KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ALKALİLERLE AKTİVE EDİLMİŞ YÜKSEK FIRIN CÜRUFLU FARKLI TİPTEKİ MİKRO LİFLİ HARÇLARIN ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI

AHMET KAAN YILDIRIM

KOCAELİ 2019

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ALKALİLERLE AKTİVE EDİLMİŞ YÜKSEK FIRIN CÜRUFLU FARKLI TİPTEKİ MİKRO LİFLİ HARÇLARIN ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI

AHMET KAAN YILDIRIM

Doç. Dr. Salih Taner YILDIRIM
Danışman, Kocaeli Üniversitesi .....
Dr. Öğr. Üyesi Adnan ÖNER
Juri Üyesi, Kocaeli Üniversitesi .....
Prof. Dr. Metin İPEK
Juri Üyesi, Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi .....



Tezin Savunulduğu Tarih: 11.07.2019

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans eğitimim sırasında bilgi ve birikiminden faydalandığım, çalışmanın düzenlenmesi, değerlendirilmesi esnasında desteğini hiç esirgemeyen değerli danışmanım Doç. Dr. Salih Taner YILDIRIM ‘a en içten saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Lisans Eğitimimden bu yana desteklerini esirgemeyen Prof. Dr. Okan KARAHAN ve Dr. Öğr. Üyesi Serhan İLKENTAPAR‘a, tez çalışmasında kullanacağım malzemelerin temini için yol gösteren Lütfiye KOCABIYIK‘a, yüksek fırın cürufunu temin ettiğim Bolu-Çimento Batı İç Anadolu Satış Sorumlusu Ahmet GUNAY’a, tez sürecinde fikir alışverişi yaptığım arkadaşım Alperen ALABAŞ’a deney numunelerinin dökümünde yardımcı olan arkadaşım Hakan AÇIKKAPI‘ya, laboratuvarda çalışırken sorularımı cevaplayıp bilgi birikiminden faydalandığım Arş.Gör. Onur ÖZTÜRK‘e ,grafik çizimlerinde yardımcı olan mesai arkadaşım Arş.Gör. Batuhan HANGÜN‘e, yüksek lisans eğitimim boyunca desteklerini esirgemeyen teyzem ve eniştem Hüdaye-Sezai ERGİN’e , maddi ve manevi her zaman yanımda olan babam Ali YILDIRIM, annem Hülya YILDIRIM ve kardeşim Merve YILDIRIM ‘a şükranlarımı sunarım.

Temmuz - 2019 Ahmet Kaan YILDIRIM

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR i
İÇİNDEKİLER ii
ŞEKİLLER DİZİNİ iv
TABLOLAR DİZİNİ v
SİMGELER VE KISALTMALAR vi
ÖZET vii
ABSTRACT viii
GİRİŞ 1
1. GENEL BİLGİLER 3
1.1. Harç ve Beton Malzemelerde Alkali Aktivasyonun Kullanımı 3
1.2. Tezde Kullanılan Malzemeler 10
1.2.1.Yüksek fırın cürufu 10
1.2.2.Sodyum silikat 13
1.2.3.Cam lif. 14
1.2.4.Bazalt lif 15
1.2.5.Naylon lif 17
2. LİTERATÜR ÇALIŞMASI 19
2.1. Taze Beton Özellikleri 19
2.2. Sertleşmiş Beton Özellikleri 19
2.2.1.Mekanik özellikler 19
2.2.2.Kuruma büzülmesi 22
2.2.3.Yüksek sıcaklık direnci 23
2.2.4.Lif katkılı jeopolimerik harç özellikleri 24
3. MALZEME VE YÖNTEM 26
3.1. Kullanılan Malzemeler 26
3.1.1.Çimento 26
3.1.2.Yüksek fırın cürufu 27
3.1.3.Su..... 27
3.1.4.Kum 28
3.1.5.Sodyum meta silikat 28
3.1.6.Naylon lif 29
3.1.7.Bazalt lif 30
3.1.8.Cam lif.. 31
3.2. Deney Numunelerinin Üretimi ve Yapılan Çalışma 32
3.3. Metod 34
3.3.1.Yayılma tablası deneyi 34
3.3.2.Basınç ve eğilme dayanımı deneyi 34
3.3.3.Birim ağırlık-su emme deneyi 36
3.3.4.Kılcallık deneyi 36
3.3.5.Rötre deneyi 37
3.3.6.Yüksek sıcaklık direnci 38
4. BULGULAR VE TARTIŞMA 39
4.1. Birinci Aşama Deneyleri 39

4.1.1.Kıvam deneyi sonuçları 39
4.1.2.Eğilme ve basınç dayanım deney sonuçları 40
4.2. İkinci Aşama Deney Sonuçları 48
4.2.1.Kıvam tayini sonuçları 49
4.2.2.Birim ağırlık ve su emme sonuçları 50
4.2.3.Kılcallık (absorbe edilen su miktarı) sonuçları 51
4.2.4.Basınç-eğilme dayanımı sonuçları 55
4.2.5.Kuruma büzülmesi sonuçları 57
4.2.6.Yüksek sıcaklık deneyi sonuçları 61
4.2.7.Maliyet analizi 64
5. SONUÇ VE ÖNERİLER 66
KAYNAKLAR 69
EKLER 73
KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER 79
ÖZGEÇMİŞ 80

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Yem depoları için üretilen AA-YFC ve PÇ beton paneller 7
Şekil 1.2. Ternopol şehrinde uygulanan PÇ betonu ve AA-YFC betonu ile üretilen yollar 8
Şekil 1.3. Rusya magnitogorsk şehri AA-YFC beton yolu 8
Şekil 1.4. AA-YFC betonu ile üretilen konut 9
Şekil 1.5. Cam lif genel görünümü 15
Şekil 1.6. Bazalt lif genel görünümü 16
Şekil 1.7. Naylon lif genel görünümü 17
Şekil 3.1. Sodyum meta silikat 28
Şekil 3.2. Kullanılan naylon lifin görünümü 29
Şekil 3.3. Kullanılan bazalt lifin görünümü 30
Şekil 3.4. Kullanılan cam lifin görünümü 31
Şekil 3.5. Yayılma tablası deney seti 34
Şekil 3.6. Eğilme dayanımı deneyi 35
Şekil 3.7. Basınç dayanımı deneyi 36
Şekil 3.8. Döküm işlemi yapılmış rötre numunesi 37
Şekil 3.9. Kül fırını 38
Şekil 4.1. %4 Na_2O oranına sahip 7 gün suda bekletilmiş numune 43
Şekil 4.2. Farklı kür koşulu uygulanan ve farklı Na_2O içeriğine sahip AA-YFC harçlarının basınç dayanımı 46
Şekil 4.3. Farklı kür koşulu uygulanan ve farklı Na_2O içeriğine sahip AA-YFC harçlarının eğilme dayanımı 47
Şekil 4.4. Farklı kür koşulu uygulanan ve farklı Na_2O içeriğine sahip AA-YFC ve PÇ harçlarının yayılma çapları 47
Şekil 4.5. Lif katkılı harçların kıvam tayini sonuçları 49
Şekil 4.6. AA-YFC harçlarının su emme değerleri 51
Şekil 4.7. Cam lif ilaveli ve lifsiz optimum AA-YFC harçlarının absorbe edilen su miktarı 53
Şekil 4.8. Bazalt lif ilaveli ve lifsiz optimum AA-YFC harçlarının absorbe edilen su miktarı 53
Şekil 4.9. Naylon lif ilaveli ve lifsiz optimum AA-YFC harçlarının absorbe edilen su miktarı 54
Şekil 4.10. Lif ilaveli ve lifsiz optimum AA-YFC harçlarının absorbe edilen su miktarı 54
Şekil 4.11. Lif katkılı harçların basınç dayanımı sonuçları 55
Şekil 4.12. Lif katkılı harçların eğilme dayanımı sonuçları 56
Şekil 4.13. Naylon lif kuruma büzülmesi sonuçları 58
Şekil 4.14. Cam lif kuruma büzülmesi sonuçları 58
Şekil 4.15. Bazalt lif kuruma büzülmesi sonuçları 59
Şekil 4.16. Lif ilaveli harçların kuruma büzülmesi sonuçları 60

TABLOLAR DİZİNİ

Tablo 1.1. Alkalilerle aktive edilmiş bağlayıcıların tarihsel gelişimi 4
Tablo 1.2. Alkalilerle aktive edilen bağlayıcılar uygulama alanları 6
Tablo 1.3. Yüksek fırın cüruflarının kimyasal kompozisyonları 12
Tablo 1.4. Farklı tipte cam liflerin kimyasal kompozisyonları 14
Tablo 1.5. Bazı cam lif tiplerinin fiziksel ve mekanik özellikleri 15
Tablo 1.6. Bazaltların genel kimyasal kompozisyonu 16
Tablo 1.7. Naylon liflerin bazı fiziksel ve mekanik özellikleri 17
Tablo 3.1. Portland çimentosu kimyasal bileşimi 26
Tablo 3.2. Portland çimentosu fiziksel ve mekanik özellikleri 26
Tablo 3.3. YFC fiziksel özellikleri 27
Tablo 3.4. YFC kimyasal özellikleri 27
Tablo 3.5. Sodyum meta silikat kimyasal özellikleri 28
Tablo 3.6. Naylon lif özellikleri 29
Tablo 3.7. Bazalt lif teknik özellikleri 30
Tablo 3.8. Cam lifin teknik özellikleri 31
Tablo 3.9. Birinci aşama karışım notasyonları ve uygulanan kür koşulları 33
Tablo 3.10. İkinci aşama karışım notasyonları 33
Tablo 4.1. Kıvam tayini değerleri 39
Tablo 4.2. Laboratuvar ortamı kürü basınç dayanımı sonuçları 41
Tablo 4.3. Laboratuvar ortamı kürü eğilme dayanımı sonuçları 41
Tablo 4.4. Su kürü basınç dayanımı sonuçları 42
Tablo 4.5. Su kürü eğilme dayanımı sonuçları 44
Tablo 4.6. 60 ^{o}C sıcaklıkta etüv kürü basınç ve eğilme dayanımı sonuçları 44
Tablo 4.7. 75 ^{o}C sıcaklıkta etüv kürü basınç ve eğilme dayanımı sonuçları 45
Tablo 4.8. 90 ^{o}C sıcaklıkta etüv kürü basınç ve eğilme dayanımı sonuçları 45
Tablo 4.9. Lif katkılı harçların kıvam tayini sonuçları 49
Tablo 4.10. AA-YFC harçlarının sertleşmiş birim hacim ağırlıkları 50
Tablo 4.11. AA-YFC harçlarının absorbe elde su miktarları (mm) 52
Tablo 4.12. Lif katkılı harçların basınç-eğilme dayanımı sonuçları 55
Tablo 4.13. Lif ilaveli AA-YFC harçlarının kuruma büzülmesi değerleri 61
Tablo 4.14. Lifli ve lifsiz optimum AA-YFC harçlarının 300 ^{o}C sıcaklık sonrası basınç ve ağırlık değişimi sonuçları 62
Tablo 4.15. Lifli ve lifsiz optimum AA-YFC harçlarının 600 ^{o}C sıcaklık sonrası basınç ve ağırlık değişimi sonuçları 63
Tablo 4.16. Lifli ve lifsiz optimum AA-YFC harçlarının 900 ^{o}C sıcaklık sonrası basınç ve ağırlık değişimi sonuçları 63
Tablo 4.17. AA-YFC harçlarının maliyet analizi 65

SİMGELER VE KISALTMALAR

a : Suyla temas edilen yüzey alanı (mm^2)
b : Prizma şekilli numunenin kare kesitin kenar uzunluğu (mm)
d : Suyun yoğunluğu (g/mm^3)
F_c : Kırılmadaki en büyük yük (N)
F_f : Prizma şekilli numunenin kırıldığı anda ortasına uygulanan yük (N)
I : Absorbe edilen su miktarı (mm)
L : Mesnet açıklığı (mm)
M_t : Emilen su miktarı (g)
R_c : Basınç dayanımı (MPa)
R_f : Eğilme dayanımı (MPa)

Kısaltmalar

ASTM :American Society for Testing and Materials (Amerikan Test ve Malzemeler Derneği)
TSE :Türk Standartlar Enstitüsü

ALKALİLERLE AKTİVE EDİLMİŞ YÜKSEK FIRIN CÜRUFLU FARKLI TİPTEKİ MİKRO LİFLİ HARÇLARIN ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI

ÖZET

Beton karışımında bağlayıcı olarak kullanılan geleneksel portland çimentosu üretim sürecinde çevre ve doğaya çok büyük zarar verdiği araştırmacılar tarafından belirtilmektedir. Atmosferdeki yaklaşık %7 CO_2 'den çimento üretimi sorumlu tutulmaktadır. Ayrıca çimento klinkerinin elde edilmesinde yüksek miktarda doğal kaynak tüketilmektedir. Araştırmacılar belirtilen olumsuz özelliklerinden dolayı çimento yerine kullanılabilecek yeni bağlayıcı çalışmaları yapmaktadır. Bu çalışmalardan en dikkat çekeni yüksek fırın cürufu, uçucu kül gibi endüstriyel atıkların alkalilerle aktivasyonu sonucunda üretilen bağlayıcılardır. Alkalilerle aktive edilen bağlayıcıların normal portland çimentosuna göre birçok avantajı bulunmasına rağmen yüksek kuruma büzülmesi gibi dezavantajları bulunmaktadır. Bu durum günümüzde alkalilerle aktive edilmiş yüksek fırın cüruflu (AA-YFC) bağlayıcıların kullanımını kısıtlamaktadır. Tez çalışmasında AA-YFC harçlarının yüksek kuruma büzülmesi problemlerine karşı belirli oranlarda (%0,1 ve %0,2) cam, bazalt ve naylon lifin etkisi araştırılmıştır. Ayrıca liflerin basınç-eğilme, işlenebilirlik, birim hacim ağırlık, su emme, kılcallık ve yüksek sıcaklık etkisindeki davranışları belirlenmiştir. Bu amaçla tez çalışması iki aşamaya ayrılmıştır. İlk aşamada farklı kür koşulları ve farklı Na_2O oranına göre AA-YFC bağlayıcılı harçlar için optimum Na_2O oranı ve kür koşulu seçilmiştir. Çalışmanın ikinci aşamasında ise belirlenen lifsiz optimum AA- YFC harcına yukarıda bahsedilen lifler ilave edilmiş ve belirtilen deneyler uygulanmıştır. Sonuç olarak %0,1 ve %0,2 cam, bazalt, naylon lifler kullanılarak AA-YFC harçlarının kuruma büzülmesinin yüksek oranda azaltılabileceği kanısına varılmıştır.

Anahtar kelimeler: Alkalilerle Aktive Edilen Cüruf Harcı, Bazalt Lif, Cam Lif, Kuruma Büzülmesi, Naylon Lif.

INVESTIGATION OF PROPERTIES OF ALKALİ ACTIVATED BLAST FURNACE SLAG MORTARS WITH ADDITION DIFFERENT TYPE MICROFIBER

ABSTRACT

Researchers state that the traditional portland cement, which is used as a binder in the concrete mixture, has caused enormous damage to the environment and nature during the production process. Cement production is responsible for approximately 7% CO2 in the atmosphere. In addition, high amounts of natural resources are consumed while obtaining cement clinker. Recent research indicate that new binders can be used instead of cement because of their stated negative properties. The most significant part of these studies is the binders produced as a result of activation of industrial wastes such as fly ash and blast furnace slag with alkalis. Although alkali activated binders have many advantages over normal portland cement, they also have disadvantages such as high drying shrinkage. Nowadays, it is known that this restricts the use of alkali activated blast furnace slag (AA-YFC) binders. In the thesis study, the effect of glass, basalt and nylon fiber in certain proportions (0.1% and 0.2%) were investigated against the problems of high drying shrinkage of AA-YFC mortars. In addition, the behavior of fibers under pressure-bending, workability, unit volume weight, water absorption, capillarity, and high temperature were determined. For this purpose, the thesis work is divided into two phases. In the first stage, optimum Na_2O ratio and curing condition were selected for AA-YFC binding mortars according to different curing conditions and different Na_2O ratio. In the second phase of the study, the fibers mentioned above were added to the optimum AA -YFC mortar without fiber determined and the experiments mentioned were applied. As a result, it was concluded that the drying shrinkage of AA-YFC mortars by using 0.1% and 0.2% glass, basalt and nylon fibers can be reduced at a high rate.

Keywords: Alkali Activated Slag Mortar, Basalt Fiber, Glass Fiber, Drying Shrinkage, Nylon Fiber.

GİRİŞ

Beton geleneksel olarak agrega ve suyla birlikte bağlayıcı olarak portland çimentosunun karışımı sonucunda oluşan ve 20.yy'dan beri en yaygın kullanılan bir yapı malzemesidir. Son zamanlarda inşaat sektörüne artan ilgiyle birlikte beton kullanımı günden güne artış göstermektedir. Türkiye 'de 1988 yılında hazır beton üretimi 1.500.000 m^3 iken 2017 yılı itibari ile bu değer 115.000.000 m^3'e yükselmiştir. [46]. Beton üretimine artan bu talep, karışımında bulunan malzemelerin kullanımını da dolaylı olarak arttırmaktadır.

Bağlayıcı olarak kullanılan geleneksel portland çimentosu üretimi aşamasında çevre ve doğaya çok büyük zarar verdiği araştırmacılar tarafından belirtilmektedir [1]. 1 ton çimento üretimi için 1 ton CO_2 atmosfere bırakılmaktadır [2]. Ayrıca atmosferdeki yaklaşık %7 CO_2 'den çimento sorumlu tutulmaktadır [1-3]. Betona aratan ilgi dolayısıyla, üretim kapasitesi günden güne genişleyen çimento endüstrisi, çevremiz için büyük bir tehdit oluşturmaktadır. Bununla birlikte çimento klinkerinin elde edilmesinde tüketilen hammadde ve atık geri dönüşümüne duyulan ihtiyaç araştırmacıları geleneksel portland çimentosunun yerine kullanılabilecek bağlayıcı arayışına itmiştir.

Yapılan çalışmalardan en dikkat çekeni Alkali aktivasyon sistemiyle üretilen bağlayıcılardır. Bu bağlayıcılar 'Öncü' olarak adlandırılan alüminosilikat puzolanlar ve 'Aktivatör' olarak adlandırılan yüksek alkali çözeltisinin kimyasal reaksiyonu sonucunda oluşmaktadır. Beton üretimi için geleneksel portland çimentosuna alternatif bir bağlayıcı olarak kullanılan bu malzemeler günümüzde birçok ülkede endüstriyel ölçekte üretilmekte ve satılmaktadır.

Öncü olarak en çok kullanılan puzolanlar termik santrallerin bir atığı olan uçucu kül ve demir elde edilirken bir atık olarak ortaya çıkan yüksek fırın cüruflarıdır. Genellikle en yaygın kullanılan aktivatörler ise sodyum hidroksit ve sodyum silikattır.

Alkali aktivasyonu ile üretilen bağlayıcılar geleneksel portland çimentosuna göre düşük enerji giderleri, daha düşük zararlı gaz (CO2, SO2, NOx vb.) salınımı sayesinde çevreye daha az tahribat ve yüksek mekanik performans gibi birçok avantaj sağlamaktadır.

Ayrıca yüksek fırın cürufu ve uçucu kül gibi endüstriyel atıkların kullanılmasıyla, bu atıkların depolanmasından kaynaklanan çevre problemlerinin önüne geçilebilmektedir [4]. Alkalilerle aktive edilmiş bağlayıcılı harç ve betonlar, geleneksel portland çimentolu harç ve betonlara göre daha erken ve yüksek mekanik dayanım, zararlı çevresel etki koşullarında daha iyi dayanıklılık, daha düşük hidratasyon ısısı gibi bazı önemli avantajlara sahiptir.

Bunun yanı sıra alkalilerle aktive edilmiş harç ve betonların ani priz, çiçeklenme ve daha yüksek kuruma büzülmesi gibi bazı dezavantajları da bulunmaktadır.

Alkalilerle aktive edilen bağlayıcılar hakkında ortaya konulan bilimsel çalışmalar genel olarak bu malzemelerin taze ve sertleşmiş haldeki bazı özelliklerini ve içyapıları ile aktivasyon mekanizmalarını kapsamaktadır. Dolayısıyla, gelecek yıllarda kullanımı daha da artması beklenen bu bağlayıcıların dezavantajlarının çözümü üzerine yeterli seviyede bir bilgi birikimi bulunmamaktadır [5].

Yürütülen bu çalışma kapsamında puzolan olarak yüksek fırın cürufu ve aktivatör olarak ise sodyum meta silikat kullanılmıştır. Çalışmanın ilk bölümünde farklı Na^+ oranında ilave edilen aktivatör ve farklı kür koşullarının alkalilerle aktive edilen yüksek fırın cüruflu harçların bazı mekanik özelliklerine olan etkisi belirlenmiş, Na^+ oranı ve kür koşulu çalışmanın geri kalanı için seçilmiştir.

Çalışmanın ikinci bölümünde alkalilerle aktive edilen cüruf bağlayıcılı harçların uygulamalardaki kullanımlarına engel teşkil eden yüksek kuruma rötresi gibi problemlerinin çözümünde mikro boyutlu cam, bazalt ve naylon liflerin etkisi araştırılmıştır. Bu sayede, yürütülmüş olan söz konusu deneysel çalışmanın, alkalilerle aktive edilen yüksek fırın cüruflu harçların yüksek kuruma büzülmesi sorununa ilişkin mevcut bilgi düzeyine katkı sağlaması beklenmektedir.

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Harç ve Beton Malzemelerde Alkali Aktivasyonun Kullanımı

Çimento klinkerinin elde edilmesi atmosfere salınan gazlardan dolayı çevreye zararlı bir üretim sürecidir. Bunun yanı sıra çimentonun bağlayıcı olarak kullanıldığı kompozit malzemeler dış etkilere karşı yeterli dayanıklılığı gösterememektedir. Çimentolu kompozitlerin bahsedilen olumsuz özellikleri araştırmacıları yeni bağlayıcı malzemeler arayışına itmiştir. Bu çalışmalardan en ilgi çekeni kimyasal yapılarında Al_2O_3, SiO_2, ve CaO içeren amorf uçucu kül ve yüksek fırın cürüfu gibi puzolan malzemelerin Alkali Aktivatör sistemleriyle aktive edilmesidir. Kısaca, silika ve alümina içeren malzemeler teorik olarak alkalilerle aktivasyonu sağlanabilir.

Yapılan çalışmalarda uçucu kül, yüksek fırın cürufu, metakaolin, zeolit, kaolin kili ve bu malzemelerin karışımlarının alkalilerle aktive edilmesi sonucunda kuvvetli bağlayıcı malzemelerin üretilebileceği ortaya konmuştur. En yaygın kullanılan aktivatörler Sodyum Hidroksit (NaOH), Sodyum Karbonat (Na_2CO_3), Potasyum Hidroksit (KOH), Sodyum Silikat (Na_2SiO_3) dır. Aktivatörlerle reaksiyon sonucunda alüminosilikat uçucu küller ‘geopolimer” adı verilen amorf yapıdaki inorganik polimerler oluştururken, yüksek fırın cürufu kalsiyum silikat hidrat (C-S-H) jeline benzer hidrate kalsiyum silikat oluşturmaktadır [4].

Alkalilerle aktive edilmiş bağlayıcı sistemlerinin düşük zararlı gaz emisyonu ile çevreye daha az tahribat, yüksek mekanik dayanım, atık malzemelerin depolanmasında yaşanan sıkıntıların engellenmesi, düşük enerji giderleri gibi birçok avantajı vardır.

Alkali aktivasyon sistemiyle üretilmiş bağlayıcıların portland çimentoları ve betonlarına göre hidratasyon ısısı daha düşük, agresif kimyasallara karşı daha dayanıklı, mekanik dayanımları daha erken ve yüksektir. Bunun yanı sıra ani priz, çiçeklenme, daha fazla kuruma büzülmesi ile mikro çatlak oluşumu gibi dezavantajları bulunmaktadır.

Alkalilerle aktive edilmiş bağlayıcıların kronolojik olarak bazı önemli gelişmeleri Tablo 1.1'de gösterilmiştir.

Tablo 1.1. Alkalilerle aktive edilmiş bağlayıcıların tarihsel gelişimi [4-2]

Yazarlar	**Yıl**	**Önem**
Feret	1939	Çimentoda cüruf kullanımı
Purdon	1940	Alkali-cüruf kobinasyonları
Glukhovsky	1959	Alkalin çimentoların teaorik esasları ve gelişimi
Glukhovsky	1965	Bileşen olarak doğal maddelerin kullanımı nedeniyle ‘’alkalin çimentolar’’ adının ilk kullanımı
Davidovits	1979	‘Geopolimer’ terimi-daha fazla polymerizasyonu vurgular
Malinowski	1979	Antik kemerli su yollarının karakterizasyonu
Fors	1983	F-çimentosu (cüruf-alkali-süper akışkanlaştırıcı)
Langton ve Roy	1984	Antik yapı malzemelerinin karakterizasyonu
Davidovits ve Sawyer	1985	‘’Pyrament patent’’
Krivenko	1986	R_2O-RO-R_2O_3-SiO_2-H_2O
Malolepsy ve Petri	1986	Sentetik melit cüruflarının aktivasyonu
Malek ve Diğer.	1986	Cüruf çimentoları-düşük seviyede radyoaktif atık oluşturur
Davidovits	1987	Antik ve modern çimentoların karşılaştırılması
Deja ve Malolepsy	1989	Klorür direnci
Kaushal ve diğer.	1989	Zeolit oluşumunu içeren alkalin karışımlarından adiabatik kür edilmiş nükleer atık oluşumları
Roy ve Langton	1989	Antik beton ile benzerlikleri
Majumdar ve diğer.	1989	$C_{12}A_7$-cüruf aktivasyonu
Talling ve Brandstetr	1989	Alkalilerle aktive edilmiş cüruf
Wu ve diğer.	1990	Cüruf çimentolarının aktivasyonu
Roy ve diğer.	1991	Hızlı priz alan alkali-aktive bağlayıcılar
Roy ve Silsbee	1992	Alkali-aktive bağlayıcılar: genel bakış
Roy ve Malek	1993	Cüruf çimentosu
Glukhovsky	1994	Antik,modern ve gelecek betonları
Krivenko	1994	Alkalin bağlayıcılar
Wang ve Scrivener	1995	Cüruf ve alkalilerle aktive edilmiş cürufun mikroyapısı

Feret, Purdon ve Glukhovsky ‘in eserleri en temel çalışmaları oluşturmaktadır fakat konuyla alakalı araştırmaların artış göstermesi Joseph Davidovits’in çalışmalarından sonra meydana gelmiştir.

Davidovits, alümina silikat bileşen olarak kaoilin ve kireçtaşı veya dolimitin sinterlenmiş ürünlerinin kullanılması sonucunda alkalin bağlayıcıları geliştirmiş ve patentini almıştır.

‘Geopolimer’ olarak adlandırılan bu bağlayıcılar ‘pyrament’ ve diğer ticari isimlerle piyasaya sunulmuştur. Forss ‘un Finlandiya da ki ‘F Cement’’i ve Krivenko ‘nun Ukrayna da ki ‘geocements’ i bu katagoriye girmektedir [2].

Alkalilerle aktive edilen harç ve betonların keşfinden beri, eski Sovyetler Birliği, Çin ve diğer bazı ülkelerde çeşitli inşaat projelerinde farklı amaçlarla ticari olarak üretilmekte ve kullanılmaktadır. Bu ticari ürünler ve uygulamalar şunları içermektedir.

- Yapısal beton
- Duvar blokları
- Beton kaplamalar
- Beton borular
- Refrakter beton
- Petrol kuyu çimentosu
- Tehlikeli ve radyoaktif atıkların stabilizasyonu ve katılaşması

Krivenko ‘ya göre alkalilerle aktive edilen bağlayıcıların yapısal ve yapısal olmayan kullanım alanları Tablo 1.2 ‘de sunulmuştur[6]. Eski Sovyetler Birliği'nde alkali aktivasyon sistemi ile üretilen betonlar hakkında 60'ın üzerinde özellik ve standart geliştirilmiştir. Bu özellik ve standartlar, alkalilerle aktive edilen betonların hammadde, bağlayıcı, yapı ve yapımlarını kapsamaktadır. Son 20 yıldan beri yapılan çalışmalarla birlikte alkalilerle aktive edilen harç ve betonlar hakkında önemli gelişmeler meydana gelmiştir. Tez Kapsamında Alkalilerle aktive edilen yüksek fırın cüruflu harç ve betonlar çalışıldığı için ilerleyen bölümlerde bu konu hakkında yapılan araştırmalara yer verilmiştir.

Tablo 1.2. Alkalilerle aktive edilen bağlayıcılar uygulama alanları [6]

Kullanım Alanları	**Yapısal**	**Yapısal olmayan**
Yollar	Yerinde dökme ve prefabrik ağır aşınma etkisindeki döşemeler	Atık Stabilizasyonu
Tarım endüstrisi	Yerinde dökme ve prefabrik beton;depo	
Endüstriyel	Aside dayanıklı yapı garajları, döşemeler, temeller	Makine Gövdeleri
Konut	Prefabrik ve yerinde bina inşaatları, döşemeler, temeller	
Madencilik	Petrol kuyuları grautları, su yalıtımı, su penetrasyonunu önleme	
Hidrolik	Sulama Sistemleri, dalga kıranlar	Kaplamalar

Alkalilerle aktive edilen yüksek fırın cüruflu bağlayıcıların genel hidratasyon ürünleri düşük Ca/Si oranına sahip C-S-H'dır [7-2]. Ayrıca $(C,M)_4AH_{13}$ veya hidrotalsit ve az miktarda C_2ASH_8 (strätlingite) sahiptir [2]. Alkalilerle aktive edilmiş yüksek fırın cüruflu bağlayıcıların hidratasyonu normal portland çimentosunun hidratasyonu gibi başlama, giriş, hızlanma, yavaşlama, bozulma evrelerine sahipken, alkalilerden gelen silikat iyonları ve cüruftan gelen kalsiyum iyonları ile reaksiyonu sonucunda CSH oluşturması gibi farklı mekanizmaları vardır. Aktivasyon enerjileri yaklaşık 57,6 KJ/mol kadardır [8]. Bununla birlikte mikro yapılarını ve hidratasyon mekanizmalarını cüruf kaynağı, aktivatör dozajı ve tipi de büyük bir oranda etkilemektedir [7].

Alkalilerle aktive edilen yüksek fırın cüruflu bağlayıcıları aktive etmek için en çok kullanılan aktivatörler NaOH, Na_2SiO_3 ve Na_2CO_3, sodyum sülfat (Na_2SO_4), potasyum sülfat (K_2SO_4) ve bu aktivatörlerin karışımlarıdır. Fakat en yüksek mekanik dayanımlar sıvı Na_2SiO_3 ile elde edilmektedir.

Alkalilerle aktive edilen yüksek fırın cüruflu betonlarla yapılmış yollar, yapılar vb. uygulamalar, Caijun Shi, Della Roy, Pavel Krivenko 'nun 'Alkali Activated Cements and Concretes' kitabında detaylı olarak bahsedilmiştir. Bu uygulamalar tarih sırasına göre aşağıda verilmiştir.

1965 yılında Ukrayna ‘nın Odessa şehrinde 33 km kıyı şeridi boyunca drenaj kollektörü yapılmıştır. Proje dayanımı 40 MPa olarak belirlenen alkalilerle aktive edilen yüksek fırın cürufu (AA-YFC) betonundan yaklaşık 40 adet boru prefabrike olarak üretilmiştir. 34 yıl sonra yapılan inceleme sonucunda beton boruların çok iyi durumda olduğu ve korozyonun gözlemlenmediği ayrıca beton dayanımının 62 MPa’a ulaştığı belirlenmiştir.

1974 yılında Polonya ‘nın Krakow şehrinde AA-YFC betonu kullanılarak dış panelleri ve kat döşemeleri imal edilen bir depo yapısı inşa edilmiştir. Betonarme elemanlar 70 ^{o}C ‘de 6 saat kür ile prefabrike olarak üretilmiştir. YFC dozajı 300 kg/m^3 olarak belirlenmiş ve aktivatör olarak sodyum karbonat kullanılmıştır. Dış panellerden alınan karot ile 28.gün sonunda 23 MPa, 27 yıl sonra ise 43 MPa beton basınç dayanımı elde edilmiş ve karbonatlaşma derinliği 11 mm olarak belirlenmiştir.

1982 yılında Ukrayna’da çiftçilerin kullandıkları yem depoları AA-YFC betonları ile inşa edilmiştir. Yapı betonarme panel elemanlardan oluşmakta ve inşasında 2000 ton AA-YFC betonu kullanılmıştır. YFC dozajı 550 kg/m3 olup, aktivatör olarak 163 l/m3 soda-potasyum çözeltisi kullanılmıştır. 18 yıl sonra yapılan incelemede proje dizayn dayanımlarının aşıldığı belirlenmiştir. Yemlerin fermantasyonu sonucu ortaya çıkan kuvvetli organik asitler betonun bozulmasına yol açmaktadır. Bununla birlikte, araç trafiği betonarme paneller üzerinde dinamik yüklere neden olmaktadır. Yapılan incelemelerde AA-YFC betonları ile üretilen panel elemanlarda herhangi bir bozulma meydana gelmezken portland çimentolu beton panellerde bozulma ve donatılarda paslanma belirlenmiştir (Şekil 1.1).



Şekil 1.1. Yem depoları için üretilen AA-YFC ve PÇ beton paneller

1984-1990 yılları arasında Ternopol şehrinde endüstriyel bir bölgede 330 m uzunluğunda ve 3-4 m genişliğinde AA-YFC beton yolu inşa edilmiştir. Aynı yıllarda ve aynı bölgede portland çimentolu beton yolda yapılmış ve 1999 yılında her iki beton yolda incelenmiştir. AA-YFC beton yolları gayet iyi durumdayken, portland çimentolu beton yollar ciddi şekilde hasar görmüştür (Şekil 1.2).



Şekil 1.2. Ternopol şehrinde uygulanan PÇ betonu ve AA-YFC betonu ile üretilen yollar

1984 yılında Rusya'nın Magnitogorsk şehrinde AA-YFC betonu ile iki yol inşa edilmiştir. Yollardan ilki yaklaşık 6 km uzunlukta ve Magnitnaya Dağı taş ocağı kamyonları için yapılmıştır (Şekil 1.3). Yüklü araçlar için AA-YFC beton yolun yarısının yatak derinliği 45-50 cm, boşaltılan araçlar için yolun diğer yarısının yatak derinliği ise 25-30 cm dir. İkinci yol ise 5 km uzunluğa sahip ve beton yatak derinliği yaklaşık 25-30 cm dir.



Şekil 1.3. Rusya magnitogorsk şehri AA-YFC beton yolu

YFC dozajı 500 kg/m^3 olup, aktivatör olarak 175 l/m^3 soda çözeltisi kullanılmıştır. Beton yolların proje dayanımı 30 MPa'dır. 2000 yılında yapılan incelemeler sonucunda proje dayanımının aşıldığı ve betonda herhangi bir çatlak ve bozulma meydana gelmediği belirlenmiştir.

1986-1994 yılları arasında 'Tsentrmetallurgremont' şirketi tarafından Rusya'nın Lipetsk şehrinde 16, 20 ve 24 katlı 3 bina AA-YFC betonu ile inşa edilmiştir (Şekil 1.4). Yapının dış duvarları yerinde döküm, döşemeler merdivenler ve diğer kısımlar prefabrike üretimdir. YFC dozajı 450 kg/ m^3 olup, aktivatör olarak 160 l/m^3 soda çözeltisi kullanılmıştır. Dökümü yapılan betonların proje dayanımı 25 MPa' dır. 2000 yılında yapılardan alınan 10x10x10 cm boyutlarında numunelerden basınç dayanımları elde edilmiştir. Yapılan inceleme sonucunda proje dayanımının aşıldığı, betonda herhangi bir çatlak ve bozulma meydana gelmediği rapor edilmiştir.



Şekil 1.4. AA-YFC betonu ile üretilen konut

1988 yılında St. Petersburg ve Moskova arasındaki demiryolunun yaklaşık 20 m uzunluğundaki traversleri AA-YFC betonu ile yapılmıştır. YFC dozajı 500 kg/m3 olup, aktivatör olarak 160 l/m3 sodyum meta silikat solüsyonu kullanılmıştır. Dökümü yapılan AA-YFC betonunun proje dayanımı 45 MPa dır. 2000 yılında yapılan incelemeler sonucunda 13 yıllık servis ömründen sonra traverslerin iyi çalışma koşullarında olduğu herhangi bir çatlak, parçalanma ve benzeri bozulmaların olmadığı belirlenmiştir.

1.2. Tezde Kullanılan Malzemeler

1.2.1. Yüksek fırın cürufu

Puzolanlar, tek başlarına bağlayıcılık özelliği olmayan veya çok az olan, ince taneli olduklarında ve nemli ortamda, kalsiyum hidroksitle reaksiyona girerek bağlayıcılık özelliği kazanan silisli veya silisli ve alüminli malzemelerdir. Puzolanların yapısında silis ve alüminin yanı sıra demir, kalsiyum oksit, alkali ve karbon bulunmaktadır.

Puzolan ismi İtalya ‘da Vezüv yanardağının eteklerinde bulunan ‘Pozzuoli’ kasabasından gelmektedir. Milattan önce Romalılar Pozzuoli kasabasının etrafında volkanik kül ile söndürülmüş kirecin nemli ortamda hidrolik bağlayıcı özelliği kazanabildiğini fark etmişlerdir. Bu nedenle su altında sertleşebilen bu tip malzemelerin tümü Puzolan ismiyle anılmaya başlanmıştır. Yapılan çalışmalarda yaklaşık 8000 yıl önce Türkiye ‘de ve yaklaşık 2000 yıl önce Fransa, İngiltere gibi ülkelerde bu malzemelerle yapılmış binalar ve su kanallarının halen ayakta olduğu ortaya konulmuştur.

Puzolanlar iki ana gruba ayrılmaktadır. Bunlar doğal ve yapay puzolanlardır. Doğal puzolanlar doğada bulunan sadece kırma, öğütme, eleme ve ısıl işleme tabi tutularak kullanılan malzemelerdir. Volkanik tüfler, volkanik camlar, diatomik topraklar, traslar, bazı kil ve şeyller bu guruba girmektedir. Yapay puzolanlar ise bazı endüstri alanlarında yan ürün veya atık olarak ortaya çıkan malzemelerdir. Silis dumanı, uçucu kül, yüksek fırın cürufu gibi malzemeler en çok bilinen yapay puzolanlardır.

Büyük miktarda silis ve alümin içeren puzolanların, kalsiyum hidroksit ve su ile birleşmesi durumunda bazı kimyasal reaksiyonlar meydana gelmektedir. Bu reaksiyonlar sonucunda aynen portland çimentosunda olduğu gibi kalsiyum silika hidrat (C-S-H) jelleri oluşmaktadır.

Bu jellerin yanı sıra kalsiyum-alimüne-hidrat, hidrate olmuş gehlenit, kalsiyum karbo alimünat, kalsiyum alimüna monosülfat ve etrenjit ortaya çıkmaktadır.

Puzolanların kalsiyum oksit ve su ile ne derecede reaksiyon vereceği ve bağlayıcılığı ne ölçüde sağlayacağı 'puzolanik aktivite' olarak adlandırılmaktadır. Puzolanik aktive puzolanların boyutuna, amorf yapısına ve silis, alümin, demir oksit içeriğine bağlıdır. Günümüzde puzolanik malzemeler ince halde öğütülerek beton karışımı içerisinde çimento veya ince agrega yerine belirli oranlarda ikame edilmektedir.

Puzolanlar betonda kanamayı ve segregasyonu azaltmakta, hidratasyon ısısını düşürmekte, camsı amorf yapılarından ötürü işlenebilirliği arttırmakta, sertleşmiş betondaki boşluk oranını azalttığı için nihai basınç dayanımı arttırmakta, geçirimliliği azaltmakta, çoğu zaman çimentonun yerine ikame edildiği için betonda alkali silika reaksiyonuna neden olan çimentodan gelen alkalileri azaltmakta bunun bir sonucu olarak zararlı hacim genleşmelerini düşürmektedir.

Doğada demir oksit olarak varolan hematit, magnetit gibi demir cevherlerinin içeriğinde çok az miktarda yabancı maddelerde (silis, alümin, kükürt, fosfor, mangan) bulunmaktadır. Bu yabancı maddeler ham demirin içerisine girerek demir kalitesini azaltmaktadır. Demir cevherinde en çok bulunan yabancı madde silisdir. Cevherdeki silisi bağlamak için fırına cüruf oluşumunu kolaylaştıran kireç taşıda ilave edilmektedir [9]. Kok Kömürü, demir cevheri ve kireç taşı 1600 ^{o}C 'de ısıtılması sonucunda demir eriyiği ve yabancı maddeler topluluğu (CaO, SiO_2, Al_2O_3, MgO, MnO, S) elde edilmektedir. Eriyik demirin yoğunluğu yabancı maddeler topluluğundan daha fazla olduğu için fırının en alt kısmında yer almaktadır. Elde edilen malzemeler farklı çıkışlardan atılarak eriyik demir ve yabancı maddeler topluluğu birbirinden ayrılmaktadır.

Atılan bu yabancı madde topluluğu 'Yüksek Fırın Cürufu (YFC)' olarak adlandırılmaktadır. 1500 ºC sıcaklıkta atılan cüruf, amorf (camsı) yapıya sahip olabilmesi için su içerisinde ani bir soğutmaya maruz kalmalıdır. Ani soğutma ile eriyik durumdaki cüruf irili ufaklı kum taneleri boyutunda granüle duruma gelmektedir. Sonuç olarak elde edilen granüle yüksek fırın cürufu (GYFC) öğütme işlemi ile puzolanik özellik göstermektedir. Ayrıca CaO içeriğinden ötürü GYFC'nin kendiliğinden bir miktar bağlayıcılık özelliği de bulunmaktadır [10].

Yüksek fırın cüruflarının puzolanik özellikleri 1774 yılından beri bilinmektedir. 1889 yılında Paris metro inşaatında YFC ile üretilen bağlayıcılar kullanılmıştır. Almanya ve ABD'de sırasıyla 1892 ve 1896 yıllarında ilk cüruflu çimento üretimine başlanmıştır. Güney Afrika'da Stutterheim tarafından 1947-1953 yılları arasında yapılan çalışmalar sonrasında öğütülmüş durumdaki granüle yüksek fırın cürufu beton katkı maddesi olarak kullanılmaya başlanmıştır [11-12].

Günümüzde bu malzemelerin beton katkı maddesi olarak kullanımı birçok ülkede devam etmektedir. Yüksek fırın cüruflarının kimyasal kompozisyonları farklı ülkelere göre Tablo 1.3 'de verilmiştir.

Tablo 1.3. Yüksek fırın cüruflarının kimyasal kompozisyonları, % [10]

Bileşen (%)	**ABD ve Kanada**	**Güney Afrika**	**Avusturalya**	**Türkiye**
CaO	29-50	30-40	39-44	34-41
SiO_2	30-40	30-36	33-37	34-36
Al_2O_3	7-18	9-16	15-18	13-19
Fe_2O_3	0,1-1,5	-	0-0,7	0,3-2,5
MgO	0-19	8-21	1-3	3,5-7
MnO	0,2-1,5	-	0,3-1,5	1-2,5
S	0-2	1-1,6	0,6-0,8	1-2

Öğütülmüş granüle yüksek fırın cüruflarının beton özelliklerine olumlu ve olumsuz etkileri bulunmaktadır. Bu etkiler aşağıda açıklanmıştır.

YFC'nin beton özelliklerine olumlu etkileri;

- Taze betonun işlenebilirliğini arttırmaktadır.
- Taze betonun priz süresini uzatmaktadır.
- Sertleşmiş betonun uzun vadeli basınç dayanımı arttırmaktadır.
- Terlemeyi azaltmaktadır.
- Hidratasyon ısısını düşürmektedir.
- Sertleşmiş betonun sülfat atağına karşı direncini arttırmaktadır.

YFC'nin beton özelliklerine olumsuz etkileri;

- Soğuk havalarda taze betonun geç priz almasına neden olmaktadır.
- İlk günlerdeki beton basınç dayanım artışı yavaştır.
- Beton içerisinde belirli bir oranda sürüklenmiş hava elde edebilmek için daha fazla hava sürükleyici katkıya ihtiyaç duyulmaktadır.

1.2.2. Sodyum silikat

Sodyum Silikat, $Na_2O.nSiO_2$ formülüne sahip bir dizi bileşiğin genel adıdır. Teorik olarak n sayısı herhangi bir sayı olabilir. Pratikte ise n 0,4-4,0 arasındadır. Sodyum Silikat 1350-1450 ^oC sıcaklıkta kum ve sodyum karbonatın eritilmesi sonucunda oluşmaktadır [7]. Genellikle üretilmiş oldukları asitlere göre ortosilikat, metasilikat, disilikat ve tetrasilikat olarak adlandırılmaktadır [13]. Sodyum Silikat, şeffaf, açıkmavi yeşil renkte belirli bir şekli ve boyutu olmayan, suda kolayca çözülmeyen, kolayca öğütülmeyen, öğütülünce beyaz toz haline dönüşen bir maddedir [14]. Sodyum Silikat geniş bir kullanım alanına sahiptir. Bunlar; silika jel üretimi, deterjan için yapılandırıcı veya kirin tekrar tortulaşmasını önleyen ajan olarak, tekstil ve kâğıt hamuru için ağartmada peroksit stabilizörü, petrol prosesi-emülsiyon kırma ve korozyon önlemedir. Beton karışımı içerisinde ise priz hızlandırıcı olarak özellikle püskürtme betonlarında, alkali aktivasyon sistemi ile üretilen betonlarda aktivatör olarak, petrol kuyusu beton üretimi, koruyucu beton üretiminde (radyoaktif, zehirli ve asidik atıklar için) kullanılmaktadır [13].

1.2.3. Cam lif

Temel bileşeni silis kumu (SiO_2) olan cam lifler belirli miktarda sodyum, kalsiyum, alüminyum, bor ve demir gibi elementlerin oksitlerinden meydana gelmektedir [15]. Cam lifler, camların elektrik fırınında yaklaşık 1200-1500 ^oC sıcaklıkta eritilmesi ve eriyen camların platin alaşımlı bir potanın tabanındaki binlerce delikten hızlı bir şekilde çekilerek ve soğutma bölgesinden geçirilerek üretilmesiyle oluşmaktadır. [15-16]. Kimyasal kompozisyonlarına bağlı olarak değişik cam lif tipleri vardır. Bunlar; A tipi, C tipi, E tipi, R tipi ve S tipi cam liflerdir. Farklı cam lifi tiplerinin kimyasal kompozisyonları Tablo 1.4 'de sunulmuştur.

Tablo 1.4. Farklı tipte cam liflerin kimyasal kompozisyonları [17-18]

Oksit Adı	**A Tipi (%)**	**C Tipi (%)**	**E Tipi (%)**	**R Tipi (%)**	**S Tipi (%)**
SiO_2	72	64,6	52,4	60	64,4
Al_2O_3+Fe_2O_3	1,5	4,1	14,4	25	25
CaO	10	13,4	17,2	9	-
MgO	2,5	3,3	4,6	6	10,3
Na_2O+K_2O	14,2	9,6	0,8	-	0,3
B_2O_3	-	4,7	10,6	-	-
BaO	-	0,9	-	-	-

Amerika da S Tipi, Avrupa da R tipi cam lifler yüksek mekanik dayanım için kullanılmaktadır. Bu tip lifler uzay ve askeri, havacılık alanlarında uygulanmaktadır. Teknik özellikleri ile maliyeti arasında iyi bir denge bulunan E Tipi lifler piyasada en yaygın pazar payına sahip liflerdir. Bununla birlikte, dielektrik özelliklerinden dolayı elektron endüstrisinde yaygın bir şekilde kullanılmakta olan D Tipi cam lif ve kimyasallara karşı dayanıklılığı yüksek olan C Tipi cam lifler de bulunmaktadır. Tablo 1.5 'de bazı cam lifi tiplerinin fiziksel ve mekanik özellikleri ve Şekil 1.5 'de genel görünümleri sunulmuştur.

Tablo 1.5. Bazı cam lif tiplerinin fiziksel ve mekanik özellikleri [19]

Cam Lifi Tipi	**Özgül Ağırlık (gr/cm^3)**	**Çekme Dayanımı (GPa)**	**Elastisite Modülü (GPa)**
E	2,54	1,7-3,5	69-72
S	2,48	2,0-4,5	85
C	2,48	1,7-2,8	70
CEM-FİL	2,7	-	80



Şekil 1.5. Cam lif genel görünümü

1.2.4. Bazalt lif

Sert, yoğun ve termoplastik bir malzeme olan bazalt volkanik bir kayaç türüdür. Yoğunluğu 2,7-2,8 gr/cm^3, mohs sertliği 5-9 arasındadır [20-21]. Bazaltlar siyah ya da kurşuni renklere sahiptir [22]. Bazaltın ana bileşenleri SiO_2, Al_2O_3, MgO, CaO, ve demir oksit olmakla birlikte kimyasal bileşenleri bazaltın türüne göre değişiklik gösterebilmektedir. Bazaltların genel kimyasal bileşenleri Tablo 1.6 ‘de sunulmuştur [20].

Tablo 1.6. Bazaltların genel kimyasal kompozisyonu

Bileşenler	**SiO_2**	**Al_2O_3**	**CaO**	**MgO**	**Na_2O+K_2O**	**TiO_2**	**Fe_2O_3**
%	49-54	12-17	7-10	5-11	3-5	<3	10-14

Bazalt lifler, bazaltın 1300-1700 ^oC sıcaklıkta eritilmesiyle birlikte çok ince parçalara ayrılarak lif formunda üretilmesiyle elde edilmektedir [23]. Belirtilen üretim sürecinde herhangi bir kimyasal katkı kullanılmadığı için bazalt liflerin üretim maliyeti de düşük olmaktadır [20]. Ülkemizde kullanımı kısıtlı olan bazalt lifler 13-20 mikron çapında ve genellikle 5mm-100mm arasındaki boyutlarda üretilmektedir [15]. Elastisite modülleri 80-90 Gpa, çekme dayanımları ise 3,0-4,8 Gpa arasındadır [20]. Bazalt liflerin fiziksel ve teknik bazı avantajları bulunmaktadır.

Sertleşmiş beton içerisindeki çatlakları azaltmakta, betonun eğilme ve çekme kapasitesini arttırmakta, daha geçirimsiz ve donma-çözünme etkisine karşı daha dirençli betonlar elde edilebilmektedir. Volkanik kayaç kökenli oldukları için yüksek sıcaklık ve aşınmaya karşı direnci arttırmaktadır [24-25-26]. Ancak bu liflerin alkali ortamda parçalanma eğiliminde olmaları bir sorun teşkil etmektedir [19].

Bazalt lifli betonlar temeller ve yer altı yapıları, kıyı ve liman yapıları, su altında kalacak köprü ayakları, beton yollar, hava alanı pistleri, su kanalları, tüneller, endüstri yapılarının döşemeleri vb. birçok alanda kullanılmaktadır [15-27]. Bazalt Liflerin genel görünümü Şekil 1.6 ‘de sunulmuştur.



Şekil 1.6. Bazalt lif genel görünümü [15]

1.2.5. Naylon lif

Naylon lif, iyi mekanik özellikleri nedeniyle önemli bir mühendislik plastiği ve sentetik elyaf olarak yaygın şekilde kullanılmaktadır [28]. Ham maddesi petrol olan naylon lifler, doğrusal poliamid plastiklere verilen genel bir addır [19-29]. Günümüzde, Naylon 6 ve Naylon 66 olmak üzere betonda monofilament (çoklu iplikçik) formda kullanılan iki tip naylon bulunmaktadır [29-30]. Bu iki naylon tipinin ergime sıcaklıkları hariç diğer özellikleri birbiriyle hemen hemen aynıdır. Naylon 6'nın ergime sıcaklığı 210 ^{o}C iken Naylon 66, 250 ^{o}C 'de erime sıcaklığına ulaşmaktadır. Naylon liflerin bazı fiziksel ve mekanik özellikleri American Concrete Institute (ACI) ve S.Taner Yıldırım 'a göre Tablo 1.7 'de verilmiştir. Naylon liflerin genel görünümü Şekil 1.7 'de sunulmuştur.

Tablo 1.7. Naylon liflerin bazı fiziksel ve mekanik özellikleri [31-17]

Naylon Lif Özellik	**ACI**	**Yıldırım S.T.**
Çap (mm)	0,02-0,40	-
Özgül Ağırlık (g/cm^3)	1,16	1,1
Elastisite Modülü (GPa)	4,1	4,0
Çekme Dayanımı (MPa)	760-820	900
Kopma Uzaması (%)	16-20	13-15



Şekil 1.7. Naylon lif genel görünümü [33]

Yüksek çekme dayanımına sahip olan naylon lifler, ısıya ve ışığa karşı dayanıklıdır. Güçlü alkaliler de dahil olmak üzere çok çeşitli organik ve inorganik maddelere dirençli bir malzemedir. Ayrıca hidrofil bir malzeme olan ve %4,5 mertebelerine kadar nem içerebilen naylon lifler hacimsel olarak %0,1-%0,2 gibi düşük oranlarda kullanıldıkları takdirde betonun hidratasyon ve işlenebilirlik özelliğini etkilememektedir [32].

Naylon lifler hazır beton ve püskürtme beton uygulamalarına ek olarak, kuru şap uygulamaları iç ve dış cephe sıva uygulamaları, yapı kimyasalları üretimi, tamir harçları ve benzeri teknik harç uygulamaları da dahil olmak üzere bütün çimento esaslı kompozitlerde kullanılmaktadır [33]. Bununla birlikte diğer yapay liflere nazaran daha pahalı oldukları için kullanımları kısıtlıdır.

2. LİTERATÜR ÇALIŞMASI

2.1. Taze Beton Özellikleri

M.Chi, çalışmada aktivatörün Na_2O dozajının artışıyla AA-YFC betonunun priz bitiş süresinin uzadığı ve H_3PO_4 'e sahip AA-YFC betonlarında Na_2O dozajının artışı ile çökme değerinin azaldığı belirlenmiştir [34].

F.Collins vd., çalışmada $NaOH+Na_2CO_3$ ile aktive edilen cüruf harçlarında alçı ilavesi ile işlenebilirliğin önemli bir şekilde azaldığı rapor edilmiştir. %5 ve %10 seviyesinde cürufla yer değiştirilen ultra incelikteki cürufun işlenebilirliği azaltmadığı ortaya konmuştur. Ayrıca işlenebilirlik açısından optimum aktivatör kombinasyonun %5 $NaOH$+ %4 Na_2CO_3 olduğu belirlenmiştir [35].

2.2. Sertleşmiş Beton Özellikleri

2.2.1. Mekanik özellikler

Yardımcı vd. (2015), çalışmada ana bağlayıcı olarak kullanılan yüksek fırın cürufunun (YFC) yerine, silis dumanı (SD), uçucu kül (UK), metakaolin (MK) ikamesinin ve aktivatörün silikat modülündeki (Ms) değişimin alkalilerle aktive edilmiş harçların basınç dayanımına, statik ve düşük hızlı darbe yüklemeleri altındaki eğilme performanslarına etkileri araştırılmıştır. Bu amaçla harç numunelerinde silikat modülü (Ms) 0,8 ve 1,2 olan iki aktivatör kullanılmış ve SD, MK, UK sırasıyla YFC'nin yerine %15, %15 ve %30 oranlarında yer değiştirilmiştir. Sonuç olarak aktivatör çözeltisinin ve kullanılan mineral katkı türünün standart su kürü görmüş alkalilerle aktive edilen harç numunelerinin basınç dayanımı üzerine önemli bir etkisinin olduğu rapor edilmiştir. Ms oranındaki artış ile YFC yerine %15 SD ve %15 MK ikamesi içeren harç numunelerinde basınç dayanımları artış gösterirken, %100 YFC'li harç numunelerinin basınç dayanımları %10 azalmış ve %30 UK ikamesi içeren harç numunelerinin ise bu artıştan etkilenmediği ortaya konulmuştur. En yüksek basınç dayanımı Ms =1,2 olan %85 YFC+ %15 SD içeren harç numunesinde elde edilmiştir.

Ayrıca Ms oranının 0,8 ‘den 1,2 ‘ye arttırılması ile MK ikamesi içeren numuneler hariç alkalilerle aktive edilmiş diğer bütün harç numunelerinde hem statik eğilme dayanımı hem de darbe eğilme dayanımı olumsuz etkilenmiştir. En yüksek eğilme dayanımı %85 YFC+ %15 SD harç numunelerinde elde edilmiştir [36].

Bilim vd., çalışmada kimyasal katkı ve kür koşullarının alkalilerle aktive edilen yüksek fırın cüruflu (AA-YFC) harçların mekanik özelliklerine etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla kimyasal katkı olarak süper akışkanlaştırıcı, rötre azaltıcı (SRA) ve priz geciktirici (WRRe) katkı kullanılmıştır. Harç numunelerine sırasıyla 3 farklı kür koşulu uygulanmıştır. Bunlar, Kür 1; 23 ^{o}C ve %95 bağıl nem, Kür 2 ; 23 ^{o}C ve %50 bağıl nem, Kür 3; numuneler ısıtıcılı su dolu kür tankına konulmuş, su sıcaklığı 65 ^{o}C ‘ye 2 saatte ulaştıktan sonra 5 saat 65 ^{o}C ‘de bekletilmiş, ısıtıcı kapatılmış ve numuneler soğuduktan sonra kür tankından çıkarılarak 23 ^{o}C ve % 50 bağıl nem şartlarında olan kür kabinine konulmuştur. Yüksek fırın cürufunu aktive etmek için 2 farklı oranda (%4 Na -%6 Na) sodyum meta silikat kullanılmıştır. Ayrıca karşılaştırma yapabilmek için normal portland çimentolu (NPÇ) numune dökümleri de yapılmıştır. Harç numunelerinin karışımında su/bağlayıcı ve agrega/bağlayıcı oranı sırasıyla 0,5 ve 3 tür. Kimyasal katkılar bağlayıcı miktarının ağırlıkça %1 oranında kullanılmıştır. Hazırlanan karışımlar 4x4x16 cm boyutlarında prizmatik kalıplara dökülmüş ve yukarıda belirtilen kür koşulları uygulandıktan sonra 2,7,28 günlük eğilme ve basınç dayanımları belirlenmiştir. Sonuç olarak kür koşulları NPÇ harçlarına göre karşılaştırıldığında AA-YFC harçlarının sertleşmiş durumdaki mekanik özelliklerinin gelişimi üzerine önemli bir etkiye sahip olduğu vurgulanmıştır. Dayanım açısından en düşük sonuçlar 23 ^{o}C ve %50 bağıl nem koşullarında elde edilmiştir

Yüksek sıcaklıklarda kür uygulandığında AA-YFC harçlarının erken yaşlardaki dayanım gelişimi NPÇ harçlarına göre daha hızlı olduğu belirlenmiştir. Sodyum oranının %4 ‘den %6’a çıkması durumunda harç numunelerinin dayanımlarında artışların olduğu gözlemlenmiştir. Kimyasal katkılar 3 farklı kür koşulunda da NPÇ harçlarının dayanımlarında kayda değer bir fark meydana getirmediği ve AA-YFC harçlarının dayanımlarını olumsuz etkilemediği ortaya konulmuştur [37].

A. Fernández-Jiménez vd., çalışmada alkalilerle aktive edilen yüksek fırın cüruflu harçların mekanik dayanımlarının gelişimi üzerine cüruf özgül yüzeyinin, kür sıcaklığının, aktivatör konsantrasyonun ve aktivatör türü gibi faktörlerin ortak etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla bir deneysel dizayn faktöriyeli çalışılan her yaş için (3 ila 180 gün) uygulanmıştır. Varyans analizi boyunca reaksiyon üzerine en önemli faktörün alkali aktivatör kaynağı olduğu sonucuna varılmıştır. Aktivatör olarak $Na_2SiO_3.nH_2O$+NaOH kullanıldığında bütün testlerde en yüksek mekanik dayanım elde edilmiştir. İstatiksel olarak harç numunelerinin mekanik dayanımına etki eden en önemli faktörler sırasıyla aktivatör konsantrasyonu, kür sıcaklığı ve cürufun özgül yüzeyi olduğu rapor edilmiştir [38].

T.Bakharev vd., çalışmada aktivatör tipi, kimyasal katkı ve alçı ilavesinin AA-YFC harçlarının basınç ve eğilme dayanımına etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla aktivatör olarak cüruf ağırlığının %4-7 Na oranında sıvı sodyum silikat ve %8 Na oranında NaOH+Na_2CO_3, kimyasal katkı olarak ise süper akışkanlaştırıcı (SP), Rötre azaltıcı (SHR), Hava katkısı (AEA) ve Priz geciktirici (WRRe) kullanılmıştır. Portland Çimentolu harç ile toplam 9 karışımın dökümü yapılmıştır. Sonuç olarak aktivatör tipinin AA-YFC betonlarının dayanımına önemli bir etkiye sahip olduğu en iyi sonuçların sodyum silikat ile elde edildiği belirtilmiştir. Kimyasal katkıların ise AA-YFC betonlarına farklı etkilere sahip olduğu gözlemlenmiştir. SP, AA-YFC betonlarının 28 günlük basınç dayanımının %25 'nin kaybolmasına, WRRe' nin 14 güne kadar erken dayanım gelişiminin azalmasına AEA'nın ise 7 güne kadar erken dayanım üzerine bazı etkilere sahip olduğu ilerleyen yaşlarda ki dayanım gelişiminin katkısız AA-YFC betonlarıyla aynı olduğu sonuçlarına varılmıştır [39].

M.Chi, çalışmada AA- YFC betonlarının farklı Na_2O dozajı, H_3PO_4 ilavesi ve 3 farklı kür koşulu altında ki mekanik özelliklerini incelemiş ve referans olarak dökülen normal portland çimentolu numune ile karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak AA-YFC betonlarının normal portland çimentolu betonlara göre daha erken ve yüksek mekanik dayanım elde edildiği rapor edilmiştir. En yüksek basınç ve eğilme dayanımı %80 RH ve 60 ^oC' de kürlenen numunelerde elde edilmiştir. H_3PO_4 ilavesi eğilme ve basınç dayanımını arttırmıştır. Na_2O dozajının artışıyla basınç dayanımı kısmen artış göstermiştir fakat önemli bir artış gözlemlenmemiştir [34].

İlkentapar (2012), çalışmada kimyasal katkı içeren alkali ile aktive edilmiş cüruf harçlarının farklı kür koşulları altındaki özellikleri araştırılmıştır. Harç numunelerinin sertleşmiş haldeki özellikleri üzerine kür koşullarının oldukça etkili olduğu ve sıcak kür işlemi ile alkalilerle aktive edilmiş cüruflu harçların erken yaşlardaki mukavemet gelişiminin normal portland çimentolu harçlara göre çok daha hızlı olduğu vurgulanmıştır [5].

Bingöl (2018), çalışma alkalilerle aktive edilmiş yüksek fırın cüruflu harçların mekanik ve durabilite özellikleri araştırılmıştır. Bu amaçla durabilite deneylerine geçmeden önce harçların mekanik özellikleri farklı kür koşulları ve farklı Na^+ oranına göre incelenmiştir. Alkalilerle aktive edilmiş yüksek fırın cüruflu harç numuneleri havada, suda ve 1gün, 2gün, 3gün 75 ^oC etüvde kür edilmiştir. Kür koşullarının mekanik dayanımlara etkisi incelendiğinde 1 günlük 75 ^oC kür koşulundaki dayanımların ciddi oranda iyileştiği görülmüştür. Ancak 2 ve 3 gün uygulanan sıcak kürün dayanımları pek etkilemediği görülmüştür [40].

F.Collins vd., çalışmada aktivatör olarak NaOH ve Na_2CO_3 'in farklı dozajlarının etkisi dayanım açısından incelenmiştir. Bu amaçla hazırlanan AA-YFC harçları PÇ'li harçlarla karşılaştırılmıştır. Sadece NaOH ile aktive edilen harçların eşdeğer bir günlük basınç dayanımları PÇ'li numunelerden düşük olduğu rapor edilmiştir. Fakat NaOH+ Na_2CO_3 kombinasyonu ile eşdeğer bir günlük dayanımın elde edilebileceği belirlenmiştir. AA-YFC harçlarının erken dayanım gelişimi hızlı olmasına rağmen 28 günlük dayanımları önemli bir şekilde PÇ'li numunelerden daha düşük olduğu ortaya konmuştur [35].

2.2.2. Kuruma büzülmesi

T.Bakharev vd., çalışmada kimyasal katkı ve alçı ilavesinin AA-YFC harçlarının kuruma büzülmesine etkisi araştırılmıştır. En yüksek kuruma büzülmesi, süperakışkanlaştırıcı katkı ilave edilen AA-YFC betonunda gözlemlenmiştir. Normal portland çimentosu ile karşılaştırıldığında daha düşük kuruma büzülmesi Hava Sürükleyici, Rötre azaltıcı ve %6 Alçı katkı ile elde edilmiştir. Bu katkıların büzülme çatlaklarını minimize etmede etkili olduğu vurgulanmıştır [39].

M.Chi, çalışmada farklı Na_2O dozajında ve farklı kür koşullarında üretilen alkalilerle aktive edilen yüksek fırın cüruflu harçların kuruma büzülmesinin her yaşta Normal Portland çimentolu harçlardan daha fazla olduğu vurgulanmıştır. Yapılan çalışmada en düşük kuruma büzülmesi değeri %80 RH ve 60 ^oC sıcaklıkta kürlenen numunelerde elde edilmiştir. Kür koşulları AA-YFC betonlarının kuruma büzülmesine etki eden en önemli faktör olduğu rapor edilmiştir [34].

N.K. Lee vd., çalışmada alkalilerle aktive edilmiş yüksek fırın cürufu/uçucu kül (AYU) bağlayıcılı harçların büzülme özelliklerini etkileyen faktörler araştırılmıştır. Bu amaçla AYU harç numunelerinin kimyasal, otojen ve kuruma büzülmelerini belirleyebilmek için bir dizi test uygulanmıştır. AYU numuneleri uçucu kül, cüruf, sodyum silikat ve su ile üretilmiştir. Sonuç olarak, AYU harçlarının, normal portland çimentolu numunelerden daha yüksek seviyede kuruma büzülmesi gösterdiği rapor edilmiştir. AYU hamurunun kimyasal büzülmesi (0,01-0,022 ml/g) normal portland çimento hamurundan (0,06-0,10 ml/g) daha düşük olduğu fakat otojen büzülmesinin daha yüksek olduğu belirlenmiştir. AYU numunelerinin kimyasal ve kuruma büzülmesi değerlerinin cüruf yada sodyum silikat içeriğine bağlı olarak değişim gösterdiği, bu içerikler arttıkça kimyasal ve kuruma büzülmesi değerlerinin artış gösterdiği ortaya konulmuştur. Su/bağlayıcı oranı azaldıkça AYU harçlarının otojen büzülmesi artmaya kuruma büzülmesi düşmeye başlamıştır. Başka bir deyişle otojen ve kuruma büzülmesi su/bağlayıcı oranı ve alkali aktivatörün konsantrasyonuna bağlı olarak farklı şekillerde davranış gösterdiği rapor edilmiştir [41].

İlkentapar S., AA-YFC harçlarının kullanılmasını kısıtlayan kuruma rötresi gibi problemlerin çözümü için kimyasal katkı (rötre azaltıcı , süper akışkanlaştırıcı ve priz geciktirici) ve farklı kür koşullarının etkisi araştırılmıştır. Sonuç olarak kimyasal katkıların numunelerin rötresini azalttığı ortaya konulmuştur [5].

2.2.3. Yüksek sıcaklık direnci

Bilim C., çalışmada AA-YFC harçların yangın direnci yüksek sıcaklığa maruz kaldıktan sonra normal portland çimentolu numunelerle karşılaştırılmıştır. Numuneler farklı Na_2O ve M_s oranında %100 çimentosuz olarak üretilmiştir.

300 ºC, 600 ºC ve 900 ºC yüksek sıcaklığa maruz bırakılan numunelere eğilme ve basınç dayanımı testleri uygulanmıştır Sonuç olarak, yüksek sıcaklıklar sonucunda numunelerin eğilme dayanımlarında basınç dayanımlarına kıyasla daha fazla düşüş meydana gelmiştir. Na_2O ve M_s oranındaki artış ile AA-YFC harçlarının yangın direnci artmıştır. AA-YFC harçlarının yangın direncinin normal portland çimentolu harçlara kıyasla daha iyi olduğu ortaya konulmuştur [42].

M.Chi, AA-YFC ve PÇ betonlarında 400 ºC sıcaklıkta herhangi bir bozulma görülmediğini fakat sıcaklığın 600 ºC'ye yükselmesiyle PÇ 'li betonlarda çatlakların ortaya çıkmaya başladığı ve 600 ºC 'nin üstünde PÇ'li numuneler üzerinde kopmaların ve bozulmaların meydana geldiği rapor edilmiştir. Buna rağmen bu sıcaklık değerlerinde AA-YFC betonunda bozulmaların olmadığı 800 C 'nin üzerinde basınç dayanımlarında bir miktar azalmaların olduğu ortaya konulmuştur [34].

2.2.4. Lif katkılı jeopolimerik harç özellikleri

Vilaplana J.L. vd., çalışmada AA-YFC harçlarının temel problemlerinin yüksek kuruma büzülmesi olduğu vurgulanmıştır. Bu problemin çözümünde önceki yapılan çalışmalarda genellikle rötre azaltıcı kimyasal katkıların kullanıldığı söylenmiş bununla birlikte lif takviyesinin kuruma büzülmesi probleminin çözümü için kullanılabileceği öngörülmüştür. Yapılan çalışmada aynı çapta farklı boyutta karbon lif takviyeli AA-YFC harç numuneleri üretilmiştir. Numuneler üzerinde eğilme ve basınç, ultrasonik geçiş hızı deneyi ve rötre deneyi uygulanmıştır. Sonuç olarak lif takviyesinin AA-YFC harçlarının basınç ve eğilme kapasitesini geliştirdiği ortaya konulmuştur. 3 mm uzunluğunda CF ile% 19'a varan basınç dayanımı artışı ve cüruf ağırlığının %1 'i kadar 6mm karbon lif takviyesi ile 18 MPa' ya varan eğilme dayanımı elde edilmiştir. Ayrıca karbon lif takviyesi ile kuruma büzülmesinin azaldığı ortaya konmuş, hatta %50 bağıl nem gibi elverişsiz koşullarda lifsiz harç numunelerde çatlakların oluşabileceği durumlarda karbon lifli harç numunelerinin stabilitesini koruyabileceği garantisi verilmiştir [43].

Zu- Hua vd., yapılan çalışmada jeopolimer harçlarının yüksek büzülme ve gevreklik problemine polipropilen lif katkısının etkisi araştırılmıştır. Sonuç olarak 3 günlük basınç dayanımı, eğilme dayanımı, darbe enerjisi %0,05 polipropilen içeren jeopolimer harçlarında sırasıyla %67,8, %36,1 ve %6,25 arttığı ortaya konulmuştur. Bununla birlikte kuruma büzülmesi %38,6 azalmıştır. Mekanik özelliklerde ortaya koyulan dayanım artışı polipropilen lifinin zararlı gözenekler üzerinde bir köprüleme özelliği kurarak çatlakların genişleme yollarının kısıtlanmasına bağlanmıştır [44].

3. MALZEME VE YÖNTEM

3.1. Kullanılan Malzemeler

3.1.1. Çimento

Çalışmada Kocaeli Kavanlar Beton firmasından temin edilen Nuh Çimento Sanayi A.Ş' nin bir ürünü olan 42,5R Portland çimentosu kullanılmıştır. Kullanılan çimentonun kimyasal bileşimi Tablo 3.1 'de, fiziksel ve mekanik özellikleri Tablo 3.2 'de sunulmuştur.

Tablo 3.1. Portland çimentosu kimyasal bileşimi

Kimyasal Bileşim	**%**	**Kimyasal Bileşim**	**%**	**Kimyasal Bileşim**	**%**
SiO_2	20,5	TiO_2	-	SO_3	2,21
Al_2O_3	4,65	Na_2O	0,18	Klor (CI-)	0,01
Fe_2O_3	3,40	K_2O	0,41	Çözünmez kalıntı	0,60
CaO	62,7	MgO	1,02	Kızdırma kaybı	2,15

Tablo 3.2. Portland çimentosu fiziksel ve mekanik özellikleri

Fiziksel ve Mekanik Özellikler			
Özgül yüzey, cm^2 /g	3510	2 günlük dayanım, MPa	30,2
Özgül ağırlık, (gr/cm^3)	3,12	7 günlük dayanım, MPa	51,1
Priz başlama -Bitiş periyodu, dakika	153-188	28 günlük dayanım, MPa	62,2

3.1.2. Yüksek fırın cürufu

Çalışmada Bolu-Çimento Firması Zonguldak Ereğli Şubesi'nden temin edilen öğütülmüş granüle yüksek fırın cürufu kullanılmıştır. YFC'nin fiziksel ve kimyasal özellikleri firmadan temin edilmiş ve Tablo 3.3 ve Tablo 3.4 'de gösterilmiştir.

Tablo 3.3. YFC fiziksel özellikleri

Fiziksel Özellikler	**Elde Edilen Değerler**
Özgül Ağırlık (gr/cm^3)	2,93
Özgül Yüzey (cm^2/g)	5041
Priz Başlangıç (dk)	7,00
7 Günlük Aktivite İndeksi (%)	51
28 Günlük Dayanım İndeksi (%)	75

Tablo 3.4. YFC kimyasal özellikleri

Kimyasal Özellikler	**Elde Edilen Değerler**	**Kimyasal Özellikler**	**Elde Edilen Değerler**
CaO+MgO+SiO_2 (%)	82,50	Klorür (%)	0,0138
Magnezyum Oksit (%)	5,99	Rutubet (%)	0,06
Sülfit (%)	0,66	Sodyum Oksit (%)	0,94
Kükürt Trioksit (%)	0,25	Potasyum Oksit (%)	0,45
Kızdırma Kaybı (%)	0,01	Toplam Alkali (%)	1,23

3.1.3. Su

Karışım suyu olarak Kocaeli ili içilebilir temiz şebeke suyu kullanılmıştır.

3.1.4. Kum

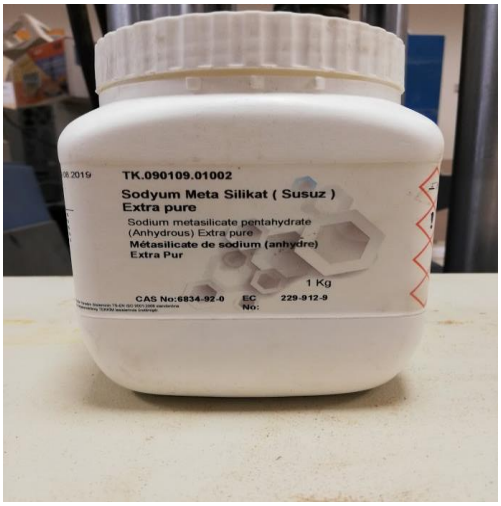
Çalışmada Kocaeli Kavanlar Beton ‘dan temin edilen, tane boyutu 0-4 mm arasında ve özgül ağırlığı 2,57 g/cm^3 olan dere kumu kullanılmıştır.

3.1.5. Sodyum meta silikat

Aktivatör olarak Tekkim San. ve Tic. Ltd. Şti. ‘den temin edilen sodyum meta silikat (susuz) ekstra saf ürünü kullanılmıştır. Sodyum meta silikatın kimyasal özellikleri Tablo 3.5‘de, görseli Şekil 3.1’de verilmiştir.

Tablo 3.5. Sodyum meta silikat kimyasal özellikleri

Kimyasal Özellikler	**Elde Edilen Değerler**
Saflık (%)	>= 95
Na_2O (%)	48.0-51.0
SiO_2 (%)	44.4-47.4
Fe (%)	<=0.1
Suda Çözünmeyen (%)	<=0.5
pH(1%,H_2O,20^{o}C) (%)	>12



Şekil 3.1. Sodyum meta silikat

3.1.6. Naylon lif

Çalışmada Kordsa firması'ndan temin edilen, poliamid 6.6 ham maddesinden EN14889-2 Sınıf 1 standardına göre üretilen naylon lif kullanılmıştır. Kullanılan naylon lifin bazı özellikleri Tablo 3.6 'da görünümü ise Şekil 3.2 'de sunulmuştur.

Tablo 3.6. Naylon lif özellikleri

Özellikler	**Elde Edilen Değerler**
Özgül Ağırlık (gr/cm^3)	1,14
Uzunluk (mm)	6
Çekme Gerilmesi (MPa)	900
Erime Sıcaklığı (^{o}C)	260
Su Emme (%)	4-5



Şekil 3.2. Kullanılan naylon lifin görünümü

3.1.7. Bazalt lif

Bu çalışmada Spinteks firması tarafından temin edilen bazalt elyaflar 6 mm boyutlarında kırpılarak deneylerde kullanılmıştır. Liflerin yapıları birbirinden bağımsızdır. Bazalt liflere ait ortalama teknik özellikler Tablo 3.7, görünümü Şekil 3.3 'de sunulmuştur.

Tablo 3.7. Bazalt lif teknik özellikler

Özellikler	**Değerleri**
Çekme Dayanımı (MPa)	4840
Elastisite Modülü (GPa)	89
Ergime Sıcaklığı (g/cc)	1,81
Elyap Çapı (mikron)	9-23
Özgül Ağırlık (g/cm^3)	2,60-2,80
Elyaf Uzunluğu (mm)	6 mm



Şekil 3.3. Kullanılan bazalt lifin görünümü

3.1.8. Cam lif

Çalışmada Fibrobeton firmasından temin edilen 6 mm uzunluğunda kesilmiş cam lif kullanılmıştır. Cam lifin ortalama teknik özellikleri Tablo 3.8 ‘de ve cam liflerin genel görünümü Şekil 3.4 ‘de sunulmuştur.

Tablo 3.8. Cam lifin teknik özellikler

Özellikler	**Değerleri**
Çekme Dayanımı (MPa)	4500
Elastisite Modülü (GPa)	85
Özgül Ağırlık (g/cm^3)	2,68
Elyaf Uzunluğu (mm)	6 mm



Şekil 3.4. Kullanılan cam lifin görünümü

3.2. Deney Numunelerinin Üretimi ve Yapılan Çalışma

Tez Çalışmasının ilk bölümünde AA-YFC harçlarının farklı Na_2O oranı ve farklı kür koşulları altındaki özellikleri değerlendirilmiştir.

Bu amaçla AA-YFC harç karışımlarına sodyum meta silikat ayrı ayrı %4, %6, %8 Na_2O oranında ilave edilmiştir. Her bir Na_2O oranı için 4x4x16 cm boyutlarında 27 numune üretilmiştir. Harç numuneleri 3,7,28 gün su ve laboratuvar ortamında, 1 gün 60,75 ve 90 ^oC sıcaklıkta etüvde bekletilmiştir.

Numunelerin taze haldeyken kıvam tayini, sertleşmiş durumda basınç ve eğilme deneyleri yapılmıştır. Elde edilen veriler ve maliyet birlikte düşünülerek optimum Na_2O oranı ve kür koşulu belirlenmiştir. Numuneler yüksek fırın cürufu, kum, su ve sodyum meta silikat ile çimentosuz, TS EN 196-1 Bölüm 6 doğrultusunda kütlece bir kısım YFC, üç kısım kum ve yarım kısım su (s/b= 0,5) olarak hazırlanmıştır [45].

Üç deney numunesi hazırlanmasına yetecek her harman 450 g YFC, 1350 g kum,225 g su ve belirlenen Na_2O oranında sodyum meta silikat içermektedir. 1. Aşama deneyleri için karışım notasyonları ve uygulanan kür koşulları Tablo 3.9 ‘de sunulmuştur.

AA-YFC harçları ile portland çimentosunun kıyaslanabilmesi adına çimentolu numuneler dökülmüştür. Çimentolu numunelerin karışım oranları AA-YFC numunelerinde olduğu gibi s/b oranı 1:2, Kum/YFC oranı 3:1 olarak seçilmiştir.

Çalışmanın İkinci bölümünde ise birinci bölümde belirlenen optimum karışımla elde edilen AA-YFC harçlarının teknik olarak uygulanmasını güçleştiren kuruma büzülmesi problemine karşı mikro boyuttaki cam, bazalt ve naylon liflerin etkileri araştırılmıştır. Bu amaçla belirlenen optimum AA-YFC karışımına, hacimce %0,1 ve %0,2 oranında 6 mm uzunluğunda cam, naylon ve bazalt lif ilave edilmiştir. İkinci aşama karışım notasyonları Tablo 3.10’da sunulmuştur.

Lifli AA-YFC harçlarının taze haldeyken kıvam tayini, sertleşmiş durumdayken eğilme-basınç, birim ağırlık-su emme, kılcallık, yangın dayanımı, kuruma büzülmesi değerleri belirlenmiş ve optimum Lifsiz AA-YFC harç numuneleri ile karşılaştırılmıştır.

Tablo 3.9. Birinci aşama karışım notasyonları ve uygulanan kür koşulları

Numune No	Çimento (%)	Cüruf (%)	SMS Na Dozajı (%)	Uygulanan Kür Koşulu								
				Lab. Kürü			Su Kürü			1 gün 60 C	1 gün 75 C	1 gün 90 C
				3g	7g	28g	3g	7g	28g			
PÇ3GS	100	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-
PÇ7GS	100	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-
PÇ28GS	100	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-
Y4NA3GL	-	100	4	X	-	-	-	-	-	-	-	-
Y4NA7GL	-	100	4	-	X	-	-	-	-	-	-	-
Y4NA28GL	-	100	4	-	-	X	-	-	-	-	-	-
Y4NA3GS	-	100	4	-	-	-	X	-	-	-	-	-
Y4NA7GS	-	100	4	-	-	-	-	X	-	-	-	-
Y4NA28GS	-	100	4	-	-	-	-	-	X	-	-	-
Y4NA1G60	-	100	4	-	-	-	-	-	-	X	-	-
Y4NA1G75	-	100	4	-	-	-	-	-	-	-	X	-
Y4NA1G90	-	100	4	-	-	-	-	-	-	-	-	X
Y6NA3GL	-	100	6	X	-	-	-	-	-	-	-	-
Y6NA7GL	-	100	6	-	X	-	-	-	-	-	-	-
Y6NA28GL	-	100	6	-	-	X	-	-	-	-		-
Y6NA3GS	-	100	6	-	-	-	X	-	-	-	-	-
Y6NA7GS	-	100	6	-	-	-	-	X	-	-	-	-
Y6NA28GS	-	100	6	-	-	-	-	-	X	-	-	-
Y6NA1G60	-	100	6	-	-	-	-	-	-	X	-	-
Y6NA1G75	-	100	6	-	-	-	-	-	-	-	X	-
Y6NA1G90	-	100	6	-	-	-	-	-	-	-	-	X
Y8NA3GL	-	100	8	X	-	-	-	-	-	-	-	-
Y8NA7GL	-	100	8	-	X	-	-	-	-	-	-	-
Y8NA28GL	-	100	8	-	-	X	-	-	-	-	-	-
Y8NA3GS	-	100	8	-	-	-	X	-	-	-	-	-
Y8NA7GS	-	100	8	-	-	-	-	X	-	-	-	-
Y8NA28GS	-	100	8	-	-	-	-	-	X	-	-	-
Y8NA1G60	-	100	8	-	-	-	-	-	-	X	-	-
Y8NA1G75	-	100	8	-	-	-	-	-	-	-	X	-
Y8NA1G90	-	100	8	-	-	-	-	-	-	-	-	X

Tablo 3.10. İkinci aşama karışım notasyonları

Numune Adı	Cüruf (%)	SMS Na Dozajı (%)	Cam Lif	Bazalt Lif	Naylon Lif
C01	100	Optimum Na	0,1	-	-
C02	100	Optimum Na	0,2	-	-
B01	100	Optimum Na	-	0,1	-
B02	100	Optimum Na	-	0,2	-
N01	100	Optimum Na	-	-	0,1
N02	100	Optimum Na	-	-	0,2

3.3. Metod

3.3.1. Yayılma tablası deneyi

Lifli AA-YFC, Lifsiz AA-YFC ve normal portland çimentolu harçların taze haldeki işlenebilirlik tayini ASTM C230 ‘da belirtilen yayılma tablası deney metoduna göre belirlenmiştir. Harç numuneleri mikser de hazırlandıktan sonra yayılma tablası konisine yerleştirilmiştir. 25 düşüş yaptırılan harçların yayılma çapları 4 farklı yerden kumpas ile ölçülmüştür. Yayılma değeri bu 4 ölçümün ortalaması olarak mm cinsinden ifade edilmiştir. Şekil 3.5 ‘de kullanılan yayılma tablası deney seti gösterilmiştir.



Şekil 3.5. Yayılma tablası deney seti

3.3.2. Basınç ve eğilme dayanımı deneyi

Çalışmada uygulanan eğilme ve basınç dayanımı deneyi TS EN 196-1 doğrultusunda yapılmıştır. Eğilme deneyinde, Şekil 3.6’ de gösterilen 40x40x160 mm prizmatik numuneler mesnet açıklığı 100 mm olacak şekilde yerleştirilmiş ve 50 N/s hızla tek noktadan yükleme yapılmıştır. Eğilme dayanımı değeri her bir kalıptan 3 tane numune elde edildiği için bu 3 değerin aritmetik ortalaması alınarak belirlenmiştir. Eğilme dayanımı R_f aşağıdaki bağıntıdan hesaplanmıştır (3.1).

$$R_f = \frac{3}{2}\frac{F_f x l}{b^3} \quad (3.1)$$

Burada;

R_f :Eğilme dayanımı, MPa,

b : Prizma şekilli numunenin kare kesitin kenar uzunluğu, mm,

F_f :Prizma şekilli numunenin kırıldığı anda ortasına uygulanan yük, N,

l : Mesnet açıklığı, mm,



Şekil 3.6. Eğilme dayanımı deneyi

Çalışma kapsamında basınç dayanımı, eğilme dayanımı sonrasında ortaya çıkan 6 adet numuneye uygulanmıştır. Numuneler Şekil 3.7 'de gösterilen 40x40 mm boyutundaki basınç dayanımı deney aparatına yerleştirilerek eksenel yük altındaki gerilme değeri bulunmuştur. Basınç dayanımı R_c (3.2) denklemiyle elde edilmiştir. Ortaya çıkan 6 adet numune için ayrı ayrı uygulanan deney sonucunda elde edilen verilerin aritmetik ortalaması alınarak her bir karışım seti için basınç dayanımı tayin edilmiştir.

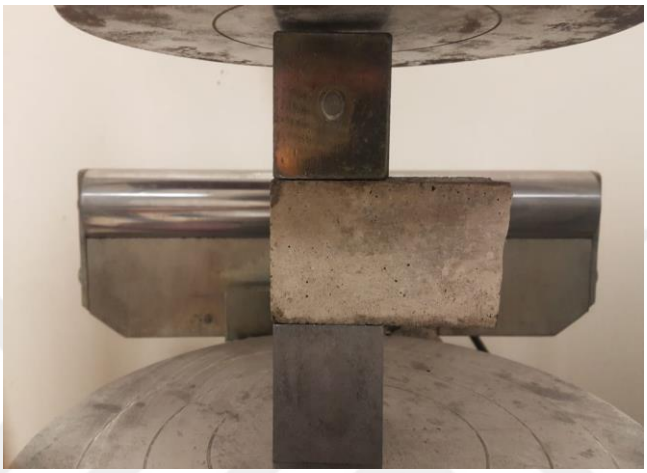
$$R_c = \frac{F_c}{1600} \quad (3.2)$$

Burada ;

R_C : Basınç dayanımı, MPa,

F_C :Kırılmadaki en büyük yük, N,

1600: Yükleme plakalarının veya uzatma plakalarının alanı (40x40 mm) , mm^2



Şekil 3.7. Basınç dayanımı deneyi

3.3.3. Birim ağırlık-su emme deneyi

Çalışmada birim ağırlık ve su emme deneyi Lifli AA-YFC, Seçilen Optimum Lifsiz AA-YFC ve Çimentolu harçlara uygulanmıştır. Belirlenen kür işlemi biten numuneler 24 saat su içerisinde bekletilmiş ve numune ağırlığı tartıldıktan sonra 105 C etüvde 24 saat kuruması sağlanmıştır. Etüvden çıkarılan numunenin tekrar ağırlığı ölçülerek iki değer arasındaki fark yardımıyla su emme değerleri ortaya konmuştur. Birim ağırlık deneyi de etüvde kurutulan numune üzerinden ağırlık ölçülmüş ve 4x4x16 cm olan numune boyutlarına bölünerek elde edilmiştir.

3.3.4. Kılcallık deneyi

Çalışmada absorbe edilen su miktarı, 4x4x16 boyutlarında numunelerin ikiye bölünmesi ile ortaya çıkan 4x4x8 cm boyutlu numuneler üzerinden gerçekleştirilmiştir. 24 saat 105 C sıcaklıkta bekletilen numunelerin etüv kurusu ağırlıkları ölçüldükten sonra 4x4 cm boyutlarındaki alt yüzeylerinden suya temas ettirilmiştir.

1,5,10,20,30,60,120,180,240 dakika ve 1 gün sonra numunelerin ağırlıkları ölçülerek, ağırlıkça emilen su miktarı hesaplanmıştır. Daha sonra aşağıda verilen denklem (3.3) ile absorbe edilen su miktarı (I) bulunmuştur.

$$I=M_t/axd \quad (3.3)$$

Burada;

M_t= t sürede emilen su miktarı (g)

a= Suyla temas eden yüzey alanı (mm^2)

d= Suyun yoğunluğu (g/mm^3)

3.3.5. Rötre deneyi

Kuruma Büzülmesi değerleri 25x25x285 mm boyutlarındaki numuneler üzerinden elde edilmiştir. Her bir karışım için 5 adet numune hazırlanmıştır. Fakat numunelerde kalıptan çıkarırken veya AA-YFC harçlarının yüksek kuruma büzülmesinden dolayı zayiat verilmiştir. Bu sebepten dolayı bazı numuneler için 5 numunenin ortalaması bazı numuneler için zayiat sonrası kalan numunelerin ortalaması boy değişimi olarak alınmıştır. Kür işlemi yapılan numunelerin ilk ölçümleri alınmadan önce 10 dk suda bekletilmiştir. Referans olarak ilk okuma boyu alınan numunelerin 3,7,28,56 ve 112 günlük boy ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Şekil 3.8' de döküm işlemi yapılmış rötre numunesi verilmiştir.



Şekil 3.8. Döküm işlemi yapılmış rötre numunesi

3.3.6. Yüksek sıcaklık direnci

Yüksek sıcaklık deneyi Lifli AA-YFC harçları üzerinde uygulanmıştır. Her bir karışım için 5x5x5 boyutlarında 12 adet numune hazırlanmıştır. Bu numunelerin 3 adeti belirlenen kür işlemi yapıldıktan sonra 105 C etüvde bir gün bekletilmiş, ağırlığı ölçüldükten sonra basınç dayanımı deneyi yapılmıştır. Diğer kalan her bir 3 numuneye 2 saat 300,600,900 C sıcaklık uygulanmıştır.

Yüksek sıcaklık uygulanan numuneler oda sıcaklığına geldikten sonra ağırlıkları ölçülmüş ve basınç dayanımı deneyi yapılmıştır. Sonuçlar not alındıktan sonra sıcaklık etkisiyle Lifli AA-YFC harçlarının ağırlık ve basınç dayanımı değer kayıpları belirlenen optimum Lifsiz AA-YFC harcı ile karşılaştırılmıştır. Yüksek sıcaklık deneyinin yapıldığı kül fırını Şekil 3.9 ‘da verilmiştir.



Şekil 3.9. Kül fırını

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Birinci Aşama Deneyleri

Bu bölüm, optimum karışım elde edilmesi için yapılan basınç-eğilme ve kıvam tayini deney sonuçlarını içermektedir.

4.1.1. Kıvam deneyi sonuçları

AA-YFC harçlarının farklı Na_2O oranına göre yayılma değerleri Tablo 4.1 'de sunulmuştur. Portland çimentolu harçların yayılma çapı değeri 144 mm'dir. AA-YFC harçlarında en büyük yayılma çapı bağlayıcı miktarının %4 'ü kadar Na içeren karışım hamurunda elde edilmiştir.

Tablo 4.1. Kıvam tayini değerleri

SMS Na_2O Oranı (%)	**Yayılma Çapı (mm)**
%4 Na	193
%6 Na	170
%8 Na	175

Portland çimentosuna en yakın yayılma çapı değeri (170mm) ise %6 Na içeren karışım hamurunda elde edilmiştir. Yapılan ölçümlerde kıvam sonuçlarının Na_2O oranındaki artış veya azalışla paralel değişmediği, istikrarsız sonuçlar elde edilmiştir. Fakat %6 Na ve %8 Na içeren karışım hamurlarının yayılma çapları, ölçüm koşullarında ki değişim, göz ardı edilebilecek seviyede ölçüm hatalarıyla birlikte düşünüldüğünde hemen hemen birbirine yakındır. Sonuçlar dikkate alınarak genel anlamda Na içeriğinin artışıyla yayılma çapının azaldığı ve yüksek Na içeriğinde bu azalmanın dikkate değer olmadığı sonucuna varılabilmektedir. Ayrıca harç karışımlarına sodyum meta silikat aktivatör ilavesi yapılırken aktivatörün silikat modülü (Ms) değiştirilmeden ve dikkate alınmadan döküm yapılmıştır.

Literatürde Ms oranının işlenebilirlik üzerindeki etkisi Na_2O oranına kıyasla daha belirgin olduğu ortaya konulmuştur. Na_2O oranındaki artış ile işlenebilirlikte meydana gelen yakın sonuçlar aktivatörün silikat modülüne bağlanabilmektedir.

4.1.2. Eğilme ve basınç dayanım deney sonuçları

4.1.2.1.Laboratuvar ortamında kür

Laboratuvar Ortamında 3,7,28 gün bekletilen %4 Na_2O , %6 Na_2O %8 Na_2O içeriğine sahip AA-YFC harçlarının basınç ve eğilme dayanımı sonuçları Tablo 4.2 ve Tablo 4.3 'de verilmiştir. AA- YFC harçlarının basınç dayanımı standart su kürü uygulanmış normal portland çimentolu harçlar (PÇ3GS, PÇ7GS, PÇ28GS) ile karşılaştırılmıştır.

PÇ3GS, PÇ7GS, PÇ28GS normal portland çimentolu numunelerin standart su kürü uygulanarak elde edilen basınç dayanımı sırasıyla 26,96 MPa, 36,41 MPa, 45,45 MPa' dır. Tablo 4.2 incelendiğinde, laboratuvar ortamında 3 gün bekletilmiş farklı Na_2O oranına sahip AA-YFC harçlarının tamamının basınç dayanımı değerleri 3 gün suda bekletilen normal portland çimentolu harçtan daha düşüktür.

AA-YFC harçlarının 7 günlük basınç dayanımları, 7 gün suda bekletilen normal portland çimentolu harçlarla kıyaslandığında %4 Na_2O (Y4NA7GL) oranına sahip numune hariç daha yüksektir. %6 Na_2O (Y6NA7GL) ve %8 Na_2O (Y8NA7GL) oranına sahip numunelerin basınç dayanımı değerleri sırasıyla 38,91 MPa ve 39,88 MPa'dır. AA-YFC harçlarının 28 günlük basınç dayanımı sonuçları her bir farklı Na_2O oranı için portland çimentolu harçtan daha düşüktür. Fakat Na_2O oranının %8'e çıkmasıyla 28 gün suda bekletilmiş normal portland çimentolu harç numunesine çok yakın basınç dayanımı değerleri elde edilmiştir.

Na_2O oranlarında ki değişime göre laboratuvar ortamında kürlenen AA-YFC harç numuneleri kıyaslanacak olursa aktivatör dozajının artışıyla basınç dayanımı da artmaktadır. %4 Na_2O (Y4NA3GL) oranına sahip harç numunesinin 3 gün sonunda basınç dayanımı 1,61 MPa gibi çok küçük bir değerken, aktivatör dozajının %6 ve %8'e çıkmasıyla birlikte 3 gün sonunda 17,68 ve 18,90 MPa basınç dayanımı elde edilmiştir.

Tablo 4.2. Laboratuvar ortamı kürü basınç dayanımı sonuçları

Numune Kodu	**Basınç Dayanımı (MPa)**	**Numune Kodu**	**Basınç Dayanımı (MPa)**
Y4NA3GL	1,61	**Y6NA28GL**	31,70
Y4NA7GL	18,86	**Y8NA3GL**	18,90
Y4NA28GL	12,14	**Y8NA7GL**	39,88
Y6NA3GL	17,68	**Y8NA28GL**	44,45
Y6NA7GL	38,91		

Normal portland çimentolu harcın 3,7,28 günlük eğilme dayanımı sırasıyla 6,30 MPa, 7,51 MPa,8,63 MPa'dır. Tablo 4.3 'de laboratuvar ortamında 3,7,28 gün bekletilen AA-YFC harçlarının eğilme dayanımı sonuçları verilmiştir.

Tablo 4.3. Laboratuvar ortamı kürü eğilme dayanımı sonuçları

Numune Kodu	**Eğilme Dayanımı (MPa)**	**Numune Kodu**	**Eğilme Dayanımı (MPa)**
Y4NA3GL	1,13	**Y6NA28GL**	4,06
Y4NA7GL	4,06	**Y8NA3GL**	3,38
Y4NA28GL	5,04	**Y8NA7GL**	6,12
Y6NA3GL	2,84	**Y8NA28GL**	6,10
Y6NA7GL	4,97		

Farklı Na_2O oranına sahip ve laboratuvar ortamında bekletilen AA-YFC harçlarının tamamında eğilme dayanımı sonuçları normal portland çimentolu harç numunelerinden daha düşüktür. Basınç dayanımı sonuçlarında olduğu gibi genel anlamda aktivatör dozajı arttıkça eğilme dayanımı da artmaktadır.

4.1.2.2.Standart su kürü

3,7,28 gün suda bekletilen AA-YFC harç numunelerinin basınç ve eğilme dayanımı sonuçları Tablo 4.4 ve Tablo 4.5 'de sunulmuştur. 3 gün suda bekletilen ve farklı Na_2O oranına sahip AA-YFC harçlarının basınç ve eğilme dayanımı sonuçlarının tümü normal portland çimentolu harçtan daha düşüktür. Bununla birlikte %8 Na_2O oranına sahip harcın 7 ve 28 gün sonunda ki basınç dayanımı normal portland çimentolu harçtan daha yüksektir.

Tablo 4.4. Su kürü basınç dayanımı sonuçları

Numune Kodu	**Basınç Dayanımı (MPa)**	**Numune Kodu**	**Basınç Dayanımı (MPa)**
PÇ3GS	26,96	**Y6NA3GS**	16,06
PÇ7GS	36,41	**Y6NA7GS**	29,90
PÇ28GS	45,45	**Y6NA28GS**	34,31
Y4NA3GS	0,73	**Y8NA3GS**	21,49
Y4NA7GS	1,79	**Y8NA7GS**	37,02
Y4NA28GS	2,74	**Y8NA28GS**	48,09

28 gün sonunda %8 Na_2O oranına sahip harcın basınç dayanımı 48,09 MPa iken normal portland çimentolu harcın basınç dayanımı 45,45 MPa dır.

AA-YFC harçlarının suda bekletilmesi sonucunda eğilme dayanımı laboratuvar koşullarında bekletilen harçlarda olduğu gibi normal portland çimentolu harçlardan daha düşüktür. Genel olarak Na_2O oranı arttıkça harçların eğilme dayanımları da artmaktadır. En yüksek eğilme dayanımı %8 Na_2O oranına sahip harçlarda elde edilmiştir.

Özellikle %4 Na_2O oranına sahip harcın suda bekletilmesi sonucunda çok düşük basınç ve eğilme dayanımı sonuçları elde edilmiştir. Şekil 4.1'de görüldüğü gibi %4 Na_2O oranına sahip 7 gün suda bekletilmiş numunelerde parçalanmalar meydana gelmiştir. Hatta numuneden eğilme dayanımı sonucu alınamamış, pres yüklemeyi yaptığı 0,1 KN gibi çok küçük değerlerde numune kırılmıştır.

Bu durum sodyum oranının düşük olması ve su kürünün sıcak ortamda yapılmamasıyla beraber aktivatör ile YFC arasındaki kimyasal reaksiyonun tamamlanmamasından kaynaklanmaktadır. Bu veriler ışığında %8 Na_2O oranı gibi yüksek Na_2O oranına sahip harçlarda su kürü ile olumlu dayanım gelişimi alınabileceği, düşük Na_2O oranında ise su kürünün olumsuz sonuçlar verdiği kanısına varılmıştır. 28 gün laboratuvar ortamında bekletilen %4 Na_2O oranına sahip harcın basınç dayanımı 31,70 MPa iken 28 gün suda bekletilen harcın basınç dayanımı 2,74 MPa dır. Elde edilen bu veriler yukarıda yapılan değerlendirmeyi kanıtlamaktadır.



Şekil 4.1. %4 Na_2O oranına sahip 7 gün suda bekletilmiş numune

Tablo 4.5. Su kürü eğilme dayanımı sonuçları

Numune Kodu	**Eğilme Dayanımı (MPa)**	**Numune Kodu**	**Eğilme Dayanımı (MPa)**
PÇ3GS	6,30	**Y6NA3GS**	2,41
PÇ7GS	7,51	**Y6NA7GS**	4,45
PÇ28GS	8,63	**Y6NA28GS**	5,61
Y4NA3GS	-	**Y8NA3GS**	2,67
Y4NA7GS	-	**Y8NA7GS**	4,61
Y4NA28GS	0,95	**Y8NA28GS**	5,60

4.1.2.3.60,75 ve 90 ºC sıcaklıkta etüvde kür

AA-YFC harçlarının 60,75 ve 90 ºC sıcaklıkta 1 gün etüvde bekletildikten sonra ölçülen basınç-eğilme dayanımı sonuçları Tablo 4.6, Tablo 4.7 ve Tablo 4.8 'de verilmiştir.

Tablo 4.6. 60 ºC sıcaklıkta etüv kürü basınç ve eğilme dayanımı sonuçları

Numune Kodu	**Y4NA1G60**	**Y6NA1G60**	**Y8NA1G60**
Basınç Dayanımı (MPa)	35,70	55,45	56,33
Eğilme Dayanımı (MPa)	4,66	6,22	6,23

60 ºC sıcaklıkta 1 gün bekletilen numunelerin (Y4NA1G60, Y6NA1G60, Y8NA1G60) basınç dayanımı incelendiğinde Na_2O oranının artışıyla basınç dayanımı artmıştır. Bu artış %4 ile %6 Na_2O oranına sahip harçlar arasında yaklaşık %55 iken %6 ile %8 Na_2O oranına sahip numuneler arasında yaklaşık %1,59 seviyelerindedir. Diğer taraftan Na_2O oranının artışıyla eğilme dayanımı da artmıştır. Fakat bu artış %6 ve %8 Na_2O oranına sahip harçlarda dikkate değer değildir.

Tablo 4.7. 75 ^{o}C sıcaklıkta etüv kürü basınç ve eğilme dayanımı sonuçları

Numune kodu	**Y4NA1G75**	**Y6NA1G75**	**Y8NA1G75**
Basınç Dayanımı (MPa)	32,99	51,30	54,74
Eğilme Dayanımı (MPa)	3,41	5,19	5,20

75 ^{o}C sıcaklıkta 1 gün bekletilen numunelerin (Y4NA1G75, Y6NA1G75, Y8NA1G75) basınç dayanımı incelendiğinde Na_2O oranının artışıyla basınç dayanımı artış göstermiştir. 60 ^{o}C sıcaklıkta bekletilen numuneler gibi %4 Na_2O oranına sahip harçlar ile %6 Na_2O oranına sahip harçlar arasında bu artış yaklaşık %55 iken %6 Na_2O oranına sahip harç ile %8 Na_2O oranına sahip harçta yaklaşık %6,7 dir. Bununla birlikte Na_2O oranının artışıyla eğilme dayanımı da artmıştır. Fakat bu artış %6 ve %8 Na_2O oranına sahip harçlarda dikkate değer değildir.

Tablo 4.8. 90 ^{o}C sıcaklıkta etüv kürü basınç ve eğilme dayanımı sonuçları

Numune Kodu	**Y4NA1G90**	**Y6NA1G90**	**Y8NA1G90**
Basınç Dayanımı (MPa)	45,34	58,76	59,49
Eğilme Dayanımı (MPa)	4,25	5,57	5,63

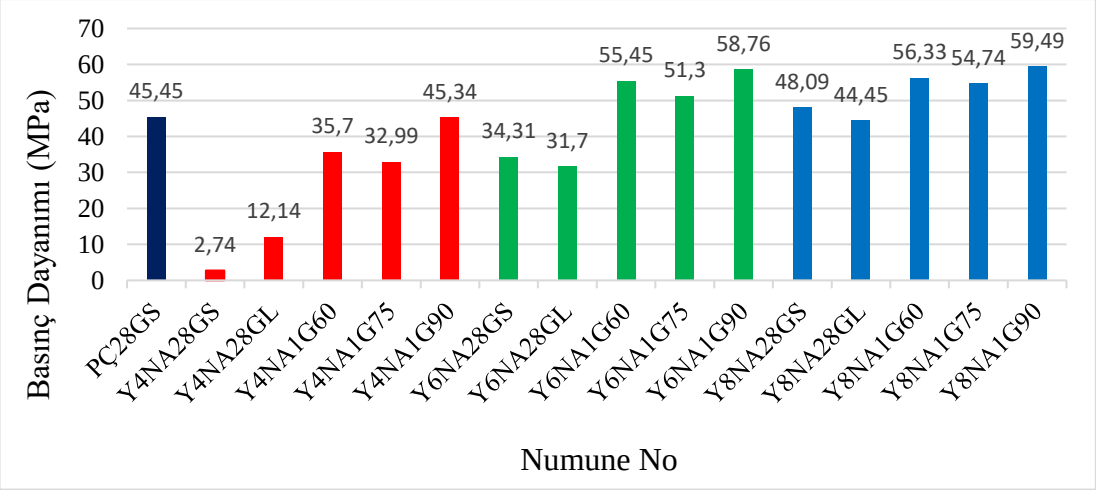
90 ^{o}C sıcaklıkta 1 gün bekletilen numunelerin (Y4NA1G90, Y6NA1G90, Y8NA1G90) basınç dayanımları incelendiğinde Na_2O oranının artışıyla basınç dayanımı da artmıştır. %4 ile %6 Na_2O oranına sahip harçlar arasında bu artış %30 iken %6 ile % 8 Na_2O oranına sahip harçlar arasında yaklaşık %1,24 dir. 60 ve 75 ^{o}C sıcaklıkta bekletilen numuneler ile karşılaştırıldığında %4 ile %6 Na_2O oranına sahip harçlar arasındaki artış %55 ‘den %30 ‘a düşmüştür. Buradan düşük Na_2O oranına sahip numunelerin yüksek sıcaklık ile basınç dayanımı gelişiminin sağlanabileceği kanısına varılmıştır.

Diğer sıcaklıklarda olduğu gibi 90 ^{o}C sıcaklıkta bekletilen numunelerin de Na_2O oranının artışıyla eğilme dayanımı artmasıyla birlikte bu artış %6 ile %8 Na_2O oranına sahip harçlarda dikkate değer değildir.

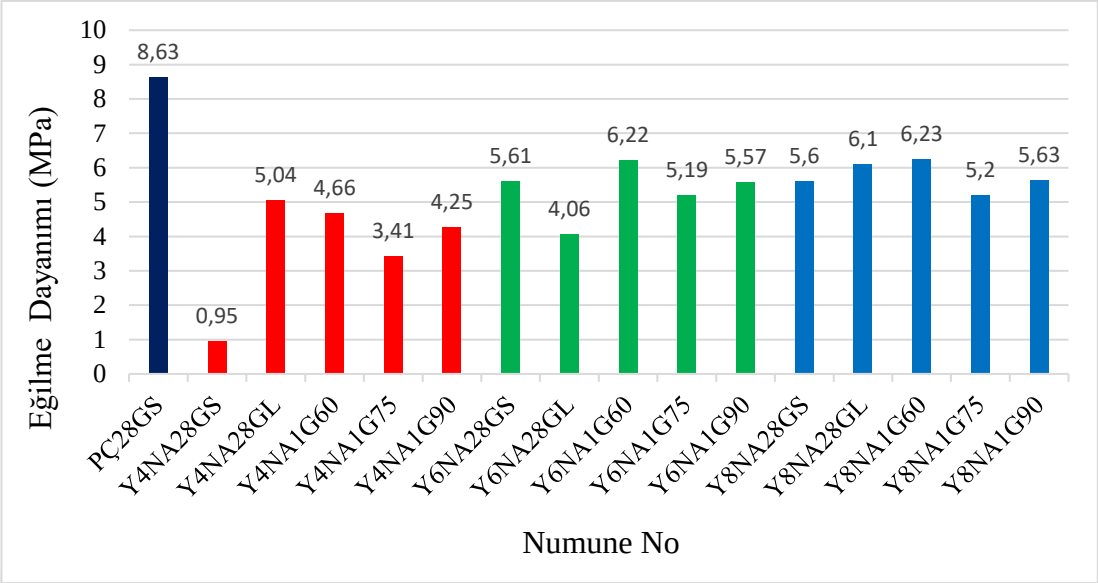
Ayrıca %4 Na_2O oranına sahip harçlar dışında, AA-YFC harçlarının 1 gün etüvde bekletilmesi sonucunda portland çimentosunun 28 günde kazandığı basınç dayanımından daha fazla basınç dayanımı elde edilmiştir. Buradan etüvde ısıl kür uygulamasının AA-YFC harçların basınç dayanımına oldukça katkı sağladığı açıkça belirlenmiştir.

4.1.2.4. Optimum kür koşulu ve karışımın belirlenmesi

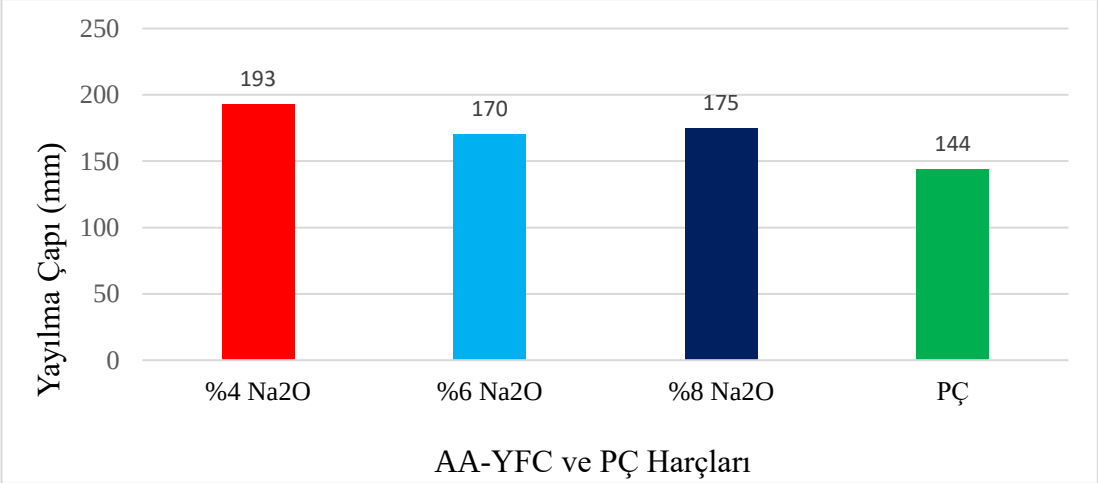
Optimum karışımın belirlenebilmesi amacıyla yukarıda detaylıca anlatılan %4,%6 ve %8 Na_2O oranına sahip laboratuvar ortamında, su ve etüvde farklı sıcaklıklarda kür edilen AA-YFC harçlarının ve portland çimentolu numunenin toplu olarak basınç-eğilme ve kıvam tayini sonuçları Şekil 4.2, Şekil 4.3 ve Şekil 4.4 'de sunulmuştur. Laboratuvar ortamında ve suda kürlenen numuneler için 28 günlük dayanım sonuçları dikkate alınmıştır.



Şekil 4.2. Farklı kür koşulu uygulanan ve farklı Na_2O içeriğine sahip AA-YFC harçlarının basınç dayanımı



Şekil 4.3. Farklı kür koşulu uygulanan ve farklı Na_2O içeriğine sahip AA-YFC harçlarının eğilme dayanımı



Şekil 4.4 Farklı kür koşulu uygulanan ve farklı Na_2O içeriğine sahip AA-YFC ve PÇ harçlarının yayılma çapları

Şekil 4.2, Şekil 4.3 ve Şekil 4.4 birlikte yorumlandığı taktirde aşağıda ki sonuçlara ulaşılmıştır.

- AA-YFC harçlarında laboratuvar ortamı kürü ve su kürüne kıyasla etüvde ısıl kür uygulanan numunelerden daha yüksek ve erken basınç dayanımı sonuçları elde edilmiştir.

- Etüvde ısıl kür uygulanan AA-YFC harçları kendi içlerinde kıyaslandığında genel olarak sıcaklığın artışıyla basınç dayanımının arttığı fakat bu artışın dikkate değer olmadığı kanısına varılmıştır. Şekil 4.1 'de görüldüğü gibi aynı Na_2O oranına sahip 60 ^oC de 1 gün bekletilen Y8NA1G60 numunesinin basınç dayanımı 56,33 MPa iken 90 ^oC de 1 gün bekletilen Y8NA1G90 numunesinin basınç dayanımı 59,49 MPa'dır.
- Etüvde ısıl kür uygulanan farklı Na_2O oranına sahip harç numuneleri kıyaslandığında, %6 ve %8 Na_2O oranına sahip 60,75 ve 90 ^oC de bekletilen harç numunelerinin basınç dayanımı sonuçları çok yakın değerlerde elde edilmiş belirlenen farkların ise kayda değer olmadığı kanısına varılmıştır.
- Şekil 4.2 'de görüldüğü gibi uygulanan 5 Farklı kür koşulu ve farklı Na_2O oranı için AA-YFC harçlarının eğilme dayanımı PÇ 'li harçlardan daha düşüktür. PÇ'li harca en yakın eğilme dayanımı 60 ^oC sıcaklıkta 1 gün etüvde bekletilen %6 Na_2O oranına sahip (Y6NA1G60) harç numunesinde elde edilmiştir.
- Şekil 4.3 'de sunulan yayılma çaplarına göre PÇ'li harç numunesine en yakın yayılma çapı %6 Na_2O oranına sahip harç numunesinde elde edilmiştir.

Tüm bu sebepler ışığında kür olarak etüvde ısıl kür uygulaması seçilmiş, enerji giderlerinin az olması için sıcaklığın 60 ^oC olmasına karar verilmiştir. Na_2O oranı için %8 yerine %6 Na_2O kullanılarak aktivatör olarak ilave edilen sodyum meta silikat maliyetinin azaltılabileceği kanısına varılmıştır. Ayrıca PÇ li numuneye en yakın yayılma çapı %6 Na_2O oranına sahip harçlarda elde edilmiştir.

Tez çalışmasının 2.aşama deneylerinde optimum karışım ve kür koşulu için %6 Na_2O oranına sahip 60 ^oC de 1 gün bekletilen harç numunesi (Y6NA1G60) seçilmiştir.

4.2. İkinci Aşama Deney Sonuçları

Bu bölümde belirlenen optimum karışıma 6mm uzunluğunda hacimce %0,1 ve %0,2 olmak üzere iki farklı oranda cam, bazalt, naylon lif ilavesi yapılmıştır. Harç numunelerinin taze halde kıvam, sertleşmiş halde basınç-eğilme, su emme, kılcallık, kuruma büzülmesi ve yüksek sıcaklığa dayanıklılık özellikleri belirlenmiştir.

Çalışmanın geri kalan kısmında değerlendirmenin daha kolay yapılabilmesi için belirlenen lifsiz optimum Y6NA1G60 numunesinin kodu Kopt olarak kullanılmıştır.

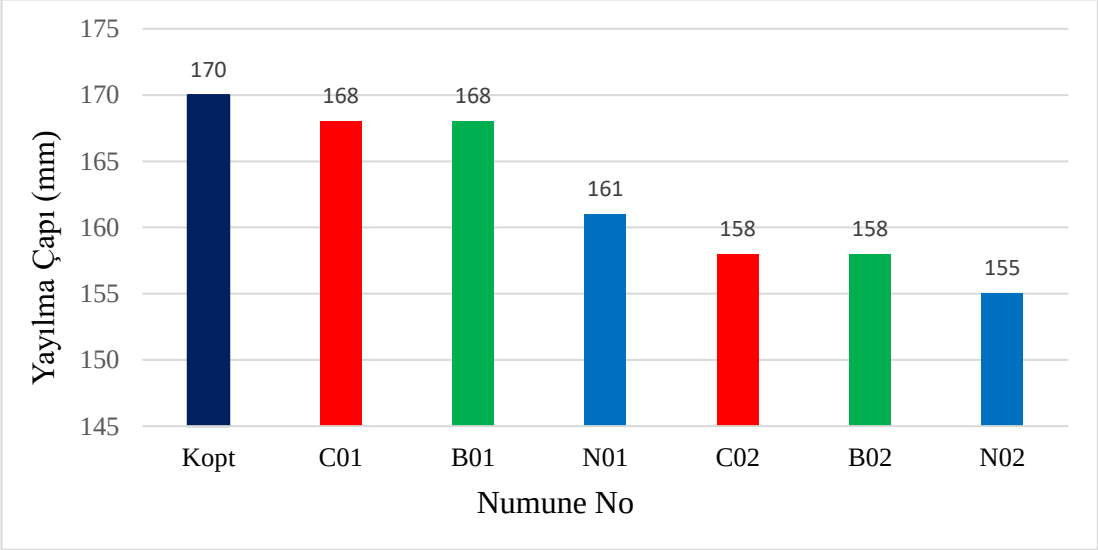
4.2.1. Kıvam tayini sonuçları

Optimum AA-YFC harcı (Kopt) ve lif ilaveli AA-YFC harçlarının (C01, C02, B01, B02, N01, N02) kıvam tayini sonuçları Tablo 4.9 ve Şekil 4.5'de verilmiştir.

Tablo 4.9. Lif katkılı harçların kıvam tayini sonuçları

Numune No	Yayılma Çapı (mm)	Numune No	Yayılma Çapı (mm)
Kopt	170	C02	158
C01	168	B02	158
B01	168	N02	155
N01	161		

Hacimce %0,1 cam ve bazalt lif ilavesinin AA-YFC harcının işlenebilirliğini düşürdüğünü fakat bu düşüşün dikkate değer olmadığı görülmüştür.Optimum AA-YFC harcının (Kopt) yayılma çapı 170 mm iken hacimce %0,1 cam ve bazalt lif içeren harçların (C01 ve B01) yayılma çapları 168 mm'dir. Bununla birlikte hacimce %0,1 naylon lif ilavesi işlenebilirliği olumsuz etkilemiştir. N01 harç numunesinin yayılma çapı 161 mm'dir.



Şekil 4.5. Lif katkılı harçların kıvam tayini sonuçları

Lif ilavesinin hacimce %0,1 'den %0,2 'ye çıkmasıyla bütün lif çeşitlerinde yayılma çapı azalmıştır (Şekil 4.5). Hacimce %0,2 cam ve bazalt lif içeren harçların (C02 ve B02) , hacimce %0,1 cam ve bazalt lif içeren harçlara (C01 ve B01) göre yayılma çapı

10 mm azalmıştır. Naylon lifte bu azalma 6 mm'dir. Özellikle hacimce %0,1 ilave edilen cam ve bazalt lifin işlenebilirliği olumsuz etkilemediği açıkça görülmüştür.

4.2.2. Birim ağırlık ve su emme sonuçları

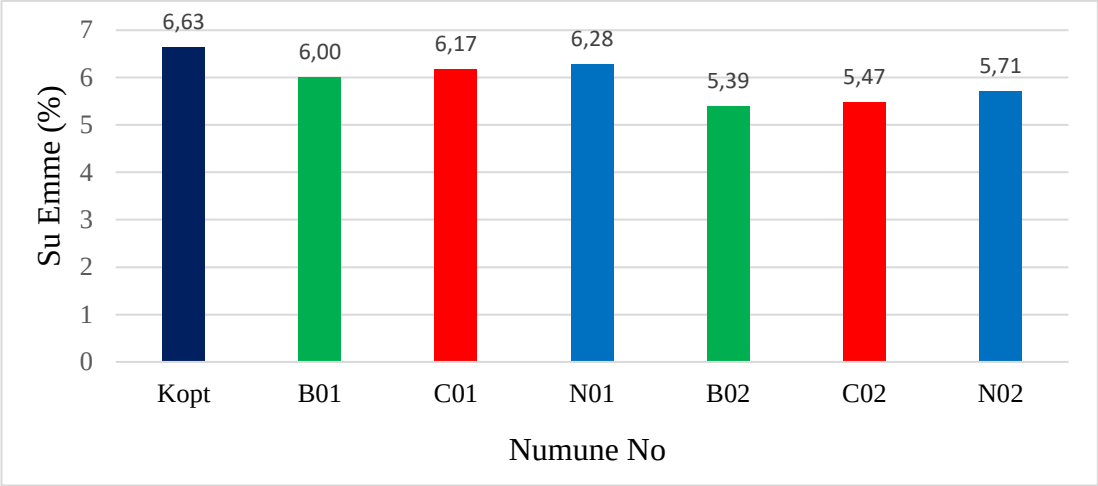
Lifli ve lifsiz optimum AA-YFC harçlarının sertleşmiş birim hacim ağırlıkları Tablo 4.10 'da sunulmuştur. Lifsiz optimum AA-YFC harcının (Kopt) birim ağırlık değeri 2,09 g/cm^3 olarak elde edilmiştir.

Tablo 4.10. AA-YFC harçlarının sertleşmiş birim hacim ağırlıkları

Numune No	**Birim Hacim Ağırlık (g/cm^3)**	**Numune No**	**Birim Hacim Ağırlık (g/cm^3)**
Kopt	2,09	B02	2,10
B01	2,10	C02	2,08
C01	2,08	N02	2,09
N01	2,07		

%0,1 ve %0,2 lif ilavesiyle AA-YFC harçlarının birim ağırlıklarında kayda değer değişiklikler meydana gelmemiştir. Hacimsel olarak %0,1 bazalt, cam ve naylon lif içeren AA-YFC harçlarının (B01, C01, N01) sertleşmiş birim hacim ağırlık değerleri sırasıyla 2,10 g/cm^3, 2,08 g/cm^3 ve 2,07 g/cm^3 dir. Lif oranın artışıyla sertleşmiş birim hacim ağırlık değerlerinde genel olarak değişiklik olmamıştır. Hacimsel olarak %0,2 Bazalt, Cam, Naylon lif içeren AA-YFC harçlarının (B02, C02, N02) sertleşmiş birim hacim ağırlık değerleri sırasıyla 2,10 g/cm^3, 2,08 g/cm^3 ve 2,09 g/cm^3 dir.

Lifli ve optimum lifsiz AA-YFC harçlarının su emme değerleri Şekil 4.6 'de verilmiştir . Birim hacim ağırlık değerlerinin aksine lif ilavesi ve lif oranında ki artışla AA-YFC harlarının su emme değerleri olumlu etkilenmiştir.



Şekil 4.6. AA-YFC harçlarının su emme değerleri

Lifsiz optimum AA-YFC harç numunesinin (Kopt) su emme değeri %6,63 iken, hacimsel olarak %0,1 bazalt, cam, naylon lif ilavesi ile bu değer sırasıyla %6,00, %6,17, %6,28 değerlerine düşmüştür.

Bununla birlikte lif oranın %0,1 ‘den %0,2’ye çıkmasıyla su emme değerleri bazalt, cam, naylon lif ilaveli AA-YFC harç numuneleri için sırasıyla %5,39, %5,47, %5,71 değerlerine düşmüştür. Özellikle bazalt lif ilavesinin su emme değerlerini düşürmede diğer liflere oranla daha başarılı olduğu açıkça görülmüştür.

4.2.3. Kılcallık (absorbe edilen su miktarı) sonuçları

Lifli ve Optimum Lifsiz AA-YFC harçlarının absorbe edilen su miktarları (mm) Tablo 4.11 ‘de gösterilmiştir. 1 dk sonunda absorbe edilen su miktarı en düşük olan numune 0,46 mm değeriyle %0,2 Cam lifine sahip (C02) harç numunesinde elde edilmiştir. Lifsiz optimum AA-YFC hacının 1 dk sonunda ki absorbe edilen su miktarı ise 1,20 mm dir.

AA-YFC harçlarının en düşük absorbe edilen su miktarı 60. dk ‘ya kadar C02 harcında elde edilirken 60 dk dan sonra %0,2 bazalt lif içeren (B02) AA-YFC harcından elde edilmiştir. 120 dk sonunda B02 harcının absorbe edilen su miktarı 2,99 mm dir. 1440 dk sonunda en düşük absorbe edilen su miktarı B02 harcında elde edilmiştir.

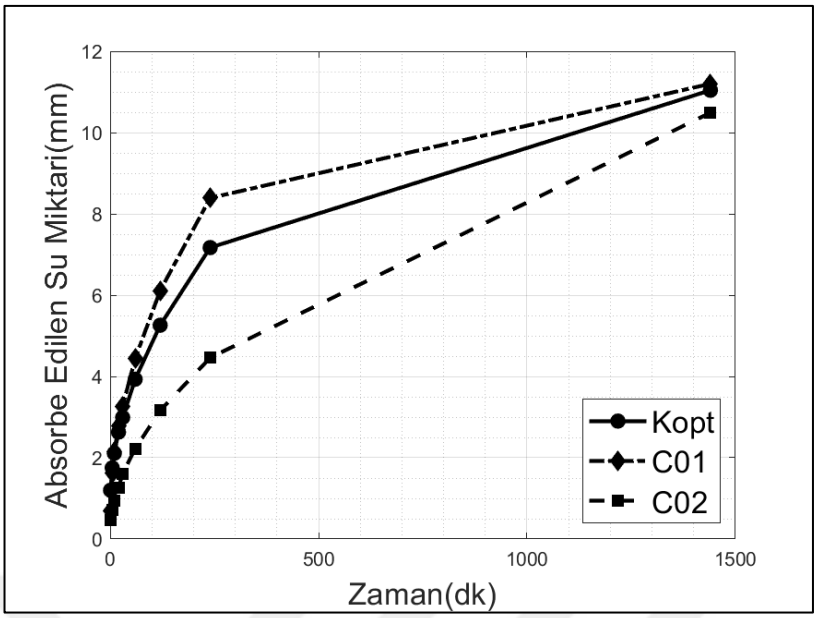
Tablo 4.11. AA-YFC harçlarının absorbe elde su miktarları (mm)

Numune Adı	**Absorbe Edilen Su Miktarı (mm)**								
	1 dk	**5 dk**	**10 dk**	**20 dk**	**30 dk**	**60 dk**	**120 dk**	**240 dk**	**1440dk**
Kopt	1,20	1,75	2,11	2,63	2,99	3,93	5,26	7,17	11,04
C01	0,70	1,62	2,14	2,78	3,27	4,44	6,11	8,39	11,20
B01	0,95	1,75	2,20	2,77	3,20	4,34	5,94	8,16	11,23
N01	1,09	1,75	2,15	2,67	3,06	4,10	5,56	7,68	11,39
C02	0,46	0,71	0,94	1,27	1,61	2,22	3,16	4,46	10,49
B02	0,55	0,79	1,06	1,35	1,67	2,22	2,99	4,70	10,41
N02	0,47	0,82	1,11	1,42	1,72	2,40	3,49	5,02	10,89

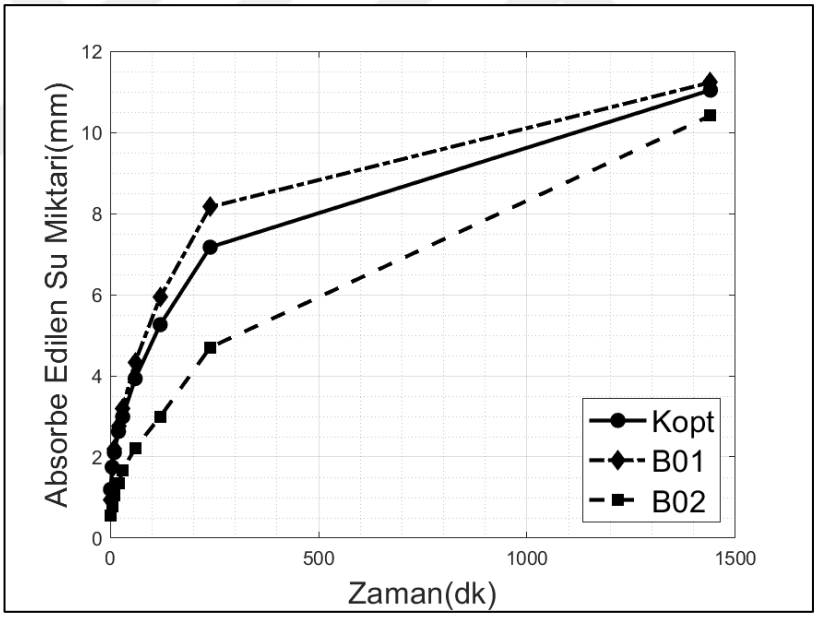
Fakat C02 harcı ile kayda değer bir fark yoktur. B02 harcının 1440 dk sonunda absorbe edilen su miktarı 10,41 mm, C02 harcının ise 10,49 mm dir.

Lifsiz optimum AA-YFC harcı (Kopt) ile kıyaslandığında hacimsel olarak %0,2 lif ilavesiyle 1440 dk sonunda daha düşük absorbe edilen su miktarları elde edilmiştir. %0,1 lif ilavesiyle absorbe edilen su miktarında olumsuz anlamda değişiklikler olsada bu değişiklikler kayda değer seviyede değildir.

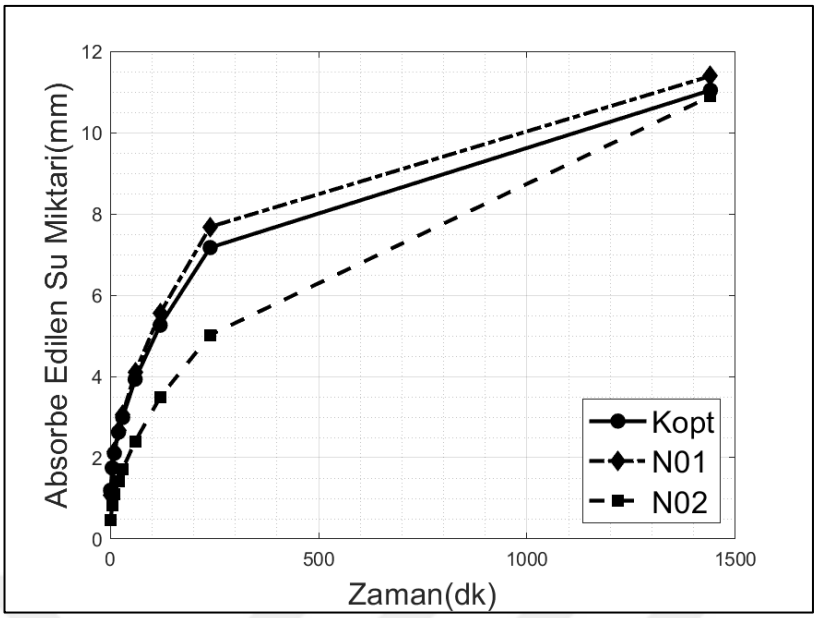
AA-YFC harçlarının absorbe edilen su miktarlarının lif oranına göre değişimi Şekil 4.7, Şekil 4.8 ve Şekil 4.9 de verilmiştir. Hacimsel olarak cam, bazalt, naylon lif oranın %0,1 den %0,2 ye çıkmasıyla AA-YFC harçlarının absorbe edilen su miktarlarında ciddi düşüşler meydana gelmiştir. Bu düşüşler özellikle cam ve bazalt lifde önemli bir seviyededir.



Şekil 4.7. Cam lif ilaveli ve lifsiz optimum AA-YFC harçlarının absorbe edilen su miktarı

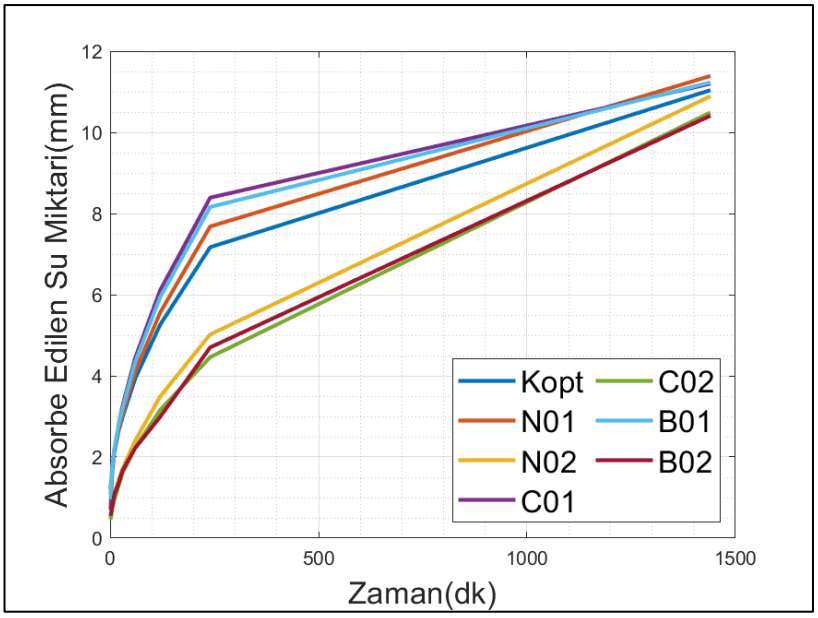


Şekil 4.8. Bazalt lif ilaveli ve lifsiz optimum AA-YFC harçlarının absorbe edilen su miktarı



Şekil 4.9. Naylon lif ilaveli ve lifsiz optimum AA-YFC harçlarının absorbe edilen su miktarı

Yukarıda Tablo 4.11 'de açıklandığı ve Şekil 4.10 'dan daha net görüleceği gibi %0,2 lif içeren harçlarının absorbe edilen su miktarları lifsiz optimum (Kopt) harcından daha düşüktür. 1440 dk sonunda absorbe edilen su miktarında ki olumlu değişikliği sırasıyla B02, C02 ve N02 harçları göstermiştir.



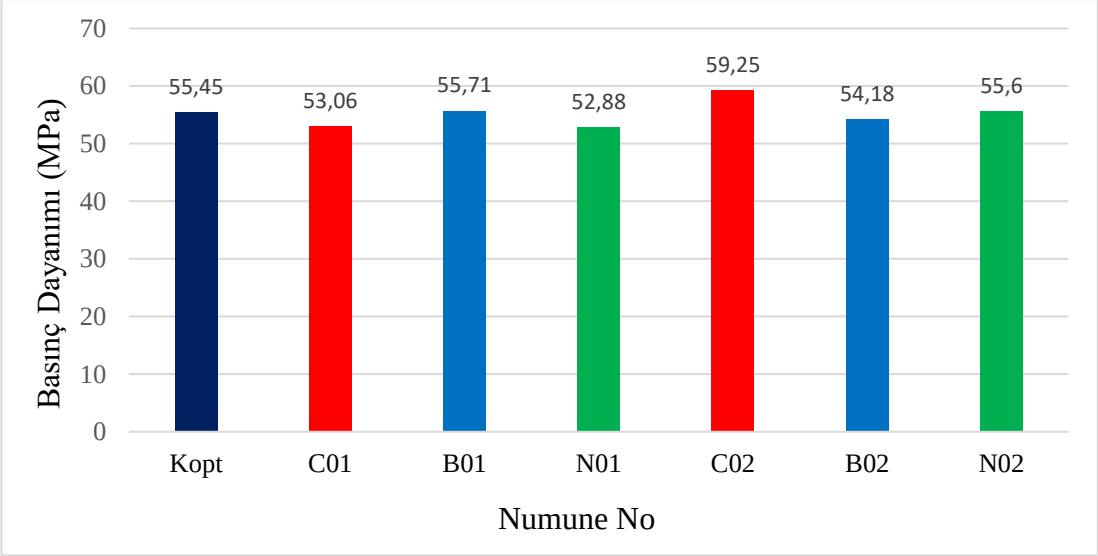
Şekil 4.10. Lif ilaveli ve lifsiz optimum AA-YFC harçlarının absorbe edilen su miktarı

4.2.4. Basınç-eğilme dayanımı sonuçları

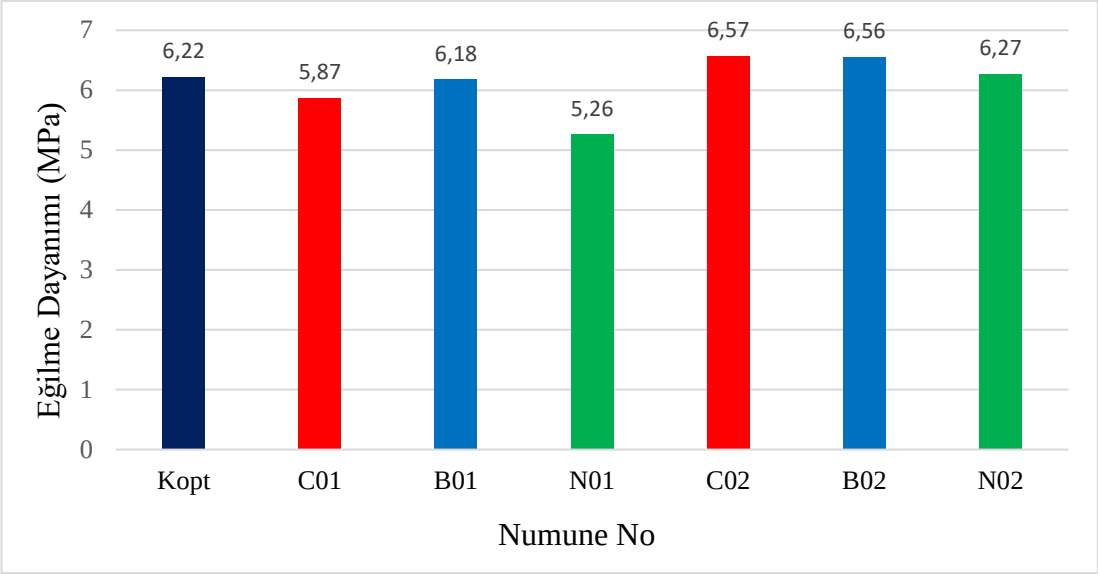
Lif ilavesi yapılan AA-YFC harçlarının basınç-eğilme dayanımı sonuçları Tablo 4.12, Şekil 4.11 ve Şekil 4.12 ‘da sunulmuştur.

Tablo 4.12. Lif katkılı harçların basınç-eğilme dayanımı sonuçları

Numune No	**Eğilme Dayanımı (MPa)**	**Basınç Dayanımı (MPa)**
Kopt	6,22	55,45
C01	5,87	53,06
B01	6,18	55,71
N01	5,26	52,88
C02	6,57	59,25
B02	6,56	54,18
N02	6,27	55,60



Şekil 4.11. Lif katkılı harçların basınç dayanımı sonuçları



Şekil 4.12. Lif katkılı harçların eğilme dayanımı sonuçları

Hacimce %0,1 cam, bazalt, naylon lif ilaveli AA-YFC harçlarının (C01, B01, N01) basınç dayanımları sırasıyla 53,06 MPa, 55,71 MPa, 52,88 MPa'dır. Optimum AA-YFC harcı ile karşılaştırıldığında çok küçük dayanım farklılıklarının oluştuğu fakat bu farklılığın kayda değer olmadığı kanısına varılmıştır.

Lif oranındaki artış ile optimum numuneden anlamlı farklılıklar ölçülmüştür. Hacimce %0,2 cam lif ilave edilen (C02) harcın 59,25 MPa'dır. Optimum AA-YFC numunesine göre yaklaşık %6,9 daha fazla basınç dayanımı elde edilmiştir.

Hacimce %0,2 ilave edilen bazalt ve naylon liflerde , hacimce %0,1 ilave edilen lifler de olduğu gibi anlamlı basınç dayanımı farklılığı ölçülmemiştir.

Eğilme dayanımı sonuçları Tablo 4.12 ve Şekil 4.12 'da incelendiğinde, hacimce %0,1 lif ilave edilen harçlarda optimum karışıma göre eğilme dayanımı gelişimi gözlemlenmemiştir. Hacimce %0,1 cam, bazalt ve naylon lif ilave edilen harçların eğilme dayanımı sırasıyla 5,87 MPa, 6,18 MPa ve 5,26 MPa'dır.

Bununla birlikte hacimce %0,2 oranda ilave edilen bütün lif çeşitlerinde eğilme dayanımında artış gözlemlenmiştir. Hacimce %0,2 oranda ilave edilen cam,bazalt ve naylon liflerin eğilme dayanımları sırasıyla 6,57 MPa, 6,56 MPa ve 6,27 MPa'dır.

Bu sonuçlar ışığında hacimce %0,2 ilave edilen cam lifin AA-YFC harçlarının basınç ve eğilme kapasitesini arttırdığı açıkça belirlenmiştir.

Hacimce %0,2 bazalt ve naylon lifin eğilme kapasitesini kısmen arttırdığına fakat basınç dayanımı üzerinde herhangi bir olumlu yada olumsuz bir etki meydana getirmediği kanısına varılmıştır.

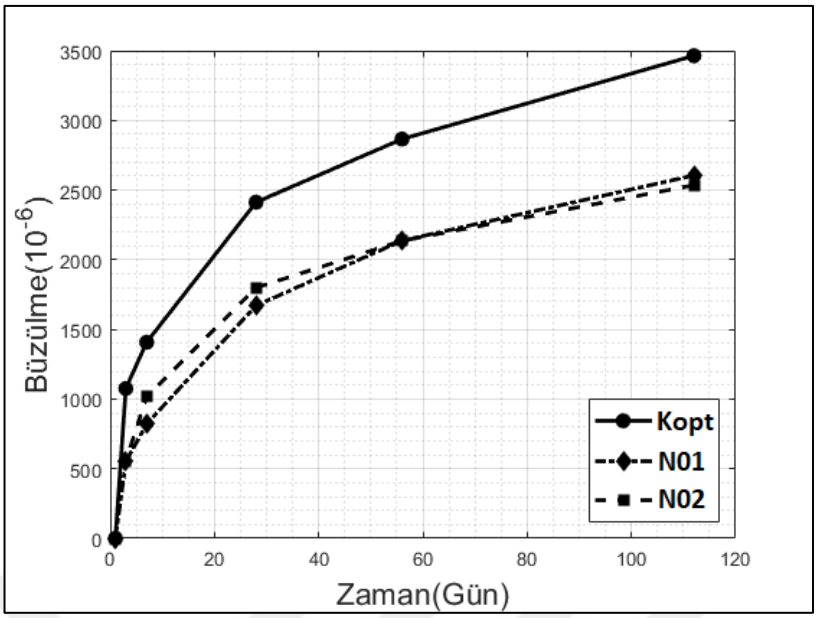
4.2.5. Kuruma büzülmesi sonuçları

Hacimce %0,1 ve %0,2 Cam, Naylon, Bazalt lif içeren AA-YFC harçlarının kuruma büzülmesi değerleri lifsiz optimum AA-YFC (Kopt) harcı ile karşılaştırılmıştır. İlk olarak her bir lif türü kendi içerisinde Şekil 4.13, Şekil 4.14 ve Şekil 4.15 'da karşılaştırıldıktan sonra toplu sonuçlar Şekil 4.16'de verilmiştir. Tablo 4.13 'da ise lifsiz optimum AA-YFC harcı ve tüm lif çeşitlerinin kuruma büzülmesi değerleri sunulmuştur.

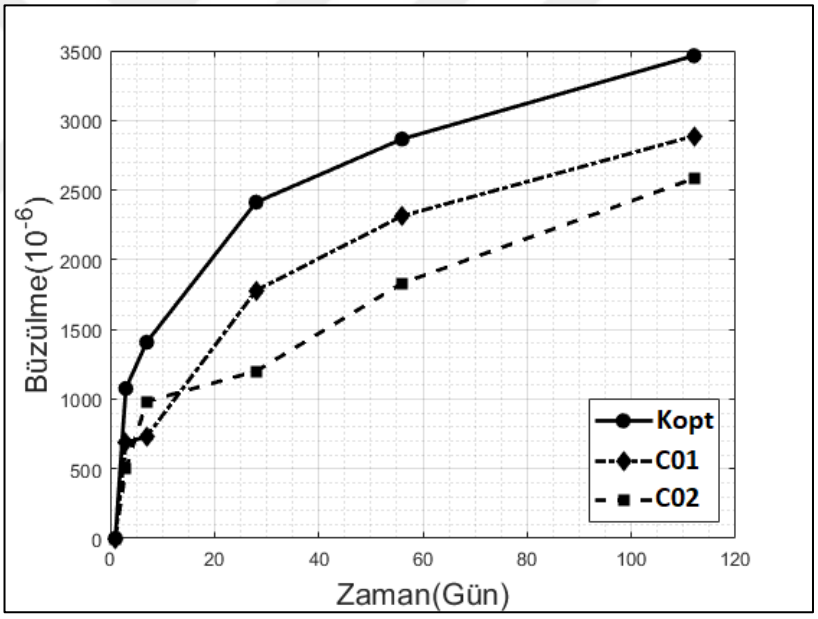
Hacimsel olarak her iki oranda naylon lif ilavesi AA-YFC harçlarının kuruma büzülmesini azaltmıştır. 3 günlük ölçümler dikkate alındığında lifsiz optimum AA-YFC harcın (Kopt) kuruma büzülmesi değeri 1076 x 10^{-6} iken %0,1 ve %0,2 naylon lif ilavesi (N01, N02) ile bu değer sırasıyla 550 x 10^{-6} ve 555 x 10^{-6} değerlerine düşmüştür.

Şekil 4.13 'de görüldüğü gibi bu düşüş günden güne artış göstermiştir. 112 günlük ölçümler dikkate alındığında Kopt harcının kuruma büzülmesi 3464 x 10^{-6} iken N01 ve N02 harçlarının kuruma büzülmesi sırasıyla 2605 x 10^{-6} ve 2535 x 10^{-6} dır.

Hacimsel olarak lif artışının kuruma büzülmesine 56 günden sonra olumlu etkisi olsa da, bu etkinin dikkate değer olmadığı 112 günlük kuruma büzülmesi değerlerinden açıkça görülmüştür.



Şekil 4.13. Naylon lif kuruma büzülmesi sonuçları



Şekil 4.14. Cam lif kuruma büzülmesi sonuçları

Hacimsel olarak farklı iki oranda cam lif ilavesi, AA-YFC harçlarının kuruma büzülmesini azaltmıştır. 3 günlük ölçümler dikkate alındığında Kopt harcının kuruma büzülmesi 1076 x 10^{-6} iken %0,1 ve %0,2 cam lif ilavesi (C01, C02) ile bu değer sırasıyla 688 x 10^{-6} ve 501 x 10^{-6} değerlerine düşmüştür.

112 günlük sonuçlar incelendiğinde Kopt harcının kuruma büzülmesi 3464 x 10^{-6}, C01 ve C02 harçlarının ise sırasıyla 2888 x 10^{-6} ve 2583 x 10^{-6} dır.

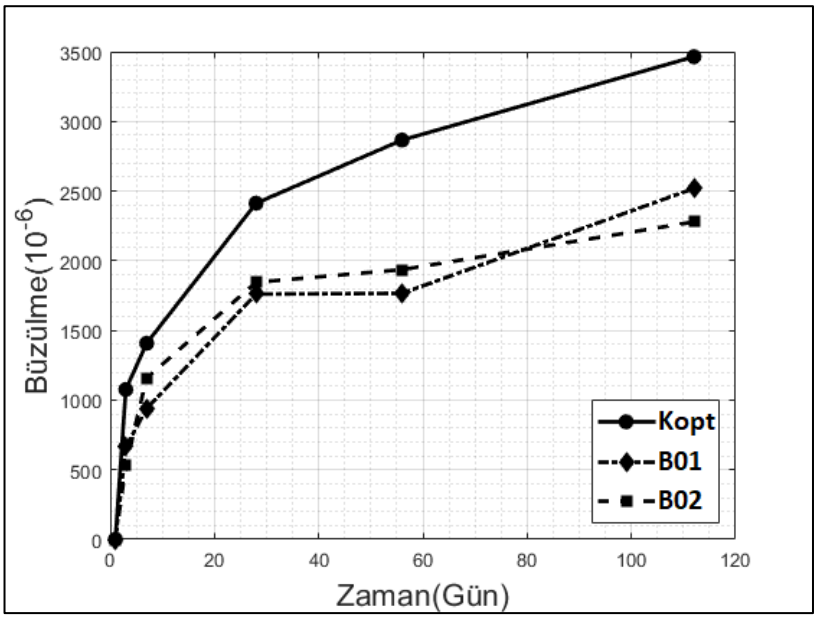
Lif oranındaki artış ile ilginç kuruma büzülmesi sonuçları elde edilmiştir. 7.gün hariç ölçüm alınan bütün günlerde hacimsel olarak %0,2 cam lif içeren harç %0,1 cam lif içeren harçtan daha düşük büzülme yapmıştır. 7.günde C01 harcının kuruma büzülmesi değeri 731 x 10^{-6} iken C02 harcının 983 x 10^{-6} dır.

Şekil 4.14 ve Tablo 4.13 'da görüldüğü gibi 28.günde C02 harcının yaptığı büzülme C01 harcına göre çok düşüktür. Değerlerdeki bu düzensizlik ortam koşullarındaki sıcaklık ve nem değişikliğine bağlanmaktadır.

3,28,56 ve 112 günlük cam lif kuruma büzülmesi sonuçlarına göre genel olarak lif oranındaki artış ile AA-YFC harcının kuruma büzülmesi azalmış ve bu azalma kayda değer bir seviyededir.

Cam ve naylon lif de olduğu gibi hacimsel olarak farklı iki oranda ilave edilen bazalt lif AA-YFC harcının kuruma büzülmesini azaltmıştır.

3 günlük ölçümler dikkate alındığında Kopt harcının kuruma büzülmesi 1076 x 10^{-6} iken %0,1 ve %0,2 bazalt lif ilavesi (B01, B02) ile bu değer sırasıyla 663 x 10^{-6} ve 530 x 10^{-6} değerlerine düşmüştür.



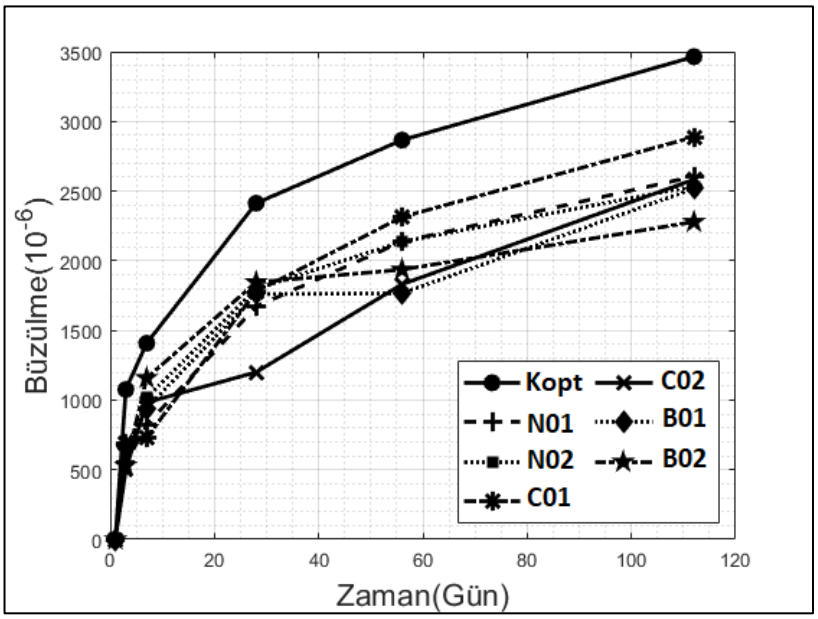
Şekil 4.15. Bazalt lif kuruma büzülmesi sonuçları

112 gün sonunda hacimsel olarak %0,2 bazalt lif ilave edilen (B02) harcın kuruma büzülmesi 2278,9 x 10^{-6} dır. Şekil 4.15 'de görüldüğü gibi ciddi bir kuruma büzülme azalması meydana gelmiştir.

Cam lif de olduğu gibi bazalt lif içinde lif oranında ki artış ile ilginç sonuçlar elde edilmiştir. Tablo 4.13 'da görüldüğü gibi 3 ve 112 günlük ölçümler hariç hacimsel olarak %0,1 bazalt lif içeren B01 harcın kuruma büzülmesi %0,2 bazalt lif içeren B02 harcına göre daha düşük kuruma büzülmesi yapmıştır. 3 ve 112. günde ise beklenildiği gibi B02 harcı B01 'den daha düşük kuruma büzülmesi yapmıştır. Bu durum cam lif de olduğu çevre koşullarındaki değişimle açıklanmaktadır.

112 gün sonunda %0,2 bazalt lif içeren B02 harcının kuruma büzülmesi 2278,9 x 10^{-6} dır. Buradan bazalt lifin kuruma büzülmesini ciddi oranda düşürdüğü kanısına varılmıştır.

Cam, bazalt ve naylon lif içeren harçlar birbiriyle kıyaslandığında en düşük büzülme 2278,9 x 10^{-6} değerine sahip hacimsel olarak %0,2 bazalt lif içeren (B02) AA-YFC harcında elde edilmiştir. Bu lifi sırasıyla hacimce %0,1 bazalt (B01), %0,2 naylon (N02) ve % 0,2 cam (C02) lif içeren AA-YFC harçları takip etmektedir.



Şekil 4.16. Lif ilaveli harçların kuruma büzülmesi sonuçları

Şekil 4.16'de görüldüğü gibi hacimsel olarak %0,1 bazalt lif içeren (B01) harç %0,2 naylon ve cam lif içeren AA-YFC harçlarına göre daha düşük kuruma büzülmesi değeri göstermiştir. 112 günlük kuruma büzülmesi sonuçları incelendiğinde bazalt lifin kuruma büzülmesini azaltmada naylon ve cam life kıyasla daha üstün olduğu açıkça belirlenmiştir. Bununla birlikte hacimsel olarak %0,2 naylon ve cam lif içeren harçların kuruma büzülmesini azaltma performansı çok küçük farklılıklara rağmen aynı olduğu kanısına varılmıştır.

Tablo 4.13. Lif ilaveli AA-YFC harçlarının kuruma büzülmesi değerleri

Numune No	**Büzülme (10^{-6})**				
	3 Gün	**7 gün**	**28 Gün**	**56 Gün**	**112 Gün**
Kopt	1076	1408	2413	2866	3464
C01	688	731	1779	2314	2888
C02	501	983	1200	1831	2583
B01	663,6	939,9	1760,6	1766	2519
B02	530,7	1158,5	1845,3	1936	2278,9
N01	550	822	1671	2137	2605
N02	555	1017	1799	2136	2535

4.2.6. Yüksek sıcaklık deneyi sonuçları

AA-YFC harçları 1 gün 60 ^{o}C sıcaklıkta bekletildikten sonra 300,600 ve 900 ^{o}C sıcaklık uygulaması yapılmıştır. 105 ^{o}C etüvde 1 gün bekletilen aynı özeliklere sahip harç numuneleri ile karşılaştırılan lifli ve lifsiz AA-YFC harç numunelerinin ağırlık ve basınç dayanımı değişimi Tablo 4.14, Tablo 4.15 ve Tablo 4.16 'da sunulmuştur. Ayrıca lifli ve optimum lifsiz (Kopt) AA-YFC harçlarının yüksek sıcaklık sonrası görünümleri Ek.C bölümünde sunulmuştur.

300 ^{o}C sıcaklık uygulama sonrası lifli ve lifsiz optimum AA-YFC harçlarında genel olarak ağırlık kaybı yaşanmıştır. Bu durum harç numunelerinin boşluklarında bulunan nemin ortamdan kaybolmasıyla açıklanmaktadır

Tablo 4.14. Lifli ve lifsiz optimum AA-YFC harçlarının 300 ºC sıcaklık sonrası basınç ve ağırlık değişimi sonuçları

Numune Adı	105 ºC Etüv		300 ºC Sıcaklık		Ağırlık Değişimi (%)	Dayanım Değişimi (%)
	Ağırlık (gr)	B.Dayanımı (MPa)	Ağırlık (gr)	B.Dayanımı (MPa)		
Kopt	266,1	53,7	261,3	60,2	-1,8	+12,1
C01	265,8	56,6	261,2	68,7	-1,7	+21,4
B01	261,3	55,2	259,7	65,8	-1,6	+19,2
N01	258,4	50,0	253,7	60,5	-1,8	+21,0
C02	269,9	59,9	265,3	72,8	-1,7	+21,5
B02	268,9	55,3	264,1	66,1	-1,8	+19,5
N02	267,1	55,9	262,6	67,2	-1,7	+20,2

Kopt, C01, B01, N01, C02, B02, N02 harç numunelerinin ağırlık kaybı sırasıyla %1,8, %1,7, %1,6, %1,8, %1,7, %1,8 ve %1,7 ‘dir. Ağırlık kaybı incelendiğinde lif etkisinden bahsetmek mümkün değildir. Kayıpların harç özelliklerine bağlı olduğu numunelerin karışımının aynı olmasıyla benzer ağırlık kayıplarının meydana geldiği açıkça görülmüştür.

300 ºC sıcaklık sonrası AA-YFC harç numunelerinin basınç dayanımlarında genel olarak artış göze çarpmaktadır. Kopt, C01, B01, N01, C02, B02, N02 harç numunelerinin basınç dayanımları sırasıyla %12,1, %21,4, %19,2, %21, %21,5, %19,5, %20,2’dir. 300 ºC sıcaklıkta AA-YFC harçlarının oldukça iyi sonuçlar verdiği özellikle lif ilavesiyle dayanım artışının yükselttiği açıkça görülmüştür. Fakat lif türünün herhangi bir etkisinin olmadığı kanısına varılmıştır.

600 ºC sıcaklık uygulanan bütün harç numunelerinde ağırlık ve basınç dayanımı kaybı meydana gelmiştir. En fazla ağırlık kaybı %5,44’dir. Bu değer lifsiz optimum AA-YFC harç numunesinde (Kopt) elde edilmiştir. Kopt harç numunesi ağırlık kaybını sırasıyla %4,51, %3,8, %2,4, % 4,4, %3,2, %2,3 değerleri ile C01, B01, N01, C02, B02, N02 harç numuneleri takip etmektedir.

Tablo 4.15 Lifli ve lifsiz optimum AA-YFC harçlarının 600 ºC sıcaklık sonrası basınç ve ağırlık değişimi sonuçları

Numune Adı	105 ºC Etüv		600 ºC Sıcaklık		Ağırlık Değişimi (%)	Dayanım Değişimi (%)
	Ağırlık (gr)	B.Dayanımı (MPa)	Ağırlık (gr)	B.Dayanımı (MPa)		
Kopt	266,1	53,7	251,6	41,0	-5,44	-23,6
C01	265,8	56,6	253,8	41,1	-4,51	-27,4
B01	261,3	55,2	251,4	44,6	-3,8	-19,2
N01	258,4	50,0	252,2	42,7	-2,4	-14,6
C02	269,9	59,9	258,0	45,4	-4,4	-24,2
B02	268,9	55,3	260,3	49,3	-3,2	-10,8
N02	267,1	55,9	261,0	47,2	-2,3	-15,6

600 ºC sıcaklık uygulaması sonrası en büyük basınç dayanımı kaybı %27,4 değeri ile C01 harç numunesinde elde edilmiştir. Bu değeri sırasıyla %24,2, %23,6, %19,2, %15,6, %14,6, %10,8 basınç dayanımı kaybı ile sırasıyla C02, Kopt, B01, N02, N01, B02 harç numuneleri takip etmektedir. 600 ºC sıcaklıkta en iyi sonucu hacimce %0,2 bazalt lif içeren (B02) harç numunesinde elde edilmiştir.

Tablo 4.16. Lifli ve lifsiz optimum AA-YFC harçlarının 900 ºC sıcaklık sonrası basınç ve ağırlık değişimi sonuçları

Numune Adı	105 ºC Etüv		900 ºC Sıcaklık		Ağırlık Değişimi (%)	Dayanım Değişimi (%)
	Ağırlık (gr)	B.Dayanımı (MPa)	Ağırlık (gr)	B.Dayanımı (MPa)		
Kopt	266,1	53,7	242,7	8,05	-8,8	-85,0
C01	265,8	56,6	248,8	7,68	-6,4	-86,4
B01	261,3	55,2	243,4	7,32	-6,8	-86,7
N01	258,4	50,0	243,2	7,93	-5,9	-84,1
C02	269,9	59,9	255,7	9,06	-5,3	-84,5
B02	268,9	55,3	255,0	8,81	-5,2	-84,0
N02	267,1	55,9	253,7	8,33	-5,0	-85,1

AA-YFC harçlarının 900 ºC yüksek sıcaklık uygulaması yapıldıktan sonra yüksek oranda basınç dayanımı ve ağırlık kaybı yaşanmıştır. Lifsiz optimum AA-YFC harcının (Kopt) ağırlık kaybı %8.8 dir. Lif ilavesiyle ağırlık kaybı azalmıştır. C01, B01, N01 harçlarının ağırlık kaybı sırasıyla %6,4, %6,8 ve %5,9 elde edilmiştir. Lif oranının artmasıyla bu azalma daha ciddi bir duruma gelmiştir. C02, B02, N02 harçlarının ağırlık kayıpları sırasıyla %5,3, %5,2 ve %5,0 dır.

Tablo 4.16 'da görüldüğü gibi 900 ºC sıcaklık uygulama sonrasında basınç dayanımı sonuçları bitme aşamasına gelmiştir. Hacimce %0,1 bazalt lif içeren (B01) harcın etüv sonrası basınç dayanımı 55,2 MPa iken 900 ºC sonrasında 7,32 MPa düşmüştür. Dayanım kaybı yaklaşık %86,7 dir. Kopt, C01, N01 harçları için basınç dayanımı kayıpları sırasıyla %85, %86,4, %84,1 dir. Lif oranının %0,1 'den %0,2 'ye çıkmasıyla C02, B02, N02 harçlarının dayanım kayıpları sırasıyla %84,5, %84 ve %85,1 olarak hesaplanmıştır. Yüksek sıcaklık uygulamasıyla küçük farklılıklara rağmen liflerin genel olarak dayanıma etkisi kalkmıştır.

4.2.7. Maliyet analizi

Çalışmada maliyet analizi için kullanılan malzemelerin piyasada bulunan ortalama fiyatları dikkate alınmıştır. Çimento 280 TL/ton, YFC 120 TL/ton, Elenmiş Dere Kumu 24 TL/m^3, Karışım suyu 5,6 TL/ton, Sodyum meta silikat 200 dolar/ton, Naylon lif 3,00 dolar/kg, Bazalt lif 2,63 dolar/kg, Cam lif 1,75 dolar/kg olarak hesaba katılmıştır (1 Dolar=5,64 TL). Çalışma harç numuneleri üzerinde olduğu için maliyet analizi 4x4x16 cm boyutlarındaki kalıp için hesaplanmış daha sonra bu değer üzerinden her karışım için 1 m^3 'lük maliyet analizi yapılarak portland çimentolu numune ile karşılaştırılmıştır. AA-YFC ve PÇ' li harçların maliyeti analiz tablosu 4.17'de sunulmuştur.

Portland çimento bağlayıcılı harcın maliyeti 164,06 TL/m^3 olarak hesaplanmıştır. Lifsiz optimum AA-YFC harcının (Kopt) maliyeti ise 195,31 TL/m^3'dir. Aradaki maliyet farkı daha çok aktivatör olarak kullanılan sodyum meta silikattan kaynaklanmaktadır. Bu farkın AA-YFC harçlarının teknik özellikleri dikkate alındığında tolare edilebilecek seviyede olduğu düşünülmektedir.

Tablo 4.17. AA-YFC harçlarının maliyet analizi

Numune No	Maliyet (TL/m^3)	Numune No	Maliyet (TL/m^3)
PÇ	164,06	B01	242,19
Kopt	195,31	B02	289,06
C01	226,56	N01	221,35
C02	257,81	N02	247,40

Lif türlerinde en yüksek birim fiyata sahip malzeme naylon liftir. Fakat lifler karışım içerisinde hacimsel olarak ilave edildiği için maliyeti en az olan lif naylondur. En yüksek maliyete sahip numune 289,06 TL/m^3 ile B02 harç numunesidir. B02 harç numunesini sırasıyla 257,81 Tl/m^3, 247,40 Tl/m^3, 242,19 Tl/m^3, 226,56 Tl/m^3, 221,35 Tl/m^3 maliyetler ile sırasıyla C02, N02, B01, C01, N01 karışımları takip etmektedir.

5.SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında yapılan deneylerin sonrasında aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır;

1. Bağlayıcı olarak normal portland çimentosu kullanılan harca en yakın yayılma çapı değeri %6 Na_2O oranına sahip harçta elde edilmiştir.
2. Na_2O oranının artışıyla genel olarak basınç ve eğilme dayanımlarında artış meydana gelmiştir.
3. Etüvde ısıl kür uygulamasıyla normal portland çimentolu harca göre erken ve daha yüksek basınç dayanımı elde edilmiştir.
4. Yayılma çapı, basınç-eğilme ve aktivatör maliyeti bir arada düşünülerek çalışmanın ikinci aşaması için optimum karışım ve kür koşulu sırasıyla %6 Na_2O oranı, 1 gün 60 ^oC etüv kürü uygulanan harç numunesi seçilmiştir.
5. Çalışmanın 2.aşamasında optimum karışıma ilave edilen %0,1 bazalt ve cam lif ilavesiyle işlenebilirlik olumsuz etkilenmemiştir. Lif oranın %0,2'ye artmasıyla birlikte işlenebilirlik azalmıştır. Bununla birlikte her iki lif oranında da naylon lif ilavesiyle işlenebilirlik olumsuz etkilenmiştir.
6. Lif ilavesiyle AA-YFC harçlarının sertleşmiş birim hacim ağırlık değerlerinde kayda değer farklılıklar meydana gelmemiştir. Bununla birlikte lif katkısıyla ve lif oranındaki artışla su emme değerlerinde azalmalar meydana gelmiştir.
7. Hacimsel olarak %0,2 lif ilavesiyle birlikte optimum AA-YFC harcına göre absorbe edilen su miktarları azalmıştır. En düşük absorbe edilen su miktarı sırasıyla B02, C02 ve N02 harç numunelerinde elde edilmiştir.
8. Hacimsel olarak %0,1 bazalt, cam ve naylon lif ilavesi ile çok küçük dayanım farklılıklarının oluştuğu fakat bu farklılıkların kayda değer olmadığı gözlemlenmiştir.
9. Hacimsel olarak %0,2 cam lif ilavesiyle lifsiz optimum AA-YFC harcına göre yaklaşık %6,9 basınç dayanımı gelişimi gözlemlenmiştir. Buna rağmen %0,2 bazalt ve naylon lif içeren harç numunelerindeki basınç dayanımı farklılıkları ise hacimce %0,1 lif içeren harç numunelerinde olduğu gibi kayda değer bir seviyede değildir.

10. Hacimce %0,2 lif içeren AA-YFC harçlarının eğilme dayanımı lifsiz optimum AA-YFC harcından daha yüksektir. En yüksek eğilme dayanımı C02 harç numunesinde elde edilmiştir.
11. Hacimsel olarak her iki oranda kullanılan bazalt, cam ve naylon liflerin AA-YFC harçlarının kuruma büzülmesini yüksek oranda azalttığı açıkça belirlenmiştir.
12. 112 gün sonunda lifsiz AA-YFC harcının kuruma büzülmesi $3464x10^{-6}$, C01, B01, N01 harçlarının kuruma büzülmesi değerleri sırasıyla $2888x10^{-6}$, $2519\ x10^{-6}$, $2605x10^{-6}$dır. C02, B02, N02 harçlarının kuruma büzülmesi değerleri ise sırasıyla $2583\ x10^{-6}$, $2278{,}9x10^{-6}$, $2535x10^{-6}$ dır. Kuruma büzülmesi değerleri dikkate alındığında lif oranın artışıyla kuruma büzülmesi değeri azalmıştır. En düşük kuruma büzülmesi değeri sırasıyla B02, B01,N02 ve C02 harçlarında elde edilmiştir. Hacimce %0,1 bazalt lif içeren (B01) harç numunesinin kuruma büzülmesi değeri hacimce %0,2 cam ve naylon lif içeren harç numunelerinden daha düşüktür. Bu sonuçlar ışığında bazalt lifin kuruma büzülmesini azaltmada diğer iki lif türüne göre çok daha üstün olduğu kanısına varılmıştır.
13. Lifli ve Lifsiz AA-YFC harçlarına uygulanan 300,600 ve 900 ^{o}C sıcaklık sonrası harç numunelerinde ağırlık kaybı yaşanmıştır. Özellikle 900 ^{o}C ‘de bu kayıp daha belirgindir.
14. 300 ^{o}C sıcaklıkta Lifli ve Lifsiz AA-YFC harç numunelerinin davranışı oldukça iyidir. Genel olarak harç numunelerinin basınç dayanımı artış göstermiştir. Fakat bu artış lif türüne bağlı değildir. Bütün lif türlerinde Lifsiz AA-YFC harç numunesine göre daha iyi basınç dayanımı gelişimi gözlemlenmiştir.
15. 600 ^{o}C sıcaklıkta harç numunelerinde ağırlık ve basınç dayanım kaybı yaşanmıştır. En az dayanım kaybı B02 harç numunesinde, en fazla dayanım kaybı ise C02 harç numunesinde elde edilmiştir.
16. 900 ^{o}C sıcaklıkta yüksek miktarda ağırlık ve basınç dayanım kaybı meydana gelmiştir. Numunelerin dayanımı bitme sınırına yaklaşmıştır. İlave edilen liflerin herhangi bir etkisi olmamıştır.
17. AA-YFC harçlarının lif ilavesi sonucunda en yüksek maliyet B02 harç numunesinde, en düşük maliyet ise N01 harç numunesinde elde edilmiştir.
18. Tüm bu veriler ışığında AA-YFC harçlarının yüksek kuruma büzülmesini azaltmada bazalt, naylon ve cam liflerin kullanılabileceği açıkça görülmüştür.

19. Liflerin genel olarak harç numunelerinin diğer özelliklerine etkisi yüksek kuruma büzülmesi üzerindeki etkisi kadar iyi değildir. Bununla birlikte lif ilavesinin harç numunelerinin enerji yutma kapasitesine etkisi araştırılmalıdır.
20. Ayrıca lif ilavesiyle literatürde belirtilen normal portland çimentolu harçların kuruma büzülmesi sonuçlarına yaklaşılamamıştır. Lif oranındaki artış ile kuruma büzülmesi ve diğer özelliklerin daha çok geliştirilebileceği düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

[1] Luga E., Uçucu Kül ve Yüksek Fırın Cürufu Jeopolimer Harçların Özellikleri, Doktora Tezi, Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri, 2015, 387461.

[2] Roy D.M., Alkali-Activated Cements Opportunities And Challenges. *Cement And Concrete Research*, 1999, **29(**2), 249-254.

[3] Sarker, P. K., Haque, R., Ramgolam, K. V., Fracture behaviour of heat cured fly ash based geopolymer concrete, *Materials & Design*, 2013, **44**, 580-586.

[4] Aydın, S., Alkalilerle Aktive Edilmiş Yüksek Fırın Cürufu Bağlayıcılı Lifli Kompozit Geliştirilmesi, Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2010, 276485.

[5] İlkentapar S., Kimyasal Katkı İçeren Alkali İle Aktive Edilmiş Cüruf Harçlarının Farklı Kür Koşulları Altındaki Özellikleri, Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2013, 346232.

[6] Krivenko P., Alkaline Cements: Terminology, Classification, Aspects Of Durability, *Proceedings of the 10th International Congress on the Chemistry of Cement*, Gothenburg, Sweden, 1997.

[7] Shi, C., Roy, D., Krivenko, P. , Alkali-Activated Cements And Concretes, 1rd ed., *Taylor & Francis*, New York, 2006.

[8] Canbaz M., Alkalilerle Aktive Edilmiş Yüksek Fırın Cüruflu Haçların Özellikleri, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, 2007, 199133.

[9] Yalçın H., Gürü M., *Malzeme Bilgisi*, 2. Baskı, Palme Yayın Dağıtım, Ankara, 2015.

[10] Erdoğan T.Y., *Beton*, 2. Baskı, Odtü Geliştirme Vakfı Yayıncılık ve İletişim, Ankara, 2007.

[11] Lewis D.W., History of Slag Cements, Symposium on Slag Cement, Birmingham, 1981.

[12] Mielenz R.C., Mineral Admixture- History and Background, Concrete International, Aug.,1983, 34-42.

[13] Elibol C., Alkalilerle Aktive Edilen Çimento Esaslı Malzemelerin Basanç Dayanımlarının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2012, 322843.

[14] Uygun F., Seramik Çamurunda Kullanılan Silikat İçeriğinin Döküm Özelliklerine Etkisi, 2011, 295326.

[15] Çevik N., Bazalt Elyafların Beton Yollarda Kullanılabilirliği, Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi, 2014, 376229.

[16] Şahin, Y., *Kompozit Malzemelere Giriş*, Gazi Kitabevi Tic. Ltd. Şti., Ankara, 2000.

[17] Yıldırım T., Lif Takviyeli Betonların Performans Özelliklerinin Araştırılması, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2002, 116631.

[18] Yıldız S., Lifli Beton Boruların Durabilitesi Kırılma Performansı ve Kullanılabilirliğinin Araştırılması, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 1998, 77641.

[19] Sarı M., Farklı Tipteki Liflerin Betonun Mekanik Dayanımına Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2013, 349890.

[20] Kızılkanat A. B., Kabay, N., Akyüncü V., Erdoğan G.,.Basalt Fıbers And Mechanıcal Propertıes Of Basalt Fıber Reınforced Concrete, *Journal Of Engineering and Natural Sciences* 2014, **32**(4), 444-452.

[21] Di Ludovico M., Prota A., Manfredi G., Structural Upgrade Using Basalt Fibers For Concrete Confinement. *Journal Of Composites For Construction,* 2010,**14**(5), 541-552.

[22] Araz N.G., Aksoy A., İskender E., Sayın A., Beton Üretiminde Bazalt Fiber Kullanımının Değerlendirilmesi, *9.Kıyı Mühendisliği Sempozyumu*, Adana, Türkiye, 1-3 Kasım 2018.

[23] Sim J., Park C. Characteristics Of Basalt Fiber as a Strengthening Material For Concrete Structures, *Composites Part B: Engineering*, 2005, **36**(6-7), 504-512.

[24] Kabay N., Abrasion Resistance And Fracture Energy Of Concretes With Basalt Fiber. *Construction And Building Materials*, 2014, **50**, 95-101.

[25] Militký J., Kovačič V., Rubnerova J., Influence Of Thermal Treatment On Tensile Failure Of Basalt Fibers. *Engineering Fracture Mechanics*, 2002, **69**(9), 1025-1033.

[26] Arslan M. E., Bazalt Liflerin Geleneksel Betonların Mekanik Özelikleri Ve Kırılma Enerjilerine Etkilerinin İncelenmesi, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 2017,**23**(3), 203-208.

[27] Kayhan A. H., Haldenbilen S., Aydın Y., Uslu A., Shved O., Bazalt Lifli Donatı Çubuklarının Mekanik Özelliklerinin Betonarme Elemanların Davranışına Etkisi. *İMO Denizli Dergisi*, 2011, **66**, 44-48.

[28] Ryu Y. J., Kim H. Y., Lee K. H., Park H. C., Lee D. R., Transport Properties Of Electrospun Nylon 6 Nonwoven Mats. *European Polymer Journal*, 2003, **39**(9), 1883-1889.

[29] Yaşar D., Naylon Lif Donatılı Çimento Esaslı Kompozitlerin Mekanik Davranışı, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2011, 350382.

[30] Ersoy H. Y., *Kompozit Malzeme*, Literatür Yayıncılık, 1. Baskı, İstanbul, 2001.

[31] ACI Committee 544, Report on the Physical Properties and Durability of Fiber-reinforced Concrete, *American Concrete Institute*, , 544.5R-10, 1-33,2010.

[32] ACI Committee 544, Report on Fiber Reinforced Concrete, *American Concrete Institute*, 544.1R-96, 1-66, 2002.

[33] https://www.kordsa.com/en/products/detail/constructionreinforcement/33/47/0 ,(Ziyaret tarihi: 15 Haziran 2019).

[34] Chi M., Effects Of Dosage Of Alkali-Activated Solution And Curing Conditions On the Properties And Durability of Alkali-Activated Slag Concrete, *Construction and Building Materials*, **35**, 240-245.

[35] Collins, F., Sanjayan, J. G., Early Age Strength And Workability of Slag Pastes Activated by NaOH and Na_2CO_3, *Cement and Concrete Research*, 1998, **28**(5), 655-664.

[36] Yardımcı M. Y., Aydın S., Alkalilerle Aktive Edilmiş Standard Kürlü Harçların Statik Ve Dinamik Yükleme Altındaki Mekanik Özeliklerinin İncelenmesi, *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 2016, **18**(54), 381-398.

[37] Bilim C., Karahan O., Atiş C. D., İlkentapar S., Effects of Chemical Admixtures And Curing Conditions on Some Properties of Alkali-Activated Cementless Slag Mixtures, *KSCE Journal of Civil Engineering*,2015, **19**(3), 733-741.

[38] Fernández-Jiménez A., Palomo J. G., Puertas, F., Alkali-Activated Slag Mortars: Mechanical Strength Behaviour, *Cement and Concrete Research*, 1999, **29**(8), 1313-1321.

[39] Bakharev T., Sanjayan J. G., Cheng, Y. B., Effect of Admixtures on Properties of Alkali-Activated Slag Concrete, *Cement and Concrete Research*, 2000, **30**(9), 1367-1374.

[40] Bingöl Ş., Alkali ile Aktive Edilmiş Yüksek Fırın Cürufu Geopolimer Harçların Mekanik ve Durabilite Özelliklerinin Araştırılması, Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri, 2018, 506168.

[41] Lee N. K., Jang J. G., Lee H. K., Shrinkage Characteristics of Alkali-Activated Fly Ash/Slag Paste and Mortar At Early Ages, *Cement and Concrete Composites*, 2014, **53**, 239-248.

[42] Bilim C., Alkali ile Aktive Edilmiş Cüruf Harçlarının Yangın Direnci, *Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 2016, **31**(2), 67-76.

[43] Vilaplana J. L., Baeza F. J., Galao O., Alcocel E. G., Zornoza E., Garcés, P. Mechanical Properties of Alkali Activated Blast Furnace Slag Pastes Reinforced with Carbon Fibers, *Construction and Building Materials*, 2016, **116**, 63-71.

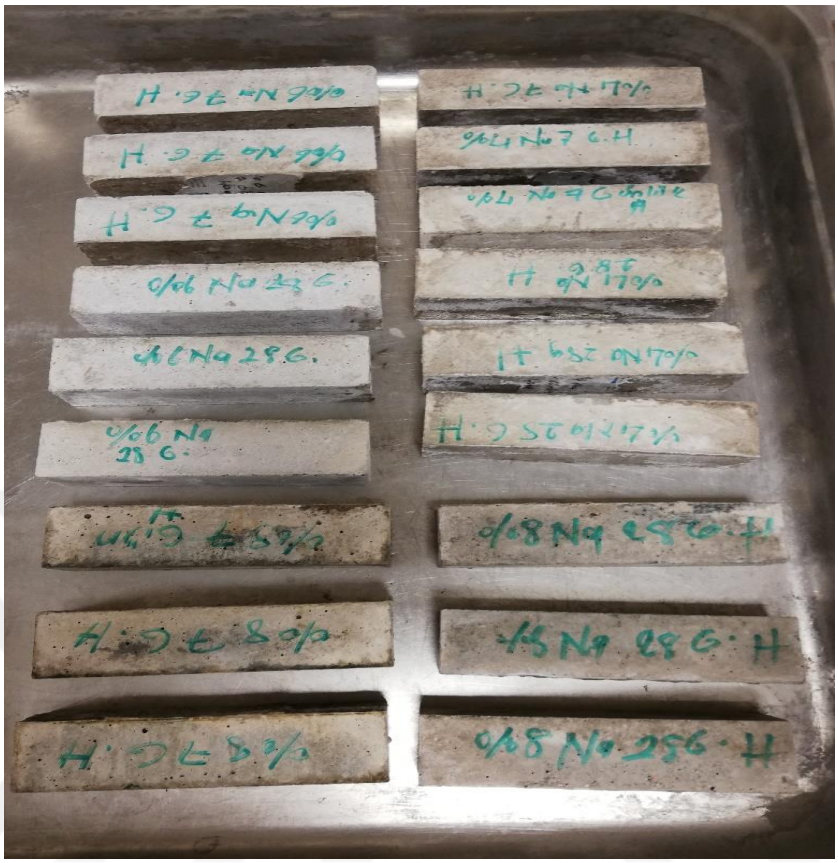
[44] Zhang Z. H., Yao X., Zhu H. J., Hua S. D., Chen Y., Preparation and Mechanical Properties of Polypropylene Fiber Reinforced Calcined Kaolin-Fly Ash Based Geopolymer, *Journal of Central South University of Technology*,2009, **16**(1), 49-52.

[45] TS EN 196-1, Çimento Deney Metotları – Bölüm 1: Dayanım Tayini, *Türk Standartları Enstitüsü*, 2016.

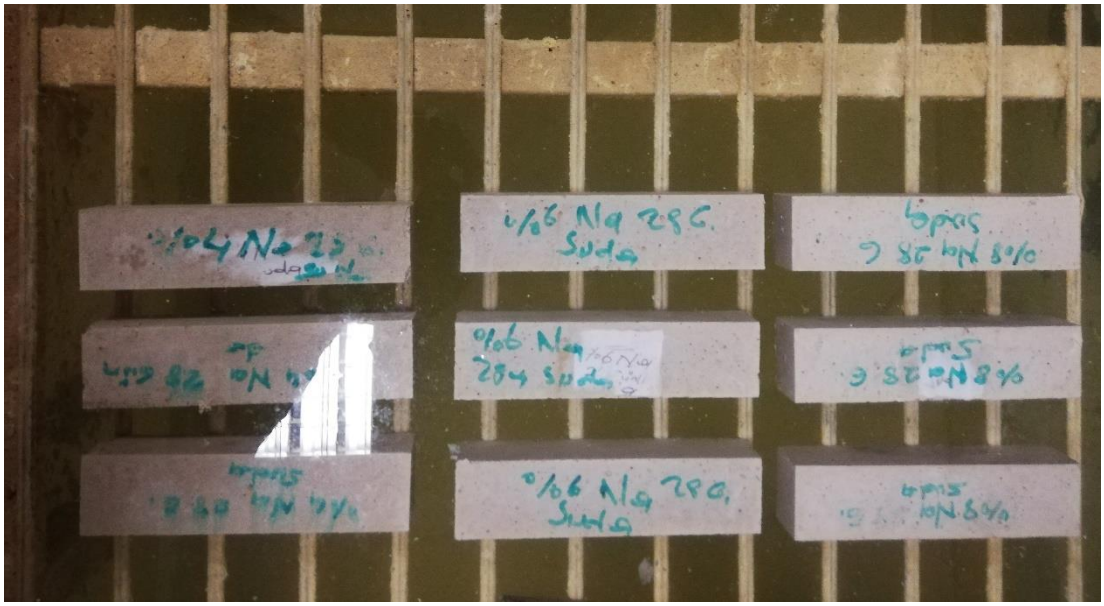
[46] https://www.thbb.org/media/290192/thbbistatistikler2017.pdf(Ziyarettarihi:10 Ocak 2019).

EKLER

Ek-A

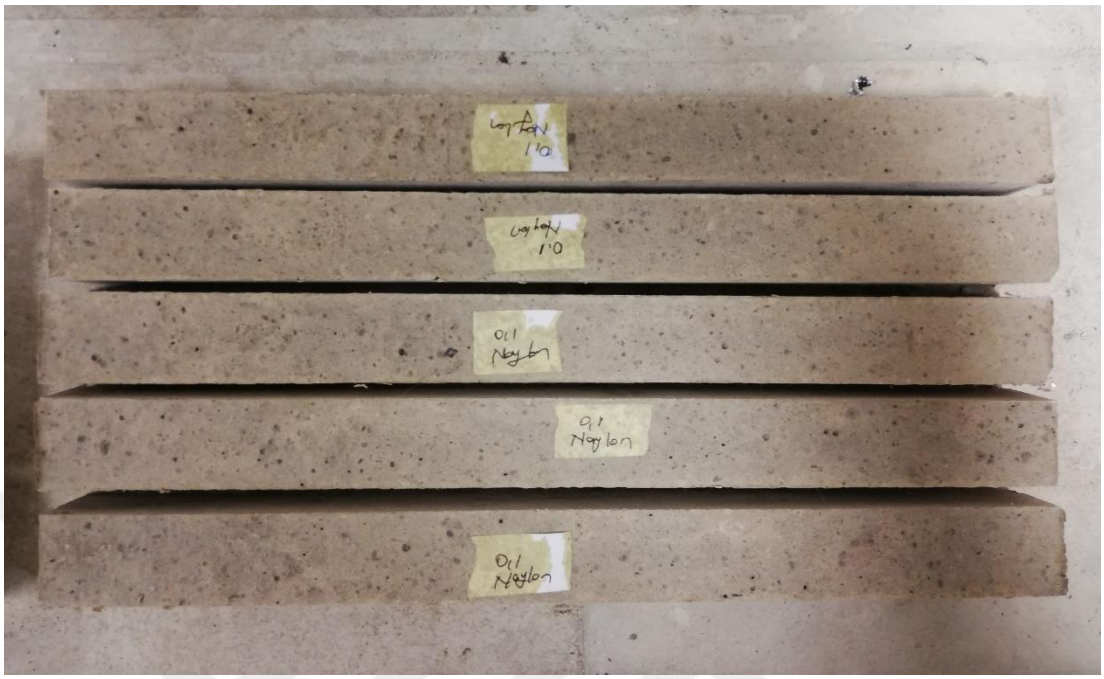


Şekil Ek A.1. Laboratuvar ortamında bekletilen AA-YFC harç numuneleri



Şekil Ek-A.2.Suda bekletilen AA-YFC harç numuneleri

Ek-B



Şekil Ek B.1.Kuruma büzülmesi deneyi için üretilen harç numuneleri



Şekil Ek B.2.Kuruma büzülmesi deneyi için üretilen harç numunelerinin saklanma koşulları

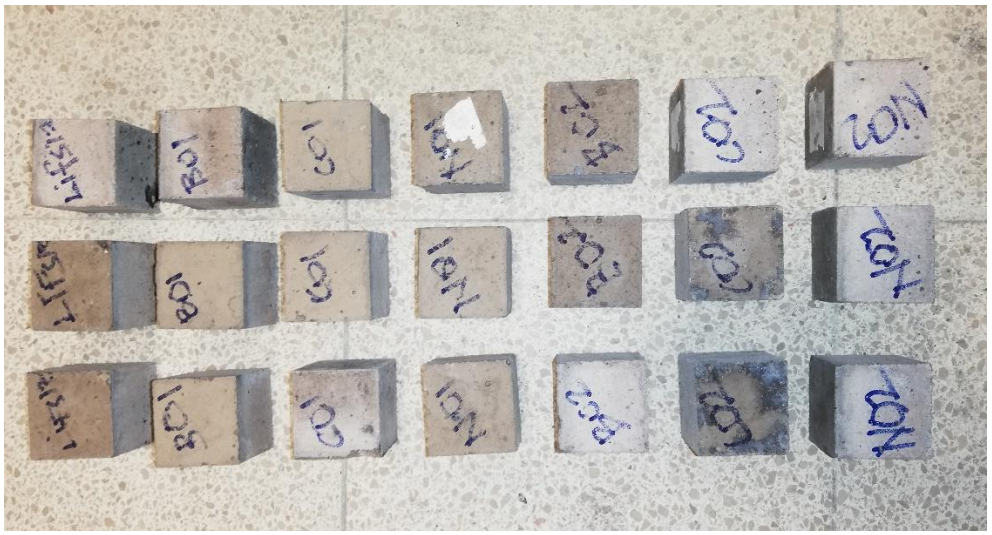
Ek-C



Şekil Ek C.1.5x5x5 cm boyutlu yüksek sıcaklık öncesi harç numunelerinin görünümleri



Şekil Ek C.2. 900 ^{o}C sıcaklıkta 2 saat bekletilen harç numunelerinin görünümü



Şekil Ek-C.3. 600 ºC sıcaklıkta 2 saat bekletilen harç numunelerinin görünümü



Şekil Ek-C.4. 300 ºC sıcaklıkta 2 saat bekletilen harç numunelerinin görünümü



Şekil Ek-C.5. Yüksek sıcaklık uygulaması yapılırken kül fırının görünümü

KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER

[1] **Yıldırım A.K**., Yıldırım S.T., Alkalilerle Aktive Edilen Yüksek Fırın Cüruflu Harçlara Isıl Kür Süresi ve Sıcaklık Artışının Etkisi, *Uluslararası Marmara Fen ve Sosyal Bilimler Kongresi,* Kocaeli, 23-25 Kasım 2018.

ÖZGEÇMİŞ

Ahmet Kaan Yıldırım Konya/Karapınar ‘da doğdu. İlk, Orta ve Lise Eğitimini Tokat ‘da tamamladı. 2012 yılında girdiği Erciyes Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümünü 1 yıl İngilizce hazırlıkla birlikte 2017 yılında tamamladı. Aynı yıl Kocaeli Üniversitesi Fen bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı ‘nda yüksek lisans eğitimine başladı ve tezini 2019 yılında tamamladı. 2019 yılı Şubat ayından beri Nişantaşı Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesinde Araştırma Görevlisi ünvanı ile akademik çalışmalarına devam etmektedir.