

**T.C.
ADYAMAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**LİF KATKILI HARÇLARIN FİZİKSEL, MEKANİK VE
DURABİLİTE ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

HÜSEYİN BORAN

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ADYAMAN, 2020

**T.C.
ADYAMAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**LİF KATKILI HARÇLARIN FİZİKSEL MEKANİK VE DURABİLİTE
ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

Hüseyin BORAN

Yüksek Lisans Tezi

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yapı Malzemesi Bilim Dalı

Bu tez 02/07/2020 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri tarafından oybirliği/oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Osman GÜNAYDIN
Danışman

Dr. Öğr. Üyesi İsmail ÜNSAL
Üye

Prof. Dr. Murat ÖRNEK
Üye

Doç. Dr. Tayfun SERVİ
Enstitü Müdür V.

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunu'ndaki hükümlere tabidir.

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

LİF KATKILI HARÇLARIN FİZİKSEL, MEKANİK VE DURABİLİTE ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Hüseyin BORAN

Adıyaman Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman : Prof. Dr. Osman GÜNAYDIN
Yıl : 2020, Sayfa sayısı: 58

Jüri : Prof. Dr. Osman GÜNAYDIN
Dr. Öğr. Üyesi İsmail ÜNSAL
Prof. Dr. Murat ÖRNEK

Çimento ile su karışımına çimento hamuru, oluşan bu karışıma ince agrega katılarak elde edilen karışıma da harç denilmektedir. Bu tez çalışmasında, standart kum yerine ağırlıkça metakaolin ve yüksek fırın cürufu %10, 20 ve 30 oranlarında, bazalt lif ise çimento ağırlığının %1 oranında kullanılmıştır. Elde edilen harç numunelerin fiziksel özelliklerini belirlemek için ultrases geçiş hızı deneyi, mekanik özelliklerinin belirlenmesi için basınç dayanımı ve eğilme dayanımı deneyi uygulanmıştır. Ayrıca durabilite özelliklerini belirlemek için rötren deneyi, elektriksel özdirenç deneyi ve sodyum sülfat deneyi uygulanmıştır. Sonuç olarak, üretilen numunelerin fiziksel, mekanik ve durabilite özellikleri incelendiğinde şahit numuneye oranla %10 metakaolin katkıli harç numunesi ile %30 yüksek fırın cürufu katkıli harç numunesinde daha iyi değerler elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Harç; Metakaolin; Yüksek Fırın Cürufu; Bazalt Lif

ABSTRACT

MSc Thesis

EXAMINATION OF PHYSICAL, MECHANICAL AND DURABILITY PROPERTIES OF FIBER REINFORCED MORTARS

Hüseyin BORAN

Adiyaman University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Civil Engineering

Supervisor : Prof. Dr. Osman GUNAYDIN
Year : 2020 , Number of pages: 58

Jury : Prof. Dr. Osman GUNAYDIN
Asst. Prof. Dr. Ismail UNSAL
Prof. Dr. Murat ORNEK

The mixture of cement and water is called cement paste and the mixture obtained by adding fine aggregate to this mixture is also called mortar. In this thesis, instead of standard sand, metakaolin and blast furnace slag were used at 10, 20 and 30% by weight and basalt fiber was used at 1% of cement weight. To determine the physical properties of the obtained mortar samples, ultrasound transition rate test was applied, compressive strength and bending strength test was applied for determination of mechanical properties. In addition, drying shrinkage test, electrical resistivity test and sodium sulfate test were applied to determine the properties of durability. As a result, when the produced samples for physical, mechanical and durability properties are examined, 10% samples of mortar with metakaolin and 30% blast furnace slag mortar samples were obtained in better values than the control samples.

Key Words: Mortar; Metakaolin; Blast Furtune Slag; Basalt Fiber

BEYAN

“Lif Katkılı Harçların Fiziksel, Mekanik ve Durabilite Özelliklerinin İncelenmesi” başlıklı tezimde çalışmaların tamamen akademik kurallara ve etik değerlere sadık kalınarak yürütüldüğünü ve yazımda yararlandığım eserlerin kaynakçada gösterilenlerden oluştuğunu ayrıca alıntılardan bilimsel etiğe uygun atıf yaparak yararlanmış olduğumu beyan ederim.

Hüseyin BORAN

imza

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasında, ders aşamasında, deneylerin yapımı, sonuçların değerlendirilmesi ve yazım aşamasında yapmıő olduğu büyük katkılardan dolayı tez danıőmanım Sayın Prof. Dr. Osman GÜNAYDIN'a her konuda yardımını esirgemeyen Sayın Dr. Kadir GÜÇLÜER'e teşekkür ederim.

Çalıőmalarım boyunca maddi ve manevi destekleriyle beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan aileme ve değerli arkadaőlarıma teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	I
ABSTRACT.....	II
BEYAN.....	III
TEŞEKKÜR.....	IV
İÇİNDEKİLER	V
ÇİZELGELER DİZİNİ	VII
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	VIII
RESİMLER DİZİNİ.....	IX
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	X
1. GİRİŞ	1
2. BETON	3
2.1. HARÇ.....	3
2.2. KATKI MADDELERİ.....	4
2.2.1. MİNERAL KATKI MADDELERİ.....	5
2.2.1.1. Doğal Mineral Katkılar	7
2.2.1.2. Yapay Mineral Katkılar.....	7
2.3. METAKAOLİN	9
2.3.1. Kaolin.....	9
2.3.2. Metakaolin.....	10
2.4. YÜKSEK FIRIN CÜRUFU	12
2.5. LİF.....	16
2.5.1. Bazalt Lif.....	19
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	22
3.1. MATERYAL.....	22
3.1.1. Çimento	22
3.1.2. Bazalt Lif.....	23
3.1.3. Standart Kum.....	23
3.1.4. Su.....	24
3.1.5. Metakaolin.....	24
3.1.6. Yüksek Fırın Cüruf.....	25
3.2. YÖNTEM.....	26
3.2.1. HARÇ.....	26

3.2.1.1. Harcın Bileşimi	26
3.2.1.2. Harcın Karıştırılması	27
3.2.1.3. Harcın Numune Kalıplarına Konulması ve Sökülmesi	27
3.2.1.4. Harç Numunelerinin Kür Aşaması	28
3.2.2. Ultrases Geçiş Hızı Deneyi	28
3.2.3. Basınç Dayanımı Deneyi	29
3.2.4. Eğilme Dayanımı Deneyi	30
3.2.5. Rötire Deneyi	31
3.2.6. Elektriksel Özdirenç Deneyi	33
3.2.7. Sodyum Sülfat Deneyi	34
4. BULGULAR ve TARTIŞMA	39
4.1. Ultrases Geçiş Hızı Bulguları	39
4.2. Basınç Dayanımı Bulguları	41
4.3. Eğilme Dayanımı Bulguları	43
4.4. Rötire Deneyi Bulguları	45
4.5. Elektriksel Özdirenç Deneyi Bulguları	46
4.6. Sodyum Sülfat Deneyi Bulguları	49
5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER	51
KAYNAKLAR	53
KİŞİSEL BİLGİLER	58

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1 Özelliklerine göre harçların sınıflandırılması [5]	4
Çizelge 3.1 Çimentonun kimyasal bileşimi	22
Çizelge 3.2 Çimentonun fiziksel özellikleri.....	22
Çizelge 3.3 Bazalt lif katkının teknik özellikleri	23
Çizelge 3.4 CEN referans kumu tanecik büyüklüğü dağılımı [49].....	24
Çizelge 3.5 Metakaolin kimyasal bileşeni	25
Çizelge 3.6 Metakaolinin fiziksel özellikleri	25
Çizelge 3.7 YFC kimyasal bileşeni.....	25
Çizelge 3.8 YFC fiziksel özellikleri.....	25
Çizelge 3.9 Harç karışımındaki malzeme miktarları (g).....	27
Çizelge 4.1 Sodyum sülfat don kaybı deneyi sonuçları	49
Çizelge 4.2 Sodyum sülfat basınç dayanımı deneyi sonuçları.....	49

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1 Metakaolin mineralinin SEM görüntüleri [13]	11
Şekil 2.2 Yüksek fırın şeması [18].....	14
Şekil 4.1 Şahit- MK ultrases geçiş hızları değerleri.....	39
Şekil 4.2 Şahit – YFC ultrases geçiş hızları değerleri karşılaştırılması	40
Şekil 4.3 Şahit- MK basınç dayanımı değerleri karşılaştırılması.....	41
Şekil 4.4 Şahit- YFC basınç dayanımı değerleri karşılaştırılması	42
Şekil 4.5 Şahit- MK eğilme dayanımı değerleri karşılaştırılması	43
Şekil 4.6 Şahit- YFC eğilme dayanımı değerleri karşılaştırılması.....	44
Şekil 4.7 Büzülme yüzdesi ile 28 günlük basınç dayanımı karşılaştırılması	46
Şekil 4.8 28 günlük numunelerin elektriksel özdirenç sonuçları	47
Şekil 4.9 90 günlük numunelerin elektriksel özdirenç sonuçları	48
Şekil 4.10 Sodyum sülfat deneyleri sonuçları.....	49

RESİMLER DİZİNİ

Resim 2.1 Farklı lif çeşitleri [34]	17
Resim 2.2 Bazalt orjinli endüstriyel malzemeler [44]	21
Resim 3.1 Bazalt lif.....	23
Resim 3.2 CEN standart kumu.....	24
Resim 3.3 Harç bileşimi.....	26
Resim 3.4 Kalıplara konulan harçlar.....	28
Resim 3.5 Ultrases geçiş hızı deneyi	29
Resim 3.6 Basınç dayanımı deney cihazı.....	30
Resim 3.7 Eğilme dayanımı deney cihazı	31
Resim 3.8 Rötne deneyi için a) Kalıba konulan harçlar b) Komparatör cihaz	32
Resim 3.9 Elektriksel özdirenç deneyi a) Ölçüm şeması b) Elektronik devre tasarımı (V: voltmetre, A: ampermetre, 30V: voltaj kaynağı, I: akım, R direnç) (İnce [53] değiştirilerek kullanılmıştır).....	34
Resim 3.10 Elektriksel özdirenç deneyi cihazı	34
Resim 3.11 Deney öncesi numunenin tartılması.....	35
Resim 3.12 Numunelerin çözelti içinde bekletilmesi	36
Resim 3.13 Çözeltiden çıkarılan numunelerin bekletilmesi	36
Resim 3.14 Numunelerin etüve konulması	37

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

g	: gram
s	: saniye
mm	: milimetre
mm ²	: milimetrekaire
cm	: santimetre
cm ²	: santimetrekaire
cm ³	: santimetrekyüp
µm	: mikrometre
km	: kilometre
Ω	: ohm
Kgf	: kilogramkuvvet
°C	: derece santigrat
µm	: mikrometre

Kısaltmalar

YFC	: Yüksek Fırın Cürufu
ASTM	: Uluslararası Amerikan Test ve Materyalleri Topluluğu
MK	: Metakaolin
PÇ	: Portland Çimentosu
TS	: Türkiye Standartları
EN	: Avrupa Standartları
SEM	: Taramalı Elektron Mikroskop
CEN	: Avrupa Standartlar Komitesi
ACI	: Amerikan Beton Enstitüsü
V _p	: Boyuna Dalga Hızı
N	: Newton
MPa	: Megapascal
GPa	: Gigapascal
W	: Kapiler Su Emme
T	: Isı İletkenlik Katsayısı

1. GİRİŞ

Günümüzdeki enerji verimliliği ve ham maddelerin korunması bakımından özellikle inşaat sektöründe çok fazla gelişmeler gözlemlenmiştir. Ekonomiklik, çevrenin korunumu, ekolojik verimlilik gibi özelliklerin geliştirilmesi için yeni yöntemlere başvurulmuştur.

Yapı malzemesi alanında günümüzde en çok tercih edilen malzeme beton olduğundan geliştirilen bu teknolojiler sayesinde betonun yüksek dayanım, durabilite gibi daha birçok özelliğinde iyileşmeler elde edilmiştir. Beton içerisine belirtilen standartlara uygun olarak lif katılması betonun enerji yutma kapasitesi, deformasyon yeteneği; çekme dayanımı gibi özelliklerini geliştirdiği, ayrıca beton içerisine katılan belirli oranlarda kimyasal katkıları ve mineral katkıları da betonun performansını arttırdığı görülmüştür.

Metakaolin, ağırlıkça %20'ye kadar kum yerine veya ağırlıkça %10'a kadar çimento yerine, kullanımı harç örneklerinin korozyon davranışını iyileştirir. Daha yüksek metakaolin yüzdeleri korozyon direncini azaltır [1].

MK ile kum değişimindeki artış %40'a kadar arttıkça betonun basınç, aşınma dayanımı ve yarıma mukavemeti arttığı, daha sonra değişim arttıkça azaldığı görülmüştür [2].

Beton boru üretiminde agreganın belirli bir miktarının yerine pomza ve YFC kullanılmasının sülfat dayanımları bakıldığında; pomza ve YFC katkılı numunelerde ağırlık kayıplarının en düşük olduğu gözlemlenmiştir. 180 gün süreyle sülfat çözeltisinde bekletilen numunelerde en iyi dayanıklılığı %15 YFC katkılı numune gösterirken, en dayanıksız örnek kontrol örneği olmuştur [3].

Üretilen mineral katkılı lifli beton ülkemizde ağır çalışma koşullarına maruz kalan yapılarda, su yapılarında (barajlar, kanallar, dolu savaklarda plak yerine veya kavite hasarlarına ve dinamik yüklere karşı koymak için), askeri güvenlik yapıları (sığınak, hangar vb.), ateşe dayanıklı beton yapılarda, havaalanı ve karayolu kaplama betonlarında ve deprem riski fazla olan illerimizde depreme dayanıklı yapılarda kullanılması önerilmektedir.

Bu tez çalışmasında, çimentonun %1'i oranında bazalt lif katılarak betonun çekme dayanımında, enerji yutma kapasitesinde olumlu yönde gelişmeler beklenmiştir. Bunlara ek olarak kullanılan standart kumun %10, 20 ve 30 oranlarında metakaolin ve yüksek fırın cürufu mineralleri kullanılmıştır. Yapılan harç numunelerinde 7, 28 ve 90 günlük basınç dayanımı, eğilme dayanımı, ultra ses geçiş hızı dayanımı, rötre, öz direnç ve sodyum sülfat deneylerine tabi tutulmuşlardır. Metakaolinin ve yüksek fırın cürufunun agrega olarak tercih edilmesi daha ince malzemeler kullanılarak geçirimsiz, durabilite özellikleri açısından yüksek mukavemetli harç numuneleri elde edilmesi amaçlanmıştır.

2. BETON

Beton; düşük maliyeti, istenilen biçimin verilebilmesi, kolay elde edilebilir olması, yüksek basınç dayanımı ve dayanıklılığı gibi önemli özellikleri nedeniyle kullanımı en fazla olan yapı malzemesidir.

Beton çok fazla tercih edilen yapı malzemesi olmasına rağmen, nitelikleri en az bilinen malzemelerden birisidir. Bu durumu üç grupta açıklamak gerekir [4]:

1) Beton üretimi basit görünmesine rağmen, fazlasıyla karmaşık ve yaşayan bir yapıya sahiptir. Beton içyapısına bakıldığında heterojen bir malzeme olması suretiyle bu yapı zamana bağlı olarak değişim göstermektedir. Beton belirgin üç fazdan oluşmaktadır. Çimento harcı, agrega ve agrega-çimento arayüzeyi. Bu fazların özellikleri, birbirleriyle olan ilişkileri ve bu ilişkilerin zamana bağlı değişimi, betonun özelliklerini yüksek oranda etkilemektedir.

2) Son zamanlarda gelişimini arttırmakta olan beton teknolojisinde yeni malzemeler kullanılmakta, farklı üretim teknikleri geliştirilmektedir. Örneğin; özel betonlar.

3) Beton üretim aşaması diğer yapı malzemelerinden oldukça farklıdır. Projelendirme, üretim ve denetim aşamaları vardır.

2.1. HARÇ

Su ve çimento karışımına çimento hamuru denilmektedir. Bu oluşan karışıma ince agrega eklenmesi sonucu oluşan karışıma harç adı verilmektedir [4].

Harçlar içerisinde iri agrega olmayan özel betonlardır. Ancak işlevleri betondan oldukça farklıdır. Klasik harç; ince agrega ve su ile birlikte bir ya da birden çok bağlayıcının karışımından meydana gelir. Günümüzde harç üretiminde mineral ve kimyasal katkıları da kullanılarak harca istenilen amaca uygun olarak pek çok özellik kazandırmak mümkün olmaktadır. Bağlayıcı malzeme olarak çimento, yağlı kireç veya karışımları kullanılabilir. Bunların dışında özel beton sınıfına girmeyen, alçı sıva türü değişik tip harç ve sıvaların kullanımı da her geçen gün artmaktadır. Harçlar içerisinde bulunan bağlayıcı malzemenin cinsine göre çimento harcı, kireç harcı veya

melez harcı olarak adlandırılırlar. En yüksek dayanımlı olan çimento harcıdır. En fazla şekil değişimi yapılabilme özelliği olan kireç harcıdır [4].

Harçlar kullanım amaçlarına göre duvarcılık ve tamir harçları olarak iki grupta adlandırılır. Duvarcılık harcı taş, tuğla gibi blok elemanları birbirine bağlamak ve etkilediği kuvvetleri bir sonraki blok elemana aktarmak gibi işlevleri vardır. Bu görevleri yerine getirirken, işlenebilme özelliğinin olması, kompasitesinin yüksek olması, yeterli dayanımda olması ve geçirimsiz olması gerekir [4].

Kagir duvar harçları için TS EN 998-1 [5] ve 998-2 [6] standartları harçların sahip olmaları gereken özelliklere göre beyana dayalı sınıflandırma yapmaktadır. Bu sınıflandırmada kullanılan özellikler Çizelge 2.1 de verilmiştir [5]. Çizelge 2.1’de CS simgesi ile gösterilen basınç dayanımı sınıflandırması, W simgesi ile gösterilen su yalıtımı, T simgesi ile gösterilen ise ısı yalıtımı açısından sınıflandırmaktadır.

Çizelge 2.1 Özelliklerine göre harçların sınıflandırılması [5]

Özellikler	Sınıflar	Değerler
28 günlük basınç dayanımı sınırı	CS I	0.4 - 2.5 N/mm ²
	CS II	1.5 - 5.0 N/mm ²
	CS III	3.5 - 7.5 N/mm ²
	CS IV	≥ 6 N/mm ²
Kılcal (kapiler) su emme	W 0	Belirlenmiş değer yok
	W 1	$c \leq 0.40 \text{ kg/ m}^2 \cdot \text{dak}^{0.5}$
	W 2	$c \leq 0.20 \text{ kg/ m}^2 \cdot \text{dak}^{0.5}$
Isıl iletkenlik	T 1	≤ 0.10 W/m.K
	T 2	≤ 0.20 W/m.K

2.2. KATKI MADDELERİ

Çimentoların mevcut özelliklerini olumlu yönde ve istenilen bir ölçüde geliştirmek amacıyla, beton üretim aşamasında karışıma az miktarda ilave edilen maddeler katkı maddeleri olarak adlandırılmaktadır [7]. Bu katkı maddeleri beton üretiminde karıştırma safhasında katılırlar ve betonun taze ve sertleşmiş haldeki bazı özelliklerinin iyileştirilmesini sağlarlar [8].

Katkı maddeleri konusunda aşağıdaki temel bilgi ve değerlendirmeleri daima hatırlamak gerekir [8]:

1. Katkı maddeleri sihirli madde olarak görülmemelidir. Standartlara uygun olarak hazırlanmayan kötü bir betonun katkı kullanılarak iyileştirilmesi mümkün değildir.

2. Katkı maddeleri her çeşit çimento, agrega ve granülometri için olumlu katkı sağlayamayabilir. Belki katkı dozunu artırmak ya da azaltmak çözüm olabilir. Bu yüzden katkının diğer malzemelerle uyumu önceden çeşitli deneylerle araştırılmalıdır.

3. Katkı maddeleri üreticisi tarafından önerilen yüzdeler her durumda doğru kabul edilmez. Katkı dozajı ön deneylerle araştırılmalıdır.

4. Katkı maddelerinin an fonksiyonları ile birlikte daima ikincil etkileri de vardır. Bir özelliği düzeltirken başka bir özelliği bozma olasılığı vardır.

5. Kimi durumlarda birden çok katkı maddesi beraber kullanılır. Bunların uyumları, birbirlerinin etkilerini bozmadıkları kanıtlanmalıdır.

2.2.1. MİNERAL KATKI MADDELERİ

Çimento gibi öğütülmüş toz şekilde bulunan cüruf, silis dumanı, uçucu kül, metakaolin, taş unu gibi çeşitli maddelere “Mineral Katkı” adı verilir. Mineral katkıları yalnız başına kullanıldığında çimento gibi bağlayıcılık özelliği göstermezler. Fakat çimento ile beraber kullanıldıklarında çimento ile eş görev yaparlar ve bu sebepten çimento miktarından azalmadan kaynaklı çimentodan ekonomi sağlanır. Mineral katkıları özel beton üretiminde de kullanılır [9].

Bu malzemeler nerdeyse hiç bağlayıcılık özellik göstermez iken; ince ince ayrılmış boyutları nemli bir ortamda ve normal sıcaklıkta, çimento esaslı bileşenleri oluşturmak amacıyla kalsiyum hidroksit ile kimyasal tepkimeye girebilir. Aslında puzolan ismi, şiddetli volkanik püskürmelerin gitgide camlaşması sonrası oluşan malzemelere verilen isimdir. Günümüzde ise, su varlığında kireç ile tepkimeye giren tüm malzemeleri tanımlamak için kullanılan bir jenerik ismi haline gelmiştir [9].

“Mineral katkıları” terimi, kaynaklarına bakılmaksızın, tüm puzolanik ve çimento esaslı malzemelerin tanımlanmasında kullanılır. Mineral katkıların kalsiyum

hidroksit ile tepkime kapasitesi, bu katkıların kompozisyonu, yapısı ve tepkime şartlarına bağlıdır [9].

Mineral katkıların kompozisyonu ve yapısı, kaynaklarına göre büyük bir değişim göstermektedir. Çimento ve beton içerisinde kullanım için, ana bileşikler SiO_2 , Al_2O_3 ve Fe_2O_3 , toplam bileşiminin en azından %70'ini meydana getirmelidir. Bu katkıların aktifliği, amorf veya zayıf kristalli durumlardaki oksit ve mineral varlığına bağlıdır. Genel anlamda, puzolanik reaksiyon bağıl olarak yavaş ilerler ve dolayısıyla hidratasyon ısısı düşük olur [9].

Portland çimentosunu tek başına kullanmak, betonun dayanıklılığını garanti altına almak için kafi olmayabilir. Bundan dolayı, Portland çimentosuna mineral katkıları katılabilir. Bunun sonucunda, belli bir mekanik performans sınırına ulaşmanın yanı sıra değerli hammaddeler ile enerjinin korunmasına da katkıda bulunulur. Portland çimentosunu çeşitli mineral katkıları ile karıştırmanın sonucunda $\text{Ca}(\text{OH})_2$ içeriği azaltılır ve bununla birlikte harç ve betonun agresif ortam şartlarındaki durabilitesini geliştirir. Günümüzde çimento ve beton endüstrisinde mineral katkıları bilhassa yüksek puzolanik aktifliğe sahip olan mineral katkıları kullanımının hızla artış gösterdiğine şahit olmaktayız [9].

Genellikle beton karışımını mineral katkıları ile birleştirmek; termik çatlamalara karşı dayanımını geliştirir, betonun mukavemetini geliştirir, permeabilitesini azaltmak bakımıyla kimyasal etkilere karşı dayanıklılığı artırır. Beton içerisinde bulunan malzemelerden en pahalı olanı Portland çimentosudur. Fakat, mineral katkıları çoğu ise kullanımları bakımından daha az miktarda enerji harcayan endüstriyel ve doğal ürünlerdir. Portland çimentosunun bu mineral katkıları ile kısmi bir miktarının yer değiştirilmesi sonrasında çimento ve betonun maliyetini düşüren önemli bir katkı elde edilmiş olur. Bu faydalar, mineral katkıları ile beton ve çimentoda yararlanılması gerektiğini açıklamaktadır [9].

Çimento ve beton üretiminde kullanılan mineral katkıları türlerine göre doğal ve yapay katkıları olarak ikiye ayrılır.

2.2.1.1. Doğal Mineral Katkılar

Doğal mineral katkıları uzun zamandan beri çimento ve beton içerisine dahil edilmektedir. Bu katkılardan tras, zeolit ve volkanik kül gibi bazıları puzolanik aktiflik göstermelerine rağmen, mineral ve kimyasal bileşimleri, oluşum kaynakları ve şartlarına bağlı olarak çeşitlilik sergilemektedirler. Bu mineral katkıları baskın olarak silika ve ilave olarak da ferrik oksit ve alüminyum bileşenlerinden oluşmaktadır [9].

Genel anlamda doğal mineral katkıları kullanılması etkilerini aşağıdaki şekilde özetleyebiliriz [9]:

- Beton ve çimento maliyetlerinde ekonomik kazanç elde etmek.
- Enerji ve değerli hammadde israfının engellemek.
- Çevre kirliliğini engelleyip çevreyi korumaya destek olmak.
- Betonun sertleşme sürecindeki açığa çıkan hidrasyon ısını azaltmak.
- Oturma zamanlarını geciktirmek.
- Kullanılan çeşit ve içeriğe bağlı olarak çimento ve betonun kıvamını değiştirmek.
- Permeabiliteyi yükseltmek suretiyle, deniz suyu gibi zorlu ortam koşullarına karşı harç ve betonun dayanıklılığını arttırmak.
- Alkali-silika reaksiyonlarını minimize etmek.

2.2.1.2. Yapay Mineral Katkılar

Çimento ve beton içerisinde kullanılan mineral katkıları doğal kaynaklarındaki azalmadan kaynaklı son zamanlarda yapay mineral katkıları kullanılmaktadır. Bilim ve teknolojik gelişmelerle birlikte yüksek puzolanik aktiflik sergileyen yapay mineral katkıları üretilmiştir [9].

Birçok farklı ülkede kullanılmakta olan yapay mineral katkıları ilk kullanılanları yüksek fırın cürufu ve uçucu küldür. Günümüzde bu maddelere ilaveten silis dumanı ve metakaolin gibi etkili mineral katkıları çimento ve beton endüstrisinde kullanılmaya başlanmıştır. Uçucu kül ve cüruf gibi endüstriyel atıkların çimentoya

katılmasındaki amaç, maliyetlerin düşürülmesi ve harç ve betonun davranışındaki bazı özelliklerin iyi yönden artmasından kaynaklanmaktadır [9].

Çimento ve beton içerisine katılan cüruf temelde yüksek fırın cürufudur. Yüksek fırın cürufunun ana öğeleri SiO_2 , Al_2O_3 , CaO ve MgO ' dur. Bunlara ek olarak ikincil öğeler ise Fe_2O_3 , Cr_2O_3 , TiO_2 , MnO , S , P , P_2O_5 , Cl ve F 'dir. Bunlar aşağıdaki oranlarda bulunurlar [9]:

$$\text{SiO}_2 = \%27-40$$

$$\text{Al}_2\text{O}_3 = \%5-33$$

$$\text{CaO} = \%30-50$$

$$\text{MgO} = \%1-21$$

Cüruflar; kimyasal bileşikleri, başlangıç soğuma sıcaklıkları ve soğutulma yöntemlerine dayalı olan kristal ve cam fazlarından oluşurlar. Cürufun kristal fazları gelenit, melilit veya mernitit, okermanit ve henitit'tir. Cam fazı kristal faza oranla daha yüksek reaktifliktedir. Puzolanik aktiflik genellikle; çözünebilir SiO_2 ve Al_2O_3 içeriği, yapı, CaO içeriği ve cürufun partiküllerin boyut dağılımı ve yüzey alanı ile saptanır [9].

Son zamanlarda silis dumanı ve metakaolin gibi çok çeşitli yüksek reaktiflikte mineral katkılar çimento esaslı kompozit malzemelerin içerisinde kullanılmaktadır. Bu mineral katkıların çimento ve beton performansına oluşacak katkılarını araştıran çok sayıda çalışma yapılmıştır ve yapılmaya devam edilmektedir. Bu mineral katkılar normal ve yüksek dayanımlı betonların içerisinde tek başlarına kullanıldıkları gibi, uçucu kül ve cüruf gibi geleneksel mineral katkılar ile beraber de kullanılabilir. Geleneksel mineral katkılar çimento ve beton endüstrisinde daha fazla etkin rol oynamaktadırlar. En fazla karıştırılma yüzdeleri ulusal ve uluslararası standartlarda farklılık göstermektedir. Örneğin bu farklı oranlar Japonya'da %70, İngiltere'de %65, Almanya ve Rusya'da ise %80'dir [9].

Çimento ve beton içerisine cüruf katılması sonrasında malzeme niteliklerinde ortaya çıkan olumlu gelişmeleri inceleyen çok sayıda çalışma yapılmıştır. Bununla beraber, cürufun reaktifliği çok değişkendir ve aşırı yüksek değildir. Yukarıda belirtilen yüksek karıştırılma oranlarının etkisiyle, içine mineral katkı eklenmiş olan Portland çimentolu harç ve betonların karakteristik özellikleri bu eklenen cüruflardan

güçlü bir şekilde etkilenebilir. Portland çimentosu içerisine yüksek fırın cürufu katılması sonucunda aşağıdaki sonuçlar meydana gelmiştir [9];

- Çimento ve beton maliyetinde azalma
- Hidratasyon ısısındaki düşüğe bağlı olarak sertleşme sırasında daha düşük termal gerilmeler
- Daha az su geçirgenliği
- Deniz suyu ve sodyumca zengin durumlarda yüksek mukavemet
- Korozyona karşı daha güçlü dayanım
- Enerji ve hammadde tasarrufu
- Çevre korunmasına yardımcı olmak

2.3. METAKAOLİN

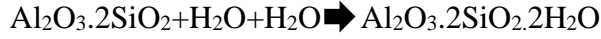
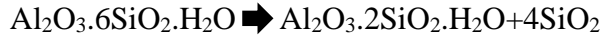
2.3.1. Kaolin

Kaolin; kil ve feldspat minerallerin doğal bir şekilde ayrıştırılması sonrasında oluşan, yumuşak ve beyaz, kilsiz bir malzemedir. Doğada sıklıkla görülen bu malzeme genel anlamda kâğıt ve tekstil imalatlarında ve porselen üretiminde kullanılır [10].

Kaolin hammaddesini meydana getiren en önemli mineral Kaolinit ($Al_2Si_2O_5(OH)_4$) olup alüminyum hidro silikat bileşimli bir kil mineralidir. Kaolin terimi altında değişik jenetik biçimlerle meydana gelmiş kaolinitik killeri ve kaolin türleri bulunmaktadır [10].

Kristal biçimlerine bakılarak yapılan kil sınıflandırmalarında, benzer ebatlı ve tek yönde uzamış olan türler Kaolinit grubu olarak ötekilerinden farklılaşmaktadır [10].

Oluşumu bakımından, feldspat bulunduran volkanik kayaların veya granitik feldspatlarının altere olarak kaolinit mineraline dönüşmesi neticesinde kaolinler meydana gelmektedir. Ana kayaç içinde bulunan alkali ve toprak alkali iyonların, çözünür tuzlar biçiminde bulunduğu ortamdan ayrılması neticesinde Al_2O_3 içerikli sulu silikatça zenginleşen kayaç kaoliniti meydana getirir [10].



Kaolinit

Bu oluşum modeline göre altere olan ana kayacın taşınmadan bulunduğu yerde durması sonucu kaolinit yatakları meydana gelir. Ana kayaların bozunmadan önce nakledilip, nakledildikten sonrası depolanma veya bozunma sonrası nakledilip sedimanter yataklarda depolanması neticesinde kaolinit bileşimli kil yatakları meydana gelir. Bu birleşme literatürde kavram karmaşıklığı oluşturmakta olup, bu durumu verilen sınıflamalarda rastlamak mümkündür. Kaolin, granitten yüksek basınçlı su fişkırtılması sonrasında temin edilir. Sonradan bu kaolin standart mineral proses yöntemlerinden faydalanarak yoğunlaştırılır ve saflaştırılır. Oluşan kaolinin kurutulması sonucu saflığı yüksek endüstriyel kaolin elde edilir [10].

2.3.2. Metakaolin

Metakaolin, kaolinit killerinin veya saflaştırılmış kaolin belli bir sıcaklık değerlerde yakılması ve sonrasında yüksek inceliği kazanmak amacıyla öğütülmesi sonucunda oluşan bir reaktif alümino-silikat puzolanıdır [9].

Seramik yapımında, kaolinit minerali 200 °C'nin altında ısıtıldığında higroskopik suyunu bırakır. 500-600 °C'de kimyasal formüldeki bağıl suyunu bırakarak metakaolinite dönüşür. Bu ortaya çıkan madde metakaolinin esas maddesini meydana getirir [10].



Yüksek sıcaklıklarda (> 900 °C), metakaolin kristalli bileşikler oluşturmak üzere çok farklı tepkimelere uğrar. Sonuç olarak serbest silika oluşur [11].

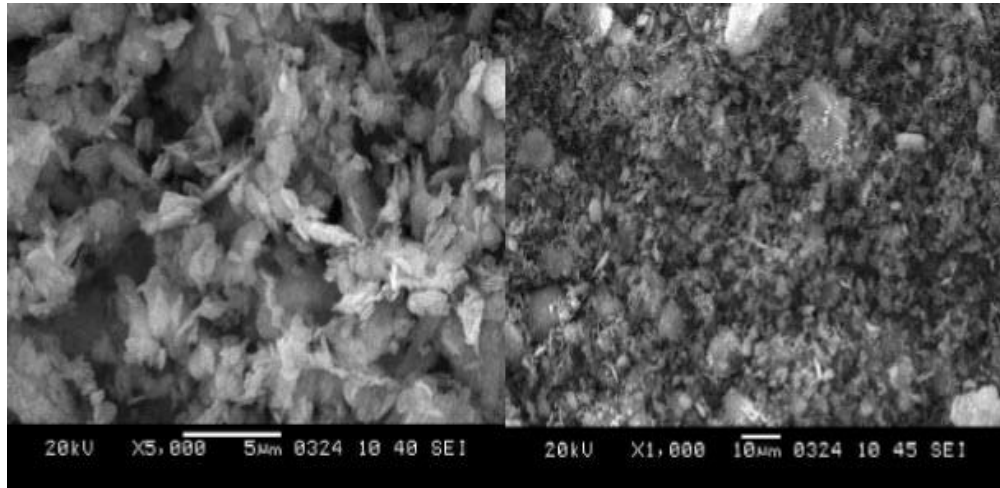
Metakaolin 1962 yılında ilk defa Brezilya'daki Jupia Barajı için kullanılan betona katılmıştır [11].

Metakaolin, hidrat oluşumunu sağlaması amacıyla kalsiyum hidroksit ile birleştirilebilir. Bunun sonrasında betonun ve harcın özelliklerinin iyileşme gözlenir.

Metakaolinin tepkime kabiliyeti, ham kaolin kaynağına, temel olarak mineral içeriğine ve üretim koşullarına bağlıdır [9].

Metakaolin kalsiyum hidroksiti çok hızlı bir biçimde kullanır. Bu sebepten metakaolinin çimento matrislerinde kullanılarak 1980'lerde lif ve cam elyafla güçlendirilmiş bileşikler oluşturmasını amaçlayan çok sayıda deneysel çalışma hazırlanmıştır. Beton içerisinde metakaolinin kullanımı 1990'larda yayılmıştır. Bu sırada yapılmış olan deneysel çalışmalar sonucunda betonun birçok özelliğın arttığı fark edilmiştir [11].

Metakaolin tanelerinin köşeli, çok ufak ve çubuk gibi yapıda olduğu açıklanmıştır. MK mineralinin tanecik yapısını gözlemlemek için 5000 ve 1000 ölçekli taramalı elektron mikroskobu çekilmiş görüntüler Şekil 2.1'de gösterilmiştir. MK mineralinin çubuksu tanecik yapısı ve çok ince tane ebatının bulunması nedeniyle beton içerisindeki harcın kıvamını ve boşluklu yapıyı azaltıcı özelliğı bakımından etkisi bulunmaktadır [12].



Şekil 2.1 Metakaolin mineralinin SEM görüntüleri [13]

Metakaolinin kalsiyum hidroksit ile tepkimeye girmesinin amacı kalsiyum silika hidrat oluşturulmasıdır. Bu husus betonun ve harcın ve belli özelliklerinin iyileşmesine katkı oluşturabilir [9]. Literatürde metakaolinin çimento ile yer değiştirmesi durumunda, dayanıklılığı geliştirdiğı, mekanik özellikleri olumlu etkilediğı, çiçeklenmeyi kontrol etmede etkin olduğu, permeabiliteyi ve kılcal su

emmeyi düşürdüğü ve bilhassa alkali silika reaksiyonu oluşumunu düşürdüğü söylenmektedir [14].

Metakaolinin beton üretilmesinde kullanımı amacıyla yapılmış olan deneysel çalışmaların büyük çoğunluğu karışım için en uygun metakaolin miktarının belirlenmesi hedefindedir. Portland çimentosu ile metakaolinin yer değiştirmesi ve betona çeşitli oranlarda katılan metakaolinin beton özelliklerine katkısı günümüzde de araştırma konusu olmayı sürdürmektedir. Bu deneysel çalışmalara ilaveten, C₃S ile metakaolinin kullanım kombinasyonlarındaki reaktiflik kabiliyeti de araştırma konusu olmaya devam etmektedir [15].

Literatürde yapılmış olan çalışmaların sonucunda çimento ve betona metakaolin katılmasının aşağıdaki değerleri yükselttiğini belirtebiliriz;

- Eğilme ve basınç mukavemeti
- Yoğunluk
- Kimyasal dayanım
- Alkali-silika dayanım

Bu olayların temelini oluşturan mekanizmalar ise şunlardır;

- Puzolanik reaksiyonları esas alan kimyasal dayanım
- Partikül doldurma özelliğini esas alan fiziksel dayanım

Metakaolin katılması; Portland çimentosunun hidrasyon sürecine tesir eden yeni bağlayıcı bileşiklerin oluşumuna neden olur. Buna ilaveten metakaolin, sahip olduğu parçacık boyut dağılımıyla Portland çimentosundan ayrılır. İkinci etkinin belirginliği, her iki malzemenin sahip olduğu partikül boyut dağılım fonksiyonları arasındaki aralığa bağlıdır. Bundan dolayı, mineral katkının inceliği Portland çimentosunun inceliğinden çok daha fazlaysa malzemeye daha yüksek mukavemet kapasitesi ve yoğunluk kazandırmakta, boşluk doldurucu özellik o kadar dikkat çekmektedir [9].

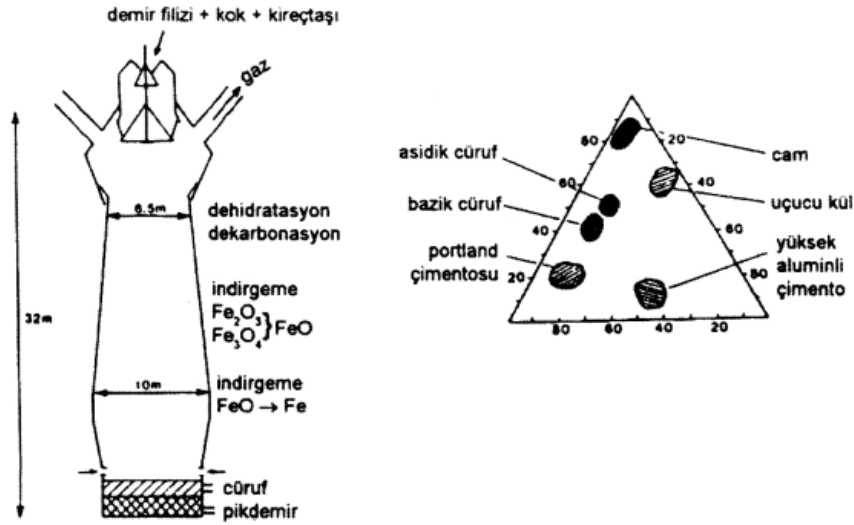
2.4. YÜKSEK FIRIN CÜRUFU

Yüksek fırın cürufu (YFC), demir cevherinin demir metali üretilecek biçimde ergitilmesi sonucu meydana gelen bir malzemedir [16]. Esasen, cüruflar alaşım ve

metal sanayisinde, piro-metalurjik işlemlerin yan ürünleridir. Miktarları ve bileşimleri cürufun meydana geldiği prosese ve işlemde kullanılan malzemelere bağlıdır [17]. Kok, kireçtaşı ve demir filizi gangının yanma sonucu atıkları YFC'yi ortaya çıkarır. YFC'nin oluşum sıcaklığı 1400-1600 °C'dir [18]. Fırından alınan cüruf takribi olarak 1400–1600 °C sıcaklığa ulaştığından, kullanmadan önce soğutulması icap etmektedir. YFC'ye değişik soğutma işlemleri uygulanması sonucunda özellikleri farklılaşmaktadır. YFC'nin bağlayıcı malzeme olarak değerlendirilebilmesi için hava granülasyonu ve granülasyon olarak bilinen iki farklı tipte metot bulunmaktadır. YFC'nin amorf yapı kazanması amacıyla tercih edilen bu farklı iki metotta da hızlı soğutma yapılmalıdır. Bağlayıcılık özeliği kazanmayan kristal yapı malzeme yavaş soğutma işlemi sonucunda elde edilmektedir [19].

YFC'nin ilk olarak Almanya'da 1862 yılında Emil Langen tarafından hidrolik potansiyeli fark edilmiştir. Ticari amaçlı kireç ile aktive olan cüruf üretimi 1865 yılında Almanya'da ortaya çıktı ve ilk defa Portland çimentosu (PÇ) ile beraber kullanılmaya 1880 yılında başlandı. O süreden bu yana Hollanda, Fransa, Almanya gibi farklı Avrupa ülkesinde tercih edilmektedir [20]. Paris'te 1889 yılında metro yapımında YFC kullanımı gerçekleşmiştir. 1950'lerden sonra beton katkı maddesi amacıyla kullanılmaya başlanmıştır [21]. Bu uygulamaya başlanmasında 1948-1952 yıllarında Güney Afrikalı N. Stutterheim tarafından yapılan bilimsel çalışmalarda ortaya çıkan olumlu sonuçların büyük rolü olmuştur [22].

YFC'nin kimyasal kompozisyonu bir üçlü diyagramda ($\text{CaO-SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$) diğer birtakım malzemelerle beraber karşılaştırmalı biçimde sergilenmiştir (Şekil 2.2). YFC'nin kristal bir yapı kazanması yavaş soğutulduğu takdirde olur. Bu durumuyla beton agregası olarak tercih edilebilir ve bazalta benzer mekanik özelliklere sahip olur. Diğer taraftan, camsı yapıda cüruf meydana gelmesi hızlı soğutma uygulanması sonrasında oluşur [18].



Şekil 2.2 Yüksek fırın şeması [18]

Çimento klinkeri ile yüksek fırın cürufunu kimyasal yapısı benzer biçimdedir [23]. Kullanılan cevherin ve yapılan demirin cinsine göre kimyasal yapısı farklılık sergiler [24]. Bu farklılık demir cevherinin yapısından değil, bununla birlikte kok kömüründen, ekonomik kazanç elde etmek için farklı demir cevherleri ile elde edilen karışımlardan ve yüksek fırındaki sıcaklık rejiminden kaynaklanmaktadır [25].

Granüle yüksek fırın cürufunun puzolanik özelliklerine tesir eden en dikkat çeken değişkenlerden birisi kimyasal yapısıdır. Ancak çok sayıda araştırma konusu olmasına karşın kimyasal yapı ile puzolanik özellikler arasında net ve kesin bir bağıntı oluşturmak mümkün olmamıştır. Genellikle alkalinitesi yüksek olan granüle yüksek fırın cüruflarının bağlayıcılığının da yüksek olduğu kabul görmektedir. Granüle yüksek fırın cüruflarının puzolanik özelliğinin artması CaO/SiO_2 oranının belli bir limit değere kadar yükselmesiyle oluşmaktadır. Ancak CaO miktarının aşırı fazla olması durumunda puzolanik özellikte düşüş gözlenir. Cürufun puzolanik aktivitesini yükselmesi sabit bir CaO/SiO_2 oranı için Al_2O_3 miktarı artımı gerçekleşir. Cüruf içerisinde MgO içeriğinin %10 oranında olması dayanımda negatif bir etkisi bulunmamaktadır. Ama, MgO miktarları %10' dan daha fazla olması olumsuz etkilere neden olur [26]. Çimentoda hidratasyon hızını yükseltmek amacıyla granüle YFC öğütülüp çimentoya eklenir. Hidrolik bağlayıcılık kazanımı, oldukça çok ince öğütülmesi durumuna bağlıdır ve portland çimentosunun inceliğinden daha düşük

incelik oranına ulaşıncaya kadar öğütülmeye devam edilmesine bağlıdır [27]. Çimentonun hidratasyonu ile beraber iç yapısında çimento hidratasyon ürünleri olan kalsiyum hidroksit (CH) ve kalsiyum silika hidrat (CSH) meydana gelmektedir. Kalsiyum silika hidratlar bağlayıcılık özelliği gösterirken kalsiyum hidroksitler daha zayıf ve suda çözünmeye meyillidirler. Kalsiyum hidroksitle yüksek fırın cürufu tepkimeye girme kapasitesine sahiptir. Yüksek fırın cürufunun amorf yapısı, kimyasal bileşimi bu tepkimeyi etkileyebilecek en önemli unsurlardır. Yüksek fırın cürufunun öğütülmesi tepkimeye girme kabiliyetini etkilemektedir. Bunun dışında cürufun kristal yapısında farklılığa yavaş ve hızlı soğutulması da sebep olmaktadır. Yüksek fırın cürufu, çimento gibi bağlayıcılık özelliği de sergileyebilmesi yapısındaki yüksek CaO içeriğinden dolayıdır [28].

Yüksek fırın cürufunun hidratasyon hızı ve terleme azaltma hususunda tesir ettiği, çimento hamurunun priz süresini arttırdığı, taze betonun işlenebilmesini geliştirdiği, sertleşmiş betonda ise dayanıklılık değerlerini güçlendirdiği bilinmektedir. Literatür araştırmalarında özellikle başlangıç günlerdeki dayanım kazanma hızının azalmasına, soğuk hava şartlarında betonun prizinin uzamasına sebep olduğu söylenmiştir [29]. Yüksek fırın cürufunun beton içinde kullanılmaya başlanmasıyla, çimento hamurunda süresiz ve ince boşlukların oluştuğu, çimento-agrega arayüzeyindeki boşluklarda azalma meydana geldiği, betonun dayanıklılık özelliğinin olumlu etki oluşturduğu fark edilmiştir [30,31]. Bundan başka, çimento ile YFC yer değiştirmesi ile etkinlik katsayısı gündeme taşınmıştır. Portland çimentosunun eşdeğeri bağlayıcı malzemenin etkinlik katsayısı (k) anlamı taşır. Başka bir ifadeyle k değerinin 1'e eşit olması cürufun 1:1 oranda çimento ile yer değiştirmesi halinde de betonun eş özelliklere sahip olduğunu, 1'den küçük olması ise betonun eş özelliklere sahip olması için çıkan çimento miktarından daha fazla YFC konulması gerekliliğini ifade eder [31].

Granüle yüksek fırın cürufunun puzolanik özelliklerine tesir eden en önemli etkenlerden birisi kimyasal yapısıdır. Fakat, yapılmış olan çok sayıda çalışmaya rağmen kimyasal yapı ile puzolanik özellikler arasında temel ve kesin kurallar oluşturulamamıştır. Genellikle bağlayıcılığının iyi olması granüle yüksek fırın cüruflarının alkalinitesi yüksek olduğunu ifade edilmektedir [4].

Granüle YFC'lerin puzolanik aktiviteleri belirli sınır değere kadar, CaO/SiO₂ oranının yükselmesine bağlı olarak artmaktadır. Fakat, CaO miktarının çok fazla olması durumunda puzolanik aktivitede azalma gözlenir. [4].

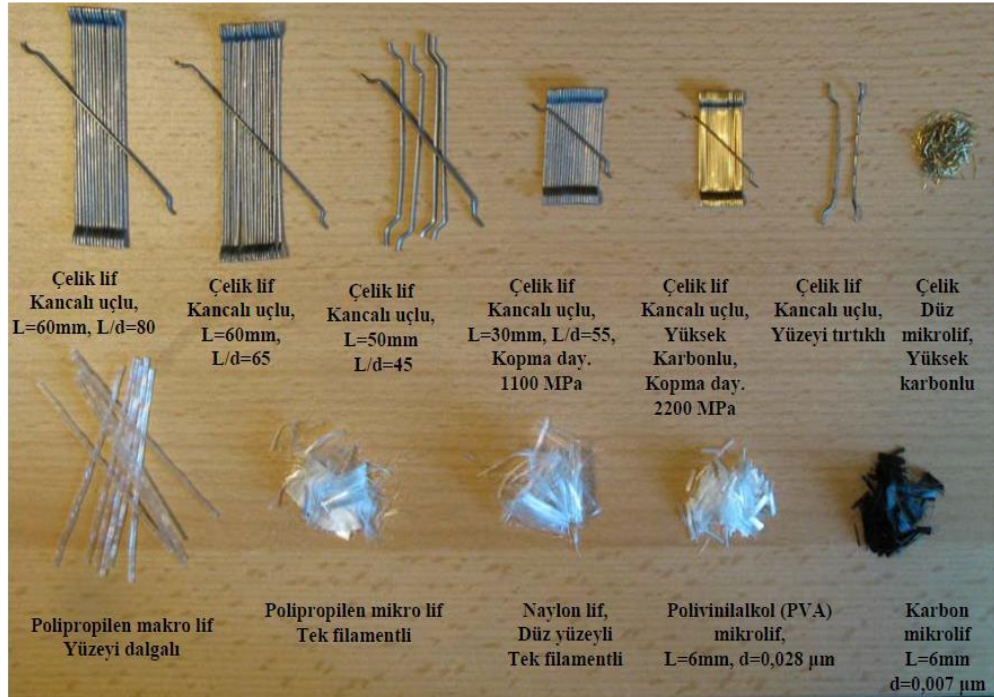
2.5. LİF

Geleneksel beton, enerji yutma kapasitesi, deformasyon yeteneği; çekme, kayma, kavtasyon, yorulma, çatlama sonrası yük taşıma dayanımları bakımından yetersiz bir performans sergilemektedir [32]. Betonun özelliklerini olumlu açıdan değiştirmek ve iyileştirmek amacıyla beton karışımına ilave edilen, belli bir boy/çap yani narinlik oranına sahip, polimerik, metalik, doğal ya da mineral yapıdaki malzemeler lif olarak tanımlanmaktadır [33].

Lif donatılı betonun patenti ilk olarak 1874 yılında ABD'de A. Berard tarafından alınmıştır. 1898 yılında Hatschek yönteminin keşfi ile sağlık açısından zararları fark edilinceye kadar asbestli lifler yaygın bir şekilde kullanılmıştır. 1927 yılında ABD'de G. Martin, 1939'da İngiltere'de Zitkeviç, 1943'te İngiltere'de G. Constantinesco günümüzde bilinen şekle sahip lif patentlerini almışlardır [34]. 1950'li yıllarda çelik lifler katkı olarak kullanılmaya başlanmıştır [35].

Lifli beton, Amerikan Beton Enstitüsü (ACI) tarafından içerisinde rastgele dağılmış biçimde lif içeren beton olarak tanımlanmıştır [36]. Matris fazına ilave eklenen lifler beton özelliklerine önemli oranda katkı sağlamakta olup yapılan birçok çalışmaya göre lif ilavesi çekme, darbe, eğilme, yorulma dayanımları; deformasyon kabiliyeti, tokluk, çatlama sonrası yük taşıma kapasitesi, aşınma dayanımı gibi çok sayıda mühendislik özelliğini önemli miktarda arttırmaktadır [37].

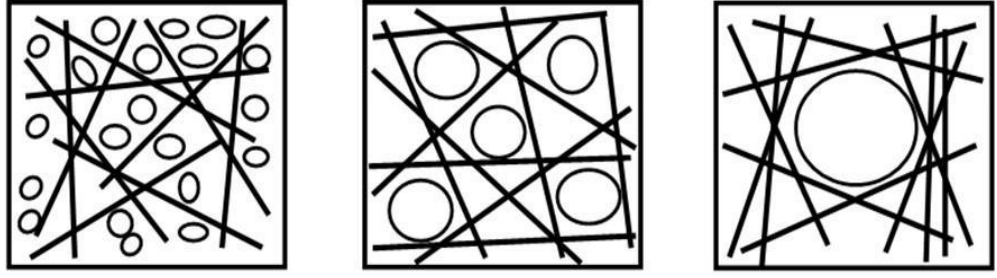
Çelik, selüloz, bazalt, polipropilen, cam, karbon, aramid, polietilen gibi çeşitli lif türü çimento esaslı ürünlerde kullanılırken [37] günümüzde en yaygın olarak tercih edilen lifler çelik, polipropilen ve alkali dirençli camlar olarak karşımıza çıkmaktadır [38]. Farklı tip ve şekillerdeki lifler Resim 2.1'de gösterilmiştir [34].



Resim 2.1 Farklı lif çeşitleri [34]

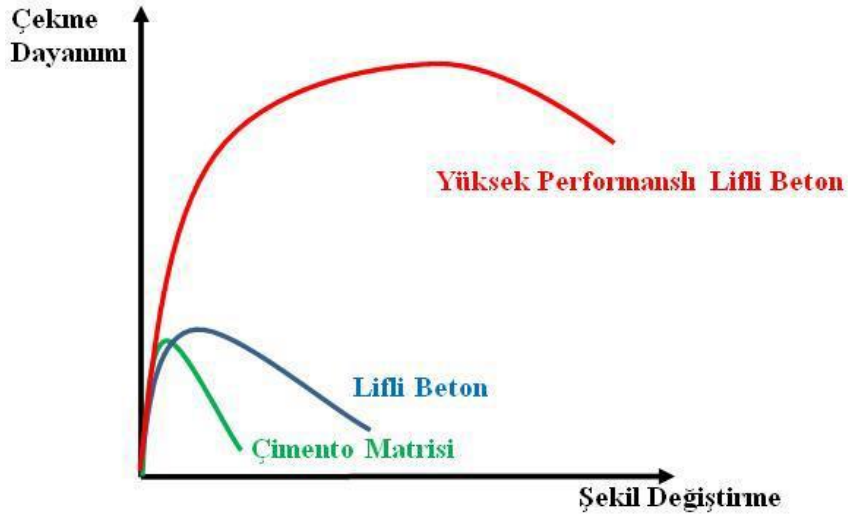
Beton içerisinde homojen bir biçimde dağılan lifler, meydana gelen çatlakları engellemekte ve çatlakların beton içerisindeki yayılımını yavaşlatarak betonu daha dayanıklı duruma ulaştırmaktadır. Lif türüne bakılmaksızın tüm lif çeşitlerinin sağlaması gereken en önemli husus ise lifin beton içerisinde homojen biçimde dağılması ve beton karıştırıldıktan sonra da bu homojenliğin bozulmamasıdır [33].

Liflerin genel olarak kullanılmasını engelleyen problemlerden biri liflerin beton içindeki dağılışının rastgele olmamasıdır. Birçok yapılan araştırmalar liflerden elde edilen performansın lif dağılımı ile doğrudan ilişkili olduğunu göstermiştir [39]. Liflerin homojen bir biçimde dağılmasını engelleyen faktörlerden biri de agregadır. Şekil 2.3'te de görüldüğü gibi agreganın en büyük tane boyutunun artması lif dağılımını olumsuz olarak etkilemekte ve lif süreksizliğini arttırmaktadır [35].



Şekil 2.3 Agrega en büyük tane boyutunun lif dağılımına etkisi [35].

Liflerin bulunmadığı koşullarda çimento matrisinin çekme dayanımı çok düşükken liflerin eklenmesi ile süneklikte iyileşmeler meydana gelmekte ve Şekil 2.4’te görüldüğü gibi yüksek performanslı lifli betonlarda hem çekme dayanımında hem de süneklikte önemli ölçüde yükselmeler görülmektedir [39].



Şekil 2.4 Lif ilavesi ile çekme dayanımı-şekil değiştirme grafiğindeki değişimi [39]

Sade bir betonda bir çatlakın ilerlemesi ve yayılması için gereken enerji miktarı düşük boyuttadır. Lifli betonda ise liflerle betona kazandırılan gerilme transferi kabiliyetinin bir sonucu olarak çatlakın ilerlemesi ve yayılması için gereken enerji, çatlak oluşması için gerekli enerjiden fazladır. Lifli betonlarda rastgele dağılmış olan lifler, çatlak ilerlemelerini kontrol altına alınması ve tokluğun yükseltilmesi amacını taşır [40].

Son zamanlarda lifli betonların üretilmesinde, belirlenen hedeflere göre polimer, çelik ve alkali dayanımlı cam lifler yaygın olarak kullanılmakta olup günümüzde bu çeşitli liflere alternatif olacağı beklenen doğal lifler ile ilgili çalışmaların sayısında artış görülmektedir. Bu doğal liflerden birisi de inşaat sektöründe kullanımı her geçen gün yaygınlaşmakta olan bazalt liftir [41].

2.5.1. Bazalt Lif

Bazalt, lavın hızlı bir şekilde soğuması ile meydana gelen volkanik bir kayaç olup yeryüzünün yüzlerce metre derinliğinde bulunmakta ve yeryüzüne eriyik magma şeklinde ulaşmaktadır. Magma yeryüzüne ulaştığı zaman soğuyarak hammadde şeklini alır [42].

Bazalt volkanik bir kayaç çeşidi olup yoğun, sert ve termoplastik bir malzemedir. Bazaltın Moh's sertliği 5-9, yoğunluğu ise 2.7-2.8 g/cm³ değerleri arasındadır. Bazalt lifler, bazaltın 1300-1700 °C aralığında eritilerek çok ince parçalara bölünüp lif biçiminde üretilmesi ile elde edilirken, üretimi esnasında ek olarak bir katkıya ihtiyaç duymaması açısından düşük maliyetler ile elde edilebilirler [41].

Bazalt lifi kayacının eritilip işlenmesi sonrası meydana gelen çapı 13-20 µm civarında olan bir lif çeşididir. Bazalt liflerin ses ve ısı yalıtımları epeyce yüksektir. Bunun dışında, tabiatta çok fazla bulunabilen bir kayaçtan üretildikleri için diğer liflerle karşılaştırıldığında daha ekonomiktir. Bazalt liflerin birçok faydalarının bilinmesine rağmen, bu alandaki çalışmalar oldukça az sayıda kalmıştır. Yapılan çalışmaların düşük kalması nedeniyle bazalt liflerin, kompozit malzemelerin mekanik ve fiziksel özelliklerine dair etkilerini tespit etmek için daha çok sayıda deneysel çalışma yapılması gerekmektedir [43].

Bazalt lifler kısıtlı olsa da ülkemizde tanınmakta ve tercih edilmektedir. Çeşitli ölçülerde üretilebilme imkânı vardır. 20 mikron çapında liflerden elde edilen ve çoğunlukla 5 mm ile 100 mm arasında uzunluğa sahip olarak üretilmiş olan lifler beton içerisinde üç boyutlu biçimleriyle donatı etkisi meydana getirmektedir. Hafif olduklarından dolayı beton içinde homojen yayılması mümkündür [44]. Betona bazalt lifin katılması ile mekanik ve fiziksel çeşitli üstünlükler sağlanmaktadır. Örneğin

beton içinde meydana gelen çatlaklar ciddi boyutta düşmekte, betonun çekme ve eğilme etkisi altındaki performansı yükselmekte, don dayanımı yüksek ve geçirimsiz betonlar meydana gelmektedir. Buna ek olarak betonun aşınma dayanımı ve yorulma dayanımı da olumlu etkilenmektedir. Bazalt lifin, betonun kuru karışımı hazırlama aşamasında iken karışıma eklenmesi ve normal betona oranla karışım süresinin %20 artırılması tavsiye edilmektedir. Topaklanma riski nedeniyle taze beton içine sonradan eklenmesi önerilmemektedir. Hedeflenen kalitede betona bağlı olarak 1m³ betona 1-10 kg bazalt lif ilave edilmelidir. Bazalt lifli betonlar burada kısaca belirtilen üstünlükleri nedeniyle, yer altı yapıları ve temeller, beton yollar, liman ve kıyı yapıları, su altında kalacak köprü ayakları, su kanalları, hava alanı pistleri, tüneller, endüstri yapılarının döşemeleri vb. birçok çeşitli alanda tercih edilmektedir [45].

Bazalt liflerden yararlanılarak betonarme yapılarda tercih edilen çelik biçiminde üretilmiş olan bazalt lifli donatı Rusya, Ukrayna ve Amerika gibi ülkeler başta olmak üzere birçok farklı ülkede, birtakım yapı elemanlarında donatı çeliğine başka bir seçenek olarak tercih edilen malzemelerdendir. Lifli donatı, bilhassa korozyon riski yüksek olan yapı elemanlarında donatı çeliğine önemli bir seçenek ürün olarak görülebilir [43].

Bazalt lifli donatı, donatı çeliğinden çok daha fazla dayanım gücüne sahip olmasının yanında çelik donatıyla kıyaslandığında yaklaşık olarak üç kat daha hafiftir. Ayrıca betonun genleşme katsayısı ile bazalt lifin termal genleşme katsayısı da epeyce yakındır. Alkali reaksiyonlara karşı yüksek direnci de göz önünde bulundurulduğunda, çok sayıda özelliğiyle donatı çeliğine farklı bir seçenek olma gücü barındırmaktadır [43].

Bazalt ipler ise doğrudan tercih alanı bir hayli az olan fakat lifli kumaş üretimi ile otomotiv, denizcilik ve havacılık sektöründe çeşitli geniş kullanım alanına sahiptir. İnşaat sektöründe ise karbon ve sentetik lifli kumaşlara alternatif ürün olarak değerlendirilmektedir [43].

Bazalt çubuklar liflerin birçok çeşitli bağlayıcılar ile nervürlü inşaat demiri biçimine dönüştürülmesi sonucunda ortaya çıkan ürünlerdir. Yol inşaatlarında, saha betonlarında, kimyasal tesislerde, deniz yapılarında, temellerde Rusya ve ABD başta olmak üzere çok sayıda ülkede oldukça geniş kullanım alanı bulunmaktadır [43].



Resim 2.2 Bazalt orjinli endüstriyel malzemeler [44]

Resim 2.2’de bazalt orjinli endüstriyel malzemeler gösterilmiştir [44]. Bazalt lifler, bazalt lifli donatı ve yüksek dayanımlı epoksi kullanılarak meydana gelen, nervürlü betonarme donatısı biçiminde üretilen bir malzemedir. Sürekli liflerin sarılarak spiral hale dönüştürülmesi ve epoksi ile bağlanması ile istenilen şekil oluşturulmaktadır. Böylelikle korozyona, deniz suyu, hidroklorik asit, alkali vb. kimyasal etkilere dayanıklı ve uzun ömürlü bir malzeme meydana gelmektedir. Bazalt lifli donatı yüksek dayanımlı olmasına ek olarak oldukça hafif bir malzemedir [45].

3. MATERYAL ve YÖNTEM**3.1. MATERYAL****3.1.1. Çimento**

Bu tez çalışmasında TS EN 197-1 [46] ile uyumlu CEM I 42.5 R tipte çimento tercih edilmiştir. Kullanılan çimentoya ait kimyasal ve fiziksel özellikler Çizelge 3.1 ve 3.2’de verilmiştir.

Çizelge 3.1 Çimentonun kimyasal bileşimi

Oksit (%)	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	K ₂ O	KK
Çimento	19.29	3.88	4.25	62.63	3.42	2.58	0.34	3.56

Çimentonun kimyasal bileşiminde beton üretimi için sorun teşkil edebilecek kimyasal bileşene rastlanmamıştır.

Çizelge 3.2 Çimentonun fiziksel özellikleri

Fiziksel Özellikler	Sonuçlar
Özgül Ağırlık (gr/cm ³)	3.09
Priz Süresi	İlk (dakika) Son (dakika)
	125 190
İncelik (cm ² /g)	3420

Çimentonun fiziksel özelliklerine bakıldığında özgül yüzey alanı Blaine incelik deneyi ile TS EN 196-6 [47]’ya uygun olarak yapılmıştır ve özgül yüzey değeri 3420 cm²/g olarak bulunmuştur. TS EN 196-3 [48]’e uygun olarak çimento piknometresi ile yapılan özgül ağırlık deneyi sonucunda da kullanılan çimentonun yoğunluğu 3.09 g/cm³ olarak bulunmuştur.

3.1.2. Bazalt Lif

Çalışmada, Resim 3.1’de görülen 12 mm uzunlukta bazalt lif kullanılmış olup teknik özellikleri Çizelge 3.3’te verilmiştir.

Çizelge 3.3 Bazalt lif katkının teknik özellikleri

Teknik Özellik	Çekme Dayanımı (MPa)	Elastisite Modülü (GPa)	Elyaf Çapı (Mikron)	Elyaf Uzunluğu (mm)
Bazalt Elyaf	48.50	86	10-22	12



Resim 3.1 Bazalt lif

3.1.3. Standart Kum

CEN referans kumu, silisyum dioksit miktarı en az %98 ve tercihen yuvarlak tanecikli olan doğal silis kumu olmalıdır [49].

Tanecik büyüklük dağılımı Çizelge 3.4’te verilen limitler arasında olmalıdır [49].

Çizelge 3.4 CEN referans kumu tanecik büyüklüğü dağılımı [49]

Kare Göz Açıklığı mm	Kümülatif Elekte Kalan %
2.00	0
1.60	7 ±5
1.00	33 ± 5
0.50	67 ± 5
0.16	87 ± 5
0.08	99 ± 1

CEN standard kumu, belirtilen tanecik dağılımı ve rutubet miktarına uymalıdır. CEN standard kumu önceden karıştırılmış deneye hazır halde (1350 ± 5) g'lık plastik torbalar içindedir (Resim 3.2).



Resim 3.2 CEN standart kumu

3.1.4. Su

Yapılan deneyler için Adıyaman ili (içme) şebeke suyu kullanılmıştır.

3.1.5. Metakaolin

Çalışmada, mineral katkı malzemelerinden biri olan metakaolin tercih edilmiştir. Çizelge 3.5'te metakaolin kimyasal bileşeni verilmiştir.

Çizelge 3.5 Metakaolin kimyasal bileşeni

Oksit (%)	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	S+A+F
Metakaolin	54	42	0.35	0.01	0.06	0.13	0.2	96.35

Metakaolinin fiziksel özellikleri Çizelge 3.6'da verilmiştir.

Çizelge 3.6 Metakaolinin fiziksel özellikleri

Özgül Ağırlık (g/cm ³)	Özgül Yüzey (cm ² /g)
2.03	12882

3.1.6. Yüksek Fırın Cüruf

Çalışmada, mineral katkı malzemelerinden biri olan yüksek fırın cürufu tercih edilmiştir. YFC'nin kimyasal bileşeni Çizelge 3.7'de verilmiştir.

Çizelge 3.7 YFC kimyasal bileşeni

Oksit (%)	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	S+A+F
YFC	40.1	12.8	0.9	39.6	4.2	0.05	1.2	92.50

YFC fiziksel özellikleri Çizelge 3.8'de verilmiştir.

Çizelge 3.8 YFC fiziksel özellikleri

Özgül Ağırlık (g/cm ³)	Özgül Yüzey (cm ² /g)
2.80	2695

3.2. YÖNTEM**3.2.1. HARÇ****3.2.1.1. Harcın Bileşimi**

Deney numunelerin üretiminde kullanılan malzemeler; çimento, su, standart kum, mineral katkı ve lif TS EN 196-1 [49] standardına uygun oranda hazırlanarak numuneler üretilmiştir.

Kontrol numunesi bir birim çimento, üç birim standart kum, ½ birim su olacak biçimde hazırlanmıştır. 4×4×16 cm boyutlarından 3 bölmeli numune kalıbına yetecek karışım 445.5 g çimento, 1350 g standart kum, 225 g su ve 4.5 g bazalt liften oluşmaktadır.

Mineral katkılı harçlarda, standart kum miktarından %10, 20 ve 30 oranında azaltma yapılarak yerine mineral katkı kullanılmıştır.

Harç numuneleri için gerekli ağırlık miktarları Çizelge 3.9'da verilmektedir. İstenilen miktarlarda hazırlanan harç için gerekli malzemeler Resim 3.3'te verilmiştir.



Resim 3.3 Harç bileşimi

Çizelge 3.9 Harç karışımındaki malzeme miktarları (g)

	ŞAHİT	%10 MK	%20 MK	%30 MK	%10 YFC	%20 YFC	%30 YFC
ÇİMENTO	445.5	445.5	445.5	445.5	445.5	445.5	445.5
SU	225	300	375	450	300	300	300
S.KUM	1350	1215	1080	945	1215	1080	945
LİF	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5
MK		135	270	405			
YFC					135	270	405

3.2.1.2. Harcın Karıştırılması

Her bir harç numunesi karıştırıcı mikser ile mekanik olarak karıştırılmalıdır.

1) Karıştırma kabına su, bazalt lif ve çimento eklendi,

2) Çimento, bazalt lif ve su eklenen karıştırıcı mikser düşük hız ayarlanıp çalıştırılmaya başlandı ve 30 s sonra ince agrega, 30 s boyunca sürekli olarak eklenmeye devam edildi. Karıştırıcı mikser yüksek hıza ayarlandı ve karıştırma işlemine 30 s daha devam edildi,

3) Karıştırıcı mikser, 1 dakika 30 saniye sonra durduruldu. Kabın kenarlarına ve tabanına yapışan harç sıyırılıp kabın merkezine toplandı,

4) Karıştırmaya yüksek hızda 1 dakika daha devam edildi.

3.2.1.3. Harcın Numune Kalıplarına Konulması ve Sökülmesi

Karıştırılan numuneler 40 mm × 40 mm × 160 mm boyutlarındaki üç bölmeli kalıplara uygun bir kaşıkla karıştırma kabından her bölmeye bir miktar karışım konulur. Sarsma tablası çalıştırılarak karışımın yayılması sağlanır. Numune bitene kadar bu işlem tekrarlanır. Resim 3.4'te görüldüğü gibi numuneler 24 saat kalıpta bekletilir.

24 saat kalıpta bekletilen harç numuneler dayanım kazanmışsa itina ile sökülmelidir. Dayanım kazanmamışsa 24 saat kalıp sökme geciktirilebilir.



Resim 3.4 Kalıplara konulan harçlar

3.2.1.4. Harç Numunelerinin Kür Aşaması

Kalıptan sökülen numuneler (20±1) °C da su bulunan kür havuza 7, 28 ve 90 günlük deneyleri yapmak için konulur.

3.2.2. Ultrases Geçiş Hızı Deneyi

Ultrases cihazı ile beton numune içerisine aktarılan ses dalgalarının deney numunelerinin bir yüzünden diğer bir yüzüne geçiş süresi ölçülerek, dalga hızını hesaplanmaktadır. Hesaplaması gerçekleşen ses dalgasının hızı ile beton numunesinin basınç dayanım değeri ve diğer farklı özellikleri arasında bağlantı oluşturabilmektedir. Ultrases cihazı, ses üstü dalgaların, probalar arasında kalan ve belli bir mesafesi olan açıklığı ne kadar sürede geçtiklerini mikro saniye biriminde göstermekte ve cihazda bulunan ekrana yansıtmaktadır [29]. Ses üstü dalganın geçiş süresi cihaz üzerinde okunduktan sonra (3.1) denklemini yardımıyla dalga hızı hesap edilmektedir (Resim 3.5).

$$V_p = L/t \quad (3.1)$$

V_p = Ses üstü dalga hızı (km/sn) L = Problar arası mesafe (km) t = Zaman (sn)



Resim 3.5 Ultrases geçiş hızı deneyi

3.2.3. Basınç Dayanımı Deneyi

Basınç dayanımı deneyleri, Resim 3.6'da görülen 200 ton yük kapasiteli tek eksenli basınç presinde 2.5 kgf/cm²/sn yükleme hızında gerçekleştirilmiştir [49]. Numunelerin basınç dayanımları (3.2) denklemleri yardımıyla belirlenmiştir.

$$f_b = \frac{P_k}{A_0} \quad (3.2)$$

f_b = Basınç dayanımı (MPa)

A_0 = Yüzey alanı (mm²)

P_k = Kırılma anındaki yük (N)



Resim 3.6 Basınç dayanımı deney cihazı

3.2.4. Eğilme Dayanımı Deneyi

Deney numunesi deney cihazına yan yüzeylerden biri üzerine ve uzunluğuna ekseni mesnet silindirlerinin eksenine dik olacak biçimde mesnet silindirleri üzerine konulur. Yük, yükleyici silindir aracılığı ile prizmanın karşı yan yüzünden dik olarak uygulanır ve düzgün olarak (50 ± 10) N/s hızında olacak biçimde prizma numune kırılıncaya kadar artırılmaya devam edilir (Resim 3.7).

Eğilme dayanımı R_f , N/mm^2 olarak aşağıdaki (3.3) denkleminde hesaplanır [49].

$$R_f = \frac{1.5 \times F_f \times l}{b^3} \quad (3.3)$$

Burada;

R_f : Eğilme dayanımı, (Newton/ mm^2)

b : Prizmanın kare kesitinin kenar uzunluğu (mm),

F_f : Prizmanın kırıldığı anda ortasına uygulanan kuvvet (Newton),

l : Mesnet silindirleri arasındaki uzaklık (mm)



Resim 3.7 Eğilme dayanımı deney cihazı

3.2.5. Rötire Deneyi

Çimento hamurunun prizini tamamlaması sonrası yapısında kuruma kaynaklı hacimsel büzülme meydana gelmektedir. Hacimsel büzülmenin ilerlemesindeki en büyük neden su kaybının ile kuru ortam varlığının devam etmesidir. Çimento hamuru içindeki hidrate CSH jellerinin yapısındaki nemi yitirmesi çimento bazlı malzemelerde kuruma kaynaklı rötireye neden olur. Çimento hamurundaki kuruma sonrası, kılcal boşluklarda mevcut var olan su buharlaşmakta, bu kılcal boşluklara jel suyu akımı gerçekleşmekte ve sonucunda da buharlaşmaktadır. Bu nedenle beraber adsorbe edilmiş su tabakası incelmekte ve tanecikler birbirleriyle yaklaşarak hacim büzülmesi meydana gelmektedir [50].

Numunelerin rötire ölçümleri komparatör yardımıyla yapılmıştır. Komparatörlerin bölümleri genelde 0.01 ve 0.001'i gösterecek şekilde dizayn edilirler. Komparatörler kaldırma prensibiyle ölçüm yapan cihazlardır. Deney numunesinin ucuna temas eden komparatör tuşunun hareket etmesi, numunedeki değişiminin 0.01 veya 0.001 mm değerleri arasında okunmasına sebep olur. Komparatör kadranının çevresi 100 eşit aralığa bölünmüştür. İbrenin bir tam devir hareketi ile 1mm'lik aşağı veya yukarı yönde hareket meydana getirir. Kadranın alt kısmında 10 eşit parçaya bölünmüş mm göstergesi mevcuttur. Büyük ibre ve küçük ibre birbirleriyle uyumlu

hareket etmektedir. Küçük ibredeki bir tam devir hareketi ile uç 10 mm hareket etmektedir. Komparatör kadranı çevresi 100 eşit aralığa ayrılmış olduğundan çevredeki iki çizgi arası $1/100 = 0.01$ mm olarak bulunur. Bu durumda örnek olarak; ibre kadran etrafında 10 çizgi ilerlediğinde, uç 0.10 mm hareket edecektir [51].

Rötre ölçümleri ASTM C596-01 [52]'e uygun biçimde gerçekleştirilmiştir. Çimento harçlarının boy değişim özelliklerini araştırmak amacıyla prizmatik harç numuneleri oluşturulmuştur. Harç numunelerinin kalıp içindeki boyları $285 \times 25 \times 25$ mm'dir. Her bir seri için üç adet harç numunesi yapılmıştır (Resim 3.8.a). Harç numunelerinin kalıptan çıktıkları andaki boyları ve 28 günlük kür sonrası kuru yüzeyli doygun durumdaki boyları komparatör cihazı ile ölçülmüş (Resim 3.8.b) ve (3.4) denkleminde göre hesaplanmıştır.

$$S = \frac{L_1 - L}{L_0} \times 100 \quad (3.4)$$

S: Numunenin büzülme yüzdesi

L_1 : Kür havuzundan çıkarıldıktan sonra başlangıç ölçüm değerini

L: 28 gün sonundaki ölçüm değeri

L_0 : İlk Boy (285 mm)



a)



b)

Resim 3.8 Rötre deneyi için a) Kalıba konulan harçlar b) Komparatör cihaz

3.2.6. Elektriksel Özdirenç Deneyi

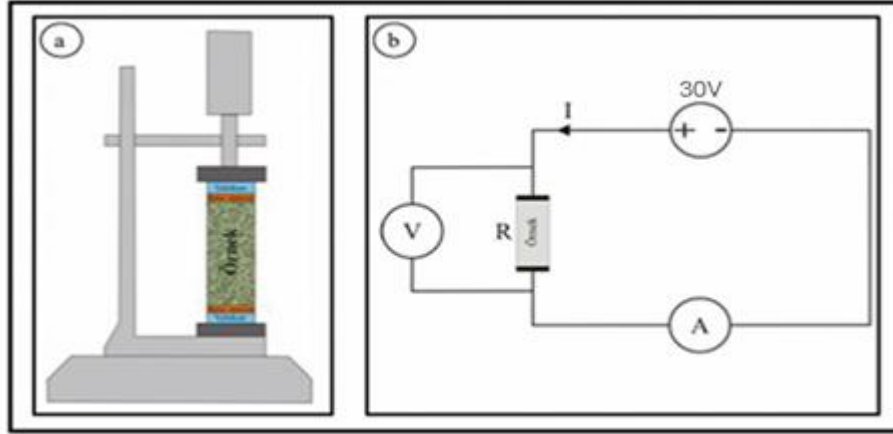
Elektriksel özdirenç ölçümünde kullanılmak için hazırlanan deney düzeneği Resim 3.9'da verilmiştir [53]. Deney düzeneği elektrot görevi gören iki adet bakır levha, mekanik kelepçe, iletkenliği arttırmak amacıyla tercih edilen iletken jel, akımı ve voltajı gösteren bir güç kaynağından meydana gelmektedir. Harç numunelerinin karşılıklı iki yüzeyine iletken jel sürülmesinden sonra güç kaynağının eksi kutbu bir bakır elektroda artı kutbu da diğer bakır elektroda bağlanarak devre oluşturulur. Bu aşamalardan sonra güç kaynağından sabit 30 V verilerek her bir harç numunesinin çektiği akım değerleri ölçülüp kaydedilmiştir (Resim 3.10).

(3.5) ve (3.6) denklemleri yardımı ile harç numunesinin sırasıyla özdirenç (ρ) değerleri hesaplanmıştır.

$$\rho = R \times \frac{S}{L} \quad (3.5)$$

$$R = \frac{U}{I} \quad (3.6)$$

Denklemlerde ρ = elektriksel özdirenci ($\Omega.m$); R ölçülen direnç (Ω); L, bakır elektrotlar arası mesafe (m); S, elektrot iletken alanı (m^2); U Elektrotlar üzerindeki gerilim değeri (volt); I Numunenin içinden geçen akım şiddetini (amper).



Resim 3.9 Elektriksel özdirenç deneyi a) Ölçüm şeması b) Elektronik devre tasarımı (V: voltmetre, A: ampermetre, 30V: voltaj kaynağı, I: akım, R direnç) (İnce [53] değiştirilerek kullanılmıştır)



Resim 3.10 Elektriksel özdirenç deneyi cihazı

3.2.7. Sodyum Sülfat Deneyi

Bu deney için ASTM C88 [54] standardına göre 1 litre suya 350 g sodyum sülfat katılıp karıştırılarak çözelti hazırlanmıştır. Çözelti 21 ± 1 °C sıcaklığa kadar soğumaya bırakılır. Kullanım öncesi çözelti minimum 48 saat süre boyunca 21 ± 1 °C sıcaklıkta muhafaza edilmeli ve ara sıra karıştırılmalıdır.

28 gün kür havuzunda bekletilen numuneler çıkartıldıktan sonra etüv kurusu haline getirilir. Resim 3.11’de görüldüğü gibi numunelerin ağırlıkları tartılarak deney öncesi ilk ağırlıkları bulunur.



Resim 3.11 Deney öncesi numunenin tartılması

Toplamda 3 litre su ve 1050 g sodyum sülfattan oluşan çözelti ile numuneler uygun bir kaptaki çözelti numunenin üzerini en az 10 mm örtecek şekilde yerleştirilir. 16 saatten az 18 saatten fazla olmayacak şekilde bekletilir (Resim 3.12). Buharlaşma kaybını önlemek amacıyla sodyum sülfat çözeltisi bulunan kova, kapak ile kapatılır ve çözelti sıcaklığı daldırma süresi boyunca 21 ± 1 °C’de tutulur.



Resim 3.12 Numunelerin çözelti içinde bekletilmesi

Daldırma süresinin sonunda numune çözeltinin içerisinde çıkarılır ve çözeltinin süzülebilmesi amacıyla 15 ± 5 dakika beklenir (Resim 3.13).



Resim 3.13 Çözeltiden çıkarılan numunelerin bekletilmesi

(110 ± 5) °C sıcaklığa getirilmiş etüve konularak yaklaşık 4-6 saat değişmez ağırlığa kadar kurutulur (Resim 3.14).



Resim 3.14 Numunelerin etüve konulması

Etüvden çıkan numuneler oda sıcaklığına gelinceye kadar soğutulur ve tekrar çözelti kovasına daldırılır. Islanma ve kuruma işlemi toplam 5 kez tekrarlanır.

5. döngüden sonra etüv kurusu olan numuneler tartılır. Tartılma sonucu aşağıdaki (3.7) denklemine göre don kaybını yüzde olarak öğrenilir.

$$\frac{(G_1 - G_2)}{G_1} \times 100 \quad (3.7)$$

G_1 : Deney öncesi numunelerin etüv kurusu ağırlığı

G_2 : Deney sonrası numunelerin etüv kurusu ağırlığı

Don kaybı deneyinden sonra basınç dayanımı deneyi uygulandı. 200 ton yük kapasiteli tek eksenli basınç presinde 2.5 kgf/cm²/sn yükleme hızında gerçekleştirilmiştir [49]. Numunelerin basınç dayanımları (3.8) denklemi yardımıyla belirlenmiştir.

$$f_b = \frac{P_k}{A_0} \quad (3.8)$$

f_b = Basınç dayanımı (MPa)

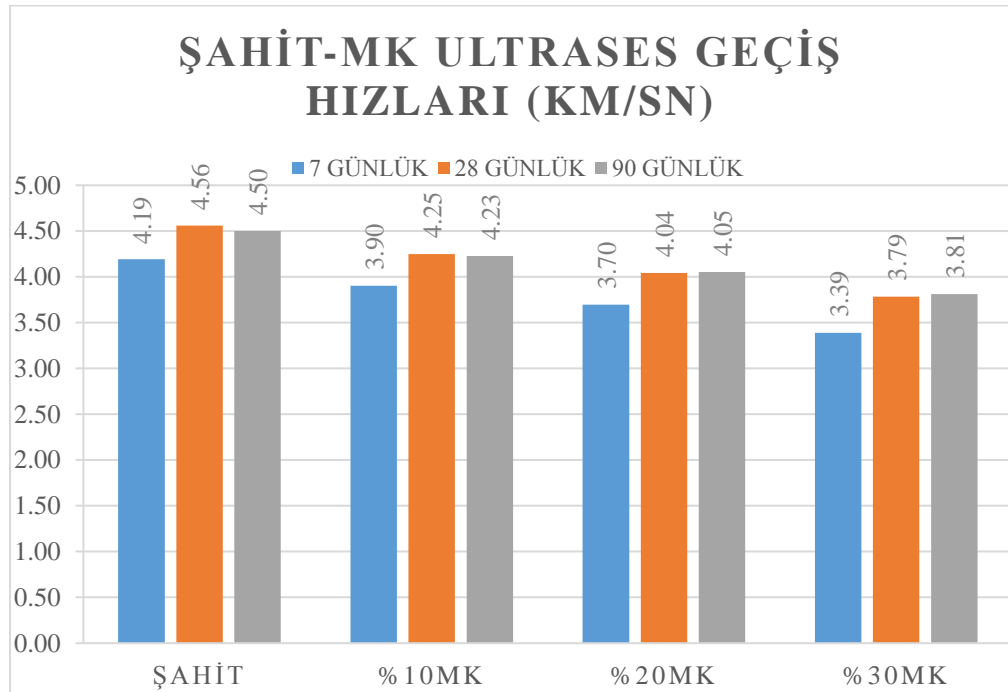
A_0 = Yüzey alanı (mm²)

P_k = Kırılma anındaki yük

4. BULGULAR ve TARTIŞMA

4.1. Ultrases Geçiş Hızı Bulguları

Bu bölümde hazırlanan numunelere ait ultrases geçiş hızı bulguları verilmiştir. Okumalar mikro saniye olarak kaydedildikten sonra problar arası mesafe kullanılarak km/sn değerine çevrilmiştir. Her deney 3 numuneden yapılmış ve bu verilerin ortalamaları alınmıştır.



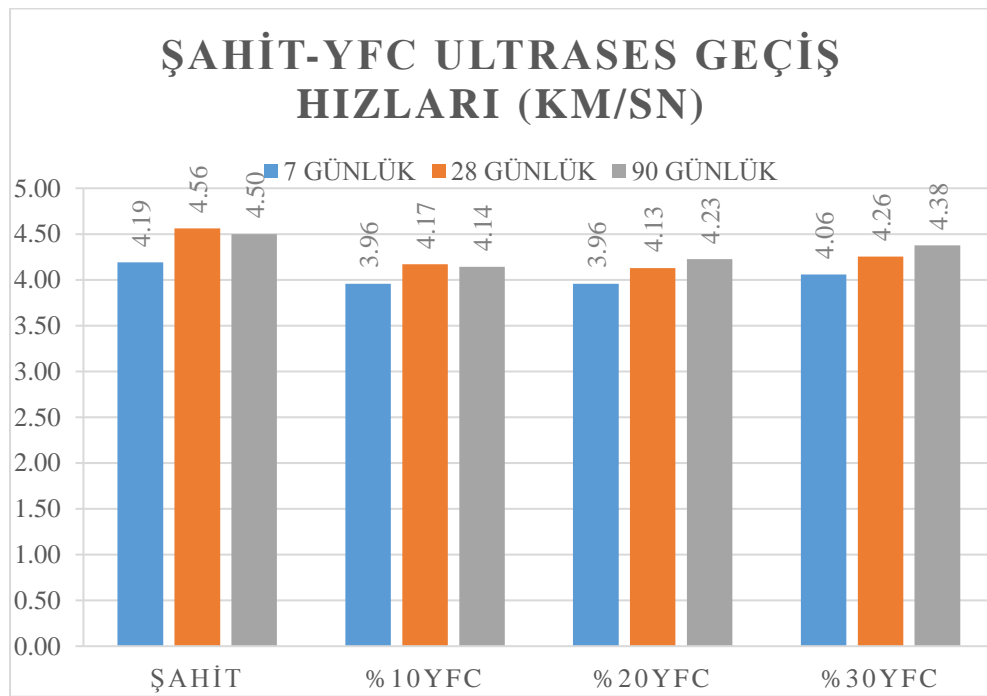
Şekil 4.1 Şahit- MK ultrases geçiş hızları değerleri

Metakaolin katkılı harçların şahit numuneleriyle ultrases geçiş hızı değerlerine Şekil 4.1'den bakılarak karşılaştırıldığında, 7 günlük şahit numune Vp değerleri ortalaması 4.19 km/sn iken %10 MK katkılıda 3.9 km/sn, %20 MK katkılıda 3.7 km/sn ve %30 MK katkılıda ise 3.39 km/sn olarak ölçülmüştür. Bu değerlere bakıldığında metakaolin miktarı arttıkça geçiş hızı değeri azalmaktadır.

28 günlük şahit numune Vp değerleri ortalaması 4.56 km/sn iken %10 MK katkılıda 4.25 km/sn, %20 MK katkılıda 4.04 km/sn ve %30 MK katkılıda ise 3.79

km/sn olarak ölçülmüştür. Şahit numunesinin en büyük değeri aldığı ve metakaolin miktarı arttıkça Vp değerinde azalma görülmektedir.

90 günlük şahit numune Vp değerleri ortalaması 4.50 km/sn iken %10 MK katkıda 4.23 km/sn, %20 MK katkıda 4.05 km/sn ve %30 MK katkıda ise 3.81 km/sn olarak ölçülmüştür. Şahit numunesinin en büyük değeri aldığı ve metakaolin miktarı arttıkça Vp değerinde azalma görülmektedir.



Şekil 4.2 Şahit – YFC ultrases geçiş hızları değerleri karşılaştırılması

Yüksek fırın cürufu katkılı harçların şahit numuneleriyle ultrases geçiş hızı değerlerine Şekil 4.2'den bakılarak karşılaştırıldığında, 7 günlük şahit numune Vp değerleri ortalaması 4.19 km/sn iken %10 YFC katkıda 3.96 km/sn, %20 YFC katkıda 3.96 km/sn ve %30 YFC katkıda ise 4.06 km/sn olarak ölçülmüştür. Bu değerlere bakıldığında yüksek fırın cürufu miktarının %30 olduğu geçiş hızı değeri diğer YFC katkılarından daha yüksek ama şahit numunesinden düşüktür.

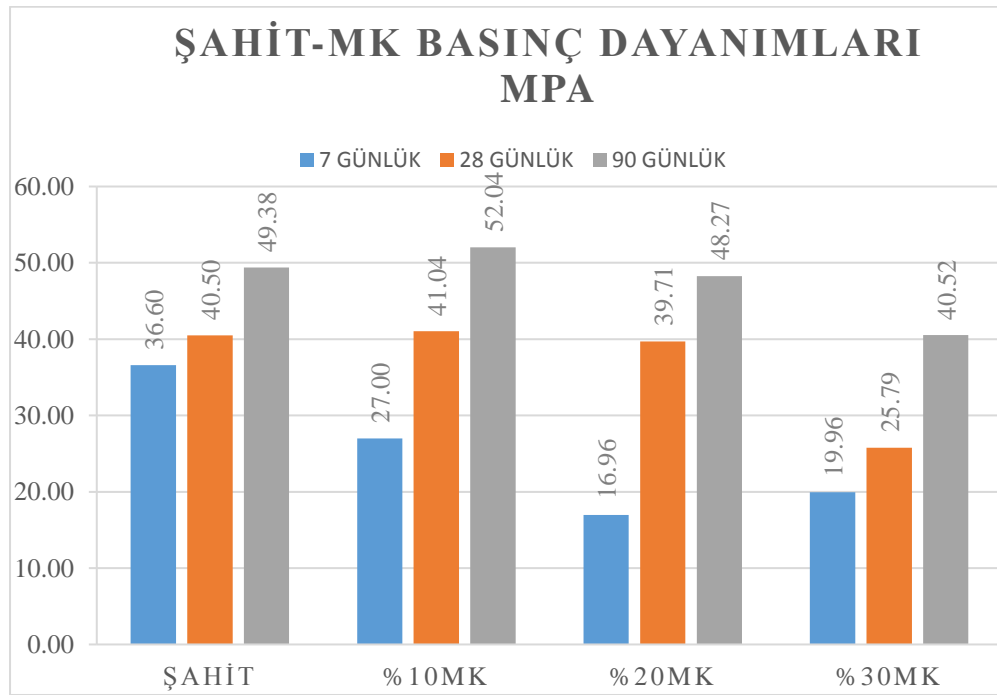
28 günlük şahit numune Vp değerleri ortalaması 4.56 km/sn iken %10 YFC katkıda 4.17 km/sn, %20 YFC katkıda 4.13 km/sn ve %30 YFC katkıda ise 4.26 km/sn olarak ölçülmüştür. Şahit numunesinin en büyük değeri aldığı ve yüksek fırın

cürufu katkılıların kendi içerisinde karşılaştırıldığında %30 YFC katkılı numune Vp değeri daha yüksektir.

90 günlük şahit numune Vp değerleri ortalaması 4.50 km/sn iken %10 YFC katkılıda 4.14 km/sn, %20 YFC katkılıda 4.23 km/sn ve %30 YFC katkılıda ise 4.38 km/sn olarak ölçülmüştür. Şahit numunesinin en büyük değeri aldığı ve yüksek fırın cürufu miktarı arttıkça Vp değerinde artış görülmektedir.

4.2. Basınç Dayanımı Bulguları

Bu bölümde üretilen harç numunelerin basınç dayanım sonuçları verilmiştir. Her 7, 28 ve 90 günlük numuneler 3 adetten yapılmış ve ortalamaları alınmıştır.



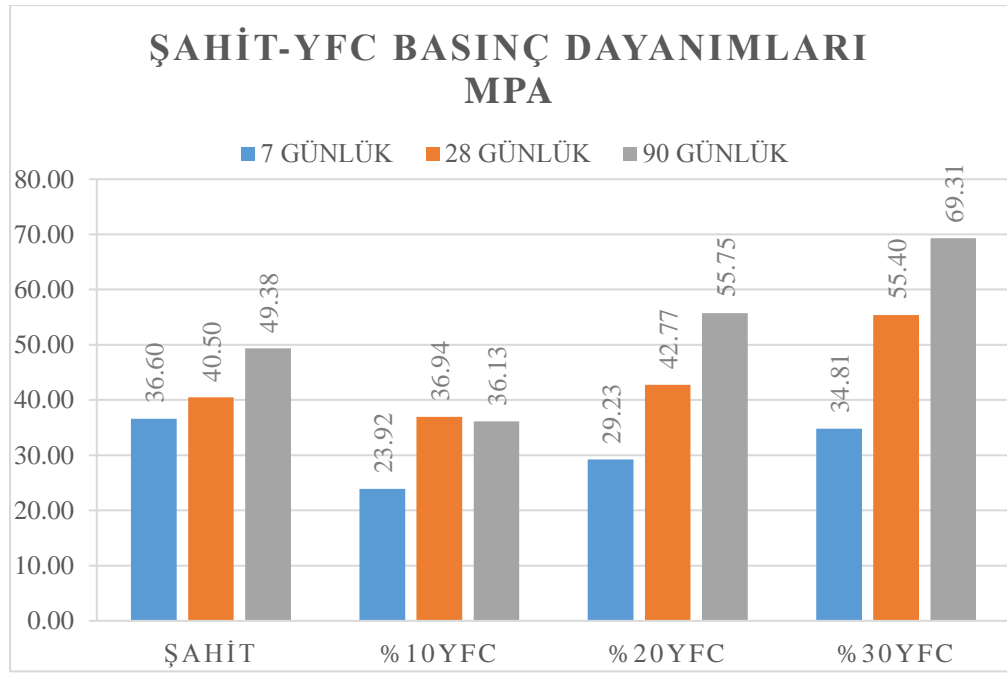
Şekil 4.3 Şahit- MK basınç dayanımı değerleri karşılaştırılması

Şekil 4.3'te görüldüğü gibi 7 günlük şahit numune basınç dayanım değerleri ortalaması 36.60 MPa iken %10 MK katkılıda 27 MPa, %20 MK katkılıda 16.96 MPa ve %30 MK katkılıda ise 19.96 MPa olarak ölçülmüştür. 7 günlük erken dayanımlara

bakıldığında şahit numunenin metakaolin katkılarına oranla çok daha yüksek değerde olduğu görülmektedir.

28 günlük şahit numune basınç dayanım değerleri ortalaması 40.50 MPa iken %10 MK katkıda 41.04 MPa, %20 MK katkıda 39.71 MPa ve %30 MK katkıda ise 25.79 MPa olarak ölçülmüştür.

90 günlük şahit numune basınç dayanım değerleri ortalaması 49.38 MPa iken %10 MK katkıda 52.04 MPa, %20 MK katkıda 48.27 MPa ve %30 MK katkıda ise 40.52 MPa olarak ölçülmüştür. Şahit numune ile metakaolin katkıli harçların basınç dayanım sonuçlarına bakılarak harçtaki metakaolin miktarı arttıkça dayanımın şahit numuneye oranla düştüğü, %10 MK katkıli harcın 28 ve 90 günlük sonuçlarda en yüksek değer olduğu görülmektedir.



Şekil 4.4 Şahit- YFC basınç dayanımı değerleri karşılaştırılması

Yüksek fırın cürufu katkıli harçların şahit numuneleriyle basınç dayanımı değerlerine Şekil 4.4'te bakılarak karşılaştırıldığında, 7 günlük şahit numune basınç dayanım değerleri ortalaması 36.60 MPa iken %10 YFC katkıda 23.92 MPa, %20 YFC katkıda 29.23 MPa ve %30 YFC katkıda ise 34.81 MPa olarak ölçülmüştür. 7

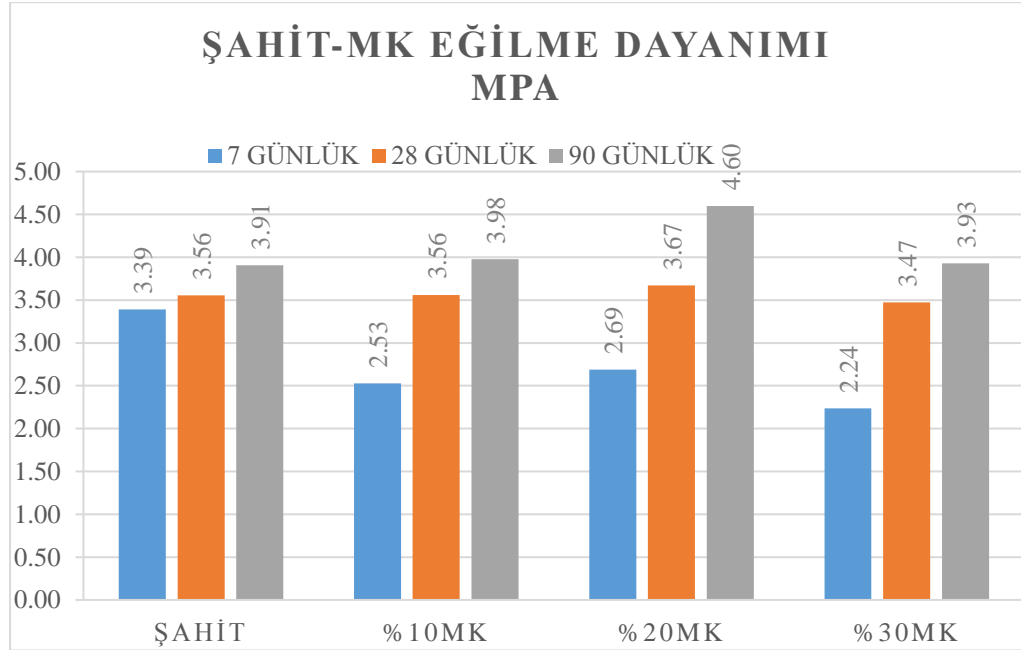
günlük erken dayanıma bakıldığında şahit numunenin dayanımı yüksek fırın cürufu katkılarına göre daha yüksek değerde olduğu görülmektedir.

28 günlük şahit numune basınç dayanım değerleri ortalaması 40.50 MPa iken %10 YFC katkıında 36.94, %20 YFC katkıında 42.77 MPa ve %30 YFC katkıında ise 55.40 MPa olarak ölçülmüştür.

90 günlük şahit numune basınç dayanım değerleri ortalaması 49.38 MPa iken %10 YFC katkıında 36.13 MPa, %20 YFC katkıında 55.75 MPa ve %30 YFC katkıında ise 69.31 MPa olarak ölçülmüştür. Şahit numune ile yüksek fırın cürufu katkı harçların basınç dayanım sonuçlarına bakılarak harçtaki yüksek fırın cürufu miktarı arttıkça dayanımın şahit numuneye oranla arttığı, %30 YFC katkı harcın 28 ve 90 günlük sonuçlarda en yüksek olduğu görülmektedir. Ayrıca %20 YFC katkı harçların 28 ve 90 günlük sonuçları da şahit numuneden yüksektir.

4.3. Eğilme Dayanımı Bulguları

Bu bölümde üretilen harç numunelerin eğilme dayanım sonuçları verilmiştir. Her numuneden 3 adet yapılmıştır ve ortalamaları değer olarak alınmıştır.

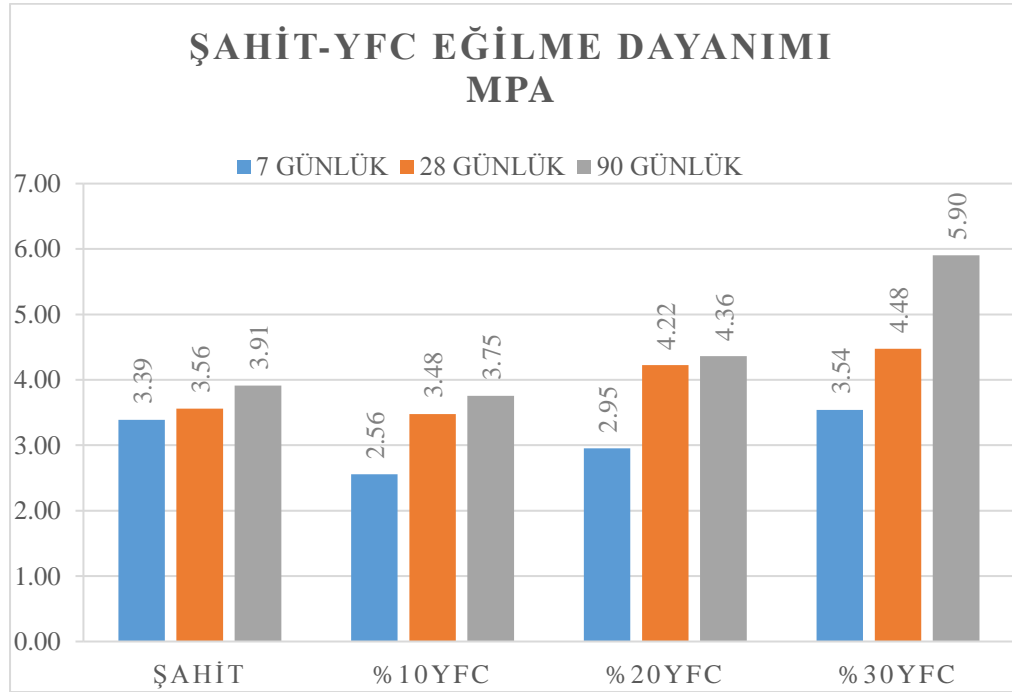


Şekil 4.5 Şahit- MK eğilme dayanımı değerleri karşılaştırılması

Şekil 4.5'te görüldüğü gibi 7 günlük şahit numune eğilme dayanım değerleri ortalaması 3.39 MPa iken %10 MK katkılıda 2.53 MPa, %20 MK katkılıda 2.96 MPa ve %30 MK katkılıda ise 2.24 MPa olarak ölçülmüştür. 7 günlük erken dayanımlara bakıldığında şahit numunenin metakaolin katkılarına oranla çok daha yüksek değerde olduğu görülmektedir.

28 günlük şahit numune eğilme dayanım değerleri ortalaması 3.56 MPa iken %10 MK katkılıda 3.56 MPa, %20 MK katkılıda 3.67 MPa ve %30 MK katkılıda ise 3.47 MPa olarak ölçülmüştür.

90 günlük şahit numune eğilme dayanım değerleri ortalaması 3.91 MPa iken %10 MK katkılıda 3.98 MPa, %20 MK katkılıda 4.60 MPa ve %30 MK katkılıda ise 3.93 MPa olarak ölçülmüştür. Şahit numune ile metakaolin katkılı harçların eğilme dayanım sonuçlarına bakılarak 28 günlük değerlerde %30 MK katkılı harcın eğilme dayanımı en düşük olduğu, %20 MK katkılı harcın 28 ve 90 günlük sonuçlarda en yüksek olduğu görülmektedir.



Şekil 4.6 Şahit- YFC eğilme dayanımı değerleri karşılaştırılması

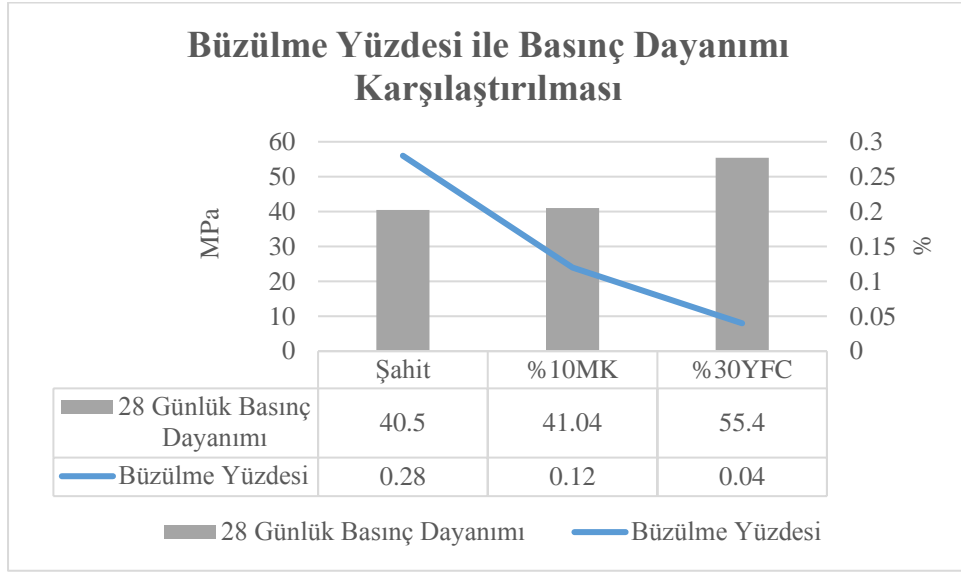
Yüksek fırın cürufu katkılı harçların şahit numuneleriyle eğilme dayanımı değerlerine Şekil 4.6'dan bakılarak karşılaştırıldığında, 7 günlük şahit numune eğilme dayanım değerleri ortalaması 3.39 MPa iken %10 YFC katkılıda 2.56 MPa, %20 YFC katkılıda 2.95 MPa ve %30 YFC katkılıda ise 3.54 MPa olarak ölçülmüştür. 7 günlük erken dayanıma bakıldığında şahit numunenin dayanımı %10 ve %20 YFC katkılılara göre daha yüksek değerde olduğu ama %30 YFC katkılı numune değerinin en yüksek olduğu görülmektedir.

28 günlük şahit numune eğilme dayanım değerleri ortalaması 3.56 MPa iken %10 YFC katkılıda 3.48 MPa, %20 YFC katkılıda 4.22 MPa ve %30 YFC katkılıda ise 4.48 MPa olarak ölçülmüştür.

90 günlük şahit numune eğilme dayanım değerleri ortalaması 3.91 MPa iken %10 YFC katkılıda 3.75 MPa, %20 YFC katkılıda 4.36 MPa ve %30 YFC katkılıda ise 5.90 MPa olarak ölçülmüştür. Harçtaki yüksek fırın cürufu miktarı arttıkça dayanımın şahit numuneye oranla arttığı ama 7, 28 ve 90 günlük numunelerde en düşük değer %10 YFC katkılı harcın olduğu, %30 YFC katkılı harcın 7, 28 ve 90 günlük sonuçlarda en yüksek olduğu görülmektedir. Ayrıca %20 YFC katkılı harçların 28 ve 90 günlük sonuçları da şahit numuneden yüksektir.

4.4. Rötire Deneyi Bulguları

Bu bölümde şahit, %10 MK ve %30 YFC katkılı numunelerden 3'er adet yapılmış ve deney numunelerin ortalamaları alınmıştır.



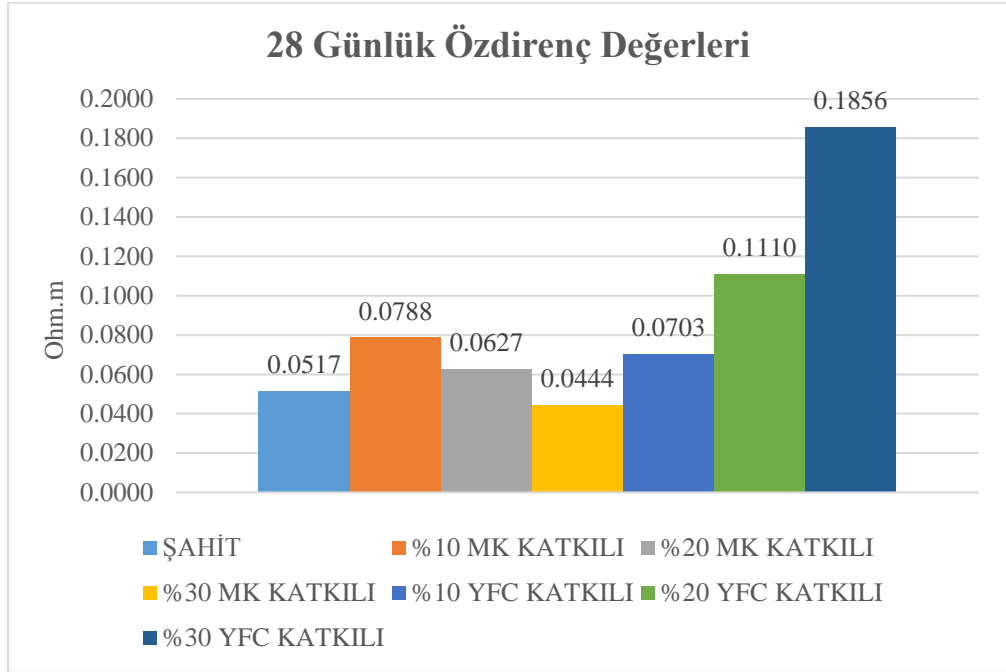
Şekil 4.7 Büzülme yüzdesi ile 28 günlük basınç dayanımı karşılaştırılması

28 günlük basınç dayanım değerlerine bakıldığında en yüksek değerlere sahip olan ve uygulanabilirliği en uygun olduğu düşünülen %10 MK ve %30 YFC katkılı numuneler ile şahit numunesine rötre deneyi yapılmıştır. Şekil 4.7’de belirtilen değerlere göre en fazla büzülme yüzdesi %0.28 ile şahit numune, %10 MK katkılı da %0.12 ve en düşük büzülme yüzdesi değeri %0.04 ile %30 YFC katkılı numuneden elde edilmiştir.

Şahit numune ile katkılı numuneler karşılaştırıldığında, mineral katkının kullanımı büzülme yüzdesini düşürmüştür. Bu da rötre varlığının mineral katkı kullanımı ile azaldığının göstergesi olduğu söylenebilir.

4.5. Elektriksel Özdirenç Deneyi Bulguları

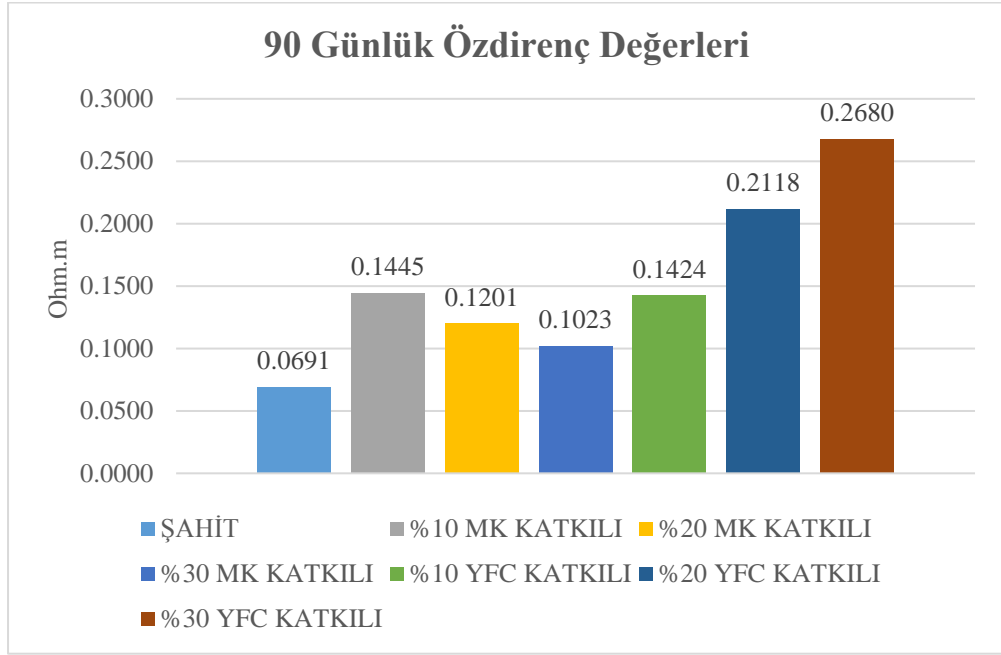
Bu bölümde üretilen harç numunelerin elektriksel özdirenç deneyi sonuçları verilmiştir. Her 28 ve 90 günlük numuneler 3 adetten yapılmış ve ortalamaları alınmıştır.



Şekil 4.8 28 günlük numunelerin elektriksel özdirenç sonuçları

Katkılı harçların şahit numune ile kıyaslandığı Şekil 4.8'e bakıldığında, YFC katkı oranı arttıkça elektriksel özdirenç değerinin arttığı, MK katkı oranı arttıkça elektriksel özdirenç değerinin azaldığı gözlemlenmiştir. 0.1856 ohm.m değeri ile %30 YFC katkılı numunenin en büyük değerde, 0.0444 ohm.m değeri ile %30 MK katkılı numunenin en düşük değerde olduğu görülmüştür. 0.0517 ohm.m değeri ile şahit numune sadece %30 MK katkılıdan daha yüksek elektriksel özdirenç değerine sahip olduğu görülmüştür.

28 günlük elektriksel özdirenç sonuçları ile 28 günlük basınç dayanımı sonuçları paralellik göstermektedir. Basınç dayanımı arttıkça özdirenç değeri de artmıştır.



Şekil 4.9 90 günlük numunelerin elektriksel özdirenç sonuçları

Katkılı harçların şahit numune ile kıyaslandığı Şekil 4.9'a bakıldığında, YFC katkı oranı arttıkça elektriksel özdirenç değerinin arttığı, MK katkı oranı arttıkça elektriksel özdirenç değerinin azaldığı gözlemlenmiştir. 0.2680 ohm.m değeri ile %30 YFC katkılı numunenin en büyük değerde, 0.0691 ohm.m değeri ile şahit numunenin en düşük değerde olduğu görülmüştür.

90 günlük elektriksel özdirenç sonuçları ile 90 günlük basınç dayanımı sonuçları paralellik göstermektedir. Basınç dayanımı arttıkça özdirenç değeri de artmıştır.

Elektriksel özdirenç artması elektriksel iletkenliği azaltacağı düşünüldüğünden özdirenç yüksek olan numunelerin daha yalıtkan olması beklenilmektedir. 90 günlük değerlere bakıldığında şahit numunenin en iletken numune olması düşünülmektedir.

4.6. Sodyum Sülfat Deneyi Bulguları

Bu bölümde sodyum sülfat çözeltisine maruz kalan numunelerin don kaybı yüzdeleri Çizelge 4.1’de verilmiştir.

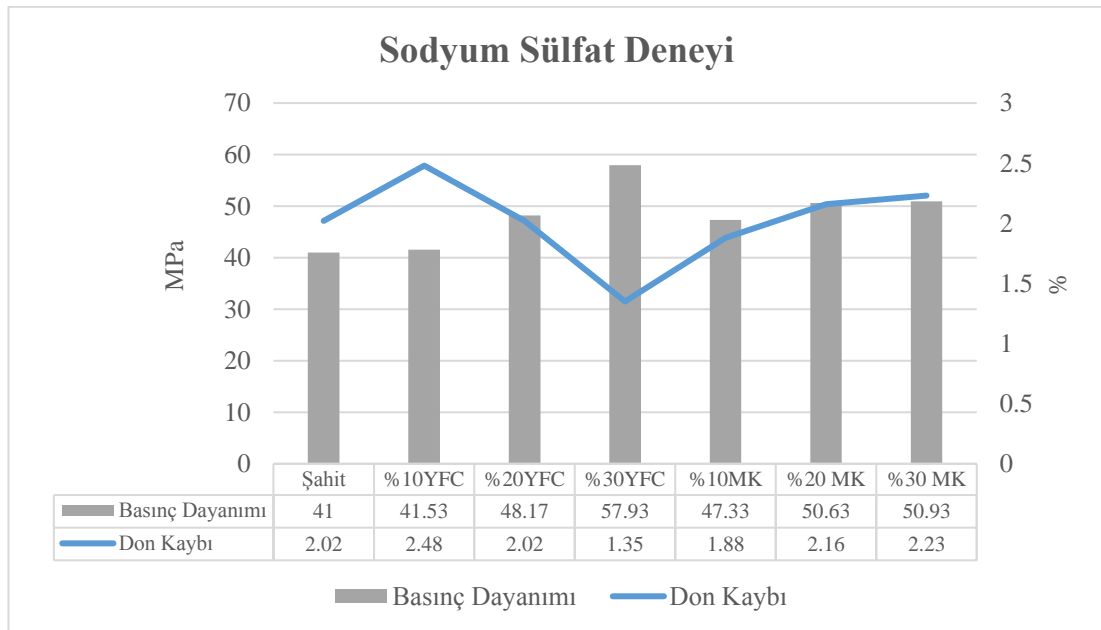
Çizelge 4.1 Sodyum sülfat don kaybı deneyi sonuçları

	Şahit	%10YFC	%20YFC	%30YFC	%10MK	%20MK	%30MK
%	2.02	2.48	2.02	1.35	1.88	2.16	2.23
D.K.							

Bu bölümde sodyum sülfat çözeltisine maruz kalan numunelerin basınç dayanımı değerleri Çizelge 4.2’de verilmiştir.

Çizelge 4.2 Sodyum sülfat basınç dayanımı deneyi sonuçları

	Şahit	%10YFC	%20YFC	%30YFC	%10MK	%20MK	%30MK
Basınç	41	41.53	48.17	57.93	47.33	50.63	50.93
Dayanımı	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa



Şekil 4.10 Sodyum sülfat deneyleri sonuçları

Sodyum sülfat çözeltisine maruz kalan numunelerin Şekil 4.10'da basınç dayanımı değerleri ve don kaybı yüzdeleri birlikte verilmiştir. En düşük don kaybı %1.35 ve en yüksek basınç dayanımı 57.93 MPa ile %30 YFC katkılı numunedir. Numunedeki YFC miktarı arttıkça don kaybı yüzdesi azalmakta ve basınç dayanımı artmaktadır. Numunedeki MK miktarı arttıkça basınç dayanımı da artmaktadır. En düşük basınç dayanımı değeri 41 MPa ile şahit numunededir.

5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında metakaolin ve YFC mineral maddeleri kullanılarak harç beton üretimi deneysel olarak incelenmiştir.

Basınç dayanımı sonuçlarına bakıldığında, tüm seriler içerisinde en yüksek değer %30 YFC katkıli numunenin olduğu, MK katkıli seriler içerisinde bakıldığında en yüksek değer %10 MK katkıli numunenin olduğu görülmüştür. Mineral katkıli numunelerin belirli oranlarda kullanımı dayanımı arttırdığı gözlemlenmiştir.

Ultrases geçiş hızı deneyi sonuçlarına bakıldığında, şahit numunelerin tüm serilerden daha yüksek V_p değerlerine sahip olduğu görülmüştür.

Eğilme dayanımı deneyi sonuçlarına bakıldığında, 7, 28 ve 90 günlük değerlerin tümünde en yüksek değer %30 YFC katkıli numunenin olduğu görülmüştür.

Basınç dayanımı en yüksek olan %30 YFC ve %10 MK katkıli numuneler ile şahit numunesinin rötre deneyi sonuçlarına bakıldığında, mineral katkı kullanımını rötre varlığını azaltacağı yani olumlu etki edeceği düşünülmektedir.

Elektriksel özdirenç değerlerine bakıldığında, basınç dayanımıyla doğrudan ilişkili olarak mineral kullanımı serbest haldeki $Ca(OH)_2$ 'nin etkileşimi ile hidrasyon sonucu C-S-H jellerinin çimento hamurundaki su içeriğini azalması ile etrenjit-monosülfat oluşumunu hızlandırdığı, bu da elektriksel direnci arttırdığı düşünülmektedir.

Elektriksel özdirencin artması elektriksel iletkenliği azaltacağı düşünüldüğünden özdirenci yüksek olan numunelerin daha yalıtkan olması beklenilmektedir.

Tahribatsız bir deney yöntemi olan elektriksel özdirenç deneyi uygulaması kolay ve düşük maliyetli olmasından dolayı kullanımı yaygınlaşmaktadır. Ayrıca numunelerin bazı özelliklerini belirleme noktasında ek fikirler verebileceği düşünülmektedir.

Sodyum sülfata maruz bırakılan numunelerden en iyi dayanıklılığı %30 YFC katkıli numune vermiştir. YFC miktarının artması don kaybını azaltıp, basınç dayanımını arttırmıştır. MK kullanımı basınç dayanımını arttırmış, %10 MK katkıli numunenin don kaybı yüzdesi şahit numuneye oranla daha düşük seviyededir.

Metakaolinin miktarının artması don kaybını arttırmıştır. Mineral katkı kullanımı sülfat varlığında şahit numuneye oranla daha olumlu sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir.

Metakaolin ile YFC'nin ince agrega olarak tercih edilmesi basınç dayanımını, elektriksel özdirenç sonuçlarını, rötre oluşumunu azalttığı ve sülfat varlığındaki harç numunenin dayanıklılığını arttığı gözlemlenmiştir.

En uygun agrega karışım oranlarına bakıldığında %30 YFC katkılı ve %10 MK katkılı numunelerin en avantajlı sonuçları verdiği görüldüğünden harç beton yapımında kullanımı önerilmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] G., Batis, et al. “The effect of metakaolin on the corrosion behavior of cement mortars”, *Cement and Concrete Composites*, 27.1, 125-130, 2005.
- [2] A. M. Rashad, “A preliminary study on the effect of fine aggregate replacement with metakaolin on strength and abrasion resistance of concrete”, *Construction and Building Materials*, 44, 487-495, 2013.
- [3] H.Binici, et al. “Kum Boyutunda Yüksek Fırın Cürufu ve Pomza Katkılı Beton Boruların Durabilite Özelliklerinin Araştırılması”, *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 14.3, 33-44, 2012.
- [4] B. Baradan, H. Yazıcı ve S. Aydın, *Beton*. İzmir: Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları, No:334. 2015.
- [5] TS EN 998-1, Kagir harcı-Özellikler-Kaba ve İnce Sıva, 2006.
- [6] TS EN 998-2, Kagir harcı-Özellikler-Kagir harcı, 2006.
- [7] B. Postacıoğlu, *Beton Cilt I Bağlayıcı Maddeler*. İstanbul: Divanyolu, 1986.
- [8] S. Akman, *Yapı Malzemeleri*. İstanbul: İTÜ İnşaat Fakültesi Matbaası, 1987.
- [9] D.D., VU, “Strength Properties of Metakaolin-Blended Paste”, *Mortar and Concrete*, Delft University Press, Netherlands, 2002.
- [10] Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Endüstriyel Alt Maddeler Alt Komisyonu, *Seramik-Refrakter-Cam Hammaddeleri Çalışma Grubu Raporu Cilt I*, T.C. Başbakanlık Devlet Planlama Teşkilatı Müsteşarlığı, Yayın No: DPT: 2418 – Ö&K: 477, 1995.
- [11] J., Pera, “Metakaolin and calcined clays”, *Cement and Concrete Composites*, Elsevier Science Ltd., 2001.
- [12] M.M. Tevrici, “Metakaolin katkıli harçların bazı durabilite özelliklerinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 2010.
- [13] S. Çelikten, “Çelik fiber içeren yüksek dayanımlı beton özellikleri üzerine metakaolin ve öğütölmüş pomzanın etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, Niğde Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Niğde, 2014.

- [14] Z. Almaz, “Metakaolin ve silis dumanı içeren harç karışımlarının özellikleri”, Yüksek Lisans Tezi, Niğde Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Niğde, 2010.
- [15] M.A. Nebioğulları, “Metakaolin, yüksek fırın cürufu ve uçucu kül katkısının beton hidratasyon sıcaklığına etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, Niğde Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Niğde, 2010.
- [16] D. Thomas, “Concrete Durability”, *CRC Press*, 2014.
- [17] M. Tokyay, “Cement and Concrete Mineral Admixtures”, *CRC Press*, 2016.
- [18] M. Tokyay, ve K. Erdoğan, “Cüruflar ve cürüflü çimentolar”, TÇMB, Ar-Ge Raporu, 8. Baskı, Ankara, 2009.
- [19] C. Bilim, “Yüksek fırın cürufu katkısının çimento tabanlı malzemelerde kullanılabilirliği”, Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 2006.
- [20] J. Newman, and B.S. Choo, “Advanced Concrete Technology”, *Elsevier Publishing*, Great Britain, 2003.
- [21] M. Canbaz, “Alkalilerle aktive edilmiş yüksek fırın cürüflü harçların özellikleri”, Doktora Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, 2007.
- [22] S.T. Erdoğan ve T.Y. Erdoğan, *Bağlayıcı Malzemelerin ve Betonun Onbin Yıllık Tarihi*. Ankara: ODTÜ yayıncılık, 2007.
- [23] M.S. Shetty, “Concrete Technology Theory and Practice”, S. Chand Company Ltd. India, 2005.
- [24] C. Shi., P.V. Krivenko, and D. Roy, “Alkali-Activated Cements and Concretes”, *Taylor and Francis Publishing*, 2006.
- [25] G. Bilgen, A. Kavak, T., S. Yıldırım ve Ö., F. Çapar, “Yüksek fırın cürufunun inşaat sektöründeki yeri ve önemi”, 2. Ulusal Katı Atık Yönetimi Kongresi., Mersin, syf:505-513, 18-20 Ekim 2010.
- [26] E. Luga, “Uçucu kül ve yüksek fırın cürufu jeopolimer harçların özellikleri”, Doktora Tezi, Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri, 2015.
- [27] O. Sürül, “Yüksek fırın cürufu ve uçucu külün tuğla üretiminde katkı olarak kullanılmasının araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, Bülent Ecevit Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Zonguldak, 2015.

- [28] A. R. Boğa, “Yüksek fırın cürufu ve korozyon inhibitörü kullanımının beton içerisindeki donatı korozyonuna ve beton özelliklerine etkileri”, Doktora Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, 2010.
- [29] T. Y. Erdoğan, *Beton*. Metu Press, 5. Baskı, 2015.
- [30] Y. Yılmaz, “Beton Üretiminde Uçucu kül ve yüksek fırın cürufu kullanılmasının etkileri ve maliyet analizi”, Yüksek Lisans Tezi, Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ, 2014.
- [31] A.S. Emekli, “Yüksek performanslı betonlarda kür koşullarının yüksek fırın cürufu etkinliği üzerine etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2015.
- [32] M. Açıkgenç, U. Arazsu ve K. E. Alyamaç, “Farklı karışım oranlarına sahip polipropilen lifli betonların dayanım ve durabilite özellikleri”, *SDU International Technologic Science*, c. 4, s. 3, ss. 41-54, 2012.
- [33] O. Ünal, T. Uygunoğlu ve O. Gençel, “Çelik liflerin beton basınç ve eğilme özelliklerine etkisi”, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, c. 13, s. 1, ss. 23-30, 2007.
- [34] M. Y. Yardımcı, “Çelik lifli kendiliğinden yerleşen betonların reolojik, mekanik, kırılma parametrelerinin araştırılması ve optimum tasarımı”, Doktora tezi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir, 2007.
- [35] B. Baradan, S. Türkel, H. Yazıcı, H. Ün, H. Yiğiter, B. Felekoğlu, K. T. Felekoğlu, S. Aydın, M. Y. Yardımcı, A. Topal ve A. U. Öztürk, *Beton*. İzmir, Türkiye: ss. 42-45, 683-703, 2012.
- [36] A Noushini, K Vessalas and B Samali, “Rheological properties and compressive strength behaviour of polyvinyl alcohol fibre-reinforced concrete”, *Australian Journal of Structural Engineering*, vol. 15, no. 1, pp. 77-88, 2015.
- [37] A. B. Kızılkant, N. Kabay, V. Akyüncü , S. Chowdhury and A. H. Akça, “Mechanical properties and fracture behavior of basalt and glass fiber reinforced concrete: an experimental study”, *Construction and Building Materials*, vol. 100, pp. 218-228, 2015.
- [38] F. Altun, “Çelik lifli hafif betonun deneysel araştırılması”, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, c. 12, s. 3, ss. 333-339, 2006.

- [39] N. Özyurt, M. A. Taşdemir ve S. P. Shah, “Lif donatılı çimento esaslı kompozitlerde, lif dağılımının elektriksel bir yöntem ile tahribatsız ölçümü”, *İtüdergisi/d Mühendislik*, c. 5, s. 4, ss. 119-130, 2006.
- [40] V. Koç ve F. Birinci, “Lifli betonda boyut etkisi tokluk ve kırılma enerjisi”, *SDU International Technologic Science*, c. 4, s. 3, ss. 24-40, 2012.
- [41] A. B. Kızıllkanat, N. Kabay, V. Akyüncü and G. Erdoğan, “Basalt fibers and mechanical properties of basalt fiber reinforced concrete”, *Sigma Journal of Engineering & Natural Sciences*, vol. 32, no. 4, pp. 444-452, 2014.
- [42] S. Elshafie and G. Whittleston, “A review of the effect of basalt fibre lengths and proportions on the mechanical properties of concrete”, *International Journal of Research in Engineering and Technology*, vol. 4, no. 1, pp. 458-465, 2014.
- [43] N. Araz, A. Aksoy, E. İskender ve A. Sayın, “Beton üretiminde bazalt fiber kullanımının değerlendirilmesi”, 9. Kıyı Mühendisliği Sempozyumu, Adana, 2018.
- [44] N. Çevik, “Bazalt Elyafların Beton Yollarda Kullanılabilirliği”, Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Pamukkale, 2014.
- [45] A.H. Kayhan, S. Haldenbilen, Y. Aydın, A. Uslu, O. Shved, “Bazalt Lifli Donatı Çubuklarının Mekanik Özelliklerinin Betonarme Elemanların Davranışına Etkisi”, *İMO Denizli Dergisi*, Sayı 66, s. 44-48, 2011.
- [46] TS EN 197-1, Çimento-Genel Çimentolar-Bileşim, Özellikler ve Uygunluk Kriterleri, 2002.
- [47] TS EN 196-6, Çimento Deney Yöntemleri-İncelik Tayini, 2010.
- [48] TS EN 196-3, Çimento Deney Metotları-Priz Süresi ve Hacim Genleşme Tayini, 2002.
- [49] TS EN 196-1, Çimento Deney Metotları-Dayanım Tayini, 2002.
- [50] M. Uysal, B.C. Gündoğdu ve M. Sümer, “Gazbetonun kuruma rötresine bağlayıcı malzeme miktarı değişiminin etkisi”, *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 28(4): 303-308, 2012.
- [51] İ. Demir, M.S. Başpınar, ve E. Kahraman, Mermer Atıklarından Köpük Beton Blok Üretimi, TÜBİTAK Araştırma Projesi, Proje No: 5140029, 2016.

- [52] ASTM C596-01, Standart Test Method for Drying Shrinkage of Morter Containing Hydraulic Cement, 2001.
- [53] İ. İnce, “Elektrik Özdirenç Yöntemiyle Piroklastik Kayaçların İndeks-Dayanım Özelliklerinin Belirlenmesi”, *Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, Cilt 7, Sayı 2, 772-780, 2018.
- [54] ASTM C88-05, Standard Test Method for Soundness of Aggregates by Use of Sodium Sulfate or Magnesium Sulfate, 2005

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Hüseyin Boran
Doğum Yeri : Adıyaman
Doğum Tarihi : 28/08/1994
Medeni Hali : Bekar
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : huseyinboran044@gmail.com

Eğitim Durumu

Derece	Alan	Üniversite	Mezuniyet Yılı
Yüksek Lisans	Yapı Malzemesi	Adıyaman Üniversitesi	
Lisans	İnşaat Mühendisliği	İnönü Üniversitesi	2017
Lise	Fen Bilimleri	Beydağı Anadolu Lisesi	2012