

**T.C.
ISPARTA UYGULAMALI BİLİMLER ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**YENİ NESİL YAPI NESNESİ ÜRETEN CİHAZ TASARIMI VE
UYGULAMASI**

Atiye TUNÇER DİVARCI

**Danışman
Prof. Dr. İsmail Serkan ÜNCÜ**

ISPARTA - 2025



© 2025 [Atiye TUNÇER DİVARCI]

İÇİNDEKİLER

İÇİNDEKİLER	i
ÖZET.....	ii
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR.....	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	v
ÇİZELGELER DİZİNİ	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	vii
1. GİRİŞ	1
1.1. Üç Boyutlu Baskı Teknolojisinin Tarihçesi.....	3
1.2. İnşaat Sektöründe 3B Baskı Teknolojisinin Kullanımı.....	7
1.3. Mevcut Çalışmalar ve Araştırma Boşlukları.....	10
2. KAYNAK ÖZETLERİ	15
3. MATERYAL VE YÖNTEM	22
3.1. 3B Yazıcıların Üretiminde Kullanılan Yöntemler	22
3.1.1. Kartezyen koordinatlar	22
3.1.2. Hammadde ekstrüzyonu.....	23
3.1.3. Katman yüksekliği ve baskı kalitesi.....	24
3.1.4. G-Code komutlarına dayalı hareket	24
3.1.5. Termal hesaplamalar	25
3.1.6. CoreXY sistemlerinde kinematik.....	26
3.2. Hammadde Seçimi	27
3.3. Kullanılan Donanımlar.....	29
3.3.1. 3B yazıcılar	29
3.3.2. Bilgisayar destekli tasarım (CAD) yazılımları.....	29
3.4. 3B Baskı Cihazının Tasarımı ve Malzeme Seçimi	30
3.4.1. 3B yazıcı taşıyıcı yapısı	30
3.4.2. Ekstruder bölümü	33
3.4.3. Nozul bölümü.....	35
3.4.4. Ekstruder kontrol kartı	35
3.4.5. Step motor	37
3.4.6. A4988 motor sürücü kartı	38
3.4.7. Yazılım.....	39
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	41
4.1. Araştırma Bulgularının Yorumlanması.....	41
4.2. Hammadde Seçimi ve İlk Prototip Üretimi.....	42
4.3. Baskı Performansı ve Cihaz Kalite Değerlendirmesi	44
4.4. Çıktıların Test Edilmesi	46
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	47
KAYNAKLAR	50
ÖZGEÇMİŞ	53

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

YENİ NESİL YAPI NESNESİ ÜRETEN CİHAZ TASARIMI VE UYGULAMASI

Atiye TUNÇER DİVARCI

Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. İsmail Serkan ÜNCÜ

Bu tezde, üç boyutlu baskı teknolojisi kullanılarak inşaat sektörüne yönelik bir baskı cihazı geliştirilme sürecini ve sonuçlarını anlatmaktadır. Cihaz, farklı hammaddeler ve baskı teknikleriyle laboratuvar ortamında test edilmiş, baskı kalitesini artırmak için çeşitli iyileştirmeler yapılmıştır. Cihazın baskı hassasiyetini artırmak için donanım ve yazılım iyileştirmeleri yapılmıştır. Malzeme besleme mekanizması 3d baskı sistemi ile senkronize edilerek farklı viskoziteye sahip hammaddelerin daha homojen bir şekilde enine kesitsel profil nesnelere elde edilmesi sağlanmıştır. Cihazın tasarımında, ekstruder sistemi, baskı kafası hareket mekanizması ve kontrol yazılımı gibi temel bileşenler optimize edilmiştir. Geliştirilen ekstruder sistemi, seramik çamurunun kolayca temizlenmesini sağlayarak tıkanma sorunlarına çözüm olmaktadır ve her türlü çamur formundaki hammaddenin kullanımına olanak tanımaktadır. Bu sistem, seramik üretiminde önemli avantajlar sunarak, farklı çamur tiplerini kullanma esnekliği ve üretim verimliliğinde artış sağlamaktadır. Baskı kafasının hareket doğruluğu artırılarak katmanlar arası yapışma ve yüzey pürüzsüzlüğü iyileştirilmiştir. Çeşitli baskı hızları ve sıcaklık ayarları test edilerek en uygun parametreler belirlenmiştir.

Elde edilen veriler doğrultusunda, cihazın inşaat sektöründe kullanıcıların istedikleri tasarımları görselleştirip hayata geçirebildiği, dayanıklı ve fonksiyonel üç boyutlu yapı nesnelere üretilmesini sağlayan bir cihaz geliştirilmiştir. Bu çalışma inşaat sektöründe 3B baskı teknolojisinin kullanımını yaygınlaştırarak mimar ve mühendislerin daha karmaşık ve özgün tasarımları hayata geçirmesine olanak tanıyacaktır.

Anahtar Kelimeler: 3B baskı teknolojisi, İnşaat, Malzeme tasarrufu, Sürdürülebilirlik, İnşaat sektöründe modülerlik, Seramik 3B baskı

2025, 53 sayfa

ABSTRACT

Master's Thesis

NEW GENERATION BUILDING OBJECT PRODUCING DEVICE DESIGN AND APPLICATION

Atiye TUNÇER DİVARCI

**Isparta University of Applied Sciences
The Institute of Graduate Education
Department of Electric-Electronic Engineering**

Supervisor: Prof. Dr. İsmail Serkan ÜNCÜ

This thesis describes the development process and results of a printing device for the construction industry using three-dimensional printing technology. The device was tested in a laboratory environment with different raw materials and printing techniques, and various improvements were made to enhance the printing quality. Hardware and software enhancements were implemented to increase the device's printing accuracy. By synchronizing the material feeding mechanism with the 3D printing system, it was possible to obtain more homogeneous cross-sectional profile objects from raw materials with varying viscosities. In the device's design, key components such as the extruder system, print head movement mechanism, and control software were optimized. The developed extruder system enables easy cleaning of ceramic slurry, thereby resolving clogging issues and allowing the use of all types of slurry-based raw materials. This system offers significant advantages in ceramic production by providing flexibility in using different clay types and increasing production efficiency. The movement accuracy of the print head was improved, leading to better interlayer adhesion and surface smoothness. The most suitable parameters were determined by testing various printing speeds and temperature settings.

Based on the obtained data, a device has been developed that enables users in the construction industry to visualize and realize their desired designs, and to produce durable and functional three-dimensional structural objects. This study will contribute to the wider adoption of 3D printing technology in the construction sector, allowing architects and engineers to bring more complex and original designs to life.

Key Words: 3D printing technology Construction, Material saving, Sustainability, Modularity in construction industry, Ceramic 3D printing

2025, 53 pages

TEŐEKKÖR

Tezimin yűrűtűlmesinde desteęini ve emeęini hiębir zaman esirgemeyen tez danıŐmanım sayın Prof. Dr. İsmail Serkan ŬNCÖ' ye teŐekkűrlerimi sunarım.

Tezimin her aşamasında beni yalnız bırakmayan aileme sonsuz sevgi ve saygılarımı sunarım.

Atiye TUNęER DİVARCI
İSPARTA, 2025



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. 3B baskı teknolojisinin genel şeması	1
Şekil 1.2. İlk SLA tip 3B yazıcı	4
Şekil 1.3. 3B yazıcı ile şekillendirilen beton duvarlar	8
Şekil 1.4. Winsun'un 2014 yılında hayata geçirdiği proje.....	9
Şekil 1.5. 3B yazıcı kullanılarak inşa edilen ilk ofis binası dış görünüm	13
Şekil 1.6. 3B yazıcı kullanılarak inşa edilen ilk ofis binası iç görünüm.....	13
Şekil 2.1. Oliver Van Herpt çalışmaları ve 3B yazıcıları.....	17
Şekil 2.2. Jonathan Keep tarafından geliştirilen 3B seramik yazıcı.....	18
Şekil 3.1. Çimento kullanılarak 3B yazıcı ile istenilen inşaat yapısı oluşumu	28
Şekil 3.2. Seçilen FDM tipi yazıcı	32
Şekil 3.3. Geliştirilen 3B yazıcı ekstrüder bölümü	34
Şekil 3.4. Geliştirilen 3B yazıcı ekstrüder bölümü için işlemci ve motor sürücü kartı	34
Şekil 3.5. Geliştirilen 3B yazıcı nozul bölümü	35
Şekil 3.6. Arduino UNO	37
Şekil 3.7. NEMA 17 step motor.....	38
Şekil 3.8. A4988 step motor sürücü kartı ve pinleri	38
Şekil 3.9. Geliştirilen 3B yazıcı ekstrüder bölümü için Arduino kodları.....	40
Şekil 4.1. Seçilen hammadde	42
Şekil 4.2. Seçilen dijital model	43
Şekil 4.3. 3B yazıcı çıktı görüntüleri	43
Şekil 4.4. Geliştirilen cihazın önden görünümü.....	45
Şekil 4.5. Geliştirilen cihazın üstten görünümü	45

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 1.1. Literatürdeki gelişim trendleri	6
Çizelge 1.2. Modüler ve geleneksel yapıların karşılaştırılması	10
Çizelge 1.3. Baskı teknolojisi ve inşaat sektöründe mevcut çalışmalar.....	12
Çizelge 3.1. Arduino UNO teknik özellikleri.....	36
Çizelge 4.1. Geliştirilen 3B yazıcı özellikleri.....	44



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

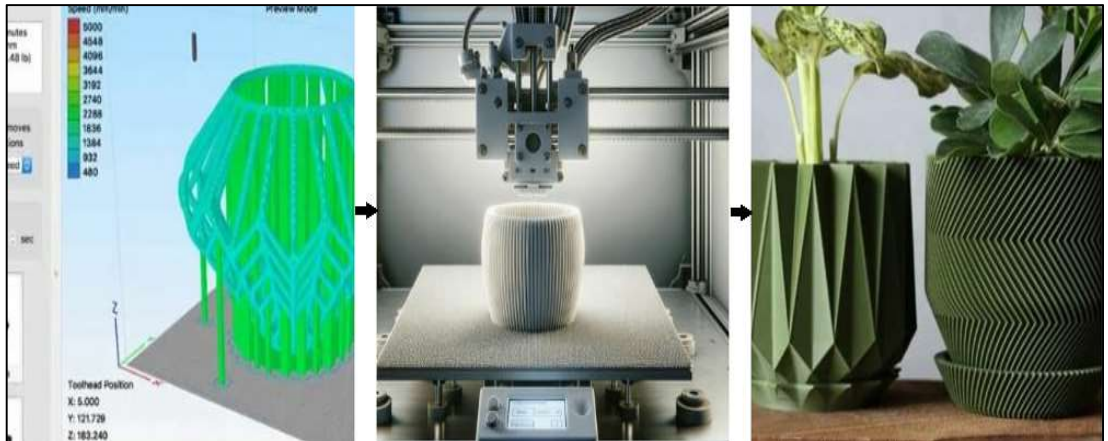
FDM	Fused deposition modeling
SLA	Stereolitografi
SLS	Selective laser sintering
3B	Üç boyutlu



1. GİRİŞ

Üç boyutlu (3B) baskı teknolojisi, günümüzün en yenilikçi ve hızla gelişen teknolojilerinden biri olmuştur. Bu teknoloji, dijital bir modelin katman katman fiziksel bir nesneye dönüştürülmesini sağlamaktadır. Üç boyutlu baskının temelleri, 1980'lerin başında atılmıştır ve o zamandan beri çeşitli endüstrilerde devrim yaratmıştır. Bu tez de, üç boyutlu baskı teknolojisinin inşaat sektöründeki uygulamaları incelenerek, yeni nesil yapı nesnelere üreten cihazların tasarımı ve uygulaması ele alınmıştır. Bu incelemeler ışığında FDM tipi 3B yapı nesnesi üretimi yapabilen bir 3B baskı cihazı geliştirilmiştir. Farklı hammaddeler ve baskı teknikleriyle kapsamlı bir şekilde test edilen cihaz, baskı kalitesini optimize etmek amacıyla çeşitli geliştirmelerden geçirilmiştir. Günümüzde inşaat sektöründe kişiselleştirilmiş yapılar ve özgün tasarımlar giderek daha fazla önem kazanmaktadır. Bu amaçla tez çalışmasında, tasarım esnekliği sunarak kullanıcıların kendi özgün tasarımlarını üretme imkanı bulduğu bir cihaz geliştirilerek bu gereksinimin karşılandığı gösterilmiştir.

Üç boyutlu baskı teknolojisi, inşaat sektöründe büyük bir potansiyele sahiptir. Geleneksel inşaat yöntemleri, genellikle malzeme israfına ve yüksek maliyetlere yol açmaktadır. Ayrıca, karmaşık ve özelleştirilmiş yapıların üretimi genellikle zordur ve zaman almaktadır. Üç boyutlu baskı teknolojisi, bu zorlukların üstesinden gelmek için yenilikçi çözümler sunmuştur. Şekil 1.1'de seramik hammaddesi kullanan bir 3B yazıcının süreçleri resmedilmiştir.



Şekil 1.1. 3B baskı teknolojisinin genel şeması (Anonim, 2024d)

Üç boyutlu baskı teknolojisinin inşaat sektöründeki önemi birkaç ana faktöre dayanmaktadır. İlk olarak, bu teknoloji, malzeme kullanımını optimize ederek israfı azaltmaktadır. Geleneksel inşaat yöntemleri genellikle malzeme israfına yol açmaktadır ve bu durum maliyetleri arttırmaktadır. Üç boyutlu baskı teknolojisi ise, malzemeyi katman katman ekleyerek sadece gerekli miktarda malzeme kullanımı sağlamaktadır. Böylece, malzeme israfını en aza indirerek maliyetleri düşürmektedir. İkinci olarak, üç boyutlu baskı teknolojisi, inşaat süreçlerini hızlandırmaktadır. Geleneksel inşaat yöntemleri genellikle zaman alıcıdır ve birçok aşamadan geçmektedir. Üç boyutlu baskı teknolojisi ise, dijital bir modelin fiziksel bir nesneye dönüştürülmesini sağlayan basit aşamalardan oluşmaktadır. Bu durum projelerin daha hızlı tamamlanmasını ve maliyetlerin düşürülmesini sağlamaktadır. Üçüncü olarak, üç boyutlu baskı teknolojisi, karmaşık ve özelleştirilmiş yapıların kolayca üretilmesine imkân tanımaktadır. Geleneksel inşaat yöntemleri ile karmaşık ve özelleştirilmiş yapıların üretimi oldukça zordur ve maliyetleri yüksektir. Üç boyutlu baskı teknolojisi ise, dijital modellerin kolayca değiştirilebilmesini ve özelleştirilebilmesini sağlayarak karmaşık ve özelleştirilmiş yapıların kolayca üretilmesini mümkün kılmaktadır. 3B yazıcılar bu yapıları basit aşamalarla yaptıkları için maliyetleri oldukça azdır.

Bu araştırma, üç boyutlu yapı malzemesi yapımında kullanılacak materyallerin karşılaştırılarak değerlendirilmesi ve seramik tabanlı üç boyutlu baskı cihazı geliştirerek inşaat sektörüne fayda sağlayacak nesne üretimini kapsamaktadır. Ayrıca, üç boyutlu baskı teknolojisi ile üretilen yapı nesnelерinin performansı ve çevresel sürdürülebilirlik açısından değerlendirilmesi yapılmıştır. Üç boyutlu baskı teknolojisinde kullanılmak üzere hammadde seçimi yapılabilmesi için çamur örnekleri ve inşaat sektöründe kullanılan malzemeler araştırılmıştır. Elde edilen bilgiler ve uygulama yöntemleri deneysel çalışma sürecine katkı sağlamıştır.

Fused Deposition Modeling (FDM), Türkçesiyle Eriyik Yığıma Modelleme, 3D baskı teknolojilerinden biridir. Bu yöntemde, termoplastik bir filament (genellikle PLA, ABS veya PETG gibi malzemeler) bir ısıtıcı uç (nozül) aracılığıyla eritilir ve katman katman bir yüzeye (baskı tablasına) yığılır (Tatlı, 2020). Yapılan araştırmalar doğrultusunda, FDM (Fused Deposition Modeling) tipi bir 3B yazıcının seramik

baskı yapabilecek seviyeye çıkarılması için gerekli işlemler incelenmiş ve elde edilecek çıktının yeni nesil yapı malzemesi üretimine katkı sağlaması amaçlanmıştır.

3B yazıcı için gerekli ekipmanlar araştırılarak projelendirilmiş, piyasada mevcut olmayan bazı parçalar 3B yazıcı ile basılmış, piyasada bulunan ürünler temin edilmiş ve doğru bir tasarım değerlendirilerek cihaz geliştirilmesi tamamlanmıştır. Geliştirilen cihaz ile yapılan uygulamalar niteliğinde cihazın, kalibrasyon yeteneği, performans değerlendirmesi, hammadde örneklerinin cihaz ile uyumlaması ve çıktı kalitesi değerlendirilmiştir. Tez çalışmasının sonuçları, özellikle masaüstü üç boyutlu baskı teknolojisinin inşaat sektöründeki potansiyel uygulamaları, avantaj ve dezavantajları hakkında değerlendirme imkanı vermiştir.

Bu tez, giriş bölümünden sonra literatür özeti, materyal ve yöntem, deneysel çalışmalar ve tartışma, sonuç ve öneriler bölümleri ile devam etmektedir. Her bölüm, araştırmanın farklı yönlerini ayrıntılı olarak ele almakta ve bulguların bilimsel bir çerçevede değerlendirilmesini sağlamaktadır.

1.1. Üç Boyutlu Baskı Teknolojisinin Tarihçesi

Üç boyutlu (3B) baskı teknolojisi, 1980'lerin başında ortaya çıkmış ve o zamandan bu yana önemli bir evrim geçirmiştir. Bu teknoloji, dijital modellerin fiziksel objelere dönüştürülmesi sürecini ifade etmiştir ve çeşitli endüstrilerde devrim yaratmıştır. 3B baskı teknolojisinin tarihçesi, teknolojinin başlangıcından günümüze kadar önemli gelişmelere tanık olmuştur.

3B baskının kökenleri, 1984 yılında Charles Hull tarafından geliştirilen stereolitografi (SLA) tekniğine dayanmaktadır. Hull, SLA'yı geliştirerek, ışığa duyarlı sıvı reçine kullanarak katman katman fiziksel nesnelere oluşturmayı başarmıştır. Bu yenilikçi yaklaşım, 3B baskı teknolojisinin temellerini atmış ve Hull'un 1986 yılında 3B Systems Corporation'ı kurmasına yol açmıştır. Bu şirket, SLA teknolojisini ticari bir ürüne dönüştürerek ilk 3B yazıcıyı piyasaya sürmüştür (Tokdemir, 2022). Bu ilk SLA yazıcılar, pahalı ve büyük makineler olsa da 3D baskı dünyasında çığır açan bir teknoloji olmuştur. Hull tarafından geliştirilen ilk 3B yazıcı örneği Şekil 1.2'de görülmektedir.



Şekil 1.2. İlk SLA tip 3B yazıcı (Silva, 2019)

1990'larda, 3B baskı teknolojisi hızla gelişmeye devam etmiştir. Fused Deposition Modeling (FDM) ve Selective Laser Sintering (SLS) gibi yeni baskı teknikleri geliştirilmiştir. FDM 3B yazıcı, termoplastik polimerlerin eritilerek katman katman birleştirilmesiyle üç boyutlu nesnelerin üretilmesini sağlayan bir 3B baskı teknolojisidir. Bu yöntemde, bilgisayar ortamında oluşturulan 3B model, yazıcı tarafından filament halindeki malzemelerin işlenmesiyle fiziksel bir nesne haline getirilmektedir. FDM, yüksek mukavemetli ve dayanıklı parçalar üretme kapasitesine sahiptir, bu nedenle prototipleme ve endüstriyel uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır. SLS tipi 3B yazıcı, toz halindeki malzemelerin (genellikle plastik veya metal) lazer ile seçici olarak eritilmesi veya sinterlenmesiyle katmanlı yapılar oluşturma teknolojisidir. Bu yöntem de, bir lazer ışını, ince toz tabakalarını hedef olarak ısıtıp malzemenin birleşmesini sağlamaktadır. SLS yazıcıları, karmaşık geometriye sahip parçaları üretme kabiliyetine sahiptir ve genellikle dayanıklı, hafif ve yüksek performanslı parçaların üretiminde kullanılmaktadır. Prototipleme, endüstriyel parçaların üretimi ve özel tasarımlar için oldukça tercih edilmektedir. SLS'nin avantajları arasında, destek yapısına ihtiyaç duymadan karmaşık tasarımları oluşturabilme yeteneği bulunmaktadır (Çalışkan, 2017). Bu teknolojiler, 3B baskının kullanım alanlarını genişletmiş ve daha fazla malzeme çeşidi ile çalışmayı mümkün kılmıştır.

2000'li yılların başında, 3B baskı teknolojisi tıp, otomotiv, havacılık ve savunma gibi çeşitli endüstrilerde yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Tıp alanında, 3B baskı organ modelleri, protezler ve implantlar üretmek için kullanılmıştır. Otomotiv ve havacılık endüstrilerinde, hafif ve dayanıklı parçalar üretmeyi sağlamıştır. Savunma sanayinde ise, özelleştirilmiş savunma ekipmanları üretimi için kullanılmıştır.

2010'lu yıllar, 3B baskı teknolojisinin daha erişilebilir ve yaygın hale geldiği bir dönem olmuştur. 3B yazıcılar oldukça küçük boyutlara gelmiştir, kalem boyutlarında 3B yazıcılar üretilmiştir. Bu teknolojilerin gelişimi masaüstü 3B yazıcı uygulamalarını, hobi kullanıcıları ve küçük işletmeler için uygun fiyatlı hale getirmiştir. Bu dönemde, açık kaynak 3B yazıcı projeleri de büyük ilgi görmüştür. Özellikle RepRap projesi, açık kaynaklı bir 3B yazıcı geliştirme girişimidir ve "Replicating Rapid Prototyper" ifadesinin kısaltmasıdır. Bu proje, kullanıcıların kendi kendine 3B yazıcılarını yapmalarına olanak tanırken, bu yazıcıların kendilerini çoğaltabilmesini hedeflemektedir. RepRap, temel bileşenlerinin çoğunun 3D yazıcı tarafından üretilmesine dayanmaktadır. Bu da projenin maliyet etkinliğini artırmaktadır ve 3B yazıcı teknolojisini daha erişilebilir hale getirmektedir. Proje, dünya genelinde birçok hobi olarak ilgilenenler ve mühendisler tarafından benimsenmiş olup, sürekli olarak geliştirilmektedir. Kullanıcılar, çeşitli tasarımlar ve yazılımlar üzerinde çalışarak, yazıcılarını kişiselleştirebilmekte ve geliştirmektedir. RepRap projesi, 3B yazıcılıklara olan ilgiyi artırmıştır ve bu alandaki inovasyonları teşvik etmiştir. Bu projeler, 3B baskının yaygınlaşmasını ve kullanıcıların kendi yazıcılarını oluşturabilmesini sağlamıştır (Derin, 2022). Ayrıca 3B yazıcılarda kullanılan dijital modellerin birçok platform üzerinden ücretli ya da ücretsiz versiyonlarla satışı yapılmıştır, bu durum ise dijital model hazırlama programlarını öğrenme zorluğunu ortadan kaldırmıştır. Böylece 3B yazıcılar, kişilerin kullanım alanlarına bağlı olarak istenilen özelliklerde üretilip, kolaylıkla dijital modellerin elde edilmesi sayesinde oldukça yaygınlaşmıştır.

Son yıllarda, 3B baskı teknolojisi daha da gelişmiş ve yeni uygulama alanları keşfedilmiştir. Eğitim ve araştırma, biyobaskı, moda ve tasarım, heykeltçilik sanatları, gıda endüstrisi ve oyuncak endüstrisi gibi alanlarda yaygın olarak kullanılmaya başlamıştır. Eğitim alanında öğrenciler için karmaşık konseptleri anlamaya yardımcı

olacak modeller üretilirken araştırma ve geliştirme alanında yeni malzemeler ve teknolojiler üzerinde çalışmalar yapılırken aktif olarak kullanılmaktadır. Biyobaskı, insan dokuları ve organları üretmek için 3B baskı teknolojisinin kullanılması anlamına gelmektedir. Bu alanda yapılan çalışmalar, organ nakli için kullanılabilir yapay organlar ve doku mühendisliği alanında büyük umutlar vaat etmektedir. Moda ve tasarım alanında kişiye özel takılar, aksesuarlar üretilmektedir, özel tasarımlı giyilebilir teknoloji ürünleri geliştirilmektedir. Sanatçılar, karmaşık ve detaylı sanat eserlerini 3B yazıcılarla oluşturmaya başlamışlardır, 3B yazıcılar geleneksel heykel yapım yöntemlerine alternatif olarak kullanılmaktadır. Gastronomi şefleri, yaratıcı yemek tasarımları, kişiye özel gıda üretimi, özel şekilli ve dokulu gıda ürünleri üretimi için 3B yazıcıları kullanmaktadır. Eğlence ve oyuncak endüstrisinde filmler, oyunlar ve koleksiyonlar için detaylı figürler, çocuklar için özel tasarımlı oyuncaklar yapılmaktadır. Gelişen teknolojiyle 3B yazıcılar çocukların yaratıcılığını geliştirip kendi oyuncaklarını üretmelerini sağladığı için her eve girmeye meyillidir (Appavuravther, 2019). Çizelge 1.1'de 3B baskı teknolojisi ile ilgili önemli gelişmeler listelenmiştir.

Çizelge 1.1. Literatürdeki gelişim trendleri

Dönem	Önemli Gelişmeler	Ana Teknolojiler	Uygulama Alanları
1980'ler	Stereolitografi (SLA) teknolojisinin geliştirilmesi, ilk 3B yazıcıların üretilmesi	SLA	Prototipleme
1990'lar	FDM ve SLS teknolojilerinin ortaya çıkışı, malzeme çeşitliliğinin artması	FDM, SLS	Prototipleme, endüstriyel üretim
2000'ler	3B baskının tıp, otomotiv, havacılık gibi farklı sektörlerde yaygınlaşması	Çeşitli teknolojiler	Tıp, otomotiv, havacılık, savunma
2010'lar ve sonrası	Masaüstü 3B yazıcıların yaygınlaşması, açık kaynak projeler, biyobaskı, inşaat sektöründe kullanım	Çeşitli teknolojiler, biyobaskı	Hobi, küçük işletmeler, tıp, inşaat

21. yüzyılın başından itibaren malzeme bilimindeki ilerlemeler ve büyük ölçekli 3B yazıcıların geliştirilmesi, bu teknolojiyi inşaat alanında kullanılabilir hale getirmiştir. İnşaat sektöründe 3B baskı teknolojisinin ilk büyük uygulamalarından biri 2014 yılında Çin'de gerçekleştirilen 10 evin bir günde 3B yazıcılarla inşa edildiği bir proje

olmuştur. Ardından Dubai, 2016'da dünyadaki ilk 3B baskı ile üretilmiş ofis binasını tanıtarak bu alandaki öncülerden biri olmuştur. Günümüzde 3B baskı teknolojisi, özellikle düşük maliyetli konut projeleri, acil durum barınakları ve yenilikçi mimari tasarımlar için kullanılmaktadır. Gelecekte, bu teknolojinin sürdürülebilir inşaat malzemeleri ve robotik otomasyonla birleştirilerek inşaat süreçlerini daha da dönüştürmesi beklenmektedir (Appavuravther, 2019).

3B baskı teknolojisinin tarihçesi, teknolojinin hızla evrildiğini ve çeşitli endüstrilerde büyük yenilikler getirdiğini göstermektedir. Bu teknoloji, malzeme biliminden mühendisliğe, tıptan inşaata kadar birçok alanda devrim yaratmıştır. Gelecekte, 3B baskı teknolojisinin daha da gelişmesi ve yeni uygulama alanlarının keşfedilmesi beklenmektedir.

1.2. İnşaat Sektöründe 3B Baskı Teknolojisinin Kullanımı

İnşaat sektörü, insanlık tarihinin en eski faaliyetlerinden biri olmuştur. Barınma ihtiyacından doğan bu sektör, medeniyetlerin gelişimiyle birlikte büyük bir dönüşüm geçirmekle birlikte halen yapım sürecinde geleneksel yöntemler kullanılmaktadır. Fakat 3B baskı teknolojisinin gelişmesiyle birlikte, bu sektörde de önemli yenilikler ve değişiklikler meydana gelmiştir. 3B baskı teknolojisinin inşaat sektöründe kullanımı, malzeme israfını azaltmak, inşaat süreçlerini hızlandırmak ve karmaşık yapıların üretimini kolaylaştırmak gibi birçok avantaj sunmaktadır. Şekil 1.3'te 3B yazıcı ile oluşturulan beton duvarlar ve yazıcı başlığı görülmektedir.



Şekil 1.3. 3B yazıcı ile şekillendirilen beton duvarlar (Anonim, 2024e)

İnşaat sektöründe 3B baskı teknolojisinin kullanımı, ilk olarak 2010'lu yılların başında ortaya çıkmıştır. Bu dönemde, çeşitli araştırma projeleri ve pilot uygulamalar gerçekleştirilmiş ve 3B baskı teknolojisinin inşaat sektöründe nasıl kullanılabileceği araştırılmıştır. İlk önemli örneklerden biri, Şekil 1.4'te görülen Çin'de Winsun adlı bir şirketin 2014 yılında 3B baskı kullanarak 10 ev inşa etmesidir. Bu evler, geri dönüştürülmüş inşaat atıkları kullanılarak üretilmiş ve her biri sadece 24 saat içinde tamamlanmıştır (Bulut, 2019). Bu proje, 3B baskı teknolojisinin inşaat sektöründe büyük bir potansiyele sahip olduğunu göstermiştir.



Şekil 1.4. Winsun'un 2014 yılında hayata geçirdiği proje (Anonim, 2024a)

3B baskı teknolojisinin inşaat sektöründeki kullanımı, çeşitli malzemelerin kullanımını mümkün kılmıştır. Beton, plastik, metal ve hatta organik malzemeler, 3B baskı ile yapı elemanları üretmek için kullanılabilir. Beton, inşaat sektöründe en yaygın olarak kullanılan malzemedir ve 3B baskı ile beton yapıların üretilmesi, malzeme israfını azaltmış ve inşaat süreçlerini hızlandırmıştır. Plastik ve metal, daha hafif ve dayanıklı yapı elemanları üretmek için kullanılmaktadır. Organik malzemeler ise, sürdürülebilir ve çevre dostu yapıların üretilmesine olanak tanımaktadır.

3B baskı teknolojisinin inşaat sektöründeki bir diğer önemli avantajı, karmaşık ve özelleştirilmiş yapıların üretimini kolaylaştırmasıdır. Geleneksel inşaat yöntemleri, karmaşık ve özelleştirilmiş yapıların üretimini zorlaştırmakta ve maliyetleri artırmaktadır. 3B baskı teknolojisi ise, dijital modellerin kolayca değiştirilebilmesini ve özelleştirilebilmesini sağlamaktadır. Bu, karmaşık ve özelleştirilmiş yapıların kolayca üretilmesini ve maliyetlerin düşürülmesini sağlamaktadır. Örneğin, Hollanda'da yapılan bir projede, 3B baskı kullanılarak bir kanal köprüsü inşa edilmiştir. Bu köprü, geleneksel yöntemlerle inşa edilmesi zor olan karmaşık bir

tasarıma sahiptir ve 3B baskı teknolojisi sayesinde kısa sürede tamamlanmıştır (Derin, 2022).

3B baskı teknolojisinin inşaat sektöründeki kullanımı, çevresel sürdürülebilirlik açısından da önemli avantajlar sunmaktadır. Geleneksel inşaat yöntemleri, genellikle büyük miktarda atık üreterek çevreye zarar vermektedir. 3B baskı teknolojisi ise, malzeme kullanımını optimize ederek atık miktarını azaltmaktadır. Ayrıca, geri dönüştürülmüş malzemelerin kullanımı da mümkündür. Bu, inşaat süreçlerinin çevre dostu olmasını sağlamakla birlikte doğal kaynakların korunmasına da katkıda bulunmaktadır.

3B baskı teknolojisinin inşaat sektöründeki kullanımı, iş gücü maliyetlerini de azaltmaktadır. Geleneksel inşaat yöntemleri, genellikle büyük bir iş gücü gerektirir ve bu da maliyetleri artırmaktadır. 3B baskı teknolojisi ise, otomatik ve robotik sistemler kullanarak inşaat süreçlerini gerçekleştirdiği için maliyetler azalarak inşaat projelerinin daha ekonomik olması sağlanmaktadır. Ayrıca, inşaat süreçlerinin otomatikleştirilmesi, iş kazalarının azalmasına ve iş güvenliğinin artmasına da katkıda bulunmaktadır. Çizelge 1.2 3B baskı yöntemleriyle gerçekleştirilen modüler yapılar ile günümüzde kullanılan geleneksel yapıların karşılaştırmasını göstermektedir.

Çizelge 1.2. Modüler ve geleneksel yapıların karşılaştırılması

Özellik	Modüler Yapılar	Geleneksel Yapılar
İnşaat Süresi	Daha kısa	Daha uzun
Maliyet	Genellikle daha düşük	Genellikle daha yüksek
Esneklik	Yüksek (modüllerin değiştirilebilmesi)	Düşük
Kalite Kontrolü	Yüksek (fabrikada üretim)	Değişken
Çevresel Etki	Daha düşük (az atık)	Daha yüksek

1.3. Mevcut Çalışmalar ve Araştırma Boşlukları

Üç boyutlu baskı teknolojisi ve buna bağlı gelişen yenilikler, son yıllarda yoğun araştırmalara konu olmuştur. Bu bölümde, mevcut literatürdeki önemli çalışmalarını özetlenerek bu alandaki araştırma boşluklarını belirlenmiştir. Bu analiz, mevcut bilgi birikimini derinleştirirken, tez çalışmasının özgün katkıları daha belirgin hale getirmiştir. İnşaat sektöründe 3B yazıcılar, son yıllarda devrim niteliğinde

değişiklikler getirmiştir. Bu teknoloji, geleneksel inşaat yöntemlerine kıyasla daha hızlı, daha az maliyetli ve daha az atık üreten çözümler sunmaktadır. İnşaat sektöründe 3B yazıcılar ile gerçekleştirilen bazı önemli projeler bu bölümde anlatılmaktadır.

Winsun, Çin'de 2014 yılında 3B baskı teknolojisi kullanarak 10 adet ev inşa etmiştir. Bu projede, geri dönüştürülmüş inşaat atıkları kullanılarak beton malzeme ile evler basılmıştır. Her bir ev sadece 24 saat içinde tamamlanmıştır. Bu proje, 3B baskı teknolojisinin inşaat sektöründe nasıl kullanılabileceğini ve maliyet etkinliğini göstermiştir. Winsun'un bu başarısı, dünya genelinde 3B baskının potansiyelini ortaya çıkarmış ve birçok yeni projenin ilham kaynağı olmuştur (Bulut, 2019).

MX3B, Hollanda'da Amsterdam kanalları üzerinde 3B baskı ile bir köprü inşa etmiştir. Bu köprü, paslanmaz çelik malzeme kullanılarak robotik 3B baskı teknolojisi ile üretilmiştir. Köprünün inşası, karmaşık geometrilerin ve büyük ölçekli yapıların 3B baskı ile nasıl üretilebileceğini göstermiştir. MX3B projesi, 3B baskının mühendislik ve tasarımda sunduğu esnekliği ve yenilikçi çözümleri vurgulamaktadır (Derin, 2022).

ICON ve New Story, Meksika'da düşük maliyetli konutların inşası için 3B baskı teknolojisini kullanmıştır. Bu projede, beton malzeme kullanılarak yoksul aileler için dayanıklı ve uygun fiyatlı evler inşa edilmiştir. Proje, 3B baskının sosyal konut projelerinde nasıl etkili bir şekilde kullanılabileceğini ve hızlı bir çözüm sunabileceğini göstermiştir (Derin, 2022).

ETH Zürich, betonarme yapıların hafifletilmesi ve malzeme tasarrufu sağlanması amacıyla "Smart Slab" adlı bir projeyi hayata geçirmiştir. Bu projede, topolojik optimizasyon ve 3B baskı teknolojisi kullanılarak, geleneksel betonarme plaklara göre daha hafif ve dayanıklı yapı elemanları üretilmiştir. ETH Zürich'in bu çalışması, 3B baskının yapı mühendisliğinde sunduğu yenilikçi çözümleri ve sürdürülebilirliği vurgulamaktadır (Jipa, 2018).

İNşaat sektöründe 3B baskı teknolojileri, çeşitli projeler ve uygulamalarla sektördeki dönüşümü hızlandırmaktadır. Çizelge 1.3'te en önemli projelere ait bilgiler ışığında

3B baskı teknolojisi ile yapılan mevcut çalışmaların odak alanlarını, çalışmalar sonucunda elde edilen bulguları ve araştırma boşluklarına katkılarını listelemektedir.

Çizelge 1.3. Baskı teknolojisi ve inşaat sektöründe mevcut çalışmalar

Çalışma	Ana Odak Alanları	Önemli Bulgular	Araştırma Boşluklarına Katkıları
Winsun Projesi	Maliyet etkinliği, büyük ölçekli üretim	Geri dönüştürülmüş malzeme kullanımı, hızlı inşaat	Malzeme çeşitliliği, uzun vadeli performans
Amsterdam Kanal Köprüsü	Karmaşık geometriler, robotik üretim	Büyük ölçekli yapıların üretimi, metal malzeme kullanımı	Yapısal performans, çevresel etkiler
ICON ve New Story Projesi	Sosyal konut projeleri, düşük maliyet	Sosyal sorumluluk, uygun fiyatlı konut	Malzeme çeşitliliği, uzun vadeli performans
ETH Zürich Smart Slab Projesi	Malzeme tasarrufu, yapısal optimizasyon	Topolojik optimizasyon, hafif yapı elemanları	Malzeme çeşitliliği, ekonomik analizler

COBOD International'ın ürettiği BOD2 yazıcı ile saatte 4 metrekare hızında basılan bu yapı, Avrupa'nın en büyük 3B baskılı binası olarak kabul edilmektedir. 600 metrekarelik bu veri merkezi yalnızca 140 saat içinde tamamlanmıştır ve dalgalı dış cephe tasarımıyla dikkat çekmektedir (Anonim, 2024e).

Dubai'de Apis Cor tarafından inşa edilen 640 metrekarelik bir 3B baskı teknolojisi kullanılarak inşa edilen yapı, iki katlıdır ve Guinness Dünya Rekorları'na girmiştir. Dubai'nin inşaat politikaları, 2030 yılına kadar yeni binaların %25'inin 3B baskıyla yapılmasını hedeflemektedir (Derin, 2022). Ayrıca yine Dubai'de inşa edilen Dubai Future Foundation 3B yazıcı kullanılarak inşa edilen ilk ofis binası olarak nitelendirilmektedir. Bina, 17 gün gibi kısa bir sürede tamamlanmıştır ve geleneksel yöntemlere kıyasla %50 daha az maliyetle inşa edilmiştir (Bulut, 2019). Binaya ait görüntüler Şekil 1.5 ve Şekil 1.6'da görülmektedir.



Şekil 1.5. 3B yazıcı kullanılarak inşa edilen ilk ofis binası dış görünüm (Anonim, 2024b)



Şekil 1.6. 3B yazıcı kullanılarak inşa edilen ilk ofis binası iç görünüm (Anonim, 2024b)

New Story adlı kar amacı gütmeyen bir kuruluş, uygun fiyatlı konut krizine çözüm olarak, 24 saat içinde inşa edilen 3B baskılı evler üretmiştir. XtreeE firması, deniz yaşamını canlandırmak için 3B baskılı gözenekli beton yapılar geliştirmiştir (Tümer, 2020). Bu yapılar, kaybolmuş ekosistemlerin yeniden canlanmasını sağlayarak çevresel faydalar sunmaktadır. 3B baskı ile üretilen kafes yapıları, büyük sahne ve çadır tasarımları gibi hafif ve dayanıklı yapılar, özel sahneler için hem estetik hem de dayanıklılık açısından değerli bulunmaktadır.

3B baskı teknolojisinin inşaat sektöründeki örnekleri gün geçtikçe artmaktadır. Bu yenilik, inşaat sektörünü köklü bir şekilde dönüştürme potansiyeline sahiptir ve gelecekte daha geniş ölçekte kullanılması öngörülmektedir.



2. KAYNAK ÖZETLERİ

Sönmez vd. (2018), çalışmasında üç boyutlu yazıcıların yoğun bir şekilde kullanıldığı, zamanla gelişerek daha güçlü bir konuma ulaştığı alanları ele almışlardır. Üç boyutlu yazıcı teknolojisi, hayatımızda birçok sektörde kendine yer bulmuş ve hızla yaygınlaşmaya devam etmektedir. Gelişen teknolojiler ve bu yeniliklerin sunduğu imkânlar, yaşamı kolaylaştırırken, bizlerin de bu değişimlere uyum sağlaması gerektiğini vurgulamışlardır. İnşaat sektöründe, modern mimariyle uyumlu yapıların inşasına olanak tanırken, aynı zamanda karmaşık geometrilere sahip, inşası zorlu binaların da hayata geçirilmesini mümkün kılacağını savunmuşlardır.

Hakan Verdu Martinez vd. (2016), çalışması neticesinde günümüzde üç boyutlu yazıcı teknolojisi, plastik ve metal gibi çeşitli malzemelerle üretim yapılmasını sağladığı gibi, seramik malzemelerin de plastik ya da toz formundaki çamurla işlenmesine olanak tanımaktadır. Dijital bir üretim yöntemi olan bu teknoloji, seramik sanatında alternatif bir şekillendirme tekniği olarak değerlendirilmektedir. Seramik malzemelerle sadece harç yığma (FDM) yöntemi değil, aynı zamanda toz bağlama ve SLS (seçici lazer sinterleme) gibi sistemlere dayanan üretim teknikleri de uygulanabilmektedir. Bu yöntemler, insan eliyle yapılması mümkün olmayan karmaşık formları oluşturma konusunda oldukça başarılıdır. Fakat bu teknolojilerde malzemelerin tam anlamıyla birleşmemesi nedeniyle yüzeyde boşluklar oluşabilmektedir. Bu durum, elde edilen formların belirli bir estetik düzeye ulaşmasına rağmen, malzeme kalitesi ve yüzeyin gözenekliliği açısından henüz istenilen sonuçlara tam anlamıyla ulaşamadığını göstermektedir. Yapılan araştırmalar, toz bağlama yöntemiyle çalışan yazıcıların aksine, seramik çamuru kullanılan harç yığma yöntemiyle şekillendirmede yüzey gözenekliliği sorununun daha az yaşandığını ortaya koymaktadır. Bununla birlikte, bu yöntemde yüzeyde oluşan yatay çizgiler, sanatsal bir doku efekti sunmasına rağmen, pürüzsüz yüzey elde etme açısından bir zorluk olarak değerlendirilmektedir. Bu bağlamda, yüzey kalitesini artırmaya ve malzeme sorunlarını gidermeye yönelik çalışmalar devam etmektedir. Önümüzdeki yıllarda bu problemlerin çözülmesiyle birlikte, üç boyutlu baskı teknolojisinin daha yaygın ve sorunsuz bir üretim yöntemi olarak benimsenmesi beklenmektedir.

Çalışkan (2017), tez çalışması neticesinde, 3B seramik yazıcı tasarımı ve prototip imalatı gerçekleştirmiştir. Gerçekleştirilen yazıcı imalatından sonra seramik malzeme kullanılarak işlem sağlanmış olup uygun boyutlarda ve yazdırma parametrelerinde numuneler başarılı şekilde yazdırılmıştır.

Özgüven (2015), çalışmasında yaptığı araştırmada birçok endüstri, üretim süreçlerinde plastik bazlı malzemeler kullanmaktadır. Fakat ilerleyen dönemlerde, plastik malzemelere ek olarak doğada kolaylıkla bulunabilen ve ekonomik açıdan avantaj sağlayan seramik malzeme türlerinin de tercih edileceği öngörülmektedir.

Oliver Van Herpt, yenilikçi üç boyutlu baskı teknikleri ve özellikle seramik malzemeler üzerine odaklanan bir tasarımcı ve sanatçıdır. Hollandalı olan Van Herpt, geleneksel zanaat ile modern teknolojiyi birleştiren çalışmalarıyla tanınmaktadır. Sanatçı, işlerinde genellikle büyük ölçekli ve karmaşık geometrik formlar oluşturan 3B baskı tekniklerini kullanır. Şekil 2.1’de çalışmaları ve yazıcıları görülmektedir.

Van Herpt, seramiklerin 3B yazıcılarla üretimini geliştirmek için özelleştirilmiş yazıcılar tasarlamış ve üretmiştir. Tasarımları, seramik malzemelerin özelliklerini keşfetmek ve yeni kullanım olanakları yaratmak amacıyla teknik ve estetik yenilikleri bir araya getirir. Çalışmaları hem sanat hem de tasarım dünyasında dikkat çekmiş, birçok uluslararası sergide yer almıştır. Van Herpt’in çalışmaları, zanaat geleneklerini ileri teknoloji ile yeniden yorumlayarak malzeme, form ve süreç arasında özgün bir ilişki kurmayı amaçlar. Özellikle yüksek hassasiyetli seramik üretiminde yeni bir standart belirlemiştir (Van Herpt, 2024).



Şekil 2.1. Oliver Van Herpt Çalışmaları ve 3B Yazıcıları (Van Herpt, 2024)

Jonathan Keep, dijital teknolojileri seramik sanatıyla birleştiren öncü bir sanatçıdır. Özellikle üç boyutlu yazıcıların seramik üretiminde kullanılabilirliğini araştıran ve geliştiren çalışmalarıyla tanınmaktadır. Keep, delta tipi 3B yazıcılar üzerinde yaptığı yeniliklerle, seramik çamuru gibi doğal malzemelerin dijital üretim süreçlerinde kullanılmasını sağlamıştır. Şekil 2.2’de ilk tasarımı olan 3B yazıcı görülmektedir. Tasarım sürecinde bilgisayar algoritmalarını kullanarak organik ve karmaşık formlar oluşturur. Eserlerinde doğadan ve geometriye dayalı desenlerden ilham alan Jonathan Keep, hem sanatsal hem de teknolojik anlamda seramik sanatına önemli katkılarda bulunmuştur. Çalışmaları, dijital tasarım araçlarının geleneksel el işçiliğiyle nasıl birleşebileceğini göstermesi açısından dikkate değer görülmektedir (Keep, 2024).



Şekil 2.2. Jonathan Keep tarafından geliştirilen 3B seramik yazıcı (Keep, 2024)

Seramik sanatını 3B yazıcılar ile kullanan sanatçılar, bazı topluluklar için ilgi odağı olmuştur. Data Clay, seramik sanatında yenilikçi bir akım olarak yükselmekte olup dijital üretim tekniklerinin sanat ve tasarım üzerindeki etkisini göstermektedir. Hem estetik hem de işlevsel açıdan farklı tasarımların önünü açan bu yaklaşım, sanat ve zanaatın geleceğini şekillendiren önemli bir hareket olarak değerlendirilmektedir. "Data Clay" terimi ilk olarak 2015 yılında San Francisco'daki Museum of Craft and Design'da düzenlenen bir sergiyle popülerleşmiştir. Bu sergi, seramik sanatında dijital teknolojilerin kullanımını keşfetmiş ve bu alanda çalışan sanatçıların eserlerini sergilemiştir (Özgüven, 2015).

“Stratigraphic Porcelain,” “Serpentine 3B” ve “Building Bytes” projeleri, çağdaş seramik sanatı ile üç boyutlu baskı teknolojilerinin geleceği hakkında önemli ipuçları sunmaktadır. Unfold Tasarım Stüdyosu tarafından hayata geçirilen Stratigraphic Porcelain projesi, üç boyutlu yazıcılarla üretilen bardak, vazo ve sürahi gibi gündelik hayatta kullanılan nesnelere dönüşmektedir. Bu yenilikçi projeler, İtalya'daki Milano Trienali'nde sergilenerek uluslararası dikkat çekmiştir (Özgüven, 2015).

Unfold'un laboratuvarlarında gerçekleştirilen seramik çalışmaları, bu alanda yapılan öncü projeler arasında yer almaktadır. Seramik malzeme ile üretimi mümkün olmayan ya da oldukça zahmetli olan karmaşık formlar, bu projeler sayesinde kolaylıkla hayata geçirilmiştir. Böylelikle seramik tasarım anlayışı yeniden şekillendirilmiş ve alana yeni bir soluk getirilmiştir.

Deksi (2016), tez çalışmasında barınak inşasında 3B yazıcı yöntemi kullanarak olağanüstü afet durumlarında barınak inşası yapılabilmesi için bir çözüm önerisi ortaya koymuştur. Yapılan tez çalışmasında barınak inşasında yenilikçi ve orijinal bir yöntem olan 3B yazıcı yöntemi kullanılarak gerek zaman kazanma gerekse ekonomik olarak uygun olan bir yaklaşım olması nedeni ile olağanüstü durumlarda uygulanabilir olduğu görülmüştür.

Tümer (2020), “Üç Boyutlu Yazıcılar ve Günümüz Mimarisinde Kullanımı” başlıklı tez çalışmasında, üç boyutlu yazıcıların mimari üzerindeki etkileri ve kullanım durumları örnekler aracılığıyla incelemiştir. Üç boyutlu yazıcılar, kişisel kullanımın yanı sıra gıda, otomotiv, uçak, savunma, tıbbi malzeme, eğitim ve mimarlık gibi çeşitli sektörlerde de aktif olarak kullanılmaktadır. Mimarlık alanındaki uygulamalar, gelişmiş ülkeler tarafından yaklaşık 20 yıl önce başlatılmıştır. ABD, Çin, Almanya, Fransa, Hollanda ve İtalya gibi ülkelerde birçok firma, büyük ölçekli üç boyutlu yazıcılar ve robot kollar kullanarak üretim yapmaktadır. İnşaatin otomasyon altına girmesiyle birlikte, proje takibi, yerinde müdahale, düşük iş gücü ve maliyet gibi unsurlar daha verimli hale getirilmiştir. Bu bağlamda, üç boyutlu beton baskı yapabilen yazıcılar ve robotik kollar, inşaat otomasyonunun temel araçları haline gelmiştir.

Aslan (2021), 3 boyutlu yazıcıların seramik malzemelerin şekillendirilmesinde yeni olanaklar sunduğu ve tasarıma uygun bünyelerin stabil bir şekilde üretilebildiğini gözlemlemiştir. Geleneksel yöntemlerle şekillendirilemeyen bünyelerin, 3B yazıcılar sayesinde kullanılabilir hale geldiğini deneyimlemiştir. Bazı çamurların sinterlenmesiyle sır gerektirmeyen yüzeylerin tek pişirmede elde edilmesi, enerji ve maliyet tasarrufu sağlayan yeni bünyelerin geliştirilmesine imkân tanımıştır. Bu süreç, seramik sektöründe yeni ve geliştirilebilir bir alan oluşturmuş, 3B yazıcılarda kullanılacak başlık tasarımlarını da etkilemiştir. Deneyler, kalıplama veya geleneksel

yöntemlerle üretilmeyen özgün seramik eserlerin 3B yazıcılar sayesinde yapılabilmesini kanıtlamıştır. Seramiklerin üretim alanları, çeşitliliği ve dayanıklılığı artırılmış, prototip maliyetleri düşürülmüş ve daha ekonomik, seri üretim yapılabilir hale gelmiştir. Bu yenilik, depolama ve üretim süreçlerini sadeleştirerek doğrudan son ürüne odaklanmayı mümkün kılmıştır.

Appavuravther vd. (2019), çalışmalarında 3 boyutlu baskı teknolojisinin hayatımızı değiştirdiği alanları araştırmışlardır. Bu çalışmaya göre katmanlı imalat teknolojisi, endüstriyel üretim ve geliştirme süreçlerinde devrim yaratan bir yöntemdir. Hızlı prototipleme olanakları sayesinde, ürün geliştirme süreçlerini hızlandırır ve gereksiz maliyetleri azaltmaktadır. 3B yazıcılar, kavramsal ürün denemeleri ve büyük yapıların üretimi gibi geniş bir uygulama yelpazesi sunmaktadır. Geleneksel üretimde ihtiyaç duyulan kalıp ve makine maliyetlerini ortadan kaldırarak tasarım değişikliklerini daha kolay hale getirmektedir. Bu avantajları sayesinde katmanlı imalat, kullanıcıların hayatını kolaylaştıran ve giderek daha fazla tercih edilen bir teknoloji haline gelmiştir.

Bulut (2019), çalışmasında mimarlığın bugünü ve geleceğinin 3B yazıcılar tarafından nasıl şekillendirileceği temel araştırma problemi olarak ele alınmıştır. 3B yazıcı teknolojileri, hesaplamalı ortamlarla entegre çalışabilme, kullanıcı dostu arayüzler ve çeşitli malzemelerle uyumlu filament kullanımı gibi özellikleriyle mimarlık alanında devrim niteliğinde bir etki yaratmıştır. Bu teknolojiler, tasarım süreçlerinde bilgisayarların işbirlikçi rolünü artırırken üretim süreçlerini de dönüştürmeye başlamıştır. Bu çalışmada Milenyum sonrası dönemde 3B yazıcıların mimarlığa etkileri değerlendirilmiş, III. Endüstri Devrimi'nin mimarlık üzerindeki olası etkileri ve bu teknolojilerin kullanım olanakları incelenmiştir. Bu teknolojilerin, mimarlık da dâhil olmak üzere tasarım ve üretime dayalı tüm alanlarda, yeni keşifler ve uygulamalara kapı aralayan zengin ve çeşitli etkileşimler yaratma potansiyeline sahip olduğu söylenebilir. Çalışma sonunda elde edilen bulgular, özellikle 3B yazıcıların mimari tasarım ve üretim süreçlerine yenilikçi bir bakış açısı kazandırdığını, sosyal, ekonomik ve çevresel etkileriyle yapı üretim yöntemlerimizi dönüştürmeye başladığını göstermektedir. Mimarlık için nispeten yeni sayılan bu teknolojilerin, disiplinler arası bir yaklaşımla ele alınarak daha geniş bir tartışma alanı oluşturması

beklenmektedir. Bu tür tartışmaların, gelecekteki çalışmaların yönünü belirlemede önemli bir rol oynayacağı öngörülmektedir.

Üç boyutlu beton baskı teknolojisi kullanılarak inşa edilen evler, ofisler, kamu binaları, fuar stantları, köprüler, dekoratif duvarlar ve bahçe mobilyaları gibi yapılar, geleneksel üretim yöntemlerine kıyasla daha hızlı ve düşük maliyetle üretilmektedir. Kullanılan malzemelerin çeşitliliği de gelecekte artması beklenmektedir. Bu alandaki firmalar arasındaki rekabet, her geçen gün yeni gelişmelerin ortaya çıkmasına yol açmaktadır.

İç mimarlık alanında da bu teknoloji kullanılarak daha karmaşık formda aydınlatma, oturma elemanları ve aksesuarlar üretilmektedir. Bu gelişmeler, tasarımdaki hedeflere ulaşmada büyük kolaylık sağlamaktadır. Dünyada ve Türkiye'deki bu alandaki çalışmalar karşılaştırıldığında, Türkiye'de inşaat sektöründe henüz büyük bir gelişme kaydedilmemiştir. Fakat daha küçük ölçekli yazıcılar, tıbbi alanda medikal ürünlerin üretiminde, kuyumculuk ve takı sektörlerinde seri üretimde ve mimari maket yapımında kullanılmaya başlanmıştır. Türkiye, tamamen yerli üretim bir yazıcıyla askeri alanlarda da projeler geliştirmektedir.

Tüm bu gelişmeler göz önüne alındığında, üç boyutlu yazıcıların mimarlık uygulamaları için gelecekte önemli bir potansiyele sahip olduğu düşünülmektedir. Son yıllarda teknoloji alanındaki ilerlemeler, cep telefonlarından yapay zekâyâ kadar geniş bir yelpazeye yayılmaktadır. Bu yüzden, üç boyutlu baskı teknolojisinin gelecekteki gelişmeleri olumlu yönde ilerlemektedir ve bu teknolojinin, inşaat süreçlerinde önemli değişiklikler yaratma potansiyeli bulunmaktadır. Bilgisayar destekli tasarım ve modelleme programları, tasarım sürecinde oldukça önemli bir rol oynamaktadır. Bu yazılımlar sayesinde, tasarım aşamasında ürün en detaylı şekilde incelenmektedir. Üretim süreci, bilgisayar modeliyle başlayıp ardından dilimleme ve kodlama işlemleri yapılarak yazıcıya gönderilmektedir. Bu sistematik süreç sayesinde en verimli sonuç elde edilmektedir. Yazıcıya baskı gönderilmeden önce kodlama ve dilimleme işlemleri, bilgisayarlar aracılığıyla kolayca gerçekleştirilmektedir. Bu, üç boyutlu yazıcı teknolojisinde bilgisayar destekli tasarımın katkısının büyük olduğunu göstermektedir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. 3B Yazıcıların Üretiminde Kullanılan Yöntemler

3B yazıcı yapım süreci, yazıcının türüne (FDM, SLA, SLS vb.) ve kullanım amacına göre değişiklik göstermektedir. Çalışmada FDM tipi bir seramik 3B yazıcı tasarlanarak uygulama süreci tamamlanmıştır. 3B yazıcıların kafa ve tabla hareketlerini hassas bir şekilde sağlayan lineer hareket sistemi; kılavuz raylar, rulmanlar ve vidalı miller kullanılarak oluşturulmaktadır. 3B yazıcılarda mikro kontrolcü olarak Arduino Mega + RAMPS gibi popüler kombinasyonlar veya daha gelişmiş 32-bit kontrol panoları, X, Y, Z eksenlerinin hareketini kontrol eden adım motorları (step motorlar), hammaddenin doğru sıcaklıkta işlenmesini sağlayan sıcaklık sensörler ve ısıtıcılar, 3B yazıcının tüm bileşenlerine enerji sağlayan güç kaynağı kullanılmaktadır. Tüm bu bileşenlerin başarılı bir şekilde verilen işlevi yerine getirebilmesi için kullanılan formüller ve yöntemler bu bölümde bahsedilmektedir.

3.1.1. Kartezyen koordinatlar

3 boyutlu cihazlar (özellikle 3B yazıcılar veya CNC makineleri) için genellikle cihazın hareketini ve geometrik şekillerin oluşturulmasını kontrol etmek amacıyla Kartezyen koordinat sistemine dayalı formüller kullanılmaktadır. Kartezyen koordinat sistemi, her bir noktanın X, Y, Z eksenleri üzerindeki konumlarıyla tanımlandığı bir 3B uzayda çalışmaktadır. Bu formüller genellikle cihazın mekanik hareketleri, katmanlı üretim (3B baskı), ve yazdırma stratejilerinin belirlenmesi için kullanılmaktadır.

Kartezyen 3B yazıcılarda, X, Y ve Z eksenleri birbirinden bağımsız hareket etmektedir. Hareket denklemleri Denklem (3.1)'de ifade edilmektedir.

$$\Delta x = V_x t, \Delta y = V_y t, \Delta z = V_z t \quad (3.1)$$

Yukarıdaki denklemde; Δ_x , Δ_y , Δ_z eksenlerdeki yer değişimlerini, V_x , V_y , V_z eksenlerdeki hızlarını, t: hareket süresini göstermektedir.

Delta tipi yazıcılarda her eksen (motor) bağımsız olarak çalışır. Bir noktaya ulaşmak için gerekli motor uzunlukları trigonometrik olarak Denklem (3.2)'de gösterildiği gibi hesaplanır.

$$L_i = \sqrt{((x - x_i)^2 + (y - y_i)^2 + z^2)} \quad (3.2)$$

Yukarıdaki denklemde; L_i : i motoruna kadar olan uzunluğu, (x_i, y_i) : motorun temel konumunu, z : yazıcı kafasının dikey konumunu göstermektedir.

3.1.2. Hammadde ekstrüzyonu

Yazıcıda kullanılan ham maddenin (örneğin, termoplastik filament, seramik macun veya metal tozu) bir nozul aracılığıyla kontrollü bir şekilde dışarı çıkarılarak katmanlar halinde yüzeye uygulanması sürecini ifade etmektedir. Plastik filamentler için nozul ısınarak malzemeyi eritmektedir ve akışkan hale getirmektedir. Seramik ya da metal için mekanik bir basınç sistemi uygulanmaktadır. Sonrasında hammadde, tabla üzerine ince bir katman olarak uygulanıp, her katman altındaki katman üzerine yapışarak üç boyutlu bir yapıyı oluşturmaktadır.

Ekstrüzyonu sırasındaki akış rejimini (laminer veya türbülanslı) anlamak için Denklem (3.3)'de ifade edildiği üzere Reynolds sayısı kullanılmaktadır.

$$Re = \rho v d / \mu \quad (3.3)$$

Burada; ρ : Malzemenin yoğunluğu (kg/m^3) , v : Akışkan hızı (m/s) , d : Nozul çapı (m), μ : Malzemenin viskozitesi ($\text{Pa}\cdot\text{s}$) değerlerini göstermektedir.

Hammadde ekstrüzyonunda, nozzle'dan çıkan hammaddenin hacmi ile girişte kullanılan hammaddenin hacmi eşit olmalıdır:

Giriş ve çıkış hacimlerini Denklem (3.4)'de ifade edilmektedir.

$$\pi r_{hammadde}^2 \cdot L_{hammadde} = \pi r_{nozzle}^2 \cdot L_{extrusion} \quad (3.4)$$

Buradan hammadde uzunluğu Denklem (3.5)'de gösterildiği şekilde bulunur.

$$L_{hammadde} = (r_{nozzle}^2 / r_{hammadde}^2) \cdot L_{extrusion} \quad (3.5)$$

Baskı kafasının hareket hızı genellikle milimetre/dakika (mm/min.) birimindedir. Ekstrüzyonu miktarı Denklem (3.6)'da gösterilen şekilde hesaplanmaktadır.

$$E = F \cdot k \quad (3.6)$$

Yukarıdaki denklemde; F: hareket hızını gösterir. k: ekstrüzyonu oranı, hammadde çapı ve nozul çapı gibi parametrelere bağlıdır.

3.1.3. Katman yüksekliği ve baskı kalitesi

Katman yüksekliği ve nozul genişliği, hammadde akışı ve baskı kalitesini doğrudan etkilemektedir. Nozul genişliği Denklem (3.7)'de verilen ilişkiyle optimize edilmektedir. Bu durum katmanlar arasında yeterli yapışmayı sağlamaktadır.

$$h \leq 0.8 \cdot w \quad (3.7)$$

Yukarıdaki denklemde; h: katman yüksekliği, w: nozul genişliğini ifade etmektedir.

3.1.4. G-Code komutlarına dayalı hareket

G-code, 3B yazıcının her bir parçasına (ekstrüder, tabla, motorlar, vs.) ne yapması gerektiğini bildiren komutları içermektedir ve yazıcının çalışma süreçlerini yönlendirmektedir. Yazıcıya eksen hareketlerini, sıcaklık kontrolünü, ekstrüzyonu oranını ve diğer önemli işlemleri belirten komutları sağlamaktadır (Aslan, 2021).

Hareketle ilgili temel komutlar, yazıcının başlığını (nozül) veya tablasını belirli bir pozisyona taşımak için kullanılmaktadır. G0 ve G1 yazıcının hareketini kontrol eder. G0 genellikle hızlı, kesintisiz hareketler için, G1 ise malzeme ekstrüzyonu sırasında daha kontrollü hareketler için kullanılmaktadır.

Bir noktadan diğere hareket kodu $G1X_xY_yZ_zF_f$ şeklindedir, yazıcı kafasını (x,y,z) koordinatlarına F hızında taşımaktadır. Örneğin, $G1X_{50}Y_{50}Z_{0.2}F_{1500}$ komutu, yazıcı kafasının (nozül) X ekseninde 50mm, Y ekseninde 50mm ve Z ekseninde 0.2mm hareket etmesini ve bu hareketi 1500 mm/dakika hızında gerçekleştirmesini sağlamaktadır.

$G2$ ve $G3$ yazıcının bir dairesel hareket yapmasını sağlamaktadır. $G2$ saat yönünde, $G3$ ise saat yönünün tersine hareket etmesine imkân tanımaktadır. $G28$ yazıcıyı "home" pozisyonuna getirir, yani her eksende sıfırlama yaparak yazıcının başlangıç konumuna dönmesini sağlamaktadır. $G92$ yazıcıya mevcut konumunu "sıfırlama" talimatı vermektedir. Örneğin, $G92X_0Y_0Z_0$ komutu, yazıcı kafasının mevcut konumunu 0,0,0 olarak belirlemektedir (Çalışkan, 2017).

G -code, yazıcıyı hareket ettirirken, aynı zamanda sıcaklık, hız ve ekstrüzyon oranlarını da ayarlayarak yazıcının çalışma sürecini optimize etmektedir. Yazıcılar, dilimleme yazılımları (slicer) tarafından hazırlanan G -code dosyasını okuyup bu komutları takip ederek 3B nesneyi katman katman inşa etmektedir.

3.1.5. Termal hesaplamalar

Nozul, 3B yazıcılarda, malzemenin yüzeye dökülmesini sağlayan küçük bir uç kısmıdır. Nozul, yazıcının ekstrüder sistemi ile entegre bir bileşendir ve erimiş malzemenin istenilen konumda, doğru hızda ve doğru miktarda basılmasını sağlamaktadır. Nozul sıcaklığı, hammaddenin erime sıcaklığına uygun ayarlanmaktadır ve hammadde türüne bağlı değişmektedir. Bu durum Denklem (3.8)'de anlatılmaktadır.

$$T_{nozzle} = T_{hammadde} + k \quad (3.8)$$

Yukarıdaki denklemde; k , akış hızına bağlı ısı kaybı faktörünü göstermektedir.

3B yazıcılarda baskı yatağının sıcaklığı, kullanılan malzemenin özelliklerine bağlı olarak değişmektedir. Örneğin; PLA malzeme için sıcaklık $50-60^{\circ}\text{C}$ olarak ayarlanırken ABS veya Naylon malzeme için $90-110^{\circ}\text{C}$ olarak ayarlanmaktadır. Bu

sıcaklıklar için belirli bir formül yoktur çünkü doğru sıcaklık, birçok faktöre göre ayarlanmaktadır. Bununla birlikte, baskı yatağının sıcaklığıyla ilgili temel kılavuzlar ve hesaplamalar bazı genel parametreler etrafında şekillenmektedir. Malzemenin erime noktası ve termal genişleme oranı, gereken sıcaklık üzerinde etkilidir. Yatak sıcaklığı ile malzemenin iyi yapışması arasında doğru bir ilişki bulunmaktadır. Yatak sıcaklıkları daha yüksek olduğunda, genellikle malzeme daha iyi yapışır, ancak çok yüksek sıcaklıklar büzülmeler olmaktadır.

3.1.6. CoreXY sistemlerinde kinematik

CoreXY Sistemlerinde Kinematik terimi, yazıcı kafasının veya tablanın hareketinin nasıl kontrol edildiğini ve mekanik sistemin dinamiklerini tanımlamaktadır. CoreXY, özellikle 3B yazıcılarda popüler olan bir kinematik yapıdır ve adından da anlaşılacağı gibi, X ve Y eksenlerindeki hareketi aynı anda ve daha hızlı bir şekilde yapabilen bir sistemdir.

CoreXY sisteminde, hareket genellikle iki adet çapraz kayış (belirli bir açıyla birbirine bağlı) ile sağlanmaktadır. Bu sistemde, yazıcı kafasının X ve Y eksenlerindeki hareketi, kayışların karşılıklı hareketiyle gerçekleştirilmektedir. Bu kinematik düzen, her iki eksendeki hareketin aynı anda yapılmasını sağlayarak daha hızlı ve doğru bir hareket elde edilmektedir.

CoreXY'nin kinematik yapısı, geleneksel iki motorlu X-Y sistemi yerine, motorları çapraz bağlayarak ve kayışlar kullanarak daha verimli hale gelmesine olanak tanımaktadır. Bu da daha az motor kullanımı ve daha az hareketli parça demektir, bu sayede daha hızlı ve daha hassas baskı sağlanmaktadır.

CoreXY, her iki eksen de doğrusal hareketleri gerçekleştirebilmek için karmaşık bir hesaplama gerektirmektedir. Bu yüzden CoreXY hareketini doğru bir şekilde sağlamak için yazılımın (slicer) doğru kinematik hesaplamalar yapması çok önem arz etmektedir.

CoreXY sisteminde, X ve Y eksenlerindeki hareket, iki motorun dönüş açıları ile hesaplanmaktadır. X ve Y hareketlerinin her biri, Denklem (3.9) ve Denklem (3.10) da görüldüğü üzere bir dizi kinematik denklemlerle kontrol edilmektedir.

$$X = (A + B)/2 \quad (3.9)$$

$$Y = (A - B)/2 \quad (3.10)$$

Yukarıdaki denklemlerde; A ve B, motorların döndürme açılarının bir fonksiyonudur. Bu denklemler, X ve Y hareketlerini ayarlarken, motorların dönüş hızlarına göre doğru pozisyonlamayı sağlamaktadır.

3.2. Hammadde Seçimi

Bu tez çalışmasının en zor ve kritik öneme sahip konusu 3B baskı teknoloji ile baskı sırasında donmayan fakat baskıdan kısa süre içinde katılaşması beklenen doğru bir hammadde bulunmasıdır. Ayrıca karışımın viskozitesini baskı kafasının çıkış hızına ve katman yüksekliğine göre optimize etmekte zorlayıcı olmuştur. Bu konudaki ilk hammadde beton olmuştur. Beton, inşaat sektöründe en yaygın olarak kullanılan malzemedir ve 3B baskı teknolojisi ile üretilen yapı elemanları için de sıkça tercih edilmektedir. Betonun dayanıklılığı, sertliği ve uzun ömürlü olması, onu inşaat projelerinde ideal bir malzeme haline getirir. Betonun viskozitesi, akışkanlığı ve sertleşme süresi gibi özellikleri, 3B baskı süreçlerinde modülerlik ve küçük boyutlu cihazlarda kullanımı sırasında problemler oluşturmaktadır (Kadı, 2022).

Kompozit malzemeler, iki veya daha fazla farklı malzemenin bir araya getirilmesiyle oluşturulan malzemelerdir ve 3B baskı teknolojisinde sıkça kullanılır (Çakır, 2006). Bu malzemeler, yüksek mukavemet, düşük ağırlık ve çeşitli mekanik özellikler sunar. Bu araştırmada, çeşitli kompozit malzemeler kullanılmış ve 3B baskı ile yapı elemanları üretilmiştir. Modüler nesnelere oluşturmak ve laboratuvar ortamına uyum sağlaması açısından kompozit seramik bir malzeme seçimi yapılmıştır. Oluşturulan malzemenin yüksek performans gerektiren inşaat projelerinde tercih edilmesi öngörülmektedir.



Şekil 3.1. Çimento kullanılarak 3B yazıcı ile istenilen inşaat yapısı oluşumu (Anonim, 2024e)

Seramikler, gevrek yapılı malzemelerdir ve plastik şekil değiştirme kapasiteleri oldukça sınırlıdır. Bu özellikleri nedeniyle, genellikle içyapılarındaki süreksizlikler nedeniyle çekme gerilmeleri altında hasar görmektedirler. Seramiklerin çekme dayanımları, basma dayanımlarına göre çok daha düşüktür ve bu oran yaklaşık olarak %10 civarındadır. Bu sebeple, seramikler genellikle basma gerilmeleri altındaki uygulamalarda kullanılmaktadırlar.

Seramikler, yüksek sıcaklık dayanımları ve ısı yalıtkanlık özellikleri sayesinde, yüksek sıcaklık fırınları, ocaklar ve uzay araçlarının dış yüzeylerinde tercih edilmektedir. Fakat yüksek sıcaklık koşullarında genleşmelerine engel olduğunda ve hızlı soğutulduklarında, ısı şok nedeniyle zarar görmektedirler. Ayrıca, seramikler yüksek sıcaklıklarda, metallerde olduğu gibi sürünme davranışı sergilemektedirler.

Baskı malzemesi olarak çimento, metil selüloz, kuvarz kumu, renk ve kıvam verici titanyum dioksit pigment boya tozu ve priz hızlandırıcı malzemelerinin bir araya getirilmesiyle oluşturulan hammadde bu çalışmada 3B baskılarda kullanılmıştır.

3.3. Kullanılan Donanımlar

3.3.1. 3B yazıcılar

3B yazıcılar, bu araştırmada kullanılan temel donanımlardan biridir. 3B yazıcılar, dijital modellerin katman katman fiziksel objelere dönüştürülmesini sağlar. Tez sürecinde, farklı baskı tekniklerine sahip çeşitli 3B yazıcılar araştırılmıştır. 3B yazıcı çeşitleri aşağıdaki şekilde sınıflandırılmaktadır.

Stereolitografi (SLA) Yazıcılar, SLA yazıcılar, ışığa duyarlı sıvı reçineyi katman katman sertleştirerek nesnelere oluşturur. Bu yazıcılar, yüksek hassasiyet ve detay sunar ve karmaşık geometrilere sahip yapı elemanları üretmek için idealdir.

Fused Deposition Modeling (FDM) Yazıcılar: FDM yazıcılar, termoplastik filamanları eriterek katman katman nesnelere oluşturur. Bu yazıcılar, dayanıklı ve ekonomik baskılar yapmak için uygundur ve çeşitli plastik malzemeler ile çalışabilir.

Selective Laser Sintering (SLS) Yazıcılar: SLS yazıcılar, toz halindeki malzemeleri lazerle sinterleyerek katman katman nesnelere oluşturur. Bu yazıcılar, metal ve plastik malzemeler ile çalışabilir ve dayanıklı yapı elemanları üretmek için uygundur.

3.3.2. Bilgisayar destekli tasarım (CAD) yazılımları

Bilgisayar destekli tasarım (CAD) yazılımları, 3B baskı süreçlerinde kullanılan dijital modellerin oluşturulmasını sağlar. Tez sürecinde hammaddeye en uygun şekli verme ve yazıcıya tanımlama amacıyla birçok CAD programı araştırılmıştır.

AutoCAD, iki boyutlu ve üç boyutlu tasarımlar oluşturmak için kullanılan yaygın bir CAD yazılımıdır. Bu yazılım, yapı elemanlarının detaylı modellerinin oluşturulmasını sağlar.

SolidWorks, üç boyutlu modelleme ve mühendislik tasarımı için kullanılan gelişmiş bir CAD yazılımıdır. Bu yazılım, karmaşık geometrilere sahip yapı elemanlarının tasarlanmasını ve simülasyonlarının yapılmasını sağlar.

Rhino, serbest form yüzey modelleme ve parametrik tasarım için kullanılan bir CAD yazılımıdır. Bu yazılım, özellikle karmaşık ve organik formların oluşturulması için uygundur.

Fusion 360, Autodesk tarafından geliştirilen bulut tabanlı bir 3B CAD, CAM ve CAE yazılımıdır. Tasarım, mühendislik ve üretim süreçlerini tek bir platformda birleştirerek kullanıcıların ürün geliştirme süreçlerini kolaylaştırmayı amaçlamaktadır. Fusion 360, endüstriyel tasarımdan mekanik mühendisliğe, üretim planlamasından simülasyon ve analize kadar geniş bir yelpazede kullanılmaktadır.

3.4. 3B Baskı Cihazının Tasarımı ve Malzeme Seçimi

Üç boyutlu yazıcı teknolojisiyle büyük oranda 3B yazıcıların sayesinde mimari olarak etkin çözümlerin uygulandığı görülmektedir. Böylece 3B yazıcıların neredeyse her alandaki gibi mimarlık alanında da katkılarının önemli olduğu görülmektedir. Maket yapımı, mekân ve ürün tasarımları, ara bağlantı ve geçiş elemanları gibi örneklerin 3B yazıcılarda rahatça üretilebildiği görülürken büyük ölçekli 3B yazıcılar tarafından daha büyük ebatlı, karmaşık ve serbest yapılar üretilebilir. Modellerin ölçeklerinin küçülmesiyle vaat edilen hassasiyet derecesi de azalmakta, beklentilerin karşılanamama durumu yaşanabilmekte ve iş kaybı olabilmektedir.

3.4.1. 3B yazıcı taşıyıcı yapısı

3B yazıcı taşıyıcı yapısı aynı zamanda 3B cihazının iskeletini oluşturmaktadır. Yazıcının temel yapısal bileşenidir ve tüm diğer parçaları desteklemektedir. İyi tasarlanmış bir iskelet, baskı kalitesini, hızını ve güvenilirliğini önemli ölçüde etkilemektedir. İskelet, baskı sırasında oluşan titreşimleri ve kuvvetleri absorbe edebilecek kadar sağlam olmalıdır ve eksenlerin (X, Y, Z) hareketini doğru ve hassas

bir şekilde yönlendirmelidir. Tasarım, farklı bileşenlerin (ekstruder, tabla, elektronik kartlar vb.) kolayca monte edilebilmesine imkân sağlamalıdır.

Tez sürecinde inşaat sektöründeki üç boyutlu yazılar araştırılarak katman katman yapı oluşturma prensibine dayalı bir FDM tipi 3B yazıcı geliştirilmiştir. Tüm FDM tipi yazıcılarda olduğu gibi geliştirilen yazıcı da bir çerçeve içerisinde eksensel hareket sistemi sağlayan parçalar, ekstruder, nozul, baskı tablası, motorlar, işlemci, kontrol paneli, sensörler, hammadde taşıyıcısı yapılarının birleşimiyle elde edilmiştir. Bu yapıların tek tek incelenmesi ve cihazın tasarımı sırasında elde edilen bu bulgular bu bölümde anlatılmıştır.

Bir çerçeve içerisinde eksensel hareket sistemi sağlayan parçalar için hâlihazırda bulunan bir FDM tipi yazıcı kullanılmıştır. Daha hafif, daha ekonomik olması, daha kolay montaj ve demontaj işlemleri yapılması nedeniyle açık bir çerçeve şeklinde olan tipi uygun görülmüştür. 3B yazıcılar için kalibrasyon kavramı büyük önem taşımaktadır. Bu nedenle 3B yazıcı iskeleti oluşturulmasında yapılan küçük hatalar bile yazıcı çıktısına çok ciddi hasarlar vermektedir ve yazıcı performansını etkilemektedir. Dengesiz ve sağlam olmayan çerçeve, yanlış malzeme seçimi, eksik veya yanlış vidalama, parçaların yanlış yönde kullanımı, yazıcı iskeletinin iyi sabitlenmemesi, titreşimi azaltan önlemler alınmaması, kaliteli malzeme seçilmemesi, rulmanlar, step motorlar, motor sürücüler, kayışlar, dişliler gibi hassas malzemelerin montaj aşamasında hasar görmesi amatör 3B yazıcı yapan kişilerin en çok karşılaştığı problemlerdir. Bu problemler çoğu zaman montaj aşamasında fark edilmemekle birlikte çıktı aşamasında kendini göstererek tüm sürecin defalarca tekrarlanmasına neden olmaktadır. Tez sürecinde yapılan araştırmalar ve denemeler ışığında bu aşamayı en sağlıklı şekilde tamamlamak amacıyla bir filament hammaddesi ile işlem yapan FDM yazıcı kullanılmasına karar verilmiştir. Bu yazıcı seramik baskı yapabilen bir yazıcıya dönüştürülmüştür. Şekil 3.2’de seçilen yazıcı görülmektedir.



Şekil 3.2. Seçilen FDM tipi yazıcı

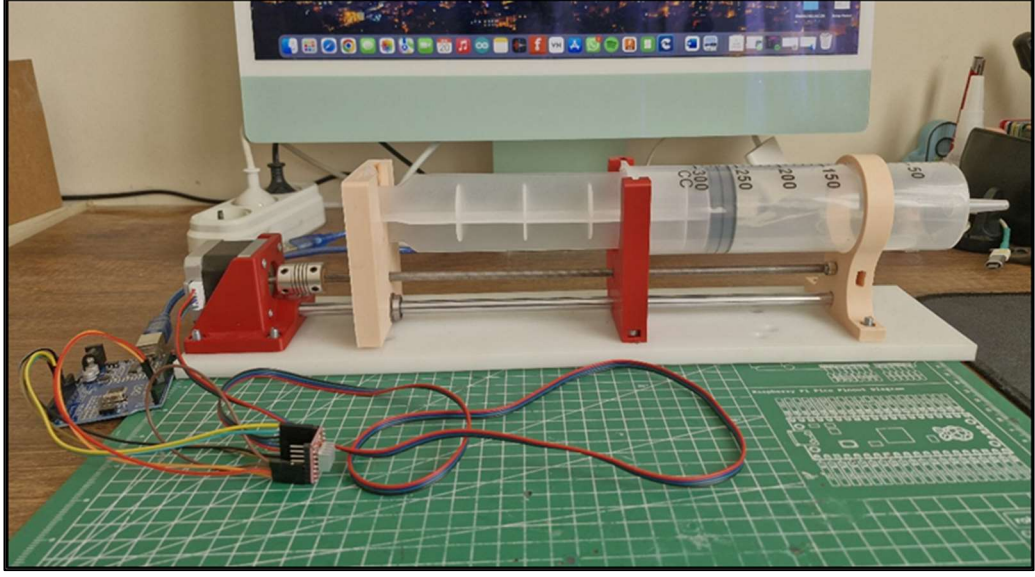
FDM teknolojisini kullanan bu yazıcı 220 x 220 x 250 mm'lik bir baskı alanına sahiptir ve bu cihazın boyutları 438 x 424 x 472 mm ve ağırlığı 7.8 kg'dır. Maksimum baskı hızı 120 mm/s olan yazıcının katman yüksekliği 0.05 – 0.35 mm arasında ayarlanabilmektedir. 0.4 mm çapında değiştirilebilir nozula sahiptir. PC kaplı yay çeliği tabla, baskıların kolayca çıkarılmasını sağlamaktadır. Yüksek hassasiyetli lineer raylar, eksen hareketlerini daha hassas hale getirmektedir. Metal ekstruder olması nedeniyle daha dayanıklı ve güvenilir bir hammadde beslemesi sunmaktadır. 32-bit anakart, daha hızlı ve kararlı bir çalışma sağlamaktadır. 4.3 inç renkli LCD ekranı, kullanıcı dostu bir arayüze sahiptir. SD kart ve USB bağlantı

seçenekleri bulunmaktadır. 24V/350W gc kaynağına sahip olan yazıcının yazılımı Creality Slicer, Cura, Simplify3D gibi çeşitli seçenekleri desteklemektedir.

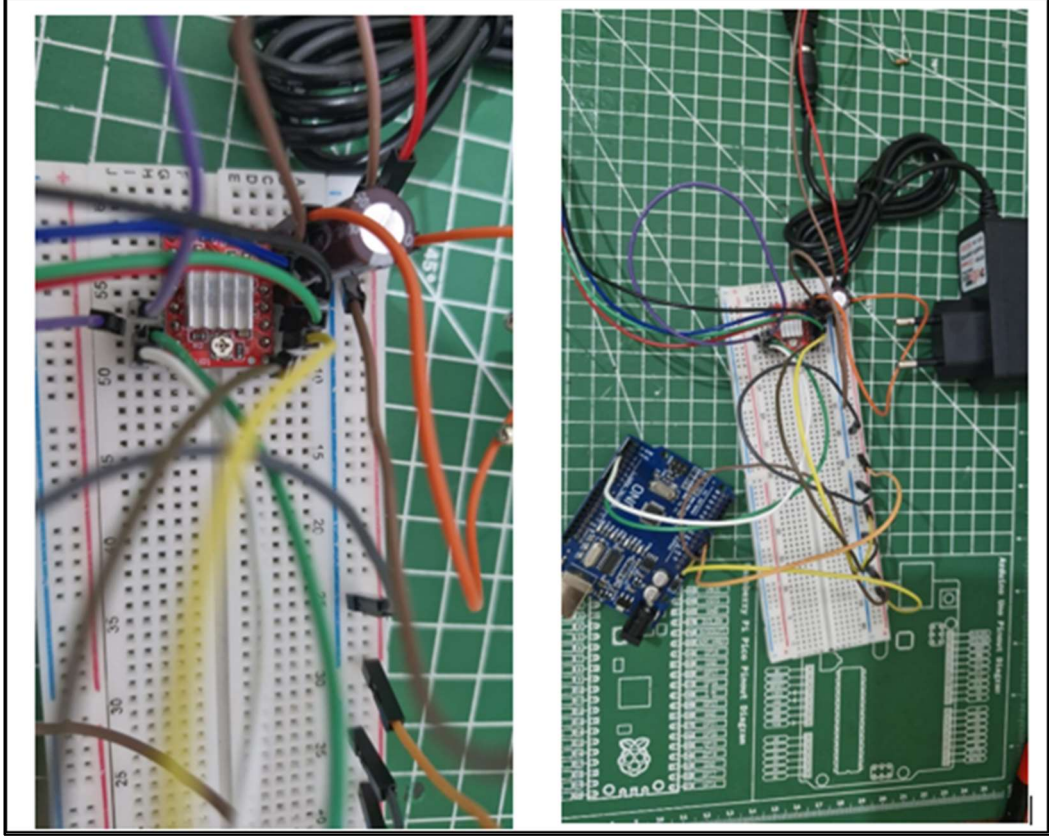
3.4.2. Ekstruder bölümü

Ekstruder kavramı seramik baskı yapabilen 3B yazıcılar için oluşturulan çamurun doğru hızla nozula itilmesini sağlayan bir basınç sisteminden oluşmaktadır. Ekstruder, 3B baskı kalitesini ve güvenilirliğini önemli lde etkileyen kritik bir bileşendir. İyi bir ekstruder, hammaddenin doğru ve tutarlı bir şekilde ilerlemesi sağlayarak yüksek kaliteli baskılar elde etmeye yardımcı olmaktadır. Ekstruder seçimi, baskı yapacağınız malzemelere ve baskı hızınıza göre değişmektedir. Seramik 3B yazıcı ekstruderleri, seramik tozları veya çamurları gibi farklı seramik malzemeleri işleyebilecek şekilde tasarlanmaktadır. Bu malzemelerin viskozitesi ve akışkanlığı, ekstruder tasarımını tamamen değiştirmektedir.

Geliştirilen 3B yazıcıda ekstruder, seramik çamurunu bir şırınga içinden alarak baskı kafasına doğru iterek sürekli ve düzenli bir akış sağlamaktadır. şekil 3.3'te geliştirilen 3B yazıcıya ait ekstruder bölümü görülmektedir. Görülen şırınga içerisindeki çamuru baskı kafasına itebilmek için ihtiyaç olan piston hareketi bir mil ve motor yardımıyla yapılmaktadır. Bu aşamada seramik malzemenin hareketini kontrol ederek baskı kafasına ne kadar malzeme gönderileceğini belirleyip nozula doğru hızda itilmesi step motor ve motor sürücü kullanılarak yapılmıştır. Bu sayede baskı katmanlarının kalınlığı ve baskı hızı da ayarlanmaktadır. Sürtünmeyi azaltmak, hassasiyet ve çıktı kalitesi sağlamak amacıyla sisteme rulman eklenmiştir. Burada şırınga seçimi ve hammaddeyi nozula taşıyan kanal çapı inşaat sektöründe kullanılan yapı malzemelerinin akışkanlığı araştırılarak belirlenmiştir. Geliştirilen 3B yazıcı ekstruder bölümü için işlemci ve motor sürücü kartı şekil 3.4'te görülmektedir.



Şekil 3.3. Geliştirilen 3B yazıcı ekstruder bölümü

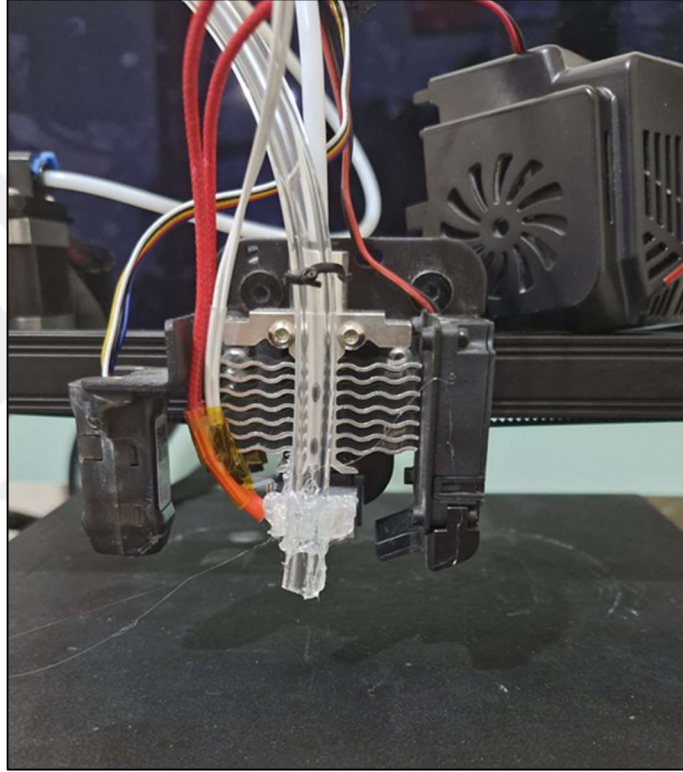


Şekil 3.4. Geliştirilen 3B yazıcı ekstruder bölümü için işlemci ve motor sürücü kartı

Seramik baskılar genellikle yüksek hassasiyet ve detay gerektirmektedir. Bu nedenle, seramik 3B yazıcı ekstruderi, malzeme akışını hassas bir şekilde kontrol edebilen ve doğru miktarda malzeme sağlayabilen şekilde tasarlanmıştır. Seramik malzemelerin kalıntıları ekstruderde tıkanmalara neden olduğundan seramik 3B yazıcı ekstruderi kolayca temizlenebilen ve bakımı yapılabilen bir sistem olarak üretilmiştir.

3.4.3. Nozul bölümü

3B yazıcılarda büyük nozul çapları, daha hızlı baskı yapmayı sağlarken, daha küçük nozul çapları, daha fazla ayrıntı ve hassasiyet sunar. Bu nedenle nozul seçimi yaparken belirlenen dijital modele uygun olarak çap belirlenmiştir. Belirlenen dijital model inşaat sektöründe kullanılacak yapı nesnesi olduğu için detaylı ve hassasiyet gerektiren bir model seçilmemiştir. Buna bağlı olarak nozul çapı 1 mm olarak uygun görülmüştür. Geliştirilen 3B yazıcı nozul bölümü Şekil 3.5’de paylaşılmıştır.



Şekil 3.5. Geliştirilen 3B yazıcı nozul bölümü

Baskı tablası kullanılan hammadde çeşidine bağlı olarak 100 Dereceye kadar ısıtma yapabilmektedir.

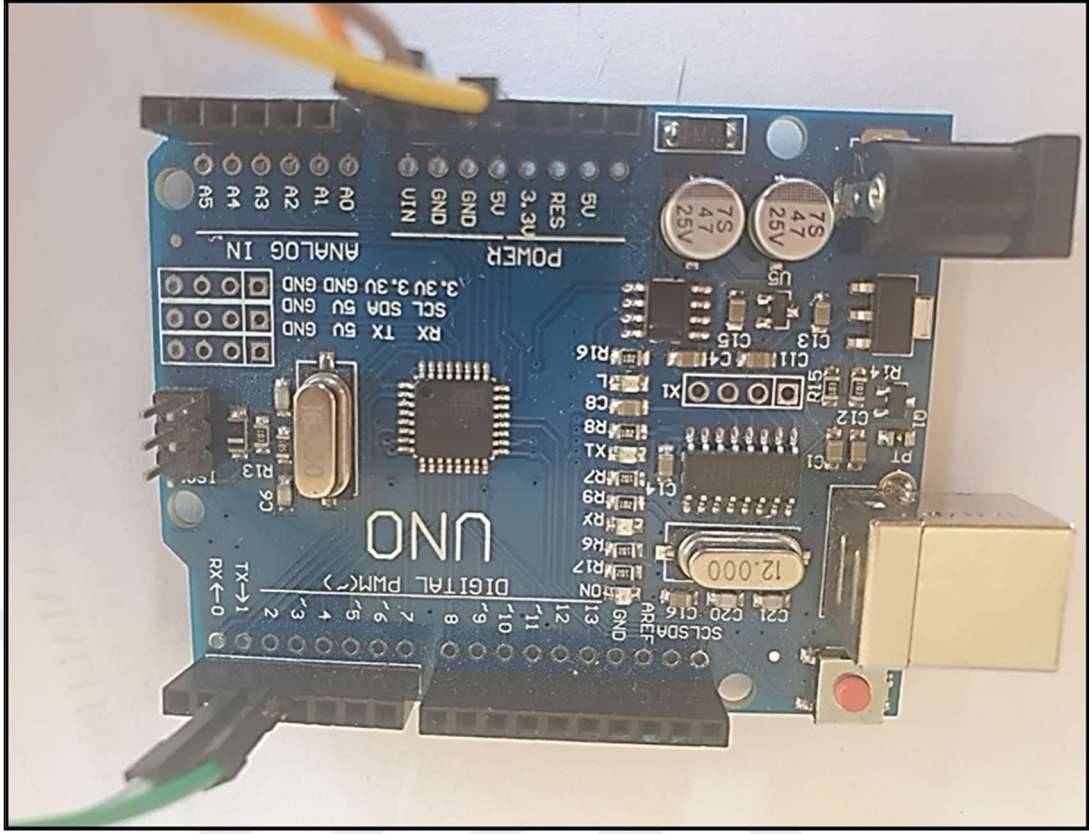
3.4.4. Ekstruder kontrol kartı

Tez kapsamında tasarımı ve üretimi yapılan ekstruder sisteminde ana kontrol kartı olarak son zamanlarda yaygın olarak kullanılan Arduino UNO isimli geliştirme kartı kullanılmıştır. Arduino UNO, İtalyan mühendisler tarafından geliştirilen, açık kaynaklı donanım ve yazılıma sahip bir elektronik geliştirme platformudur. Üzerinde

ATmega328 mikro denetleyicisi bulunur. Şekil 3.6’da görüldüğü üzere Arduino UNO 14 dijital ve 6 analog giriş/çıkışa, 32KB Flash belleğe ve 16 MHz hızında açık kaynaklı donanıma sahiptir. Arduino UNO programlanması için harici bir programa gerek yoktur. İçerisindeki bootloader programı ile kolayca programlanabilmektedir. Java tabanlı Arduino IDE kod düzenleyicisi, Wiring programlama dili ile C ve C++ tabanlı kütüphaneleri kontrol kartına yüklemek için kullanılmaktadır (Süzen, 2017). Arduino'nun donanım özelliklerine göre farklı çeşitleri bulunmaktadır. Bunlar arasında Due, Uno, Mega, LillyPad, Esplora, Pro Mini, Mini, Nano ve BT sayılabilir. Her bir çeşidi, farklı projeler ve ihtiyaçlar için uygun özelliklere sahiptir. Arduino, elektronik projeleri geliştirmek ve prototipler oluşturmak için ideal bir platformdur. Kullanımı kolay yapısı ve geniş kütüphane desteği sayesinde, hem hobi amaçlı hem de profesyonel projelerde yaygın olarak kullanılmaktadır. Karta ait teknik özellikler Çizelge 3.1’de verilmiştir.

Çizelge 3.1 Arduino UNO teknik özellikleri

Özellik	Değer
Mikrodenetleyici	ATmega328P
Çalışma Gerilimi	5V
Giriş Gerilimi	7-12V (önerilen), 6-20V (limit)
Dijital G/Ç Pinleri	14 (6 tanesi PWM çıkışı olarak kullanılabilir)
Analog Giriş Pinleri	6
Her G/Ç için Akım	20 mA
3.3V Çıkış için Akım	50 mA
Flash Hafıza	32 KB (0.5 KB bootloader için kullanılır)
SRAM	2 KB
EEPROM	1 KB
Saat Hızı	16 MHz

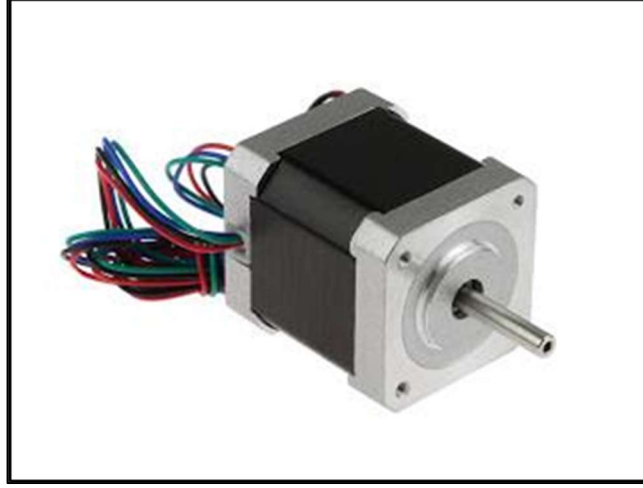


Şekil 3.6. Arduino UNO

3.4.5. Step motor

Step motorlar, elektrik enerjisini dönme hareketine çeviren elektromekanik cihazlardır. Diğer motor türlerinden farklı olarak, step motorlar tam bir turu tamamlamak için belirli sayıda adım atmaktadırlar. Bu adımlar, motorun hassas bir şekilde konumlandırılmasını sağlamaktadır (Süzen, 2017). Step motorlar, stator (sabit kısım) ve rotor (dönen kısım) olmak üzere iki ana kısımdan oluşmaktadır. Stator üzerinde bulunan bobinlere elektrik sinyali uygulandığında manyetik alan oluşmaktadır. Rotor ise mıknatıslardan veya manyetik malzemeden yapılmıştır. Stator bobinlerine uygulanan elektrik sinyallerinin sırasıyla değiştirilmesiyle rotor, adımlar halinde dönmektedir. Şekil 3.7’de step motor görülmektedir.

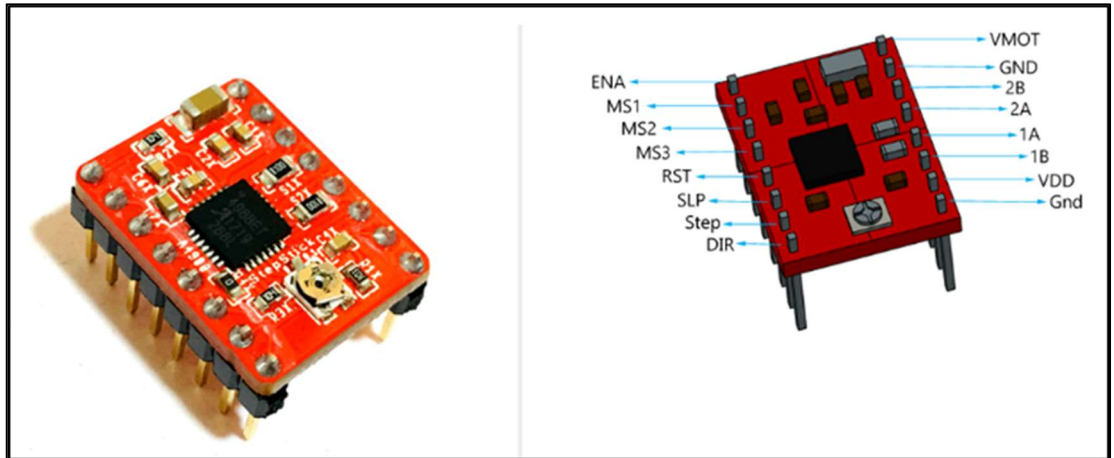
Step motorlar ve motor sürücüler olarak hâlihazırda bulunan FDM tipi 3B yazıcının üzerinde mevcut olanlara ilave olarak ekstruder kısmında da 1 adet NEMA 17 step motor, motor sürücü ve işlemci kullanılmıştır.



Şekil 3.7. NEMA 17 Step Motor (Günbal, 2019)

3.4.6. A4988 motor sürücü kartı

Tez çalışmasında step motor sürücü olarak 3B yazıcı, CNC ve Robotik uygulamalarında en çok tercih edilen sürücülerden olan A4988 Step Motor Sürücü Kartı kullanılmıştır. Bipolar step motorlar için tasarlanmıştır ve 4, 6 veya 8 kablolu motorlarla uyumludur. 8-35V arasında motor güç beslemesi ve 3.3V ya da 5V lojik beslemesiyle çalışmaktadır. Faz başına maksimum 2A akım kapasitesine sahiptir ancak bu, uygun bir soğutma sistemiyle sağlanabilmektedir. A4988, 1/16'ya kadar mikro adım çözünürlüğü sunmaktadır ve ayarlanabilir akım kontrolüyle motorun aşırı yüklenmesini önlemektedir. Aşırı akım, aşırı sıcaklık ve alçak gerilim koruma özellikleri ile güvenli bir kullanım sağlamaktadır. Küçük boyutları sayesinde dar alanlara kolayca monte edilebilmektedirler.



Şekil 3.8. A4988 Step motor sürücü kartı ve pinleri

Geliştirilen cihaz için devre bağlantıları 0A4988 Step motor sürücü kartı ve pinlerinde Şekil 3.8’de görüldüğü şekilde yapılmıştır. VMOT ve GND Step motorun güç bağlantılarıdır. VDD ve GND sürücünün lojik (kontrol) güç bağlantılarıdır. STEP adım kontrol pinidir ve Arduino'dan gelen adım sinyallerini kontrol etmektedir. DIR ile motorun dönüş yönü kontrol edilmektedir. ENABLE motoru etkinleştirme pinidir. Mikrostepping çözünürlüğü MS1, MS2 ve MS3 pinleri ile ayarlanmaktadır ve bu sayede daha hassas ve yumuşak hareketler elde edilmektedir. 2B, 2A, 1A, 1B Motor bobin bağlantılarını sağlayan pinlerdir.

3.4.7. Yazılım

Geliştirilen sistemin Arduino UNO kullanılarak tasarlanması nedeniyle, yazılım geliştirme ve sistemdeki denemeler Arduino geliştirme arayüzü Arduino IDE kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Arduino IDE, Arduino kartları için yazılım geliştirme ve yükleme işlemlerini kolaylaştıran bir platformdur. Bu arayüz, programlama dili olarak C dilini kullanmakta ve derlenen programı USB bağlantısı üzerinden sisteme yükleyebilmektedir. Bu sayede, programda yapılan değişiklikler kolaylıkla USB üzerinden sisteme aktarılabilen ve çalıştırılabilir. Birçok sensör, motor ve diğer elektronik bileşenler için hazır kütüphaneler bulunduğu için sistemleri tanımlamak oldukça kolay yapılmıştır. Arayüze ait örnek bir ekran görüntüsü ve geliştirilen ekstruder çalışmasının kod dizilimi Şekil 3.9’da sunulmuştur.

```
siringa_deneme
#include <AccelStepper.h>

// A4988 Step motor sürücüsü için driver tipi tanımlıyoruz
#define DRIVER 1

// STEP ve DIR pinlerini tanımlıyoruz
#define STEP_PIN 3
#define DIR_PIN 4

// AccelStepper nesnesi oluşturuyoruz
AccelStepper stepper(DRIVER, STEP_PIN, DIR_PIN);

void setup() {
  // Step motor maksimum hız ve ivmelenme ayarları
  stepper.setMaxSpeed(1000); // Maksimum hız (adım/saniye)
  stepper.setAcceleration(500); // İvmelenme (adım/saniye^2)

  Serial.begin(9600);
  Serial.println("Step motor kontrolü başlıyor...");
}

void loop() {
  // 30 saniye boyunca sağa dönüş
  Serial.println("Motor sağa dönüyor...");
  stepper.moveTo(2000); // İleri 2000 adım
  while (stepper.distanceToGo() != 0) {
    stepper.run(); // Motoru çalıştır
  }
  delay(30000); // 30 saniye bekle

  // 60 saniye boyunca sola dönüş
  Serial.println("Motor sola dönüyor...");
  stepper.moveTo(-4000); // Geriye 4000 adım
  while (stepper.distanceToGo() != 0) {
    stepper.run(); // Motoru çalıştır
  }
  delay(60000); // 60 saniye bekle
}
```

Şekil 3.9. Geliştirilen 3B yazıcı ekstruder bölümü için Arduino kodları

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Araştırma Bulgularının Yorumlanması

Araştırma bulguları, 3B baskı teknolojisinin inşaat sektöründe malzeme tasarrufu, hız, esneklik, özelleştirme ve çevresel sürdürülebilirlik gibi birçok avantaj sunduğunu göstermektedir. Örneğin, beton 3B baskı kullanılarak üretilen yapı elemanları, %30-60 oranında daha az malzeme kullanabilir. Winsun'un 24 saat içinde tamamladığı evler, bu teknolojinin inşaat sürecini hızlandırma potansiyelini ortaya koymaktadır.

Bu bulgular, mevcut literatürdeki çalışmalarla uyumludur. Winsun ve MX3B projeleri, 3B baskının pratik avantajlarını ortaya koyarken, ETH Zürich'in Smart Slab projesi, topolojik optimizasyonun sağladığı malzeme tasarrufu ve performans artışını vurgulamaktadır. Açık hava ortamında büyük çaplı 3B yazıcılar ile yapılan bu örnekler için beton en doğru malzeme seçimi olsa da laboratuvar ortamında daha küçük 3B yazıcılarla yapılan örneklerde farklı hammaddeler kullanılmaktadır. Tez sürecinde laboratuvar ortamında daha küçük bir 3B yazıcı tasarlanarak geliştirilmiş olup çeşitli hammaddeler ile performans değerlendirilmesi yapılmıştır. Hızlı sonuç alabilme, pürüzsüz yüzey elde etme, nozula uygun akışkanlık ve hızlı kuruma, dayanıklılık, dijital modelin en sağlıklı şekilde oluşturulması, katman katman yapı oluşturma prensibine uygunluk gibi birçok özellik test edilerek en doğru hammaddenin seçimi yapılmıştır.

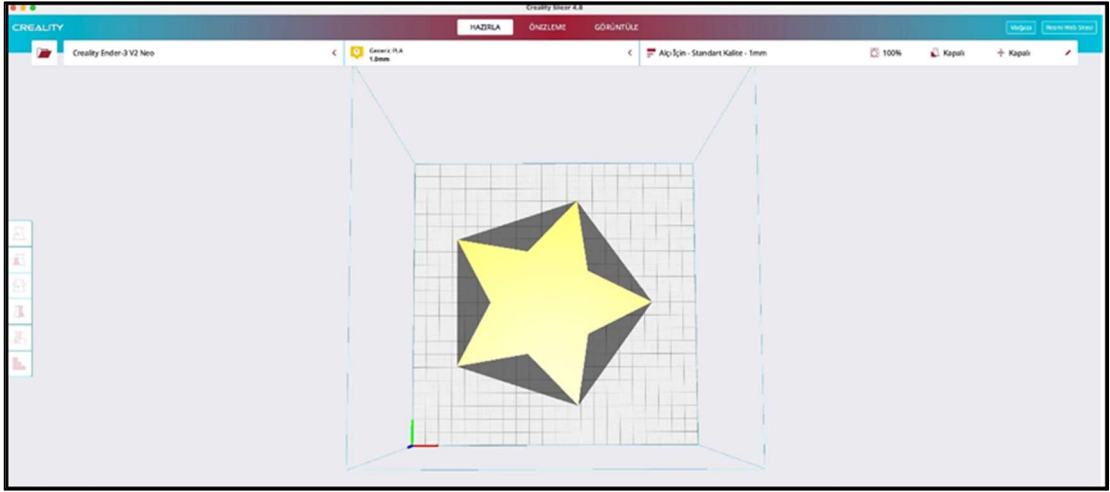
İnşaat sektöründe kullanılan tüm 3B yazıcılar katman katman yapı oluşturma prensibine bağlı olarak hammadde ekstrüzyonu sağlamak için bir basınç sistemi, dijital model, kartezyen hareketlerin sağlanması amacıyla kullanılan parçalar, sistemdeki motorların, parçalarını hareketini kontrol eden işlemciler ve sürücüler, nozul gibi temel parçalardan oluştuğu bilgisi araştırma sürecinde görülmüştür. Araştırmaların ışığında laboratuvar ortamında benzer bir yapı oluşturulmuştur.

4.2. Hammadde Seçimi ve İlk Prototip Üretimi

Geliştirilen cihaz ile uyumlu bir hammadde olması amacıyla ekstruder basınç sistemine bağlı akışkanlık ve dayanıklılık özellikleri değerlendirildiğinde malzeme olarak belirlenmiştir. Katman katman yapı oluşturma tekniğine uygun basit bir dijital model ile geliştirilen prototipte çimento, metil selüloz, kuvarz kumu, renk ve kıvam verici titanyum dioksit pigment boya tozu ve priz hızlandırıcı malzemelerinin bir araya getirilmesiyle oluşturulan hammadde bu çalışmada 3B baskılarda kullanılmıştır. Seçilen hammaddenin şırıngaya dolumu ve kolay temizlenir sistemin örneği Şekil 4.1’de görülmektedir.



Şekil 4.1. Seçilen hammaddenin baskıya hazırlanması



Şekil 4.2. Seçilen dijital model

Geliştirilen 3B yazıcıya gönderilmek üzere çizilen bir dijital model örneği Şekil 4.2’de görülmektedir. Tez çalışması sürecinde yapılan dijital model örneklerinin sonucunda elde edilen çıktı örnekleri Şekil 4.3’te görülmektedir.



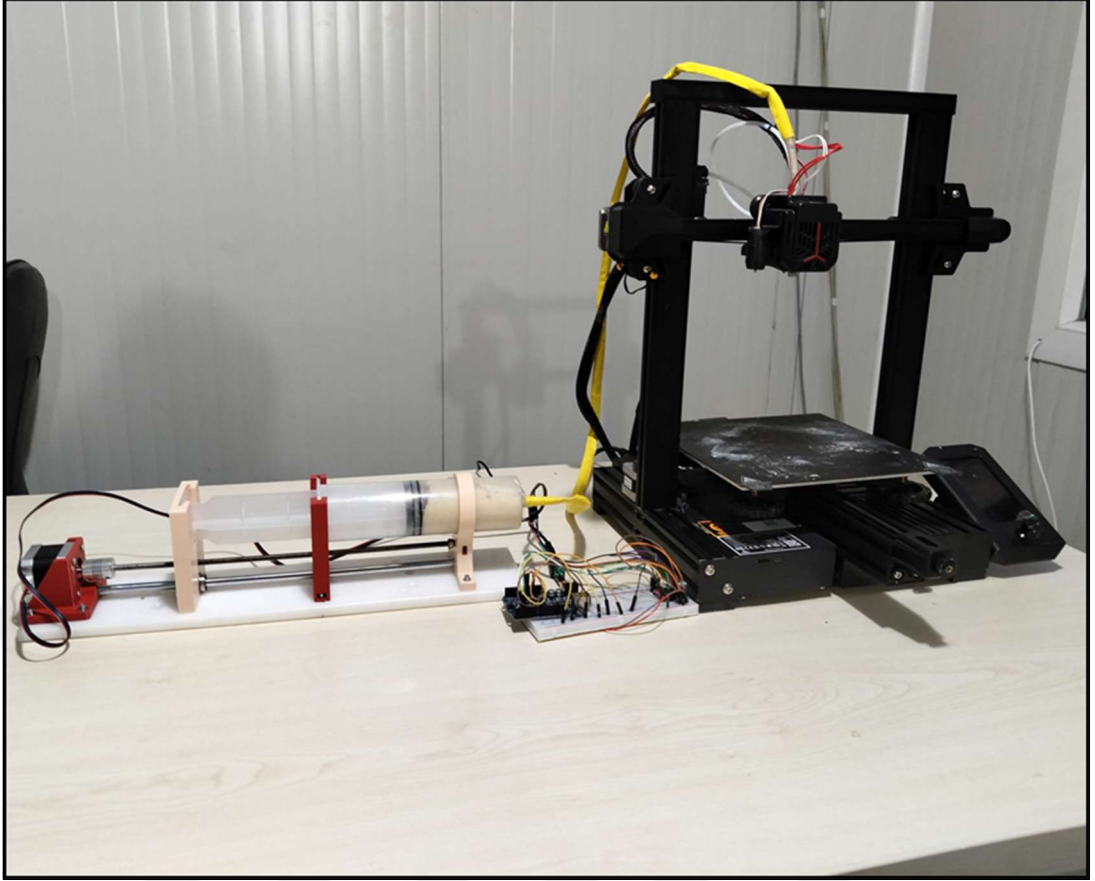
Şekil 4.3. 3B yazıcı çıktı görüntüleri

4.3. Baskı Performansı ve Cihaz Kalite Değerlendirmesi

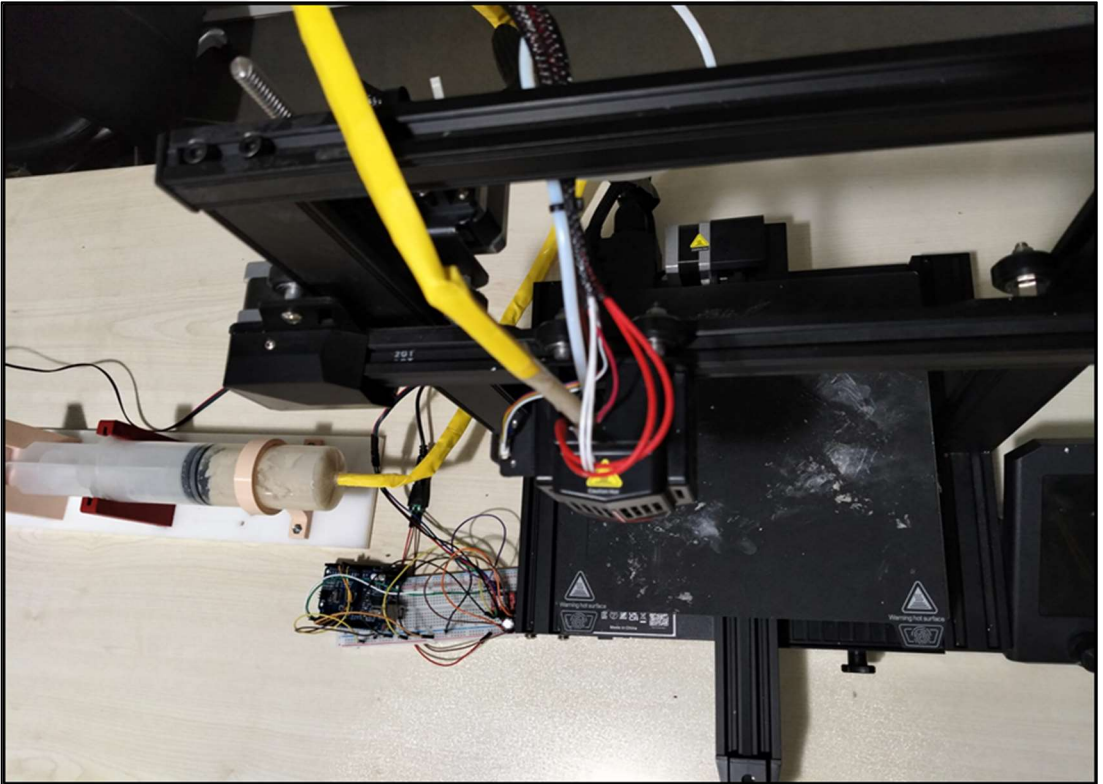
İnşaat sektörüne yenilikçi bir bakış açısı getirmek amacıyla geliştirilen masaüstü seramik cihaz aşağıdaki Çizelge 4.1’de belirtilen özellikleri taşımaktadır. Bu özellikler belirlenirken seçilen hammaddenin baskı sırasındaki davranışı göz önünde bulundurulmuştur. Geliştirilen cihaza ait görüntüler Şekil 4.4 ve Şekil 4.5’te verilmiştir.

Çizelge 4.1. Geliştirilen 3B yazıcı özellikleri

Özellik Tipi	Seçilen Özellik
Kalıplama Teknolojisi	FDM
Makine boyutu	438*424*472mm
Yapı Hacmi	220*220*250mm
Baskı Hızı	Maksimum 120 mm/sn
Nozzle Miktarı	1
Nozzle Çapı	0.4 mm (standart)
Nozzle Sıcaklığı	260 °C'ye kadar
Isı Yatağı Sıcaklığı	100 °C'ye kadar
Ekstruder Malzemesi	Seramik
Tesviye Modu	CR Dokunmatik Otomatik tesviye
Ekran	4.3" Renkli Düğmeli Ekran
Anakart	32-bit Sessiz Anakart
Anma Gerilimi	100-120V, 200-240V, 50/60Hz
Nominal Güç	350W
Dilimleme Yazılımı	Crealty Slicer/Cura/Simplify3D
Veri İletim Yöntemi	Mikro USB/TF Kartı
3B Dosya Biçimi	STL/OBJ/AMF
Basılan Hammadde Ağırlığı	6 gr



Şekil 4.4. Geliştirilen cihazın önden görünümü



Şekil 4.5. Geliştirilen cihazın üstten görünümü

4.4. Çıktıların Test Edilmesi

Araştırmalar 3B baskı teknolojisinin geleneksel yöntemlere göre malzeme israfını azalttığını tasarım esnekliği ve üretim verimliliğini artırdığını ve çevresel sürdürülebilirlik sağladığını doğrulamaktadır. Geliştirilen cihaz gönderilen dijital modelleri kısa sürede üretmiştir. Bu alışmada FDM tipi bir filament 3B yazıcının seramik yazıcıya dönüşümü başarılı bir şekilde sağlanmıştır. Seramik amurunun kolaylıkla temizlenip tıkanmaların bertaraf edilmesini sağlayan, her türlü çamur şeklinde hammaddenin kullanımına imkân veren bir ekstruder sistemi geliştirilmiştir. Hammadde türüne bağlı olarak elde edilen çıktıların dayanımı arttırılıp inşaat sektöründe dayanıklılık sağlayacak yeni nesil bir cihazın masaüstü uygulaması gerçekleştirilmiştir. Bu cihaz ile başarılı çıktılar alınması sağlanmıştır.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışması, üç boyutlu (3B) baskı teknolojisinin inşaat sektöründeki uygulamalarını ve bu teknolojinin potansiyel faydalarını, zorluklarını ve uygulanabilirliğini değerlendirebilmek amacıyla üç boyutlu baskı teknolojisi kullanılarak inşaat sektörüne yönelik bir baskı cihazı geliştirilmiştir. Cihaz, farklı hammaddeler ve baskı teknikleriyle laboratuvar ortamında test edilmiş, baskı kalitesini artırmak için çeşitli iyileştirmeler yapılmıştır. Yeni nesil bir 3B baskı teknolojisi geliştirilerek, baskı için kullanılacak hammaddenin özelliklerinin, baskı hızı ile katman büyüklüğü ve katman yüksekliğinin belirlenmesine yönelik uygulamalar gerçekleştirilmiştir. Ancak, hazırlanan hammaddenin beklendiğinden yavaş donması nedeniyle çoklu katmanlar oluşturulamamış; bu nedenle baskı yüksekliği sınırlı kalmıştır. Yapılan denemelerde, en fazla 3 cm yüksekliğindeki ürünlerde herhangi bir bozulma olmadığı, ancak enine baskılarda herhangi bir sorunla karşılaşmadığı tespit edilmiştir. Bu durum, geliştirilen cihaz ile yüzey kaplama ürünlerinin isteğe bağlı olarak çeşitli boyut, renk, şekil ve büyüklükte üretilebileceğini göstermiştir.

Cihazdaki iyileştirmeler ve çalışmalar sayesinde hammadde viskozitesi, baskı kafasının çıkış hızına ve katman yüksekliğine göre ayarlanmıştır. Bu sayede, baskılar için seçilen farklı hammaddelerin denebileceği bir cihaz hazırlanmıştır. Hammadde içerikleri değiştirilerek su geçirmezlik, yalıtım, koruma (radyoaktivite, ısı, ışınım vb.) ve sağlamlık gibi özellikler kazandırılabilir ve bu cihazlarla üretilen yüzey kaplama ürünlerinde bu özelliklerin uygulanabilirliği sağlanabilir. Bu çalışmada çimento bazlı karışımlar denenmiştir. Seramik, polimer kompozitler ve biyobozunur malzemelerin de üretim sürecine entegre edilmesi ile farklı özelliklere ve müşteri beklentilerine yönelik farklı desen ve görünümde ürünler geliştirilebilir. Örneğin taş görünümlü, ateş tuğlası görünümlü dış kaplamalar yapılabilir.

Geliştirilen cihazın nozul ve baskı yatağı sıcaklıkları, kullanılan malzemenin özelliklerine göre hassas bir şekilde kontrol edilmektedir. Bu termal denetim, malzemenin erime sıcaklığına uyum sağlayarak, baskı sırasında erime, karışma ve sertleşme gibi süreçlerin doğru bir şekilde gerçekleşmesini sağlar. Böylece, hammadde olarak kullanılan ürünler istenen kıvam ve özelliklere ulaşır. Bu durum,

inşaat mühendisliği alanında literatüre katkı sağlayacak yeni araştırmaların yapılmasına fırsat sunabilir. Cihaza entegre edilecek termal kamera ve AI tabanlı yazılımları sayesinde, baskı süreci boyunca her aşama anlık olarak izlenebilir. Bu dinamik sistem, her projeye özel uyarlamalar yaparak, her tür iklim ve çevresel koşulda bile yüksek performans gösteren yapı elemanlarının üretimine olanak tanıyacak ürünlerin tasarlanmasında kullanılabilir.

Bu uygulamalar geliştirilerek yeni nesil büyük ölçeklendirmeli cihazlarla ve doğru hammadde seçimi ile inşaat sürecini hızlandırma, tasarım esnekliği ve çevresel sürdürülebilirlik gibi birçok alanda önemli avantajlar kazanılacağı anlaşılmıştır. Ayrıca, bu teknolojinin sunduğu üretim yöntemi sayesinde, karmaşık geometrilere sahip yapı elemanları kolaylıkla üretilebilir ve projelerin estetik kalitesi artırılabilir.

Geri dönüştürülmüş malzemelerin ve biyobozunur karışımların kullanımıyla, bu teknoloji inşaat atıklarını geri kazanarak doğa dostu çözümler üretebilir. Geri dönüştürülmüş beton, plastik atıklar veya organik malzemeler kullanılarak üretilen kaplamalar ve yapı nesnelere sürdürülebilir bir dünya için değerli olabilir.

Mimarlar ve mühendisler, daha özgür tasarımlar yapabilmekte ve müşterilerin özel ihtiyaçlarına uygun yapılar üretebilmektedir. 3B baskı teknolojisi ile otomatik ve robotik sistemler kullanılarak iş gücü maliyetlerini azaltılıp ve iş güvenliğini artırılacağı öngörülmektedir.

Farklı malzemelerin 3B baskı ile kullanımını ve bu yapıların uzun vadeli performansını inceleyen çalışmalar yapılmalıdır. Mevcut çalışmaların büyük bir kısmı, beton ve plastik malzemeler üzerinde yoğunlaşmıştır. Fakat metal, seramik ve kompozit malzemelerin 3B baskı ile kullanımına yönelik daha fazla araştırma gereklidir. Gelecek çalışmalarda, 3B baskı teknolojisinin daha geniş bir malzeme yelpazesi ile kullanımına yönelik araştırmalar yapılabilir. Bu malzemelerin mekanik özellikleri, işlenebilirlikleri ve performansları üzerine detaylı çalışmalar gerçekleştirilebilir.

3B baskı teknolojisinin çevresel etkileri ve bu teknolojinin daha sürdürülebilir hale getirilmesi için yapılabilecek iyileştirmeler üzerine çalışmalar yapılmalıdır. Geri

dönüştürülmüş malzemelerin kullanımı ve bu malzemelerin performansı üzerine daha fazla veri toplanmalıdır. 3B baskı teknolojisinin çevresel sürdürülebilirliği üzerine daha kapsamlı çalışmalar yapılmalıdır. Bu teknoloji ile üretilen yapıların karbon ayak izi, enerji tüketimi ve malzeme verimliliği gibi konular daha detaylı incelenmelidir.

3B baskı teknolojisinin maliyet etkinliği, yatırım geri dönüşü, işletme maliyetleri ve pazar potansiyeli gibi konuları ele alan ekonomik analizler yapılmalıdır. Bu analizler, bu teknolojinin yaygınlaşması ve daha geniş bir kitle tarafından benimsenmesi için önemli bilgiler sağlamalıdır. 3B baskı teknolojisinin ekonomik avantajları ve dezavantajları üzerine daha fazla araştırma yapılmalıdır. 3B baskı ile üretilen yapıların güvenlik ve kalite standartlarına uygunluğu konusunda daha fazla çalışma yapılmalıdır.

3B baskı teknolojisinin inşaat süreçlerinde insan-makine etkileşimini nasıl etkilediği üzerine daha fazla araştırma yapılmalıdır. Bu teknolojinin iş gücü gereksinimlerini nasıl değiştirdiği, iş güvenliğini nasıl etkilediği ve iş süreçlerini nasıl değiştirdiği gibi konuları daha detaylı incelenmelidir.

Son olarak, 3B baskı ile üretilen yapıların uzun vadeli performansı ve dayanıklılığı hakkında yeterli bilgi bulunmamaktadır. Bu yapıların çevresel etkilere, aşınmaya ve diğer dış etkenlere karşı nasıl bir performans sergilediği konusunda daha fazla araştırma yapılmalıdır. Ayrıca, bu yapıların bakım ve onarım süreçleri de detaylandırılmalıdır.

KAYNAKLAR

- Appavuravther, E. Z., Altın, A., & Çetinkaya, K. (2019). 3 Boyutlu Baskı Teknolojisinin Hayatımızı Değiştirdiği 10 Alan. *4th International Congress On 3B Printing (Additive Manufacturing) Technologies and Digital Industry*. April 11-14, Antalya, 1037-1052.
- Artuğ, S., & Altun, M. C. (2019). 3 Boyutlu Baskı Teknolojisinin Bina Üretiminde Kullanım Olanaklarının Güncel Örnekler Üzerinden İncelenmesi. *4th International Congress On 3B Printing (Additive Manufacturing) Technologies and Digital Industry*. April 11-14, Antalya, 118-132.
- Bulut, F. E. (2019). *3B Yazıcı Teknolojilerinin Mimarlık Alanındaki Potansiyelleri Ve Geleceği Üzerine Bir Değerlendirme: Sosyal Ekonomik Ve Çevresel Bir Perspektif*. (Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü)
- Çakır, M. (2006). *Bilgisayar Teknolojilerinin Gelişimi İle Ortaya Çıkan Form Üretim Teknikleri*. (Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü)
- Deksi, A. (2016). *Olağanüstü Durumlarda Barınma İçin Yenilikçi Bir Yaklaşım Önerisi: 3B Yazıcı İle Uygulama*. (Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Aydın Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü)
- Derin, C (2022). *Konut Tasarım Ve Üretim Süreçlerinde 3B Yazıcı Teknolojisinin İncelenmesi*. (Yüksek Lisans Tezi, Topkapı Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü)
- Felek, S. Ö. (2019). Mimari Yapılarda 3 Boyutlu Yazıcıların Kullanımı. *International Journal Of 3B Printing Technologies And Digital Industry*, 3(3), 289-296.
- Guzunza, M. K. (2020). *Application of Optimization Based Finite Element Model Updating Method on 3D Printed Model Structures*. (Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü)
- Günbal, U. (2019). *Yeni Bir Üç boyutlu Yazıcı Tasarımı ve İmalatı*. (Yüksek Lisans Tezi, Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü)
- Jipa, A., Aghaei Meibodi, M., Giesecke, R., Shammass, D., Leschok, M., Bernhard, M., & Dillenburger, B. (2018). 3D-Printed Formwork For Prefabricated Concrete Slabs. *1st International Conference on 3D Construction Printing (3DcP)*. November 26-28, Melbourne, 1-9.
- Kadı, B. (2022). *3 Boyutlu Yazıcıların Kompozit Gaz Beton Üretiminde Kullanılması*. (Doktora Tezi, Karabük Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü)
- Karabulut, B. (2019). *Mimarlık Eğitiminde Üç Boyutlu Yazıcılar: Türkiye Durum Değerlendirmesi*. (Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri

Enstitüsü)

Keep, J (2024). Jonathan Keep. http://www.keep-art.co.uk/journal_1.html (Son erişim tarihi: 23 Eylül 2024)

Nadarajah, N. (2018). *Development of Concrete 3B Printing*. (Master Thesis, Aalto University School of Engineering Building Technology)

Özgüven, S. (2015). Seramik sanatında üç boyutlu yazıcıların yeni bir ifade biçimi olarak kullanılması. *İdil Sanat ve Dil Dergisi*, 4(18), 167-183. <https://doi.org/10.7816/idil-04-18-09>

Silva, R., Sereno, P., Mateus, A., Mitchell, G. R., Carreira, P., Santos, C., ... & Domingues, J. (2019). Adaptive platforms and flexible deposition system for big area additive manufacturing (BAAM). *Applied Mechanics and Materials*, 890, 3-20. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.890.3>

Sürmen, H. K. (2019). Eklemeli imalat (3B Baskı): Teknolojiler ve uygulamalar. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 24(2), 373-392. <https://doi.org/10.17482/uumfd.519147>

Süzen, A. A. Ceylan, O. Çetin, A. & Ulusoy, A. (2017). Arduino kontrollü çizim robotu. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 8(Özel (Special) 1), 79-87.

Şahin, K., & Turan, O. (2018). Üç boyutlu yazıcı teknolojilerinin karşılaştırmalı analizi. *Stratejik ve Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 2(2), 97-116. <https://doi.org/10.30692/sisad.441648>

Tatlı, O. (2020). *Üç Boyutlu Yazıcı Tasarımı, İmalatı Ve Dolgu Geometrisinin Mekanik Özelliklere Etkisi*. (Yüksek Lisans Tezi, Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü)

Tokdemir, V. (2022). *3B Yazıcılar İçin Ahşap Biyo-Kompozit Filament Üretimi Ve Bazı Özelliklerinin İncelenmesi*. (Doktora Tezi, Karabük Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü)

Tümer, M. B. (2020). *Üç Boyutlu Yazıcılar Ve Günümüz Mimarisinde Kullanımı*. (Yüksek Lisans Tezi, Işık Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü)

Van Herpt, O. (2024). Olivier van Herpt. <https://oliviervanherpt.com/about/> (Son erişim tarihi: 23 Eylül 2024)

Anonim (2024a). 3D baskılı apartman binası. <https://3dprint.com/38144/3d-printed-apartment-building/>. (Son erişim tarihi: 26 Aralık 2024)

Anonim (2024b). Dubai future foundation. <https://www.dubaifuture.ae/> (Son erişim tarihi: 3 Ekim 2024)

Anonim (2024c). Creality Ender 3 Pro 3D printer review. <https://all3dp.com/1/creality-ender-3-pro-3d-printer-review/> (Son erişim tarihi: 13 Eylül 2024)

Anonim (2024d). Ceramic 3D printing services. <https://at-machining.com/tr/ceramic-3d-printing-services/> (Son erişim tarihi: 17 Kasım 2024)

Anonim (2024e). Nidus3D project developed by COBOD. <https://cobod.com/projects-customers/nidus3d/> (Son erişim tarihi: 13 Aralık 2024)

