ölçüm yapabilen.

Kütle Ölçümü Prosedürü

Basınç ve eğilme dayanımlarından önce hazırlanan tüm numunelerin ağırlığı elektronik terazi ile ölçülmüştür. Basınç dayanımı deneyi yapılırken her numune çeşidinden 2 küp

numune deneyde kullanıldığı için küp numunelerin ağırlıkları ayrı ayrı ölçölüp ortalamaları alınmıştır. Tezde kullanılan malzemelerin ağırlıkları önemli bir yer tuttuğundan ağırlık ölçümlerinde çok hassas davranılmıştır. Ağırlık sonuçları deney sonuçları kısmında gösterilmiştir.



Şekil 3.9 Elektronik terazi

3.5 Kılcal Su Emme Deneyi

Kullanılan Araç ve Gereçler

- Su geçirmeyen kalıp
- Elektronik terazi
- Mesnet elemanı (Numune ile kap arasına yerleştirilerek numunenin alttan su almasını sağlamak için)
- Kronometre
- Bez (Numunelerin üzerindeki kalan suyun alınması için)

Kılcal Su Emme Deneyi Prosedürü

Deneyi uygulamak amacıyla 40 x 40 x 40 mm boyutlarında küp numuneler hazırlanmış ve sertleşmiş küp numuneler 105°C sıcaklığındaki fırında bekletilmiştir. Deneye başlanmadan önce numunelerin su ile temas edecek olan yüzeyinin brüt yüzey alanları hesaplanmıştır. Numuneler ölçülen brüt alanları su ile temas edecek şekile içerisinde sadece numunelerin alt kısımlarına temas edecek kadar bulunan su dolu bir kaba

yerleştirilmiştir. Numunelerin kabın tabanı ile teması önlemek ve aynı zamanda numunelerin alt yüzeylerinden su ile temas etmesini sağlamak amacıyla mesnet elemanları üzerine yerleştirilmiştir. Numunelerin ağırlıkları deney grafiğinin oluşturulması için gereken sürelerde sudan çıkarılmış, varsa yüzeyinde bulunan fazla su bez yardımıyla alınmış ve kütleleri ölçülerek tekrar su dolu kaba konulmuştur. Deney sonrasında ise kayıt edilen değerler hesaplamalarla grafiklendirilmiştir.



Şekil 3.10 Kılcal su emme deneyi

3.6 Basınç ve Eğilme Dayanımı Deneyi

Deney Numuneleri Hazırlanışı

Basınç ve eğilme dayanımı deneyi için gereken numuneler mikserde hazırlandıktan sonra küp (50 x 50 x 50 mm) ve kiriş (40 x 40 x 160 mm) kalıplara yerleştirilmiştir. Karışım kalıplara yerleştirilirken ilk olarak kalıplar yarı seviyeye kadar doldurulmuş ve sarsma tablasına yerleştirilmiştir. Sarsma tablası 30 vuruş yaptıktan sonra kalıpların kalan kısımları da malzeme ile doldurulup tekrar titreşim cihazında 30 vuruş yapılması sağlanmıştır. Malzemenin kalıplarda boşluksuz bir şekilde yerleştiğinden emin olduktan sonra malzeme kalıplar için sertleşmeye bırakılmış ve sertleştikten sonra kalıplardan zarar verilmeden çıkarılmıştır. Toplamda her bir karışımdan 6 küp ve 3 kiriş numune elde edilmiştir.

Kullanılan Araç ve Gereçler

- Basınç ve eğilme dayanımı cihazı
- Bilgisayar

Basınç ve Eğilme Dayanımı Deneyi Prosedürü

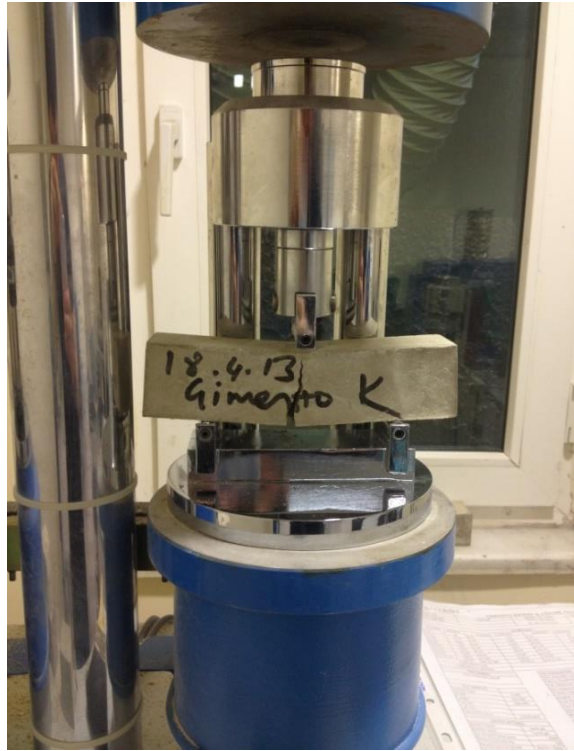
Basınç ve eğilme dayanımı için hazırlanan numuneler kısa dönem sonuçlar için 7, 14 ve 28. günde, uzun dönem kırılmalar içinse 1. aydan başlanılarak 6. aya kadar her deney gününde 2 küp ve 1 kiriş numune test edilecek şekilde deneyler yapılmıştır. Yüksek fırın cürufu içeren numuneler ise 28 günden başlayarak 6 aya kadar olan süreçte belirli aralıklarla basınç dayanımı deneyleri uygulanmıştır. Küp umuneler basınç dayanımı cihazına yerleştirildikten sonra bilgisayar yardımı ile deney başlatılmış ve cihazın numunelere basınç uygulaması sağlanmıştır. Aynı şekilde kiriş numunelerde eğilme dayanımı için cihaza yerleştirilmiştir. Cihaz numunelerin maksimum yük taşıma kapasitesine ulaştığı anda otomatik olarak durmaktadır. Bilgisayardan alınan basınç ve eğilme dayanımı değerleri kayıt edilmiş ve deney sonuçları kısmında raporlanmıştır.



Şekil 3.11 Basınç ve eğilme dayanımı cihazı



Şekil 3.12 Basınç dayanımı deneyi başlığı



Şekil 3.13 Eğilme dayanımı deneyi başlığı

3.7 Karbonatlaşma Deneyi

Kullanılan Araç, Gereç ve Malzemeler

- Cam fanus
- Nitrik asit çözeltisi (HNO_3)
- Fenolftalein indikatör çözeltisi ($\text{C}_{20}\text{H}_{14}\text{O}_4$)
- Sodyum Karbonat (Na_2CO_3)
- Etil alkol
- Metal kap

Karbonatlaşma Deneyi Prosedürü

Karbonatlaşma deneyini uygulayabilmek için öncelikle sodyum karbonattan 20 gr tartılıp bir kaba konulduktan sonra bu kimyasalı çözücek kadar su ilave edilmiş ve kimyasalın çözünmesi sağlanmıştır. Daha sonra bu solüsyon özel cam fanuslara yerleştirilmiş ve numuneler aynı şekilde fanusların üst kısımlarına yerleştirilmiştir. Fanusların içindeki bulunan sodyum karbonat çözeltilerine 24 gram nitrik asit çözeltisi ilave edilmiş ve cam fanusların kapakları aradan hava sızdırılmayacak şekilde kapatılarak kimyasal tepkime ile açığa çıkan karbondioksit (CO_2) yardımıyla numunelerin karbondioksit gazına maruz bırakılması sağlanmıştır. Bu işlemlerin yapılmasının amacı laboratuvar ortamı altında numunelerin maruz kalacağı CO_2 oranını artırarak bu etkinin gözlemlenme süresini gereken gün açısından azaltmaktır. 28. günde numuneler cam fanustan çıkartılarak basınç dayanımları ve karbonasyon etkisi deneyleri yapılmıştır. Karbonatlaşma etkisini görmek için fenolftalein indikatör çözeltisi ve etil alkol kimyasalları belirli bir oranda karıştırılmış ve küp numuneler basınç dayanımı testlerinden sonra ikiye bölünerek bu karışım numunenin iç kısmına uygulanmıştır. Bu karışım sayesinde karbondioksit maruz kalan bölge renk değiştirmezken karbondioksitin ulaşmadığı bölge ise pembe renge dönüşmüştür. En sonunda cetvel yardımı ile karbondioksitin numunelerin dış yüzeyinden pembe bölgeye kadar olan karbonatlaşma derinliği her bir kenardan ölçülmüş ve ortalamaları alınmıştır.

SONUÇLAR ve DEĞERLENDİRMELER

4.1 İnert Malzemelerin Fibercement Karışımlarının Özelliklerine Etkisi

Bu çalışmada iki farklı tipte inert malzeme kullanılmıştır. Öncelikle kuvars kumu fibercement levhalarda genellikle kullanılan inert malzeme olduğundan dolayı bu malzemenin fibercement levhaların durabilite ve mekanik özellikleri üzerindeki etkileri sistematik bir şekilde incelenmiştir. Daha sonra kuvars kumu gibi kimyasal özellik gösteren ancak kuvars kumuna kıyasla kristal yapıya değil, amorf yapıya sahip olan, düşük yoğunluğa sahip ve ince taneli olan diatomit malzemesi kullanılmıştır.

4.1.1 Kütle Ölçümü Sonuçları

Kuvars kumu fibercement levha üretiminde yaygın olarak kullanılan inert malzemedir. Kuvars kumu fibercement levhalarda yaygın olarak kullanılmasına karşın özkütlesinin yüksek olmasından dolayı ağır bir malzemedir ve bu ağır malzemenin kullanımı ile birlikte üretilen levhalar aynı şekilde ağır olmaktadır. Levhaların ağır olması sevkiyatta ve sahada monte edilme aşamasında ek uğraş yaratmaktadır ve yapının toplam ağırlığını doğrudan etkilemektedir. Fibercement levha kullanımında bu yapı elemanlarının ağırlığından dolayı üreticiler daha hafif levhalar üretmek için farklı inert malzemeler denemektedirler.

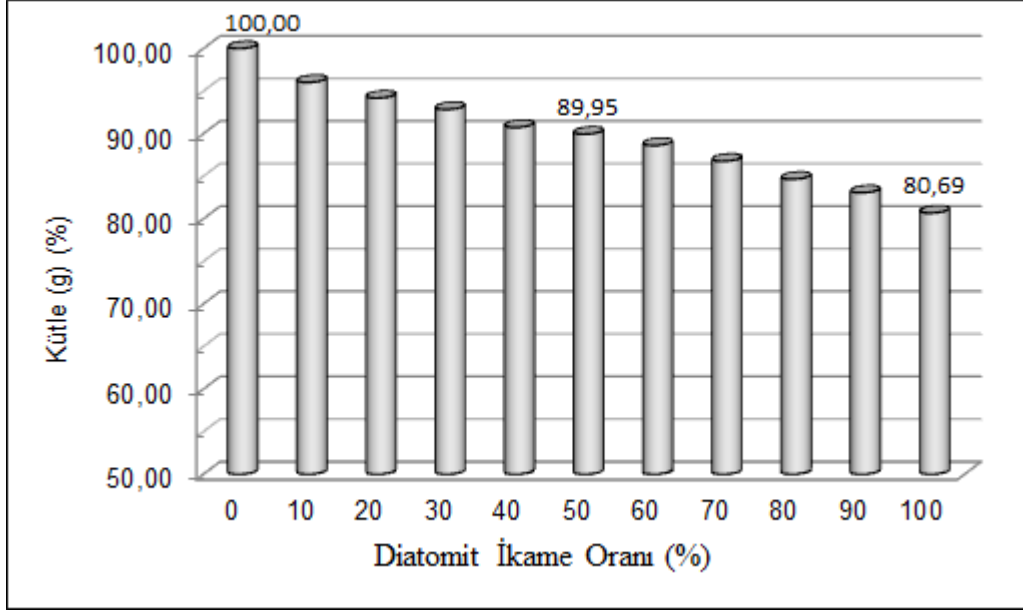
Bu tezde fibercement levha üretimi için kullanılan bir diğer malzeme olan diatomitin kullanılmasıyla fibercement levhalardaki kütle değişimi incelenmiştir. Diatomit malzemesi özellikle düşük yoğunluğu ile ön plana çıkan bir malzemedir ve hafif beton üretimi için birçok araştırmacı tarafından yapılan çalışmalarla tercih edilmiştir. 2.

Bölümde özetlenen çalışmalardan olan Ünal vd. yaptıkları çalışmada diatomitin hafif beton üretiminde kullanımını [32], Değirmenci vd. yaptıkları çalışmada diatomitin portland çimentosundaki kullanımını incelemiş ve diatomitin çimento kullanımını azaltarak çevreye daha az zarar vermesine ve oluşturulan betonların daha hafif olmasını sağladığı için diatomitin hafifliği üzerine araştırılmasının önemini pekiştirmişlerdir [33].

Tezde hazırlanan numunelerde %100 kuvars kumu içeren numunelerden başlanılarak %100 diatomit içeren numunelere kadar kütle ölçümleri sistematik bir şekilde ölçülmüştür. Diatomit her adımda %10 hacim oranında kuvars kumu ile ikame edilmiş ve her kademede kütle ölçümü yapılmıştır. Kütle ölçüm sonuçları Şekil 4.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.1 Diatomit ikame oranı artışının fibercement levhaların kütlesine etkisi

Diatomit ikame oranı (%)	Kütle (g)
0	178
10	175
20	171
30	166
40	164
50	160
60	156
70	154
80	150
90	148
100	144



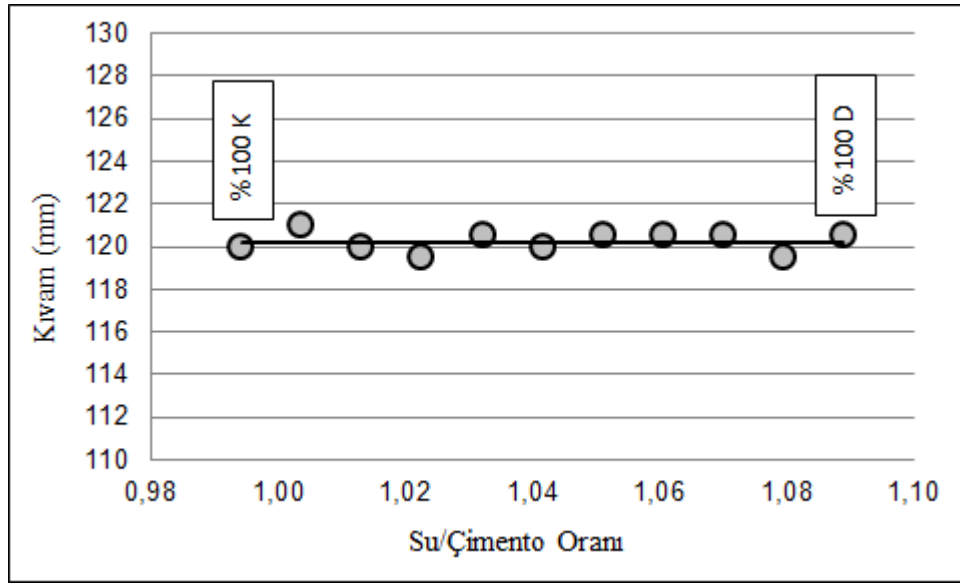
Şekil 4.1 Diatomit ikame oranı artışının fibercement levhaların kütlesi etkisi

(Kontrol: %100 kuvars kumu)

Şekil 4.1’de görüldüğü gibi diatomit ikame oranının artışıyla birlikte hazırlanan küp numunelerin kütlesinde sistematik bir şekilde düşüş gözlemlenmiştir. %100 kuvars kumu içeren numunelerin kütleleri ortalama 178 gram iken %100 diatomit kullanılan numunelerin ağırlığı ortalama 144 gram olarak ölçülmüştür. Bu ağırlık düşüşü kuvars kumu yerine diatomit kullanarak %19.31 oranında hafif levha üretilbileceğini göstermiştir.

4.1.2 Kıvam Deneyi Sonuçları

Fibercement levhalar hazırlanırken karışım bol miktarda su içermektedir. Levhaların üretimi için oluşturulan karışımlar belirli bir kıvama getirildikten sonra pres makineleri ile fazla su uzaklaştırılır ve levhaların mukavemet kazanması sağlanır. Laboratuvarda üretilen numunelerin kıvamlarını üretilen fibercement levhaların kıvamına yakın tutmak amacıyla ortalama 120 mm yayılma gösterecekleri şekilde hazırlanmıştır. Fibercement levha üretimi için hazırlanan harçların kıvamlarını istenilen düzeyde tutmak amacıyla %100 kuvars kumundan başlanılarak %100 diatomite kadar olan 11 adımda su oranı ayrı ayrı bulunmuştur. Hazırlanan harçların kıvamları ve kullanılan su hacim oranları Şekil 4.2’de gösterilmiştir.



Şekil 4.2 Levhaların içerdiği su / çimento oranı ve kıvamları arasındaki ilişki

Çizelge 4.2 Kıvam deneyi sonuçları

Fibercement levha içeriği	Kıvam	Ortalama Kıvam
%100 K Kontrol	120mm-120mm	120mm
%90K-%10D	120mm-122mm	121mm
%80K-%20D	120mm-120mm	120mm
%70K-%30D	119mm-120mm	119.5mm
%60K-%40D	120mm-121mm	120.5mm
%50K-%50D	121mm-121mm	120mm
%40K-%60D	120mm-121mm	120.5mm
%30K-%70D	119mm-122mm	120.5mm
%20K-%80D	120mm-121mm	120.5mm
%10K-%90D	119mm-120mm	119.5mm
%100 D Kontrol	120mm-121mm	120.5mm

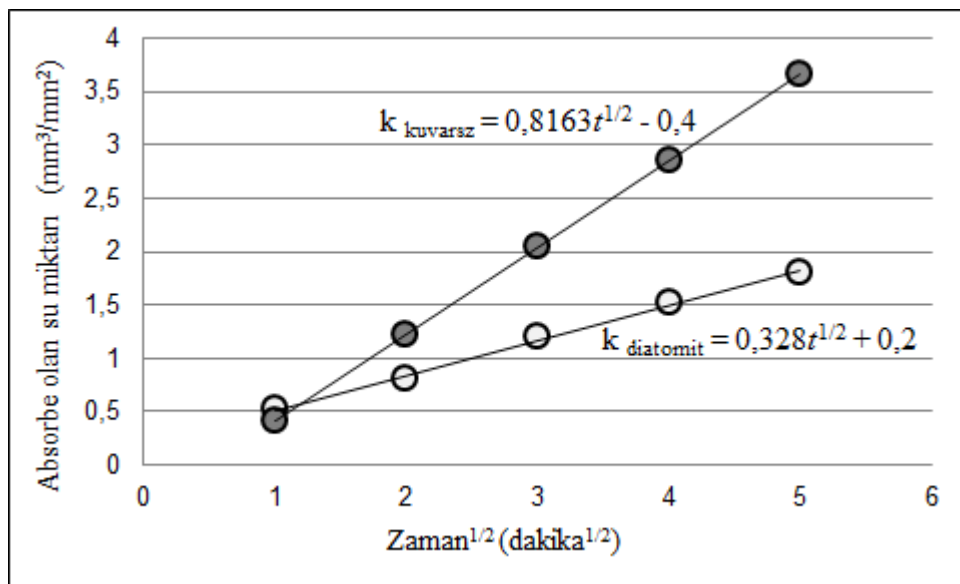
Diatomit malzemesi içeren karışımların kuvars kumu içeren karışımlara kıyasla daha fazla su ihtiyacı duymasının nedeni diatomit malzemesinin tane boyutunun kuvars kumundan daha küçük olmasıdır.

Oluşturulan numunelerin kıvam değerlerinin 120 ± 1 mm'ye hedeflenmesinin önemli amaçları vardır. Bu amaçlardan ilki, hazırlanan harçların işlenebilirliğinin göz önünde bulundurulmasıdır. Kullanılan su miktarı ile birlikte hem reaksiyon için gerekli olan su

miktarı sağlanmalı hemde karışım doygun, kıvamlı bir halde olmalıdır. Amaçlardan ikincisi ise, 120 ± 1 mm'lik yayılma yaklaşık olarak piyasada üretilen fibercement levhaların kıvamlarına yakın olmasıdır. Piyasada üretilen fibercement levhalarda Bölüm 2'de bahsedilen üretim yöntemleri uygulanmaktadır ve bu yöntemleri laboratuvar ortamında oluşturmak çok zordur. Fakat deneylerde hedeflenen kıvam piyasada elde edilen kıvama yakın derecededir.

4.1.3 Kılcal Su Emme Deneyi Sonuçları

Fibercement levhalar için önemli olan bir diğer parametrede kılcal su emme özelliğidir. Fibercement levhalar yapının dış cephe uygulamalarında kullanıldığı zaman yapıya gelen dış etkenlere karşı dayanıklı olması beklenir. Bu etkenlerden en önemlilerinden bazıları yağmur ve havadaki nemdir. Yağmur ve nem sonucunda yapının dış yüzeyinde hasar oluşabilir ve bu hasarlar genelde zamanla deformasyon ve çatlak gibi sonuçlar doğurabilir. Fibercement levhalar dış cephe uygulamalarında kullanıldıklarında iyi bir yalıtım sağlar ve yağmur dolayısıyla yapıya zarar verebilecek suyu ve nemi izole ederler. Fakat piyasada üretilen fibercement levhalar inert malzeme olarak kuvars kumu ile üretilmektedir ve kuvars kumu ile üretilen fibercement levhalar her ne kadar iyi bir yalıtım sağlayıp su geçirgenliğini azaltsada farklı malzemeler ve bunların kombinasyonlarıyla bu yalıtım daha da güçlendirilebilir. Tezde yapılan çalışmalarda su geçirimliliğini azaltmak için diatomit malzemesi kullanılmış ve Şekil 4.3'deki sonuç elde edilmiştir.



Şekil 4.3 Diatomitin fibercement levhaların kılcal su emilimine etkisi

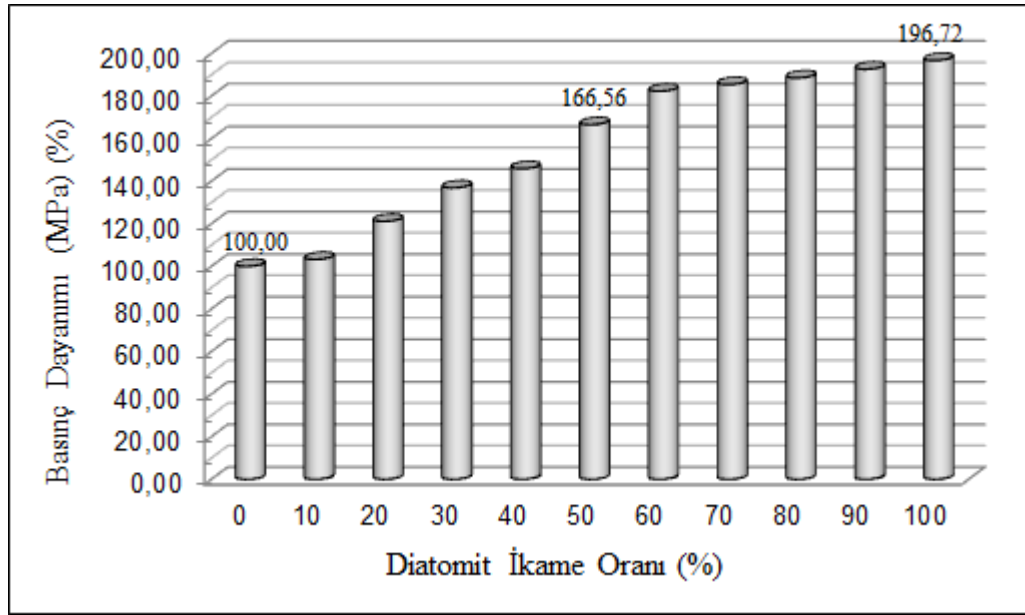
Şekil 4.3’de görüldüğü gibi diatomit kullanılan levhaların kılcal su emme miktarı kuvars kumu kullanılan numunelere kıyasla daha az olmuştur. Bunun sebebi, diatomitin tane boyutunun kuvars kumundan küçük olması ve diatomit ile üretilen fibercement levhaların matrisinin daha yoğun, boşluksuz ve homojen halde olmasıdır.

4.1.4 Basınç Dayanımı Deneyi Sonuçları

Basınç dayanımı fibercement levhalar için bir diğer önemli özelliklerden biridir. Basınç dayanımının bilinmesi, levhaların diğer özellikleri hakkında kalitatif bilgi sağlamaktadır. Örneğin, levhanın basınç dayanımının yüksek olması, levhadaki kılcal su emme miktarının az olduğunu ve dayanıklılığının yüksek olduğunu ifade etmektedir. Bu çalışmada kullanılan diatomit malzemesinin fibercement levha üretiminde genel olarak kullanılan kuvars kumu ile ikame edilmesi sonucu 7. gün, 14. gün ve 28. gün basınç dayanımları Şekil 4.4’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.3 Fibercement levhaların basınç dayanımı sonuçları (MPa)

%	100K	90K - 10D	80K - 20D	70K - 30D	60K - 40D	50K - 50D	40K - 60D	30K - 70D	20K - 80D	10K - 90D	100D
7. Gün	4.15	4.27	5.18	5.27	5.41	5.63	6.7	7.03	7.17	7.36	7.47
14. Gün	4.84	5.12	6.32	7.07	7.54	7.85	8.02	8.45	8.66	8.75	8.99
28. Gün	6.1	6.3	7.39	8.35	8.9	10.16	11.12	11.31	11.5	11.75	12

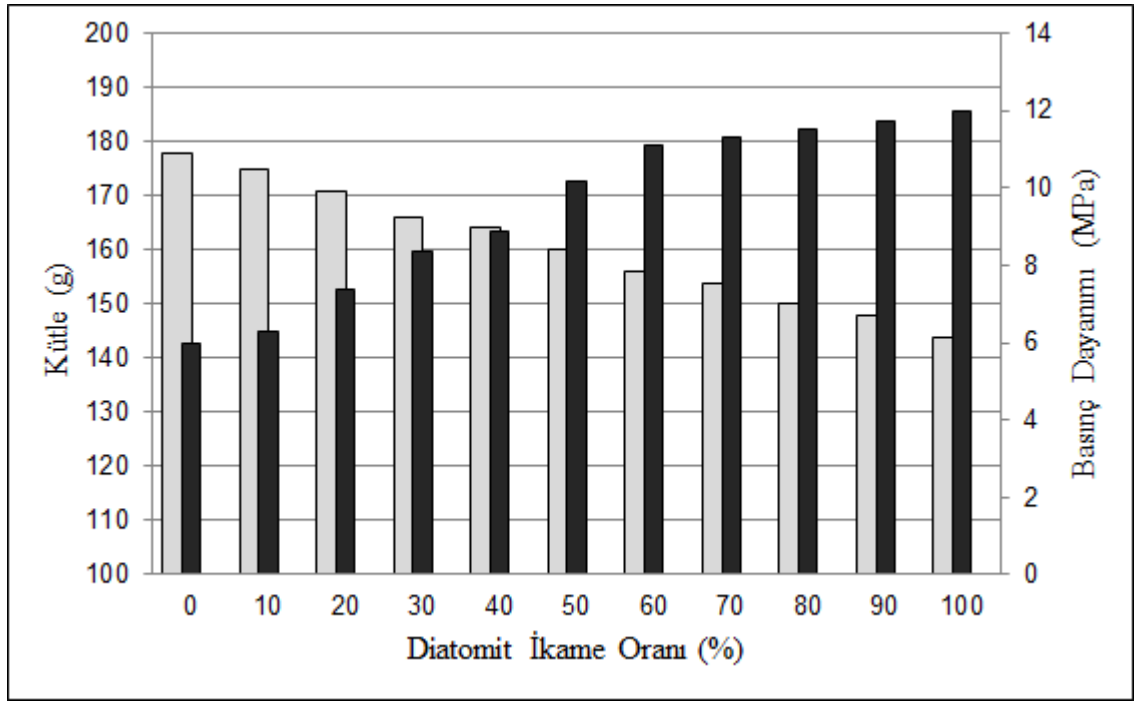


Şekil 4.4 Diatomit ikame oranını artışının fibercement levhaların basınç dayanımına etkisi

(Kontrol: %100 kuvars kumu)

Şekil 4.4’de görüldüğü gibi kullanılan diatomitin ikame oranının artırılmasıyla birlikte numunelerin 28. gün basınç dayanımında artış görülmüştür. 28. gün basınç dayanımı ölçümlerinde %100 kuvars kumu kullanılan numunelerin basınç dayanımları 6.1 MPa olarak ölçülmüşken, %100 diatomit kullanılan numunelerin basınç dayanımı 12 MPa ölçülmüş ve sonuç olarak diatomit kullanımı ile birlikte numunelerin 28. gün basınç dayanımlarında %96.72 oranında bir artış sağlanmıştır.

Bölüm 4.1.1’deki kütle ölçümü sonuçlarından faydalanılarak Şekil 4.5’de fibercement levhaların diatomit ikame oranının artışıyla birlikte kütleleri ve basınç dayanımları arasındaki ilişki gösterilmiştir.



Şekil 4.5 Diatomit ikame oranı artışının fibercement levhaların kütesine ve basınç dayanımına etkisi

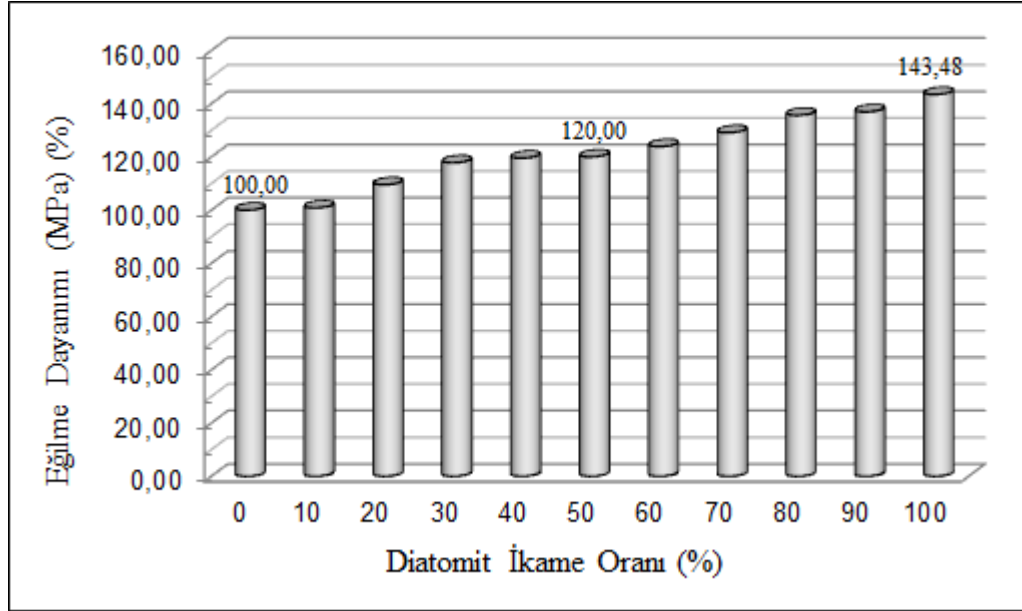
Şekil 4.5’de görüldüğü gibi diatomit ikame oranının artışıyla birlikte levhaların kütlelerinde azalma sağlanırken, basınç dayanımlarındada artış sağlanmıştır. %100 diatomit içeren fibercement levhaların kütledeki %19.31 oranındaki azalma ve basınç dayanımındaki %96.72 oranında artış diatomit malzemesinin levhalarda kullanımının önemini açıklamaktadır.

4.1.5 Eğilme Dayanımı Deneyi Sonuçları

Fibercement levhalar için önemli özelliklerden bir diğeri eğilme dayanımıdır. Levhaların kullanım yeri ve amacına bağlı olarak eğilme dayanımı özelliği önem kazanmaktadır. Kuvars kumu ile üretilen fibercement levhaların diatomit ikame oranının artışıya eğilme dayanımı arasındaki ilişkiyi gözlemlemek için %100 kuvars kumundan başlanılarak ve her adımda %10 oranında diatomit ikame edilmesiyle %100 diatomit malzemesi içeren numunelere kadar numuneler oluşturulmuş ve eğilme dayanımı deneyleri gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 4.4 Fibercement levhaların eğilme dayanımı deneyi sonuçları (MPa)

%	100 K	90K- 10D	80K- 20D	70K- 30D	60K- 40D	50K- 50D	40K- 60D	30K- 70D	20K- 80D	10K- 90D	100 D
28. Gün	2.3	2.32	2.52	2.71	2.75	2.76	2.85	2.97	3.12	3.15	3.3



Şekil 4.6 Diatomit ikame oranı artışının fibercement levhaların eğilme dayanımına etkisi

(Kontrol: %100 kuvars kumu)

Şekil 4.6’da görüldüğü gibi diatomit ikame oranının artışıyla oluşturulan levhaların eğilme dayanımlarında artış gözlemlenmiştir. %100 kuvars kumu içeren numunelerin eğilme dayanımı 2.3 MPa iken %100 diatomit içeren numunelerin eğilme dayanımı 3.3 MPa olmuştur. Kuvars kumu yerine diatomit kullanarak numunelerin eğilme dayanımında %43,48 oranında artış sağlanmıştır.

Yapılan deneylerin sonucuna diatomit ikame oranının artışıyla birlikte fibercement levhaların kütlelerinde ve kılcal su emme miktarlarında azalma, basınç ve eğilme dayanımlarında ise artış sağlanmıştır.

4.2 Liflerin Fibercement Levha Karışımlarının Özelliklerine Etkisi

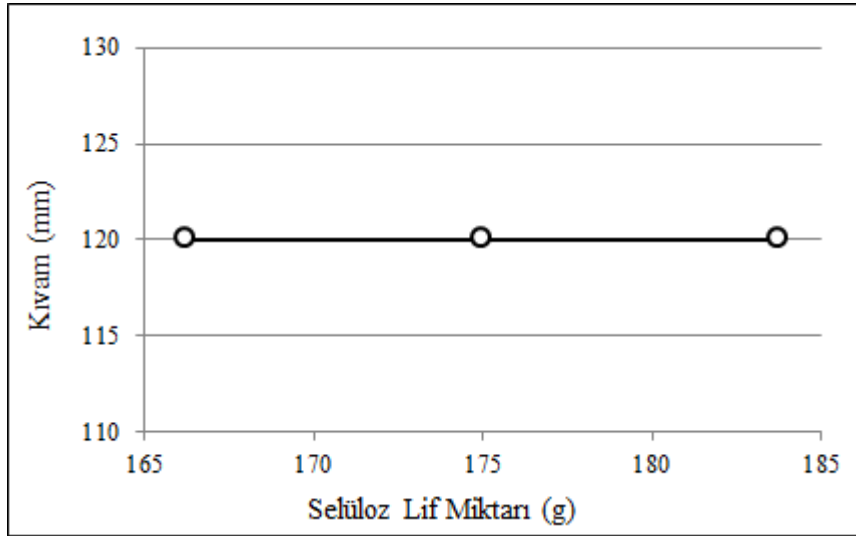
Yapılan deneysel çalışmalarda liflerin fibercement levhaların durabilite ve mekanik özellikleri üzerindeki etkisini inceleyebilmek için selüloz ve polipropilen lif kullanılmıştır. Karışımlarda selüloz lifler 166.25, 175 ve 183.75 gram kullanılarak deneyler gerçekleştirilirken, polipropilen liflerden ise 1, 2 ve 4 gram kullanılmıştır. Genel olarak fibercement levha üretiminde m^3 başına kullanılan lif miktarını tezde yapılan çalışmalarda oluşturulan karışımların hacimlerine oranlandığında 175g selüloza karşılık gelmektedir ve 175 gram selüloz hacim oranı 1 olarak simgelenmiştir. Polipropilen lifler ise aynı şekilde m^3 başına kullanılan miktarı tezde hazırlanan karışımların hacimlerine oranladığımızda ise yaklaşık 2 grama karşılık gelmektedir.

4.2.1 Kütle Ölçümü Sonuçları

Tezde üç farklı hacim oranında kullanılan selüloz lif ve polipropilen lifin fibercement levhaların kütlesine olan etkisi incelenmiştir. Yapılan çalışmalarda selüloz liften 0.95, 1 ve 1.05 hacim oranında lif kullanılmış ve bu hacim oranları sırasıyla 166.25, 175 ve 183.75 grama karşılık gelmiştir. Polipropilen lif ise çalışmalarda 1, 2 ve 4 gram olarak kullanılmıştır. Bölüm 4.1’de elde edilen sonuçlarda görüldüğü gibi diatomit malzemesinin kullanımı ile fibercement levhaların kütlesinde %19.31 oranında düşüş sağlanmıştır. Tezde inert malzemelerin fibercement levhalar üzerindeki etkisi incelenirken hazırlanan numunelerin 175 g selüloz lif içermesi ve selüloz lif hacim oranı değerlerinin yakın olmasından dolayı levhaların kütlesinde belirgin bir fark ölçülmemiştir. Polipropilen lif kullanımında ise tek fark selüloz lif kullanılmadığında oluşan 175 gramlık farktır, fakat bu fark aynı şekilde levhaların kütlesi üzerinde belirgin bir etki yaratmamıştır.

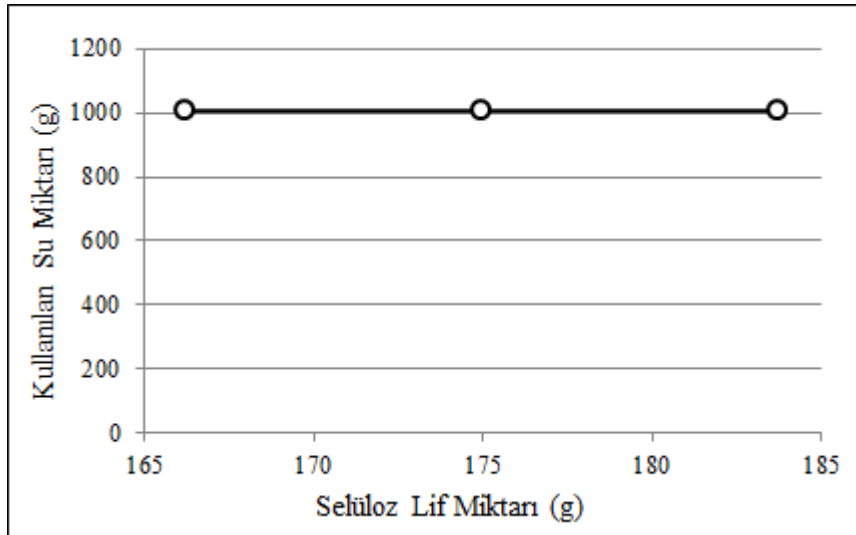
4.2.2 Kıvam Deneyi Sonuçları

Selüloz lif ile üretilen fibercement levhaların kıvam deneyleri Bölüm 3.3’deki prosedür izlenilerek gerçekleştirilmiştir. Tezde üretilen tüm fibercement levhalarda selüloz lif kullanılmıştır ve kontrol numunelerin selüloz lif hacim oranı 1 (175g) olmak üzere 166.25, 175 ve 183.75 gram selüloz lif kullanılarak lif miktarının fibercement levhaların mekanik özelliklerine etkisi araştırılmıştır.



Şekil 4.7 Selüloz lif miktarının fibercement levhaların kıvamlarına etkisi

Selüloz miktarları ve kıvam ile yapılan çalışmalarda 166.25, 175 ve 183,75 gram selüloz ile üretilen karışımların kıvamları belirli bir değere sabitlenmesi hedeflenmiştir. Her üç miktar ile kıvamın 120 mm değerine ulaşılabilinmesi için ayrı ayrı su miktarları bulunmuştur, fakat selüloz miktarı değişmesine rağmen kullanılan su miktarı her üç lif miktarında da aynı olmuştur. Bunun sebebi selüloz miktarları arasındaki farkın az olması hemde selüloz lifin su emme özelliği olmadığından kaynaklanmaktadır.



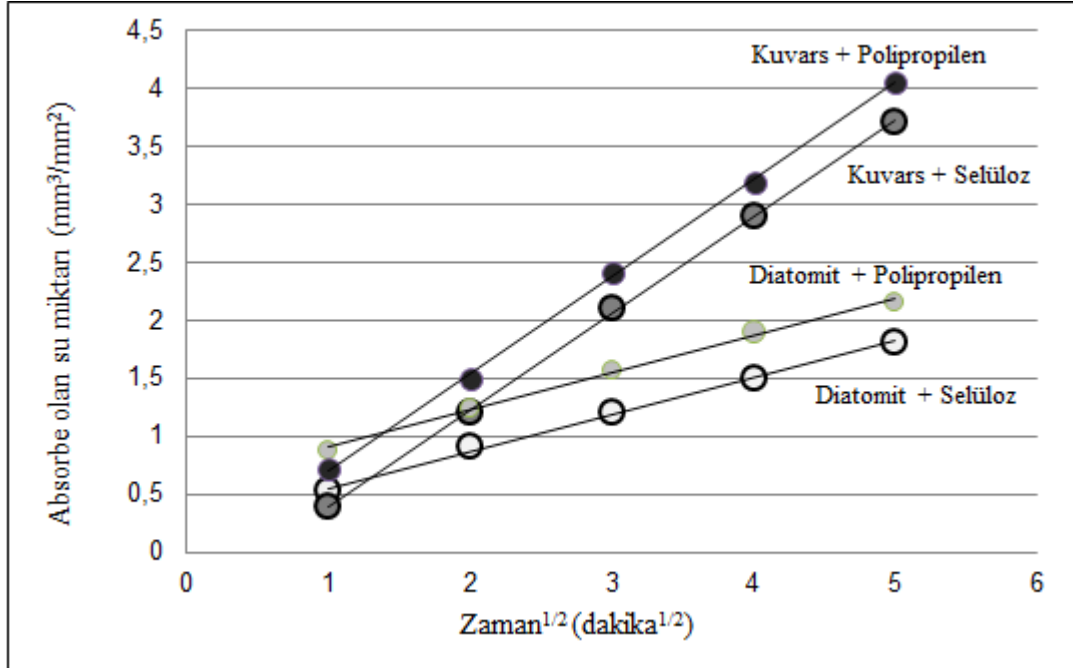
Şekil 4.8 %100 diatomit içeren levhaların lif hacim oranı ve su miktarı

Polipropilen lif ile üretilen fibercement levhaların kıvamları aynı şekilde 1g, 2g ve 4g polipropilen kullanıldığına karışım için kullanılan su miktarı sabit kalmıştır. Polipropilen lif ile üretilen fibercement levhaların kıvamını etkileyen önemli faktör karışımın içinde bulunan lif oranıdır. Karışımlarıda kullanılan polipropilen lif

arttırıldığında karışımların su miktarı arttırılırsa aynı kıvam değerine daha sıvı bir karışımla gelinir fakat basınç dayanımı açısından olumsuz sonuçlar alınır. Bu nedenle polipropilen lif içeren fibercement levhaların kıvamları belirlenirken 2g polipropilen lif içeren fibercement levhaların kıvamı baz alınmış ve 1g ile 4g polipropilen lif içeren karışımlardada aynı su miktarı kullanılmıştır ve aynı kıvam sonuçları (120 mm) elde edilmiştir.

4.2.3 Kılcal Su Emme Deneyi Sonuçları

Selüloz ve polipropilen lifin fibercement levhaların kılcal su emme özelliği üzerindeki etkisini gözlemleyebilmek amacıyla %100 diatomit ve %100 kuvars kumu içeren numunler kullanılmıştır. Deneyde selüloz lif 1 hacim oranında (175g), polipropilen lif ise 2g kullanılmış ve deney Bölüm 3.5’deki prosedürler izlenilerek gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.9 Selüloz ve polipropilen lifin fibercement levhaların kılcal su emilimine etkisi

Denklemler

$$\text{Kuvars + polipropilen } k_{\text{kuvars + polipropilen}} = 0,839t^{1/2} - 0,141$$

$$\text{Kuvars + selüloz } k_{\text{kuvars + selüloz}} = 0,831t^{1/2} - 0,437$$

$$\text{Diatomit + polipropilen } k_{\text{diatomit + polipropilen}} = 0,32t^{1/2} - 0,586$$

$$\text{Diatomit + selüloz } k_{\text{kuvars + polipropilen}} = 0,316t^{1/2} - 0,236$$

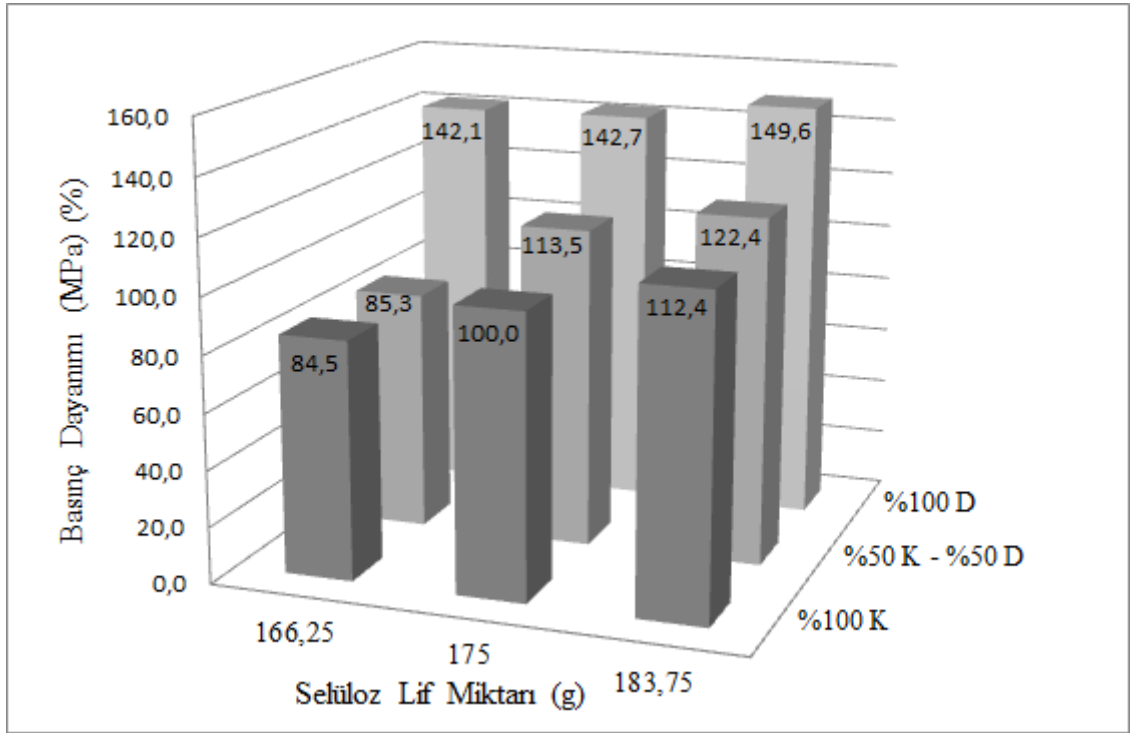
Selüloz ve polipropilen lif ile yapılan kılcal su emme deneyinde kuvars kumu ve diatomit arasında karşılaştırma yapıldığında Bölüm 4.1.3'te açıklandığı gibi diatomit içeren numunelerin kılcal su emme miktarı kuvars kumu içeren numuneler göre daha azdır. Selüloz ve polipropilen lif arasında karşılaştırma yapıldığında ise %100 kuvars kumu ve %100 diatomit içeren numunelerde, selüloz lif kullanımı ile oluşturulan numunelerin kılcal su emme miktarı polipropilen lif kullanılan numuneler göre daha az olmuştur. Selüloz lifin tane boyutunun küçük olması ve kullanıldığında numunelerin iç yapısını daha boşluksuz bir hale getirmesi oluşturulan numunelerin kılcal su emme miktarının azalmasında etkili olmuştur.

4.2.4 Selüloz Lif İçeren Fibercement Levhaların Basınç Dayanımı

Yapılan çalışmalarda selüloz lif hacim oranının fibercement levhaların basınç dayanımına etkisinin gözlemlenebilmesi için 166.75, 175 ve 183.75 gram selüloz lif kullanılmış ve %100 kuvars kumu, %50 kuvars kumu - %50 diatomit ve %100 diatomit içeren numunelerdeki 28. gün basınç dayanımları Bölüm 3.7'deki prosedür izlenilerek gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 4.5 Selüloz lif hacim oranının fibercement levhaların basınç dayanımlarına etkisi (MPa)

28.Gün	166.25 g Selüloz	175 g Selüloz	183.75 g Selüloz
%100K	7.08	8.38	9.42
%50K-%50D	7.15	9.51	10.26
100D	11.91	11.96	12.54



Şekil 4.10 Selüloz lif miktarının fibercement levhaların basınç dayanımlarına etkisi
(Kontrol: %100 kuvars kumu)

Sonuç olarak selüloz lif kullanılan ve %100 kuvars kumu, %50 kuvars kumu - %50 diatomit ve %100 diatomit içeren fibercement levhaların 28. gün basınç dayanımları karşılaştırılmış ve Şekil 4.10'deki sonuçlar elde edilmiştir. Selüloz lif miktarı artırıldıkça numunelerin basınç dayanımlarındada artış gözlemlenmiştir. Diatomit ikame oranının artışı ile numunelerin matrisi daha homojen ve boşluksuz hale gelmiştir ve matristeki bu boşluksuz yapı selüloz lifler için uygun ortamı sağlamış ve basınç dayanımlarındaki artışa katkı sağlamıştır. %100 kuvars kumu ve 1 hacim oranında selüloz içeren fibercement levhalar yerine %100 diatomit ve 1.05 hacim oranında selüloz lif kullanıldığında basınç dayanımında %49.6 oranında artış sağlanmıştır. Selüloz lifin hem sürdürülebilir ve çevre dostu bir malzeme olması, hemde diatomit ile kullanıldığında fibercement levhaların basınç dayanımını arttırması bu lif türünün levhalarda kullanımının önemini artırmaktadır.

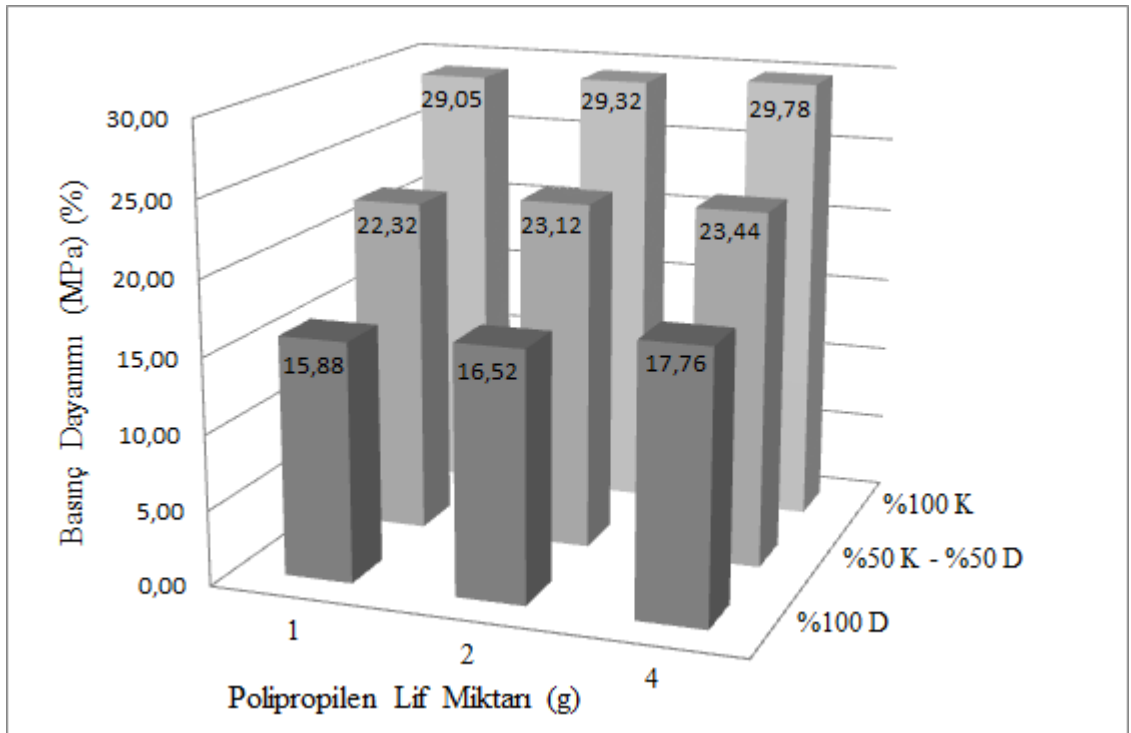
4.2.5 Polipropilen Lif İçeren Fibercement Levhaların Basınç Dayanımı

Yapılan deneysel çalışmalarda üç farklı polipropilen lif oranı kullanılarak polipropilen liflerin fibercement levhaların basınç dayanımları üzerindeki etkisi incelenmiştir. Deneysel çalışmalarda polipropilen lif 1, 2 ve 4 gram kullanılmış ve %100 kuvars

kumu, %100 kuvars kumu - %50 diatomit ve %100 diatomit içeren numunelerdeki 28. gün basınç dayanımları Bölüm 3.6'daki prosedürler izlenilerek gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 4.6 Polipropilen lif içeren fibercement levhaların basınç dayanımı (MPa)

28.Gün	1g Polipropilen lif	2g Polipropilen lif	4g Polipropilen lif
%100D	15.88	16.52	17.76
%50K-%50D	22.32	23.12	23.44
%100K	29.05	29.32	29.78



Şekil 4.11 Polipropilen lif içeren fibercement levhaların basınç dayanımlarının karşılaştırılması

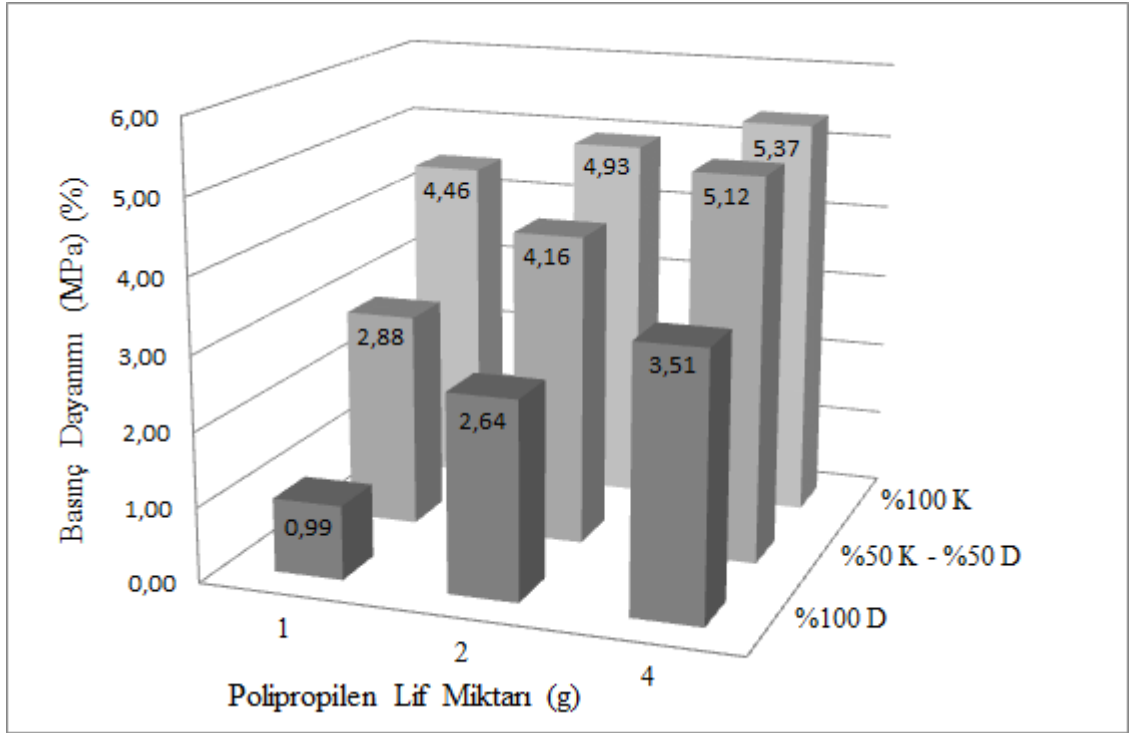
%100 kuvars kumu, %100 diatomit ve %50 kuvars kumu - %50 diatomit ile hazırlanan fibercement levhalarda polipropilen lif kullanımı ile 28. gün basınç dayanımları Şekil 4.11'de gösterilmiştir. Kullanılan polipropilen lifin miktarı arttırıldıkça fibercement levhaların basınç dayanımlarında da artış gözlemlenmiştir. %100 diatomit içeren malzemelerde basınç dayanımı 14.11 MPa iken, %100 kuvars kumu kullanılan malzemelerde bu değer 29.78 MPa olmuştur.

4.2.6 Polipropilen Lif İçeren Fibercement Levhaların Eğilme Dayanımı

Polipropilen lifler özellikle eğilme dayanımını arttırmak için kullanılan liflerdir. Tezde yapılan çalışmalarda 1, 2 ve 4 gram polipropilen lif %100 kuvars, %50 kuvars kumu - %50 diatomit ve %100 diatomit içeren numunelerde kullanılmış ve eğilme dayanımı deneyi gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 4.7 Polipropilen lifli içeren fibercement levhaların eğilme dayanımı (MPa)

	1g polipropilen lif	2g polipropilen lif	3g polipropilen lif
%100 D	0,99	2,64	3,51
%50 K - %50 D	2,88	4,16	5,12
%100 K	4,46	4,93	5,37



Şekil 4.12 Polipropilen lifin fibercement levhaların eğilme dayanımına etkisi

Şekil 4.12’de görüldüğü gibi polipropilen lif oranı artışıyla numunelerin eğilme dayanımlarında artış gözlemlenmiştir. Polipropilen lif kuvars kumu içeren numunelerin hem basınç hemde eğilme dayanımları artırmıştır.

4.3 Mineral Katkıların Fibercement Karışımlarının Özelliklerine Etkisi

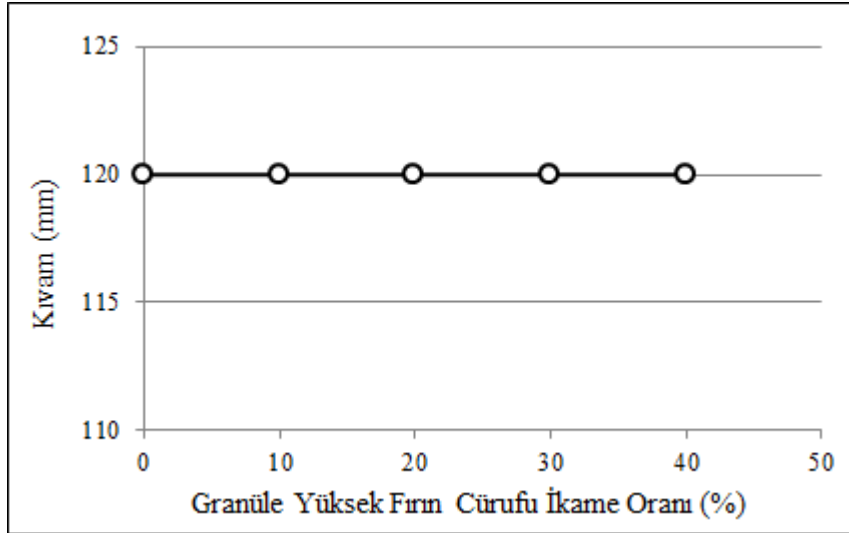
Mineral katkıların fibercement levhaların durabilitesi ve mekanik özelliklerine etkisi bu bölümde detaylı olarak incelenmiştir. Yapılan çalışmalarda granüle yüksek fırın cürufu ve uçucu kül ikame oranları kademeli olarak arttırılmış ve deneyler gerçekleştirilmiştir.

4.3.1 Kütle Ölçümü Sonuçları

Yapılan çalışmalarda mineral katkı olarak kullanılan granüle yüksek fırın cürufunun yoğunluğu 0.78 g/cm^3 ve kullanılan çimentonun yoğunluğu 0.825 g/cm^3 tür. Yapılan karışımlarda granüle yüksek fırın cürufu içermeyen karışımların kütlesi 924 gram iken %40 granüle yüksek fırın cürufu ikame edilen karışımların kütlesi 903.84 gramdır. Her karışımdan 6 küp numune ve 3 kiriş numune oluşturulduğu düşünüldüğünde 20.16 gramlık fark her bir numunenin kütlesinde çok az fark yaratmaktadır. Sonuç olarak granüle yüksek fırın cürufu ikame edilen numunelerde kütle değişimi ihmal edilebilecek kadar az olmaktadır.

4.3.2 Kıvam Deneyi Sonuçları

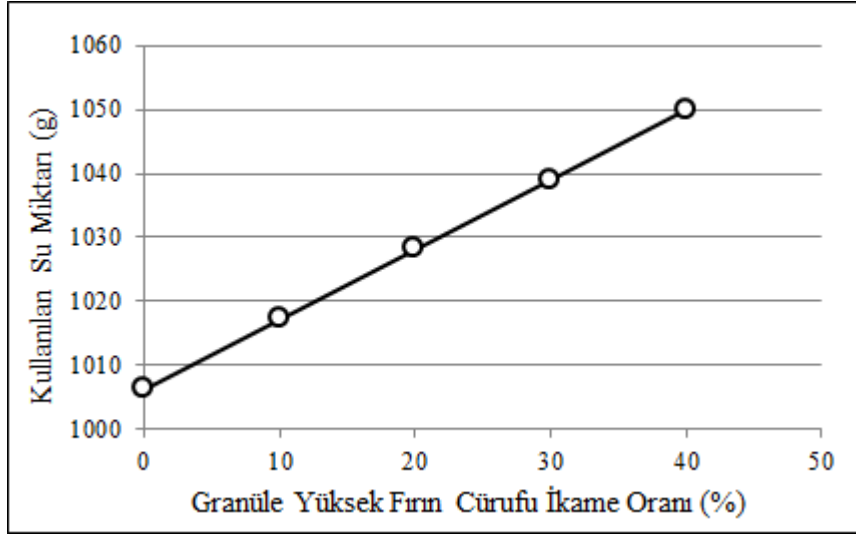
Mineral katkı içeren fibercement levhaların kıvamları Bölüm 3.3’de belirtilen prosedürler izlenilerek gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.13 Granüle yüksek fırın cürufu ile üretilen fibercement levhaların kıvam değerleri

Fibercement levhalar için oluşturulan karışımlarda kıvamın sabit tutulabilmesi için kullanılan granüle yüksek fırın cürufu ve uçucu kül ikame oranının artışıyla birlikte

karışımında kullanılan su oranı da arttırılmıştır. Bunun nedeni kullanılan granüle yüksek fırın cürufunun ve uçucu külün çimentoya kıyasla daha küçük tane boyutuna sahip olmasıdır.

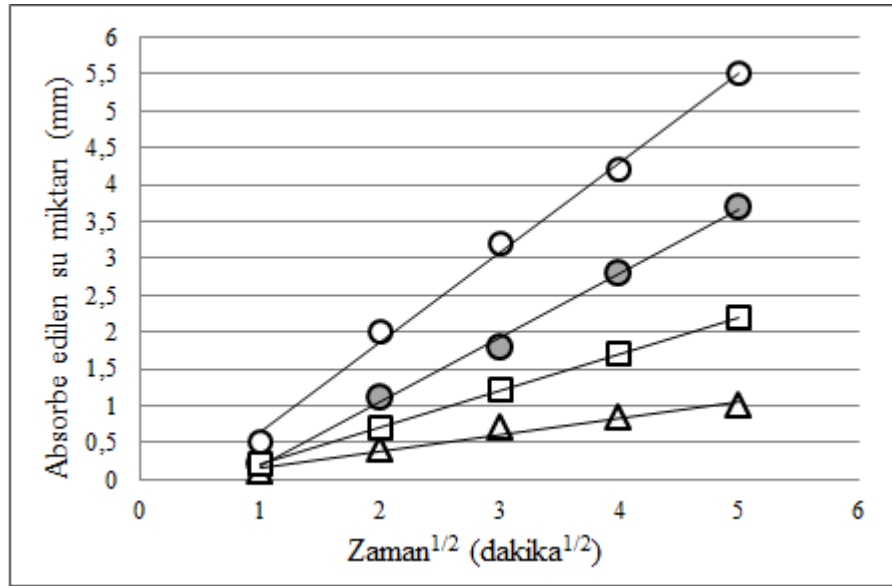


Şekil 4.14 Sabit kıvam değeri için granüle yüksek fırın cürufu ile su hacim oranı arasındaki ilişki

Şekil 4.14’de görüldüğü gibi mineral katkı içeren karışımlarda granüle yüksek fırın cürufu ikame oranı artırıldıkça kullanılan su miktarıda arttırılarak kıvam değerlerinin sabit kalması sağlanmıştır.

4.3.3 Kılcal Su Emme Deneyi Sonuçları

Kılcal su emme deneyi Bölüm 3.5’de belirtilen prosedür izlenilerek gerçekleştirilmiştir. Mineral katkılar ile yapılan kılcal su emme deneyinde granüle yüksek fırın cürufunun fibercement levhaların kılcal su emme özelliğine olan etkisi incelenmiştir. Granüle yüksek fırın cürufunun fibercement levhaların kılcal su emme özelliğine olan etkisini incelemek için %10, %20, %30 ve %40 oranında granüle yüksek fırın cürufu %100 diatomit içeren levhalardaki çimento ile ikame edilerek deneyler gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.15 Granüle yüksek fırın cürufunun fibercement levhaların kılcal su emilimine etkisi

○, 10% GYFC; ●, 20% GYFC; □, 30% GYFC; △, 40% GYFC

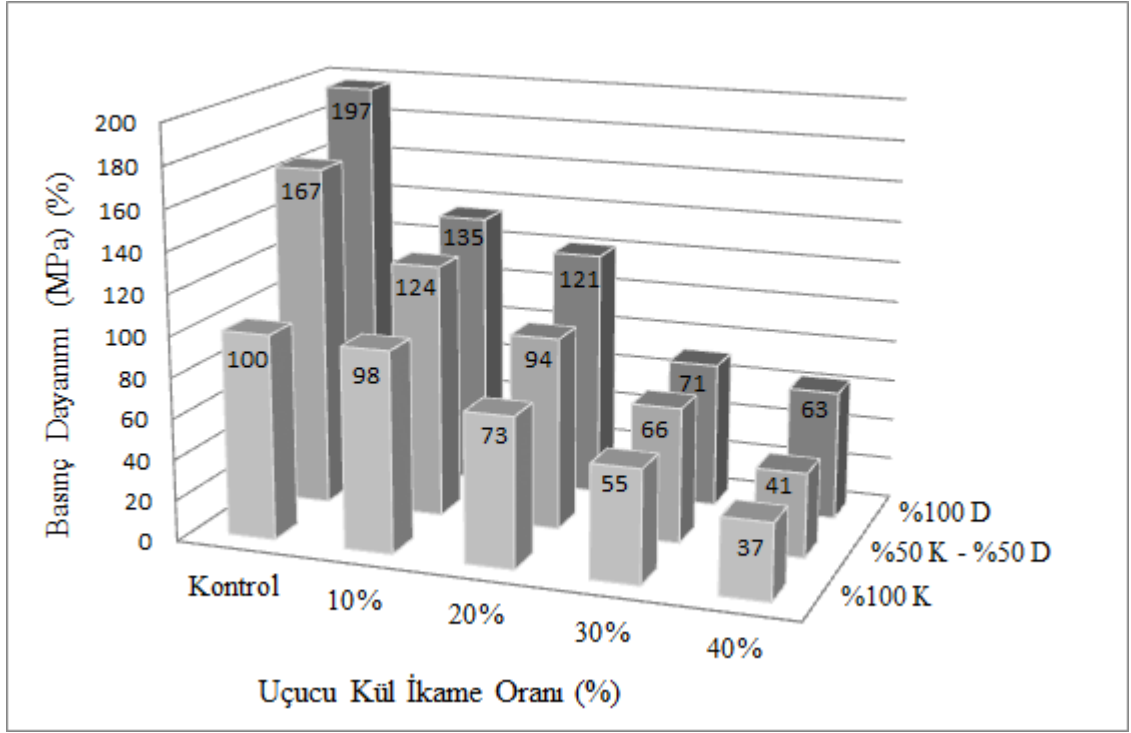
Şekil 4.15’de görüldüğü gibi kullanılan granüle yüksek fırın cürufunun ikame oranının artırılması ile birlikte fibercement levhaların kılcal su emme miktarlarında sistematik bir şekilde azalma gözlemlenmiştir. Bunun nedeni granüle yüksek fırın cürufunu çimentoya kıyasla daha küçük tane boyutuna sahip olması ve bu sebeple fibercement levhalarda daha boşluksuz bir iç yapı oluşturmaktadır.

4.3.4 Uçucu Kül İçeren Fibercement Levhaların Kısa Süreli Basınç Dayanımı Sonuçları

Tezde yapılan çalışmalarda uçucu kül malzemesinin fibercement levhaların dayanıklılık özelliklerine etkisini araştırmak için karışımlarda %10, %20, %30 ve %40 hacim oranında uçucu külü %100 kuvars, %50 kuvars - %50 diatomit ve %100 diatomit içeren levhalarda çimento ile ikame ederek 28. gün basınç dayanımları incelenmiştir.

Çizelge 4.8 Uçucu külün içeren fibercement levhaların basınç dayanımı (MPa)

28. Gün	Kontrol	%10 UK	%20 UK	%30 UK	%40 UK
%100 K	6,1	5,98	4,45	3,35	2,24
%50 K - %50 D	10,16	7,56	5,75	4,04	2,48
%100 D	12	8,25	7,41	4,31	3,85



Şekil 4.16 Uçucu kül içeren fibercement levhaların basınç dayanımlarının karşılaştırılması

(Kontrol: %100 kuvars kumu)

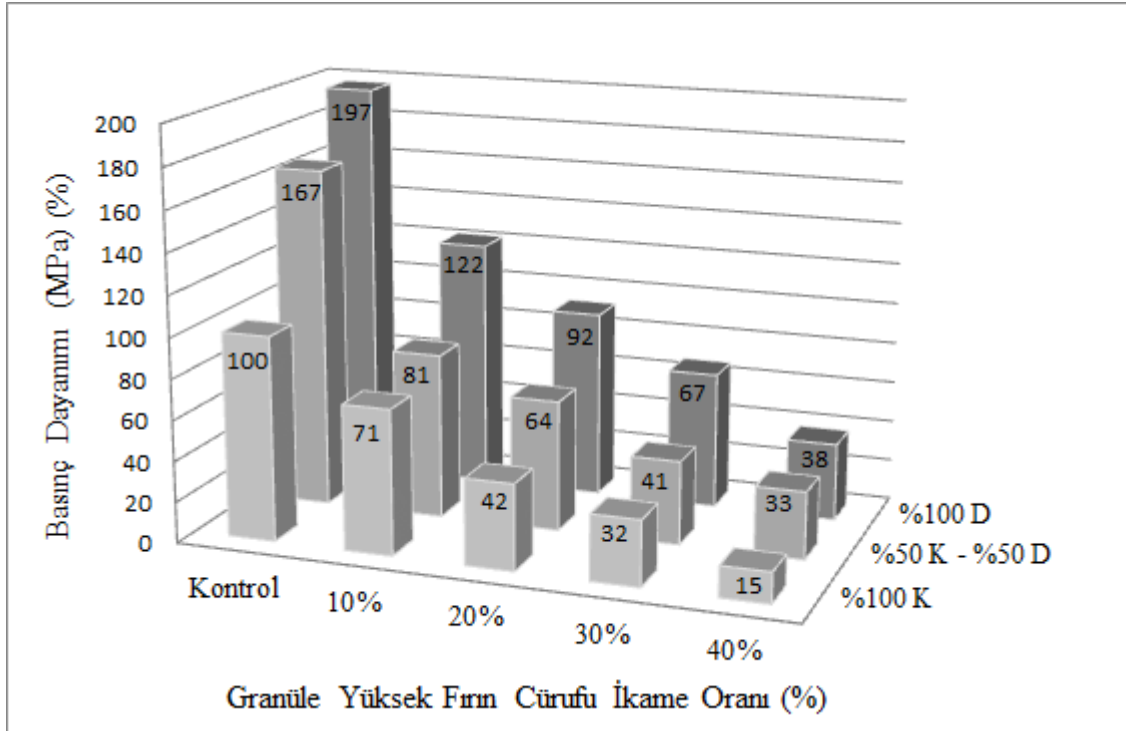
Uçucu kül ile yapılan çalışmalarda uçucu kül ikame oranı artışıyla fibercement levhaların basınç dayanımlarında azalma gözlemlenmiştir. Basınç dayanımındaki düşüş yapılan çalışmalarla uyumluluk sağlamaktadır. Örneğin Bölüm 2’de bahsedilen Koçak vd. yaptıkları çalışmada uçucu külün betonun fiziksel ve mekanik özelliklerine etkisini incelemiş ve uçucu kül kullanımının artışı ile basınç dayanımlarında azalma gözlemlenmişlerdir. Basınç dayanımındaki düşüş inşaat sektöründe bu malzemeyi tercih edenler için eksi bir durum oluşturmalarına rağmen gerçekte uçucu külün betona kattığı diğer özellikler sayesinde bu oranın belli bir seviyeye kadar göz ardı edilmektedir.

4.3.5 Granüle Yüksek Fırın Cürufu İçeren Fibercement Levhaların Kısa Süreli Basınç Dayanımı Sonuçları

Yapılan çalışmalarda %10, %20, %30 ve %40 hacim oranında fırın cürufu %100 kuvars kumu, %50 kuvars kumu - %50 diatomit ve %100 diatomit içeren levhalarda çimento ile ikame edilerek deneyler gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 4.9 Granüle yüksek fırın cürufunun içeren fibercement levhaların basınç dayanımı (MPa)

28. Gün	Kontrol	%10 GYFC	%20 GYFC	%30 GYFC	%40 GYFC
%100 K	6,1	4,34	2,6	1,96	0,94
%50 K - %50 D	10,16	5	3,95	2,13	2,02
%100 D	12	7,43	5,65	4,07	2,34



Şekil 4.17 Granüle yüksek fırın cürufunun fibercement levhaların basınç dayanımına etkisi

Şekil 4.17’de görüldüğü gibi granüle yüksek fırın cürufu ikame oranının artışı ile numunelerin basınç dayanımlarında düşüş gözlemlenmiştir. Basınç dayanımındaki düşüş yapılan literatür araştırmalarıyla uyum sağlamaktadır. Örneğin Bölüm 2’de bahsedilen Subaşı vd. yapmış oldukları çalışmada fırın cürufu kullanım oranının artması ile birlikte basınç dayanımında düşüş yaşanmıştır ve bu sonuç tezde bulunan sonuçlar ile uyum sağlamaktadır. Granüle yüksek fırın cürufunun hidrasyon hızının çimentodan daha yavaş olduğu göz önüne alınarak granüle yüksek fırın cürufu ile oluşturulmuş fibercement levhaların mukavemetini tam anlamıyla kazanması için 28 günden daha fazla zamana ihtiyaç duymaktadır. Mineral katkıların hidrasyon hızı düşük olduğu için

yüksek ikame oranında mineral katkı maddesi kullanımı fibercement levhaların basınç dayanımlarının düşmesine sebep olmuştur.

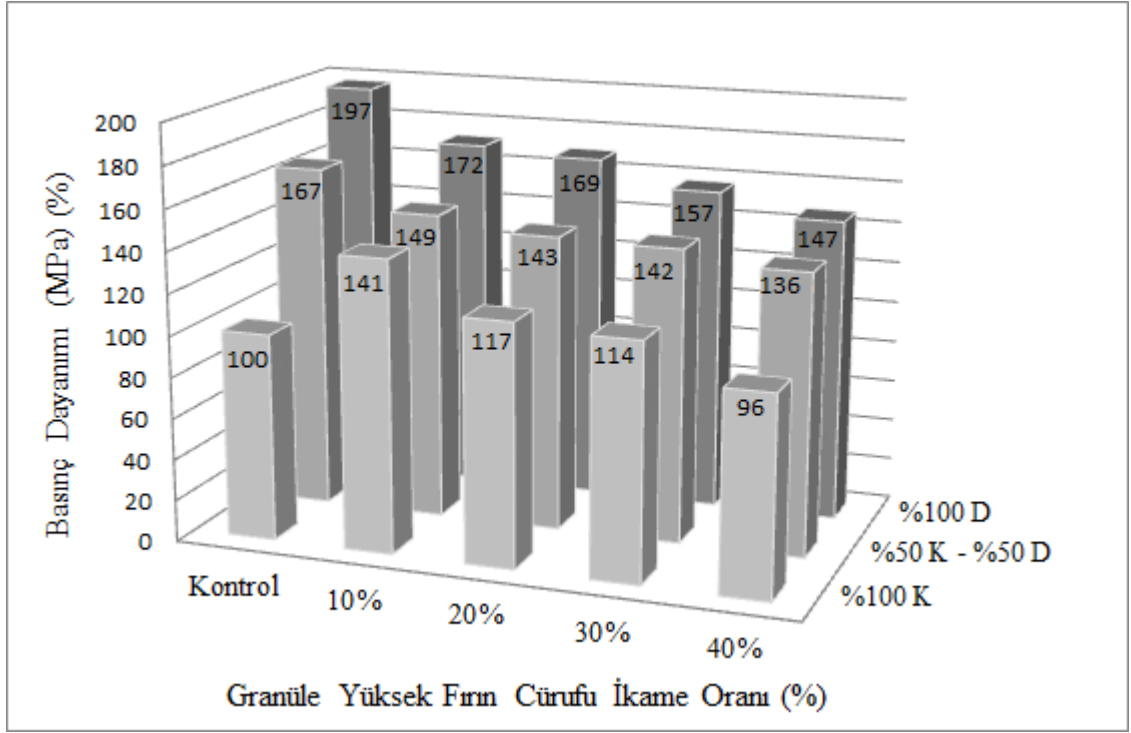
Granüle yüksek fırın cürufunun fibercement levhalardaki mukavemetini kazanmasını incelemek için uzun süreli deneyler gerçekleştirilmesine karar verilmiştir.

4.3.6 Granüle Yüksek Fırın Cürufu İçeren Fibercement Levhaların Uzun Süreli Basınç Dayanımı Sonuçları

Bölüm 4.3.5’de belirtildiği gibi mineral katkı malzemelerinin hidrasyon hızı çimentoya göre daha yavaştır. Kısa vadeli basın dayanımı sonuçlarında görüldüğü gibi mineral katkı maddelerinin fibercement levhaların basınç dayanımı üzerindeki etkisini gözlemlemek için 28 günlük bir süre yeterli olmamaktadır. Bu amaçla mineral katkı maddelerinin fibercement levhaların basınç dayanımı üzerine olan gerçek etkisini incelemek için uzun vadeli deneyler gerçekleştirilmiştir. Yapılan çalışmalarda %10, %20, %30 ve %40 ikame oranında granüle yüksek fırın cürufu ile hazırlanan fibercement levhalar 22°C sıcaklığında su ile kür edilerek 6 ay boyunca basınç dayanımları incelenmiştir.

Çizelge 4.10 Granüle yüksek fırın cürufu içeren fibercement levhalardaki uzun vadeli basınç dayanımı (MPa)

	28. Gün		6. ay	6. ay	6. ay	6. ay
			%10 GYFC	%20 GYFC	%30 GYFC	%40 GYFC
%100 K	6,1		8,63	7,13	7	5,89
%50 K- %50 D	10,15		9,12	8,75	8,68	8,28
%100 D	12		10,5	10,3	9,6	9

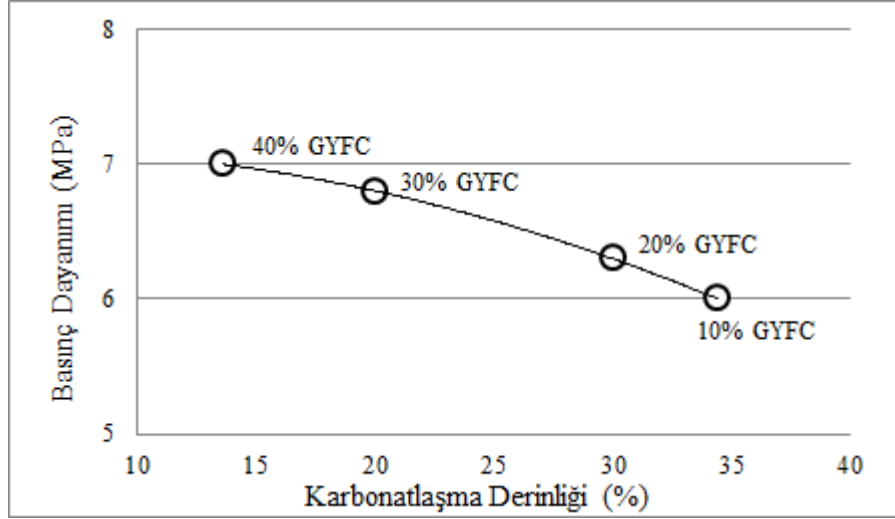


Şekil 4.18 Granüle yüksek fırın cürufunun içeren fibercement levhalardaki uzun vadeli basınç dayanımı

Granüle yüksek fırın cürufu ile hazırlanan fibercement levhaların uzun vadeli basınç dayanımları Şekil 4.18’de gösterilmiştir. İkame oranları arasında karşılaştırma yapıldığı zaman düşük ikame oranında (%10) kullanılan granüle yüksekfırın cürufu ile üretilen fibercement levhalar diğer ikame oranlarına kıyasla daha yüksek basınç dayanımına sahip olmuştur. Daha öncede bahsedildiği gibi mineral katkı maddeleri daha düşük hidratasyon hızına sahip olduklarından, yüksek ikame oranlı granüle yüksek fırın cürufu ile hazırlanan fibercement levhaların hidratasyonlarını tamamlamak için daha fazla süreye ihtiyaç duymaktadırlar. Elde edilen önemli sonuçlardan biri %100 diatomit içeren ve %40 ikame oranında granüle yüksek fırın cürufu ile üretilen fibercement levhaların 6. ay sonundaki basınç dayanımları mevcut %100 kuvars kumu ile üretilen levhalardan %47 oranında daha fazla olmuştur.

4.3.7 Karbonatlaşma Deneyi Sonuçları

Granüle yüksek fırın cürufu ile hazırlanan fibercement levhaların durabilitesi ayrıca karbonatlaşma deneyi uygulanarak incelenmiştir. Karbonatlaşma derinliği Bölüm 3.7’ de belirtilen prosedür izlenilerek gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.19 Karbotlaşma derinliği ile basınç dayanımı arasındaki ilişki

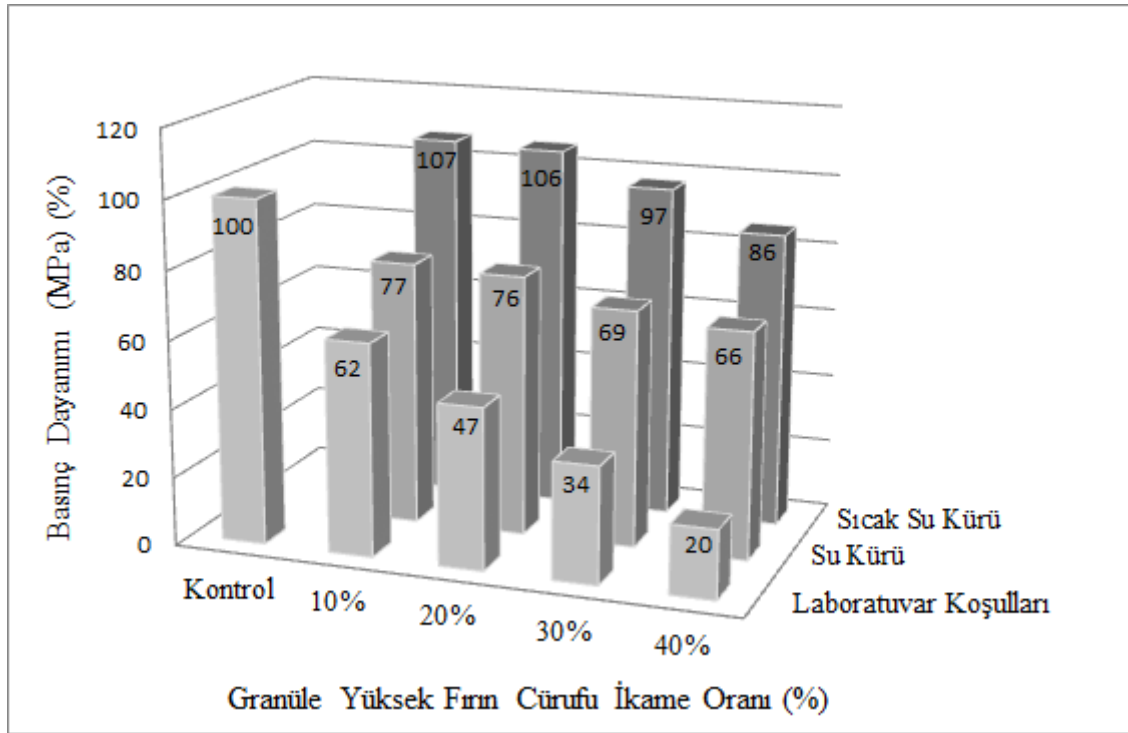
Şekil 4.19’da görüldüğü gibi kullanılan granüle yüksek fırın cürufun ikame oranının artışıyla birlikte fibercement levhalarında karbonatlaşma derinliği azalmıştır. Sonuçlarda ayrıca granüle fırın cürufu ikame oranının artırılmasıyla fibercement levhalarındaki basınç dayanımı düşüşü daha az miktarda olmuştur. Bu sonuç granüle yüksek fırın cürufu ile hazırlanan fibercement levhaların sadece çimento ile hazırlanan levhalara oranla karbonatlaşmaya karşı daha dirençli olduğunu göstermiştir.

4.3.8 Kür Şartlarının Fibercement Levhaların Basınç Dayanımına Etkisi

Mineral katkı malzemelerinin çimentoya kıyasla hidrasyon hızının düşük olduğu göz önünde bulundurarak, kür şartlarının fibercement levhaların mekanik özellikleri üzerindeki etkisini incelemek büyük önem taşımaktadır. %10, %20, %30 ve %40 ikame oranında granüle yüksek fırın cürufu içeren fibercement levhalar üç farklı kür ortamında tutulmuştur. İlk set numuneler normal laboratuvar koşulları olan 22°C’de, ikinci set numuneler normal oda koşullarındaki 22°C su kürü ortamında ve üçüncü set numuneler 40°C deki sıcak kür ortamında tutularak 28. gün sonunda basınç dayanım deneyleri gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 4.11 Farklı kür şartlarının fibercement levhaların basınç dayanımına etkisi (MPa)

%100 D	Kontrol	%10 GYFC	%20 GYFC	%30 GYFC	%40 GYFC
Normal Laboratuvar koşulları	12	7.43	5.65	4.07	2.34
Su kürü (22°C)		9.25	9.08	8.32	7.95
Sıcak su kürü(40°C)		12.78	12.66	11.67	10.3



Şekil 4.20 Kür şartlarının fibercement levhaların basınç dayanımına etkisi
(Kontrol %100 Diatomit)

Sonuçlarda görüldüğü gibi 40°C deki kür altında tutulan fibercement levhaların 28. gün basınç dayanımı diğer koşullara göre daha yüksek ve normal laboratuvar ortamında bekletilen levhaların basınç dayanımı üç koşuldan en düşük dayanımı veren olmuştur. Laboratuvar koşullarında tutulan numunelerde basınç dayanımının düşük olmasının nedeni hidrasyon reaksiyonu için gereken su miktarının yüzeylerden buharlaşarak kaybolmasıdır. Açık havaya maruz kalan numunelerin yüzeylerinden su buharlaşarak numunede hidrasyon için gereken su miktarının azalmasına ve numunenin basınç dayanımını doğrudan etkileyen çatlakların oluşmasına neden olur. Kür ortamında

bulunan numunelerde ise hidrasyon reaksiyonun gerçekleştiği sırada gerekli olan suyu numune yüzeylerinden temin edebildiği ve buharlaşma olmamasından dolayı çatlak oluşumu önlenir ve numunenin basınç dayanımında olumlu etkiler gözlenir. Sıcak kr uygulanan numunelerde basınç dayanımının normal küre oranla yüksek çıkmasının nedeni ise normal sıcaklıktaki kr ortamının sağladığı avantajların yanında hidrasyon reaksiyonun sıcaklık ile daha hızlı bir şekilde gerçekleşerek numunenin mukavemetini erken kazanmasına yardımcı olmasıdır.

BÖLÜM 5

SONUÇ

Fibercement karışımlarının ve özelliklerinin iyileştirilmesi amacıyla yapılan çalışmalarda inert malzeme olarak diatomit ve kuvars kumu, lif olarak selüloz ve polipropilen lif ve kimyasal katkı maddeleri olarak ise granüle yüksek fırın cürufu ve uçucu kül kullanılarak fibercement levhalar üzerinde kütle ölçümü, kıvam, kılcal su emme, basınç dayanımı, eğilme dayanımı ve karbonatlaşma deneyleri gerçekleştirilmiştir.

Mevcut üretilen fibercement levhalarda kuvars kumu ile üretilmektedir, dolayısıyla farklı özellikte bir malzeme olarak seçilen diatomitin fibercement levhaların mekanik özellikleri ve durabilitesi üzerindeki etkisini araştırmak önemlidir. Yapılan çalışmalar sonucunda diatomit ikame oranının artırılmasıyla fibercement levhaların kütlelerinde %19.31 oranında azalma sağlanmıştır ve bu durum diatomitin yoğunluğunun kuvars kumundan daha düşük olmasından kaynaklanmaktadır. Yapılan çalışmalarda ayrıca diatomit ikame oranının artışıyla fibercement levhaların daha yoğun ve homojen bir iç yapıya sahip olmasını sağlanarak basınç dayanımlarında %96.72 oranında, eğilme dayanımında ise %43.48 oranında artış sağlanmıştır. Ayrıca diatomit, fibercement levhaların kılcal su emme miktarında azaltarak dış cephelerde kullanılan levhalar için önemli bir malzeme olduğunu göstermiştir.

Selüloz ve polipropilen liflerin fibercement karışımlarının özelliklerine etkisini incelemek amacıyla yapılan çalışmalarda lif miktarının artırılmasıyla fibercement levhaların basınç dayanımlarında artış görülmüştür. Basınç dayanımı değerleri karşılaştırıldığında en yüksek basınç dayanımını diatomitin selüloz lifle ve kuvars kumunun ise polipropilen lifle oluşturduğu kombinasyonlarda görülmesi lif ile yapılan çalışmalarda bulunan en önemli sonuçlardan biri olmuştur. Ayrıca selüloz ve

polipropilen lif içeren fibercement levhalarla gerçekleştirilen kılcal su emme deneyi sonucunda selüloz lif içeren fibercement levhaların su emme miktarı polipropilen lif içeren fibercement levhalara kıyasla daha az olduğu sonucuna varılmıştır.

Mineral katkıların fibercement karışımlarının özelliklerine etkilerini incelemek amacıyla yapılan çalışmalarda granüle yüksek fırın cürufu ve uçucu kül kullanılmış ve mineral katkıların ikame oranının artışıyla fibercement levhaların basınç dayanımlarında azalma gözlemlenmiştir. Mineral katkı maddeleri daha düşük hidratasyon hızına sahip olduklarından, mineral katkı ile hazırlanan fibercement levhalar hidratasyonlarını tamamlamak için daha fazla süreye ihtiyaç duymaktadır. Bu nedenle gerçekleştirilen uzun süreli basınç dayanımı deneyleri sonucunda %100 kuvars kumu yerine %100 diatomit ve %40 ikame oranında granüle yüksek fırın cürufu kullanıldığında 6.ay sonunda basınç dayanımında %47 oranında artış sağlanmıştır. Bu sonuç fibercement levhaların dayanıklılığının basınç dayanımında azalma olmadan artırılmasının mümkün olduğunu göstermiştir. Mineral katkıları ile yapılan karbonatlaşma deneyi sonucunda ise granüle yüksek fırın cürufu ikame oranının artışıyla fibercement levhaların karbonatlaşma derinliğinde azalma ve levhaların dayanımlarında artış sağlanarak fibercement levhalarda mineral katkı kullanımının önemini göstermiştir. En son olarak kür şartlarının yüksek fırın cürufu içeren fibercement levhaların basınç dayanımı üzerindeki etkisini incelemek için yapılan çalışmalarda sıcak su (%40°C) ortamında kür edilen numunelerin nihai mukavemetini daha hızlı kazandığı sonucuna varılmıştır.

Sonuç olarak diatomit kullanarak daha hafif, daha dayanıklı ve yüksek mukavemetli levhalar üretilebileceği ve bunun yanında mineral katkıları kullanılarak daha dayanıklı ve sürdürülebilir yapı malzemesi üretimi için pratik sonuçlar elde edilebileceği görülmüştür.

KAYNAKLAR

- [1] Saunders, A. ve Davidson, E. Global Cement Magazine <http://www.globalcement.com/magazine/articles/825-cement-boards-101>, 12 Kasım 2014
- [2] Mekan prefabrik, <http://www.mekanprefabrik.com/fibercement-hakkinda>, 14 Kasım 2014
- [3] Moslemi, A., (2008). “Technology and Market Considerations For Fiber Cement Composites”, 11th Int. Inorganic-Bonded Fiber Composite Conference, November 5-7, Madrid - Spain
- [4] Çağdaş Konut, <http://www.cagdaskonut.com/tr/fibercement.aspx>, 22 Kasım 2014
- [5] Özgür, E. ve Özgür, O., (2006). “The Turkish Fiber-cement Market From The 1950's To 2010”, 10th Int. Inorganic-Bonded Fiber Composite Conference, November 15-18, São Paulo – Brazil
- [6] The Global Fiber Cement Industry Report 2014 <http://www.businesswire.com/news/home/20141118006136/en/Research-Markets-Global-Fiber-Cement-Industry-Report#.VLJ6qSvz0wA>, 5 Aralık 2014
- [7] Hekim Yapı Endüstrisi Samayî ve Ticaret A.Ş., <http://www.hekimyapi.com/kurumsal>, 7 Aralık 2014
- [8] Tepe Betopan Yapı Malzemeleri San. ve Tic. A.Ş., <http://www.betopan.com.tr>, 11 Aralık 2014
- [9] Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Raporu, Endüstriyel Hammaddeler Alt Komisyonu Toprak Sanayii Hammaddeleri III (Kuvars kumu-Kuvarsit-Kuvars) Çalışma Grubu Raporu, Ankara 2001
- [10] Aydınlar Madencilik, <http://www.aydinlarmadencilik.com.tr/urunler/sanayi-kumlari/kuvars.html>, 22 Aralık 2014
- [11] Quanbing, Y., Shuqing, Z., Shiyuan Huang ve Yaohui, H., (2000). “Effect of ground quartz sand on properties of high-strength concrete in the steam-autoclaved curing”, Cement and Concrete Research 30.

- [12] Yanyan, H., Tingshu, H. ve Xianzhe Z., (2014). "Effect of ground quartz sand and ground granulated blast-furnace slag on properties of high-strength concrete in the steam and autoclaved curing", Advanced Materials Research; Issue 1033-1036 : p878.
- [13] Özbey, G. ve Atamer, N., Kizelgur (Diatomit) Hakkında Bazı Bilgiler.
- [14] Çetin, M., (2012). Biyolojik Orijinli Tek Doğal Mineral: Diyatomit, Tünav Bilim Dergisi, 5(2) : 28-46.
- [15] Özbey, G., Atamer, N., (1987). "Kizelgur (Diatomit) Hakkında Bazı Bilgiler", 10. Türkiye Madencilik Bilimsel Teknik Kongresi, Ankara, 493-502.
- [16] Önem, Y., (2000). Sanayi Hammaddeleri, Kozan Ofset, Ankara.
- [17] Köktürk, U., (1997). Endüstriyel Hammaddeler, Dokuz Eylül Üniversitesi Yayınları, No : 205, İzmir.
- [18] Temur, S., (2007). Endüstriyel Hammaddeler, Çizgi Kitabevi, Konya.
- [19] Uygun, A., (1976). "Diatomit, Jeolojisi ve Yararlanma Olanakları", Madencilik, 15 : 31-38.
- [20] Mete, Z., (1985). "Kütahya Alayunt yöresi diatomit yataklarının izole tuğla yapımında kullanılabilirliğinin araştırılması", Seramik Teknik Kongresi, Ankara, 253-263.
- [21] DPT, Asbest, Bentonit, Fluorit, Diatomit (Kizelgur), Kalsit, Kıymetli ve Yarı-Kıymetli Taşlar (Süs Taşları), Lityum, Titanyum, Zirkonyum ve Hafniyum, 7. Beş Yıllık Kalkınma Planı, Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Raporu, Cilt-2, DPT : 2421 - ÖİK: 480, Ankara, (1996).
- [20] Uygun, A., (1976). "Hırka (Kayseri) Diyatomit Yatağının Jeokimyası ve Oluşumu", Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni, 19 : 127-132.
- [21] Gabriel, M., Malecha, A., Kartal, G. ve Özer, H., (1979). "Diatomite deposits near Belisırma and İhlara Turkey", Geocome-I First Geological Congress of the Middle East, 621-636.
- [22] Gabriel, M. ve Malecha, A., (1972). "Survey of Czechoslovakia", VV, G, Praha, Turkey, 1 : 621-637.
- [23] Sıvacı, R. ve Dere, Ş., (2006). "Melendiz Çayı'nın (Aksaray-İhlara) Epipelik Diyatome Florasının Mevsimsel Değişimi", C.Ü. Fen-Edebiyat Fakültesi Fen Bilimleri Dergisi, 27(1) : 1-12.
- [24] Türkiye Diatomit Envanteri, M.T.A. Enstitüsü, No. 138, Ankara, (1968).
- [25] Aruntaş, H.Y., Albayrak, M., Saka, H.A. ve Tokyay, M., (1998). "Ankara-Kızılcahamam ve Çankırı-Çerkeş Yöresi Diyatomitlerinin Özelliklerinin Araştırılması", Turkish Journal of Engineering and Environmental Science, 22(4) : 337-343.
- [26] Bentli, İ., (2002). "Kütahya-Alayunt diatomit cevherinin zenginleştirilmesinin araştırılması", 4.Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, İzmir, 121-126.
- [27] Bentli, İ., Ediz, N. ve Tatar, İ., (2004). "Beneficiation of Kütahya-Alayunt diatomite by calcination", 10th International Mineral Processing Symposium, İzmir, 183-189.

- [28] Ediz, N., Tatar, İ. ve Bentli, İ., (2005). “The use of raw and calcined diatomite in art-tile bodies”, Turkey 19th International Mining Congress, 259-262.
- [29] Yıldız, A., (1997). Seydiler (Afyon) diyatomit cevherinin jeolojisi ve izolasyon tuğlası olarak kullanılabilirliğinin araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, AKU Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [30] Bentli, İ., (2010). “Kütahya-Alayunt Diyatomit Cevherindeki Safsızlıkların Hidrosiklon ve Kalsinasyonla Giderilmesi”, Madencilik, 49(3) : 13-21.
- [31] Yılmaz, B., Ediz, N. ve Bentli, İ., (2006). “Kütahya-Alanyurt Bölgesi Killi Diyatomitlerin Çimento Üretiminde Kullanılabilirliğinin Araştırılması”, Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 12, ISSN 1302 - 3055.
- [32] Ünal, O. ve Uygunoğlu, T., (2007) Diyatomitin Hafif Beton Üretiminde Kullanılması, İMO Teknik Dergi, 4025 - 4034, Yazı 266
- [33] Değirmenci, N. ve Yılmaz, A., (2009). “Use of diatomite as partial replacement for Portland cement in cement mortars”, Construction and Building Materials 23, 284-288
- [34] Senff, L., Hotza, D. ve Labrincha, J. A., (2011). “Effect of diatomite addition on fresh and hardened properties of mortars investigated through mixture experiments”, Advances in Applied Ceramics, 110(3) : 142-150.
- [35] Kapkaç, F., Çimento Çeşitler, Özellikleri, Hammaddeleri ve Üretim, http://www.mta.gov.tr/v2.0/birimler/redaksiyon/ekonomi-bultenleri/2012_16/223.pdf
- [36] Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği, <http://www.tcma.org.tr/>, 8 Ocak 2015
- [37] Adana Çimento, <http://www.adanacimento.com.tr/tr/urunler/cimento>, 10 Ocak 2015
- [38] Bilim, C. ve Atış, C. D., Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, KAYSERİ, Öğütülmüş Granüle Yüksek Fırın Cürufu İçeren Harçların Aşınma ve Mukavemet Özellikleri.
- [39] <http://www.academia.edu> - Yüksek fırın cürufu ve betonda kullanımı ile ilgili özellikler
- [40] Bolu Çimento, <http://www.bolucimento.com.tr/tr/>, 15 Ocak 2015
- [41] Bilgen, G. Kavak, A., Yıldırım, S. T. ve Çapar, Ö. F. (2010), “Yüksek Fırın Cürufunun İnşaat Sektöründeki Yeri ve Önemi”, UKAY.
- [42] Okyay, Ö. “Yüksek Dayanım ve Yüksek Performanslı Betonlarda Yüksek Fırın Cürufu Kullanımı”.
- [43] Barnett, S. J., Soutsos, M. N., Millard, S. G. ve Bungey, J. H., (2006). “Strength development of mortars containing ground granulated blast-furnace slag: Effect of curing temperature and determination of apparent activation energies”, Cement and Concrete Research 36 : 434 - 440.
- [44] Dubey, A., Dr. Chandak, R. ve Prof. Yadav, R. K. (2012).” Effect of blast furnace slag powder on compressive strength of concrete”, International Journal of Scientific & Engineering Research 3(8), ISSN 2229 - 5518

- [45] Arivalagan, S., Professor ve HoD, Department of Civil Engineering, Educational and Research Institute, Dr.M.G.R. University, Chennai, Tamil Nadu, India, (2014). "Sustainable Studies on Concrete with GGBS As a Replacement Material in Cement", Jordan Journal of Civil Engineering, 8(3).
- [46] Güler, G., Güler, E., İpekoğlu, Ü. ve Mordoğan, H., (2005). "Uçucu Küllerin Özellikleri ve Kullanım Alanları", Türkiye 19. Uluslararası Madencilik Kongresi ve Fuarı, IMCET2Q05. izmir. Türkiye.
- [47] Türker, P., Erdoğan, B., Kantaş, F. ve Yeğinoğlu, A. "Türkiye'deki Uçucu Küllerin Sınıflandırılması ve Özellikleri"
- [48] ASTM C618, (1998). Standart Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use as a Mineral Admixture in Concrete, Annual Book of ASTM Standards, No. 4.
- [49] TS EN 197-1, (2002). Çimento-Bölüm 1: Genel Çimentolar-Bileşim, Özellikler ve Uygunluk Kriterleri, Türk Standartları Enstitüsü.
- [50] RILEM Committee 73-SCB : Final Report on Siliceous by-products for Use in Concrete, Materials and Structures, 21(121) : 69-80.
- [51] Thomas, M. Ph.D., P.Eng., Professor of Civil Engineering, University of New Brunswick, "Optimizing the Use of Fly Ash in Concrete".
- [52] Aruntaş, H. Y., "Uçucu küllerin İnşaat Sektöründe Kullanım Potansiyeli".
- [53] National Precast Concrete Association, <http://precast.org/2010/05/using-fly-ash-in-concrete/>, 24 Ocak 2015
- [54] Topçu, İ. B. ve Canbaz, M., (2001). "Uçucu Kül Kullanımının Betondaki Etkileri", Osmangazi Üniversitesi Müh.Mim.Fak.Dergisi 14(2).
- [55] Aruntaş, H. Y., (2006). "Uçucu Küllerin İnşaat Sektöründe Kullanım Potansiyeli", Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der., 21(1) : 193-203.
- [56] Subaşı, S., Kap, T., Beycioğlu, A. ve Çullu, M. "Uçucu Kül Katkı Miktarının Beton İşlenebilirliği ve Sertleşme Sürelerine Olan Etkisi".
- [57] Koçak, Y., Subaşı, S. ve Emiroğlu, M. (2011). "Uçucu Külün Betonun Bazı Fiziksel ve Mekanik Özelliklerine Etkisi", Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi, 7(1) : 14-27.
- [58] <http://www.ce.berkeley.edu/~paulmont/241/fibers.pdf>, 2 Şubat 2015
- [59] Textile and Apparel, <http://www.textil-g.com/dogal-lifler-natural-fibers>, 2 Şubat 2015
- [60] Multiform Systems, <http://www.multiform.co.nz/Background.pdf>, 2 Şubat 2015
- [61] Bulut, Y. ve Erdoğan, Ü. H., (2011). "Selüloz Esaslı Doğal Liflerin Kompozit Üretiminde Takviye Materyali Olarak Kullanımı", TMMOB Tekstil Mühendisleri Odası, Tekstil ve Mühendis, 82.
- [62] Bentchikou, M., Guidoum, A., Scrivener, K., Silhadi, K. ve Hanini, S., (2012). "Effect of Recycled Cellulose Fibres on the Properties of Lightweight Cement Composite Matrix", Construction And Building Materials, 34 : 451-456.

- [63] Bentchikou, M., Guidoum, A., Scrivener, K. L., Silhadi, K. ve Hanini, S. “Effect of Cellulose Fibre on the Thermal and Mechanical Properties of Cement Paste”.
- [64] Mello, E., Ribellato, C. ve Mohamedelhassan, E. (2014). “Improving Concrete Properties with Fibers Addition World Academy of Science”, Engineering and Technology, International Journal of Civil, Architectural, Structural and Construction Engineering 8(3).
- [65] Textile Learner, <http://textilelearner.blogspot.com.tr/2013/01/polypropylene-fiber-and-its.html>, 5 Şubat 2015
- [66] Saeed, A., Imran A. B., Javed I. S. ve Shahzad, A. Q., (2006). “A Study on Properties of Polyprohylene Fiber Reinforced Concrete”, 31st Conference on OUR WORLD IN CONCRETE & STRUCTURES: 16 - 17 August, Singapore.
- [67] MR. Patel, M. J. ve MRS. Kulkarni, S. M. “Effect of Polypropophylene Fibre on High Strength Concrete”, Journal of Information, Knowledge and Research in Civil Engineering.
- [68] Akçelik Madencilik, <http://www.akcelikmadencilik.com>, 10 Şubat 2015
- [69] Diyatomit – Madencilik Rehberi
- [70] TS EN 197-1 (2002), “Genel çimentolar-Bileşim, özellikler ve uygunluk kriterleri”
- [71] Univar, <http://www.univar.com/>, 16 Şubat 2015
- [72] İstanbul Teknik, <http://istanbulteknik.com/UrunDetay.aspx?ID=21>, 18 Şubat 2015
- [73] Erdemir Grubu, http://www.erdemir.com.tr/Sites/1/upload/files/Erdemir_Grubu_Turkce_urun_katalogu_2015-260-45.pdf, 25 Şubat 2015
- [74] Tunç Kül, <http://www.tunckulcimento.com.tr/index.html>, 25 Şubat 2015
- [75] BS EN 1015-2 (1999), “Methods of test for mortar for masonry. Bulk sampling of mortars and preparation of test mortars”
- [76] BS EN 197-1 (2011), “Cement. Composition, specifications and comformity criteria for common cements”
- [77] BS EN 196-3 (1995), “Methods of testing cement. Determination of setting time and soundness”

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : BERKAY ZAFER ERDEM
Doğum Tarihi ve Yeri : 17/07/1989 KADIKÖY
Yabancı Dili : İNGİLİZCE, RUSÇA, JAPONCA
E-posta : berkayzafererdem@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Y. Lisans	Yapı	Yıldız Teknik Üniversitesi	2015
	İnşaat Projeleri Yönetimi	İstanbul Teknik Üniversitesi	2015 - 2016
Lisans	İnşaat Mühendisliği	Yeditepe Üniversitesi	2013
Lise	Bandırma K.E.V Özel Lisesi		2008

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2013- 2015	Yeditepe Üniversitesi	Araştırma Görevlisi
2012	Ağaoğlu İnşaat Ltd. Şti.	Stajyer
2011	Ulaştırma Bakanlığı Dlh Marmaray Bölge Müdürlüğü (Marmaray Projesi)	Stajyer

YAYINLARI

Bildiri

1. İnce, C., Erdem, B. Z., Derogar, S. ve Yüzer, N. (2014, Ağustos). The Influence of Using Diatomite as a Replacement Material to Quartz on the Fresh and Hardened Properties of Fibre Cement Plates. 39th Conference on Our World in Concrete & Structures, (pp. 295-303).
2. İnce, C., Erdem, B. Z., Derogar, S. ve Yüzer, N. (2015, Ağustos). The Effects of SCMs on the Mechanical Properties and Durability of Fibre Cement Plates. ICCCE 2015: 17th International Conference on Civil and Construction Engineering.
3. İnce, C., Hatipoğlu, Y. S., Derogar, S., Erdem, B.Z. ve Toklu, Y.C, ‘The effects of zeolite and Bayburt stones on the fresh and hardened properties of hydrated lime mortars’ 2nd International Conference on Protection of Historical Constructions. 7-9 May 2014, Antalya, Turkey.
4. İnce, C., Hatipoğlu, Y. S., Oktay, I., Yücel, M. E., Erdem, B.Z., Derogar, S. ve Toklu, Y.C., ‘The influence of zeolite and powdered bayburt stones on transfer sorptivity and time taken to dewater freshly mixed hydrated lime mortars’ International Civil Engineering Symposium for Academicians. 17-20 May 2014, Antalya, Turkey.

Proje

1. Erdem, B.Z, “Manipulating the fresh and hardened state properties of lime mortars” Undergraduate Final Year Thesis, Civil Engineering Department, Faculty of Engineering and Architecture, Yeditepe University, June 2013.