

Otomatik Yapı Üretim Teknolojisinde Kullanılabilecek Malzemelerin Belirlenmesi

Yusuf Cengiz TOKLU¹, Ali Erdem ÇERÇEVİK¹, Melih ŞAHİNÖZ*¹

¹Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 11230, Bilecik

(Alınış / Received: 10.03.2016, Kabul / Accepted: 08.08.2016, Online Yayınlanma / Published Online: 02.09.2016)

Anahtar Kelimeler

Otomatik yapı,
Robotik yapı,
3B yazıcı,
Yapı malzemeleri

Özet: Otomatik yapı üretim teknolojisi robotik temellidir ve katmanlı üretim teknolojisini kullanarak bilgisayar kontrolü altında büyük ölçekli nesnelere kalıp kullanmadan 3 boyutlu beton yazıcı cihazı aracılığıyla inşa edebilir. Bu çalışmanın amacı otomatik yapı üretim teknolojisinde, 3 boyutlu beton yazıcı cihazında kullanılabilecek uygun kıvamdaki harçları, düşük maliyetli en uygun malzemelerle oluşturabilmektir. Sonuç olarak düşük maliyetli malzemeler araştırılarak bu malzemeler kum, diatomit, çimento, öğütülmüş yüksek fırın cürufu, selüloz ve polipropilen lif olarak belirlenmiştir. Bu malzemeler kullanılarak 3 boyutlu beton yazıcı cihazında kullanılabilecek uygun kıvamda 7 adet deneme karışımı tespit edilmiştir. Bu karışımlar ile yoğunluk tayini, yayılma, basınç ve eğilme dayanımı deneyleri yapılmış, çökme deneyi ile kullanım süreleri belirlenmiş ve karışım oranları verilmiştir. Bu 7 adet deneme karışımlarından birinci olarak Deneme 2, ikinci olarak Deneme 3 ve üçüncü olarak Deneme 7'nin, 3 boyutlu beton yazıcı cihazında kullanımının diğer karışımlara göre daha uygun olduğu belirlenmiştir.

Determination of the Materials that Can Be Used in Automated Construction Production Technology

Keywords

Automated construction,
Robotik construction,
3D printing,
Construction materials

Abstract: Automatic construction production technology is based on robotic technology. With this technology large-scale objects can be constructed without using formwork with 3d printer by using additives under computer controlling. The aim of this study is to be able to make mixtures suitable for 3d concrete printer that can be used in automatic construction production technology with low-cost and most suitable materials. Consequently, low price materials were investigated and sand, diatomite, cement, ground blast furnace slag, cellulose and polypropylene fiber were determined as low price materials. 7 test mixtures in suitable consistency were determined to be used in 3d concrete printer by these low price materials. With these mixtures determination of density, spreading, compressive and flexural strength tests were performed. Exposure times were identified by slump test and mixture ratios were given. Out of these seven test mixtures, first of all Trial 2, secondly Trial 3, thirdly Trial 7 were defined as the most suitable ones in 3d concrete printer compared to other mixtures.

1. Giriş

Otomatik yapı üretim teknolojisi robotik temellidir [1]. Büyük ölçekli parçaları hızlı bir şekilde katman katman kalıp kullanmadan inşa edebilen bir üretim sürecidir [2]. Bu üretim sürecinde 3 boyutlu yazıcı cihazı kullanılmaktadır. 3 boyutlu üretim teknolojisi katmanlı bir üretim teknolojisidir.

Bu teknoloji 1983'te Chuck Hull tarafından icat edilmiş ve 1986'da patenti alınmıştır [3]. Sonraki yirmi yıl içinde bu katmanlı üretim teknolojisi ile ilgili araştırma ve uygulama süreçlerinde artış

görülmüştür. Katmanlı üretimin etkisi hem ticari hem de bilimsel faaliyetler açısından artarak devam etmektedir [4]. Otomatik yapı üretim teknolojisinin en önemli avantajları çok çeşitli malzemelerin kullanılabilmesi, kalıp kullanılmaması ve üretim hızının yüksek olmasıdır. Farklı malzemelerin kullanılabilme imkânı ve hızlı üretim yapabilmesi nedeniyle bu teknoloji acil uygulamalar, düşük maliyetli ev ve barınma yapıları ihtiyacını karşılamak için büyük bir potansiyele sahiptir [5,6]. Ayrıca bu teknoloji daha fazla tasarım özgürlüğü, daha iyi bir yapı kalitesi ve daha düşük bir maliyetle beton yapılar inşa etmek için geleneksel üretim yöntemleri

yerine alternatif olabilir [7]. Otomatik yapı üretim teknolojisi kullanılarak herhangi bir malzeme israf olmadan birkaç saat içinde seri halde evler inşa edilebilir. Gelecekte bu teknoloji daha gelişecektir [8]. Otomatik yapı üretim teknolojisi üzerine yapılan çalışmalar devam etmektedir ancak bu teknolojiye kullanılabilecek malzemeler hakkında çok az çalışmaya rastlanılmaktadır. Beton harcın kullanılabilmesi için reolojisini dikkatlice kontrol etmek gereklidir. Beton harç pompalanabilir kıvamda olmalı ve baskı işlemi boyunca sıkılabilmeli ve şekil almalıdır. Üretilen beton harcın üzerine filament basıldığında şeklini koruması ve tutması gereklidir. Filamentler arası yapışkanlığı korumalı, beton yapı inşasının dayanıklılığı maksimum olmalıdır [9]. Yapılan bu çalışmanın amacı otomatik yapı üretim teknolojisinde 3 boyutlu beton yazıcı cihazında kullanılabilecek düşük maliyetli en uygun harcı oluşturabilmektir.

2. Literatür Araştırması

Cürüflu betonun dayanımı, cüruf inceliğine ve karışım içindeki cüruf/çimento oranına bağlıdır [10]. Yüksek fırın cürufu ince öğütülmüş olarak beton içerisinde kullanıldığında işlenebilirliği arttırdığı, daha az su absorbe ettiği ve terlemeyi azalttığını belirlenmiştir [11]. Diatomit malzemesinin beton harç içerisinde artarak kullanımında harcın priz süresini uzattığı, karışım suyu miktarı sabitken beton harcın yayılmasını azalttığı ve diatomit oranı arttıkça beton harcın yoğunluğunun azaldığı görülmüştür [12]. Lif kullanımının kırılma enerjisini, eğilme ve basınç dayanımını arttırdığını görülmüştür [13]. Yapılan çalışmalarda, beton harç içerisinde %1, %3 ve %5 oranlarında selüloz ilave ederek selülozun beton harcın eğilme dayanımını arttırdığı belirtilmiştir [14,15]. Yapılan çalışmada, 3 boyutlu beton yazıcı cihazlarında kullanılabilen karışımlar hakkında yeterli bilgiye rastlanmamıştır. Ancak bu amaçla kullanılabilecek bileşenler hakkında çok sayıda çalışmalar vardır.

3. Deneysel Çalışmalar

3.1. Kullanılan malzemeler

Yapılan araştırmalar sonucunda otomatik yapı üretim teknolojisinde kullanılabilecek 6 adet malzeme belirlenmiştir. Bu malzemeler diatomit, kum, çimento, öğütülmüş yüksek fırın cürufu (ÖYFC), polipropilen lif ve selülozdur. Deneylerde kullanılan diatomit Beg-Tuğ Mineral Madencilik firması ürünü olan BG-002 Kirli Beyaz Flux Kalsine Edilmiş Diatomit tipi malzemedir. 1 mm-2 mm elek aralığında yıkanmış ince kum kullanılmıştır.

Bağlayıcı malzeme olarak Eskişehir Çimento Fabrikası ürünü olan CEM IV/B (P) 32,5R tipi çimento kullanılmıştır. Öğütülmüş yüksek fırın cürufu (ÖYFC) Bolu Çimento Fabrikasından alınmıştır. Diatomit, çimento ve ÖYFC'nin Tablo 1'de

teknik özellikleri verilmiştir. Tüm harç karışımlarında polipropilen lif kullanılmış ve Tablo 2'de teknik özellikleri verilmiştir. Univar Kimya Endüstrisi'nin ürünü olan Jelucel 300H tipi selüloz malzemesi kullanılmış ve Tablo 3'te teknik özellikleri verilmiştir.

Tablo 1. Diatomit, Çimento ve ÖYFC'nin Fiziksel Özellikleri

Malzemeler	Diatomit	Çimento	ÖYFC
Tane boyut aralığı (mikron, μm)	43-288	0.2-120	3-100
Yüzey Alanı (m^2/g)	4000-4500	5000	4500-5000
Yoğunluk (g/cm^3)	0.35-0.50	3.08	2.75-3.00
Kızdırma Kaybı	0.4	3.03	-

Tablo 2. Polipropilen Lif Teknik Özellikleri

Polipropilen Lif	
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

Tablo 3. Selüloz Teknik Özellikleri

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

3.2. Malzemelerin kullanım nedenleri

Diatomit malzemesi yoğunluğu düşük, harç karışımlarına ilave edildiğinde harcın yayılmasını azaltan ve harcın yapışkanlığını arttıran bir malzemedir. 3 boyutlu beton yazıcı cihazında kullanılabilecek beton harç üretiminde diatomit malzemesi kullanılarak taze haldeki filamentin şeklinin ve konumunun korunması sağlanmaya çalışılmıştır. Ayrıca taze haldeki filamentin yayılması azaltılmış ve harcın yapışkanlığı artırılarak üstüste eklenen diğer filamentlerin birbirine yapışması ve tutunması sağlanmıştır. Diatomitin kullanımı ile harcın yoğunluğu ve ağırlığı azaltılarak altta kalan filamentlerin ezilerek çatlaması önlenmek istenmiştir. Selüloz malzemesi kullanılarak beton harcın işlenebilirliğinin artması sağlanmış, çatlak oluşumu azaltılmak istenmiş ve harcın pompa ağzından daha kolay çıkabilmesi sağlanmıştır. Beton

harca ÖYFC ilave edilerek filamentin daha kolay şekil alması ve özellikle filamentin kıvrılma bölgelerinde oluşan çatlakların azaltılması sağlanmaya çalışılmıştır. Ayrıca ÖYFC, beton harcın dayanımının artmasını sağlamak ve maliyetini azaltmak için beton harca ilave edilmiştir. Tüm beton harç numunelerinde bağlayıcı malzeme olarak çimento ve agrega olarakta ince sıva kumu kullanılmış ve pompa ağzından tıkanma olmadan harcın çıkışı sağlanmaya çalışılmıştır. Hazırlanan tüm beton harç karışımlarına polipropilen lif ilave edilerek filamentin özellikle kıvrılma bölgelerinde oluşabilecek çatlaklar ve kopmalar önlenmeye çalışılmıştır. Ayrıca beton harcın basınç ve eğilme dayanımının artması sağlanmıştır.

3.3. Numunelerin hazırlanması

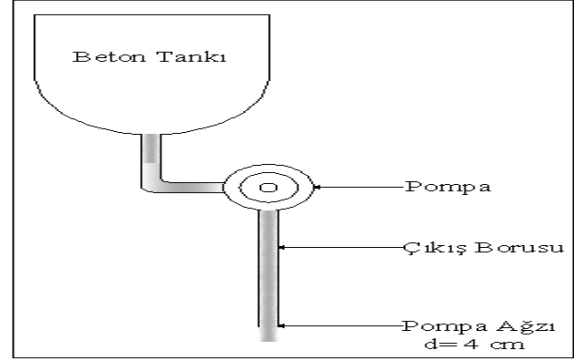
3 boyutlu beton yazıcı cihazında harcın kullanılabilmesi için uygun bir kıvamda olması gerekmektedir. Bu çalışmada numunelerin hazırlanmasında ilk önce her bir malzemenin birim ağırlıkları tespit edilerek hazırlanmıştır. Kullanılan malzemelerin birim ağırlıkları ölçülü cam kap ile ölçülüp tartılarak tespit edilmiştir. Kumun 1625 kg/m³, diatomitin 500 kg/m³, çimentonun 1150 kg/m³, ÖYFC'nin 1040 kg/m³ ve selülozun 250 kg/m³ birim ağırlığında olduğu belirlenmiştir. Tüm numuneler hacimsel olarak 0,05 m³'lük plastik kap içerisine konularak hazırlanmıştır. Kabin 2/3 oranında kum+diatomit ve kabin 1/3 oranında da çimento+ÖYFC olacak şekilde karıştırılmıştır. Kum+diatomit kendi aralarında, çimento+ÖYFC kendi aralarında hacimsel olarak artırılarak veya azaltılarak deneme numuneleri oluşturulmuştur. Selüloz, polipropilen lif malzemesi ve su miktarları prototip pompa ağzından çıkan gözlenen kıvamın durumuna göre artırılıp veya azaltılarak beton harç karışımlarına ilave edilmiştir. Denenen karışımlarda uygun miktar olarak tespit edilen 1,5 kg/m³ oranında polipropilen lif ilave edilmiştir. Tablo 4'de beton harç karışımlarının su/bağlayıcı oranları verilmiştir.

Tablo 4. Beton Harç Su/Bağlayıcı Oranları

Deneme No	Çimento (kg)	ÖYFC (kg)	Su (kg)	Su/Bağlayıcı
Deneme 1	18,98	0,00	15,50	0,82
Deneme 2	17,25	1,73	15,50	0,82
Deneme 3	15,32	3,46	15,67	0,83
Deneme 4	13,42	5,20	15,67	0,84
Deneme 5	13,42	5,20	25,50	1,37
Deneme 6	13,42	5,20	16,67	0,90
Deneme 7	18,98	0,00	16,67	0,88

4 cm çapında prototip pompa ile malzemeleri içeren çok sayıda karışım hazırlanarak yapılan deneylerle

bu karışımların özellikleri belirlenmiştir. Bu deneme karışımlarının içinden 3 boyutlu beton yazıcı cihazında kullanılabilecek, kopmalar olmadan, üst üste sürekli filamentler oluşturabilecek 7 adet uygun kıvamda beton harç karışımı tespit edilmiştir. 7 adet uygun kıvamdaki beton harç karışımını oluşturan malzemeler tartılarak 0,05 m³ için karışım miktarları Tablo 5'te verilmiştir.



Şekil 1. Şematik pompa sistemi

Şematik olarak pompa sistemi Şekil 1'de verilmiştir. Polipropilen lif katkılı beton harç baskı Şekil 2'de gösterilmiştir.

4. Deneyler

4.1. Yoğunluk tayini deneyi

Taze haldeki beton harcı yoğunluğu TS EN 12350-6'ya uygun olarak aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanmıştır. Beton harçlar 10x10x10 cm hacminde küp kaplara doldurulmuş ve hassas terazi ile tartılarak yoğunlukları belirlenmiştir [16].

$$\rho = \frac{m_y}{V_y} \quad (1)$$

Bu formülde V_y kap hacmi (m³), m_y harç kütlesi (kg) ve ρ harç yoğunluğu (kg/m³)'dur.

4.2. Yayılma tablası deneyi

TS EN 12350-5 standardına uygun olarak gerçekleştirilen yayılma tablası deneyinde, yayılma tablası düz bir zemine yerleştirilmiştir [17]. 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 3'te gösterilmiştir.

4.3. Kullanım süresi belirleme

Çökme deneyi taze betonun kıvamını belirlemek için taban çapı 20 cm, üst çapı 10 cm ve yüksekliği 30 cm

Tablo 5. Uygun Kıvamdaki Harç Karışım Miktarları

Kullanılan Malzemeler	0,05 m ³ lük hacim için harç karışım miktarları (kg/m ³)						
	Deneme 1	Deneme 2	Deneme 3	Deneme 4	Deneme 5	Deneme 6	Deneme 7
	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg
Kum	21,67	21,67	21,67	21,67	16,25	16,25	16,25
Diatomit	10,00	10,00	10,00	10,00	11,67	11,67	11,67
Çimento	18,98	17,25	15,32	13,42	13,42	13,42	18,98
ÖYFC	0,00	1,73	3,46	5,20	5,20	5,20	0,00
Su	15,50	15,50	15,67	15,67	25,50	16,67	16,67
Selüloz	0,00	0,00	0,00	0,00	3,75	0,00	0,00
Polipropilen lif	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08

olan bir huni içerisine 3 tabaka halinde sıkıştırılarak doldurulan beton harcın çökmesini belirleyerek kıvamı tespit edilmektedir.

**Şekil 2.** Beton harç baskı**Şekil 3.** Yayılma tablası deneyi

Bu çalışmada çökme deneyi TS EN 12350-2'ye uygun olarak yapılmıştır [18]. Deney yapılışı Şekil 4'te gösterilmiştir. Uygun kıvamda görülen beton harçların kıvam değerlerini belirlemek için çökme deneyleri yapılmıştır. Yapılan literatür araştırmalarında, 3 boyutlu beton yazıcı cihazında kullanılan beton harcın çökme değeri ile ilgili hangi bir bilgiye rastlanılmamıştır. Bu çalışmada, hazırlanan beton harç karışımlar bir prototip pompa sisteminde çok sayıda denemeler yapılarak uygun kıvamda olan karışımlar tespit edilmiştir. Daha sonra uygun kıvamda bulunan beton harçların çökme değerleri ölçülmüştür. Bu çökme değerlerinin 6 cm ile 8,25 cm aralığında olanların, uygun çökme değeri olduğu belirlenmiştir. Beton harçların bu kıvamda kalma sürelerini bulmak için beton harç karışımları devamlı karıştırılmış ve her bir harç karışımına 10 dakikada bir çökme deneyi yapılarak istenilen kıvamda kalma süreleri tespit edilmiştir.

**Şekil 4.** Çökme (slump) deneyi

4.4. Basınç deneyi

Basınç dayanım deneyi 3, 7 ve 28. günlerde 10x10x10 cm boyutlarındaki küp numuneler üzerinde yapılmıştır. Her harç karışımı için 3 adet numune kullanılmış ve bu numunelerin basınç dayanımlarının ortalamaları alınmıştır. Üretilen numuneler kalıplardan çıkarıldıktan sonra kür havuzunun içinde deney gününe kadar kür edilmiştir. 3, 7 ve 28 günlük numuneler kür havuzundan çıkarılmıştır. Daha sonra tüm numuneler TS EN 12390-3'e göre basınç deneyine tabi tutulmuştur. Basınç deneyi Şekil 5'te gösterilmiştir [19].

4.5. Eğilme dayanımı deneyi

Eğilme dayanımı deneyi 3, 7 ve 28. günlerde 4x4x16 cm boyutlarındaki kiriş numuneler üzerinde yapılmıştır. Her harç karışımı için 3 adet numune kullanılmış ve bu numunelerin eğilme dayanımlarının ortalamaları alınmıştır. Üretilen numuneler kalıplardan çıkarıldıktan sonra kür havuzunun içinde deney gününe kadar kür edilmiştir. 3, 7 ve 28 günlük numuneler kür havuzundan çıkarılmıştır. Numuneler TS EN 12390-5'e göre basit kiriş metodu ile eğilme dayanımları belirlenmiştir [20]. Eğilme deneyi Şekil 6'da gösterilmiştir.

5. Deney Sonuçları ve Değerlendirmesi

5.1. Yoğunluk tayini deney sonuçları

Bu çalışmada filamentleri oluşturan harcın yoğunluğunun düşük tutulması amaçlanmıştır. Çünkü altta kalan filamentlerin üzerine diğer filamentlerin sıkılması ile alt filamentlere daha fazla ağırlık etkimektedir. Bu nedenle altta kalan filamentlerin

taze halde oldukları için ezilerek şekilleri bozulmaktadır.



Şekil 5. Basınç deneyi



Şekil 6. Eğilme deneyi

Şekil 7'ye göre yoğunluğu en düşük beton harç karışımı Deneme 5'tir. Beton harç yoğunlukları Şekil 7'de verilmiştir.

5.2. Yayılma tablası deney sonuçları

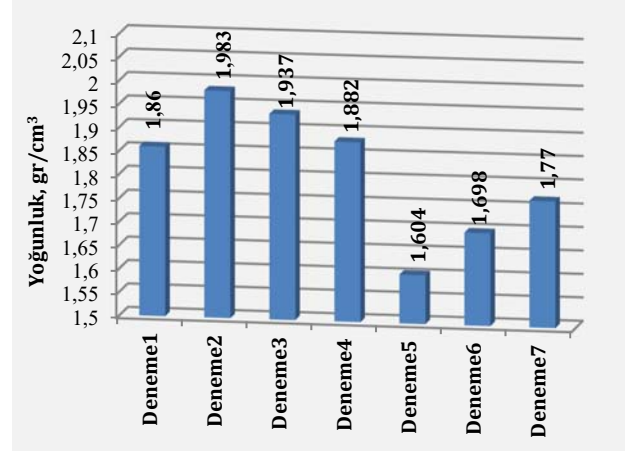
Sıkılan filamentin zamanla yayılmaması ve priz alana kadar şeklini ve konumunu koruması gerekmektedir. En az yayılma Deneme 7 ve Deneme 2'de görülmüştür. Deney sonuçları Şekil 8'de verilmiştir.

5.3. Kullanım süresi belirleme sonuçları

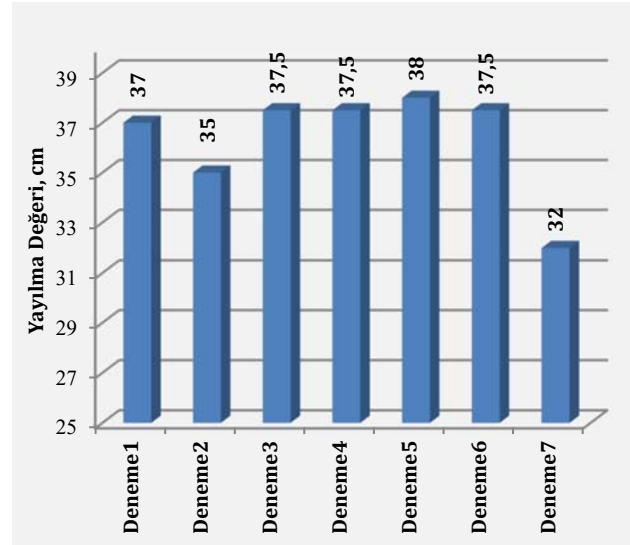
Hazırlanan harç numuneler belli bir zaman geçince priz alarak katılaşmaktadır. Beton harcını katılaşmasından dolayı bir süre sonra harç numuneler yazıcı cihazının pompa sisteminde pompalanamaz ve şekil verilemez bir kıvama gelmektedir. Yazıcı cihazının pompa sisteminde kullanım için 6 cm - 8,25 cm çökme değerleri arasındaki harçların, zamanla çökme değişim değerleri ölçülerek harçların ne kadar süre bu kıvam aralığında kalabildiği tespit edilmiştir. Sonuç olarak beton harçların kullanım süreleri Tablo 6'da verilmiştir. En uzun kullanım süresi, 70 dakika süre ile Deneme 5'tir. Deneme 5'in en uzun kullanım süresine sahip olması bu harçta kullanılan selülozdan kaynaklanmaktadır.

5.4. Basınç deney sonuçları

3 boyutlu beton yazıcı cihazı ile basılan harçların sertleştikten sonra basınç dayanımının yüksek olması gerekmektedir. Sonuç olarak 3 günlük basınç dayanım değeri en yüksek harç karışımı Deneme 3, ikinci en yüksek Deneme 2'dir. 7 günlük basınç dayanım değeri en yüksek harç karışımı Deneme 7, ikinci en yüksek Deneme 2'dir. 28 günlük basınç dayanım değeri en yüksek harç karışımı Deneme 2, ikincisi Deneme 3'tür. 3, 7 ve 28 günlük basınç dayanımı testi sonuçları Şekil 9'da verilmiştir.



Şekil 7. Beton harçların yoğunlukları



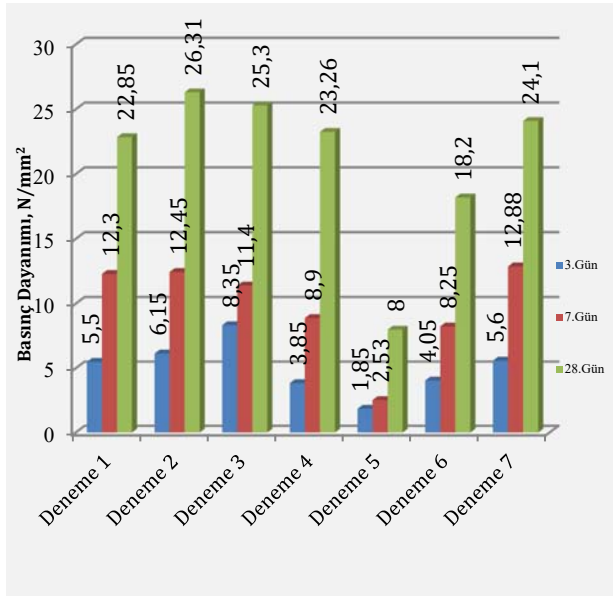
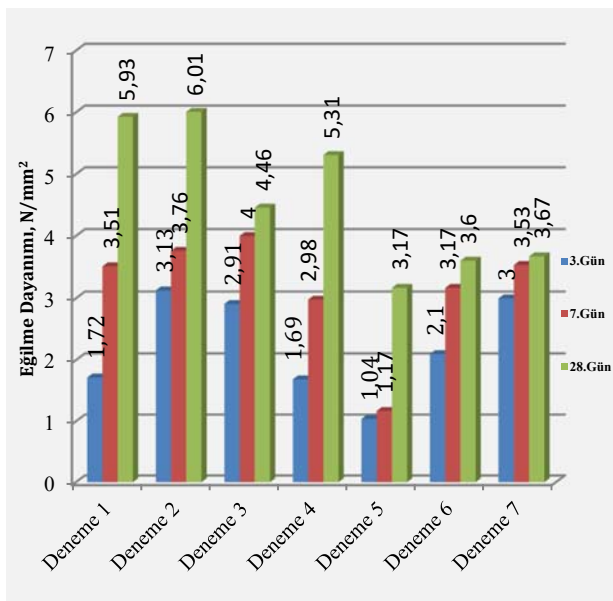
Şekil 8. Beton harçların yayılma değerleri

5.5. Eğilme dayanım deney sonuçları

3 boyutlu beton yazıcı cihazı ile basılan harçların sertleştikten sonra eğilme dayanımının yüksek olması gerekmektedir. Sonuç olarak 3 günlük eğilme dayanımı en yüksek harç karışımı Deneme 2, ikinci en yüksek Deneme 7'dir. 7 günlük eğilme dayanımı en yüksek harç karışımı Deneme 3, ikinci en yüksek Deneme 2'dir. 28 günlük eğilme dayanımı en yüksek harç karışımı Deneme 2, ikinci en yüksek Deneme 1'dir. Eğilme dayanımı testi sonuçları Şekil 10'da verilmiştir.

Tablo 6. Beton Harçların Kullanım Sürelerine Bağlı Çökme Değerleri

Deneme no	Ölçümlerin Yapıldığı Süreler (Dakika)							
	0. dk	10. dk	20. dk	30. dk	40. dk	50. dk	60. dk	70. dk
Deneme 1								
Çökme Değeri (cm)	7,50	7,50	7,00	6,50	6,00	-	-	-
Deneme 2								
Çökme Değeri (cm)	7,75	7,50	7,50	7,00	6,25	-	-	-
Deneme 3								
Çökme Değeri (cm)	8,25	8,25	7,75	7,00	6,50	6,00	-	-
Deneme 4								
Çökme Değeri (cm)	8,00	8,00	7,50	6,75	6,50	6,25	-	-
Deneme 5								
Çökme Değeri (cm)	8,25	8,00	7,75	7,75	7,25	7,00	6,50	6,25
Deneme 6								
Çökme Değeri (cm)	7,75	6,75	6,75	6,50	6,00	-	-	-
Deneme 7								
Çökme Değeri (cm)	7,75	7,25	6,50	6,50	6,00	6,00	-	-

**Şekil 9.** Numunelerin 3, 7 ve 28 günlük küp basınç dayanım sonuçları**Şekil 10.** Numunelerin 3, 7 ve 28 günlük eğilme dayanım sonuçları

6. Sonuçlar

Yapılan deneyler ve gözlemler sonucunda aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

- Beton harç karışımlarında diatomit malzemesi kullanılarak harç ağırlığı azaltılmış ve harç yapışkanlığını arttırarak filamentlerin birbirine yapışmasının sağladığı gözlemlenmiştir.
- Beton harcın %3'ü kadar selüloz malzemesi kullanıldığında harcın işlenebilirliğinin arttığı gözlemlenmiştir.
- Üretilen harçlarda polipropilen lif kullanılarak filamentin üst üste diziliminde çatlama olmadığı gözlemlenmiştir.
- Yapılan deneylerde beton harç karışımlarında Deneme 2, Deneme 3 ve Deneme 7'nin yoğunluklarının diğer harç karışımlarına göre yüksek olduğu belirlendi.
- Deneme 2'nin, Deneme 3 ve Deneme 7'ye göre kullanım süresinin 10 dakika daha az olduğu belirlendi.
- 3 günlük basınç dayanım değeri en yüksek harç karışımı Deneme 3'tür. 7 günlük basınç dayanım değeri en yüksek harç karışımı Deneme 7'dir. 28 günlük basınç dayanım değeri en yüksek harç karışımı Deneme 2'dir.
- 3 günlük eğilme dayanımı en yüksek harç karışımı Deneme 2'dir. 7 günlük eğilme dayanımı en yüksek harç karışımı Deneme 3'tür. 28 günlük eğilme dayanımı en yüksek harç karışımı Deneme 2'dir.
- En az yayılma Deneme 7 ve Deneme 2'de görülmüştür.

Deneyel araştırma ve gözlemler sonucunda otomatik yapı üretim teknolojisinde, 3 boyutlu beton yazıcı cihazında kullanılabilecek birinci en uygun karışım Deneme 2, ikinci en uygun karışım Deneme 3 ve üçüncü en uygun karışım Deneme 7 olarak tespit edilmiştir. Kum, diatomit, ÖYFC, çimento, selüloz ve polipropilen lifin otomatik yapı üretim teknolojisi için kullanılabilir malzemeler olduğu belirlenmiştir.

Yapılan bu çalışmanın başka deneylerle ve daha başka malzemelerle zenginleştirilmesiyle çok pratik ve elverişli sonuçlar elde edileceği düşünülmektedir.

Kaynakça

- [1] Khoshnevis, B., 2004. Automated Construction By Contour Crafting – Related Robotics And Information Technologies. Published in Journal of Automation in Construction, 13(1), 5-19.
- [2] Nekrep, M. P. and Vdovic, R., 2013. Water supply and drainage in future additive manufacturing building systems, CIBW062 Symposium.
- [3] Anonim,2016. <http://www.3byazici.com/p/3d-yazc-nedir.html> Gelecek 3D Yazıcı (Erişim:16 Ocak 2016).
- [4] Çelik, İ., Karakoç, F., 2013. Hızlı Prototipleme Teknolojileri ve Uygulama Alanları. Dpü Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, Sayı 31, ISSN – 1302 – 3055.
- [5] Khoshnevis, B., Russell, R., Kwon, H., Bukkapatnam, S., 2011-a. Contour Crafting – A Layered Fabrication Technique. Robotics and Automation Magazine, 33-42.
- [6] Khoshnevis, B., Bukkapatnam, S., Kwon, H., Saito, J., 2001-b. Experimental Investigation of Contour Crafting using Ceramics Materials. Rapid Prototyping J., 32-41.
- [7] Lim, S. et al., 2011. Development of a viable concrete printing process. In Proceedings of the 28th International Symposium on Automation and Robotics in Construction (ISARC2011). pp. 665-670.
- [8] Fernandes, G., Feitosa, L., 2015. Impact of Contour Crafting on Civil Engineering. International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT), 2278-0181.
- [9] Le, T.T., Austin, S.A., Lim, S., Buswell, R.A., Gibb, A.G.F., Thorpe, T., 2012. Mix design and fresh properties for high- performance printing concrete. Materials and Structures, 45:1221-1232.
- [10] Malhora, V.M., 1987. Properties of fresh and hardened concrete incorporating ground granulated blast furnace slag. Supplementary Chemistry Materials for Concrete, Ottawa, pp 231-331.
- [11] Neville, A.M.,1999. Properties of Concrete. 4th Edition, Longman.
- [12] Karahisar Gökkonca, E., 2010. Diatomit Katkılı Harçların Bazı Mekanik Ve Fiziksel Özelliklerinin Değişiminin İncelenmesi. Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 67s, Denizli.
- [13] Kurt, G., 2006. Lif İçeriği ve Su/Çimento Oranının Fibrobetonun Mekanik Davranışına Etkileri. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 97s, İstanbul.
- [14] Peters, J.S., Rushing, T.S., Landis, E.N., Cummins, T.K., 2010. Nanocellulose and Microcellulose Fibres for Concrete. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, vol. 2, page 25-28.
- [15] Cao, Y., Weiss, W.J., Youngblood, J., Moon, R., Zavattieri, P., 2013. Performance-Enhanced Cementitious Materials by Cellulose Nanocrystal Additions. Production and Applications of Cellulose Nanomaterials, page 135-136.
- [16] TS EN 12350-6 (2010). Beton – Taze Beton Deneyleri – Bölüm 6: Yoğunluk. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, Turkey.
- [17] TS EN 12350-5 (2010). Beton – Taze Beton Deneyleri – Bölüm 5: Yayılma Tablası Deneyi. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, Turkey.
- [18] TS EN 12350-2 (2010). Beton – Taze Beton Deneyleri – Bölüm 2: Çökme (Slump) Deneyi. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, Turkey.
- [19] TS EN 12390-3 (2010). Beton – Sertleşmiş Beton Deneyleri – Bölüm 3: Deney Numunelerinde Basınç Dayanımının Tayini. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, Turkey.
- [20] TS EN 12390-5 (2010). Beton – Sertleşmiş Beton Deneyleri – Bölüm 5: Deney Numunelerinde Eğilme Dayanımının Tayini. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, Turkey.