

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ



**BİLECİK ŞEYH EDEBALI
ÜNİVERSİTESİ**

**Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı**

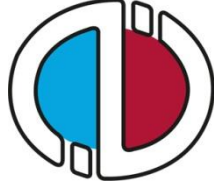
**OTOMATİK YAPI ÜRETİMİ İÇİN EN UYGUN
MALZEMELERİN BELİRLENMESİ**

**Melih ŞAHİNÖZ
Yüksek Lisans Tezi**

**Tez Danışmanı
Prof. Dr. Yusuf Cengiz TOKLU**

BİLECİK, 2016

Ref.No:10114432



ANADOLU UNIVERSITY



**BILECIK ŞEYH EDEBALI
UNIVERSITY**

**Graduate School of Sciences
Civil Engineering**

**DETERMINATION OF THE MOST SUITABLE
MATERIALS FOR AUTOMATED CONSTRUCTION
PRODUCTION**

**Melih ŞAHİNÖZ
Master's Degree**

**Advisor
Prof. Dr. Yusuf Cengiz TOKLU**

BILECIK, 2016



BİLECİK ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**YÜKSEK LİSANS
JÜRİ ONAY FORMU**

Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunun 01/06/2016 tarih ve 28 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından 16/06/2016 tarihinde tez savunma sınavı yapılan Melih ŞAHİNÖZ'ün "Otomatik Yapı Üretimi İçin En Uygun Malzemelerin Belirlenmesi " başlıklı tez çalışması İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak oy birliği/ oy çokluğu ile kabul edilmiştir.

JÜRİ

ÜYE

(TEZ DANIŞMANI) : Prof. Dr. Yusuf Cengiz TOKLU

ÜYE : Doç. Dr. Özgür AVŞAR

ÜYE : Yrd. Doç. Dr. Mustafa Özgür YAYLI

ANABİLİM DALI BAŞKANI: Prof. Dr. Yusuf Cengiz TOKLU

ONAY

Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunun
.../.../..... tarih ve/..... sayılı kararı.

İMZA/ MÜHÜR

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim boyunca ilminden faydalandığım, insani ve ahlaki değerleri ile örnek edindiğim, beraber çalışmaktan onur duyduğum ve tecrübelerinden yararlanırken bana karşı her zaman hoşgörölü ve sabırlı olan değerli hocam sayın Prof. Dr. Yusuf Cengiz TOKLU'ya,

Çalışmam boyunca bilgisiyle bana yol gösteren Yeditepe Üniversitesinden değerli hocam sayın Yrd. Doç. Dr. Ceren İNCE'ye,

Çalışmam süresince gerek deneylerde, gerek deney öncesi ve sonrası bütün çalışmalarımnda benden desteğini esirgemeyen ve her zaman yanımda olan Araştırma Görevlisi Ali Erdem ÇERÇEVİK ve Uzman Turgut KAYA'ya,

Yüksek fırın cüruf malzemesi temininde desteklerini esirgemeyen Bolu Çimento Fabrikasından Ahmet GÜNAY'a ve diatomit malzemesi temininde desteklerini esirgemeyen Beğ-Tuğ Mineral Madencilik Şirketinden Ramazan SEVGİ'ye,

Maddi ve manevi desteğı ile her zaman yanımda olan annem ve babam Necla ŞAHİNÖZ ve Muhterem ŞAHİNÖZ'e en samimi duygularımıla sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

ÖZET

3 boyutlu üretim teknolojisi tasarlanmış bir model veya üç boyutlu taranmış objeleri kalıp kullanmadan katman katman üreten bir üretim teknolojisidir. Otomatik yapı üretim teknolojisi bu teknolojinin yapı alanına uygulanmış şeklidir. Bu teknolojinin en önemli avantajları çok çeşitli malzemelerin kullanılabilmesi, üretimin otomatik yapılması, işçi sayısında azalma dolayısıyla hataların ve güvenlik sorunlarının azaltılması ve kalıp kullanmadan hızlı üretim yapılabilmesidir. Bu çalışmada söz konusu uygulamada kullanılacak düşük maliyetli malzemeler araştırılmıştır. Bu malzemeler kum, diatomit, çimento, öğütülmüş yüksek fırın cürufu (ÖYFC), selüloz ve polipropilen lif olarak belirlenmiştir. Bu amaçla bu malzemeleri içeren çok sayıda karışım hazırlanarak yapılan deneylerle bu karışımların özellikleri belirlenmiştir. Yapılan değerlendirmeler sonucunda bu malzemelerle otomatik yapı üretim teknolojisinde kullanılacak 5 adet uygun beton harç karışımı tespit edilmiştir. Tespit edilen bu harçların karışım oranları belirtilmiş, işlenebilirliği gözlemlenmiş ayrıca yoğunluk tayini, çökme (slump), basınç ve eğilmede çekme deneyleri yapılmıştır. Daha sonra da hazırlanan bir prototip alet ile bu karışımlarla duvar örneklerinin dökümü gerçekleştirilerek karışımların uygulanabilirliği sağlanmıştır. İleride yapılacak çalışmalarla bu karışımların daha da geliştirilebileceği ve yapı endüstrisinde önemli ilerlemelerin sağlanacağı umulmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Otomatik yapı, Robotik yapı, 3B yazıcı, Yapı malzemeleri

ABSTRACT

3 dimensional production technology is a technology that produces 3 dimensional objects level by level without using formworks either after scanning a real object or a body created as a model. Automatic construction production is the application of this technique to the construction industry. The most important advantages of this technology are capability of using a great variety of materials, making production automatically, decrease in numbers of workers and so decrease in faults and security issues, making fast production without using mould. In this study, low-cost materials to use in this aforesaid implemetation are investigated. These materials were defined as sand, diatomite, cement, ground blast furnace slag, cellulose, polypropylene fiber. After several evaluations, five suitable concrete mortar mixtures were determined to use with these defined materials in this technology. Mix ratio for these mortar mixtures were determined, their workability were monitored, and additionally density, slump, compression strength and tensile strength tests are executed. Afterwards with a prepared prototype device, practicality of these mixtures. It is hope that, with the studies performed in the future, these mixtures will be improved and they will give way to important improvements to the construction industry.

Keyword - Automated Construction, Robotics Construction, 3D printing, Construction materials

İÇİNDEKİLER

JÜRİ ONAY SAYFASI	
TEŞEKKÜR	
ÖZET	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER	iii
ÇİZELGELER DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	vii
SİMGELER DİZİNİ	ix
1. GİRİŞ	1
1.1. Çalışmanın Amacı	1
1.2. Çalışmanın Kapsamı	1
2. ÜÇ BOYUTLU ÜRETİM TEKNOLOJİSİ	3
2.1. Üç Boyutlu Yazıcı İle Üretim Teknolojisi	3
2.2. Üç Boyutlu Üretim Teknolojisi Tarihçesi	3
2.3. Üç Boyutlu Yazıcı Cihazı Kullanım Alanları	5
2.4. Üç Boyutlu Yazıcı Cihazı Örnek Uygulamaları	6
2.5. Üç Boyutlu Yazıcı Cihazı Kullanımının Avantaj ve Dezavantajları	7
2.6. Üç Boyutlu Yazıcı Cihazı Çalışma Prensipleri	8
2.6.1. Üç boyutlu CAD modelin oluşturulması	9
2.6.2. Veri transferi ve parçanın dilimlendirilmesi	9
2.6.3. Parçanın katmanlı inşa edilmesi	9
2.6.4. Son işlemler	9
2.7. Üç boyutlu Yazıcı Cihazında Kullanılan Malzemeler	10
3. OTOMATİK YAPI ÜRETİM TEKNOLOJİSİ	11
3.1. Otomatik Yapı Üretim Teknolojisi	11
3.2. Otomatik Yapı Üretim Teknolojisi Tarihçesi	12
3.3. Beton Harç Baskı Süreci	13
3.4. Otomatik Yapı Üretim Teknolojisinin Avantaj ve Dezavantajları	14
3.5. Otomatik Yapı Üretim Teknolojisi Hakkında Literatür Çalışması	16
4. BETON YAZICIDA KULLANILAN MALZEMELERİN	
ARAŞTIRILMASI	19

4.1. Çimento	19
4.1.1. Çimento tanımı ve tarihçesi	19
4.1.2. Çimento üretimi aşamaları	19
4.1.3. Çimento çeşitleri	20
4.1.4. Çimento çeşitlerinin kullanım alanları	22
4.1.5. Çimento hakkında literatür çalışması	22
4.2. Diatomit	24
4.2.1. Diatomit tanımı	24
4.2.2. Diatomit fiziksel özellikleri	25
4.2.3. Diatomit kimyasal özellikleri	25
4.2.4. Diatomit kullanımının tarihçesi	26
4.2.5. Türkiye ve dünyada diatomit yatakları	26
4.2.6. Diatomit malzemesinin kullanım alanları	26
4.2.7. Diatomit hakkındaki literatür çalışması	27
4.3. Öğütülmüş Yüksek Fırın Cürufu	29
4.3.1. Öğütülmüş yüksek fırın cürufu tanımı	29
4.3.2. Öğütülmüş yüksek fırın cürufu fiziksel özellikleri	29
4.3.3. Öğütülmüş yüksek fırın cürufu kimyasal özellikleri	30
4.3.4. Öğütülmüş yüksek fırın cürufu kullanım tarihçesi	30
4.3.5. Öğütülmüş yüksek fırın cürufu kullanım alanları	30
4.3.6. ÖYFC hakkında literatür çalışması	31
4.4. Polipropilen Lif	33
4.4.1. Polipropilen lif tanımı	33
4.4.2. Polipropilen lif teknik özellikleri	33
4.4.3. Polipropilen lif kullanım tarihçesi	34
4.4.4. Polipropilen lif kullanım alanları	34
4.4.5. Polipropilen lif hakkında literatür çalışması	35
4.5. Selüloz Lif	36
4.5.1. Selüloz lif tanımı	36
4.5.2. Selüloz lif üretimi	37
4.5.3. Selüloz lif teknik özellikleri	37
4.5.3. Selüloz lif kullanım alanları	38

4.5.4. Selüloz lif hakkında literatür çalışması	38
5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	40
5.1. Malzeme Kullanım Nedenleri	40
5.2. Kullanılan Malzemelerin Teknik Özellikleri	41
5.2.1. Çimento	41
5.2.2. Su	41
5.2.3. Polipropilen lif	42
5.2.4. Diatomit	42
5.2.5. Kum	43
5.2.6. Öğütülmüş yüksek fırın cürufu (ÖYFC)	43
5.2.7. Selüloz	43
6. YÖNTEM	45
6.1. Numunelerin Hazırlanması	45
6.2. Yoğunluk Tayini Deneyi	49
6.3. Çökme (Slump) Deneyi	49
6.4. Kullanım Süresi Belirleme	50
6.5. Yayılma Tablası Deneyi	50
6.6. Eğilme Deneyi	51
6.7. Basınç Deneyi	52
7. BULGULAR	54
7.1. Kullanılan Malzemelerin Değerlendirilmesi	54
7.2. Beton Harç Karışım Oranları	55
7.3. Yoğunluk Tayini Deneyi Sonuçları	56
7.4. Çökme (Slump) Deneyi Sonuçları	57
7.5. Kullanım Süresi Belirleme Sonuçları	57
7.6. Yayılma Tablası Deneyi Sonuçları	58
7.7. Eğilme Deneyi Sonuçları	59
7.8. Basınç Deneyi Sonuçları	60
8. SONUÇ VE ÖNERİLER	61
KAYNAKLAR	63
ÖZGEÇMİŞ	70

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa No
Çizelge 4.1. Ticari değer taşıyan diatomit malzemesi sınır değerleri	25
Çizelge 4.2. Selüloz liflerin genel özellikleri	38
Çizelge 5.1. CEM IV/B 32,5R çimentosunun fiziksel ve mekanik özellikleri	41
Çizelge 5.2. Polipropilen lifin teknik özellikleri	42
Çizelge 5.3. Diatomit malzemesi fiziksel ve kimyasal özellikleri	42
Çizelge 5.4. ÖYFC malzemesi fiziksel ve kimyasal özellikleri	43
Çizelge 5.5. Selüloz malzemesi teknik özellikleri	44
Çizelge 6.1. 300 cm ³ 'lük hacimsel olarak beton harç için malzemelerin deneme . karışım miktarı ve gözlenen kıvam	46
Çizelge 7.1. Beton harç karışım oranları tablosu	55
Çizelge 7.2. Beton harç kullanım süreleri	58

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa No
Şekil 2.1. 3 boyutlu yazıcı cihazları inşa tekniğine göre sınıflandırılması	3
Şekil 2.2. 3D Systems firmasının SLA5000 modeli Stereolithography cihazı	4
Şekil 2.3. Win Sun Şti. 3 boyutlu beton yazıcı kullanılarak yaptığı evler	6
Şekil 2.4. Win Sun Şti. 3 boyutlu beton yazıcı kullanılarak yapılan örnek ev	7
Şekil 2.5. Bir 3D CAD modelin katmanlı üretim süreci	8
Şekil 3.1. Şematik olarak otomatik yapı üretim teknolojisi	11
Şekil 3.2. Üç boyutlu beton yazıcı cihazı	12
Şekil 3.3. Otomatik yapı teknolojisinin ayda kullanımı planlanması	13
Şekil 3.4. Üç boyutlu beton yazıcı ile beton baskı	13
Şekil 3.5. Geleneksel inşaat yöntemlerinde işçi kullanımı	15
Şekil 3.6. Üç boyutlu beton yazıcı ile birkaç işçi kullanılarak bina yapımı	16
Şekil 4.1. Çimento üretim aşamaları	20
Şekil 6.1. Beton harç karışım görüntüleri	45
Şekil 6.2. Şematik olarak pompa sistemi ile beton baskı	47
Şekil 6.3. Beton harcın pompa ağzından çıkış görüntüsü	48
Şekil 6.4. Pompa sistemi ile yapılan örnek beton baskılar	48
Şekil 6.5. Elektronik terazi ile tartma	49
Şekil 6.6. Beton harç çökme (slump) deneyi	50
Şekil 6.7. Yayılma tablası deneyi	51
Şekil 6.8. Kür havuzunda numuneler	52
Şekil 6.9. Eğilme Deneyi	52
Şekil 6.10. Basınç Deneyi	53

Şekil 7.1. Beton harçların yoğunlukları	56
Şekil 7.2. Beton harç karışımlarının ilk çökme değerleri	57
Şekil 7.3. Beton harçların yayılma değerleri	59
Şekil 7.4. Beton harçların eğilme-çekme dayanımları	59
Şekil 7.5. Beton harçların basınç dayanım değerleri	60



SİMGELER DİZİNİ

Simgeler	Açıklama
Al_2O_3	: Alüminyum Oksit
CaO	: Kalsiyum oksit
$CaSO_4$: Kalsiyum Sülfat
CO_2	: Karbondioksit
C_3A	: Trikalsiyum Alüminat
cm	: Santimetre
cm^3	: Santimetre Küp
gr	: Gram
K_2O	: Potasyum Oksit
MR	: Manyetik Rezonans
MTA	: Maden Tetkik Arama
MgO	: Magnezyum Oksit
MS	: Milattan Sonra
MPa	: Megapascal
ÖYFC	: Öğütülmüş Yüksek Fırın Cürufu
PÇ	: Portland Çimento
PET	: Polyethylene Terephthalate
PKÇ	: Portland Kompoze Çimento
SO_3	: Kükürtanhidriti
SiO_2	: Silisyum Oksit
STL	: Stereolithography
UVP	: Ultra Violet Products
UV	: Ultra Viole
YFC	: Yüksek Fırın Cürufu
μm	: Mikron
$^{\circ}C$: Celsius

1. GİRİŞ

1.1. Çalışmanın Amacı

Otomatik yapı üretim teknolojisi 3 boyutlu beton yazıcı cihazı kullanılarak yapıları katman katman inşa eden çok yeni bir teknolojidir. Bu teknoloji sayesinde çok hızlı, seri, düşük maliyetli ve çok az sayıda işçi kullanılarak yapılar inşa edilebilecektir. Bu teknolojinin kullanımında en önemli konulardan biri kullanılacak malzemelerin özellikleri ve maliyetleridir. Çünkü kullanılan malzeme inşaat maliyetini doğrudan etkilemektedir.

Bu çalışmanın amacı iki başlık altında belirtilebilir. İlk amaç otomatik yapı üretim teknolojisinde 3 boyutlu beton yazıcı cihazında kullanılacak en uygun malzemelerin belirlenmesidir. Bu nedenle bu teknolojiye kullanılacak düşük maliyetli malzemeler araştırılmıştır. Bu malzemeler kum, diatomit, çimento, öğütülmüş yüksek fırın cürufu (ÖYFC), selüloz ve polipropilen lif olarak belirlenmiştir. Bu malzemeler kullanılarak yazıcı cihazının pompa ağzından sorunsuz çıkabilecek en uygun beton harç karışımları tespit edilmeye çalışılmıştır. Hazırlanan beton harçların, pompa ağzından kopmalar olmadan sürekli bir filament oluşturabilmesi için olması gereken uygun kıvam değerleri belirlenmeye çalışılmıştır. Ayrıca uygun kıvamda belirlenen beton harçların kullanım süreleri tespit edilmiştir.

İkinci amaç uygun kıvamda olduğu belirlenen beton harç karışımlarının aynı zamanda sıkılabilir ve inşa edilebilir özellikte olmasıdır. Kullanılan malzemelerin özellikleri sayesinde uygun kıvamda olduğu tespit edilen harç karışımları ile oluşturulan katmanların, şeklini ve konumunu koruması sağlanmaya çalışılmıştır. Ayrıca taze haldeki katmanların yayılmaması, üstüne başka katmanlar eklendiğinde ezilmeden taşıyabilmesi ve üstüne eklenen katmanlara yapışması amaçlanmıştır. Uygun olduğu tespit edilen harç karışımlarının mekanik özellikleri yapılan deneylerle belirlenmiştir.

1.2. Çalışmanın Kapsamı

Çalışmada ilk olarak amaç ve kapsam belirtilmiştir. Daha sonra kullanılan malzemeler, 3 boyutlu yazıcı teknolojisi ve otomatik yapı teknolojisi hakkında bilgi verilmiş ve yapılan literatür çalışmaları sunulmuştur. Kullanılan malzemelerin teknik özellikleri ve kullanım sebepleri belirtilmiştir. Kum, diatomit, öğütülmüş yüksek fırın cürufu (ÖYFC), selüloz ve polipropilen lif malzemeleri kullanılarak hazırlanan beton

harçların gözlenen kıvamları bir tablo halinde sunulmuştur. Bir pompa sistemi kullanılarak uygun kıvamda olan beton harç karışımları tespit edilmiş ve karışım oranları tablo halinde verilmiştir. Uygun olduğu tespit edilen harç karışımları numuneleri ile yoğunluk, çökme, yayılma tablası, basınç ve eğilmede çekme deneyleri yapılmıştır. Ayrıca uygun olduğu tespit edilen beton harçların kullanım süreleri belirlenmiş ve kullanılan malzemelerin değerlendirilmesi yapılmıştır. Daha sonra da yapılan deneylerin sonuçları değerlendirilmiş ve bu değerlendirme neticesinde ortaya çıkan çalışma sonuçları verilmiştir.



2. ÜÇ BOYUTLU ÜRETİM TEKNOLOJİSİ

2.1. Üç Boyutlu Yazıcı İle Üretim Teknolojisi

Blok halde olan bir malzemeden, taşlama, vargelleme, delme, frezeleme ve tornalama gibi geleneksel talaşlı imalat ile parça üretme yöntemlerinin aksine, üç boyutlu üretim teknolojisi eriyik haldeki malzemenin ince bir tabaka halinde üstüste eklenerek hızlı ve otomatik bir şekilde katman katman parçaların üretilebilmesi teknolojisidir. Bu teknoloji oto inşa, hızlı prototipleme veya katmanlı üretim teknolojisi olarak da adlandırılmaktadır (Kara, 2013).

Üç boyutlu üretim teknolojisinde 3 boyutlu yazıcı cihazları kullanılmaktadır. Ticari olarak üretilmiş olan tüm yazıcı cihazlarının ortak çalışma prensibi üretilecek parçaların katmanlar halinde inşa edilmesidir. Parça üretiminde kullanılan malzeme özelliği ve katmanları oluşturma tekniği bakımından farklı 3 boyutlu yazıcı cihazları bulunmaktadır. 3 boyutlu yazıcı cihazları kullanılan teknolojiye göre, ışıkla kür tekniği, toz bağlama tekniği, harç yığma tekniği ve tabaka yığma tekniği olarak dört ana gruba ayrılabilir. Her teknik de kendi içinde iki alt gruba ayrılmaktadır (Özuğur, 2006).

3 boyutlu yazıcı cihazlarının inşa tekniğine göre sınıflandırılması Şekil 2.1'de gösterilmiştir.



Şekil 2.1. 3 boyutlu yazıcı cihazları inşa tekniğine göre sınıflandırılması (Özuğur, 2006).

2.2. Üç Boyutlu Üretim Teknolojisi Tarihçesi

1970'li yılların başlarında fiziksel nesnelerin geometrik verilerini, 3 boyutlu modelleme sistemlerinde kullanılarak geleneksel imalat yöntemlerini kullanmadan imal

etme çalışmaları başlamıştır. 1980'li yılların başlarında Hull, Kodame ve Herbert birbirlerinden bağımsız olarak yaptıkları çalışmalarında fotopolimer malzemeyi katman katman katılaştırarak 3 boyutlu fiziksel nesnelere elde etmeye çalışmışlardır (Ermurat, 2002). Herbert ve Kodame ekonomik sorunlar nedeniyle çalışmalarını tamamlayamamışlardır. Hull 1984 yılında UVP (Ultra Violet Products) şirketinden parasal destek alarak çalışmalarını devam ettirmiş ve fiziksel nesnelere geometrik verilerini kullanarak 3 boyutlu nesnelere imal eden bir sistem geliştirmiştir. Bu sisteme Stereolithography adını koymuş ve 1986 yılında 3D Systems şirketini kurarak Stereolithography cihazını üretmeye başlamıştır. Katmanlı üretim teknolojisi 1990'lı yıllarda büyük gelişmeler göstermiş ve özellikle son yıllarda üretim sektöründeki firmalar için vazgeçilmez bir teknoloji olmuştur (Ermurat, 2002). Şekil 2.2'de 3D Systems firmasının ürünü olan bir Stereolithography cihazı gösterilmiştir.



Şekil 2.2. 3D Systems firmasının SLA5000 modeli Stereolithography cihazı (Kan, 2006).

2000'li yılların başlarından itibaren katmanlı üretim tekniği süreçleri ile ilgili araştırma toplulukları oluşmuştur. Katmanlı üretimin etkisi, hem ticari faaliyetler hem de bilimsel araştırmalar açısından büyüyen devam etmektedir. Dünya genelinde 2008 yılında katmanlı üretim teknolojisi ve servisleri için toplam olarak 1,2 milyon dolar civarında bütçe ayrılmıştır. Son beş yıl içerisinde katmanlı üretim teknolojisi için ayrılan bütçe her yılda yaklaşık olarak %10 artmıştır (Çelik, vd., 2013).

2.3. Üç Boyutlu Yazıcı Cihazı Kullanım Alanları

3 boyutlu yazıcı cihazları tasarlanan parçayı, çok hızlı bir şekilde üretebilmektedir. Bu nedenle havacılık, otomotiv, tıp ve ilaç sektörü gibi birçok sektörde çok geniş kullanım alanları vardır. Üretilen parçalar son zamanlarda özellikle medikal sistemlerde, elektronik ve otomasyon sistemlerinde doğrudan parça olarakta kullanılmaktadır (Çelik, vd., 2013).

3 boyutlu yazıcı cihazları günümüzde bir çok alanlarda kullanılmaktadır. Bunlardan bazıları,

- **Mühendislik** : Doğru ve görsel karar verebilmek için gerçek modelleme yapımı, ürün geliştirme, kalıp tasarımı, prototip yapımı, ürün maliyetini düşürmek, tasarım süresini kısaltmak, mevcut bir ürünün özelliklerini değiştirmek, tasarım ve imalatın birbirine entegre olmasını sağlamakta kullanılmaktadır (Çelik, vd., 2013).
- **Medikal** : İnsan vücudundaki organların veya uzuvların bilgisayarlı tomografi veya manyetik rezonans (MR) cihazları kullanarak üç boyutlu verileri elde edilmektedir. Bu veriler bilgisayar programları aracılığıyla uygun formata dönüştürülür. Böylece 3 boyutlu yazıcılar kullanılarak insan organ ve uzuvları oluşturulmaktadır. Bu durum sağlık uzmanlarına cerrahi müdahaleye gerek kalmadan tedavi veya cerrahi müdahale öncesi ön çalışma yapabilme olanağı sağlar.
- **Kuyumculuk** : El işçiliği ile yapımı birkaç hafta sürebilecek tasarımlar, 3 boyutlu yazıcı cihazı ile bir gün gibi kısa zamanda elde edilebilir. El kabiliyeti ile ulaşılamayan tasarımlar en az hata ile oluşturulabilir. İstenilen tasarım bir CAD programı ile oluşturulduktan sonra istenilen metaldan (altın veya gümüş gibi) mücevherler elde edilmektedir.
- **Mimarlık** : Mimari çalışmalarda, yardımcı olabilmesi için 3 boyutlu yazıcı cihazları ile hızlı ve gerçeğe yakın bir şekilde mimari maketler ve topografik modeller oluşturulmaktadır.
- **Sanat** : Sanatsal yöntemler ile üretilmesi mümkün olmayan kompleks yapıdaki sanat eserleri bu yazıcı cihazı ile çok kolay bir şekilde imal edilebilir.

- **Matematik, Fizik ve Kimya Uygulamaları :** Matematiksel veya fiziksel özel denklemlerin görüntüye çevrilmesinde, kimya çalışmalarında molekül yapılarının sembolize edilmesinde yararlanılmaktadır (Apak, 2010).

2.4. Üç Boyutlu Yazıcı Cihazı Örnek Uygulamaları

Çin'deki Win Sun firması 3 boyutlu beton yazıcılar kullanarak 24 saatte 10 adet ev imal edebilmiştir. Evler 15 metre uzunluğunda, 10 metre genişliğinde ve 6 metre yükseklikte inşa edilmiştir. 3 boyutlu beton yazıcıda malzeme olarak çimento ve inşaat atıklarının kullanıldığı belirtilmiştir. İmal edilen evler çok kısa bir sürede ve çok düşük bir maliyetle inşa edilmiştir (Yhbm, 2016). Şekil 2.3'de 3 boyutlu beton yazıcı kullanılarak yapılan örnek evler gösterilmiştir.

ABD'de Specific Surface firması 3 boyutlu yazıcılar kullanarak seramik filtreler üretmektedir. Üretilen filtreler doğrudan kullanılmaktadır. Bilgisayar programlarında tasarlanan filtreler istenilen geometride ve yoğunlukta imal edilmektedir. 3 boyutlu yazıcılar ile üretilen filtrelerin geleneksel yöntemlerle imal edilen filtreden 10 kat daha fazla verim alındığı belirtilmiştir (Kendüzler, 2011).



Şekil 2.3. Win Sun Şti. 3 boyutlu beton yazıcı kullanılarak yaptığı evler (yhbm, 2016).



Şekil 2.4. Win Sun Şti. 3 boyutlu beton yazıcı kullanılarak yapılan örnek ev (yhb, 2016).

Boeing firması az sayıda ihtiyaç olan bazı uçak parçalarını 3 boyutlu yazıcı cihazı ile üretmeye başlamıştır. Plastik tozu kullanarak üretilen parçalar direkt olarak uçaklarda kullanılmaktadır. Geleneksel imalat yöntemlerine göre kısa zamanda ve çok daha düşük maliyetle parçaların üretildiği belirtilmiştir. Askeri uçakların kritik parçaları ve havalandırma sistemi parçalarının doğrudan üç boyutlu üretim teknolojisi ile üretilmesini hedeflemişlerdir (Özüğür, 2006).

Goldaş firması tasarladığı ürünleri, 3 boyutlu yazıcılar ile metal, plastik ve bal mumu malzemelerini kullanarak prototiplerini üretmektedir. Böylece kalıp imalatı öncesinde tasarlanmış ürünlerin kullanılabilirlik fonksiyonlarını ve ergonomi testlerini yapmaktadır (Kara, 2013).

Kanadalı CYNOVAD firması ile 3D Systems firması arasında yapılan bir anlaşma ile protez ve takma dişler 3 boyutlu üretim teknolojisi ile üretilmeye başlanmıştır. Böylece önceden el işçiliği ile yapılan mum model hazırlama işi otomatik hale getirilmiştir (Özüğür, 2006).

2.5. Üç Boyutlu Yazıcı Cihazı Kullanımının Avantaj ve Dezavantajları

3 boyutlu yazıcı kullanımının avantajları şunlardır;

- Çok hızlı ve seri bir şekilde üretim yapar ve zamandan tasarruf sağlar.
- Herhangi bir destek veya kalıp yapısına ihtiyaç yoktur.
- Çok çeşitli malzemeler kullanılabilir ve malzeme israf olmaz.
- Tasarımcıların daha özgün tasarımları inşa edebilmelerini sağlar.

- Hızlı bir şekilde prototip üretimi ile üretilen parçaların fonksiyonellik ve uygunluk testleri yapılabilir.
- Üretilen parçalar yapı kısmı veya kalıp olarak kullanılabilir.
- Kişiyeye özel ürünler imal edilebilir.
- Geleneksel imalat yöntemleri ile çok zor veya imkansız geometrideki parçalar çok kolay ve otomatik olarak üretilebilir.

3 boyutlu yazıcı kullanımının dezavantajları şunlardır;

- Plastik malzeme kullanıldığında ısı işlem sırasında parçalarda çok fazla çekme olmaktadır.
- Parçaların katmanlı inşa edilmesinden dolayı yüzey pürüzlülüğü çok fazladır.
- 3 boyutlu yazıcı cihazları belli hacimlerdeki parçaları imal edebilmektedir.

2.6. Üç Boyutlu Yazıcı Cihazı Çalışma Prensibi

Kullanılan malzeme ve donanım özelliklerine göre çok çeşitli 3 boyutlu yazıcı cihazları mevcuttur. Buna rağmen tüm yazıcı cihazları, parçayı katmanlı üretim teknolojisini kullanarak imal etmektedir. Genel olarak bir katmanlı üretim süreci Şekil 2.5'te verilmiştir.



Şekil 2.5. Bir 3D CAD modelin katmanlı üretim süreci (Campbell, 2011).

Tüm yazıcı cihazlarının parçayı imal etme aşamaları aşağıda sıralandırılmıştır (Kara, 2013) ;

- A. 3 Boyutlu CAD Modelin Oluşturulması
- B. Veri Transferi ve Parçanın Dilimlendirilmesi

- C. Parçanın Katmanlı İnşa Edilmesi
- D. Son İşlemler

2.6.1. Üç boyutlu CAD modelin oluşturulması

3 boyutlu yazıcı cihazları 3 boyutlu modelleme programlarını zorunlu kılmaktadır. Yazıcı cihazında üretilecek olan parça herhangi bir CAD programında tasarlanmalıdır. CAD programında hazırlanılmış modelin katı model olması veya her tarafı kapalı yüzey modelli olması zorunludur. Çünkü model üzerinde herhangi bir açıklık bulunması durumunda 3 boyutlu yazıcı cihazı gerekli verileri elde edememektedir. Üretilecek olan parçanın açık hacme sahip CAD modeli 3 boyutlu yazıcı cihazlarında geçerli değildir (Ermurat, 2002).

2.6.2. Veri transferi ve parçanın dilimlendirilmesi

Herhangi bir CAD programında hazırlanılmış modeller 3 boyutlu yazıcı cihazları için STereoLithography (STL) dosya formatına çevrilir. Tüm 3 boyutlu modelleme programları, tasarlanan modeli kendi ara yüzlerinde STL dosya formatına çevrilebilmektedir. STL dosyaları modellenen parçanın dış yüzey geometrisini küçük üçgen yüzeyler kullanarak oluşturur. Modelin düz yüzeyleri daha az sayıda üçgen yüzey ile oluşturulurken, eğri yüzeyler daha fazla sayıda üçgen yüzeylerden oluşmaktadır (Çelik, vd., 2013).

2.6.3. Parçanın katmanlı inşa edilmesi

3 boyutlu yazıcı esas işlemini bu aşamada gerçekleştirmektedir. Bu aşamada bir çok teknikten biri kullanılarak üretilen parça, fiziksel şeklini kazanmakta ve model üretilerek ortaya çıkmaktadır. 3 boyutlu yazıcı cihazının ağız kısmı X, Y ve Z doğrultusunda hareket eder. Üretilecek parçayı Z doğrultusu boyunca katman katman inşa eder.

2.6.4. Son işlemler

Üretilen parça yazıcı cihazından uzaklaştırılır ve varsa destek malzemelerinden ayrılır. Parçanın yüzeyi temizlenebilir, işlenebilir veya boyama gibi işlemler yapılabilir.

2.7. Üç Boyutlu Yazıcı Cihazında Kullanılan Malzemeler

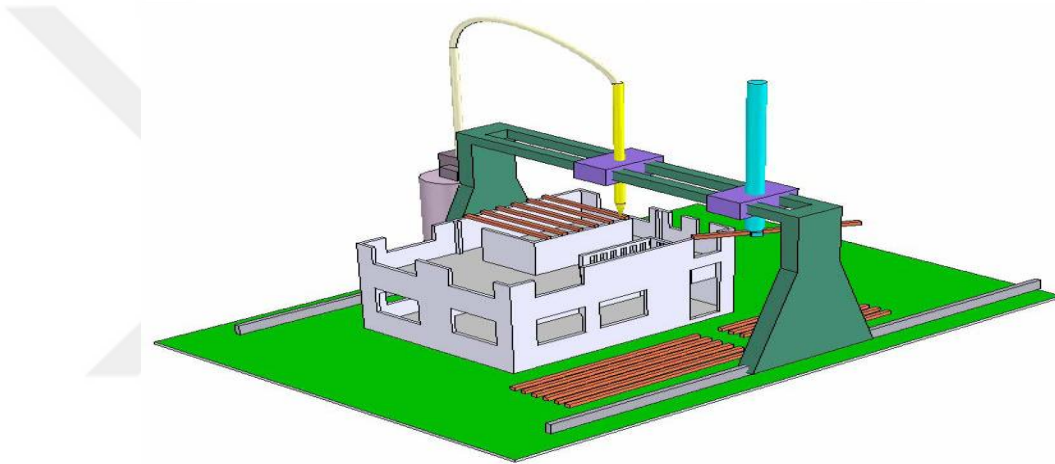
3 boyutlu yazıcı cihazlarında kullanılan malzemeler başlangıçta katı, sıvı veya toz halde bulunmaktadır. Yazıcı cihazında kullanılan malzemeler ve kullanılan malzemelere göre yazıcının çalışma esası aşağıda verilmiştir (Çelik, vd., 2013) ;

- Karbonfiber, poliamid, alüminyum katkılı poliamid, polistren, polikarbonat, kobalt, nikel, krom, paslanmaz çelik, titanyum ve seramik malzemelerinin tozlarını yazıcı cihazı CO₂ lazer ile sinterleyerek parça üretmektedir.
- Polipropilen, epoksi, akrilik ve reçine bazlı malzemeleri yazıcı cihazı UV ışını ile katılaştırarak parça üretimini gerçekleştirmektedir.
- ABS, polipropilen, polikarbonat ve hassas döküm mumunu yazıcı cihazı ekstrüzyonla yığma çalışma esasına göre parça üretimi gerçekleştirmektedir.
- Köpük, plastik, kağıt, metal tozu ve seramik tozu ile emdirilmiş malzemelerin tabakalarını yazıcı cihazı lazerle kesip yapıştırarak parça üretmektedir.
- Fotopolimer, akrilik ve mum malzemelerini yazıcı cihazı foto maskeleme ve UV ışını kullanarak katılaştırma çalışma esasına göre parça üretmektedir.
- Mum, parafin ve termopolimer malzemelerini kullanan yazıcı cihazı çok jetli püskürtme ve UV ışınları ile katılaştırarak parça üretimini gerçekleştirir.
- Yüksek performanslı kompozit malzemeler, bağlayıcı malzeme ile toz bağlama ve kurutma çalışma esasına göre çalışan yazıcı cihazı ile parça üretilmektedir.
- Akrilik gibi termoplastik malzemeler kullanan yazıcı cihazı fotopolimer püskürtme ve UV ışınları ile katılaştırma çalışma esasına göre parça üretmektedir.
- Titanyum, kobalt, krom ve seramik tozu malzemelerini yazıcı cihazı elektron ışınları gitme yöntemi ile parça üretmektedir.
- Plastik, metal ve seramik tozu malzemelerini 3 boyutlu yazıcı cihazı malzemenin yığılması ve CNC ile işlenmesi ile parça üretimini gerçekleştirmektedir.

3. OTOMATİK YAPI ÜRETİM TEKNOLOJİSİ

3.1. Otomatik Yapı Üretim Teknolojisi

Otomatik yapı üretim teknolojisi büyük ölçekli parçaları, katmanlı üretim yöntemini kullanarak bilgisayar kontrolü altında inşa eden otomatik üretim teknolojisidir. Bu teknolojiyi, diğer katmanlı üretim yöntemlerinden farklı olarak yapılarda kullanılabilir. Ayrıca kalıp kullanmadan daha düzgün dış yüzeyler oluşturur, daha yüksek üretim hızına sahiptir ve çok çeşitli malzemelerin kullanılması imkanı vardır. Otomatik yapı üretim teknolojisi robotik temellidir. Bu teknolojiye 3 boyutlu beton yazıcı cihazı kullanılmaktadır (Khoshnevis, 2004).



Şekil 3.1. Şematik olarak otomatik yapı üretim teknolojisi (Khoshnevis, 2004).

Dünya, otomatik sistemler teknolojisi doğrultusunda ilerlemektedir. Gelecekte binaların tüm aşamalarının makinalar tarafından yapılacağı, büyük sanayilerin tüm süreçlerinin bilgisayarlar tarafından gerçekleştirileceği bir zaman olacaktır. Örneğin bir binanın su tesisatı, betonarmesi ve elektrik tesisatı, otomatik yapı üretim teknolojisi tarafından yapılabilecektir. Bu teknoloji üretkenliğinin ve verimliliğinin yüksek olması, malzeme israf etmeden birkaç saat içinde evler inşa edebilmesi sebebiyle inşaat sektöründe büyük bir potansiyele sahiptir (Fernandes ve Feitosa, 2015).

Otomatik yapı üretim teknolojisinde kalıp kullanılmaması nedeniyle geleneksel imalat yöntemleri ile yapılması imkansız mimari tasarımlar inşa edilebilir. Bu teknoloji katı modelleme programlarının inşaat sektöründe kullanımını daha da yaygın hale getirmekte ve özgün mimari tasarımların inşa edilmesini sağlamaktadır. Özgün mimari

tasarımların yapılabirliğinin sağlanması sayesinde inşa edilen yapılardan daha yüksek performans elde edilebilecek ve geleneksel imalat yöntemlerine göre maliyet daha düşük olacaktır (Buswell, vd., 2007).



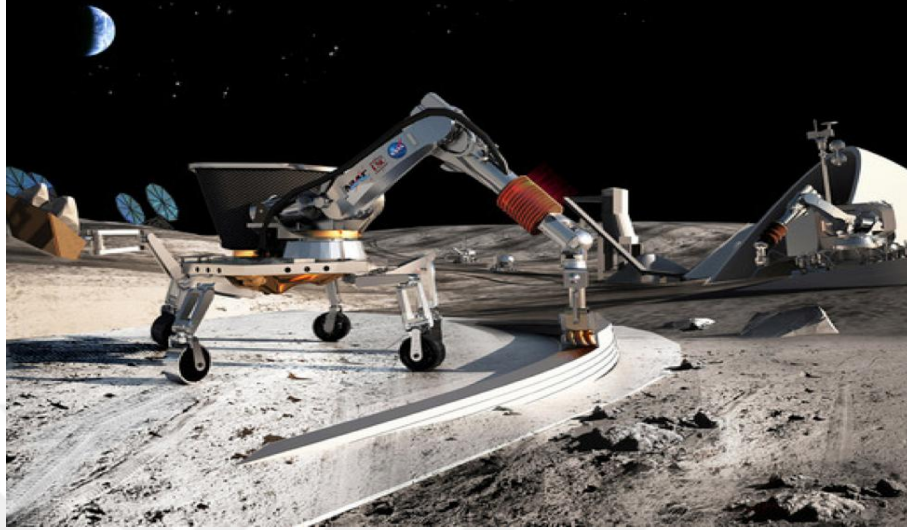
Şekil 3.2. Üç boyutlu beton yazıcı cihazı (yhbm, 2016).

3.2. Otomatik Yapı Üretim Teknolojisi Tarihçesi

Otomatik yapı sistemlerinin kullanımına yirminci yüzyılın seksenli yıllarında tam bir bina inşa etmek için Japonya'da başlanmıştır. Çelik ve betonarme yapılar için farklı otomasyon sistemleri geliştirilmiştir. Japon inşaat şirketleri robotların inşaat işlerinde kullanılmasını sağlamak için büyük yatırımlar yapmışlardır. Çeşitli robotik sistemler bir bina inşa etmek için bir araya getirilmiştir. Bu sistemler bina fabrikaları olarak adlandırılmıştır. 1990 yılında otomatik yapı sistemleri kullanılarak tüm bir binanın yapım işlemi gerçekleştirilmiştir. Bilgisayarlı otomasyon sistemleri ve robotlar kullanılarak prefabrik yapı elemanları birleştirilmiştir. 2000'li yılların başlarında otomatik yapı üretim sistemleri için yeni bir yöntem keşfedilmiştir. Bu yöntem 3 boyutlu beton yazıcılar aracılığıyla katmanlı üretim teknolojisini kullanarak bina inşa etme yöntemidir. Kullanılan malzeme ince tabakalar halinde üstüste eklenerek yapı oluşturulur (Nekrep ve Vdovic, 2013).

Otomatik yapı üretim teknolojisi 2000'li yılların başlarında Behrokh Khoshnevis tarafından geliştirilmiştir. Khoshnevis 2010 yılında Ay ve Mars yüzeyinde üs yapımında bu teknolojinin kullanılabilirliğini belirtmesi NASA tarafından değerlendirilmiştir. 2013

yılında NASA bu teknolojinin gelişmesi için Khoshnevis'e finansal destek sağlamıştır (Contourcrafting, 2016).



Şekil 3.3. Otomatik yapı teknolojisinin ayda kullanımı planlanması (Khoshnevis, 2012).

3.3. Beton Harç Baskı Süreci

Beton harç baskı süreci 3 aşamada gerçekleşmektedir. Bu aşamalar, veri hazırlama, beton harç malzemesinin hazırlanması ve 3 boyutlu beton yazıcı ile harç baskının inşa edilmesi aşamasıdır. Veri hazırlama aşamasında bir eleman 3D CAD model olarak tasarlanılır ve bir STL dosya formatı biçimine dönüştürülür. Daha sonra istenilen katman kalınlığında dilimlenir.



Şekil 3.4. Üç boyutlu beton yazıcı ile beton baskı (totalkustom, 2016).

Beton harç malzemeleri karıştırılarak hazırlanır ve yazıcı cihazının beton tankına yerleştirilir. Taze haldeki beton harç pompalanarak boru sistemi ile yazıcının pompa ağzına iletilir. Yazıcının pompa ağzı bilgisayar kontrolü altında X, Y ve Z doğrultularında hareket ederek tasarlanmış elemanı katman katman inşa eder. Yapılan deneyler beton harç baskı sürecinin en kritik özelliklerinin taze haldeki beton harcın pompa ağzından sorunsuz çıkabilmesi ve inşa edilebilir olması gerektiğini göstermiştir (Le, vd., 2012).

3.4. Otomatik Yapı Üretim Teknolojisinin Avantaj ve Dezavantajları

Otomatik yapı üretim teknolojisinin geleneksel inşaat yöntemlerine göre sağladığı avantajlar aşağıda verilmiştir (Fernandes ve Feitosa, 2015). Bunlar;

- Geleneksel inşaat yöntemlerinde malzeme ve işçilik giderleri, atık malzeme oluşumu ve uzun inşa süreci inşaat maliyetini arttırmaktadır. Buna ek olarak daha karmaşık bir projede maliyetler daha da artabilmektedir. Otomatik yapı üretim teknolojisinde ise işçilik giderlerinin düşmesi, malzeme tasarrufu sağlanması ve inşaat sürecini kısaltması nedeniyle inşaat maliyetini yaklaşık 4 kat azaltabilir. Örneğin bir günde 10 ev inşa edilebilir. Bu teknoloji sayesinde maliyet açısından çok fark olmadan özgün projeler inşa edilebilir.
- Geçmişten günümüze inşaat sektörü hala insan gücüne dayalıdır. Bu teknolojinin en büyük avantajı inşaat sahasında az sayıda işçinin kullanılmasıdır. Sadece makinanın yerleştirilmesi ve çalıştırılması için bir kaç sayıda işçi yeterlidir.
- İnşaat sektörü en tehlikeli sektörlerden biridir. Özellikle büyük yapıların inşası esnasında birçok işçi ciddi bir şekilde yaralanmakta veya hayatını kaybetmektedir. Otomatik yapı üretim teknolojisi çok güvenli bir inşa yöntemidir. Bu teknolojide işçi yaralanmaları ve ölümcül kaza oranı sıfıra yakındır. İnşa aşamasında tüm süreç bilgisayar tarafından yönetilmekte ve sadece birkaç işçi kullanılmaktadır. Bu sebeple inşa aşamasında tehlike asgari seviyededir.
- Geleneksel inşaat yöntemlerinde çok miktarda atık malzeme ortaya çıkmakta ve çevre kirliliğine neden olmaktadır. Otomatik yapı üretim teknolojisinde çok az

miktarda atık malzeme oluşmaktadır. Ayrıca 3 boyutlu beton yazıcı cihazı az bir enerji ile sessiz ve çevreye zehirli gaz salımı yapmadan çalışmaktadır.

- Otomatik yapı üretim teknolojisi geleneksel inşa yöntemlerine göre bir yapıyı çok daha hızlı inşa etmektedir. Ayrıca bu teknolojiye kalıp kullanılmaması inşa sürecini oldukça kısaltmaktadır. İnşaat süreci bilgisayar kontrolü altında gerçekleşmesinden dolayı yapım hatası oranı sifira yakındır.
- 3 boyutlu beton yazıcı cihazları yorulmadan günde 24 saat boyunca çalıştırılabilir. Bu durum işlerin gecikmesini engeller, iş programını hızlandırır.
- Geleneksel inşaat yöntemlerinde özellikle kalıp kullanılmasından dolayı özgün tasarımları inşa etmek daha zordur ve daha maliyetlidir. Otomatik yapı üretim teknolojisinde kalıp kullanılmamasından dolayı farklı geometrideki özgün tasarımlar daha düşük bir maliyetle inşa edilebilir.

Otomatik yapı üretim teknolojisinin geleneksel inşaat yöntemlerine göre dezavantajları aşağıda verilmiştir (Fernandes ve Feitosa, 2015). Bunlar;

- Otomatik yapı üretim teknolojisinin ilk yatırım maliyeti yüksektir. 3 boyutlu beton yazıcı cihazının şu anki maliyeti yüksek olup bu teknolojinin gelişmesiyle ve kullanımının artmasıyla maliyetin düşeceği belirtilmektedir.
- Bu teknolojiye kullanılacak malzemelerin türü ve özellikleri; 3 boyutlu beton yazıcıda kullanıma uygun olmalı, inşa edilebilir olmalı ve malzeme maliyeti uygun olmalıdır.



Şekil 3.5. Geleneksel inşaat yöntemlerinde işçi kullanımı (Fernandes ve Feitosa, 2015).



Şekil 3.6. Üç boyutlu beton yazıcı ile birkaç işçi kullanılarak bina yapımı (Fernandes ve Feitosa, 2015).

3.5. Otomatik Yapı Üretim Teknolojisi Hakkında Literatür Çalışması

Khoshnevis (2004), yaptığı çalışmasında otomatik yapı üretim teknolojisinin seri bir şekilde hızlı bir bir üretim yapılabilmesi ve farklı malzemelerin kullanılabilmesi sebebiyle acil uygulamalar, düşük maliyetli ev ihtiyacı ve acil barınma yapıları ihtiyacını karşılamada büyük bir avantaj sağlayabileceğini belirtmiştir. Bu teknoloji sayesinde geleneksel inşaat yöntemleriyle birkaç ayda yapılacak bir binanın, birkaç saat içerisinde inşa edilebileceğini, örneğin 200 m² 'lik 2 katlı bir binanın 2 günden daha az bir sürede inşa edilebileceğini belirtmiştir. Ayrıca tipik bir aile evi inşaatında yaklaşık olarak 3 ile 7 tonluk atık oluştuğunu, bu teknoloji ile hiç ya da çok az malzeme kaybının olduğunu ve malzeme tasarrufu sağlandığından bahsetmiştir.

Lim ve diğerleri (2011), yaptıkları çalışmada 3D-CAD model olarak tasarladıkları bir beton elemanı, 3 boyutlu beton yazıcı cihazı ile üretmişler ve beton baskı sürecini değerlendirmişlerdir. Beton baskı sürecinde karşılaşılan zorlukları ve sınırlamaları gözlemlemişlerdir. Çimento ve alçı malzemeleri kullanarak beton harç hazırlamışlardır. Baskı işlemlerinde 4 mm ile 22 mm arasında çeşitli çaplarda pompa ağzı kullanılmıştır. Sonuç olarak 0,80m yükseklikte ve bir ton ağırlığında tasarlanmış beton elemanı oluşturabilmişlerdir. Geleneksel inşaat yöntemleriyle inşa edilmesi mümkün olmayan fonksiyonel boşlukları kalıp kullanmadan üretebilmişlerdir. Bir lazer tekniği ile basılmış elemanın yüzeyi taranarak yüzey çözünürlüğü 3D-CAD modeli ile karşılaştırılmış ve oluşan yüzey deformasyonlarını tespit etmişlerdir.

Le ve diğeri (2012), yaptıkları çalışmada 3 boyutlu beton yazıcı cihazında kullanılabilir özellikte bir beton harç karışımı belirlemeye çalışmışlardır. Harç karışımlarının çimento, uçucu kül, silis dumanı, kum ve polipropilen lif malzemelerini kullanarak hazırlamışlardır. Bu malzemelerle farklı oranlarda karıştırılarak hazırlanan harçlar, 3 boyutlu beton yazıcı cihazının pompa sisteminde test edilmiştir. Sonuç olarak pompa ağzından sorunsuz çıkabilen, kopmalar olmadan sürekli filamentler oluşturabilecek, inşa edilebilir, sıkılabilir ve işlenebilir uygun kıvamda olan beton harç karışımını tespit etmişlerdir. Uygun beton harç karışımı 3:2 kum:bağlayıcı oranı ile %70 çimento, %20 uçucu kül, %10 silis dumanı ve $1,2 \text{ kg/m}^3$ oranında polipropilen lif içermektedir. Agrega olarak kullanılan ince kumun ve $1,2 \text{ kg/m}^3$ polipropilen lifin pompa sisteminde tıkanmalara yol açmadığını gözlemlemişlerdir.

Khoshnevis ve diğeri (2012), yaptıkları çalışmada otomatik yapı üretim teknolojisini kullanarak Ay ve Mars yüzeyinde üs kurmak ve alt yapı tesislerini oluşturmak için bir simülasyon planı hazırlamışlardır. Amaçları robotik inşaat teknolojisini kullanarak Ay ve Mars yüzeyinde hızlı bir şekilde işletimsel faaliyeti yüksek, en uygun mimaride bir üs kurabilmektir. Bu teknoloji kullanılarak termal radyasyon ve mikro meteorlardan korunmak için hangar yapımı, iniş pisti ve apron yapımı, yollar ve yüksek duvarların yapımı planlanılmıştır. Sonuç olarak otomatik yapı üretim teknolojisi Ay toprağı olan regolit malzemesini sülfür ile sinterleyerek üs yapımı ve alt yapı tesisi inşasında kullanılabilirliğini laboratuvar koşullarında tespit etmişlerdir. Böylece zamandan, enerjiden, maliyetten, ağır ve tehlikeli işlerde astronot kullanımından tasarruf edilebileceğini belirtmişlerdir.

Nekrep ve Vdovic (2013), yaptıkları araştırmada katmanlı üretim teknolojisinin inşaat sektöründe büyük bir potansiyele sahip olduğunu, özellikle yerel malzemelerin kullanım olasılığının uygun fiyatlı ev alımları ile sonuçlanabileceğini belirtmişlerdir. Bu teknoloji sayesinde yapı elemanı detaylarının, duvarların ve katların en uygun mimaride tasarlanabileceğini ifade etmişlerdir. Ayrıca 3 boyutlu beton yazıcı cihazında kullanılacak yapısal malzemenin uygun kriterlerde olması gerektiğini belirtmişlerdir.

Lilliman ve diğeri (2014), yaptıkları çalışmalarında daha fazla mimari özgürlük, daha iyi yapı kalitesi ve daha düşük bir maliyetle beton yapılar inşa edilemek için inşaat ölçekli katmanlı üretim teknolojisini, geleneksel inşaat yöntemlerine bir alternatif olabileceğini belirtmişlerdir. 3 boyutlu beton baskı sürecinde

en kritik parametrenin beton harcın reolojisi olduğundan bahsetmişlerdir. Beton harcın bir katman üzerine basıldığında şeklini koruması ve katmana tutunması gerektiğini, katmanlar arası yapışkanlığını koruması gerektiğini ve basılan beton elemanın dayanımının maksimum olması gerektiğini belirtmişlerdir.

Fernandes ve Feitosa (2015), yaptıkları araştırmada otomatik yapı üretim teknolojisinde kullanılacak taze haldeki beton harç ile ilgili kritik özellikleri belirtmişlerdir. Beton harcın baskı işlemi boyunca sıkılabilir olması, pompalanabilir olması ve gerekli dayanımda olması gerektiğini belirtmişlerdir. Ayrıca taze haldeki beton harç sıkıldığında konumunu ve şeklini koruması, üstüne eklenecek katmanları destekleyecek kadar sert olması, artarda dökülebilmesi ve yapısını koruyacak mukavemete sahip olması gerektiğini belirtmişlerdir.

4. BETON YAZICIDA KULLANILAN MALZEMELERİN ARAŞTIRILMASI

4.1. Çimento

4.1.1. Çimento tanımı ve tarihçesi

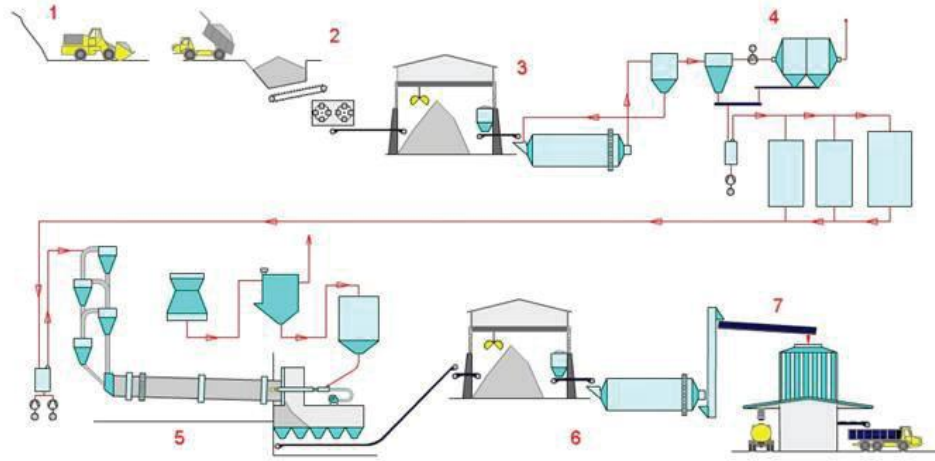
Çimento, kalker ile kireç taşlarının karışımının özel fırınlarda yüksek sıcaklıkta pişirilip daha sonra ezilerek öğütülmesi ile elde edilen bir malzemedir. Çimento malzemesi, beton veya harçlarda kum, çakıl, kırmataş gibi agregaları bir arada tutmak için kullanılmaktadır. Su ile tepkimeye girerek bağlayıcı özellik kazanması nedeniyle ‘‘hidrolik bağlayıcı’’ olarak adlandırılmaktadır. Çimento su ile karıştırılıp hamur haline geldikten sonra priz alarak katılaşmaya başlar (Özdemir, 2009).

Dünyada ilk Portland çimentosu üretimi, Joseph Aspdin tarafından 1824 yılında İngiltere’de Leeds kentinde yapılmıştır. İnce taneli kalker taşı ve kil karışımını pişirdikten sonra öğütülerek Portland çimentosunu imal etmiştir. Üretilen çimentonun renk ve özellikleri Leeds kenti yakınlarındaki Portland isimli adadan getirilen doğal yapı taşına benzemesinden dolayı adına Portland çimentosu denilmiştir. Ancak çimentonun yeterli sıcaklıkta pişirilmemesinden dolayı olumsuz (yetersiz) bazı tarafları görülmüştür. 1845 yılında Isaac Johnson, Portland çimentosunu iyi pişirme işleminden geçirerek özelliklerini geliştirmiş ve günümüzde dünyanın her yerinde kullanılır hale getirmiştir. 1845 yılından beri üretilmekte olan çimento, günümüzde de en önemli yapı malzemelerinden biri olup çimento üretim teknolojisinde de önemli gelişmeler yaşanmıştır. Yaş öğütme sisteminden kuru öğütme sistemine geçilmesi ile enerjide büyük tasarruf sağlanmıştır. Ayrıca bu durum çimento kalitesinde artmasını sağlamıştır (MTA, 2012).

4.1.2. Çimento üretimi aşamaları

Çimento malzemesini oluşturan kalker taşı ve kilin belirli oranlarda homojen bir karışım elde edilmesi için iki yöntem kullanılabilir. Bunlar yaş ve kuru yöntemdir. Dünya genelinde çimento üretiminde %90 kuru yöntem kullanılmaktadır. Bunun sebebi kuru yöntemin yaş yönteme göre çok daha fazla yakıt tasarrufu sağlamasıdır. Portland çimentosu klinkeri kalker taşı ve kilin uygun oranlarda karıştırılıp döner fırında yüksek sıcaklıkta sinterleşinceye kadar kızdırılması ile elde edilmektedir. Portland çimentosunun yaklaşık %90’ı CaO, SiO₂, Al₂O₃ ve Fe₂O₃ gibi temel bileşenlerden ve yaklaşık %10 kadar da MgO, SO₃ ile K₂O, Na₂O gibi alkali oksitlerden oluşmaktadır.

Portland çimentosu üretiminde her bir bileşenin kütleli oranı belirli sınırlar içinde tutulmalıdır. Şekil 4.1’de çimento üretim aşamaları gösterilmiştir. Çimento üretim aşamaları sırasıyla şu şekildedir;



Şekil 4.1. Çimento üretim aşamaları (MTA, 2012).

- 1- Kullanılacak ham madde ocaktan çıkarılarak nakil araçlarına yüklenir ve kırma işlemi için konkasörlere (taş kırıcılara) taşınır.
- 2- Konkasörde kırılan ham maddeler stoklanır.
- 3- Vinçler aracılığıyla stok halden alınan ham maddeler belirli oranlarda karıştırılıp farin değirmenlerine aktırılarak öğütülür.
- 4- Farin adını alan karışım farin stoklarında pişirilme işlemine hazır olarak stoklanır.
- 5- Ön ısıtıcılardan geçerek döner fırına aktarılan farin yaklaşık olarak 1400-1500 °C derecede pişirilir.
- 6- Bu aşamada döner fırından çıkan klinker malzemesi yarı mamül üründür ve soğutucuda soğutulur. Daha sonra alçı taşı ile üretilecek çimento tipine uygun katkı malzemeleri ile çimento değirmenlerinde öğütülür.
- 7- Çimento tiplerine göre stoklanmış çimento torbalı veya dökme çimento olarak satılır (MTA, 2012).

4.1.3. Çimento çeşitleri

Çimento belirli standartlara göre üretilmektedir. Avrupa’da genel çimentolar için hazırlanan ve birçok çimento türüne yer verilen EN 197-1 standardı kullanılmaktadır.

Bu standart Türkiye'de doğrudan kabul edilmiş olup ‘‘Genel kullanım amaçlı çimentolar’’ standardı TS EN 197-1 olarak yayınlanmıştır. TS EN 197-1’de yeni genel çimentolar ‘‘CEM çimentosu’’ olarak adlandırılmakta ve 5 ana tip içerisinde toplanmaktadır. Bu 5 ana tip şunlardır;

CEM I (Portland Çimentosu) : Klinker malzemesinin ağırlıkça en fazla %0-5 arasında kalsiyum sülfat ve minor bileşenler ile öğütülerek Portland çimentosu elde edilir. Yapılarda en yaygın kullanılan tiptir.

CEM II (Portland Kompoze Çimento) : İlave edilen mineral katkı miktarı %6 ile %35 arasındadır. Katkı türüne göre Portland cürufllu çimento veya Portland puzolanlı çimento olarakda adlandırılmaktadır.

CEM III (Portland Yüksek Fırın Cürufllu Çimento) : Yüksek fırın cürufu içeren çimentolardır. Katkı miktarı %36 ile %95 arasındadır.

CEM IV (Puzolanik Çimento) : Bu tip çimentolarda cüruf veya kalker malzemesi, katkı malzemesi olarak kullanılmaktadır. Puzolan ve uçucu kül katkı malzemeleri ile katkı madde oranı %11 ile %55 arasındadır. Puzolan malzeme kullanımı çimento malzeme maliyetini düşürmektedir.

CEM V (Kompoze Çimento) : Bu tip çimentolarda klinker oranı %20 ile %64 arasındadır. %18 ile %50 oranında cüruf ve %18 ile %50 arasında puzolan ve uçucu kül malzemesi içermektedir (Yeniboğanlı ve Ertün, 2009).

Bu 5 ana tip CEM çimentolarının kapsadığı 27 alt çeşit çimento tipi bulunmaktadır. Ayrıca TS EN 197-1 standartında genel kullanım amaçlı çimentoların haricinde özel kullanım için üretilen 5 çeşit çimento tipi daha bulunmaktadır. Bunlar;

Sülfata dayanıklı çimentolar : C_3A (trikalsiyum alüminat) miktarı en fazla %5 olan ve $CaSO_4$ (kalsiyum sülfat) ile birlikte öğütülerek elde edilen çimento tipidir.

Beyaz Portland çimentosu : Bu çimento tipi esas olarak Portland çimentosu olup renginin beyaz olması farkı vardır. Özel nitelikte olan kil ile kireç taşının birlikte pişirilerek üretilen beyaz klinkerin bir miktar $CaSO_4$ (kalsiyum sülfat) ile öğütülerek elde edilir.

Yüksek fırın cürufu katkılı, düşük erken dayanımlı çimentolar : Hidrotasyon gelişimi yavaş, erken dayanımı düşük olan yüksek fırın cürufu ilaveli çimentolardır.

Harç çimentosu (Çimento-kagirde kullanım için): Portland çimentosu klinkeri içeren, ince öğütülmüş hidrolik bağlayıcıdır. Sadece kum ve su ile karıştırılarak sıva, duvar ve kaplama gibi işler için harç yapımında kullanılmaktadır.

Çok düşük hidrotasyon ısıli özel çimentolar : Hidrotasyon gelişimi yavaş olup barajlarda ve kütle beton uygulamalarında kullanılan dayanım ve kararlılığını su altında bile koruyup geliştirilebilen bir çimento tipidir (Yeniboğanlı ve Ertün, 2009).

4.1.4. Çimento çeşitlerinin kullanım alanları

Portland çimento : En yaygın bilinen çimento tipi olup genel kullanım amaçlıdır. Yüksek dayanım gerektiren veya ilk dayanımın yüksek olması istenilen her türlü betonarme yapılarda kullanılmaktadır.

Portland kompoze çimento : Her türlü betonda, betonarme yapılarda ve amaçla kullanılmaktadır. Portland çimentosuna göre hidrotasyon ısısi daha düşüktür.

Yüksek fırın cürufllu çimento : Her türlü betonda, betonarme yapılarda ve genel amaçla kullanılmaktadır. Orta derece sülfat içeren zeminler, arıtma tesisleri, barajlar, kıyı ve liman inşaatları, betonarme boruları, yol kaplama betonları, tünel kaplamaları, temeller ve istinat duvarlarında kullanılmaktadır.

Kompoze çimento : Baraj, arıtma tesisleri, temeller ve istinat duvarları, duvar ve sıva harçlarında, yapı kimyasallarında kullanılmaktadır.

Beyaz Portland çimento : Beyaz renkte olmasından dolayı daha çok mimari amaçla dekorasyon gerektiren beton işlerinde kullanılmaktadır. Yüzey düzgünlüğü yüksek olup en az %85 beyazlık oranına sahiptir.

Beyaz Portland kalkerli çimento : Beyaz renkte olmasından dolayı daha çok mimari estetik amaçlı yapılarda kullanılmaktadır. Çok daha ince taneli olması sebebiyle yüzey düzgünlüğü daha yüksektir (Erdem, 2015).

4.1.5. Çimento hakkında literatür çalışması

Issai ve diğerleri (2003), yaptıkları çalışmada Portland çimentosuna puzolan ilave ederek betonun mekanik dayanımına ve durabilitesine olan etkisini araştırmışlardır. Deneylerde kullanılacak numuneler tekli, ikili veya üçlü olarak uçucu kül, pirinç kabuğukülü ve kireçtaşı malzemeleri Portland çimentosuna ilave edilerek hazırlanılmıştır. 0.35, 0.50 ve 0.65 su/karışım oranlarında 12 adet farklı beton

karışımları elde edilmiştir. Basınç dayanımı ve özgül ağırlık deneyleri yapılmış, ayrıca zamanla reaksiyona giren su miktarı ölçümünü yapmışlardır. Sonuç olarak puzolan ilavesinin, basınç dayanımını arttırdığını ve hidrotasyon hızını yavaşlattığını tespit etmişlerdir.

Çelik ve diğerleri (2004), yaptıkları çalışmada farklı puzolanik katkı malzemelerinin çimento harçlarının mekanik özelliklerine etkilerini araştırmışlardır. Soma termik santralinden temin edilen uçucu kül, Bilecik ve Yenişehir'den iki farklı tras ile silis dumanı malzemelerini ağırlıkça çimento klinkeri ile yer değiştirerek numuneleri hazırlamışlardır. Ağırlıkça %5 oranında silis dumanı içeren çimentoya %10 uçucu kül ilave edilmiş ve tras oranları %30, %35 ve %40 olarak klinkere eklenmiştir. Bu karışımların Blaine özgül yüzey alanları ölçülmüş ve basınç deneyi yapılmıştır. Sonuç olarak Bilecik trasının kullanıldığı çimentonun dayanımının daha yüksek olduğunu tespit etmişlerdir. Ayrıca Blaine özgül yüzey alanının yüksek olmasının basınç dayanımına artırdığını belirtmişlerdir.

Çelik (2005), yaptığı çalışmasında farklı katkı türleri değişik oranlarda Portland çimentosuna ilave ederek hazırladığı puzolanik çimentonun, çevresel koşullar altında dayanım ve dayanıklılık özelliklerini incelemiştir. Tras, yüksek fırın cürufu ve uçucu kül katkı malzemelerini Portland çimentosuna %9, %14 ve %19 oranlarında ilave ederek dokuz farklı tipte çimento üretmiştir. Bu çimentolar kullanılarak hazırlanan harçlar donma-çözünme, ıslanma-kuruma ve normal kür etkisine maruz bırakılarak katkısız Portland çimentosu ile karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak erken yaşlarda katkılı çimentoların dayanımı katkısız çimentoya göre düşük çıkmıştır. 28 günlük numunelerde %14 ve %19 yüksek fırın cürufu harçların dayanımı ile %9 uçucu kül katkılı harç dayanımı, katkısız harç dayanımına göre daha fazla olduğunu tespit etmiştir. Ayrıca donma-çözülme ve ıslanma-kuruma etkisine maruz bırakılan harç numunelerden en iyi performansın %9 uçucu kül katkılı harç olduğunu belirtmiştir.

Karahan ve diğerleri (2005), yaptıkları çalışmada iki farklı Portland çimentosu kullanarak hazırladıkları betonların dayanımının üzerine zaman ve kür etkisini araştırmışlardır. Deneylerde Portland Kompoze çimentonun türü olan PKÇ/B-32,5 R çimento ile puzolan katkısız olan PÇ-42,5 çimento türünü kullanmışlardır. Numuneler iki farklı çimento için 250, 300 ve 350 kg/m³ dozajında ve 0.75, 0.62 ve 0.53 su/çimento oranlarında hazırlanmıştır. Numuneler suda küre, havada küre ve sıcaklığı ortam

sıcaklığı ile değişen kaplarda küre bırakılmıştır. Numunelerin 2 günlük, 7 günlük, 28 günlük, 180 günlük ve 360 günlük basınç dayanımları karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak 2 günlük PKÇ/32,5 R numunesinin dayanımının PÇ 42,5 R'ye göre çok kötü olmadığını belirtmişlerdir. 28 günlük numunelerde iki çimentonun dayanımı arasındaki farkın %20 olduğu ve bu farkın 180 ve 360 gün sonunda korunduğunu tespit etmişlerdir. PKÇ/32,5 R çimentosunun PÇ 42,5 çimentosuna göre daha fazla suya ihtiyaç duyduğunu gözlemlemişlerdir.

Girginkardeşler (2008), yaptığı çalışmada farklı çimento cinslerinin harçların dayanım ve dayanıklılığına etkisini araştırmıştır. Beş farklı çimento cinsine ağırlıkça %5, %9 ve %14 oranında çimentodan daha ince öğütülmüş yüksek fırın cürufu ilave edilerek 0.65 su/çimento oranında ve %0.4 süper akışkanlaştırıcı oranında 15 adet harç numunesi hazırlanmıştır. Su emme, özgül ağırlık, eskitme deneyleri ve basınç ve eğilme dayanımı deneyleri yapılmıştır. Sonuç olarak çimentoların özgül yüzeyi yüksek olan harç numunelerinin özgül yüzeyi düşük harç numunelerine göre dayanımlarının daha yüksek olduğunu tespit etmiştir. Kimyasal katkının ve cüruf malzemesinin taze haldeki harçların özelliklerini olumlu yönde değiştirdiğini belirtmiştir.

4.2. Diatomit

4.2.1. Diatomit tanımı

Genellikle volkanik faaliyet bölgelerine yakın yerlerdeki, tatlı ve tuzlu göl sularında ya da deniz sularında yaşayan, su yosunları sınıfından olan mikroskobik tek hücreli alg çeşidi olan diatomelerin ölmesi ve silisli kabuklarının bir araya toplanması ile meydana gelen organik kökenli bir malzemedir (MTA, 1968).

Ölen diatomelerin kabuklarının birikerek dibe çökmesiyle diatomit yatakları oluşmuştur. Günümüzde ticari değeri olan bu diatomit yatakları 7-27 milyon yıl önce miyosen çağında oluşmuş ve bugün göl ve denizlerde diatomeler yaşamlarını sürdürmektedir. Diatomelerin kabukları amorf silis ($\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$) yapısındadır. Diatomit malzemesinin özellikle puzolanik aktivesi içerdiği amorf silis miktarına bağlıdır (Gökkonca, 2010).

4.2.2. Diatomit fiziksel özellikleri

Saf diatomitlerin en ayırt edici özelliği parlak beyaz renkte olmalarıdır. Tebeşir ve kaoline benzer görünümünde olup, tane büyüklüğü 2-200 μm arasındadır. Diatomit doğal olarak gözenekli bir yapıya sahiptir ve düşük bir özgül ağırlığı vardır. Özgül ağırlığı kuru halde iken 0,15-0,50 g/cm^3 arasında değişir. Porozite %80-85 arasında olup genellikle gevşek halde olup un gibi elde dağılır (Aruntaş, 1996).

Diatomit malzemesi ince parçacıklı yapısı ile yüksek yüzey alanına sahiptir. Diatomit fiziksel özelliklerini ısı işleminden geçtikten sonra vermektedir. Kalsinasyon işlemi diatomit yüzey alanını azaltmakta ve özgül ağırlığını artırmaktadır. Diatomit malzemesinin erime noktası 1400 ile 1750 $^{\circ}\text{C}$ arasında değişmektedir (Richard ve Frederick, 2006).

4.2.3. Diatomit kimyasal özellikleri

Diatomit malzemesinin kimyasal bileşiminde %75-90 oranında SiO_2 bulunmaktadır. Diatomit malzemesine %2-8 oranında soda veya sodyum klorür gibi alkali tuzlar eklendikten sonra 600-1000 $^{\circ}\text{C}$ ısıtılarak içinde bulunan demir ayrıştırılır ve kalsinasyon işleminden geçirilir. Elde edilen ürün flux kalsine olarak adlandırılır. Eğer diatomit malzemesi doğrudan kalsine işlemine sokulursa kalsine edilmiş diatomit ürün olarak adlandırılır. Diatomit malzemesinin ticari bir değer taşıması ve mineralinin aktif kizelgur (işlenmiş hazır diatomit) imalatında kullanılabilmesi için Çizelge 4.1'de verilen sınır değerlerine uygun olması gerekir (Aruntaş, 1996).

Çizelge 4.1. Ticari değer taşıyan diatomit malzemesi sınır değerleri (Aruntaş, 1996).

Diatomit Malzemesi Bileşenleri	Sınır Değerleri
SiO_2	%85 ve üstü
MgO	%0.5 ve altı
CaO	%1 ve altı
Fe_2O_3	%1.5 ve altı
Al_2O_3	%5 ve altı
Alkali Oksitler	%1 ve altı
Kızdırma Kaybı	%6 ve altı

4.2.4. Diatomit kullanımının tarihçesi

Diatomit malzemesinin kullanımı çok eski tarihi dönemlere uzanmaktadır. MS. 532 yılında İstanbul'da inşa edilen Ayasofya'nın kubbesinde, kubbe ağırlığını azaltmak amacıyla hafif bir malzeme olan diatomit tuğlalar kullanıldığı belirtilmiştir. Bilimsel ve endüstriyel açıdan diatomitin ilk kullanımı ise 1886 yılında Alfred Nobel tarafından olmuştur. Nitrogliserin ve diatomit karışımı ile dinamiti taşınabilen bir patlayıcı malzeme haline getirmiştir. 19. yüzyılın ortalarında daha çok dolgu ve izolasyon malzemesi olarak kullanılan diatomit özellikle Amerika California'da diatomit yataklarının bulunması ile 20. yüzyıldan itibaren daha çok şeker fabrikalarında filtrasyon amacı ile kullanılmıştır (Genç, 2006).

4.2.5. Türkiye ve dünyada diatomit yatakları

Türkiye'de diatomit üretimine Türkiye şeker fabrikalarının filtrasyon malzeme ihtiyacını karşılama amacıyla başlanmıştır. Ülkemizde diatomit yataklarının bulunduğu iller Afyon, Ankara, Çanakkale, Çankırı, Denizli, Kayseri, Kütahya, ve Uşak illeridir. Kayseri-Hırka köyü 106 milyon ton rezerv ile Türkiye'nin en büyük diatomit yataklarına sahiptir (Genç, 2006).

Dünyanın çeşitli bölgelerinde farklı rezervlerde diatomit yatakları bulunmaktadır. Ancak bu diatomit yataklarının az bir kısmı ticari bakımdan kullanılabilir değerdedir. En büyük yataklar ABD'de California bölgesinde yer almaktadır. ABD, Rusya, Almanya, Kanada, Arjantin, Şili, Meksika, Danimarka, Japonya, Kenya ve Cezayir'de çıkarılan diatomitin ticari değeri ve kalitesi oldukça yüksektir (Genç, 2006).

4.2.6. Diatomit malzemesinin kullanım alanları

Çeşitli endüstriyel sektörlerde diatomit malzemesi kullanımı zamanla artmaktadır. İnşaat, kimya, gıda, ve sağlık sektörleri gibi bir çok alanda kullanılan bir malzemedir. Ülkemizde kaliteli ve çok miktarda rezervleri bulunan diatomitin değerlendirilmesi ve kullanımının artması ülke ekonomisine katkı sağlayacaktır. Diatomit en fazla %60 filtre, %21 dolgu ve %2 yalıtım malzemesi ürünlerinde kullanılmaktadır. Diatomitin dolgu malzemesi olarak kullanıldığı ürünlerin performans özelliklerinin arttırdığı belirlenmiştir. Bu sebeple en çok kimyasal madde üretimi ilaç,

boya, hafif inşaat malzemesi, aşındırıcı ve yüzey temizleyici ürünlerinde kullanılmaktadır (Gökkonca, 2010).

ABD’de diatomit sınırlı miktarda çimento fırınlarında işlenecek hammaddeye göre silis kaynağı olarak kullanılmaktadır. Betonda, harçta, sıva ve dış kaplamalarda diatomit malzemesi şekil verme, sertleşme özelliği, bağlayıcılık ve işlenebilirlik özelliklerinden dolayı kullanılmaktadır. Püskürtme sıvalara diatomit malzemesinin eklenmesinin geri tepmeyi azalttığı bildirilmiştir. Asfalt ürünlerinde de hızlı sıcaklık değişimi ile ilgili çatlama eğilimini azaltma, güçlü yapışkanlık sağlama ve viskozitesini kontrol etme amacıyla kullanılmaktadır. Düşük yoğunluğu, ısı direnci ve silis kaynağı olmasından dolayıda sülfirik asit üretiminde katalizör olarak kullanılmaktadır (Richard ve Frederick, 2006).

4.2.7. Diatomit hakkındaki literatür çalışması

Tonak ve diğerleri (1991), yaptıkları çalışmada diatomit atıklarının çimento üretiminde değerlendirilmesini çalışmışlardır. Farklı oranlarda diatomit atıklarını Portland çimentosuna ilave etmişlerdir. Sonuç olarak Portland çimentosuna %10 diatomit ilavesinin dayanımı %30 artırdığını belirlemişlerdir. Buna ek olarak diatomit ilavesi öğütme süresini %33 kadar kısaltarak enerji tasarrufu sağlamıştır.

Aruntaş (1996), çalışmasında Ankara ve Çankırı bölgesinden iki ayrı ocaktan alınan diatomit malzemelerinin kimyasal, fiziksel ve mineralojik özelliklerini araştırmıştır. Diatomit malzemelerini öğütürerek çimento ağırlığının %10, %20, ve %40’ı kadarını doğrudan Portland çimentosuna ekleyerek diatomit katkılı çimento numunelerini oluşturmuştur. Sonuç olarak ilgili standartlarda ve de birbirleri ile kıyaslaması neticesinde diatomitin, çimento ve harçlarda bağlayıcı ve yalıtım malzemesi olarak kullanılabilceğini belirlemiştir.

Sezgin (1998), yaptığı çalışmada diatomit malzemesinin hafif yapı üretiminde kullanılabilirliğini araştırmıştır. Çalışmada Isparta diatomiti kullanılmıştır. Sonuç olarak Isparta diatomitlerinin hafif beton üretiminde değerlendirilebileceğini belirtmiş, hafif yapı elemanları ve döşemelerde kullanılabilceği görülmüştür.

Stamatakis ve diğerleri (2002), yaptıkları çalışmada, yüksek miktarda silis içeren diatomit malzemelerini, çimento harcına ekleyerek etkilerini araştırmıştır. Diatomit malzemesini Yunanistan, Romanya ve Macaristan'dan temin edilmiştir. Yapılan

deneyler sonucunda bu diatomitlerin puzolanik aktivitelerinin yüksek olduğu ve doğal puzolanik malzeme olarak kullanılabileceğini belirtmiştir.

Uygunoğlu ve Ünal (2005), çalışmalarında yapıların zati yükünü azaltmak için diatomit malzemesi kullanarak üretilen hafif beton blok elemanlarının mekanik özelliklerini araştırmışlardır. Yapılan deneylerde Afyon bölgesinde temin edilen diatomit malzemesi kullanılmıştır. Sonuç olarak diatomit kullanılarak üretilen hafif beton blokların $1,6 \text{ kg/cm}^3$ birim hacim ağırlığa sahip tuğla duvar ağırlığına göre %25-50 oranında zati yükü azalttığını belirtmiştir.

Genç (2006), yaptığı çalışmada diatomit katkısız beton ile diatomit katkılı betonları, çökme, basınç ve priz süresi deneylerini yaparak karşılaştırmıştır. Hazırlanan beton numunelerini 0.50 ve 0.55 su/çimento oranında üretilmiştir. Sonuç olarak 0,50 su/çimento oranında hazırlanan %3 ilaveli diatomit katkılı betonun basınç dayanımının daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Diatomit ilavesinin priz geciktirici bir özellik kazandırdığı görülmüştür. Düşük su/çimento oranındaki betona diatomit ilave edilmesi ile işlenebilirliğin arttığı görülmüştür.

Değirmenci ve Yılmaz (2007), yaptıkları araştırmada çimento harcında kum ve su miktarı sabit tutularak, Portland çimentosu yerine diatomit malzemesi ilave edilmiştir. Çalışmada, çimento miktarının %0, %5, %10 ve %15'i kadar diatomit eklenmiştir. Basınç ve eğilme dayanımları, sülfat dayanımı, kuru birim ağırlık, su emme ve donma-çözülme davranışı yapılan deneylerle belirlenmiştir. Sonuç olarak çimento harcında çimento miktarının %5'i kadar diatomit eklenmesinin uygun olduğu tespit edilmiştir. Diatomit malzemesinin gözenekli yapısından dolayı çimento harcının kuru birim ağırlığının azaldığı görülmüştür. Donma çözünme deneyinde %5 diatomit ilaveli harcın az miktarda dayanımının arttığı belirlenmiştir. Sodyum sülfat etkisine maruz bırakılan çimento harcında, diatomit miktarının artmasıyla genleşmenin azaldığı tespit edilmiştir.

Gökkonca (2010), yaptığı çalışmada karışım suyu miktarını sabit tutarak kum, çimento ve diatomit malzemelerini kullanarak hazırladığı harç karışımında, diatomit miktarını %5, %10, %15, %20, %25, %30 ve %35 oranında artırarak çimento ile beraber etkinliğini incelemiştir. Çalışmada Afyon ve Aydın/ Karacasu bölgelerine ait iki ayrı ocaktan alınan diatomit kullanılmıştır. Kalsine işlemi uygulandıktan sonra puzolanik aktiviteleri daha yüksek olan Afyon ocağına ait diatomit malzemesi ile

çalışılmıştır. Sonuç olarak %5 ve %25 arasında diatomit ilaveli harçların basınç ve eğilme dayanımlarının sabit kaldığı daha sonrasında ise azaldığı tespit edilmiştir. Standart karışıma göre %35 diatomit ilaveli harç karışımının ağırlığının %7,5 daha hafif olduğu belirlenmiştir. Diatomit miktarının artmasıyla priz süresinin uzadığı, yayılma miktarının azaldığı görülmüştür.

4.3. Öğütülmüş Yüksek Fırın Cürufu

4.3.1. Öğütülmüş yüksek fırın cürufu tanımı

Çelik üretiminde yüksek fırınlarda oluşan atık bir malzemedir. Çelik üretiminde kullanılan ham demir cevheri, kok kömürünün yakıt olarak kullanıldığı yüksek fırınlarda pişirilir. Bu işlem sonucunda öğütülmüş yüksek fırın cürufu (ÖYFC), demire göre daha düşük yoğunlukta olmasından dolayı ham demir cevheri üzerinde eriyik halde oluşur. Yaklaşık olarak 1500 °C'de olan ÖYFC demir cevherinden ayrılır (Saran, 2007).

Depolanmak veya kullanılmak istenen yüksek fırın cürufu, bol miktarda su içerisinde hızlı bir soğutma işlemine tabi tutulur. Su içerisinde, kum tanelerine benzer parçacıklar oluşturduklarından granüle yüksek fırın cürufu olarak adlandırılmaktadır. Eriyik haldeki ÖYFC hızlı soğutma işlemi ile amors (camsı) özellik kazanmaktadır (Bilim ve Atış, 2011).

Eriyik halde olan 1 ton ağırlığındaki cürufu uygun özellikte 5 ton su püskürtülerek hızlı soğutma işlemi uygulanır ve cüruf granüle edilerek ‘‘gizli bağlayıcı’’ özellik kazanır. Çimento hamuruna ÖYFC eklenildiğinde betonda oluşan çatlakların ve çimento-agrega arasındaki boşlukların azaldığı, beton kalıcılığının (durabiltesinin) arttığı tespit edilmiştir (Neville, 1990).

4.3.2. ÖYFC fiziksel özellikleri

Eriyik halde olan cüruf, su ve hava püskürtülerek soğutulduğunda gözenekli bir yapıda yüksek fırın cürufu elde edilir. Bu cüruf 1100-2200 kg/m³ özgül ağırlığa sahiptir ve normal agregalara göre düşük bir özgül ağırlığı vardır. Cüruf donma-çözölmeye karşı yüksek mukavemetli, su emme yüzdesi düşük ve soyulma direnci yüksektir. Bu özellikleri nedeniyle cürufun bitümlü karışımlarda kullanılması önemli bir avantaj sağlar. Cüruf kendi halinde soğumaya bırakıldığında çok düzensiz bir granülmetride olur. Daha sonra eleme ve kırma işlemi uygulanarak istenilen granülmetrede elde edilir.

Havada soğutulup, kırma ve eleme işleminden geçirilen yüksek fırın cürufu diğer agregalara göre iyi bir adhezyona sahiptir (Bilgen, vd., 2010).

4.3.3. ÖYFC kimyasal özellikleri

ÖYFC malzemesini oluşturan kimyasal bileşenler CaO, SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, MnO ve MgO gibi oksitlerdir. Bu kimyasal bileşenlerden CaO, cüruf malzemesine bir miktar kendiliğinden bağlayıcılık özelliği kazandırmaktadır. Cüruf içeriğinde bulunan mangan ve demir oksit, dayanımı düşürmektedir. Cüruf içerisinde CaO/ SiO₂ oranı sabit tutulurken Al₂O₃ miktarının artması, cürufun aktivitesinde artırmaktadır. ÖYFC kimyasal bileşenlerinde belirli bir sınır değerinde CaO / SiO₂ oranının artması cürufun hidrolik özelliğini artırmaktadır. Ancak bu sınır değerinin üstünde bir artış cürufun hidrolik özelliğini azaltmaktadır (Tokyay ve Erdoğan, 2009).

ÖYFC malzemesinin kütlece 2/3'ü kadarını, kalsiyum oksit (CaO), silisyum dioksit (SiO₂) ve magnezyum oksit (MgO) bileşenler oluşturmaktadır. Kütlece geri kalan kısmında alüminyum oksit Al₂O₃ ve diğer bileşenler oluşturmaktadır. ÖYFC içeriğinde kütlece (CaO+ MgO) / (SiO₂) oranı 1.0'dan yüksek olmalıdır (Gündeşli, 2008).

4.3.4. ÖYFC kullanımın tarihçesi

Emil Langes 1862 yılında yüksek fırın cürufunun bağlayıcı özelliklere sahip bir malzeme olduğunu gözlemlemiştir. İlk kez 1865 yılında yüksek fırın cürufu ve kireç malzemesinin karışımı ile elde edilen bağlayıcı malzeme, ticari olarak üretilmiştir. 1883 yılında ilk kez yüksek fırın cürufu çimentoya hammadde olarak eklenmiştir. 1892 yılında Almanya'da ÖYFC, Portland çimentosu klinkeri ile birlikte öğütme işlemlerinden geçirilerek Portland yüksek fırın cürufu çimentosu üretimine başlanmıştır (Tokyay ve Erdoğan, 2009).

4.3.5. ÖYFC kullanım alanları

Yüksek fırın cürufu malzemesi doğrudan veya öğütülmüş olarak bir çok alanda kullanılmaktadır. Cüruf malzemesinin doğrudan kullanıldığı alanlar; hafif beton, hafif beton dolgu malzemesi, beton agregası ve yalıtımdır. Öğütme işleminden geçirilerek kullanıldığı alanlar ise çimento üretimi, zemin stabilizasyonu, beton agregası, harç

enjeksiyonu ve cam sanayidir. Cüruf malzemesi beton agregası, çimento üretimi, tuğla ve biriket üretimi, prefabrik elemanların yapımı, asfalt agregası, yalıtım ve dolgu malzemesi üretimi gibi bir çok sektörde kullanılabilir (Bilgen, vd., 2010).

4.3.6. ÖYFC hakkında literatür çalışması

Toklu (1976), ÖYFC'nin karışımlara verdiği özellikleri diğer hidrolik ve hidrolik olmayan bağlayıcılarla karşılaştırmalı bir şekilde incelemiştir.

Çakır (2000), yaptığı çalışmada yüksek fırın cürufunun betonun mekanik özelliklerine etkisini incelemiştir. Beton harcın üretimi sırasında yüksek fırın cürufu çimento ağırlığının %30 ve %60'ı kadar yer değiştirilerek ve %30 ve %60 oranında ilave edilerek betonun mekanik özellikleri, yüksek fırın cürufu katılmamış beton numuneler ile karşılaştırılmıştır. Basınç dayanımı, yarma, çekip çıkarma, vebe, birim ağırlık ve çökme deneyleri yapılmıştır. Sonuç olarak ince agrega ağırlığının %20'si kadar azaltan ve çimento ağırlığının %60'ı kadar ilave edilerek hazırlanan numunelerin diğer numunelere göre işlenebilirliğinin ve mekanik özelliklerinin daha üstün olduğu ve taze beton harcın üretiminden 1 saat sonra pompalanabilir özelliğini koruduğu tespit edilmiştir. İnce agreganın azaltılması ve dayanım özelliklerindeki artışın betonda kaliteyi arttırdığı ve ekonomiklik sağladığı görülmüştür.

Nevman (2003), yaptığı araştırmasında aynı çökme değerlerine sahip yüksek fırın cürufu beton ile Portland çimentolu betonu kıyaslamıştır. Sonuç olarak yüksek fırın cürufu betonda, cürufun pürüzsüz yüzey dokusu ve kimyasal reaksiyonlara geç girmesi nedeniyle daha az suya ihtiyaç duyduğunu belirtmiştir. Yüksek fırın cürufunun klinkere göre özgül ağırlığının daha düşük olması ve yüzey pürüzlülüğünün daha az olması nedeniyle hacimce daha fazla çimento hamuru elde edilmiş ve betonun işlenebilirliği olumlu yönde etkilenmiştir.

Şahan (2006), çalışmada düşük dozajlı beton numunelerinde yüksek fırın cürufunun etkinliğini araştırmıştır. Harç numunelerinde çimento miktarı sabit tutularak su/ çimento oranı sırasıyla 0.50, 0.60, 0.70 ve 0.80 olan ve %17, %33, %50 oranlarında yüksek fırın cürufu ilave edilmiş numuneler hazırlanmıştır. Sonuç olarak kontrol numunesine göre yüksek fırın cüruf malzemesinin kullanımı ile işlenebilirliğin arttığı ileri yaşlarda daha yüksek dayanım sağladığı, su ihtiyacını azalttığı ve su emme oranının daha az olduğu tespit edilmiştir.

Emiroğlu ve diğerleri (2011), yaptıkları araştırmada kum, imento ve YFC malzemelerini kullanarak hazırladıkları beton harçta, imento ile ağırlıkça % 0, %10, %20 ve %30 oranlarında YFC ile yer değiştirerek cüruf ilavelerin beton üzerine etkilerini belirlemeye çalışmışlardır. Çökme, birim ağırlık, basınç dayanımı, ultrases hızı ölçümü, su emme ve kapiler su emme deneyleri yapılmıştır. Sonuç olarak YFC eklenmesi ile orantılı olarak çökme değerinin ve su emme miktarının ve kapilarite katsayısının arttığı gözlemlenirken basınç dayanımının düştüğü, birim ağırlığın ve ultrases geçim hızının azaldığı belirlenmiştir. YFC cürufu ilavesinin taze ve sertleşmiş haldeki betonun özelliklerini değiştirdiği ve en uygun sonuçların %10 YFC ilaveli betonlarda olduğu tespit edilmiştir.

Bilim ve Atış (2011), yaptıkları çalışmada öğütölmüş granüle yüksek fırın cürufu içeren beton harçların aşınma ve mukavemet özelliklerini incelemişlerdir. Harç numuneleri su/ bağlayıcı oranı sırasıyla 0.30, 0.40 ve 0.50 olarak hazırlanmış olup her numunede sırasıyla cüruf miktarı ağırlıkça imento %0, 20, 40, 60 ve 80 oranında yer değişirmiştir. Hazırlanan tüm numunelerde kum/bağlayıcı oranı 2.75 olup, kum numuneler kuru ve ıslak olmak üzere iki farklı ortamda kür edilmiştir. Los Angeles Aşınma deneyi, eğilme ve basınç dayanımı deneyleri yapılmıştır. Sonuç olarak etkili kür uygulaması koşuluyla 0.30 gibi düşük su/bağlayıcı oranında ve %40 yüksek fırın cürufu ilaveli numunelerin dayanım ve aşınma dirençleri diğer numunelere göre daha yüksek çıktığı tespit edilmiştir. Artan cüruf katkısı miktarının özellikle düşük su/bağlayıcı oranında hazırlanan harçların işlenebilirliğini artırdığı görölmüştür.

Yılmaz (2014), çalışmasında beton üretimi sırasında yüksek fırın cürufu ve uçucu kül kullanılmasının beton özelliklerini ve etkilerini araştırmıştır. Ayrıca yüksek fırın cürufu ve uçucu külün beton maliyetine de etkisini incelemiştir. Sonuç olarak yüksek fırın cürufu ve uçucu kül ilavesinin priz başlama ve priz sonu sürelerini arttırdığı, erken yaşlarda dayanımı düşürdüğu, ileri yaşlarda ise daha yüksek dayanım sağladığını belirtmiştir. Ayrıca beton maliyet analizinde, birim maliyetlerin referans betona göre az olduğu tespit edilmiştir.

4.4. Polipropilen Lif

4.4.1. Polipropilen lif tanımı

Lif, esneklik, dayanıklılık ve bükülebilirlik gibi özelliklere sahip, çeşitli şekil ve uzunluklarda olan bir malzemedir. Lif malzemesi doğal kaynaklardan elde edilebilir veya endüstriyel olarak üretilebilir. Bitki, hayvan veya mineral gibi doğal kaynaklardan elde edilip doğrudan kullanılabilen lifler doğal liflerdir. Belirli özellikler için özel olarak geliştirilen ve üretilen insan yapısı lifler yapay liflerdir (Özcan, 2006).

Propilen, petrokimya endüstrisinde kraking denilen bir işlem sırasında ortaya çıkan bir yan üründür ve gaz haldedir. Bu gaz yaklaşık olarak 80 °C'de 10 atmosferlik basınç altında polimerize işlemi esnasında bazı katolizerler eklenerek polimer yapıda malzeme elde edilir. Bu malzeme çevre koşullarında veya suyla soğutma işleminden geçirilerek polipropilen elde edilmiş olur (Bilgiç, 1999).

Polipropilen lifler beton içerisine sonradan eklenmektedir. Bu lifler iki farklı yapıda üretilerek kullanılmaktadır. Bu iki farklı lif yapısı çap/boy oranı yaklaşık olarak 1/60 olan, uzun ince yapıdaki "monofilement" denilen lifler ve çok ince ve kısa parçaların birleşmesiyle oluşan, elyaf görünümlü "staple fiber" denilen liflerdir (Hsie, vd., 2008).

4.4.2. Polipropilen liflerin teknik özellikleri

Polipropilen lifler alkali ortamlara karşı dayanıklıdır. Her tipteki Portland çimento ile birlikte kullanılabilir. Isıl geçirgenliği düşük olup, elektrik ve manyetik alanlardan etkilenmez. Su emme özelliği olmadığı için betonun su/çimento oranını değiştirmez. Betonun su geçirimsizliğini ve plastik rötre çatlaklarını azaltır. Aşınma direncini artırır (Arazsu, 2012).

Polipropilen lifler, şap betonlarına ilave edildiğinde betonun yüksek kat ve uzak mesafelere olan pompalanabilirlik işlevini artırmaktadır. Propilen lif, betonun ayrışmasına ve saçılmasına engel olur. Şap betonu içerisinde bulunan agregaların, yerçekimi etkisi nedeniyle dibe çökmesini engeller ve beton üst düzeyinde çimento pastası oluşumunu engeller. Betonda polipropilen lif kullanımı ile pompa ucundan betonun sürekli, yoğun, homojen ve tutunganlılığı yüksek bir durumda çıkması sağlanır (Arazsu, 2012).

Lifler, beton döküm sahasında veya hazır beton tesislerinde çimento hamuruna ilave edilebilir. Lifler ilave edildikten sonra en az 10 dakika boyunca karıştırılmalıdır. Liflerin hacimsel olarak çimento hamuruna ilave oranları çok düşüktür. Genellikle %0,1 oranında ilave edilirler. Saha betonu için 1 kg/m^3 'tür. Fazla miktarda lif kullanımı işlenilebilirliği azaltmakta ve beton içerisindeki hava miktarının artmasına neden olmaktadır (Al-Tayyib, vd., 1990).

4.4.3. Lif kullanımının tarihçesi

Saman sapları, keçi kılları gibi malzemeleri kullanarak harçların ve duvarların dayanımını artırma çabaları, çok eski dönemlere uzanmaktadır. Saman sapı ilaveli kerpiç harç 4500 yıl öncesinden beri yapılarda inşaat malzemesi olarak kullanılmaktadır. Bu durum daha sonra lifli betonlar için esin kaynağı olmuştur (Arazsu, 2012).

Yapay olarak üretilen lifler ilk olarak 19. yüzyılın sonlarına doğru ortaya çıkmasına karşın, sentetik liflerin geçmişi ise 60 yıldan fazla değildir. Bununla birlikte kısa bir sürede yapı malzemelerinde sıkça kullanılan vazgeçilmez bir malzeme haline gelmiştir (Kurt, 2006).

Günümüzde kullanılan çelik liflerin bilinen şekilleri G. Martin tarafından 1927, Zitkeviç tarafından 1939 ve G. Constantinesco tarafından 1943 yılında patentleri alınmıştır. 1960'ların başlarından günümüze kadar çelik ve sentetik liflerin betonda kullanılmasına yönelik çalışmalar devam etmektedir (Yalçınkaya, 2009).

4.4.4. Polipropilen lifin kullanım alanları

Polipropilen lifler bir çok sektörde çok geniş kapsamda kullanılmaktadır. Otomotiv sektöründe çeşitli iç aksamaların yapımı ve tampon üretimi, ev aletleri üretimi, plastik sanayide özellikle ambalaj üretimi, tekstil sektöründe, tıp sektöründe, kauçuk ve jelatin malzemelerinin üretiminde hammadde, inşaat sektöründe, yalıtım panelleri, tesisat boruları, yapı malzemelerinde, kompozit malzeme üretimi kullanım alanlarından en önemlilerinden bazılarıdır (Bahadır, 2010).

İnşaat sektöründe polipropilen lifler; bitüm işlerinde, taşıyıcı sistemlerde, şap işlerinde ve saha betonlarında, su yapılarında, püskürtme sıva ve betonlarda, boyama

işlerinde, mimari uygulamalarda, toz malzeme ürünlerinde ve sıvalarda çokça kullanılmaktadır (Karahan, 2006).

4.4.5. Polipropilen lif hakkında literatür çalışması

Sertbaş (2006), yaptığı çalışmasında kendiliğinden yerleşen betonlara polipropilen lif malzemesi ilave ederek betonun işlenebilirliğine etkisini araştırmıştır. Üç farklı süper akışkanlaştırıcı kullanılarak, sabit 0.47 su bağlayıcı oranı ile her seride biri kontrol numunesi olmak üzere 3.5 – 5.0 – 7.0 kg/m³ oranlarında polipropilen içeren beton numuneler hazırlanmıştır. Sonuç olarak L kutusu ve U kutusu deneyleri yapılarak kendiliğinden yerleşen betona 3.5 kg/m³ oranına kadar polipropilen lif ilavesinin işlenebilirliği etkilemediği, bu oranın üstündeki değerlerde betonun işlenebilirliğinin zorlaştığı ve yayılmanın azaldığı gözlemlenmiştir. 7 kg/m³ lif oranına sahip beton numunelerinin eğilme dayanımının %20 kadar arttığı, basınç dayanımına ise önemli bir etkisi olmadığı tespit edilmiştir.

Sun ve Xu (2009), yaptıkları çalışmada polipropilen lifli betonları fiziksel ve mekanik özelliklerini araştırmışlardır. Bunun yanında polipropilen lif malzemesinin beton içerisinde oluşturduğu ağ yapısını elektron mikroskobu ile incelemiştir. Yarmada çekme, basınç ve eğilme deneyleri yapılmıştır. Sonuç olarak betonda en uygun lif kullanım oranının 1 kg/m³ olduğunu ve beton dayanımının %20'ye kadar artırdığını belirtmişlerdir. Mikroskobik deneyler sonucunda kılcal çatlaklıkların azaldığını ve segregasyonun önlendiğini gözlemlemişlerdir.

Bahadır (2010), yaptığı çalışmasında polipropilen lif malzemesinin betonun mekanik özelliklerine etkisini araştırmıştır. Çimento dozajı 300 kg/m³ olan ve 0.40-0.50 ve 0.60 su/çimento oranlarında numuneler hazırlamıştır. Her numuneye üç farklı polipropilen lif, 0.9 ve 1.8 kg/m³ oranlarında ilave edilmiştir. Çökme (slump) deneyi, birim ağırlık, Schmidt çekici, ultrases geçiş süresi, yarmada çekme, basınç ve eğilmede çekme deneyleri yapılmıştır. Sonuç olarak betona ilave edilen elyafımsı polipropilen liflerin, boşluk oranını azalttığı ve betonun dayanımının artırdığını gözlemlemiştir. Monofilement yapıdaki liflerin ise betonun çekme dayanımını artırdığını belirtmiştir. Lif miktarının artmasıyla işlenebilirliğin azaldığını gözlemlemiştir.

Açıkgenç ve diğerleri (2012), yaptıkları araştırmada farklı karışım oranlarına sahip betonlarda polipropilen lif kullanımının betonun taze ve sertleşmiş haldeki

özelliklerine etkisini incelemişlerdir. Çimento dozajı 300, 350 ve 400 kg/m³ olan plastik ve akıcı kıvamda ve hacimsel olarak %1 ve %2 polipropilen lif ilaveli beton numuneler hazırlanılmıştır. Çökme (slump), aşınma, kapiler su emme, basınç ve eğilme deneyleri yapılmıştır. Sonuç olarak lif miktarının artmasıyla işlenebilirliğin azaldığı ve çökme miktarının düştüğü tespit edilmiştir. Polipropilen lifin betonun mekanik özelliklerini olumlu yönde etkilediğini, betonun dayanım ve durabilitesini artırdığını belirtmişlerdir.

Caf (2012), çalışmasında çelik ve polipropilen lif ilaveli betonların darbe dayanımlarını araştırmıştır. Beton numuneler 350 kg/m³ çimento dozajı ve 0.46 su/çimento oranı sabit tutularak 1 m³ betona 300 gr, 600 gr, 900 gr ve 1200 gr polipropilen lif ve %0.5, %1, %1.5 ve %2 oranlarında çelik lif ilave edilerek hazırlanılmıştır. Çökme (slump), basınç, eğilme ve darbe dayanımı deneyleri yapılmıştır. Sonuç olarak beton içerisindeki lif oranındaki artışla doğru orantılı olarak darbe ve eğilme dayanımlarının arttığı tespit edilmiştir. Yapılan çökme (slump) deneyi ile polipropilen lifin işlenebilirliği etkilemediği ve betonun pompalanabilir olduğu gözlemlenmiştir.

Akkaş ve diğerleri (2010), yaptıkları araştırmada polipropilen lif katkılı hafif betonların basınç dayanım özelliklerini incelemişlerdir. Numuneler 500 kg/m³ çimento dozajı ve 0.375 su/çimento oranı sabit olacak şekilde, % 60 pomza iri agregası ve %40 normal ince agrega kullanılarak hazırlanılmıştır. Numunelere çimento ağırlığının %6'sı kadar polipropilen lif ilave edilmiştir. Sonuç olarak beton basınç dayanımının %20 kadar artmış olduğu tespit edilmiştir. Liflerin betonun işlenebilirliğinin azalttığını, çatlakları önlediğini, test numunesinin çatlamasına karşın yük taşımaya devam ettiğini gözlemlemişlerdir.

4.5. Selüloz lif

4.5.1. Selüloz lif tanımı

Selüloz lifler, bitki, ağaç ve odundan elde edilen, saflık, şekil, uzunluk ve dayanım bakımından bir çok çeşidi olan doğal liflerdir. Doğal lif türleri içerisinde en çok kullanılan selüloz lif glukoz temelli bir polimerdir (Erdem, 2015).

Selüloz malzemesi, doğada saf halde bulunmamaktadır. Ağırlıkça pamuk liflerinin %85-90'ını, ketenin %60 – 85'ini ve odunun %40'ını oluşturur. Elementer

analiz sonuçlarına göre selüloz, %49.4 oksijen, %44.4 karbon ve %6.2 hidrojen oluşturmaktadır. Kaba formülü $(C_6H_{10}O_5)_n$ 'dir (Başer, 2002).

Selülozun, moleküler seviyede polimerizasyon derecesi ve kristal yapısı incelendiğinde tüm selüloz liflerin aynı yapıda olmadığı ve farklı özelliklerinin olduğu görülmektedir. Kullanılacak beton ve kullanım alanına göre, selüloz lifin farklı özellikleri göz önüne alınarak en yüksek polimerizasyon derecesinde olan ve en kuvvetli lifi seçmek büyük önem taşımaktadır (Erdem, 2015).

4.5.2. Selüloz üretimi

Selüloz lifin elde edilmesi için, selülozun doğadan saf halde izole edilmesi gereklidir. Saf selüloz malzemesi üretiminde kaynak olarak kızılçam, kavak, kayın ve ladin gibi ağaçlar ile ayçiçeği, pamuk linleri, keten ve kenevir sapları kullanılmaktadır. Bu kaynaklarda selüloz, linyin, hemiselüloz, pektin ve pentozlar ile karışım haldedir. Bu karışımdan selüloz malzemesini ayırmak için bir çok yöntem vardır. En çok kullanılan yöntemlerden biri odun talaşlarının $170^{\circ}C$ 'de 10 atmosfer basınç altında, %6-8'lik NaOH çözeltisi içerisinde 3-6 saat bekletilmesidir. Çözünmeden kalan selüloz, süzülerek ayrılır ve kurutulur. Diğer bir çok kullanılan yöntemde odun talaşları ve parçaları $140-150^{\circ}C$ 'de, 3-9 atmosfer basınç altında, $Ca(HSO_3)_2$ çözelti içerisinde 15 saat bekletilmektedir. Çözünmeden kalan selüloz, süzülür, yıkanır ve kurutulur (Başer, 2002).

4.5.3. Selüloz liflerinin teknik özellikleri

Selüloz lif, taze haldeki betona ilave edildiğinde homojen olarak dağılır ve gözle görülmesi zordur. Genel olarak $1 m^3$ betona 0,9 kg selüloz lif ilave edilir. Bu oran selüloz lifin en etkili ilave oranı olup, bu orandan fazla kullanımı koşullara bağlı olarak betonun özelliklerini artırabilir. Selüloz lifin boyutları çimento tanelerinden daha küçüktür. Bu sayede betonun mekanik özelliklerini etkili bir şekilde geliştirebilir. Selüloz liflerin genel teknik özellikleri aşağıdaki Çizelge 4.2'de verilmiştir (Erdem 2015).

Çizelge 4.2. Selüloz liflerin genel özellikleri (Erdem, 2015).

Selüloz Lif	
Ortalama lif uzunluğu	2.1 mm
Ortalama Çap	0.016 mm
Lif sayımı	0.9 kg / m ³ 1.44 milyar
Yoğunluk	(Su = 1.0) 1.10 kg / cm ³
Özgül Yüzey Alanı (cm ² /g)	25,000
Maksimum nem tutumu	Lif ağırlığının yaklaşık %85'i kadar
Betonda lif aralığı	(0.9 kg/m ³) 480µm ort.
Lif çekme dayanımı	620 – 900 MPa
Plastik çatlak direnci	(0.9 kg/m ³) betondan % 85.1 daha az.
Basınç Dayanımı Artışı	(0.9 kg/m ³ , 28günlük) %7 – 16
Eğilme Dayanımı Artışı	(0.45 kg/m ³ , 28 günlük) %8

4.5.4. Selüloz lifin kullanım alanları

Selüloz lifler, tüm çimento tipleri ile birlikte tüm beton uygulamalarında kullanılabilir. Çatlakları azaltmak ve mukavemeti artırmak için asfalt yollarda ve patikalarda, konut zemin döşemelerinde, hazır betonda, donatılı ve donatısız betonda, geçirgen betonlarda, yüksek yapıların kiriş ve kolonlarında, yangına dayanıklı yapı malzemelerinde, kanallarda ve yüzme havuzların çevresinde selüloz lif kullanılabilir (Erdem, 2015).

Selüloz lifler, sıvalarda, balata üretiminde, seramik yapıştırıcılarında ve hazır betonlarda kullanımı uygundur. Harcın viskozitesini artırmak, sıvaların çatlamasını önlemek ve bitüm esaslı malzemelerin esnekliğini artırmak için kullanılmaktadır (Promin, 2016).

4.5.5. Selüloz lif hakkında literatür çalışması

Bulut ve Erdoğan (2011), yaptıkları çalışmada kompozit malzeme üretiminde selüloz esaslı doğal liflerin takviye metaryeli olarak kullanımını araştırmışlardır. Selüloz esaslı liflerin iç yapılarını, matris polimerlerini, mekanik ve fiziksel özelliklerini incelemişlerdir. Sonuç olarak doğal lif takviyesinin polimere dayanım ve mukavemet

kazandırarak kompozit malzemeyi geliştirdiği ve alternatif bir ürün olarak kullanılabileceğini belirtmişlerdir.

Mello ve diğerleri (2014), yaptıkları araştırmada betonun özelliklerinin lif ilave edilerek iyileştirilmesini incelemişlerdir. Beton içerisine selüloz lif, karbon lif, çelik lif ve polyethylene terephthalate (PET) lifler ayrı ayrı %4 oranında ilave edilerek numuneler hazırlanmıştır. Basınç, eğilme dayanımı deneyleri ve maliyet değişim analizi yapılmıştır. Sonuç olarak selüloz lifin basınç dayanımını %9.8 - %16.4 oranında düşürdüğü tespit edilmiştir. Selüloz lifin kullanımı ile betonun yangına karşı direncinin ve donma-çözölmeye karşı direncinin arttığı görölmüştür. Basınç dayanımındaki düşüşün kabul edilebilir seviyelerde olduğu ve selüloz lif kullanımının daha ekonomik olduğunu belirtmişlerdir.

Bhalerao ve diğerleri (2015), yaptıkları çalışmada yüksek performanslı betonlara mikro ve nano ölçekte selüloz lif ilave ederek, beton dayanımına etkilerini incelemişlerdir. Mikro ve nano- selüloz lifler, betona hem ayrı ayrı hem de kombinasyon halde hacimsel olarak %0, %1, %3 ve %5 oranında ilave edilmiştir. Yarmada çekme ve eğilmede çekme deneyleri yapılmıştır. Sonuç olarak %3 mikro selüloz ilaveli beton numunelerin kırılma enerjisi performansının arttığı görölmüştür. Mikro ve nano selüloz lif içeren beton numunelerin ilavesiz numunelere göre kırılma enerjisinin %26 daha fazla olduğunu tespit etmişlerdir.

Erdem (2015), yaptığı çalışmasında fibercement levha karışımlarının ve özelliklerinin iyileştirilmesi araştırılmıştır. Çalışmasında selüloz lif kullanımının fibercement levhaların basınç dayanımına olan etkilerini gözlemlemiştir. Numuneler %100 kuvars kumu, %50 kuvars kumu + %50 diatomit malzemesi ve %100 diatomit malzemesi içeren numunelerin her birine ayrı ayrı 166.75, 175.00 ve 183.75 gram selüloz lif ilave edilmiştir. Sonuç olarak bu numunelerin 28 günlük basınç dayanımları karşılaştırılmıştır. Selüloz ilave miktarının artması ile basınç dayanımlarında artış gözlemlenmiştir. %100 diatomit malzemesi ve hacimsel olarak 1.05 oranında selüloz lif kullanımı basınç dayanımını %49.6 oranında artırdığı tespit edilmiştir.

5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

5.1. Malzeme Kullanım Nedenleri

Bu çalışmada, 3 boyutlu beton yazıcı cihazında kullanılacak beton harcın üretiminde kullanılan malzemelerin tercih nedenleri şunlardır ;

Diatomit malzemesinin yapılan araştırma ve literatür çalışmalarında yoğunluğu düşük olan ve ilave edildiğinde harcın yayılmasını azaltan ve harcın yapışkanlığını arttıran bir malzeme olduğu belirlenmiştir. 3 boyutlu beton yazıcı cihazında kullanılacak beton harç üretiminde diatomit malzemesi kullanılarak oluşturulan taze haldeki katmanın, şeklinin ve konumunun korunması sağlanmaya çalışılmıştır. Ayrıca taze haldeki katmanın yayılması azaltılmıştır. Bu malzemenin kullanımı ile oluşturulan katmanın yapışkanlığı artırılmış böylece üstüne eklenen diğer katmanların birbirine yapışması ve tutunması sağlanmıştır. Katmanların üstüste eklenmesi ile en altta kalan katman ağırlık sebebiyle ezilerek çatlama ve şekli bozulmaktadır. Bu durumu önlemek için düşük yoğunlukta bir malzeme olan diatomit, beton harca ilave edilerek harç yoğunluğunun ve katmanların ağırlığının azaltılması sağlanarak altta kalan katmanların ezilerek çatlama ve şeklinin bozulması engellenmek istenmiştir.

Öğütülmüş yüksek fırın cürufunun (ÖYFC) yapılan araştırma ve literatür çalışmalarında beton harca ilave edildiğinde işlenebilirliğini arttırdığı, su ihtiyacını azalttığı, hacimce daha fazla çimento hamuru sağladığı, ileriki yaşlarda dayanımı arttırdığı ve ekonomiklik sağladığı belirlenmiştir. 3 boyutlu beton yazıcı cihazında kullanılacak beton harç üretiminde ÖYFC ilaveli beton harç kullanılarak katmanlara daha kolay şekil verilebilmesi ve özellikle katmanların kırılma bölgelerinde oluşabilecek çatlakların azaltılması sağlanmıştır. Bu malzemenin kullanımı ile beton harcın zamanla dayanımının artması hedeflenmiştir. Aynı zamanda atık bir malzeme olan ÖYFC değerlendirilerek beton harcın maliyetinin azaltılması sağlanmıştır.

Selüloz malzemesi ile ilgili yapılan araştırma ve literatür çalışmalarında beton harca ilave edildiğinde çatlakları azalttığı, kırılma enerjisini arttırdığı, malzeme özelliklerini geliştirdiği belirlenmiştir. 3 boyutlu beton yazıcı cihazında kullanılacak beton üretiminde selüloz malzemesi ilaveli beton harç kullanılarak harcın viskozitesinin artması sağlanmış, ayrıca katmanda oluşabilecek çatlakların azaltılması sağlanmıştır.

Tüm beton harç numunelerinde agrega olarak tane boyutları birbirine yakın ince sıva kumu kullanılmıştır. Böylece basılan katman boyunca aynı görünüm ve özellik

sağlanmaya çalışılmıştır. Ayrıca kum tanelerinin küresel yapıda olması katmanın pompa ağzından tıkanma yapmadan kolayca çıkabilmesini sağlamıştır.

Polipropilen lif ile ilgili yapılan araştırma ve literatür çalışmalarında, lifin beton harca ilave edilmesi ile harcın basınç ve eğilme dayanımının arttığı, çatlakların azaldığı ve segregasyonu önlediği belirlenmiştir. Bu çalışmada, tüm harç numunelerine polipropilen lif ilave edilerek katmanların özellikle kıvrılma bölgelerinde çatlakları ve kopmaları engelleme amacı ile kullanılmıştır. Ayrıca beton harçların basınç ve eğilme dayanım değerlerinin artması sağlanmıştır.

5.2. Kullanılan Malzemelerin Teknik Özellikleri

5.2.1. Çimento

Çalışmada 3 boyutlu beton yazıcı cihazında kullanılacak harcın üretiminde bağlayıcı malzeme olarak Ereğli Çimento fabrikasının ürünü olan Eksper Puzolanik Çimento CEM IV/B 32,5R tipi çimento kullanılmıştır. Kullanılan çimentonun fiziksel ve mekanik özellikleri aşağıdaki Çizelge 5.1’de verilmiştir.

Çizelge 5.1. CEM IV/B 32,5R çimentosunun fiziksel ve mekanik özellikleri.

Fiziksel Özellikleri		Mekanik Özellikleri	
Tane Boyut Aralığı (mikron, μm)	0.2 - 120	Basınç Dayanımı	(MPa)
Özgül Yüzey Alanı (m^2/g)	5000	2 Gün	10.0
Yoğunluk (g/cm^3)	3.08	28 Gün	32.5
Kızdırma Kaybı	3.03		
Priz Başlangıcı (dk)	75		

5.2.2. Su

Beton harç numunelerinin üretiminde beton karma suyu olarak TS EN 1008 standardına uygun olan Bilecik ili şehir şebekesi suyu kullanılmıştır.

5.2.3. Polipropilen lif

Tüm deneylerde İstanbul Teknik firmasının ürünü olan polipropilen lif kullanılmıştır. Kullanılan polipropilen lifin teknik özellikleri Çizelge 5.2’de verilmiştir.

Çizelge 5.2. Polipropilen lifin teknik özellikleri.

Yoğunluk	0.91 g/cm ³
Lif Uzunluğu	24 mm
Görünüm	Yumuşak ve Multifilament Yapıda
Çekme Mukavemeti	380-650 MPa
Uzaması	>%15
Elastik Modülü	>3400 MPa
Asit ve Alkali Dayanımı	Yüksek Dirençli
Su Emmesi	Yok
Erime Noktası	160-180 °C

5.2.4. Diatomit

Çizelge 5.3. Diatomit malzemesi fiziksel ve kimyasal özellikleri.

Fiziksel Özellikleri		Kimyasal Özellikleri	
Tane Boyut Aralığı (mikron, µm)	43-288	SiO ₂	%90.1
Özgül Yüzey Alanı (m ² /g)	4000-4500	Fe ₂ O ₃	%2.79
Yoğunluk (g/cm ³)	0.50	Al ₂ O ₃	%2.16
Renk	Kirli Beyaz	CaO	%2.09
Kızdırma Kaybı	0.40	Na ₂ O	%1.27
		K ₂ O	%0.57
		MgO	%0.237
		S	%0.1
		C	%0.02
		Diğer	%0.31
		Oksitler	%0.35

Kullanılan diatomit malzemesinin fiziksel ve kimyasal özellikleri Çizelge 5.3’de verilmiştir. Çalışmada kullanılan diatomit malzemesi, Beg-Tuğ Mineral Madencilik firmasının ürünü olan BG-002 Kirli Beyaz Flux Kalsine Edilmiş Diatomit tipi malzemedir.

5.2.5. Kum

Tüm hazırlanan beton harç numunelerinde 1-2 mm elek aralığında yıkanmış ince sıva kumu kullanılmıştır.

5.2.6. Öğütülmüş yüksek fırın cürufu (ÖYFC)

Çalışmalarda kullanılan öğütülmüş yüksek fırın cürufu (ÖYFC), Bolu Çimento Sanayii AŞ. fabrikasından temin edilmiştir. Kullanılan ÖYFC’nin fiziksel ve kimyasal özellikleri Çizelge 5.4’te gösterilmiştir.

Çizelge 5.4. ÖYFC malzemesi fiziksel ve kimyasal özellikleri.

Fiziksel Özellikleri		Kimyasal Özellikleri	
Tane Boyut Aralığı (mikron, μm)	3-100	CaO	37.79
Özgül Yüzey Alanı (m^2/g)	4500-5000	SiO ₂	35.09
Yoğunluk (g/cm^3)	2.75-3.00	Al ₂ O ₃	17.54
Kızdırma Kaybı	-	MgO	5.50
		SO ₃	1.15
		K ₂ O	0.63
		Fe ₂ O ₃	0.50
		Na ₂ O	0.30

5.2.7. Selüloz

Selüloz olarak, Univar Kimya Endüstrisi’nin ürünü olan Jelucel 300H tipi selüloz kullanılmıştır. Kullanılan Jelucel 300H tipi selüloz malzemesinin teknik özellikleri Çizelge 5.5’te verilmiştir.

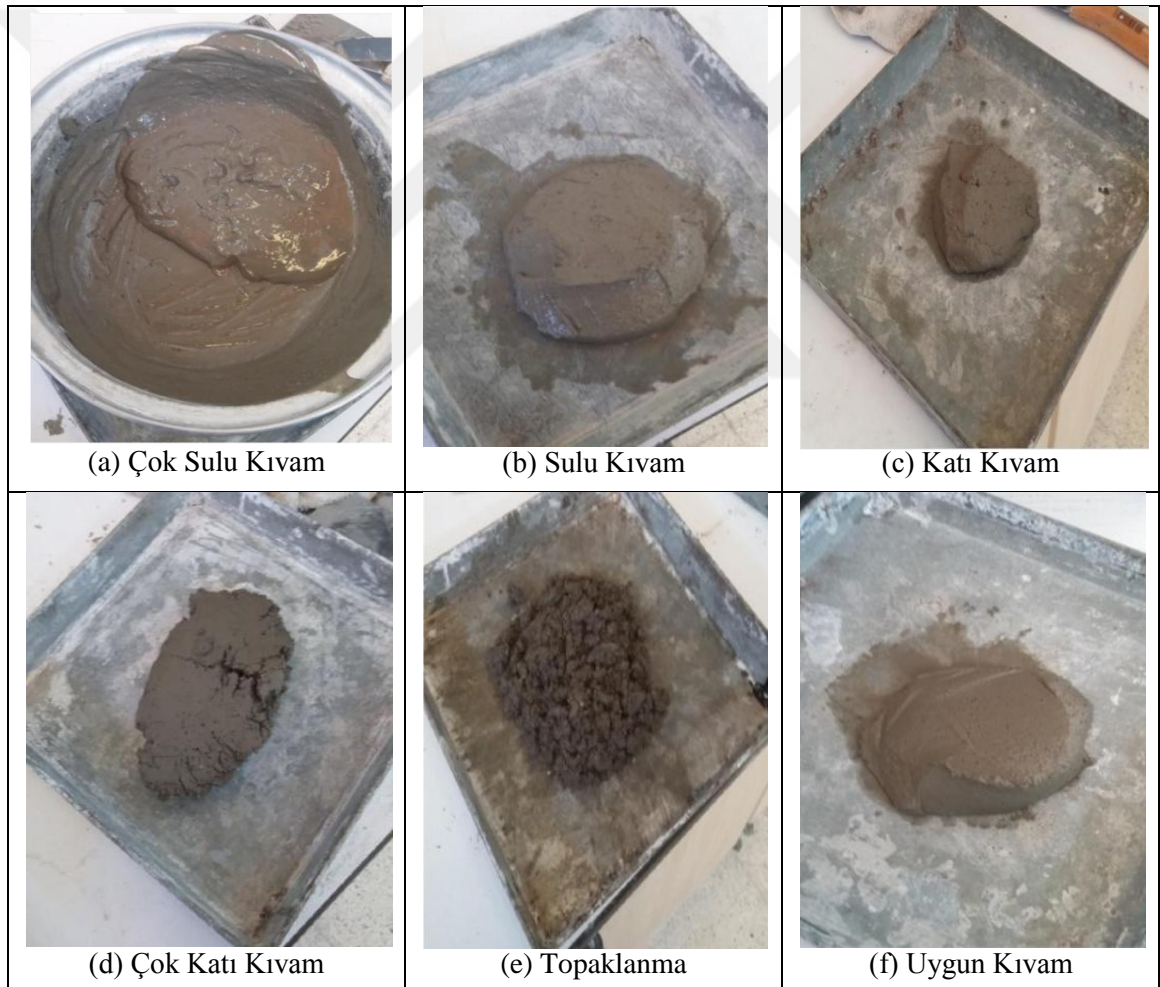
Çizelge 5.5. Selüloz malzemesi teknik özellikleri.

Selüloz	Selüloz 300H
Selüloz İçeriği	~ %80
Kuruma Kaybı	~ %8
Kütle Yoğunluğu	~ %150 (g/l)
pH Değeri	~ 6
Elek Analizi	
32µm	~ %70
125µm	~ %25
200µm	~ %5
Renk	Bej

6. YÖNTEM

6.1. Numunelerin Hazırlanması

Deneyleerde kullanılacak malzemelerin öncelikle yoğunlukları tespit edilmiştir. 3 boyutlu beton yazıcı cihazında harcın kullanılabilmesi için belli bir kıvamda olması gerekmektedir. Bu kıvamı tespit edebilmek için 22 adet beton harç deneme karışımı yapılmıştır. Deneme karışımında hazırlanan harçların kıvamları, çok sulu kıvam, sulu kıvam, katı kıvam, çok katı kıvam, topaklanma ve uygun kıvam şeklinde değerlendirilmiştir. Şekil 6.1’de gözlemlenen beton harçların kıvamlarının görüntüsü verilmiştir.



Şekil. 6.1 Beton harç karışım kıvamlarının görüntüleri.

Bu deneme karışımlarında, harcı oluşturan diatomit, kum, çimento, ÖYFC, selüloz ve su miktarları hacimsel olarak artırılarak veya azaltılarak arzu edilen uygun kıvam tespit edilmeye çalışılmıştır. Uygun kıvam, pompa ağzından kopmalar olmadan çıkabilen, şeklini koruyabilen, katmanlar halinde üst üste dizilebilen, yayılma değeri az, inşa edildiğinde basınç ve eğilme dayanımı yüksek olmalıdır.

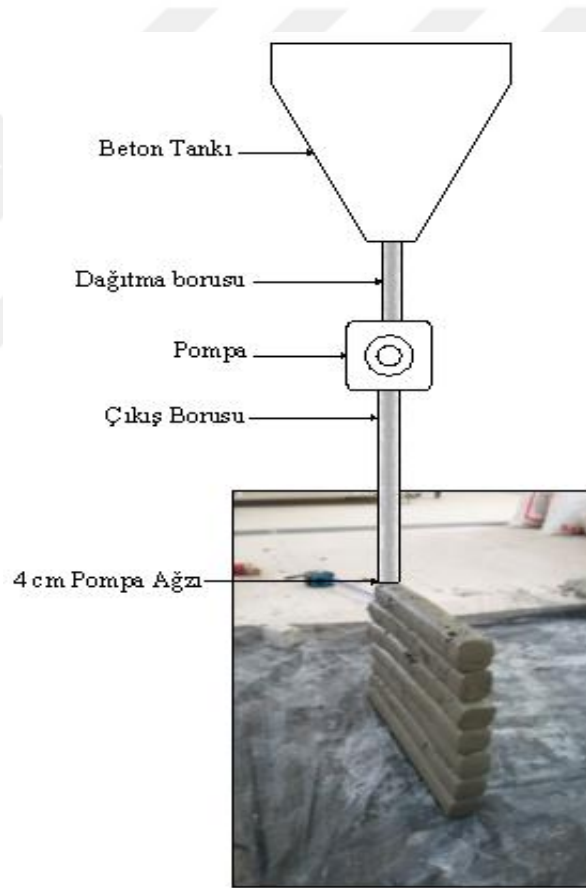
Çizelge 6.1. 300 cm³'lük hacimsel olarak beton harç için malzemelerin deneme karışım miktarı ve gözlenen kıvam.

KARIŞIM NO	KUM HACMİ (cm ³)	DIATOMİT HACMİ (cm ³)	ÇİMENTO HACMİ (cm ³)	ÖYFC HACMİ (cm ³)	SELÜLOZ HACMİ (cm ³)	SU HACMİ (cm ³)	POLİPROPİLEN LİF (gr)	GÖZLENEN KIVAM
KARIŞIM 1	100	100	100	0	0	80	0,60	Katı Kıvam
KARIŞIM 2	120	80	100	0	0	80	0,50	Katı Kıvam
KARIŞIM 3	80	120	100	0	0	80	0,50	Topaklanma
KARIŞIM 4	80	120	100	0	0	93	0,45	Uygun Kıvam
KARIŞIM 5	80	120	90	10	0	93	0,45	Uygun Kıvam
KARIŞIM 6	80	120	80	20	0	94	0,45	Uygun Kıvam
KARIŞIM 7	80	120	70	30	0	93	0,45	Uygun Kıvam
KARIŞIM 8	80	120	60	40	0	93	0,45	Katı Kıvam
KARIŞIM 9	80	120	100	0	70	95	0,45	Topaklanma
KARIŞIM 10	80	120	100	0	80	125	0,45	Çok Katı Kıvam
KARIŞIM 11	80	120	100	0	90	135	0,45	Katı Kıvam
KARIŞIM 12	80	120	70	30	90	135	0,45	Katı Kıvam
KARIŞIM 13	100	100	70	30	90	135	0,45	Katı Kıvam
KARIŞIM 14	80	120	70	30	80	150	-	Sulu Kıvam
KARIŞIM 15	80	120	70	30	80	145	0,45	Sulu Kıvam
KARIŞIM 16	70	130	70	30	90	145	0,45	Topaklanma
KARIŞIM 17	70	130	70	30	90	165	0,45	Sulu Kıvam
KARIŞIM 18	70	130	70	30	90	160	0,45	Sulu Kıvam
KARIŞIM 19	60	140	70	30	90	165	0,45	Katı Kıvam
KARIŞIM 20	60	140	70	30	90	150	0,45	Katı Kıvam
KARIŞIM 21	60	140	70	30	90	153	0,45	Uygun Kıvam
KARIŞIM 22	60	140	70	30	0	155	-	Çok Sulu Kıvam

Beton harç karışımlarında, 1,5 kg/m³ polipropilen lif kullanılarak, sıkma işlemi sırasında katmanlarda ve kıvrılma bölgelerindeki çatlamların azaldığı gözlemlenmiştir.

300 cm³ hacmindeki beton harç karışımlarında da 0,45 gr polipropilen lif kullanımı uygun görülmüştür.

Deneme karışımlarında hacimsel olarak, (kum+diatomit)/bağlayıcı 2/1 oranı ile beton harç karışımları oluşturulmuştur. Yapılan 22 adet deneme karışımı ve gözlenen kıvamın değerlendirmesi Çizelge 6.1’de verilmiştir. Her bir deneme karışımında kum + diatomit + çimento + ÖYFC hacimlerinin toplamı 300 cm³ olacak şekilde hazırlanmıştır. Tüm deneme karışımları, uygun kıvamı tespit edebilmek için, 4 cm çapında bir ağza sahip pompa ile denenerek tespit edilmeye çalışılmıştır. Daha sonra uygun gözlenen kıvamlar oransal olarak çoğaltılarak örnek çalışmalar yapılmıştır. Pompa sistemi şematik olarak Şekil 6.2’de gösterilmiştir.



Şekil 6.2. Şematik olarak pompa sistemi ile beton baskı.

Bu çalışmada yapılan 22 adet deneme karışımlarından uygun kıvam olarak 5 adet beton harç deneme karışımı tespit edilmiştir. Bu deneme karışımları Karışım 4, Karışım 5, Karışım 6, Karışım 7 ve Karışım 21’dir. Yapılan tüm deneysel çalışmalarda bu karışımlar kullanılmış olup karışım oranları bulgular bölümünde verilmiştir.



Şekil 6.3. Beton harcın pompa ağzından çıkış görüntüsü.



Şekil 6.4. Pompa sistemi ile yapılan örnek beton baskılar.

6.2. Yoğunluk Tayini Deneyi

Taze beton harçlar, kütlesi elektronik terazi ile tartılarak belirlenmiş, 10x10x10 cm hacminde bir küp kalıba doldurulmuştur. Beton harç ile dolu kap, elektronik terazide tartılmıştır. TS EN 12350-6 standartına uygun olarak 5 adet taze haldeki uygun harç karışımlarının yoğunlukları aşağıdaki formül ile hesap edilmiştir.

$$\rho = \frac{m_y}{V_y} \quad (6.1)$$

V_y = kap hacmi (cm³)

m_y = harç kütlesi (gr)

ρ = harç yoğunluğu (gr/cm³)' dur.

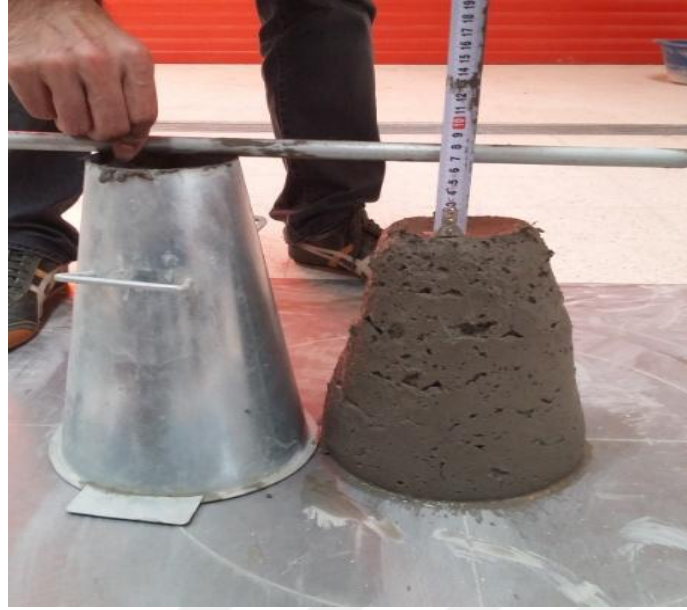
Deney sonrasında harç yoğunlukları grafiklendirilerek sonuçlar bölümünde belirtilmiştir.



Şekil 6.5. Elektronik terazi ile tartma.

6.3. Çökme (Slump) Deneyi

TS EN 12350-2 standartına uygun olarak gerçekleştirilen çökme deneyi, yüksekliği 30 cm olan bir huniye taze haldeki beton harç üç tabaka halinde doldurulup, her tabaka 25'er kez şişlenerek sıkışması sağlanmıştır. Daha sonra dik şekilde yukarı doğru çekilerek harçta meydana gelen çökme metre kullanılarak Şekil 6.6'da gösterildiği gibi ölçülmüştür. Bu ölçülen değer beton harcın çökme değeri olarak belirlenmiştir.



Şekil 6.6. Beton harç çökme deneyi.

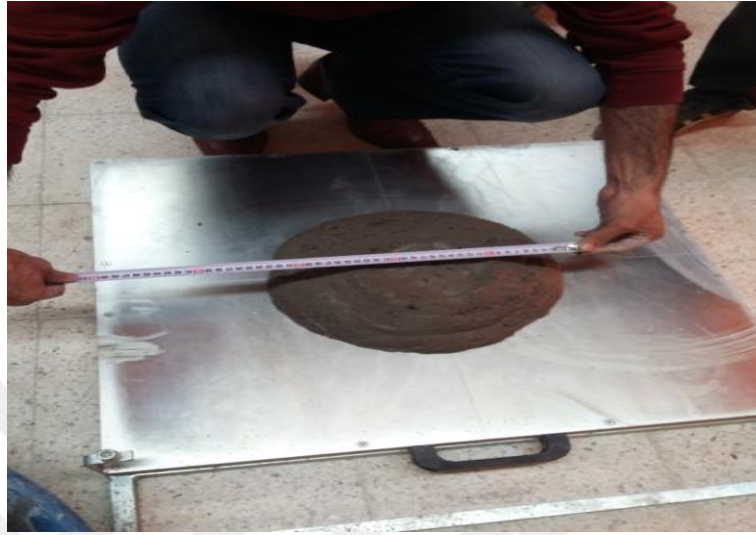
6.4. Kullanım Süresi Belirleme

Üretilen harçların 3 boyutlu beton yazıcı cihazında kullanılabilmesi için çökme değerlerinin 6 cm ile 8.25 cm arasında olması gerektiği yapılan denemeler ve gözlemler neticesinde tespit edilmiştir. 6 cm ile 8.25 cm arasında çökme değerinde olduğu tespit edilen beton harç karışımının kullanım süresinin belirlenebilmesi için ilk çökme değeri ölçülmüştür. Daha sonra aynı harç karıştırılarak 10 dakika sonra tekrardan çökme değeri ölçülerek tespit edilmiştir. Bu şekilde her 10 dakikada bir çökme değeri ölçülerek, 6 cm çökme değerine ulaşıncaya kadar deney tekrarlanmıştır. Bu ilk çökme değerinden 6 cm çökme değerine ulaşıncaya kadar geçen zaman yapılan harcın kullanım süresi olarak belirlenmiştir. Karışım 4, Karım 5, Karışım 6, Karım 7 ve Karışım 21'in her birinin kullanım süreleri tespit edilerek sonuçlar bölümünde gösterilmiştir.

6.5. Yayılma Tablası Deneyi

TS EN 12350-5 standardına uygun olarak gerçekleştirilen yayılma tablası deneyinde, yayılma tablası düz bir zemine yerleştirilmiştir. Yayılma tablası ortasına taban çapı 20 cm, üst çapı 13 cm ve yüksekliği 20 cm olan kesik koniye konularak iki tabaka halinde doldurulmuştur. Her tabaka 10'ar kez şişlenerek sıkıştırma işlemi yapılmıştır. Daha sonra koni dik şekilde çekilmiş ve yayılma tablasıyla toplam 15 kez düşürme işlemi yapılmıştır. Yayılma tablası kenarlarına paralel iki doğrultuda yayılma

değerleri metre ile ölçülüp ortalaması alınarak yayılma değerleri tespit edilmiştir. Yayılma tablası deneyi Şekil 6.7'de gösterilmiştir. Deney sonrasında sonuçlar grafiklendirilmiş ve sonuçlar bölümünde değerlendirilmiştir.



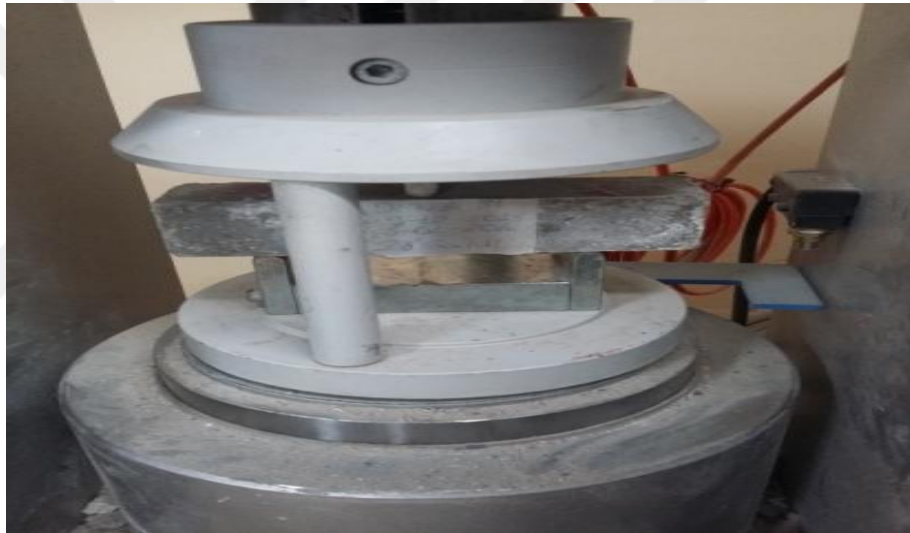
Şekil 6.7. Yayılma tablası deneyi.

6.6. Eğilme Deneyi

Hazırlanan harç numuneler eğilme dayanımı deneyi için TS EN 12390-5 standardına uygun olarak, 4 cm x 4 cm x 16 cm boyutlarındaki kiriş kalıplar kullanılmıştır. İlk olarak kiriş kalıplar, yarı seviyeye kadar doldurulduktan sonra sarsma tablasına yerleştirilmiştir. Sarsma tablasında 30 vuruş yapılmış ve kalıpların kalan kısmında doldurularak tekrar 30 vuruş yapılmıştır. Taze haldeki beton harç numunenin kalıba boşluksuz olarak yerleştiğinden emin oldunduktan sonra sertleşmeye bırakılmıştır. Her bir uygun gözlenen karışım için 9 adet kiriş numuneler hazırlanmıştır. Sertleşen numuneler zarar verilmeden kalıplarından çıkarılmış ve kür havuzuna konulmuştur. Karışım 4, Karışım 5, Karışım 6, Karışım 7 ve Karışım 21'in 3, 7 ve 28 günlük numunelerinin, eğilmede çekme dayanım değerleri belirlenmiştir. Deney sonuçları, sonuçlar bölümünde grafiklendirilerek gösterilmiştir.



Şekil 6.8. Kür havuzunda numuneler.



Şekil 6.9. Eğilme deneyi.

6.7. Basınç Deneyi

TS EN 12390-3 standardına uygun olarak, 10 cm x 10 cm x 10 cm küp kalıp kullanılarak her bir uygun gözlenen karışım için 9 adet küp numune hazırlandı. Karışım 4, Karışım 5, Karışım 6, Karışım 7 ve Karışım 21'in 3, 7 ve 28 günlük basınç dayanım değerleri belirlenmiştir. Basınç deneyi Şekil 6.10'da gösterilmiştir. Deney sonuçları sonuçlar bölümünde grafiklendirilerek gösterilmiştir.



Şekil 6.10. Basınç deneyi.

7. BULGULAR

7.1. Kullanılan Malzemelerin Değerlendirilmesi

ÖYFC'nin çimento ile hacimsel olarak %10, %20 ve %30 yer değiştirerek kullanılması işlenebilirliği arttırmıştır. ÖYFC'nin kullanılması ile sürekli ve çatlaksız filamentler oluşturulabilmiştir. Filamentler özellikle kıvrılma bölgelerinde çatlama dan daha kolay şekil alabilmiştir. Fakat ÖYFC'nin çimentonun yerine hacimsel olarak %30'dan daha fazla kullanımının ise beton harcın yapışkanlığını azalttığı gözlenmiştir. Hacimsel olarak tüm karışımın %3'ü kadar ilave edilen selüloz, beton harcın kıvamını arttırdığı ve filamentin özellikle kıvrılma bölgelerindeki çatlakları azalttığı gözlenmiştir. Selüloz malzemesinin hacimsel olarak tüm karışımında %3'den az kullanımında herhangi bir etkisi görülmemiş, %3'den fazla kullanımında ise filamentin aldığı şekli koruyamadığı, daha fazla karışım suyu gerektiği ve harç yapışkanlığını azalttığı gözlemlenmiştir. Hacimsel olarak kum ile yer değiştirilerek kullanılan diatomit oranı arttıkça beton harcın yapışkanlığının arttığı gözlemlenmiştir. Tüm karışımlarda 2 kg/m^3 polipropilen lif kullanıldığında liflerin topaklandığı gözlemlendi ve pompa ağzından çıkışı zorlaştırdığı görüldü. Polipropilen lif miktarı $1,5 \text{ kg/m}^3$ kullanıldığında harçta topaklanma gözlemlenmedi ve pompa ağzından çıkışı zorlaştırmadığı görüldü. Katmanın kıvrılma bölgelerinde de oluşan çatlakları azalttığı gözlemlenmiştir.

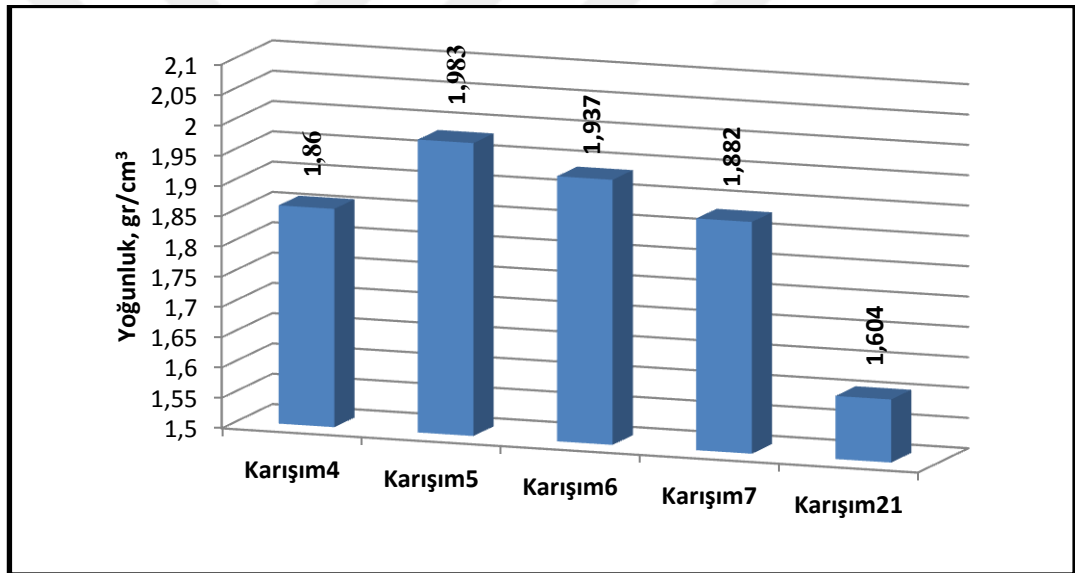
7.2. Beton Harç Karışım Oranları.

Çizelge 7.1. Beton harç karışım oranları tablosu.

Karışım 4				
Malzemeler	Yoğunluk (g/cm³)	Hacim (cm³)	Ağırlık (gr)	75*Ağırlık (gr)
Kum	1,625	80	130	9750
Diatomit	0,50	120	60	4500
Çimento	1,15	100	115	8625
Su	1	93	93	6975
Polpropilen lif	-	-	0,45	33,75
Toplam Karışım Ağırlığı=				29883,75
Karışım 5				
Kum	1,625	80	130	9750
Diatomit	0,50	120	60	4500
Çimento	1,15	90	103,5	7762,5
ÖYFC	1,04	10	10,4	780
Su	1	93	93	6975
Polpropilen lif	-	-	0,45	33,75
Toplam Karışım Ağırlığı=				29801,25
Karışım 6				
Kum	1,625	80	130	9750
Diatomit	0,50	120	60	4500
Çimento	1,15	80	92	6900
ÖYFC	1,04	20	20,8	1560
Su	1	94	94	7050
Polpropilen lif	-	-	0,45	33,75
Toplam Karışım Ağırlığı=				29793,75
Karışım 7				
Kum	1,625	80	130	9750
Diatomit	0,50	120	60	4500
Çimento	1,15	70	80,5	6037,5
ÖYFC	1,04	30	31,2	2340
Su	1	93	93	6975
Polpropilen lif	-	-	0,45	33,75
Toplam Karışım Ağırlığı=				29636,25
Karışım 21				
Kum	1,625	60	97,5	7312,5
Diatomit	0,50	140	70	5250
Çimento	1,15	70	80,5	6037,5
ÖYFC	1,04	30	31,2	2340
Selüloz	0,25	90	22,5	1687,5
Su	1	153	153	11475
Polpropilen lif	-	-	0,45	33,75
Toplam Karışım Ağırlığı=				34136,25

3 boyutlu beton yazıcıda kullanılacak Karışım 4, Karışım 5, Karışım 6, Karışım 7 ve Karışım 21'in beton harç karışım oranları Çizelge 7.1'de verilmiştir. Bu harç karışımlarından Karışım 4'ün ağırlıkça su/çimento oranı 0.81, Karışım 5'in ağırlıkça su/çimento oranı 0.90, Karışım 6'nın ağırlıkça su/çimento oranı 1.02, Karışım 7'nin ağırlıkça su/çimento oranı 1.15 ve Karışım 21'in ağırlıkça su/çimento oranı 1.90 olduğu tespit edilmiştir. Yoğunlukları belirlenmiş olan malzemeler deneme hacimleri ile çarpılarak ağırlıkları bulunmuştur. Her bir malzeme ağırlığı 75 ile çarpılarak 9 adet küp numune ile 9 adet kiriş numunenin elde edilmesi ve diğer deneylerin yapılabilmesi için gerekli miktar olan toplam karışım ağırlığında beton harç karışımları hazırlanmıştır.

7.3. Yoğunluk Tayini Deneyi Sonuçları

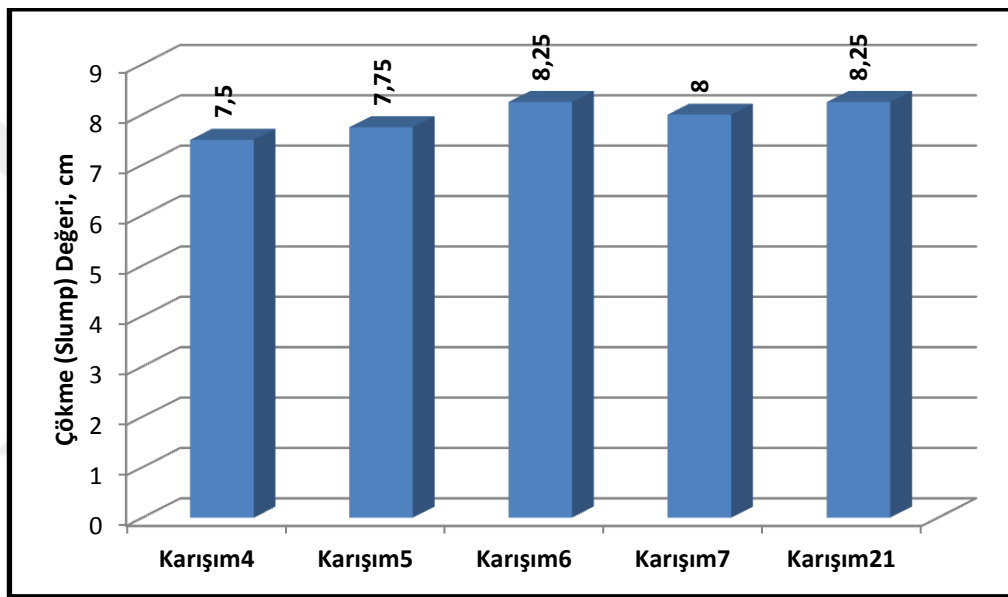


Şekil 7.1. Beton harçların yoğunlukları.

En düşük harç yoğunluğu $1,604 \text{ gr/cm}^3$ ile Karışım 21'dir. Bu çalışmada katmanı oluşturan harcın yoğunluğunu düşük tutularak ağırlığının düşük olması amaçlanmıştır. Çünkü altta kalan katmanların üzerine diğer katmanların sıkılması ile alt katmanlara daha fazla ağırlık etkimekte, bu sebeple de alt katmanlar daha taze halde oldukları için ezilerek ve çatlayarak şekilleri bozulmaktadır. Bu durumu önleyebilmek için bu çalışmada beton harç ağırlığının düşük olması amaçlanmıştır, böylece altta kalan katmanlara etkiyecek ağırlık azaltılmak istenmiştir.

7.4. Çökme (Slump) Deneyi Sonuçları

Beton harcın 3 boyutlu beton yazıcıda kullanılabilmesi için harcın belirli bir kıvamda olması gerekmektedir. Yazıcı cihazının pompa sisteminde kullanılacak harcın kıvamının çökme değerinin 6 cm ile 8.25 cm aralığında olması gerektiği yapılan gözlem ve denemeler neticesinde tespit edilmiştir. 6 cm altındaki çökme değerlerinde harcın işlenebilirliğinin zorlaştığı ve sıkılan katmanlarda kopmalar meydana geldiği gözlenirken, 8.25 cm üstündeki değerlerde ise harcın şekil verilemez kıvamda olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 7.2. Beton harç karışımlarının ilk çökme değerleri.

Bu çalışmada 3 boyutlu beton yazıcı cihazının pompa sisteminde kullanılacak uygun kıvamda olduğu tespit edilen Karışım 4, Karışım 5, Karışım 6, Karışım 7 ve Karışım 21'in kıvam değerleri belirlenmiş ve ilk çökme değerleri Şekil 7.2'de verilmiştir. En düşük çökme değeri 8.25 cm ile Karışım 6 ve Karışım 21'dir. En yüksek çökme değeri 7.50 cm ile Karışım 4'tür.

7.5. Kullanım Süresi Belirleme Sonuçları

Hazırlanan harç numuneler belli bir zaman geçince priz alarak katılaşmaktadır. Beton harcın katılaşmasından dolayı bir süre sonra harç numuneler yazıcı cihazının pompa sisteminde pompalanamaz ve şekil verilemez bir kıvama gelmektedir. Yapılan

bu çalışma ile uygun kıvamda olduğu tespit edilen beton harç karışımlarının, pompa sisteminde tıkanma yaşanmadan ne kadar sürede pompalanabilir ve şekil verilebilir özelliklerini koruyarak kullanılabilmesi belirlenmiştir.

Yazıcının pompa sisteminde kullanım için 6 cm ile 8.25 cm çökme değerleri arasındaki harçların, zamanla çökme değişim değerleri ölçülerek harçların ne kadar süre bu kıvam aralığında kalabildiği tespit edilmiştir. Böylece harçların, 3 boyutlu beton yazıcı cihazındaki kullanım süreleri belirlenmiştir. Çizelge 7.2’te beton harç numunelerinin kullanım süreleri, zamanla çökme değerleri ile birlikte belirtilmiştir. Beton harç numuneleri arasında 70 dakikaya kadar kullanım süresi olan ve daha sonra katılaşmaya başlayan kullanım süresi en uzun numune Karışım 21 olarak tespit edilmiştir.

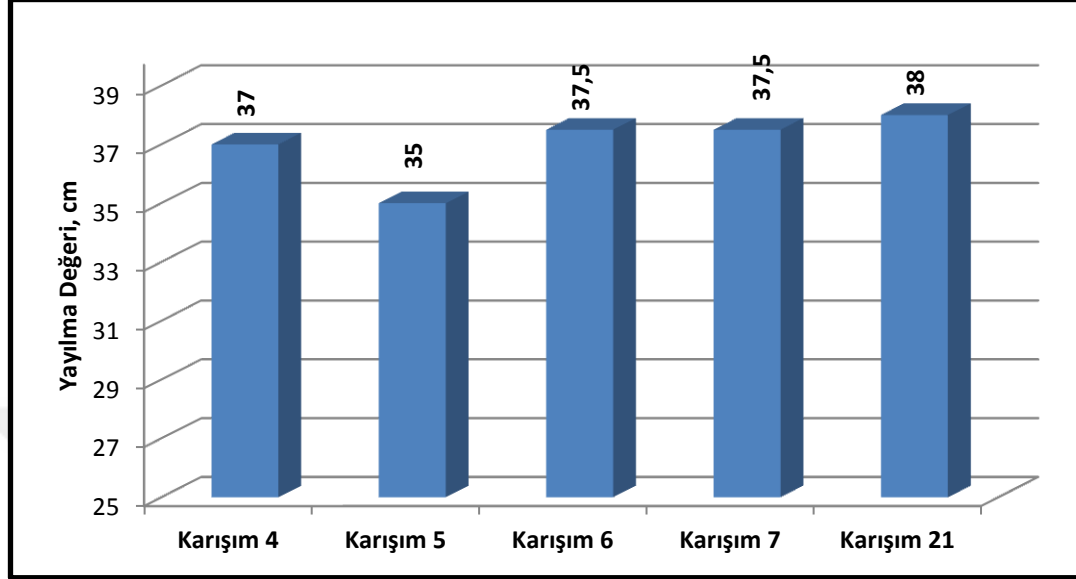
Çizelge 7.2. Beton harç kullanım süreleri.

Karışım No	Ölçümlerin Yapıldığı Süreler (Dakika)							
	0. dk	10. dk	20. dk	30. dk	40. dk	50. dk	60. dk	70. dk
Karışım 4 Çökme Değeri cm	7,50	7,50	7,00	6,50	6,00	-	-	-
Karışım 5 Çökme Değeri cm	7,75	7,50	7,50	7,00	6,25	-	-	-
Karışım 6 Çökme Değeri cm	8,25	8,25	7,75	7,00	6,50	6,00	-	-
Karışım 7 Çökme Değeri cm	8,00	8,00	7,50	6,75	6,50	6,25	-	-
Karışım 21 Çökme Değeri cm	8,25	8,00	7,75	7,75	7,25	7,00	6,50	6,25

7.6. Yayılma Tablası Deneyi Sonuçları

3 boyutlu beton yazıcının pompa sistemi ile oluşturulan bir katmanın şeklini ve konumunu koruması gerekmekte, aynı zamanda taze halde olan katmanın yayılmaması gerekmektedir. Harç numunelerinin yayılma değerleri Şekil 7.3’de gösterilmiştir. Uygun kıvamda olduğu tespit edilen harç numunelerinin yayılma miktarları birbirine

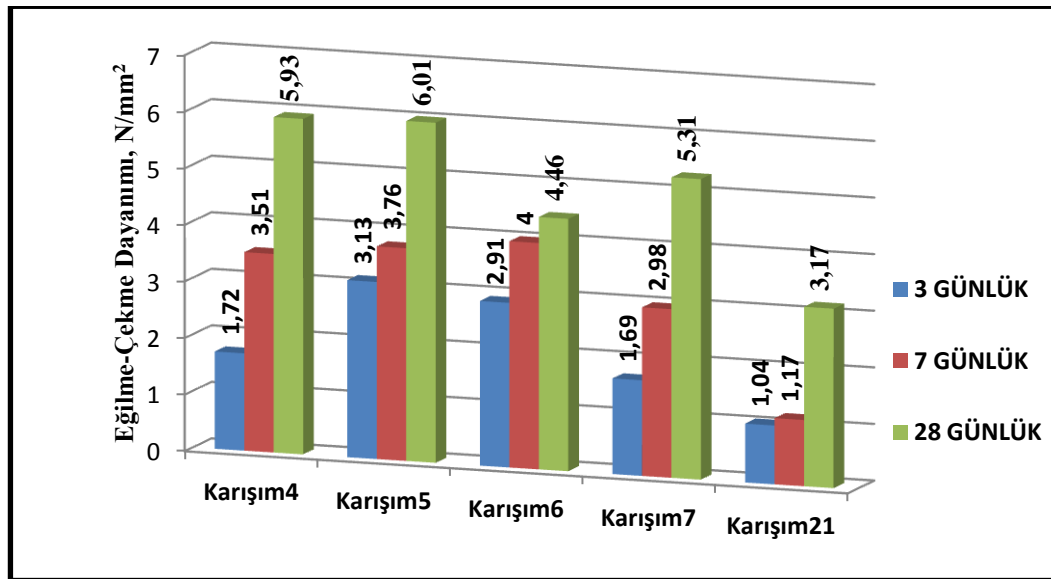
yakın değerlerde olmasına karşın en az yayılmanın 35 cm ile Karışım 5’te gerçekleştiği tespit edilmiştir.



Şekil 7.3. Beton harçların yayılma değerleri.

7.7. Eğilme Deneyi Sonuçları

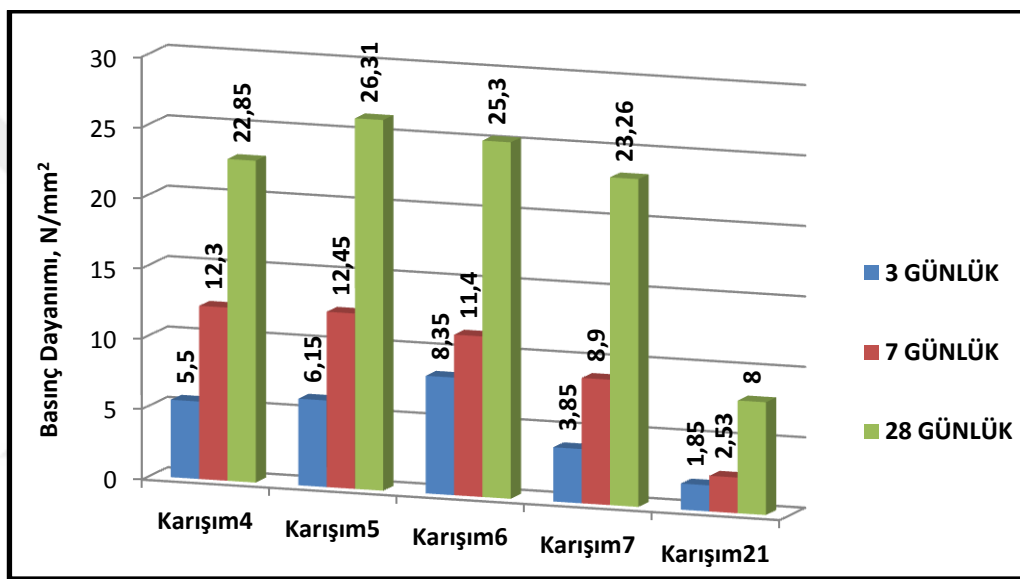
TS EN 12390-5 standardına uygun olarak, Karışım 4, Karışım 5, Karışım 6, Karışım 7 ve Karışım 21’in 3, 7 ve 28 günlük numunelerinin eğilmede çekme dayanımları belirlenmiştir. Deney sonuçları Şekil 7.4’de verilmiştir.



Şekil 7.4. Beton harçların eğilme dayanımları.

Şekil 7.4'e göre 3 boyutlu beton yazıcı cihazında kullanılabilir bu karışımlardan 3 ve 28 günlük numunelerden en fazla eğilme-çekme dayanımı sırasıyla 3,13 N/mm² ve 6,01 N/mm² ile Karışım 5'tir. 7 günlük numunelerden ise en fazla eğilme-çekme dayanımı 4 N/mm² ile Karışım 6'dır. 3, 7 ve 28 günlük numunelerde en az eğilme-çekme dayanımı sırasıyla 1,04 N/mm², 3,17 N/mm² ve 1,17 N/mm² ile Karışım 21'dir.

7.8. Basınç Deneyi Sonuçları



Şekil 7.5. Beton harçların basınç dayanım değerleri.

TS EN 12390-3 standardına uygun olarak, Karışım 4, Karışım 5, Karışım 6, Karışım 7 ve Karışım 21'in 3, 7 ve 28 günlük numunelerinin basınç dayanımları belirlenmiştir. Deney sonuçları Şekil 7.5'te verilmiştir. Şekil 7.5'e göre 3 boyutlu beton yazıcı cihazında kullanılabilir bu karışımlardan 3 günlük numunelerden en fazla dayanım 8,35 N/mm² ile Karışım 6, 7 ve 28 günlük numunelerden en fazla dayanım sırası ile 12,45 N/mm² ve 26,31 N/mm² ile Karışım 5'tir. 3, 7 ve 28 günlük numunelerde en az dayanımı ise Karışım 21 vermiştir.

8. SONUÇ VE ÖNERİLER

3 boyutlu yazıcılarla otomatik yapı imalinde en önemli konulardan bir tanesi bu işlemler sırasında hangi malzemenin kullanılacağıdır. Bu çalışmada bu konuyla ilgili yapılan bir dizi araştırma açıklanmakta ve elde edilen sonuçlar sunulmaktadır. Araştırmada, işlemde kullanılabileceği düşünülen 22 adet karışım karşılaştırmalı olarak incelenmiş ve belirlenen ölçütlere göre bunlardan 5 tanesinin kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

Elde edilen sonuçlar aşağıda sıralanmıştır.

- Belirlenen bu beton harç karışım oranları ile çatlama olmadan, sürekli katmanlar oluşturulabilmiştir.
- Tüm karışımlarda $1,5 \text{ kg/m}^3$ polipropilen lif kullanılarak, sıkma işlemi sırasında katmanın kıvrılma bölgelerindeki çatlamların azaldığı tespit edilmiştir.
- Öğütülmüş yüksek fırın cürufunun (ÖYFC) çimento ile hacimsel olarak %10, %20 ve %30 yer değiştirmesinin işlenebilirliği arttırdığı, %30'dan fazla kullanımında ise harcın yapışkanlığını azalttığı gözlemlenmiştir.
- Selüloz malzemesinin harç karışımlarında hacimsel olarak %3 kadar kullanıldığında harcın işlenebilirliğini arttırdığı, çatlakları azalttığı gözlemlenmiştir.
- Beton harç içerisinde diatomit oranı arttıkça harcın yapışkanlığı artmış ve harç yoğunluğunu düşürerek alt katmanlara etkiyecek ağırlık azaltılmıştır.
- 3 boyutlu beton yazıcı cihazında kullanılabilecek beton harçların kıvamının 6 cm ile 8.25 cm arasında bir çökme (slump) değerine sahip olması gerektiği tespit edilmiştir.

Sonuç olarak otomatik yapı üretim teknolojisinde 3 boyutlu beton yazıcı cihazında kum, çimento, diatomit, öğütülmüş yüksek fırın cürufu (ÖYFC), selüloz ve polipropilen lifin kullanımının uygun olduğu deneysel araştırma ve gözlemlerle belirlenmiştir. Değerlendirmeler sonucunda uygun bulunan 5 karışımdan 5 numaralı olanın da göreceli olarak en kullanılabilir olduğu düşünülmektedir. Gerçekten de Karışım 5'in diğer karışımlara göre yoğunluğu yüksektir, buna rağmen yayılması en az olarak gözlemlenmiş, basınç ve eğilmede çekme dayanımının en yüksek olan karışım

olduđu tespit edilmiřtir. Yapılan bu çalıřmanın bařka deneylerle ve daha bařka malzemelerle zenginleřtirilmesiyle çok pratik ve elveriřli sonuçlar elde edilebileceđi dűřünülmektedir.



KAYNAKLAR

- Açıkgenç, M., Arazsu, U., ve Alyamaç, K. E., "Farklı karışım oranlarına sahip polipropilen lifli betonların dayanım ve durabilite özellikleri", *SDU International Journal of Technological Science*, 4(3): 41-54 (2012).
- Akkaş, A., Alparslan, L., Arabacı, S., ve Başyigit, C., "Polipropilen lif katkılı yarı hafif betonların basınç dayanımı özellikleri", *SDU International Technologic Science*, 2(1): 9-14 (2010).
- Al-Tayyib, A-H.J., Al-Zahrani, M.M., "Use of Polypropylene Fibers to Enhance Deteioration Resistance of Concrete Surface Skin Subjected to Cyclic Wet/Dry Sea Water Exposure", *ACI Materials Journal.*, 87(4): 363-370 (1990).
- Apak, S., "Farklı hızlı prototipleme cihazlarında üretilen parçaların üretim zamanı ve maliyet açısından karşılaştırılması", Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Eğitimi Ana Bilim Dalı*, Ankara (2010).
- Arazsu, U., "Polipropilen lifli betonların taze ve sertleşmiş beton özellikleri", Yüksek Lisans Tezi, *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Elazığ (2012).
- Aruntaş, H.Y., "Diatomitlerin çimentolu sistemlerde puzolanik malzeme olarak kullanılabilirliği", Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara (1996).
- Bahadır, F., "Polipropilen Lifli Betonların Mekanik Özellikleri", Yüksek Lisans Tezi, *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Eskişehir (2010).
- Başer, İ., "Doğal Lifler", Elyaf Bilgisi, *Marmara Üniversitesi*, İstanbul, 28-31 (2002).
- Bhalerao, N., Wayal, A.S., Patil, P.G., Bharimalla, A.K., "A review on effect of nano cellulose on concrete", *International Journal of Civil and Structural Engineering Research*, 3(1): 251-254 (2015).
- Bilgen, G., Kavak, A., Yıldırım, S.T., ve Çapar, Ö.F., "Yüksek fırın cürufunun inşaat sektöründeki yeri ve önemi", *II. Ulusal Katı Atık Yönetimi Kongresi*, Mersin, 505-514 (2010).
- Bilgiç, T., "Polimerler I", *Pagev Yayınları*, İstanbul (1999).
- Bilim, C., ve Atış, C.D., "Öğütülmüş Granüle Yüksek Fırın Cürufu İçeren Harçların Aşınma ve Mukavemet Özellikleri", *Politeknik Dergisi* 14(2): 101-107 (2011).

KAYNAKLAR (Devam ediyor)

- Bulut, Y. ve Erdoğan, Ü. H., “Selüloz Esaslı Doğal Liflerin Kompozit Üretiminde Takviye Materyalı Olarak Kullanımı”, *Tekstil ve Mühendis*, 82: 26-35 (2011).
- Buswell, R. A., Soar, R. C., Gibb, A. G., and Thorpe, A., “Freeform construction: mega-scale rapid manufacturing for construction”, *Automation in construction*, 16(2): 224-231 (2007).
- Caf, M., “Polipropilen ve Çelik Lifli Betonların Dayanımı”, Yüksek Lisans Tezi, *Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Erzurum (2012).
- Campbell, T., Williams, C., Ivanova, O., Garrett, B., “Strategic Foresight Report,” *Atlantic Council*, 3 (2011).
- Contourcrafting, “**Contour Crafting**”, <http://www.contourcrafting.org/>, (22.02.2016).
- Çakır, Ö., “Yüksek fırın cürufunun betonun özelliklerine etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul (2000).
- Çelik, İ., Karakoç, F., Çakır, M. C., ve Duysak, A., “Hızlı Prototipleme Teknolojileri ve Uygulama Alanları”, *Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, (31):53-70 (2013).
- Çelik, K., “Uçucu kül, yüksek fırın cürufu ve traslı çimentolarla üretilen aynı mukavemet sınıfındaki harçların dayanım ve dayanıklılığının incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul (2005).
- Çelik, Ö., Yurter, G., Sabiha, K. A. N., & Yeprem, H. A., “Farklı puzolanik katkıların çimento harçlarının mekanik özellikleri üzerine etkisi”, *Doğuş Üniversitesi Dergisi*, 5(2): 147-154 (2004).
- Değirmenci, N., and Yılmaz, A. “Use of diatomite as partial replacement for Portland cement in cement mortars” *Construction and Building Materials* 23(1): 284 288 (2009).
- Emiroğlu, M., Koçak, Y., ve Subaşı, S., “Yüksek Fırın Cürufunun Betonun Fiziksel ve Mekanik Özelliklerine Etkisi”, *6.International Advanced Technologies Symposium*, , Elazığ, 113-117 (2011).

KAYNAKLAR (Devam ediyor)

- Erdem, B.Z., ‘‘Fibercement karışımlarının ve özelliklerinin iyileştirilmesi’’, Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul (2015).
- Ermurat, M., ‘‘ Hızlı prototip ve üretim teknolojilerinin incelenmesi’’, Yüksek Lisans Tezi, *Gebze İleri Teknoloji Enstitüsü Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü*, Gebze (2002).
- Fernandes, G. and Feitosa, L., ‘‘Impact of Contour Crafting on Civil Engineering’’, *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*, 2278-0181 (2015).
- Genç, S.S., ‘‘Diatomit katkılı betonların yük altındaki davranış ve kullanılabilirlik özellikleri’’, Yüksek Lisans Tezi, *Ondokuzmayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Samsun (2006).
- Girginkardeşler, S.Ö., ‘‘Farklı çimentoların harcın dayanım ve dayanıklılığına etkisi’’, Doktora Tezi, *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Balıkesir (2008).
- Gökkonca, E. K., ‘‘Diatomit katkılı harçların bazı mekanik ve fiziksel özelliklerinin değişiminin incelenmesi’’, Yüksek Lisans Tezi, *Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Denizli (2010).
- Gündeşli, U., ‘‘Uçucu Kül, Silis Dumanı Ve Yüksek Fırın Cürufunun Beton ve Çimento Katkısı Olarak Kullanımı Üzerine Bir Kaynak Taraması’’, Yüksek Lisans Tezi, *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul (2008).
- Hsie, M., and Tu, C., and Song, P.S., ‘‘Mechanical properties of polypropylene hybrid fiber-reinforced concrete’’, *Materials Science and Engineering A*, 494: 153 - 157 (2008).
- Isaia, G.C., Gastaldini A.L.G. and Moraes, R., ‘‘Physical and pozzolanic action of mineral additions on the mechanical strength of high – performance concrete’’, *Cement&Concrete Composites*, 25: 69-76 (2003).
- İstanbul Teknik, ‘‘Fiber donatı’’, <http://istanbulteknik.com/UrunDetay.aspx?ID=21>, (25.02.2016).
- Kara, N., ‘‘Havacılıkta Katmanlı İmalat Teknolojisinin Kullanımı’’, *Engineer & the Machinery Magazine*, 54(636): 70-75 (2013).

KAYNAKLAR (Devam ediyor)

- Karahan, O., Arı, K., Haktanır, T., Atış, C.D., “İki farklı portland çimentolu betonların dayanımına zaman ve kür etkisinin araştırılması”, *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 21 (1-2): 62-68 (2005).
- Karahan, O., “Liflerle güçlendirilmiş uçucu küllü betonların özellikleri”, Doktora Tezi, *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Adana (2006).
- Kendüzler, H.D., “Hızlı prototiplemede harç yığıma yöntemi ile karmaşık parçaların üretilebilirliğinin araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara (2011).
- Khoshnevis, B., “Automated construction by contour crafting—related robotics and information technologies”, *Automation in construction*, 13(1): 5-19 (2004).
- Khoshnevis, B., Carlson, A., Leach, N., & Thangavelu, M., “Contour crafting simulation plan for lunar settlement infrastructure buildup”, *In ASCE Earth and Space Conference*, Pasadena, (15-18) (2012).
- Le, T.T., Austin, S.A., Lim, S., Buswell, R.A., Gibb, A.G.F., and Thorpe, T., “Mix design and fresh properties for high- performance printing concrete”, *Materials and Structures*, (45):1221-1232 (2012).
- Lilliman, M., Edmondson, S., Christie, S., “Rheological control of concrete for 3d printing”, *Loughborough University*, (2014).
- Lim, S., and Buswell, R., and Le, T., and Wackrow, R., and Austin, S., and Gibb, A., and Thorpe, T., “Development of a viable concrete printing process”, *In Proceedings of the 28th International Symposium on Automation and Robotics in Construction (ISARC2011)*, 665–670 (2011).
- Mello, E., Ribellato, C., and Mohamedelhasan, E., “Improving Concrete Properties with Fibers Addition World Academy of Science”, *Engineering and Technology, International Journal of Civil, Architectural, Structural and Construction Engineering*, 8(3): 249-254 (2014).
- MTA, “Türkiye Diatomit Envanteri”, MTA, Ankara, (138): 28 (1968).

KAYNAKLAR (Devam ediyor)

- MTA, “Çimento çeşitleri, özellikleri, hammaddeleri ve üretim aşamaları”, www.mta.gov.tr/v2.0/birimler/redaksiyon/ekonomi-bultenleri/2012_16/223.pdf, (2012).
- Nekrep, M. P., and Vdovic, R., “Water supply and drainage in future additive manufacturing building systems”, *39th International Symposium on Water Supply and Drainage For Building*, Japonya, 463-471(2013).
- Neville, A. M., “Properties of Concrete”, *Longman Scientific and Technical*, New York (1990).
- Newman, J., and B. S. Choo., ”Advanced concrete technology–1: constituent materials. Advanced concrete technology set.”, *Department of Civil Engineering Imperial College*, London (2003).
- Özcan, A., “Endüstriyel atıklar ve polipropilen lif içeren saha betonlarının özelliklerinin araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Zonguldak (2006).
- Özdemir, A., “Filler içeriğinin Portland çimentosu betonunun mekanik özelliklerine etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, *Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İzmir (2009).
- Özüğür, B., “Hızlı prototipleme teknikleri ile kompleks yapıdaki parçaların üretilebilirliklerinin araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara (2006).
- Promin, “Selüloz fiber”, http://www.promin.com.tr/index.php?option=com_content&view=article&id=115&lang=tr, (01.03.2016).
- Richard, O.Y., and Frederick M. B., “Industrial minerals & rocks: commodities, markets, and uses”, *SME*, 4(3): 433-449 (2006).
- Saran, A.G., “Öğütülmüş granüle yüksek fırın cürufunun beton durabilite özelliklerine etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul (2007).
- Sertbaş, B., “Kendiliğinden Yerleşen Betonlarda Polipropilen Lif Kullanımının İşlenebilirliğe Etkisi”, Yüksek Lisans Tezi , *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul (2015).

KAYNAKLAR (Devam ediyor)

- Sezgin, M., "Diatomitin hafif yapı eldesinde değerlendirilebilirliği", Yüksek Lisans Tezi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Isparta (1998).
- Stamatakis, M.G. and Fragoulis, D. and Csirik, G. and Bedelea, I. and Pedersen, S., "The influence of biogenic micro-silica-rich rocks on the properties of blended cements" *Cement & Concrete Composites*, 25:177–184 (2003).
- Sun, Z., and Xu, Q., "Microscopic, physical and mechanical analysis of polypropylene fiber reinforced concrete", *Materials Science and Engineering A.*, 527: 198-204 (2009).
- Şahan, M.A., "Cem I 42,5 Çimentolu Düşük Dozajlı Betonlarda Yüksek Fırın Cürufunun Etkinliği", Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul (2006).
- Toklu, Y. C., "Etude des mortiers des graves traitées aux liants hydrauliques et aux liants mixtes en vue de la réduction de leur fissuration de retrait, Rapport de Recherche No. 60", *Laboratoire Central des Ponts et Chaussées*, ISSN 0085-2643, 99, Paris (1976).
- Tokyay, M., ve Erdoğan, K. "Cüruflar ve Cürüflü Çimentolar", Araştırmaların Gözden Geçirilmesi Raporu", *TÇMB Yayını*, (2009).
- Tonak, T., Atay, Y., Ertürk, F., "Diyatomit Atıklarının Çimento Endüstrisinde Kullanılabilirliği ve Sağladığı Tasarruflar" *TÇMB Çimento Bülteni*, 28: 1-10 (1991).
- Totalkustom, "3D concrete house printer", <http://www.totalkustom.com/>, (06.04.2016).
- TS EN 1008, "Beton Karma Suyu", *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara (2003).
- TS EN 12350-2, "Beton – Taze Beton Deneyleri – Bölüm 2: Çökme (Slump) Deneyi", *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara (2010).
- TS EN 12350-5, "Beton – Taze Beton Deneyleri – Bölüm 5: Yayılma Tablası Deneyi", *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara (2010).

KAYNAKLAR (Devam ediyor)

- TS EN 12350-6, ‘‘Beton – Taze Beton Deneyleri – Bölüm 6: Yoğunluk’’, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara (2010).
- TS EN 12390-3, ‘‘Beton – Sertleşmiş Beton Deneyleri – Bölüm 3: Deney Numunelerinde Basınç Dayanımının Tayini’’, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara (2010).
- TS EN 12390-5, ‘‘Beton – Sertleşmiş Beton Deneyleri – Bölüm 5: Deney Numunelerinde Eğilme Dayanımının Tayini’’, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara (2010).
- Uygunoğlu, T., ve O. Ünal., ‘‘Yapıların zati yükünün azaltılması için diyatomitle üretilen hafif blok elemanların özelliklerinin araştırılması’’, *Deprem Sempozyumu*, Kocaeli, 51-56 (2005).
- Yalçınkaya, Ç., ‘‘Mineral Katkılı Kendiliğinden Yerleşen Lifli Betonun Mekanik, Durabilite Ve Mikroyapı Özelliklerinin İncelenmesi’’, Yüksek Lisans Tezi, *Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İzmir (2009).
- Yeğınobalı, A., ve Ertün, T., ‘‘Silis dumanı ve çimento ile betonda kullanımı’’, *TÇMB/AR-GE/Y01.01*, Ankara (2009).
- Yhbm, ‘‘3D printing construction’’,
<http://www.yhbm.com/index.php?a=lists&c=index&catid=67&m=content>,
(15.01.2016).
- Yılmaz, Y., ‘‘Beton üretiminde uçucu kül ve yüksek fırın cürufu kullanılmasının etkileri ve maliyet analizi’’, Yüksek Lisans Tezi, *Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul (2014).

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı : Melih ŞAHİNÖZ
Doğum Yeri ve Tarihi : İstanbul ve 01-04-1991



Eğitim Durumu

Lise Öğrenimi : 19 Mayıs Anadolu Lisesi - ESKİŞEHİR
Lisans Öğrenimi : Balıkesir Üniversitesi-BALIKESİR,
İnşaat Mühendisliği Bölümü (2013)
Bildiği Yabancı Diller : İngilizce
Bilgisayar Bilgisi : Office Programları, AutoCAD, SAP 2000, STA4CAD

Bilimsel Faaliyetler : Şahinöz, M., Çerçevik, A.E., Toklu, Y.C., Kandemir, S.Y., Yaylı, M.Ö. ‘‘Investigation of Automation Technology in Construction’’, *International Conference on Research in Education and Science (ICRES)*, Bodrum, (2016).

İş Deneyimi

Stajlar : Er Emek İnşaat Mühendislik Ltd. Şti. ESKİŞEHİR
Yapıhan Mimarlık- Mühendislik Ltd. Şti. ESKİŞEHİR
Çalıştığı Kurumlar : Porsuk Yapı Denetim Ltd. Şti. ESKİŞEHİR

İletişim

Adres : Gökmeydan Mh. Cumhuriyet Blv. 149/11
Odunpazarı/ESKİŞEHİR
Tel : 0542 351 97 03
E-Posta Adresi : melihshahinoz@hotmail.com