

T.C.
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MATEMATİK VE FEN BİLİMLERİ EĞİTİMİ ANABİLİM DALI
FİZİK EĞİTİMİ



OPTİK ÖĞRETİMİ İÇİN ÜÇ BOYUTLU YAZICI KULLANILARAK
ÖĞRETİM MATERYALLERİ GELİŞTİRİLMESİ

OSMAN BEYLİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Jüri Üyeleri : Doç. Dr. Mustafa ÇORAMIK (Tez Danışmanı)
Doç. Dr. Erdoğan ÖZDEMİR
Dr. Öğr. Üyesi V. Nilay KIRTAĞ AD

BALIKESİR, EYLÜL - 2025

ETİK BEYAN

Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak tarafımda hazırlanan “**Optik Öğretimi için Üç Boyutlu Yazıcı Kullanılarak Öğretim Materyalleri Geliştirilmesi**” başlıklı tezde;

- Tüm bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Kullanılan veriler ve sonuçlarda herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Tüm bilgi ve sonuçları bilimsel araştırma ve etik ilkelere uygun şekilde sunduğumu,
- Yararlandığım eserlere atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,

beyan eder, aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ederim.

Osman BEYLİ

ÖZET

OPTİK ÖĞRETİMİ İÇİN ÜÇ BOYUTLU YAZICI KULLANILARAK ÖĞRETİM MATERYALLERİ GELİŞTİRİLMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

OSMAN BEYLİ

BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MATEMATİK VE FEN BİLİMLERİ EĞİTİMİ ANABİLİM DALI

FİZİK EĞİTİMİ

(TEZ DANIŞMANI: DOÇ.DR. MUSTAFA ÇORAMIK)

BALIKESİR, EYLÜL - 2025

Fen ve fizik öğretiminde öğrencilerin bilimsel kavramları anlamlandırılmalarını sağlayan en önemli unsurlardan bir tanesi de deneysel uygulamalardır. Ancak mevcut öğretim ortamlarında, özellikle optik konularının öğretiminde kullanılabilecek uygun, erişilebilir ve etkili materyallerin sınırlı olması, öğrencilerin öğrenme sürecine aktif olarak katılımlarını zorlaştırmaktadır. Gölge ve ışığın doğrusal yayılması gibi konuların öğretiminde öğretmenler eğer deney gerçekleştireceklerse hazır materyaller kullanmakta ya da genellikle teorik anlatımlar gerçekleştirmektedirler. Bu durum çoğu zaman uygulamaya dayalı öğrenme fırsatlarını azaltmaktadır. Son yıllarda hızla gelişen üç boyutlu (3B) yazıcı teknolojileri, özellikle fen alanları ile ilgili öğretimde materyal eksikliğini giderebilecek yenilikçi bir çözüm sunmaktadır. 3B yazıcılar sayesinde öğretmen ve araştırmacılar, kendi öğretim hedeflerine uygun, düşük maliyetli ve yeniden üretilebilir materyaller tasarlayabilmektedir. Eğitimde bu teknolojinin etkin biçimde kullanılması, öğrencilerin öğrenme sürecine aktif katılımını desteklemenin yanı sıra öğretmenlerin materyal geliştirme becerilerini de güçlendirmektedir. Bu gerekçeler doğrultusunda yürütülen araştırmanın amacı, optik öğretiminde gölge konusunun öğretimine yönelik bir deney düzeneği geliştirmek ve bu düzeneğin eğitim ortamlarında kullanılabilirliğini ortaya koymaktır. Bu amaçla, deney düzeneğinin tüm bileşenleri Blender yazılımı ile üç boyutlu ortamda modellenmiş, ardından Creality Print programı kullanılarak baskıya hazırlanmıştır. Üretim süreci Creality K1 Max üç boyutlu yazıcısı ile gerçekleştirilmiştir. Tez kapsamında üretilen her bir bileşenin işlevi, çizimi ve üretim süreci ayrıntılı biçimde açıklanmıştır. Geliştirilen deney düzeneği ile gölge boyunun değişimi, farklı geometrik şekillere ait gölgeler ile tam ve yarı gölge oluşumu gibi temel optik deneyleri gerçekleştirilmiştir. Deney düzeneğinin öğretmen, akademisyen ve öğrenciler tarafından kolaylıkla erişilebilmesi amacıyla, tüm üç boyutlu çizim ve üretim dosyaları çevrimiçi ortamda ücretsiz olarak paylaşılmıştır. Araştırma sonucunda, üç boyutlu yazıcı teknolojilerinin optik öğretiminde etkili bir materyal geliştirme aracı olarak kullanılabileceği ve öğretim sürecine görsel, etkileşimli ve uygulamalı bir boyut kazandırdığı belirlenmiştir. Bununla birlikte süreçte ortaya çıkan zorluklar göz önüne alınarak ileride çalışma gerçekleştirilecek olan araştırmacılara önerilerde bulunulmuştur.

ANAHTAR KELİMELELER: Fizik eğitimi, gölge, optik öğretimi, üç boyutlu yazıcı

ABSTRACT

DEVELOPMENT OF TEACHING MATERIALS USING THREE DIMENSIONAL PRINTER FOR TEACHING OPTICS

MSC THESIS

OSMAN BEYLİ

BALIKESİR UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE

MATHEMATICS AND SCIENCE EDUCATION

PHYSICS EDUCATION

(SUPERVISOR: ASSOC. PROF. DR. MUSTAFA ÇORAMIK)

BALIKESİR, SEPTEMBER - 2025

One of the most important elements facilitating students' understanding of scientific concepts in science and physics education is hands-on experimental activities. However, in current teaching environments, the availability of suitable, accessible, and effective materials for teaching optical concepts is limited, which hinders students' active participation in the learning process. In the instruction of topics such as shadow formation and the linear propagation of light, teachers typically rely on ready-made materials or primarily deliver theoretical explanations when conducting experiments. This often reduces opportunities for experiential learning. In recent years, the rapid development of three-dimensional (3D) printing technologies has offered an innovative solution to the shortage of instructional materials, particularly in science education. Through 3D printing, teachers and researchers can design low-cost, reproducible materials tailored to their specific teaching objectives. The effective integration of this technology into education not only supports students' active engagement but also enhances teachers' ability to develop instructional resources. Based on these considerations, the present study aimed to develop an experimental setup for teaching shadow concepts in optics and to evaluate its applicability in educational settings. For this purpose, all components of the experimental setup were modeled in a three-dimensional environment using Blender software and prepared for printing with Creality Print. The production process was carried out using the Creality K1 Max 3D printer. The function, technical design, and production process of each component were explained in detail. Using the developed setup, fundamental optical experiments were conducted, including changes in shadow length, shadows of different geometric shapes, and the formation of umbra and penumbra. To ensure accessibility for teachers, academics, and students, all 3D design and production files were made freely available online. The study concluded that 3D printing technology can serve as an effective tool for developing instructional materials in optics, providing a visual, interactive, and practical dimension to the teaching process. Furthermore, taking into account challenges encountered during the process, recommendations were provided for future researchers who will conduct similar studies.

KEYWORDS: Physics education, shadow, optics teaching, 3D printer

Science Code / Codes : 13201

Page Number : 58

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
ŞEKİL LİSTESİ	iv
TABLO LİSTESİ.....	v
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR	vi
1. GİRİŞ	1
1.1 Problem Durumu.....	2
1.2 Araştırmanın Önemi	3
1.3 Araştırmanın Amacı.....	4
2. İLGİLİ ARAŞTIRMALAR	5
2.1 Üç Boyutlu Yazıcıları Öğretimde Kullanımı ile ilgili Çalışmalar	5
2.2 Optik Konusundaki Kavram Yanılgılarını Belirlemeye Yönelik Çalışmalar ve Sonuçları	16
3. YÖNTEM.....	24
3.1 Çalışmanın Modeli ve Uygulanan Basamaklar	24
3.2 Deney Düzenegi Tasarımında Kullanılan Programlar	24
3.2.1 Blender	25
3.2.2 Creality Print	27
3.3 Yazıcı (Creality K1 Max)	28
3.4 Filamet (Hyper PLA)	30
3.5 40x40 mm Kesitli Elokсалlı Sigma Alüminyum Profil.....	31
4. BULGULAR.....	33
4.1 Deney Düzenegi Bileşenlerinin Tasarımı ve İmalatı	33
4.1.1 Taşıyıcı sistemler.....	33
4.1.2 Işık kaynakları için bileşenler.....	36
4.1.3 Geometrik şekil bileşenleri.....	37
4.1.4 Ayna ve renk filtreleri için bileşenler	38
4.1.5 Ekran.....	39
4.1.6 Bileşenlerin taşıyıcı sisteme montajı	40
4.2 Deney Düzenekleri	41
4.2.1 Gölge boyutunun (ebatlarının) değişimi	41
4.2.2 Geometrik şekillere ait gölgeler	43
4.2.3 Tam gölge ve yarı gölge oluşumu.....	46
5. SONUÇ TARTIŞMA VE ÖNERİLER	48
6. KAYNAKLAR	52
ÖZGEÇMİŞ	58

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 3.1: Çalışma kapsamında izlenen basamaklar	24
Şekil 3.2: Blender örnek çizim ekranı.....	26
Şekil 3.3: Creality Print örnek dilimleme ekranı.	27
Şekil 3.4: Çalışma kapsamında kullanılan Creality K1 Max	29
Şekil 3.5: Çalışma kapsamında kullanılan Creality Hyper PLA beyaz filament	30
Şekil 3.6: Deney düzeneğinde taşıyıcı eleman olarak kullanılan profillerin farklı açılardan fotoğrafları	31
Şekil 4.1: a) Tutucu ve b) ayaklar için Blender çizimleri ile c) tutucu ve d) ayakların son hali	33
Şekil 4.2: a) Ayak parçalarının birleştirilmiş hali b) ayakların alüminyum profile monte edilmiş hali.....	34
Şekil 4.3: 100 cm ve 50 cm uzunluğunda tek eksen taşıyıcı sistemlerin son hali	34
Şekil 4.4: İki eksenli sistem için tasarlanan a) alt ve b) üst bileşenlerin Blender çizimleri ile c) alt ve d) üst bileşenlerin tek tek ve e) birleştirilerek üretilmiş hali	35
Şekil 4.5: 100 cm x 50 cm ebatlarında iki eksen taşıyıcı sistemin son hali	35
Şekil 4.6: 6 mm çapında farklı uzunluklarda a) bağlantı elemanları ve b) kullanımı	36
Şekil 4.7: Işık kaynağı olarak tasarlanan a) lazer ve b) mum tutucu için Blender çizimleri ile c) lazer ve d) mum tutucu için bileşenlerin üretilmiş hali	37
Şekil 4.8: Geometrik şekillerin a) Blender tasarımı b) yazıcı çıktısı	38
Şekil 4.9: Renk filtreleri için tasarlanan bileşene ait a)blender tasarımı b)yazıcı çıktısı ..	38
Şekil 4.10: Renk filtreleri ve aynalar için tasarlanan tutucuya ait a) Blender tasarımı b) yazıcı çıktısı	39
Şekil 4.11: a) Renk filtreleri ve b) düz aynaların tutucuya yerleştirilmesi	39
Şekil 4.12: Ekran a) Blender tasarımı b) yazıcı çıktısı ve son hali	40
Şekil 4.13: Üretilen a) lazer tutucu b) mum tutucu c) geometrik şekil d) filtre ve e) ekran taşıyıcının sisteme montajı.....	41
Şekil 4.14: Geliştirilen deney düzeneği ile mesafeye bağlı olarak gölge boyunun değişiminin Blender üzerinden gösterilmesi.....	42
Şekil 4.15: Geliştirilen deney düzeneği ile mesafeye bağlı olarak gölge boyunun değişiminin sınanması	42
Şekil 4.16: Geliştirilen deney düzeneği kullanılarak farklı geometrik şekillere ait gölgelerin Blender üzerinde gösterilmesi	44
Şekil 4.17: Geliştirilen deney düzeneği kullanılarak farklı geometrik şekillere ait gölgelerin ekran üzerinde gösterilmesi	45
Şekil 4.18: Geliştirilen deney düzeneği ile tam ve yarı gölge oluşumunun Blender üzerinde gösterilmesi	46
Şekil 4.19: Geliştirilen deney düzeneği ile tam ve yarı gölge oluşumunun gösterilmesi ..	47

TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 4.1: Mesafeye bağıl gölge boyunun değişimine ilişkin gerçekleştirilen deneyden elde edilen veriler.....	43
--	----

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Bu tez çalışması, öğretmenlik meslek hayatım ve yüksek lisans öğrenimim süresince edindiğim bilgi ve deneyimlerin bir ürünü olarak ortaya çıkmıştır. Çalışmamda, Optik Öğretimi İçin Üç Boyutlu Yazıcı Kullanılarak Öğretim Materyalleri Geliştirilmesi konusu incelenmiş ve alana özgün katkılar sunulması hedeflenmiştir.

Meslek hayatımda ve yüksek lisans öğrenimim süresince Türkiye Cumhuriyeti'nin kurucusu Gazi Mustafa Kemal Atatürk'ün "Hayatta en hakiki mürşit ilimdir" sözü ilham kaynağım olmuştur. Onun bilime ve eğitime verdiği önem, şahsım için her daim yol gösterici bir rehber olmuştur.

Tezimi, yaşamımın en değerli varlıkları olan sevgili çocuklarım Zeynep ve Oğuz'a ithaf ediyorum. Onlara bilim ve doğruluk yolunda örnek olabilmek en büyük gayem olmuştur. Bu çalışmanın hazırlanmasında emeği geçen birçok değerli kişiye teşekkür etmeyi bir borç bilirim.

Öncelikle, bilgi ve tecrübesiyle yolumu aydınlatan, yönlendirmeleri ve akademik katkılarıyla bu çalışmanın şekillenmesini sağlayan saygıdeğer tez danışmanım Doç. Dr. Mustafa ÇORAMIK'a en içten şükranlarımı sunuyorum.

Ayrıca, eşim Prof. Dr. Pınar TURAN BEYLİ'ye, kıymetli annem Hafize BEYLİ ve babam Günay BEYLİ'ye desteklerinden dolayı teşekkürlerimi iletiyorum.

Balıkesir, 2025

Osman Beyli

1. GİRİŞ

Günümüz eğitim anlayışı, öğrenen merkezli, deneysel ve teknolojiyi etkin kullanan bir yaklaşımı benimsemektedir (Aldemir ve ark, 2024; Tsai, 2023). Bu bağlamda fen öğretimi, öğrencilerin doğa olaylarını anlamlandırmaları ve bilimsel düşünme becerileri geliştirmeleri açısından kritik öneme sahiptir. Fizik eğitiminin önemli bir alt disiplini olan optik, ışığın doğası, yayılması ve madde ile etkileşimi gibi temel kavramları içermektedir. Ancak yapılan araştırmalar, öğrencilerin optik konularında, özellikle ışık, gölge, yansıma ve kırılma gibi konularda kalıcı öğrenme zorlukları yaşadıklarını ve kavram yanılgılarına sahip olduklarını ortaya koymaktadır (Ahçı, 2012; Aydın, 2007; Eren, 2019). Bu durumun sebepleri arasında öğrencilerin fen bilimlerindeki soyut kavramları anlamakta zorlanmaları ve bazı konuların görselleştirilememesi gösterilebilir (Yağbasan ve Gülçiçek, 2003).

Gölge kavramı, optik öğretiminde sık karşılaşılan kavram yanılgılarına neden olan önemli bir başlıktır. Öğrenciler genellikle tam ve yarı gölgeyi ayırt edememekte, gölgenin boyutunun ışık kaynağıyla nesne arasındaki mesafeye bağlı olarak değiştiğini kavrayamamakta ve farklı şekillerdeki nesnelerin gölgelerinin nasıl oluştuğunu açıklamakta güçlük çekmektedir (Eren, 2019; Ozdemir ve ark, 2020). Bu kavramların öğretiminde geleneksel anlatım ve çizim temelli yöntemler kullanıldığında öğrencilerde derinlemesine öğrenme gerçekleşmemektedir. Bu nedenle, görsel ve fiziksel modellemelerin öğrenme sürecine dahil edilmesi önemlidir (Düzgün, 2000). Bu bağlamda, öğrencilerin kavramsal anlamalarını güçlendirecek deneysel uygulamaların geliştirilmesi ve uygulanabilir materyallerin sağlanması, öğretimde karşılaşılan öğrenme güçlüklerini azaltmada kritik bir rol oynamaktadır.

Eğitimde teknolojinin entegrasyonu, özellikle üç boyutlu yazıcıların (3B yazıcılar) kullanımı, soyut kavramların somutlaştırılmasında yeni olanaklar sunmaktadır. 3B yazıcılar sayesinde öğrenciler, soyut kavramlarını somut materyaller aracılığıyla deneyimleyerek öğrenebilir. Araştırmalar, 3B yazıcılar kullanılarak geliştirilen öğretim materyallerinin, öğrencilerin motivasyonu, akademik başarıları ve tutumları üzerinde olumlu etkiye sahip olduğunu, öğrenmelerin kalıcı hale getirmede kullanılabileceğini göstermektedir (Çekirge, 2019; Dağlı, 2022; Oker, 2023).

Eğitimde deneyimsel öğrenmenin önemi dikkate alındığında, fiziksel modellerle yapılan uygulamaların öğrencilerin konuyu daha iyi anlamalarına yardımcı olacağı düşünülmektedir. Bu bağlamda, optik konularına ilişkin geliştirilen 3B materyallerin öğretim sürecine entegrasyonu hem öğretmenler hem de öğrenciler için yenilikçi bir yaklaşım sunmaktadır.

1.1 Problem Durumu

Optik, fizik öğretiminin temel taşlarından biri olmakla birlikte, öğrencilerin anlamakta en çok zorlandığı alanlardan biridir. Bu zorluk birçok kavram yanılgısına sebep olmakta ve özellikle ışığın doğası, ışığın doğrusal yayılması, gölge oluşumu, tam ve yarı gölge ayrımı, gölgenin mesafeye bağlı değişimi, görüntü oluşumu ve çeşitli geometrik cisimlerin oluşturduğu gölgeler gibi konularda belirgin hâle gelmektedir (Ahçı, 2012; Anıl ve Küçüközer, 2010; Aydın, 2007; Kaçan, 2008; Kaplan, 2017) .

Araştırmalar, optik konularındaki kavram yanılgılarının farklı düzeylerde ve kademelerde yaygın olduğunu ortaya koymaktadır (Eren, 2009; Özdemir, 2024). Özellikle temel kavramlardan bir tanesi olan gölge ve gölge oluşumu ile ilgili yanılgılar öğrencilerin optik olaylarını doğru anlamalarını engellemektedir. Bu tür yanılgılar sadece öğrencilerde değil, optik ile ilgili meslek sahibi olan optisyenlerde bile sıklıkla görülmektedir (Özdemir ve ark., 2020). Araştırmalar, geleneksel öğretim yöntemlerinin, ilgili kavramları öğretimde öğrencilerin akademik başarısı ve tutumlarını iyileştirme konusunda diğer yöntemlere göre daha az etkili olduğunu ortaya koymaktadır (Yılmaz, 2016). Bununla birlikte optik konularının farklı kademelerde öğretiminde Teknoloji Entegrasyon Matrisi Modeli (Tenkoğlu, 2007), Ortak Bilgi Yapılandırma Modeli (Yıldızbaş, 2017), ailelerin ışık konusunda eğitim materyalleri ile bilgilendirilmesi (İşbaralı, 2017) ve animasyon destekli kavram karikatürleri kullanılması (Pınarkaya, 2017) gibi farklı yöntemler kullanılarak farklı değişkenler üzerindeki etkileri araştırılmış ve optik konuları ile ilgili olarak kavramsal anlama düzeyleri üzerindeki etkileri incelenmiştir. Bu yöntemler arasında en etkili olanlardan bir tanesi de öğrencilerin bizzat gerçekleştirdikleri deneylerdir. Bu deneyler öğretmen gibi bir rehber eşliğinde gerçekleştirilebileceği gibi öğrencinin kendisi tarafından da tasarlanabilir. Öğrencinin kendisinin deneyleri tasarlanmasına olanak tanıyan açık uçlu sorgulama yaklaşımının hem öğrenme deneyimlerini hem de laboratuvar davranışlarını anlamlı biçimde iyileştirdiğini bilinmektedir (Cai et al., 2021). Gerçekleştirilecek bu deneyler için gerekli olan deney malzemelerinin temin edilmesinde bazen zor

olabilmektedir. Temin edilmede yaşanan güçlükler arasında ise erişimin olmaması ve deney malzemelerinin pahalı olması gelebilir. Fakat bunun dışındaki sorunlardan bir tanesi de gerçekleştirilecek deneyin amacına hizmet edecek ve kişiselleştirilebilir hazır setlerin bulunmaması gösterilebilir.

Son yıllarda üç boyutlu yazıcı teknolojilerinin eğitimde kullanımı giderek yaygınlaşmıştır (Ataş, 2023; Mert, 2024; Taşkıran, 2019). Bu kapsamda optik öğretimi için geliştirilen 3 boyutlu materyaller, öğrencilerin deneyler aracılığıyla kavramları doğrudan gözlemleyip test etmelerine olanak sağlamaktadır (Haverkamp et al., 2022; Vinnakota et al., 2024). Fakat bu materyallere ilişkin dosyalar çoğu zaman diğer araştırmacılar, öğretmenler ve öğrenciler ile paylaşılmamaktadır. İlgili dosyaların paylaşıldığı çalışmalarda ise genellikle dosyalar üzerinde değişiklik yapılması mümkün olmamaktadır.

Bu bağlamda, optik öğretiminde öğrencilerin kavramsal öğrenmelerini destekleyecek, deneysel uygulamaları erişilebilir hâle getirecek ve kişiselleştirilebilir materyaller geliştirmek büyük bir gereklilik olarak ortaya çıkmaktadır. Üç boyutlu yazıcı teknolojileri hem düşük maliyetli hem de yeniden üretilebilir materyaller tasarlamaya imkân tanıyarak bu ihtiyacı karşılayabilecek yenilikçi bir çözüm sunmaktadır. Ancak mevcut literatürde, özellikle gölge ve ışığın doğrusal yayılması gibi temel optik konularını kapsayan, öğretmenler, akademisyenler ve öğrenciler tarafından kolaylıkla erişilebilecek ve değiştirilebilir formatta 3B materyallerin geliştirilmesine ve paylaşımına ilişkin çalışmalar sınırlıdır. Bu durum, eğitimcilerin ve araştırmacıların uygulamalı öğrenme fırsatlarını artırmak için kullanabilecekleri kaynakların yetersizliğini gözler önüne sermektedir.

1.2 Araştırmanın Önemi

Optik konularında öğrencilerin kavramsal öğrenmelerini destekleyecek deney materyalleri ve deney düzeneği geliştirilmesi, fen ve fizik eğitimi açısından kritik bir öneme sahiptir. Gölge ve geometrik cisimlerin oluşturduğu gölgeler gibi temel optik kavramlar, öğrenciler için karmaşık olup geleneksel öğretim yöntemleriyle kavranması genellikle güçtür. Mevcut deney materyallerinin eksikliği ve hazır setlerin sınırlılığı, öğrencilerin uygulamalı öğrenme fırsatlarını kısıtlamakta ve öğretmenlerin deneysel öğretimi etkin biçimde sunmalarını zorlaştırmaktadır.

Üç boyutlu yazıcı teknolojileri ile geliştirilen materyal ve deney düzeneklerinin, öğrencilerin deneyleri doğrudan gözlemleyip test edebilmelerine imkân tanıyacak şekilde tasarlanması oldukça önemlidir. Çalışma kapsamında tasarlanarak üretilecek materyallerin, öğretmenler, akademisyenler ve öğrenciler tarafından internet ortamında ücretsiz erişilebilir, uyarlanabilir ve yeniden üretilebilir formatta sunulması, kavram yanlışlarının azaltılmasına ve öğrencilerin kavramsal anlamalarının güçlendirilmesine katkı sağlaması beklenmektedir. Bu yaklaşım ile öğretim süreçlerine uygulamalı ve etkileşimli bir boyut kazandırılacak ve fen/fizik eğitimi alanında üç boyutlu yazıcı teknolojilerinin kullanım potansiyeline dair somut bir örnek sunulacaktır.

Bu çalışma ayrıca dijital üretim teknolojilerinin öğretim ortamlarına entegrasyonu konusunda katkı sağlamaktadır. Eğitimde 3B yazıcı ile deney düzeneği ve materyal üretimine dair detayların sunulmasının amaçlandığı bu çalışma, farklı eğitim kademelerinde kullanılacak materyallerin nasıl tasarlanıp uygulanabileceğine dair araştırmacılara ve öğretmenlere bir model sunmaktadır. Bu açıdan bakıldığında, çalışma fen bilgisi ve fizik öğretmenleri için öğretim materyali geliştirme süreçlerinde ayrıntılı bir rehber işlevi görebilir. Buna ek olarak, literatürde benzer çalışmaların sınırlı olması, çalışmanın özgünlüğünü ve önemini ortaya koymaktadır.

1.3 Araştırmanın Amacı

Bu araştırmanın temel amacı, optik öğretiminde öğrencilerin kavramsal öğrenmelerini destekleyebilecek, kavram yanlışlarını giderebilecek gölge konusuna yönelik deney materyalleri ve deney düzeneklerini geliştirmek, bunların eğitim ortamlarında kullanılabilirliğini test etmek ve öğretmenler, araştırmacılar ile öğrencilerin kullanımına sunmaktır. Ayrıca, bu deney düzeneklerinin oluşturulmasında kullanılan dosyaların öğrenciler, öğretmenler ve akademisyenler tarafından ücretsiz olarak erişilebilir ve uyarlanabilir olması hedeflenmektedir.

2. İLGİLİ ARAŞTIRMALAR

Bu başlık altında alan yazınında yer alan üç boyutlu yazıcıların öğretimde kullanımı, optik konularının öğretimi ile ilgili gerçekleştirilen çalışmalar ve optik konuları ile ilgili gerçekleştirilen çalışmalar sonucunda elde edilen kavram yanılgılarını içeren çalışmalar sırası ile verilmiştir.

2.1 Üç Boyutlu Yazıcıları Öğretimde Kullanımı ile İlgili Çalışmalar

Bu başlık altına farklı kademelerde ve alanlarda üç boyutlu yazıcıların öğretimde kullanımı ile ilgili yapılan çalışmalar detaylı biçimde verilmiştir.

Mert, 2024 yılında gerçekleştirdiği araştırmada, fen bilgisi öğretmenliği Biyoloji I dersi kapsamında yer alan Santral Dogma ünitesinin 3 boyutlu tasarım ve baskı teknolojilerini entegre eden bütünleştirici tasarıma dayalı STEM etkinlikleri ile öğretiminin etkilerini incelemiştir. Sekiz hafta süren ve 2., 3. ve 4. sınıfta öğrenim gören toplam 23 fen bilgisi öğretmen adayı ile gerçekleştirilen araştırmadan elde edilen veriler değerlendirildiğinde, gerçekleştirilen öğretimin akademik başarıyı arttırdığı, 3 boyutlu tasarım ve baskı teknolojilerinin fen öğretiminde kullanılmasına ilişkin öğrencilerin görüşlerini olumlu anlamda etkilediği ve öğrencilerin mühendislik tasarım becerilerini geliştirdiği belirlenmiştir. Ayrıca araştırmanın sonucunda, 3 boyutlu yazıcı teknolojisinin sınıf ortamında etkili bir biçimde kullanılabilmesi için eğitimcilere sürdürülebilir destek verilmesi gerektiği ifade edilmiştir. Bu sayede fen eğitimindeki benzer yenilikçi uygulamaların yaygınlaşmasının yanı sıra öğrencilerin hem bilimsel meraklarını hem de yeteneklerini geliştirmelerine katkı sağlanabileceği belirtilmiştir (Mert, 2024).

Vinnakota et. al (2024) gerçekleştirdikleri çalışmada üç boyutlu yazıcı kullanarak optik dersi kapsamında kullanılacak tasarımlar yapmışlar ve bu tasarımlar ile farklı optik deneyleri gerçekleştirmişlerdir. Gerçekleştirilen deneyler arasında ışığın dalgaboyu/rengi, elektromanyetik spektrum, yansıma, ince ve kalın kenarlı mercekler, kırınım, LED ve lazer diyotlar için I-V karakteristikleri, fotodiyot, fototransistor ve fotodirençlerin performanslarının karşılaştırılması yer almaktadır. Çalışma sonunda araştırmacılar üç boyutlu yazıcı kullanılarak üretilen ekipmanlar ile benzer deneylerin gerçekleştirilmesi için kullanılan ticari ürünler maliyet açısından karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonucunda elde

edilen sonuç, üç boyutlu yazıcıların kullanılarak elde edilen deney düzeneklerinin 13.40 \$'lık bir maliyete sahip olmasına karşın benzer ticari ürünlerin maliyetinin 348 \$ olmasıdır.

Diederich et al. (2020) gerçekleştirdikleri çalışmada düşük maliyetli, 3B baskılı, açık kaynaklı, modüler bir mikroskopi araç kutusu geliştirmişlerdir. Çalışma kapsamında konseptten deneysel aşamaya kadar eksiksiz biçimde bir mikroskop geliştirme aşamalarını detaylı biçimde sunmuşlardır. Bu çalışmada kullanılan küp konseptinden yola çıkan Haverkamp et al. (2022) çalışmalarında özellikle liselerde çok çeşitli deneylere olanak tanıyan üç boyutlu baskı ile üretilen “Optik Küplere” dayalı bir deney düzeneğinin modülerliği ile ilgili derinlemesine bilgi vermişlerdir. Modifiye ve kalibre etmesi kolay olan bu küpler öğrenciler açısından sezgisel kullanıma da uygun olarak tanımlanmaktadır. Bununla birlikte üretilen küpler öğrenciler açısından güvenli ve düşük maliyetli olarak üretilmişlerdir. Çalışma kapsamında üretilen “Optik Küpler” kullanılarak Michelson interferometresi, Mach-Zehnder interferometresi, polarizasyon ile ilgili deneyler (lazer ışınlarının polarizasyonu, Malus yasası ve yansıma yoluyla polarizasyon) ve Kuantum silgisi için analogi deneyi gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonucunda araştırmacılar 3 boyutlu baskı teknolojisinin artan erişilebilirliği ile bu yaklaşımın farklı kademelerde süperpozisyon prensibi gibi kuantum fiziğinin önemli yönlerine deneysel olarak erişim geliştireceğini inandıklarını belirtmişlerdir.

Öz Yıldız (2024) araştırmasında 3 boyutlu kalem ve 3 boyutlu yazıcı gibi üretim araçları kullanılarak gerçekleştirilen tasarım odaklı fen etkinliklerinin 7. sınıfta öğrenim gören öğrencilerin akademik başarılarına, uzamsal becerilerine, mühendislik tasarım süreçlerine ve malzeme bilgilerine olan etkisini incelemiştir. Saf madde ve karışımlar ünitesinin 22 ders saati süren öğretiminin gerçekleştirildiği çalışmada öğretim programının önerdiği uygulamaların gerçekleştirildiği kontrol grubu 28, tasarım odaklı fen uygulamalarının gerçekleştirildiği deney grubu 24 öğrenciden oluşmaktadır. Araştırmadan elde edilen veriler incelendiğinde gerçekleştirilen öğretimin deney grubunda yer alan öğrencilerin malzeme bilgisinin ve uzamsal becerilerinin gelişimine olumlu yönde anlamlı düzeyde etki ettiği tespit edilmiştir. Akademik başarı açısından ise gruplar arasında anlamlı farklılık belirlenmemiştir. Ayrıca araştırmacı fen derslerinde tasarım fikirlerinin geliştirilmesi için öğrencilerle yapılacak neredeyse tüm etkinliklerde 3 boyutlu kalem ya da yazıcının kullanılabilirliğini ifade etmiştir. Araştırma sonucunda ortaya çıkan öneriler incelendiğinde ise, sınıfta gerçekleştirilecek etkinliklerin başarılı olabilmesi için öğretmenlerin 3 boyutlu

Üretim teknolojileri ile ilgili gerekli bilgiye sahip olmalarının gerekli olması ile ilgilidir. Bu bilginin ise evrimii olarak ya da resmi/özel kurumlardan alınacak eēitimler ile saēlanabileceēi belirtilmiŖtir.

Sel (2024) tarafından gerekleŖtirilen ve okul öncesi dönemde ērenim gören çocukları kapsayan araŖtırmada,  boyutlu modelleme ve yazdırma teknolojileri “YaŖadığımız Binalar: Evlerimiz” teması çerçevesinde uygulanmıŖtır. AraŖtırmada, gerekleŖtirilen ēretimin ērencilerin geometrik cisimleri ērenmelerine etkisinin yanı sıra bu sürecim hem ērenciler hem de aileleri açısından kazanımları incelenmiŖtir. 4-6 yaŖ arası 15 ocuk ve ailelerini içeren tek grup ntest-sontest deneysel desenin kullanıldıēı araŖtırmada yarı yapılandırılmıŖ grŖmeler, ‘Nasıl hissetim?’ tablosu, ebeveyn-ocuk paylaŖım defterleri ve kiŖisel bilgi formları ile veriler toplanmıŖtır. AraŖtırmadan elde edilen veriler deēerlendirildiēinde  boyutlu modelleme ve yazdırma eēitiminin sonrasında ērencilerin geometrik cisimleri doēru biçimde isimlendirmelerinde istatistiksel olarak anlamlı bir artıŖ olmuŖtur. Ayrıca gerekleŖtirilen uygulamanın ērencilere bilgi, beceri, duygu ve eēilim boyutlarında kazanımlar saēladıēı belirlenmiŖtir. Tüm bunlarla birlikte ebeveynlerin gerekleŖtirilen ēretimin sonucunda farkındalık, bilgi ve duygu boyutlarında olumlu kazanımlar elde ettikleri ortaya konmuŖtur. AraŖtırma sonucunda ortaya konan öneriler arasında ise okul öncesi dönemde çocuklarının kullanımına yönelik temel düzeyde  boyutlu modelleme programlarının tanıtımının yapıldıēı ve örnek tasarımların yer aldıēı rehber niteliēinde Türkçe kaynaklar hazırlanabileceēi belirtilmiŖtir.

Oker (2023) gerekleŖtirdiēi araŖtırmada eTwinning platformunda uygulanan STEM (Science, Technology, Engineering, Mathematics) etkinliklerinin ērencilerin STEM’e yönelik tutumlarına ve STEM’e yönelik motivasyonlarına etkisi incelenmiŖtir. 7. sınıfta ērenim gören 124 ērencinin katıldıēı araŖtırmada biri kontrol  deney olmak üzere toplam dört grup yer almaktadır. Deney grupları sırası ile STEM uygulamalarını ev devi, okulda sınıf içi etkinlik Ŗeklinde ve 3 boyutlu yazıcı kullanarak gerekleŖtirmiŖlerdir. AraŖtırma kapsamında veriler STEM’e Yönelik Tutum leēi, STEM’e Yönelik Motivasyon leēi ve yarı yapılandırılmıŖ grŖme soruları ile elde edilmiŖtir. Elde edilen verilerin analizi sonucunda, ilgili etkinlikleri okulda sınıf içinde yürüten grup ile 3 boyutlu yazıcı kullanarak yürüten grubun motivasyon ve tutumlarında anlamlı bir artıŖ olduēu belirlenmiŖtir. Ayrıca grupların kendi aralarında karŖılaŖtırılması sonucunda motivasyon ve tutumdaki en fazla artıŖının 3 boyutlu yazıcı kullanarak etkinlikleri gerekleŖtiren grup

olduğu ortaya konmuştur. STEM'in bileşenlerinden fen alanındaki tutum ve motivasyonda en fazla artış gerçekleşirken, matematik alanında ise hem tutum hem de motivasyon açısında bir değişim olmadığı belirlenmiştir. Tüm bunlarla birlikte araştırmacı öneri olarak STEM ile ilgili etkinliklerin mümkün olduğunca 3 boyutlu yazıcıların yanı sıra, kodlama, vb. gibi öğretimde yeni olan teknolojiler ile öğretmen rehberliğinde gerçekleştirilmesi gerektiğini belirtmiştir.

Ataş (2023) gerçekleştirdiği araştırmada ortaokul matematik dersinde akran öğretiminin ve 3 boyutlu yazıcı kalem teknolojisinin kullanımının matematik dersine yönelik akademik başarıları ve geometriye yönelik tutumlarına etkisini belirlemeyi amaçlamıştır. 7. sınıfta öğrenim gören toplam 90 öğrencinin yer aldığı araştırmada, 30'ar öğrenci akran öğretimi ve 3 boyutlu yazıcı kalem teknolojisi kullanan deney gruplarında, 30 öğrenci de mevcut programın uygulandığı kontrol grubunda yer almaktadır. Araştırmadan elde edilen veriler değerlendirildiğinde, akran öğretiminin ve 3 boyutlu yazıcı kalem teknolojisi uygulanmasının öğrencilerin hem matematik akademik başarılarına hem de geometriye yönelik tutumlarına olumlu etkisinin olduğu belirlenmiştir. Elde edilen diğer bir sonuç ise deney gruplarındaki öğrencilerin çoğunluğunun sürece ilişkin olumlu görüşler ifade etmeleridir. Araştırma kapsamında gerçekleştirilen görüşmeler sonucunda kullanılan uygulamaların derse yönelik ilgi, merak ve isteği artırdığı, ayrıca dersi görsel açıdan zenginleştirdiği ve daha eğlenceli hale getirdiği sonuçları elde edilmiştir. Ayrıca öğrencilerin kullanılan her iki yöntemin (akran öğretimi ve 3 boyutlu yazıcı kalem teknolojisi) matematik dışında farklı derslerde de kullanılmasına yönelik olumlu görüş bildirdikleri ortaya konmuştur.

Çopur (2019), yılında gerçekleştirdiği araştırmasında, 3 boyutlu yazıcı kalemle uyumlu olarak tasarladığı çalışma yapraklarının öğretim sürecindeki etkisini araştırmayı amaçlamıştır. Araştırmacı öğretim sürecinde ve sonrasında verileri, gözlem, klinik mülakat, materyallerin öğretimde kullanımı, yarı yapılandırılmış mülakat ve görüş formu teknikleri yardımı ile elde etmiştir. 10.sınıfta öğretim gören 12 öğrencinin katıldığı araştırmada sınıf içinde gerçekleştirilen uygulamada, katılımcılara katı cisimler konusunda verilen 3 boyutlu yazıcı kalem ve bununla uyumlu olarak geliştirilen çalışma yaprakları kullanılmıştır. Bunun dışında 17 matematik öğretmeni ve akademisyenden geliştirilen öğretim materyali ile ilgili olarak görüşleri alınmıştır. Araştırmanın sonunda elde edilen verilerden üç boyutlu yazıcı kalem ve bununla uyumlu olarak geliştirilen çalışma yapraklarının öğretim sürecinde

kullanımının öğrencilerin konuyu keşfetmesi ve kavraması üzerinde olumlu etkisi olduğu tespit edilmiştir. Bununla birlikte araştırma sonunda üç boyutlu yazıcı kalemin, matematik ve özellikle geometri konularının öğretiminde kullanılması gerektiği belirtilmiştir.

Avinal (2019) gerçekleştirdiği çalışmada, üç boyutlu yazıcı teknolojisiyle tasarlanan etkinliklerin altıncı sınıf öğrencilerinin "Vücudumuzdaki Sistemler" ünitesindeki akademik başarılarına etkisini belirlemeyi amaçlamıştır. 2018-2019 eğitim-öğretim yılında altıncı sınıfta öğrenim gören toplam 60 öğrenci (deney grubu 30 öğrenci, kontrol grubu 30 öğrenci) ile gerçekleştirilen çalışmada, öğrencilerin akademik başarılarının yanı sıra üç boyutlu yazıcı teknolojisi hakkındaki görüşleri de belirlenmiştir. Dersler deney grubunda üç boyutlu yazıcı kullanılarak geliştirilmiş etkinliklerle desteklenerek anlatılmış, kontrol grubunda ise dersler mevcut program kullanılarak anlatılmıştır. Araştırma sonucunda, üç boyutlu yazıcı teknolojisiyle geliştirilen etkinliklerin öğrencilerin akademik başarılarını arttırdığı belirlenmiştir. Bununla birlikte yapılan yarı yapılandırılmış görüşmeler sonucunda öğrenciler 3 boyutlu yazıcı teknolojisi kullanarak geliştirilen etkinlikleri içeren dersleri daha eğlenceli bulduklarını ve derslerin sıkıcı olmadan işlendiğini belirtmişlerdir. Ayrıca öğrenciler bahsi geçen konuları bu yöntemle daha iyi anladıklarını ve ilgili etkinliklerin hayal güçlerinin gelişmesinde etkili olduğunu ifade etmişlerdir. Araştırmacı elde ettiği veriler ve süreçteki deneyimleri sonucunda, üç boyutlu yazıcı teknolojisi entegre edilerek geliştirilen etkinliklerin etkisinin görülebilmesi için farklı fen konularında da benzer öğretimin gerçekleştirilmesi gerektiğini ifade etmiştir. Ayrıca çalışması sonucunda okullarda üç boyutlu yazıcıları içerecek şekilde bir yazdırma odası kurulmasını önermektedir.

Çekirge (2019) çalışmasında üç boyutlu yazıcı teknolojisinin akademik başarı, tutum, motivasyon ve eleştirel düşünme eğilimlerine etkisini incelemeyi amaçlamıştır. Araştırma, 2017-2018 eğitim-öğretim yılında 7. sınıf seviyesindeki toplam 35 öğrenci ile gerçekleştirilen çalışmada, öğrenciler 16 kişilik kontrol grubu ve 19 kişilik deney grubu olarak ikiye ayrılmıştır. Deney grubuna, üç boyutlu dijital materyallerin yanı sıra bu materyallerin fiziksel çıktıları da sunulmuştur. Kontrol grubunda ise herhangi bir fiziksel çıktı verilmeden sadece üç boyutlu dijital materyal kullanılmıştır. Araştırmada, öğrencilerin akademik başarıları, derse yönelik tutum ve motivasyonları ile eleştirel düşünme eğilimleri gibi değişkenler incelenmiştir. Araştırma sonucunda, deney grubunda yer alan ve dijital materyallerle birlikte fiziksel materyallerin de kullanıldığı grupta yer alan öğrencilerin

akademik başarılarının daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Ayrıca deney grubu öğrencilerinin derse yönelik tutumları da kontrol grubuna göre anlamlı ve olumlu düzeyde yüksek bulunmuştur. Araştırma sonucunda gerçekleştirilen uygulamanın derse yönelik motivasyon ve eleştirel düşünme eğilimleri üzerinde anlamlı bir fark yaratmadığı tespit edilmiştir.

İbiş (2019) tarafından gerçekleştirilen çalışmada üç boyutlu modelleme ve yazdırmanın altıncı sınıf sosyal bilgiler dersine entegre edilme sürecini ve ilgili süreçle ilgili öğrenci görüşlerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. 2017-2018 eğitim-öğretim yılında 6. sınıf öğrencileri ile gerçekleştirilen çalışmaya toplam 25 öğrenci katılmıştır. Araştırma kapsamında öğrencilerin üç boyutlu modelleme ve yazdırma sürecine yönelik görüşleri ve bu sürecin sosyal bilgiler dersine etkileri incelenmiştir. Nitel araştırma yöntemi kullanılarak gerçekleştirilen bu çalışmada, veri toplama araçları olarak gözlem notları, araştırmacı ve öğrenci günlükleri, video kayıtları ve yarı yapılandırılmış görüşme formları kullanılmıştır. Araştırma sonucunda, üç boyutlu yazdırma ve modellemenin öğrencilerin sosyal bilgiler dersine olan ilgisini ve katılımını olumlu yönde etkilediği, ayrıca ders kapsamında yer alan kavramların ve becerilerin kazanılmasında etkili bir araç olduğu görülmüştür. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda çalışma sonunda araştırmacı 3 boyutlu modelleme ve yazdırma süreçlerinin sosyal bilgiler dersinde kullanımını önermektedir.

Taşkıran (2019) gerçekleştirdiği çalışmada fen eğitiminde üç boyutlu yazıcıların kullanımının öğrencilerin tutumlarına ve üç boyutlu yazıcılarla ilgili görüşlerine etkisini incelemiştir. 2017-2018 eğitim-öğretim yılında 7. ve 8. sınıfta öğrenim gören toplam 108 öğrenci ile gerçekleştirilen çalışmada 10 haftalık bir süreç boyunca dersler 3 boyutlu yazıcı ile uygulamalı olarak gerçekleştirilmiştir. Araştırma sonucunda elde edilen verilerden çalışmaya katılan öğrencilerin 3 boyutlu yazıcının fen eğitiminde kullanılması ile ilgili olumlu görüşlere sahip oldukları ortaya çıkarılmıştır. Bununla birlikte gerçekleştirilen uygulamanın, öğrencilerin 3 boyutlu yazıcının fen eğitiminde kullanımına karşı farkındalıklarına pozitif anlamda katkıda bulunduğu belirlenmiştir. Ayrıca araştırma sonunda yapılan önerilerde, eğitim fakültelerinde 3 boyutlu yazıcı kullanımı ile ilgili derslerin verilebileceği ve öğretmen adaylarının da bu sayede üç boyutlu yazıcı teknolojisine uyum sağlayabilecekleri vurgulanmıştır. Ayrıca yine öneriler bölümünde eğitim fakülteleri bünyesinde üç boyutlu yazıcı laboratuvarları kurulabileceği ve bu laboratuvarların

kurulmasında farklı fakültelerde yer alan uzman öğretim üyeleri ile iş birliği sağlanabileceği ifade edilmiştir.

Erol (2020) gerçekleştirdiği araştırmasında, doğada yer alan mikro ve nanoyapıların 3 boyutlu modellerini üretmiş ve oluşturduğu ilgili modelleri nanobilim kapsamında yer alan "Yüzey Özellikleri ve Etkileşimler" konusunun argümantasyon yöntemiyle öğretiminde kullanarak bu kullanımın üniversite öğrencilerin kavramsal anlamalarına etkisini incelemiştir. 2019-2020 eğitim öğretim yılında üniversite seçmeli ders olarak verilen "Nanobilim ve Nanoteknoloji" dersinde yürütülen araştırmada 29 lisans öğrencisi yer almaktadır. Öğretim sürecinde argümantasyon yöntemi, argümantasyon + 3B model ve geleneksel öğretim yöntemleri kullanılmıştır. Toplam sekiz hafta devam eden uygulamalar sonucunda, akademik başarıya katkı açısından gruplar arasında anlamlı bir farklılık tespit edilememiştir. Bununla birlikte, argümantasyon ve 3 boyutlu modellerin kullanıldığı öğretim yönteminin öğrencilerin kavramsal anlamalarına ve kavram yanılgılarının azalmasına olumlu etkisi olduğu gözlemlenmiştir.

Gülyüz (2020) gerçekleştirdiği araştırmada Fen Bilgisi öğretmenliği üçüncü sınıfta öğrenin gören öğretmen adaylarına STEM eğitimi doğrultusunda uygulanan 3 boyutlu yazıcı ve robotik kodlama uygulamalarının yirmi birinci yüzyıl becerileri kullanım düzeyleri, STEM uygulamaları öğretmen öz yeterlilik düzeyleri ile STEM farkındalık düzeyleri üzerindeki etkisini belirlemeyi amaçlamıştır. 37 öğretmen adayı ile yürütülen araştırma sonucunda, STEM farkındalık düzeylerinin yanı sıra 21. yüzyıl öğrenen becerilerini kullanım düzeyleri ile birlikte STEM uygulamaları öğretmen öz yeterlilik düzeylerinde ön ve son test verileri arasında anlamlı düzeyde olumlu yönde bir farklılık tespit edilmiştir. Ayrıca araştırmaya katılan öğretmen adayları, STEM eğitimi kapsamında yapılan robotik kodlama ve 3 boyutlu yazıcı uygulamalarının fen bilimleri konularına olan ilgilerini ve tutumlarını arttırdığını belirtmişlerdir. Bununla birlikte katılımcılar, ilgili uygulamaların fen bilimleri konularına entegrasyonunda sıkıntı yaşanmayacağını ve araştırma kapsamında kullanılan uygulamaların öğretici, faydalı ve eğlenceli olduğunu ifade etmişlerdir.

Topçuoğlu (2022) araştırmasında kimya dersi kapsamında yer alan "Atom ve Periyodik Sistem" ile "Kimyasal Türler Arası Etkileşimler" üniteleri ile ilgili üç boyutlu tasarımların kullanıldığı bir öğretim gerçekleştirmiştir. Toplam beş hafta süren araştırmaya 9. sınıfta öğrenim gören 63 öğrenci katılmıştır. Deney ve kontrol grubunun yer aldığı araştırmada,

kontrol grubunda kimya dersi üç boyutlu model destekli olarak işlenirken, deney grubunda bu ders hem üç boyutlu model destekli olarak hem de üç boyutlu baskı teknolojisi öğretim programı çerçevesinde gerçekleştirilen üç boyutlu baskı teknolojisi uygulamaları ile işlenmiştir. Uygulama kapsamında hazırlanan öğretim programı kanalıyla deney grubu öğrencileri ile gerçekleştirilmiş program sonunda ise araştırmacı ile söz konusu deney grubu öğrencileri konu ile ilgili birçok üç boyutlu tasarım gerçekleştirmiş ve bu tasarlanan materyaller üç boyutlu yazıcı vasıtasıyla basılmıştır. Araştırma sonucunda elde edilen verilerden, uygulamaya katılan her iki gruptaki öğrencilerin kimya dersi ile ilgili başarılarında artış olduğu ortaya çıkarılmıştır. Bununla birlikte, gerçekleştirilen görüşmeler neticesinde deney grubunda yer alan öğrenciler gerçekleştirilen uygulamadan memnun olduklarını ve üç boyutlu malzeme tasarlamayı öğrendiklerini belirtmişlerdir. Araştırma sonucunda yapılan öneriler incelendiğinde ise araştırmacıların kimya dersi kapsamında geliştirilen bu uygulamaların farklı dersler kapsamında da gerçekleştirilebileceğini belirttikleri görülmektedir. Ayrıca araştırmacılar okullarda üç boyutlu tasarım ve baskının gerçekleştirilebileceği şekilde dizayn edilmiş sınıfların ya da laboratuvarların kurulması gerektiğini belirtmişlerdir.

Dağlı (2022) yaptığı çalışmada, uzaktan eğitim yoluyla 7. sınıf öğrencilerine üç boyutlu tasarım eğitimi vermiş ve bu öğrencilerin 3 boyutlu tasarım yapma becerilerini geliştirmeyi hedeflemiştir. Beş 7. sınıf öğrencisi üzerinde gerçekleştirilen çalışmada öğrencilerin tasarım, 3 boyutlu tasarım, 3 boyutlu yazıcıların kullanım alanları ve bu yazıcıların eğitimdeki etkileri hakkındaki görüşleri incelenmiştir. Çalışmada sonucunda, 3 boyutlu yazıcıların okullarda kullanılmasının öğrencilerin bazı ders ve konularda öğrenmelerini kolay ve kalıcı hale getirmede faydalı olacağı ve 3 boyutlu tasarım uygulamaları ile fen öğretim materyallerinin çeşitlendirilebileceği ifade edilmiştir.

Akgün (2022) gerçekleştirdiği çalışmada 3 boyutlu yazıcının yer aldığı STEM uygulamalarının 7. sınıf fen bilimleri dersinde tutum, akademik başarı ve motivasyona olan etkilerini incelemiştir. Toplam sekiz hafta süren çalışmada 62 öğrenci katılımcı olarak yer almıştır. Deney ve kontrol gruplarının yer aldığı çalışma sonucunda, gerçekleştirilen uygulamaların deney grubunda yer alan öğrencilerin akademik başarısının kontrol grubuna göre anlamlı ölçüde olumlu anlamda arttırdığı belirlenmiştir. Ayrıca çalışma sonucunda deney grubunda yer alan öğrencilerin tutum, motivasyon ve girişimcilik ile ilgili uygulanan test puanlarında da artışlar belirlenmiştir. Araştırmacı elde ettiği veriler ışığında

gerçekleştirdiği önerilerde ise öğretmenlere üç boyutlu yazıcılar ile ilgili seminerler verilebileceğini ve okullardaki teknolojik alt yapının benzer uygulamalar olarak sağlayacak şekilde geliştirilebileceğini belirtmiştir.

Yıldırım (2022)'ın araştırmasının temel amacı, üç boyutlu yazıcıların geometrik cisimler ile ilgili kazanımların öğretiminde kullanılmasının ortaokulda öğrenim gören öğrencilerin kavram tanımlarını ile kavram imajları üzerindeki etkilerini incelemektir. Bununla birlikte araştırmacı ortaokul öğrencilerinin üç boyutlu yazıcı destekli matematik öğretim süreci ve üç boyutlu yazıcılar ile ilgili düşüncelerini incelemeyi amaçlamıştır. Beşinci, altıncı ve sekizinci sınıfta öğrenim gören toplam 24 öğrenci ile yürütülen çalışmada, beşinci sınıf öğrencileriyle yaklaşık 10 ders saati altıncı ve sekizinci sınıf öğrencileriyle ise 15 ders saati üç boyutlu yazıcı destekli dersler gerçekleştirilmiştir. Araştırma sonucunda elde edilen verilerden üç boyutlu yazıcının geometri dersindeki geometrik cisimler kazanımlarının öğretiminde olduğu belirlenmiştir. Ayrıca üç boyutlu yazıcının dikdörtgenler prizmasının hacmi, aynı hacme sahip farklı geometrik cisimler, prototip olmayan örnekler, uygun olmayan örnekler, açınımlar gibi farklı konuların öğretiminde de yarar sağladığı belirlenmiştir. Çalışma sonucunda matematik dersi öğretiminde 3 boyutlu yazıcının kullanımı önerilmiştir.

Tejera, Galiç ve Lavicza (2025) gerçekleştirdikleri sistematik derleme çalışmasında, öğretmen eğitiminde üç boyutlu modelleme ve yazdırma entegrasyonunu inceleyerek mevcut uygulamaları ortaya çıkarmayı ve geleceğe yönelik öneriler sunmayı amaçlamışlardır. PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) yönergeleri izlenerek, 2023 yılına kadar yayımlanan çalışmalar için dört veri tabanında (ERIC, Web of Science, Scopus, IEEE Xplore) tarama yapılmıştır. Önceden belirlenmiş dahil etme ve hariç tutma ölçütlerine göre öğretmen adaylarını içeren çalışmalar seçilmiştir. Çalışmaların özelliklerini incelemek için içerik analizi, teknolojik, pedagojik ve alan bilgisi (TPACK) ile ilişkili temaları belirlemek ve çalışmalarda tanımlanan faydaları, zorlukları ve ihtiyaçları kategorize etmek için ise açık kodlamaya dayalı tematik analiz yapılmıştır. Seçilen 20 makaleden elde edilen sonuçlar, üç boyutlu modelleme ve yazdırma entegrasyonu beceri gelişimini, uygulamalı deneyimi ve katılımcıların etkileşimini artırabileceği; ancak kaynak yetersizliği, zaman kısıtları ve okullara entegrasyon ile ilgili zorluklarla karşılaşabileceği belirtilmiştir. Elde edilen bulgular sonucunda araştırmacılar, öğretmen adaylarını son zamanlarda ortaya çıkan ancak giderek daha fazla önem kazanan

bu teknolojiyi kullanmaya hazırlamak için, içerik, pedagojik ve teknolojik bileşenleri kapsayan, uygulamalı bir yaklaşımla üç boyutlu modelleme ve yazdırma ile ilgili eğitimlerin öğretmen eğitim programlarına entegre edilmesi gerektiğini vurgulamaktadır.

Tang ve Qian (2025) gerçekleştirdikleri çalışmada, kırsal kesimde yer alan öğrenciler ile gerçekleştirilen üç boyutlu baskı ile ilgili atölye oturumlarının öğrencilerin mühendisliğe yönelik algıları ve ilgisi üzerindeki etkisini araştırmışlardır. 16-18 yaş aralığında altı kız ve beş erkek olmak üzere toplam 11 lise öğrencisi gönüllü olarak çalışmaya katıldığı çalışma Amerika Birleşik Devletleri'nin güneydoğusundaki kırsal alanlarda bir lisede atölye gerçekleştirilmiştir. Öğrencilerin hiçbirinin daha önce 3 boyutlu baskı konusunda deneyiminin olmadığı çalışmada, öğrencilerin atölye oturumlarına katılmadan önce ve sonra kariyer hedeflerine ilişkin değişiklikler değerlendirilmiştir. Çalışma sonucunda elde edilen veriler, ilgili atölye oturumlarının kırsal kesimdeki öğrencilerin mühendisliğe yönelik kariyer hedeflerini etkilediğini ve 3 boyutlu baskı projelerine katılma deneyiminin, özellikle mühendislik ve tasarımla ilgili alanlarda öğrencilerin kariyer hedefleri üzerinde etkili olduğunu ortaya koymuştur. Ayrıca gerçekleştirilen görüşmeler sonucunda öğrencilerin sınıf içi öğrenmeyi gerçek yaşam bağlamlarıyla ilişkilendirdikleri, öğrenmelerinin yaşamları ve toplulukları için daha alakalı ve uygulanabilir olduğunu düşündükleri belirlenmiştir. Araştırmacılar çalışma sonucunda STEM alanlarına öğrencilerin sürdürülebilir katılım sağlayabilmesi için müfredatların kırsal öğrencilerin ilgi alanları ve toplumsal bağlamları ile uyumlu hale getirilmesinin önemli olduğunu belirtmişlerdir. Bu sayede öğrenmede bir sahiplenme duygusu geliştirilebileceğini ifade etmişlerdir.

Üç boyutlu yazıcılar son yıllarda özellikle tıp eğitimi alanında sıklıkla kullanılmaya başlamıştır. Henssen et. al. (2025) gerçekleştirdikleri çalışmada, bir Tıp Bilimleri Fakültesinde anatomi eğitiminde üç boyutlu baskı ve genişletilmiş gerçeklik (XR-extended reality) teknolojilerinin nasıl uygulanacağı konusunda bir ders düzenlemiş ve bu derse ilişkin sonuçları sunmuşlardır. Toplam 10 haftalık bir süreci kapsayan çalışmada öğrencilere radyolojik verilerden 3B modeller ile XR modelleri oluşturma konusunda eğitim verilmiştir. Ders, on iki sorudan oluşan bir anket kullanılarak değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde öğrencilerin oluşturulan sanal modelleri bilgilendirici ve oldukça motive edici buldukları ve gelecekteki anatomi eğitimine aktif olarak katılmalarına yardımcı olduğu belirlenmiştir.

Tıp eğitiminde üç boyutlu yazıcıların kullanıldığı bir başka çalışmada ise Smail et al. (2025), kesi ve dikiş eğitimi için Polyjet teknolojisiyle üretilen yeni bir üç boyutlu yazıcı simülatörünü değerlendirmişlerdir. 27 lisans öğrencisi, 19 lisansüstü öğrencisi ve 23 uzman çene cerrahı olmak üzere toplam 69 katılımcının yer aldığı çalışma sonucunda katılımcılar genel olarak yüksek bir memnuniyet seviyesi bildirmiş, görsel gerçekçilik ve eğitimsel ilgi alanlarında özellikle kullanılan teknoloji yüksek puanlar almıştır. Çalışma sonucunda 3 boyutlu baskı veren bu simülatörlerin, etik açıdan bir alternatif sunduğu, mükemmel görsel doğruluk ve güçlü bir eğitim değeri sağladığı ifade edilmiştir. Ayrıca araştırmacılar bu tip araçların yenilikçi diş hekimliği eğitiminde cerrahi eğitimi iyileştirme konusunda umut verdiğini belirtmiştir.

Gul ve Yalinkilic (2025) gerçekleştirdikleri çalışmada, üç boyutlu baskı modellerinin kullanımının öğrencilerin ‘Canlı Organizmalarda Biyomoleküller’ konusunu öğrenmeleri üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Bu amaçla çalışma, 2023-2024 eğitim-öğretim yılında bir devlet lisesine devam eden 61 dokuzuncu sınıf öğrencisi (kontrol grubu 32 ve deney grubu 29 öğrenci) ile yürütülmüştür. Elde edilen bulgular, deney grubundaki (üç boyutlu yazdırma modelleri) öğrencilerin başarı düzeylerinin, 9 haftalık bir eğitimin ardından kontrol gruplarındaki (üç boyutlu yazdırma yapılmayan modeller) öğrencilere kıyasla istatistiksel olarak daha yüksek olduğunu göstermiştir. Ayrıca bulgular, öğrencilerin kalıcılık testlerindeki puanlarında deney grubu lehine istatistiksel olarak anlamlı bir fark olduğunu göstermiştir. Benzer şekilde, öğrenci görüşmeleri sonucunda, üç boyutlu modellerin öğrencilerin çoğu tarafından ilgi çekici, merak uyandıran, bilginin akılda kalıcılığını artıran, konuyu somutlaştıran ve öğrenmeyi kolaylaştıran materyaller olarak değerlendirildiği belirlenmiştir.

Çetin ve ark. (2025) gerçekleştirdikleri çalışmada lisans seviyesinde yer alan fen öğretimi ve laboratuvar uygulamaları 2 dersi kapsamında 3 boyutlu yazıcı destekli olarak gerçekleştirilen proje uygulamalarının fen bilgisi öğretmen adaylarının materyal geliştirme öz-yeterlik inanç düzeyleri ve bilimsel yaratıcılık düzeyleri üzerindeki etkisini araştırmışlardır. 14 hafta süren uygulama sonucunda öğretmen adaylarının, bilimsel yaratıcılık ve materyal geliştirmeye yönelik öz-yeterlik inançlarının son test lehine anlamlı biçimde farklılaştığı belirlenmiştir. Bilimsel yaratıcılık ölçeğinden alınan puanların ilgili ölçeğin alt boyutları açısından değerlendirilmesi sonucunda ise öğretmen adaylarının orijinallik, esneklik ve akıcılık alt boyutlarında son test puanlarının ön test puanlarına göre

anlamalı biçimde artış gösterdiği fakat işlevsellik alt boyutu açısından ön test ve son test puanları arasında anlamlı bir farklılık tespit edilemediği ifade edilmiştir.

2.2 Optik Konusundaki Kavram Yanılgılarını Belirlemeye Yönelik Çalışmalar ve Sonuçları

Kaplan (2017) çalışmasında altıncı sınıfta öğrenim görmekte olan öğrencilerin ışık ve ses konusundaki kavram yanılgılarını ortaya çıkarmayı amaçlamıştır. Bu amaçla çalışma kapsamında kavram testinin yanı sıra kavram karikatürleri ile birlikte yarı yapılandırılmış görüşmeler kullanılmıştır. 6.sınıfta öğrenim gören öğrenciler ile yürütülen çalışmada toplam kavram testi uygulanan öğrenci sayısı 245 iken ve kavram karikatürü uygulanan öğrenci sayısı 86'dır. Bu iki testin dışında 6 öğrenci ile de görüşme gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonucunda elde edilen optik kavramları ile ilgili sonuçlar şu şekildedir:

- Öğrenciler yansımanın ne olduğunu ve nasıl gerçekleştiğini tam olarak bilmemektedirler. Ayrıca yapılan görüşmeler sonucunda öğrencilerin yansıma kanunları ve düzgün yansıma ve dağınık yansıma gibi yansıma çeşitleri ile ilgili kavram yanılgılarının olduğu belirlenmiştir.
- Cisimlerin görülebilmesi için ışığın gerekli olduğu öğrenciler tarafından tam olarak anlaşılmamaktadır. Öğrenciler genel olarak bir cismin görülebilmesi için ışığın ortamda olması gerektiğini belirtse de karanlık olan ortamlarda cisim ve arka planı zıt olduğunda cismin görülebileceğini belirtmişlerdir.
- Öğrenciler aydınlık olan ortamlarda beyaz cisimleri görmenin nispeten güç olduğunu ifade etmişlerdir.
- Bazı öğrencilerin görme olayını açıklarken gözü bir ışık kaynağı olarak düşündükleri belirlenmiştir. Öğrenciler görme olayını cisimden yansıyan ışık ışınları yerine gözden çıkan ışık ışınları ile açıklamaya çalışmıştır.
- Öğrencilerin %14'ü ışığın boşlukta yayılmayacağını düşünmektedirler.
- Öğrencilerin ışık tanımları incelendiğinde ise elektrik ile ışığın birbiri ile sıklıkla ilişkilendirildiği ve "Çevremizi görmeye yarayan, düzgün yüzeylerden düzgün yansıyan bir tür elektrik kaynağıdır." cevabının öğrenciler tarafından verildiği belirlenmiştir.

Çalışma sonucunda ortaya konulan önerilerde, öğrencilere halihazırdaki kavramsal anlamalarının yetersiz olduğunu hissettirecek biçimde dizayn edilen öğrenme ortamları ile birlikte öğretim materyallerinin ve ölçme araçlarının hazırlanması gerekliliği üzerinde

durulmuştur. Ayrıca öğretmenlerin bilgiyi ezberletmek yerine, günlük yaşamda yer alan örnekler ve deneyler ile öğrencilerin bilgiyi zihinlerinde oluşturmalarına imkân sağlaması gerektiği belirtilmiştir.

Aydın (2007) gerçekleştirdiği çalışmada Fen Bilgisi öğretmenliğinde öğrenim gören öğrencilerin geometrik optik konusu ile ilgili kavram yanlışlarını ortaya çıkarmayı ve tespit ettiği ilgili kavram yanlışlarını kavramsal değişim metinleri kullanarak ortadan kaldırmayı amaçlamıştır.

Çalışmadan elde edilen veriler değerlendirildiğinde, geometrik optik konusunda öğrencilerin sahip oldukları kavram yanlışlarını ortadan kaldırma konusunda geleneksel yöntemle kıyasla kavramsal değişim metinlerinin etkili olduğu ortaya konmuştur. Çalışma kapsamında öğrencilerde optik kavramları ile ilgili tespit edilen kavram yanlışları şu şekildedir:

- Işık ortam değiştirdiğinde (kırılma indisi farklı bir ortama geçtiğinde), şiddeti, dalga boyu ve hızı değişmez, frekansı değişir.
- Karanlık bir odada bir cismin aynadaki görüntüsünün görülebilmesi için aynanın aydınlatılması (ışık tutulması) gerekir.
- Karanlık bir odada bir cismin aynadaki görüntüsünün görülebilmesi için hem aynanın hem de cismin aydınlatılması (ışık tutulması) gerekir.
- Bir cismin aynadaki görüntüsü gözden giden ışık ışınları sayesinde oluşur.
- Bir cismin düzlem aynadaki görüntüsü gözlemcinin aynaya olan uzaklığı ile değişir.
- Bir cismin aynada meydana gelen görüntüsü her zaman gözlemcinin tam karşısında meydana gelir.
- Rastgele bir doğrultuda tümsek aynaya gelen ışık ışını aynadan kırılır ve bu şekilde yoluna devam eder.
- Bir ışık kaynağından çıkıp çukur aynaya rastgele bir doğrultuda ulaşan ışık ışını çukur aynada kırılıp aynı yönde ve doğrultuda ilerler.
- Bir ışık kaynağından çıkarak çukur aynanın tepe noktasına gelen ışık ışını, çukur aynanın arkasına doğrultu değiştirmeden geçer.
- Siyah cismin düzlem aynada görülmesinin sebebi bu cismin ışık yaymasıdır.
- Siyah cisim ışığı soğurduğundan dolayı düzlem aynada görüntüsü meydana gelmez.
- Tümsek ayna önünde yer alan nesnenin görüntüsü ters ve gerçek biçimde meydana gelir.

- Bir akvaryum içinde yer alan balığa dik bir doğrultuda bakıldığında balığın görüldüğü konum gerçek konumundan daha uzaktadır ya da aynı konumdadır.
- Bir ışık kaynağından çıkıp bir ince kenarlı mercek üzerine rastgele doğrultuda düşen ışık ışını, asal eksene paralel biçimde kırılacaktır.
- Bir ışık kaynağından çıkıp bir kalın kenarlı merceğe odak noktasının yarısı doğrultusunda düşen ışık bir ışını kalın kenarlı merceğin odak noktasından geçerek kırılacaktır.

Anıl ve Küçüközer (2010) gerçekleştirdikleri araştırmada dokuzuncu sınıfta öğrenim gören öğrencilerin düzlem ayna ile ilgili ön bilgilerinin yanı sıra ve kavram yanılgılarını da ortaya çıkarmayı hedeflemiştir. “Aynalar Ünitesi Kavramsal Anlama Testi” ile “Yarı Yapılandırılmış Görüşme Formları”ndan elde edilen veriler değerlendirildiğinde öğrencilerin aşağıdaki düşüncelere sahip oldukları belirlenmiştir:

- Gözlemcinin yerine bağlı olarak görüntünün yerinin değişir.
- Görüntü, gözlemcinin bulunduğu noktanın tam karşısında oluşur.
- Gözlemcinin yeri değiştiğinde görüntünün büyüklüğü değişir.
- Görüntünün oluşabilmesi için gözlemci ile cismin aynı doğrultuda olmalıdır.
- Cisimlerin görüntüsü aynaya bakıldığında belirir, aynaya bakılmadığında görüntü oluşmaz.
- Düzlem ayna cisimleri ters gösterir.
- Düzlem aynada oluşan görüntü gerçektir.
- Görüntünün aynaya uzaklığı cismin aynaya olan uzaklığından büyüktür.
- Düzlem aynada görüntü aynanın önünde oluşur.
- Aynaya yakın olan cisimlerin görüntüsü aynanın üstünde oluşur.
- Aynaya uzak olan cisimlerin görüntüsü aynanın içinde oluşur.
- Görüş alanı ayna büyüdükçe küçülür, ayna küçüldükçe büyür.
- Ayna büyüdükçe görüntü büyür.
- Görüş alanı aynanın büyüklüğüne bağlı değildir.
- Görüş alanı aynaya yaklaştıkça küçülür, uzaklaştıkça büyür.
- Görüş alanı gözlemcinin aynaya olan uzaklığına bağlı değildir.
- Gözlemci aynadan uzaklaştığında cisimlerin görüntüsü küçülür, yaklaştığında büyür.

Kaçan (2008) gerçekleştirdiği çalışmasının bir bölümünde dokuzuncu sınıf öğrencilerinin Işık kavramı ile ilgili kavram yanlışlarını ortaya çıkarmayı hedeflemiştir. Çalışma sonucunda öğrencilerde ışık konusu ile ortaya çıkan kavram yanlışları şu şekildedir:

- Işık hızı ışık kaynağı büyüklüğüne bağlı olarak değişir.
- Işık gündüz yayılmaz.
- Işık gece yayılmaz.
- Işık boşlukta yayılmaz.
- Işık hızı gece ve gündüz olma durumuna bağlı olarak farklı değerler alır.
- Hava olmayan yerde ışık yayılmaz.
- Işık suda yayılmaz.
- Işık hareketi ışık kaynağının hareketidir. Durgun ışık kaynağından üretilen ışık hareket etmez.
- Gözden çıkan ışınlar cisme ulaştınca görme oluşur.

Özdemir (2024) yılında yaptığı çalışmada, ortaokulda öğrenim gören öğrencilerin ışık ve ses kavramlarındaki bilgi seviyelerini belirlemeyi ve bu bilgilerin 2013 ve 2018 Fen Bilimleri Dersi Öğretim Programlarına göre değişimini ortaya koymayı hedeflemiştir. Çalışma kapsamında öğrencilerin ışığın özellikleri ile ilgili olarak:

- Katı cisimlerden geçemez.
- Boşluktan geçemez.
- Engelle karşılaşmazsa sonsuza kadar gider.
- Uzayda yayılmaz.
- Sesten yavaştır.
- Enerji değildir.
- Elektrikle oluşur.
- Titreşimle oluşur.

Kavram yanlışlarına sahip oldukları ortaya çıkarılmıştır. Bununla birlikte sonuç kısmında 2013 ve 2018 programlarının öğrencilerin ışık konusundaki bilgilerini artırmada başarılı olduğu fakat kavram yanlışlarını ortadan kaldırmada yeterli olmadığı belirtilmiştir.

Ahçı (2012) gerçekleştirdiği çalışmada yükseköğretim düzeyinde optik dersi almış üniversite öğrencilerinin optik ve ışık konularındaki kavramsal anlamalarını belirlemeyi amaçlamıştır. Dört farklı üniversitenin Eğitim ve Fen-Edebiyat fakültelerinde öğrenim gören

toplam 252 üniversite öğrencisiyle yürütülen çalışmada gölge oluşumu, yansıma, ince kenarlı ve kalın kenarlı mercekler, kırılma, polarizasyon, tek yarıktaki kırınım ve çift yarıktaki girişim konularını kapsayan optik kavram testi veri toplama aracı olarak kullanılmıştır. Çalışma kapsamında elde edilen veriler, örnekleme yer alan öğrencilerin ışık ve optik konularında (gölge oluşumu, yansıma, ince kenarlı ve kalın kenarlı mercekler, kırılma, polarizasyon, tek yarıktaki kırınım ve çift yarıktaki girişim) birçok probleminin olduğunu ve öğrencilerin düşük kavramsal anlama düzeylerine sahip olduğunu ortaya koymuştur. Bu düşük kavramsal anlama düzeylerinin sebebi olarak da öğrencilerin kavram yanılgılarına sahip olmaları belirtilmiştir. Çalışma kapsamında öğrencilerin optik ve ışık konularında sahip oldukları kavram yanılgıları şu şekilde ifade edilmiştir:

- Düzlem aynanın önünde duran bir cismin görüntüsü düzlem aynanın önünde ya da yüzeyinde oluşur.
- Cisimlerin düzlem aynadaki görüntülerinin boyu ile cismin boyu farklıdır.
- Gözlemcinin yerinin değişmesiyle görüntünün yeri değişir.
- Cismin aynaya olan uzaklığının değişirse görüntünün boyu değişir.
- Kalın kenarlı mercekler ışığı toplamak için kullanılır.
- Kalın kenarlı mercekler cisimleri büyötmek için kullanılır.
- Tam yansıma, ışın az yoğun ortamdan çok yoğun ortama geçerken gerçekleşir.
- Merceğin bir kısmı ışığı geçirmeyen bir bezle kapatıldığında yansıma olmayacağı için görüntü oluşmaz.

Ayrıca çalışma kapsamında elde edilen veriler, öğrencilerin gölge oluşumunda ışın çizimiyle ilgili yanılgılarının olduğunu göstermiştir. Bunun dışında özellikle girişim ve kırınım ile ilgili de öğrencilerin; iki noktasal kaynaktan çıkan dalgalar için aynı fazda ve zıt fazda olmayı açıklama, yapıcı girişim ve yıkıcı girişimin oluştuğu noktayı belirleme konusunda problem yaşadıkları ortaya konmuştur. Benzer şekilde öğrenciler ince ve kalın kenarlı merceklerde görüntü oluşumunu belirleme ve odak uzaklığı kavramı ile polarizasyon kavramını açıklamada sorun yaşamaktadırlar. Bunlarla birlikte gözün görme prensibini tam olarak algılayamayan öğrencilerin görme kusurlarının düzeltilmesi ile ilgili optik sistemlerin kullanımını açıklamada zorlandıkları belirlenmiştir.

Eren (2019) çalışmasında sınıf öğretmenliği programında öğrenen gören üniversite öğrencilerinin geometrik optik konusu ile ilgili kavram yanılgılarını belirlemeyi

amaçlamıştır. 528 sınıf öğretmeni adayı üzerinde gerçekleştirilen çalışmada ölçüm aracı olarak Dört-Aşamalı Geometrik Optik Kavram Yanılgısı Testi kullanılmıştır. Elde edilen verilerden, örnekleme yer alan öğretmen adaylarının geometrik optik ile ilgili olarak düzlem ayna görüntülerinin yanı sıra gölge ve ışık görüntüleri konularında zayıf düzeyde kavramsal anlamaya sahip oldukları belirlenmiştir. Bununla birlikte öğretmen adaylarında ilgili konularda aşağıdaki 7 kavram yanılgısının bulunduğu tespit edilmiştir:

- Her bir ışık kaynağı flash ışık ışınları gibi yalnızca tek bir yönde ışık yaymaktadır.
- Daha büyük bir ampul ışık kaynağı olarak tercih edilirse, cisimlerin gölgesinin netliği artacaktır.
- Yalnızca ışık kaynağı olmayan nesnelerin gölgesi olur, gölgelerin şekilleri her zaman cismin şekline benzer.
- Bir cismin düzlem aynadaki görüntüsü cisim ile gözlemciyi birleştiren bakış doğrultusu boyunca ve aynanın arkasındaki bir yerde oluşur.
- Siyah bir cismin düzlem aynada görüntüsünün meydana gelmesinin sebebi, bu cisimden seken siyah ışınlardır.
- Gözlemci, düzlem aynanın önünde bulunan bir cismin görüntüsünü, bu cisme baktığı doğrultu üzerinde görecektir. Gözlemcinin bakış açısı değiştiği zaman görüntünün yeri de değişecektir. Sonuç olarak görüntünün yeri, gözlemcinin bakış açısına bağlıdır.
- Bir cismin düzlem aynadaki görüntüsü, gözlemcinin tam karşısında ve ayna arkasında oluşur.

Ozdemir ve ark. (2020) farklı bir bakış açısı ile yaklaşarak öğrencilerin dışında optisyenlerin optik ile ilgili kavramlar hakkındaki kavramsal anlama düzeylerini ve kavram yanılgılarını araştırmışlardır. Bu kapsamda çalışmada veriler Türkiye'nin çeşitli bölgelerinde bulunan optik mağazalarında çalışan 203 optisyenden toplanmıştır. Çalışma kapsamında yer alan tüm katılımcıların üniversite eğitimleri esnasında Fizik ve Optik Fizik derslerini aldığı belirtilmiştir. Veri toplama aracı olarak açık uçlu sorular, kavram karikatürleri ve ışık ve optik kavramsal değerlendirme testinin uygulandığı çalışma sonucunda elde edilen sonuçlar başlıklar halinde sunulmuştur.

Düzlem aynada görüntü oluşumu ile ilgili optisyenler, aynaya gönderilen ışınlar yardımıyla düzlem aynada görüntünün yerini çizerken zorluk yaşamaktadır. Bu konuda genellikle aşağıdaki yanlış düşüncelere sahiptirler:

- Düzlem aynadaki görüntü aynanın önünde oluşur.
- Görüntü, cismin kendisinden daha küçüktür.
- Gözlemcinin yerinin değişmesine bağlı olarak görüntünün yeri de değişir.

İnce ve kalın kenarlı merceklerin odak uzaklıkları konusunda optisyenler, bir merceğin optik gücü ile geometrik şekli arasındaki ilişkiyi kavramakta güçlük yaşamaktadır. Bu bağlamda genellikle aşağıdaki yanlış düşüncelere sahiptirler:

- Plano-konveks / plano-konkav merceklerin optik gücü ve büyütmesi, çift taraflı konveks (bikonveks) / çift taraflı konkav (bikonkonkav) merceklerden daha fazladır.
- Plano-konveks / plano-konkav merceklerin odak uzaklığı, bikonveks / bikonkonkav merceklerden daha kısadır.
- Konkav merceklerin optik gücü, kenar kalınlığı azaldıkça artar.
- Konkav merceklerin odak uzaklığı, kenar kalınlığı azaldıkça kısalmır.
- Miyopi kırma kusurunun düzeltilmesinde plano-konveks mercek kullanılır.

Snell Yasasının uygulamaları ile ilgili olarak optisyenler, şu yanlış düşüncelere sahiptirler:

- Daha büyük kırılma indisine sahip bir ortamdan daha küçük kırılma indisine sahip bir ortama geçen ışın, normale yaklaşır ya da hiç kırılmadan geçer.
- Aynı kırılma indisine sahip ortamlarda ışık ışınları normale uzaklaşarak kırılır.
- Aynı kırılma indisine sahip ortamlardan geçen ışık ışınları tam yansıma yapar.

Kırılma kusuru konusu, optisyenlerin en yüksek oranda doğru yanıt verdiği konu olarak belirlenmiştir. Ancak buna rağmen bazı optisyenler, miyopinin düzeltilmesinde konveks merceklerin, hipermetropinin düzeltilmesinde konkav merceklerin kullanıldığını düşünmektedir.

İnce ve kalın kenarlı merceklerde görüntü özellikleri ve oluşumu ile ilgili olarak optisyenlerin, mercek denklemlerini dikkate almadığı ve yeterli deneysel tecrübeye sahip olmadıkları belirlenmiştir. Optisyenlerin bu konuda aşağıdaki yanlış düşüncelere sahip olduğu belirlenmiştir:

- Kalın kenarlı mercekte ters görüntü oluşur.

- Bir cisim ince kenarlı merceğin odak noktası ile merkezi arasında yer aldığında ters görüntü oluşur.
- Merceğin optik merkezi opak yuvarlak bir bant ile kapatıldığında görüntü tamamen kaybolur.

Optisyenlerin ideal polarize filtreler konusunda yetersiz bilgiye sahip oldukları görülmüştür. Ayrıca girişim ve kırınım konularında üst üste binme (süperpozisyon) ilkesini ve faz kavramını tam olarak kavrayamadıkları belirlenmiştir.

Gölge oluşumu konusunda ise optisyenler, noktasal ışık kaynağının üçgen bir yarıktan geçerek görüntü oluşturmaya ilişkin soruya doğru yanıt vermektedir. Ancak ince ve uzun bir ışık kaynağı için benzer bir soruda yanlış yanıtlar vermektedirler. İnce ve uzun bir ışık kaynağının üçgen bir yarıktan geçmesiyle oluşan görüntünün ters ve yamuk şeklinde olduğunu düşünülmektedir.

3. YÖNTEM

Fen bilgisi ve fizik dersi kapsamında optik öğretiminde yer alan deneylerin üç boyutlu yazıcı kullanılarak etkili ve düşük maliyetli bir biçimde gerçekleştirilmesi için bir deney düzeneği geliştirilmesinin amaçlandığı çalışmanın bu bölümünde çalışmada kullanılan programlar, yazıcı, filament ve diğer malzemeler ile ilgili detaylı bilgiler yer almaktadır.

3.1 Çalışmanın Modeli ve Uygulanan Basamaklar

Gerçekleştirilen çalışma bir materyal geliştirme çalışmasıdır. Bu kapsamda çalışmada izlenen basamaklar Şekil 3.1’de verilmiştir.



Şekil 3.1: Çalışma kapsamında izlenen basamaklar

3.2 Deney Düzeneği Tasarımında Kullanılan Programlar

Bu çalışma kapsamında iki farklı program kullanılmıştır. Bu programlardan ilkinden (Blender) deney düzeneğinde yer alan parçaların 3 boyutlu olarak modellenmesinde, ikincisinden (Crealty Print) ise yazıcı kullanılarak modellerin basılması esnasında yararlanılmıştır.

3.2.1 Blender

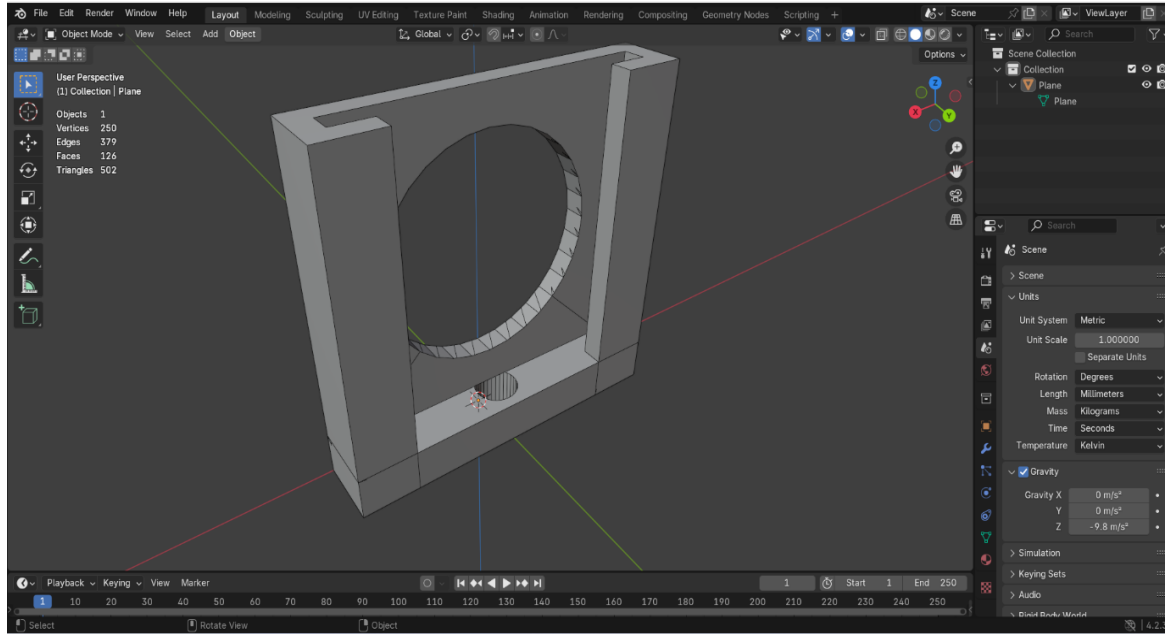
Bu çalışmada, optik konularına yönelik deney düzeneğinin tasarım sürecinde açık kaynaklı bir üç boyutlu (3B) modelleme yazılımı olan Blender kullanılmıştır. Blender, 3 boyutlu nesne modelleme, animasyon, simülasyon ve görselleştirme gibi çok işlevli bir arada sunan bir yazılım paketidir. İlk olarak 1995 yılında geliştirilen Blender (Blender, 2025), özellikle son yıllarda mühendislik (Amirkhanov et al., 2025), mimarlık (Dash et al., 2024), sanat (Şengünel ve Sarihan, 2024) ve eğitim (Ramos and Oliveira, 2023) alanlarında yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Gerçekleştirilen bu çalışma özelinde, öncelikle düşünsel olarak tasarlanan ve ardından kâğıda aktarılan deney düzeneğinin, dijital ortama geçirilmesi ve elde edilen bu tasarımların üretime uygun biçimde modellenmesi sürecinde önemli bir araç olarak kullanılmıştır. Çalışma kapsamında Blender yazılımının tercih edilmesindeki temel nedenler arasında;

- Tamamen ücretsiz ve açık kaynak kodlu olması,
- Kullanıcı topluluğu tarafından sürekli olarak güncellenmesi,
- STL ve OBJ gibi üç boyutlu yazdırma formatlarını desteklemesi,
- Öğretmenler ve öğrenciler tarafından çok zorlanılmadan öğrenilebilecek bir arayüze sahip olması ve
- Yüksek düzeyde özelleştirilebilir araç setlerini bulundurmasıdır.

Blender'in yukarıda bahsi geçen bu özellikleri sayesinde öğretim ortamlarında kullanılacak kişiselleştirilebilir ve nispeten düşük maliyetli ayrıca işlevsel deney materyalleri üretmek mümkün hale gelmektedir.

Bu araştırma kapsamında geliştirilen deney düzeneği, Blender ortamında oluşturulan ölçülü teknik çizimler ve 3 boyutlu modellemeler temel alınarak tasarlanmış ve 3 boyutlu yazıcıda üretilmiştir. Modelleme sürecinde, öncelikle deneylerde kullanılacak optik malzemelerin geometrik özellikleri (ebatlar, eğim vb.) dikkate alınarak tasarımlar gerçekleştirilmiştir. Bununla birlikte, bağlantı noktalarının ve bağlantı parçalarının modellenmesinde de tüm parçaların birbiri ile uyumlu olmasına özen gösterilmiştir. Modelleme işlemi tamamlanan tasarımlar ardından STL dosyası olarak kaydedilmiş ve çalışma kapsamında kullanılan bir diğer program olan Creality Print programı ile yazdırılabilir hale dönüştürülmüştür.

Modelleme esnasında kullanılan Blender programına ait örnek ekran görüntüsü Şekil 3.2’de verilmiştir.



Şekil 3.2: Blender örnek çizim ekranı

Blender’ın detaylı modelleme özelliği sayesinde tasarlanan nesnelere üzerinde milimetre düzeyinde ölçü kontrolü sağlanmıştır. Bu sayede çizimler 3 boyutlu yazıcıya aktarıldığında yüksek doğrulukta çıktılar alınmasına olanak tanınmıştır.

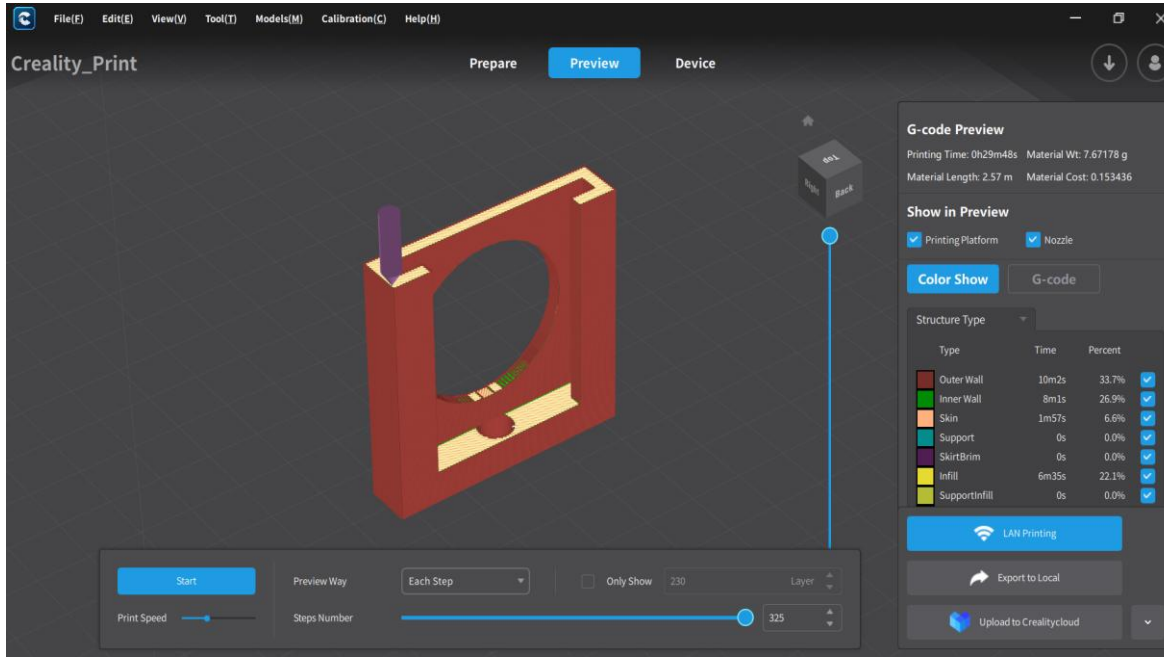
Tüm bahsedilen bu özelliklerin dışında, Blender sayesinde gerçekleştirilen tasarımların görselleri bilgisayar ortamına kaydedilebilmektedir. Bu sayede görsellerin deney düzenine kullanım kılavuzlarının hazırlanmasında ve öğrencilere yönelik öğretim materyallerinde destek sağlaması mümkün olmaktadır. Eğitim materyallerinde kullanılan bu tür dijital görsellerin, öğrenme sürecine olumlu katkı sağladığı; soyut kavramların görselleştirilmesi sayesinde öğrencilerin konuya yönelik ilgilerinin ve kavramsal anlamalarının arttığı daha önceki çalışmalarda da belirtilmiştir.

Sonuç olarak, Blender yazılımı bu tez çalışmasında deney düzenine hem tasarım hem de öğretim materyali üretimi süreçlerinde etkili bir biçimde kullanılmış; düşük maliyetli, erişilebilir ve sürdürülebilir öğretim materyallerinin geliştirilmesine katkı sağlamıştır.

3.2.2 Creality Print

Bu çalışmada, Blender yazılımında tasarlanan üç boyutlu (3B) optik deney düzeneği parçalarının fiziksel çıktıya dönüştürülmesi sürecinde Creality Print yazılımı kullanılmıştır. Creality Print, Creality firmasının 3B yazıcıları için geliştirdiği, kullanıcı dostu arayüzü ve güçlü dilimleme (slicing) algoritmaları ile öne çıkan bir dilimleme yazılımıdır. 3B yazdırma sürecinin temel adımlarından biri olan dilimleme, dijital ortamda tasarlanan modellerin, yazıcının anlayabileceği “G-code” komutlarına dönüştürülmesini sağlar. Bu bağlamda Creality Print, yazıcının katman katman ilerlemesini belirleyen ayarların optimize edilmesinde etkili bir araç olmuştur.

Creality Print yazılımı; katman yüksekliği, doluluk oranı (infill), baskı hızı, destek yapıları (support structures) ve yapı yüzeyi (build plate adhesion) gibi parametrelerin detaylı şekilde özelleştirilmesine olanak tanımaktadır. G code oluşturulması esnasında kullanılan Creality Print programına ait örnek ekran görüntüsü Şekil 3.3’te verilmiştir.



Şekil 3.3: Creality Print örnek dilimleme ekranı

Bu çalışmada, deney düzeneğinde yer alan optik elemanların geometrik hassasiyetinin korunması amacıyla her parçanın fiziksel özellikleri ve maliyet açısından kullanılacak filament miktarı göz önüne alınarak farklı katman yükseklikleri, doluluk oranları ve destek sistemleri kullanılarak dilimleme işlemleri gerçekleştirilmiştir. Çalışma sırasında kullanılan genel katman yüksekliği 0.2 mm, doluluk oranı ise %15.00'tir. Bazı eğimli yapıların

basılmasında ise destek yapı sistemler kullanılmıştır. Özellikle eğimli yüzeylere sahip optik parçaların yazdırılmasında, destek yapıların doğru yerleştirilmesi hem baskı kalitesini artırmış hem de yüzey düzgünlüğünün korunmasına katkı sağlamıştır. Bu ayarların seçimi esnasında dikkat edilen parametrelerden bir tanesi de baskı süresinin verimli kullanılmasıdır.

Creality Print'in baskı ön izleme (preview) özelliği ile dilimlenen modelin yazıcı tarafından nasıl üretileceği katman katman izlenebilmiş; bu sayede olası hata ya da gereksiz malzeme kullanımı baskı öncesinde tespit edilerek düzeltme yapılabilmektedir. Böylece hem yazdırma maliyetleri düşürülmüş hem de sürecin tekrarlanabilirliği artırılmıştır.

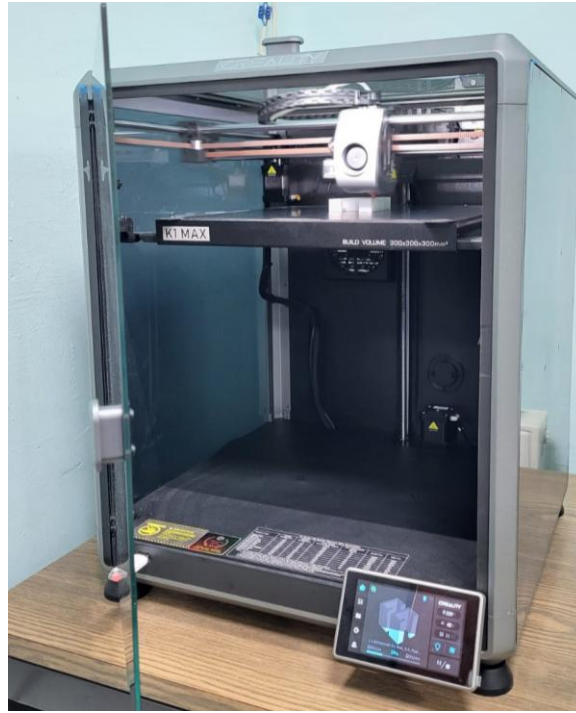
Ayrıca, tez kapsamında üretilen tüm parçalara ait STL dosyaları ve "G-code"lar öğretmen öğrenci ve akademisyenlerin yararlanmasından Google Drive üzerinde depolanmıştır. Bu açıdan isteyen araştırmacılar daha sonra ilgili dosyalarda modeller üzerinde değişiklikler yapabilir ya da doğrudan STL dosyalarını kullanarak modellerin doluluk oranı, katman yüksekliği gibi parametrelerini değiştirerek istedikleri biçimde dilimleyip kendi 3 boyutlu yazıcıları ile yazdırabilirler. Creality Print'in, Creality K1 Max 3B yazıcısı ile tam uyumlu çalışması, kullanıcıdan minimum manuel müdahale ile yüksek kalitede çıktılar alınmasını mümkün kılmıştır. Yazılımın sunduğu yazıcı profilleri, sıcaklık ve hız gibi parametrelerin otomatik olarak önerilmesini sağlamış; bu da özellikle eğitim ortamlarında teknik bilgi seviyesi sınırlı olan kullanıcılar için kullanım kolaylığı oluşturmuştur.

Sonuç olarak, Creality Print yazılımı bu çalışma kapsamında dijital modelden fiziksel prototipe geçişin güvenilir ve verimli biçimde gerçekleştirilmesini sağlamış; optik dersi ile ilgili tasarlanan öğretim materyallerinin hızlı, hatasız ve kaliteli şekilde üretimine olanak tanımıştır.

3.3 Yazıcı (Creality K1 Max)

Bu çalışmada, optik konularına yönelik deney düzeneğinin tüm bileşenlerinin üretilmesinde Creality K1 Max model 3B yazıcı kullanılmıştır (Şekil 3.4). Creality K1 Max, yüksek hızda baskı kapasitesi, geniş baskı hacmi ve ileri düzey kullanıcı dostu arayüzü ile eğitimde materyal üretimi açısından önemli avantajlar sunmaktadır. Bu yazıcı, özellikle STEM (Science, Technology, Engineering and Mathematics) eğitimlerinde öğretim materyallerinin özelleştirilmiş biçimde üretilmesine olanak tanıyan güçlü bir araç olarak kabul edilmektedir.

Creality K1 Max'in tercih edilmesinin başlıca gerekçeleri arasında; $300 \times 300 \times 300$ mm boyutlarında geniş baskı hacmi, maksimum 600 mm/s baskı hızı, otomatik tabla kalibrasyonu (auto leveling), doğrudan ekstrüzyon sistemi ve gelişmiş soğutma mekanizması yer almaktadır. Bu özellikler, deney düzeneğinde yer alan büyük boyutlu ya da karmaşık geometrik yapılara sahip (örneğin alüminyum profil üzerinde sistemin hareketini sağlayan bağlantı parçaları gibi) elemanların hızlı, hatasız ve detaylı biçimde üretilmesini mümkün kılmıştır.



Şekil 3.4: Çalışma kapsamında kullanılan Creality K1 Max

Yazıcının yüksek baskı hızı, araştırma sürecinde zaman yönetimini olumlu yönde etkileyerek tasarlanan parçaların kısa süre içinde somutlaştırılmasını sağlamıştır. Ayrıca otomatik tabla kalibrasyonu özelliği, baskı öncesi manuel ayarlama gereksinimini ortadan kaldırarak her baskıda yüksek yüzey kalitesi elde edilmesine katkıda bulunmuştur. Creality K1 Max'in sunduğu doğrudan ekstrüzyon sistemi, filament akışının daha hassas kontrol edilmesini sağlayarak özellikle yüksek çözünürlükte baskılar alınmasına olanak tanımıştır. Ayrıca yazıcının kapalı kabin yapısı ve yüksek sıcaklık stabilitesi, baskı sırasında malzemenin büzüşme ve katman ayrılması gibi sorunlarını minimize etmiştir.

Sonuç olarak, Creality K1 Max model 3B yazıcı, fizik öğretiminde kullanılmak üzere geliştirilen deney düzeneğinin uygun maliyetli, etkin, hızlı ve yüksek hassasiyette üretilmesini mümkün kılmış; böylece öğrenme ortamlarına somut ve işlevsel öğretim materyallerinin kazandırılmasına önemli katkı sağlamıştır.

3.4 Filamet (Hyper PLA)

Bu çalışmada deney düzeneğine ait 3 boyutlu modellerin üretiminde, Creality firmasının geliştirdiği beyaz renkte Hyper PLA (Polilaktik Asit) filament tercih edilmiştir. PLA, biyo-bozunur yapısı, düşük çevresel etkisi ve kullanıcı dostu baskı parametreleri nedeniyle eğitim ortamlarında sıklıkla tercih edilen bir termoplastiktir. Özellikle Creality Hyper PLA, geleneksel PLA filamentlerine kıyasla daha yüksek baskı hızlarında kullanılabilir şekilde optimize edilmiştir. Ayrıca bu filament, 600 mm/s'ye kadar baskı hızlarını desteklemekte ve yüksek kaliteli katman birleştirmesi ile baskı yüzeyinde düzgünlük sağlamaktadır. Bu sayede çalışma esnasında zamanın etkin bir biçimde kullanılması sağlanmıştır. Çalışma sırasında kullanılan filamentler Şekil 3.5'te verilmiştir.

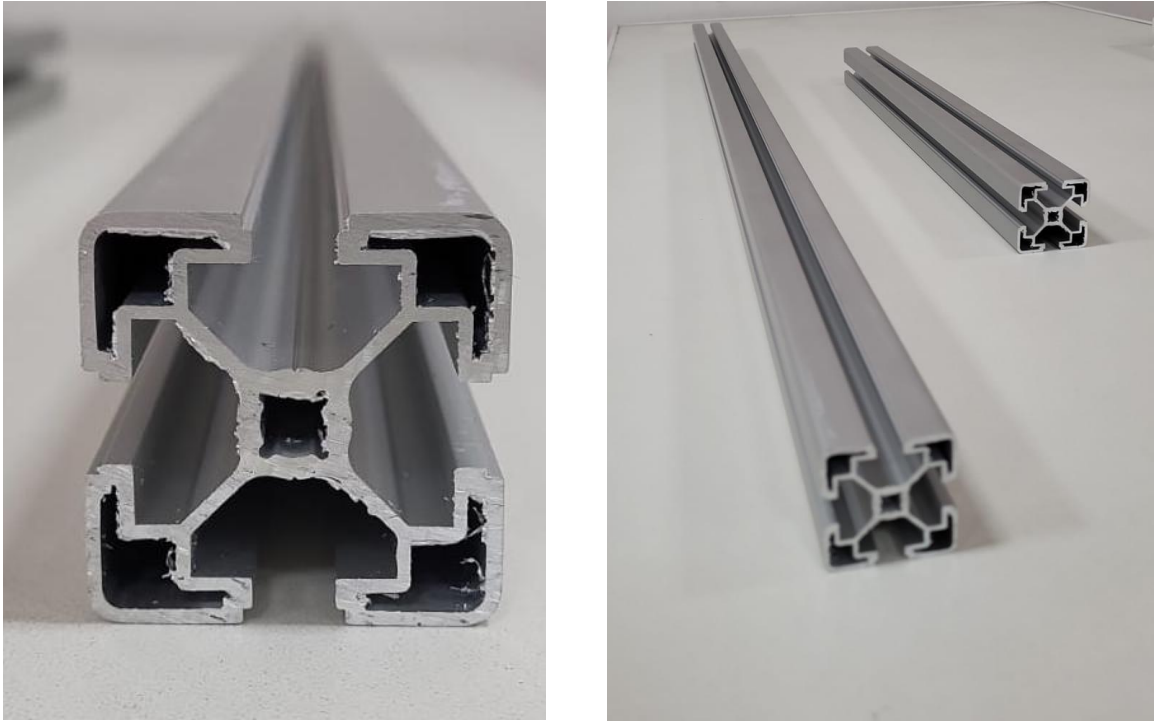


Şekil 3.5: Çalışma kapsamında kullanılan Creality Hyper PLA beyaz filament

1.75 mm'lik standart çapta ve ± 0.03 mm tolerans aralığına sahip olan Creality Hyper termal kararlılığı ile yüksek çözünürlükte modelleme gerektiren optik/fizik deney materyallerinin üretiminde kaliteli sonuçlar alınmasına olanak tanımaktadır. Bunlara ek olarak, Hyper PLA filament biyolojik olarak parçalanabilir olması sayesinde çevreye duyarlı üretim süreçlerine katkı sağlamakta ve eğitim kurumlarının sürdürülebilirlik politikalarına uygunluk göstermektedir.

3.5 40x40 mm Kesitli Eloksallı Sigma Alüminyum Profil

Bu çalışmada deney düzeneğinin mekanik taşıyıcı iskelet yapısında, modüler özellikleri nedeniyle 40x40 mm kesitli eloksallı Sigma tipi alüminyum profil kullanılmıştır. Sigma profiller, üzerinde bulunan T kanalları sayesinde bağlantı elemanlarıyla kolayca monte edilebilen, hafif ancak dayanıklı yapılar inşa etmeye olanak tanıyan yapısal elemanlardır. Çalışma kapsamında, ortaöğretim ve lisans seviyesinde optik laboratuvarında kullanılan deney düzeneklerinde halihazırda bulunan ya da farklı firmalar tarafından satışa sunulan deney düzeneklerinin incelenmesi sonucunda, taşıyıcı sistem olarak kullanılacak olan alüminyum profilin 40x40 mm kesitli olmasına karar verilmiştir. Bu kesit alanının tercih edilmesinde göz önüne alınan diğer etmenler ise taşıma kapasitesi, sistemin dengesi ve yazıcıda yazdırılacak deney bileşenlerinin maliyetidir. Alüminyum profillerin uzunlukları ise 50 cm ve 100 cm olarak belirlenmiştir. Deney düzeneklerinde kullanılan alüminyum profillere ait farklı açılardan çekilmiş fotoğraflar Şekil 3.6'da verilmiştir.



Şekil 3.6: Deney düzeneğinde taşıyıcı eleman olarak kullanılan profillerin farklı açılardan fotoğrafları

Ayrıca kullanılan profilin eloksallı kaplamaya sahip olması alüminyum yüzeyin daha dayanıklı ve estetik halde olmasını sağlamaktadır. Bu sayede, profil yüzeyinin aşınmalara, çizilmelere ve korozyona karşı dirençli hale gelmesi ve deney düzeneğinin uzun süre

kullanılması amaçlanmıştır. Bu tür profiller; laboratuvar düzeneklerinde, otomasyon sistemlerinde ve eğitim amaçlı deney platformlarında tercih edilmektedir. Ayrıca, kullanılan alüminyum profilin kolay montaj, sökülebilirlik ve yeniden yapılandırılabilirlik özellikleri sayesinde geliştirilen deney düzeneğinin modüler olması ve farklı amaçlar için kullanılması da sağlanmıştır.

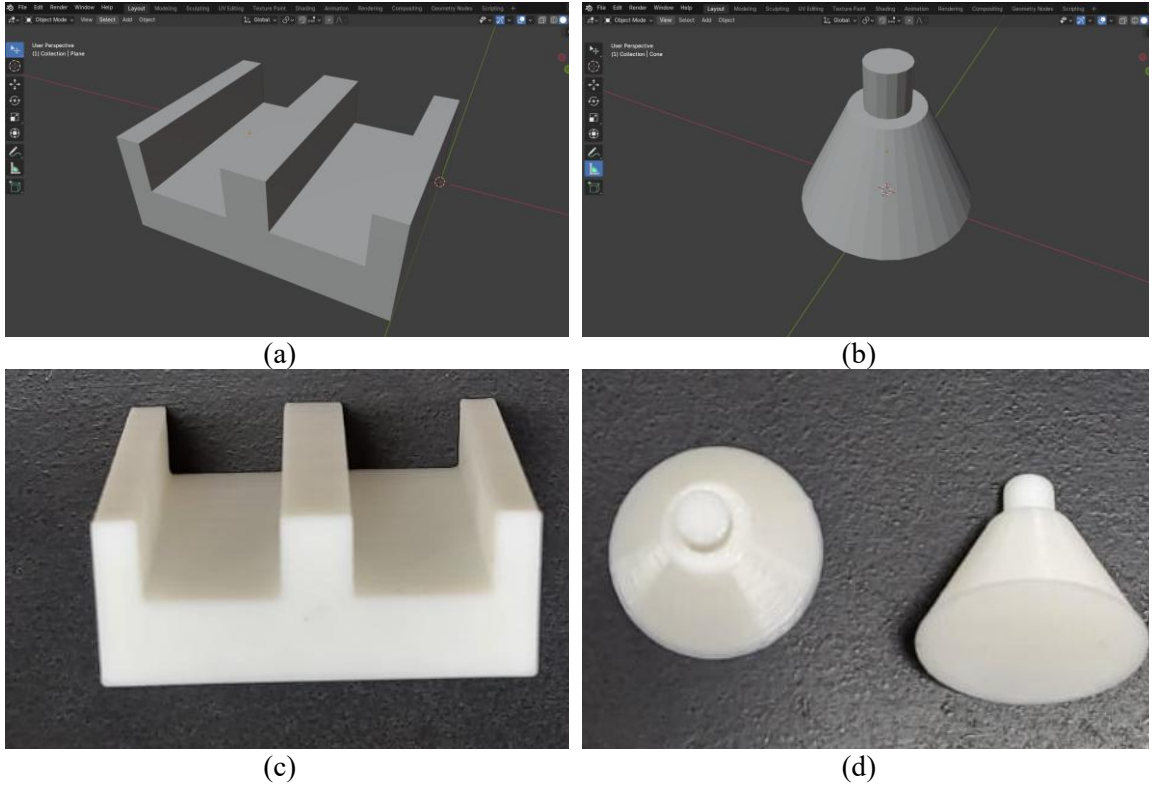
4. BULGULAR

Çalışmanın bu bölümünde ilk olarak fen bilgisi ve fizik dersi kapsamında optik öğretiminde kullanılması planlanan deney düzeneği için prototipleri oluşturularak üretilen bileşenler tanıtılmıştır. Yapılan bu tanıtım sırasında bileşenlere ait Blender çizimleri ve elde edilen son ürünler sırası ile sunulmuştur. Ardından deney düzenekleri, düzenekleri oluşturan bileşenler ve deneylerin gerçekleştirilmesi sonucunda elde edilen fotoğraflar sunulmuştur.

4.1 Deney Düzeneği Bileşenlerinin Tasarımı ve İmalatı

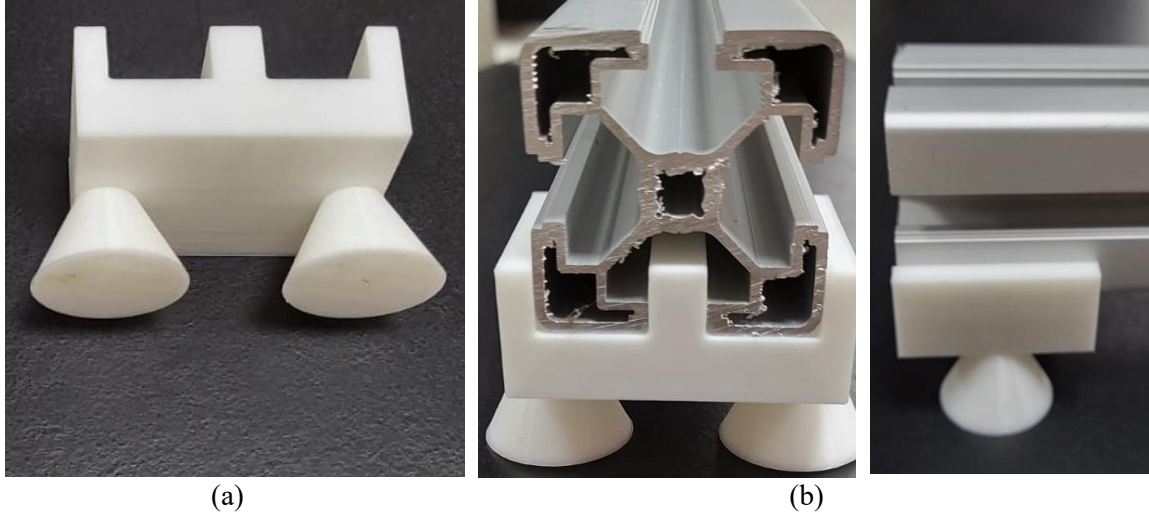
4.1.1 Taşıyıcı sistemler

Gerçekleştirilen çalışma kapsamında ilk olarak tek eksen ve iki eksende hareket edecek alüminyum profillerden oluşan taşıyıcı iki sistem tasarlanmıştır. Bu taşıyıcı sistemler diğer tüm bileşenlerin üzerinde hareket edeceği ve deneylerin gerçekleştirileceği ana bileşenlerdir. Tek eksenli taşıyıcı sistem temel olarak üçer parçadan oluşan iki ayak içermektedir. Sistemlerin üzerine oturduğu ayaklara ait Blender çizimleri ve üç boyutlu yazıcı kullanılarak üretilen son ürünler Şekil 4.1’de verilmiştir.



Şekil 4.1: Sistemlerin üzerine oturduğu ayaklara ait a) üst ve b) alt bileşenlerin Blender çizimleri ile c) üst ve d) alt bileşenlerin son hali

Şekil 4.1.c ve Şekil 4.1.d’de verilen üç boyutlu yazıcı çıktılarını kendi içinde birleştirilmiştir (Şekil 4.2.a). Ardından ortaya çıkan ayaklar sigma profillere monte edilmiştir (Şekil 4.2.b). Bu montaj esnasında herhangi bir yapıştırıcı ya da vida gibi yapı elemanı kullanılmamıştır. Bu sayede kullanım durumuna göre ayakların kolayca hareket etmesi ya da sistemden çıkarılması mümkün kılınmıştır.



Şekil 4.2: a) Ayak parçalarının birleştirilmiş hali b) ayakların alüminyum profile monte edilmiş hali

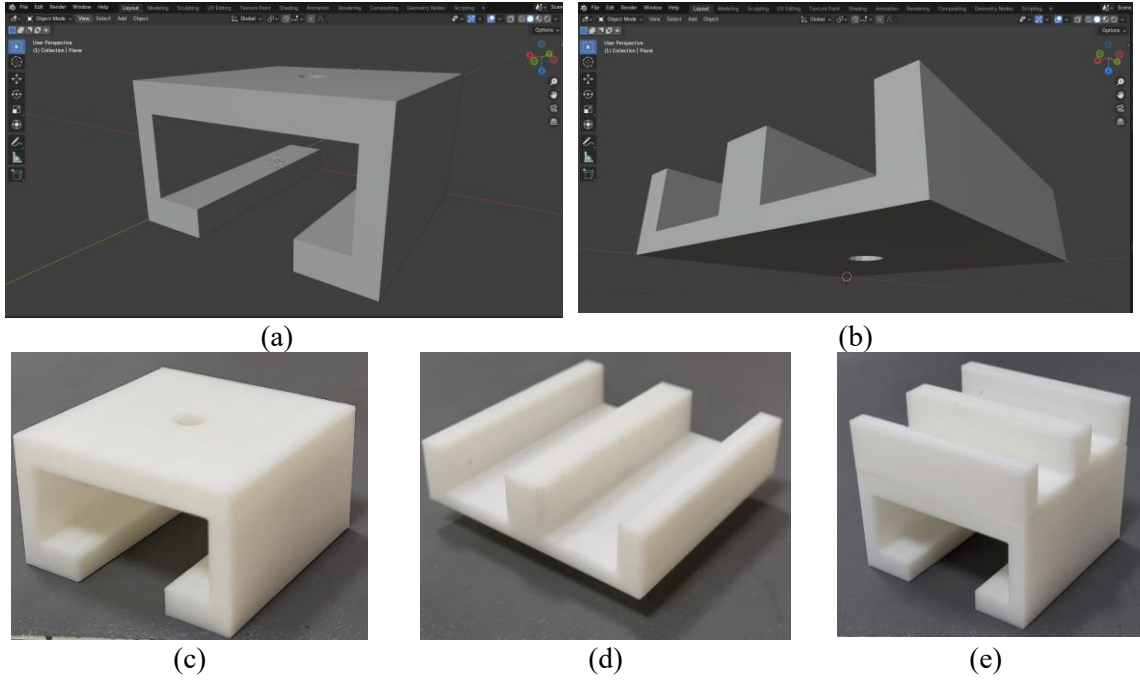
Ayakların monte edilmesinden sonra tek eksende 100 cm ve 50 cm uzunluğunda ve bu bölümde daha sonra tanıtılacak olan deney düzeneği bileşenlerinin hareket edebildiği bir ana sistem elde edilmiştir (Şekil 4.3).



Şekil 4.3: 100 cm ve 50 cm uzunluğunda tek eksen taşıyıcı sistemlerin son hali

Taşıyıcı sistemlerden ikincisi ilkinden farklı olarak deney düzeneği bileşenlerin iki eksen üzerinde hareket edebilmesine imkân sağlayacak şekilde tasarlanmıştır. Bu amaçla 100 cm ve 50 cm uzunluğunda iki alüminyum profil birlikte kullanılmıştır. Bahsi geçen iki eksenli sistem, tek eksenli olarak üretilen ve Şekil 4.3’te verilen 100 cm uzunluğundaki taşıyıcı

sistemin üzerine, Şekil 4.4'te çizimleri ve üretilmiş son halleri verilen parçalar kullanılarak 50 cm uzunluğundaki alüminyum profilin monte edilmesi sonucunda elde edilmiştir. Parçaların birleştirilmesinde her iki elemanda yer alan silindirik boşluğa monte edilen ve yine üç boyutlu yazıcı kullanılarak üretilen silindirik bir bağlantı elemanı kullanılmıştır.



Şekil 4.4: İki eksenli sistem için tasarlanan a) alt ve b) üst bileşenlerin Blender çizimleri ile c) alt ve d) üst bileşenlerin tek tek ve e) birleştirilerek üretilmiş hali

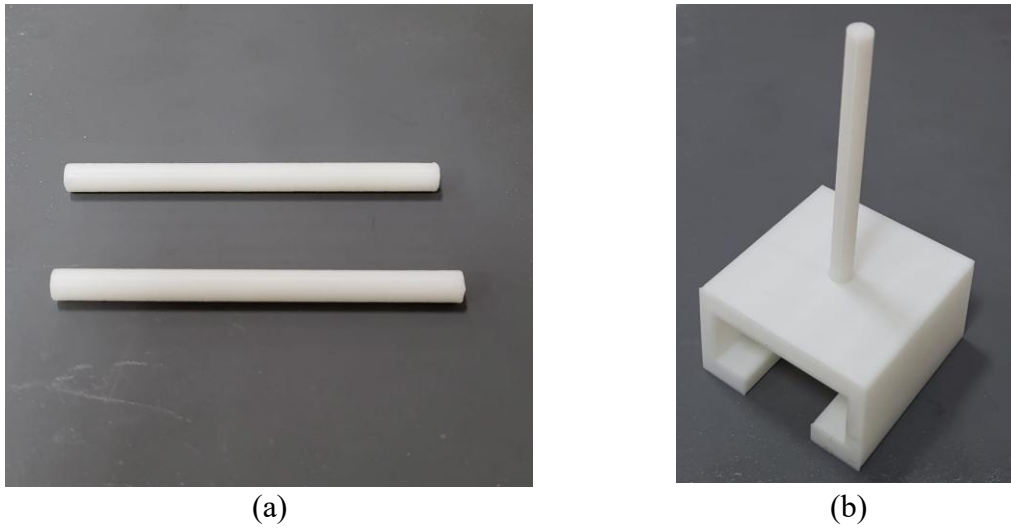
Şekil 4.4'te verilen bağlantı parçaları kullanılarak elde edilen ve iki eksende deney düzeneği bileşenlerinin hareketine imkân sağlayan taşıyıcı sistemin son hali Şekil 4.5'te verilmiştir.



Şekil 4.5: 100 cm x 50 cm ebatlarında iki eksen taşıyıcı sistemin son hali

Tüm bunların yanı sıra hem tek ekseninde hem de iki ekseninde elemanların hareket edebildiği taşıyıcı sistemlerde, elemanların konumlarının belirlenmesi amacı ile kâğıt şerit metreler alüminyum profiller üzerine yerleştirilmiştir. Bu sayede öğrencilerin konum ölçmeden kaynaklı yaşadıkları hataların önüne geçilmesi amaçlanmıştır.

Şekil 4.4.a’da verilen bileşen ayrıca bu aşamadan sonra detayları verilecek tüm bileşenlerin hem tek eksenli hem de iki eksenli taşıyıcı sistem üzerinde hareket etmesini sağlayacak ana elemandır. Tüm bileşenler üzerine yerleştirilen 6 mm çapında silindirik boşluklar ve yine üç boyutlu yazıcı kullanılarak üretilen aynı çapta fakat farklı uzunluklardaki bağlantı elemanları sayesinde geliştirilen deney düzeneğinin kompakt bir yapıda olması sağlanmıştır. Çalışma kapsamında bileşenlerin ana bileşen olarak adlandırılan ve Şekil 4.4.a’da verilen hareketli bileşene bağlanmasını sağlayan bağlantı elemanları Şekil 4.6.a’da verilmiştir.

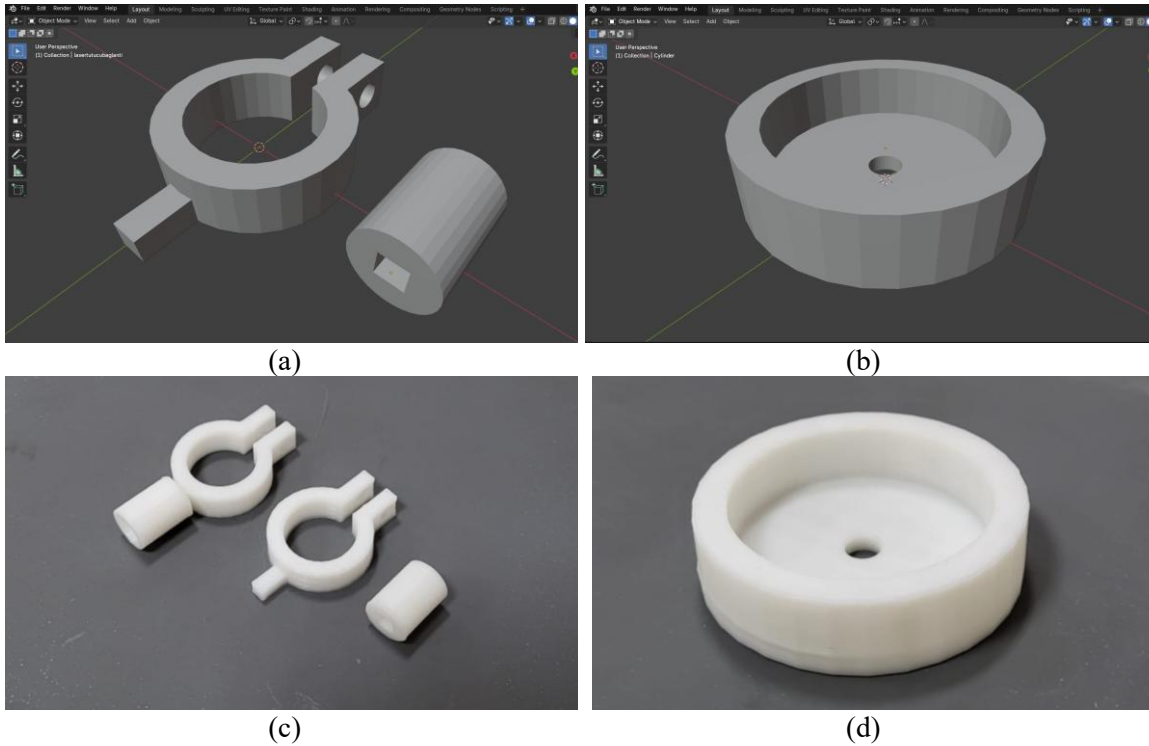


Şekil 4.6: 6 mm çapında a) bağlantı elemanları ve b) kullanımı

4.1.2 Işık kaynakları için bileşenler

Optik konuları ile ilgili gerçekleştirilen deneylerin neredeyse tamamında bir ışık kaynağına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu ışık kaynakları deneyin amacına bağlı olarak farklı özelliklerde olabilmektedir. Örneğin görüntü oluşumu ile ilgili deneylerin birçoğunda genellikle mum ışık ve görüntü kaynağı olarak tercih edilirken, kırılma ve yansıma gibi daha çok mercekle ve aynaların kullanıldığı ve ışınların davranışının belirlendiği deneylerde genellikle lazerler kullanılmaktadır. Bu amaçla, çalışma kapsamında bu iki farklı ışık kaynağını da deney düzeneğine entegre edecek şekilde iki ayrı tasarım gerçekleştirilmiştir.

Deney düzeneklerinde uygun maliyeti ve kolay temin edilmesi sebebi ile sıklıkla kullanılan basit bir lazer, çalışma kapsamında tasarlanan ve üretilen malzeme ebatlarının belirlenmesinde kalıp olarak kullanılmıştır. Bununla birlikte ışık kaynağı olarak mumun kullanıldığı deneyler için üretilen deney bileşeni de farklı ebatlarda mumların içine yerleştirilebileceği şekilde tasarlanmıştır. Çalışma kapsamında gerçekleştirilen ışık kaynağı tasarımları ve üç boyutlu yazıcıdan elde edilen son ürünler Şekil 4.7’de detayları ile verilmiştir.

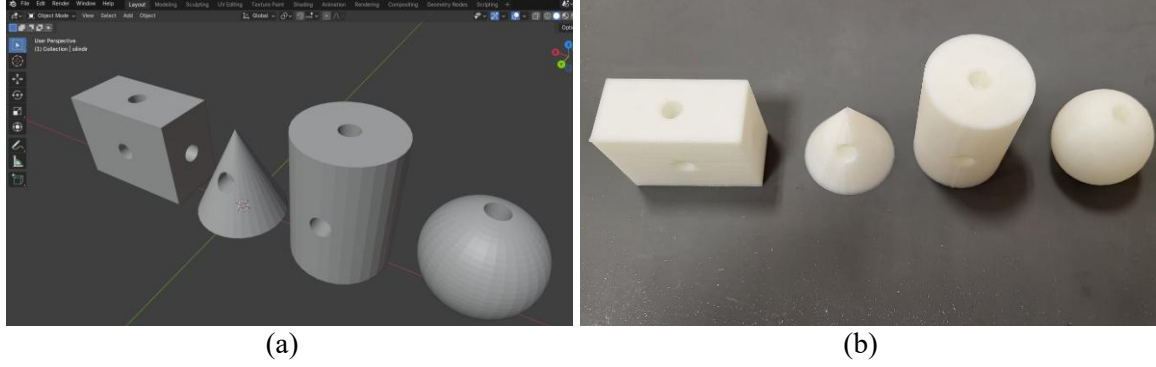


Şekil 4.7: Işık kaynağı olarak tasarlanan a) lazer ve b) mum tutucu için Blender çizimleri ile c) lazer ve d) mum tutucu için bileşenlerin üretilmiş hali

4.1.3 Geometrik şekil bileşenleri

Optik öğretiminde önemli bir yer tutan ve deneyleri sıklıkla gerçekleştirilen konulardan bir tanesi de yarı ve tam gölge oluşumudur. İlgili deneylerde kullanılması amacı ile çalışma kapsamında farklı geometrik şekillerde bileşenler tasarlanmış ve üç boyutlu yazıcı kullanılarak üretilmiştir. Dikdörtgenler prizması, küre, koni ve silindir şeklinde tasarlanan bu geometrik şekillerin seçiminde dikkat edilen ana etken gölge konusunun öğretiminde ortaöğretim düzeyinde gerçekleştirilen deneylerde sıklıkla kullanılmalarıdır. Geometrik şekillerin tasarımında dikkat edilen bir diğer husus da bu geometrik şekillerin farklı noktalardan deney düzeneğine monte edilebilir olmasıdır. Üzerinde yer alan 6 mm çapındaki silindirik boşluklar ve bağlantı elemanları ile deney düzeneğine konumlandırılabilen

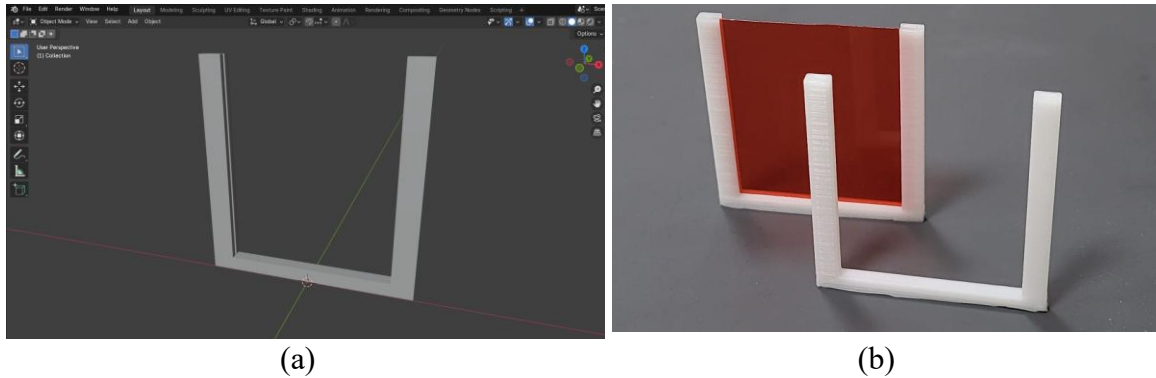
geometrik şekiller z eksenini etrafında 360 derece dönebilmektedir. Çalışma kapsamında tasarımı yapılan ve üretilen geometrik şekillere ait Blender çizimleri ve üç boyutlu yazıcı da üretilmiş ürünler Şekil 4.8’de verilmiştir.



Şekil 4.8: Geometrik şekillerin a) Blender tasarımı b) yazıcı çıktısı

4.1.4 Ayna ve renk filtreleri için bileşenler

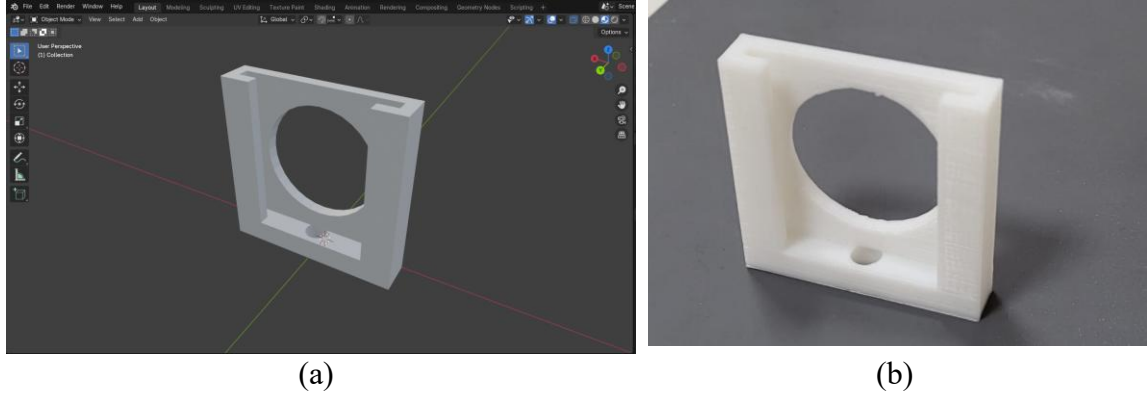
Optik konusu ile ilgili gerçekleştirilen deneylerden bir diğeri de ışığın renkleri ve bu renklerin birleşimi ile ilgilidir. Her ne kadar çalışma kapsamında renkler ile ilgili deneyler yer almasa da renk filtreleri ile ilgili deneylerin gerçekleştirilmesini sağlamak için, çalışma kapsamında geliştirilen optik deney düzeneğine filtrelerin eklenebileceği bileşenler tasarlanarak üretilmiştir. Şekil 4.9’da renk filtrelerinin içine yerleştirilebileceği şekilde tasarlanan bileşene ait Blender çizimi ve ortaya çıkan son ürünün fotoğrafı verilmiştir.



Şekil 4.9: Renk filtreleri için tasarlanan bileşene ait a) Blender tasarımı b) yazıcı çıktısı

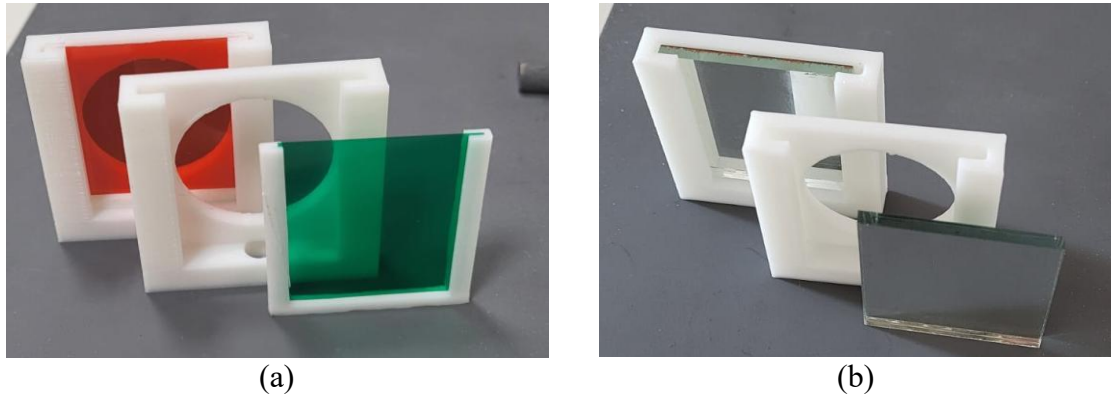
Şekil 4.9.a’da verilen ilgili tasarımın ebatları göz önüne alınarak, 3 mm kalınlığında düz aynalar kestirilmiş ve aynalar ile ilgili gerçekleştirilebilecek deneylerde kullanılabilmesi için düzeneğe dahil edilmiştir. Elde edilen hem renk filtrelerinin hem de düz aynaların deney düzeneğinde stabil bir biçimde durması ve gerektiğinde değiştirilebilmesi için Şekil 4.6.b’de

verilen ana bağlantı elemanına uyumlu bir tutucu tasarlanmış ve üretilmiştir. Bu filtre ve ayna tutucusu sayesinde farklı elemanlar için tekrar tekrar tutucu basılmasına gerek kalmadan, deney düzeneğinin daha uygun maliyetli olarak üretilmesi amaçlanmıştır. Filtreler ve düz aynalar için tasarlanan bileşene ait Blender çizimi ve üç boyutlu yazıcıdan elde edilen çıktı Şekil 4.10’da verilmiştir.



Şekil 4.10: Renk filtreleri ve aynalar için tasarlanan tutucuya ait a) Blender tasarımı b) yazıcı çıktısı

Üretimi gerçekleştirilen Şekil 4.10’da verilen tutucu ve renk filtreleri ile 3 mm kalınlığında aynanın bu bileşene yerleştirilmesi sonucunda ortaya çıkan eleman ile ilgili fotoğraf Şekil 4.11’de verilmiştir.

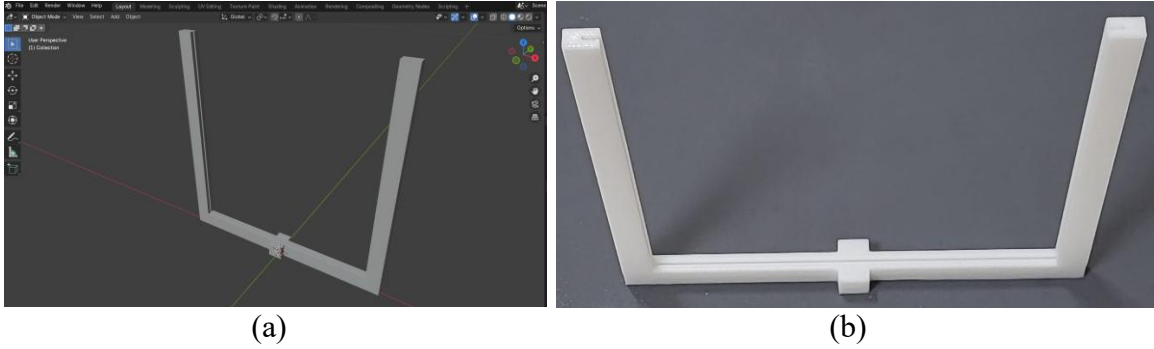


Şekil 4.11: a) Renk filtreleri ve b) düz aynaların tutucuya yerleştirilmesi

4.1.5 Ekran

Çalışma kapsamında tasarlanan deney düzeneği kullanılarak gerçekleştirilen deneylerde kullanılması amacı ile düzeneğe uyumlu bir ekran tasarımı yapılmıştır. Ekranın tasarımında deney düzeneğinden elde edilebilecek görüntü boyutları değerlendirilmiş ve 15 x 15 cm boyutlarında bir ekran büyüklüğünde karar kılınmıştır. Bununla birlikte ekranın hem uygun

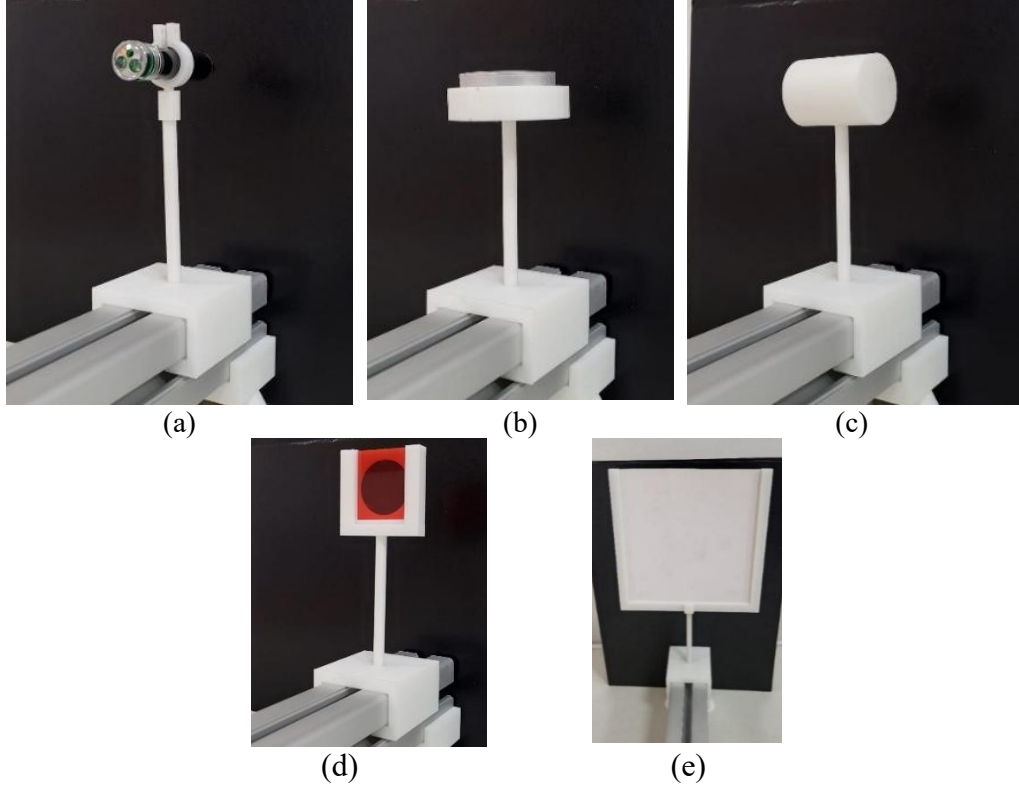
maliyetli hem de hafif olması adına çerçevesi dışında kalan kısmının beyaz kartondan imal edilmesine karar verilmiştir. Ayrıca, istenildiği takdirde beyaz karton yerine milimetrik ölçekli kağıt konularak deneylerde görüntüye ilişkin hem konum hem de uzunluk kolaylıkla elde edilebilmektedir. Bu doğrultuda tasarlanan çerçeve içine gerekli boşluklar oluk biçiminde bırakılmıştır. Tasarlanan ve üretimi gerçekleştirilen ekran da diğer bileşenlerde olduğu gibi 6 mm çapında silindirik bir boşluğa sahiptir ve deney sistemine kolaylıkla monte edilebilmektedir. Ekranın Blender çizimi ile üç boyutlu yazıcıdan elde edilen çıktısı Şekil 4.12’de verilmiştir.



Şekil 4.12: Ekranın a) Blender tasarımı ve b) yazıcı çıktısı

4.1.6 Bileşenlerin taşıyıcı sisteme montajı

Çalışma kapsamında geliştirilen tüm bileşenler Şekil 4.6.b’de verilen çıktılara monte edilerek, taşıyıcı sistem üzerinde hareket edebilmesi sağlanmıştır. Bu sayede fazladan üretim yapılmadan uygun maliyet amacına uygun biçimde aynı ana elemanlar kullanılarak deneylerin gerçekleştirilmesi mümkün hale getirilmiştir. Deney düzeneğinde kullanılacak ve üretimi tamamlanan bileşen gruplarına ait örnek fotoğraflar sistem üzerinde Şekil 4.13’te verilmiştir.



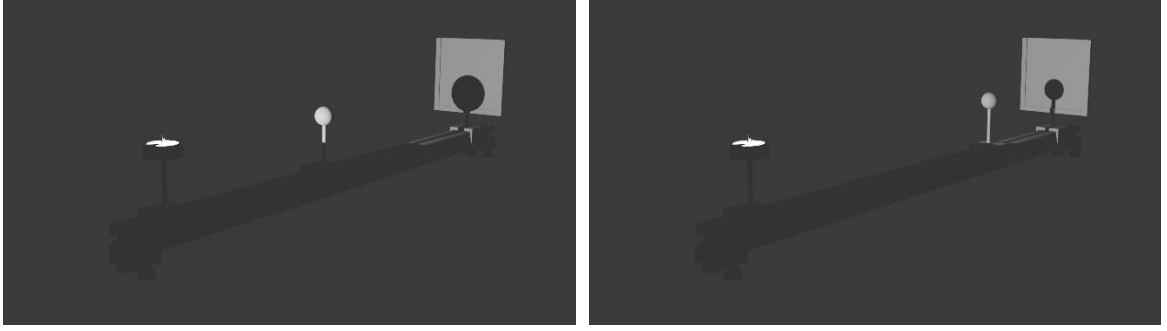
Şekil 4.13: Üretilen a) lazer tutucu b) mum tutucu c) geometrik şekil d) filtre ve e) ekran taşıyıcının sisteme montajı

4.2 Deney Düzenekleri

Çalışmanın bu bölümünde 4.1 başlığı altında verilen ve çalışmanın ilk aşamasında tasarlanarak üretilen bileşenler kullanılarak geliştirilen deney düzenekleri detaylı olarak tanıtılmıştır. Bu bölüm altında sırası ile her bir deney için tasarlanan deneye ait çizim ve deney fotoğrafları ayrıntıları ile sunulmuştur. Çalışma kapsamında gölge ile ilgili olarak tasarlanan deneyler üç başlık altında gerçekleştirilmiştir. Deneylerde kullanılan ve lazer olarak adlandırılan eleman uygun maliyetli olarak piyasada kolaylıkla bulunan ve hem beyaz ışık kaynağı hem de kırmızı lazer olarak kullanılabilen alettir.

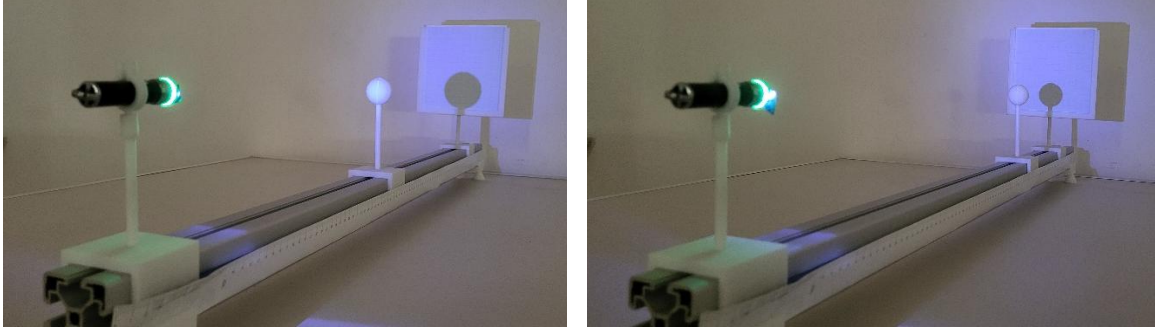
4.2.1 Gölge boyunun (ebatlarının) değişimi

Gölge boyunun (ebatlarının) ışık kaynağı-cisim ve cisim-ekran arasındaki uzaklığa bağlı olarak değişiminin incelenmesi, çalışma kapsamında gerçekleştirilen deneylerden ilkidir. Deneyin tasarımına ilişkin görsel Şekil 4.14'te verilmiştir.



Şekil 4.14: Geliştirilen deney düzeneği ile mesafeye bağlı olarak gölge boyunun değişiminin Blender üzerinden gösterilmesi

Geliştirilen deney düzeneği kullanılarak, gölge boyunun mesafeye bağlı olarak değişimi üç boyutlu yazıcı kullanılarak üretilen küre için farklı mesafeler açısından sınanmıştır (Şekil 4.15).



Şekil 4.15: Geliştirilen deney düzeneği ile mesafeye bağlı olarak gölge boyunun değişiminin sınanması

Işık kaynağı noktasal olarak kabul edilirse ve ışık kaynağı ile cisim arasındaki uzaklık d_k , cismin boyu h_c , cisim ile ekran arasındaki uzaklık d_e ve kaynak ile ekran arasındaki toplam uzaklık $D=d_k+d_e$ olmak üzere ekranda oluşan gölge boyu (h_g) denklem 4.1’de verilen benzerlik bağıntısı ile hesaplanabilir,

$$\frac{h_g}{h_c} = \frac{D}{d_k} \quad (4.1)$$

Denklem 4.1’den gölge boyu (h_g) ifadesi çekilirse denklem 4.2 elde edilecektir.

$$h_g = h_c \cdot \frac{d_k + d_e}{d_k} \quad (4.2)$$

Deney düzeneğinde taşıyıcı sistem üzerinde yer alan şerit metre ve ekran üzerine yerleştirilen milimetrik ölçek kâğıdı ile belirtilen mesafeler ve ekran üzerindeki gölge boyunun ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Farklı mesafelerde küre kullanılarak gerçekleştirilen 10 deneye ilişkin elde edilen veriler Tablo 4.1’de verilmiştir.

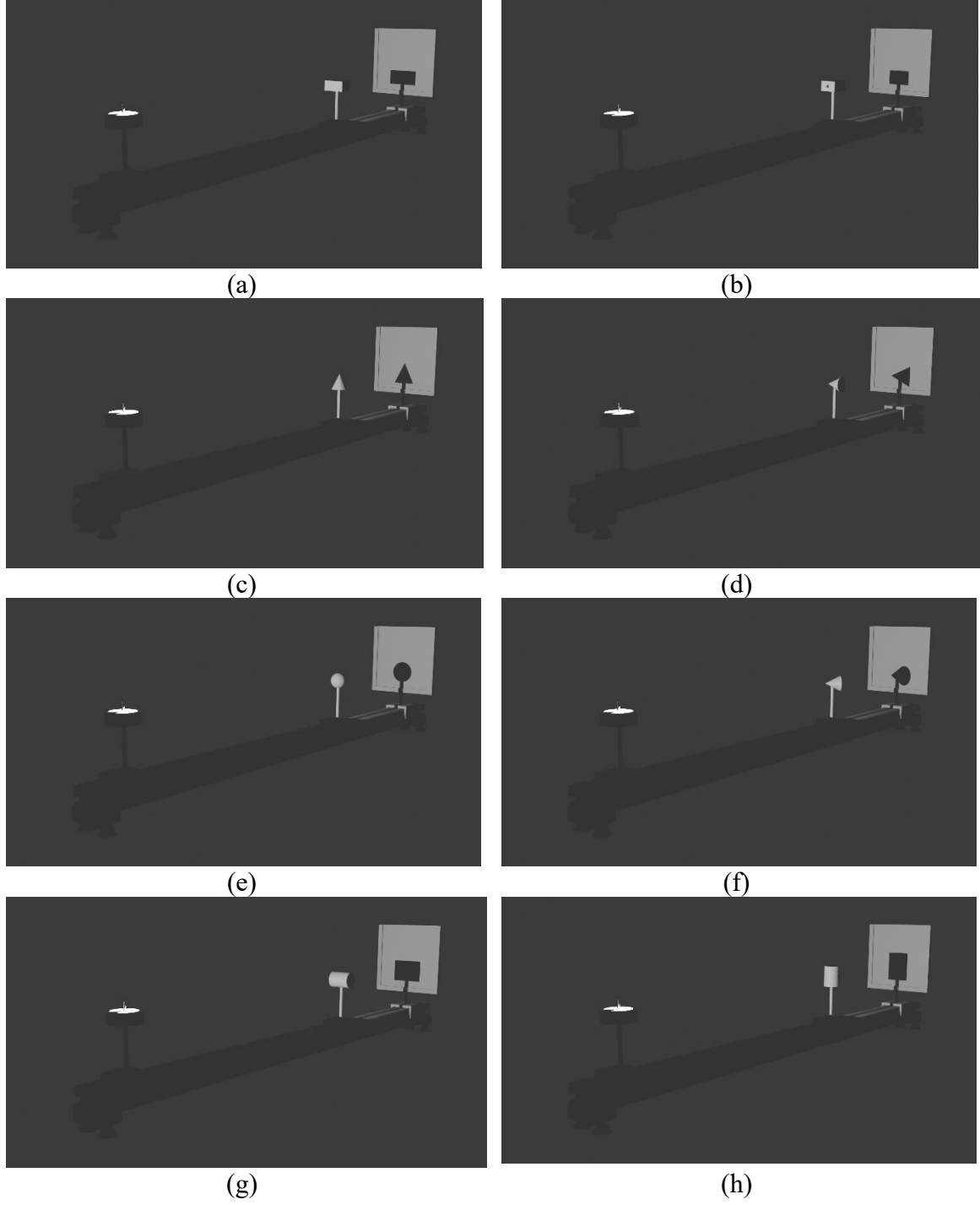
Tablo 4.1: Mesafeye bağlı gölge boyunun değişimine ilişkin gerçekleştirilen deneylerden elde edilen veriler

Deney Nu.	Işık Kaynağı- Cisim Arası Mesafe (cm)	Cisim Ekran Arası Mesafe (cm)	Gölge Boyu Deneysel (cm)	Gölge Boyu Teorik (cm)	Yüzde Hata (%)
1	20	60	11.4	12.0	5.00
2	25	55	9.1	9.6	5.21
3	30	50	7.6	8.0	5.00
4	35	45	6.6	6.9	4.35
5	40	40	5.7	6.0	5.00
6	45	35	5.1	5.3	3.77
7	50	30	4.6	4.8	4.17
8	55	25	4.3	4.4	1.47
9	60	20	3.9	4.0	2.50
10	65	15	3.6	3.7	2.50

Tablo 4.1’de verilen veriler ve Şekil 4.15’te verilen deney fotoğrafları birlikte değerlendirildiğinde teorik olarak elde edilmesi beklenen değerlere yakın ve uyumlu olarak ekran ve ışık kaynağı arasındaki mesafe sabit kalmak koşulu ile cismin ışık kaynağına yaklaşması sonucunda gölge boyunun arttığı görülmektedir. Elde edilen verilere bağlı olarak ortaya çıkan yüzde hata değerleri incelendiğinde ise %5.21 ile %1.47 arasında deneysel hatanın ortaya çıktığı görülmüştür. Küre dışında çalışma kapsamında tasarlanarak üretilen farklı geometrik şekiller ile de deneylerin tekrarlanması mümkündür.

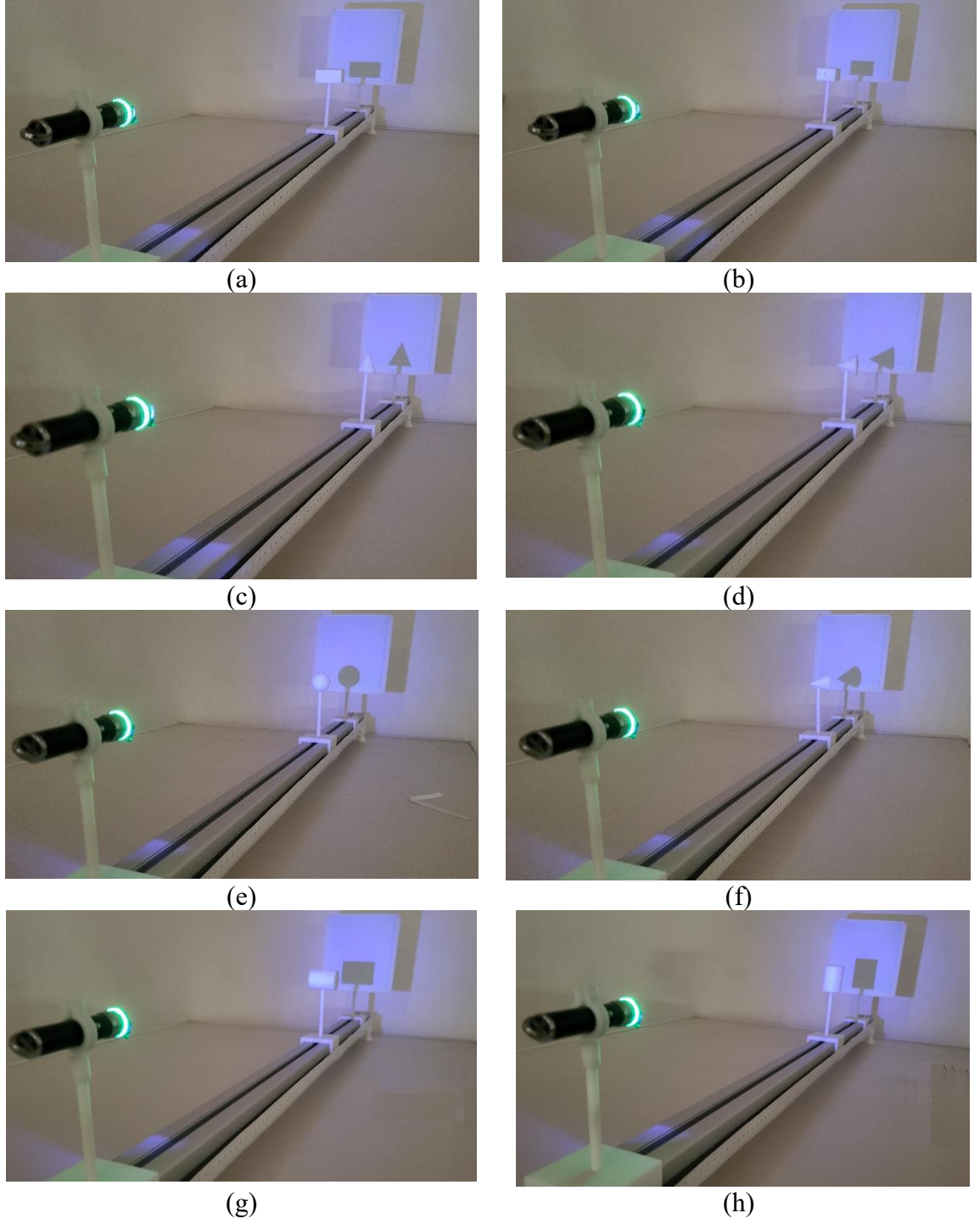
4.2.2 Geometrik şekillere ait gölgeler

Çalışma kapsamında gerçekleştirilen deneylerden bir diğeri de üç boyutlu yazıcı kullanılarak üretilen farklı geometrik şekillerin ekran üzerindeki gölgeleri ile ilgilidir. Bu kapsamda düzeneğe farklı açılarla ve farklı bağlantı noktalarından yerleştirilen küre, koni, dikdörtgenler prizması ve silindirik cisimler için gerçekleştirilen deney tasarımına ilişkin görsel Şekil 4.16’da verilmiştir.



Şekil 4.16: Geliştirilen deney düzeneği kullanılarak farklı geometrik şekillere ait gölgelerin Blender üzerinde gösterilmesi

Geliştirilen deney düzeneği kullanılarak, farklı geometrik şekillere ait gölgelerin oluşumu farklı açılar ve bağlantı şekillerinde sınanmıştır (Şekil 4.17).

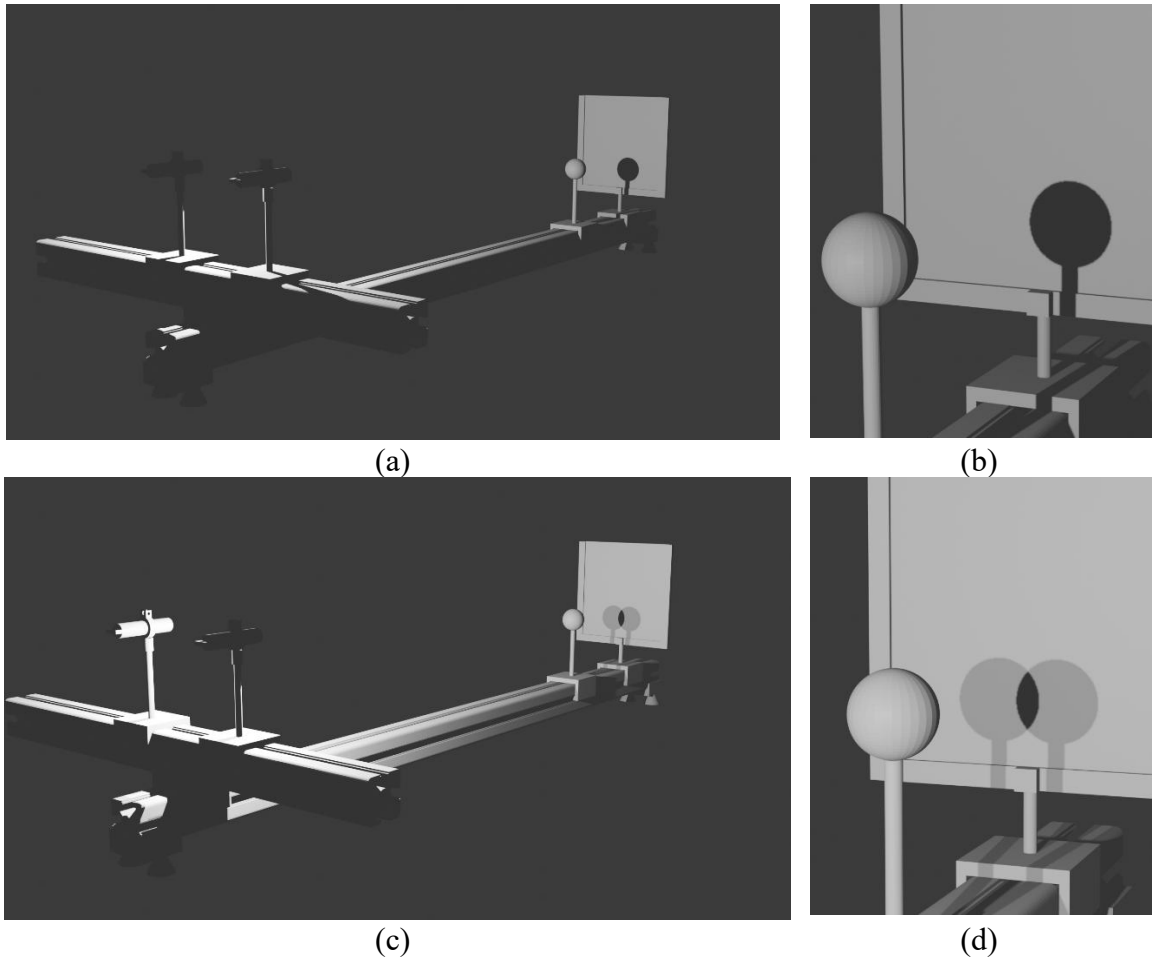


Şekil 4.17: Geliştirilen deney düzeneği kullanılarak farklı geometrik şekillere ait gölgelerin ekran üzerinde gösterilmesi

Şekil 4.17’de görüldüğü gibi, aynı geometrik şekillerin farklı açı ve bağlantı biçimlerinde sisteme yerleştirilmesi sonucunda farklı şekillerde ve ebatlarda gölgelerin oluşabileceği net biçimde gözlemlenmiştir.

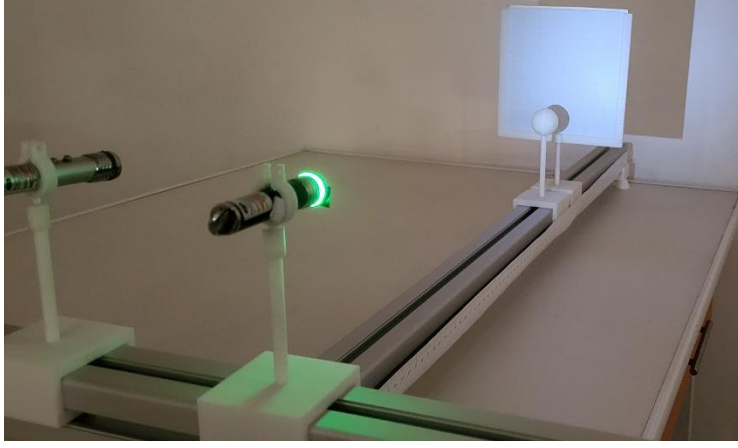
4.2.3 Tam gölge ve yarı gölge oluşumu

Gölge ile ilgili gerçekleştirilen deneylerin üçüncüsü ise tam gölge ve yarı gölge oluşumu ile ilgilidir. Tam gölge oluşumu ile ilgili deneyler çoğu zaman öğretmenler ve öğrenciler tarafından kolaylıkla gerçekleştirilse de iki ekseninde ışık kaynaklarının hareket etmesini mümkün kılmak genellikle güç olmaktadır. Bu nedenle, geliştirilen deney düzeneğine yerleştirilen aynı eksende iki ışık kaynağı ile yarı gölge oluşumunu gözlemlenmeye çalışılmıştır. Deneyin tasarımına ilişkin görsel Şekil 4.18’de verilmiştir.



Şekil 4.18: Geliştirilen deney düzeneği ile a-b) tam ve c-d) yarı gölge oluşumunun Blender üzerinde gösterilmesi

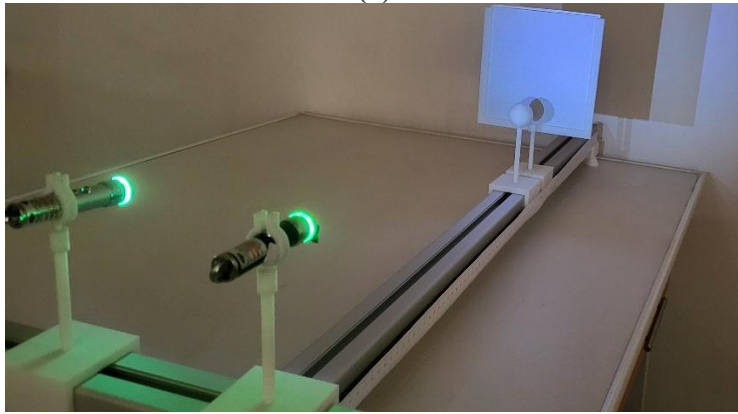
Şekil 4.19’da verilen deney düzeneğinde, bir küre iki ışık kaynağı ve ekran kullanılarak tam ve yarı gölge oluşumu gösterimi geliştirilen deney düzeneği üzerinde gösterilmiştir. Elde edilen sonuçlar tam ve yarı gölge gösteriminin üretilen elemanlar ile net biçimde gerçekleştirilebildiğini göstermektedir.



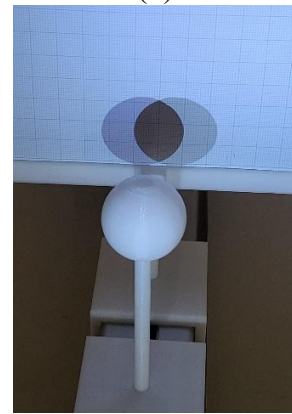
(a)



(b)



(c)



(d)

Şekil 4.19: Geliştirilen deney düzeneği ile a-b) tam ve c-d) yarı gölge oluşumunun gösterilmesi

5. SONUÇ, TARTIŞMA VE ÖNERİLER

Bu araştırmada üç boyutlu yazıcı teknolojilerinin optik konularının öğretiminde kullanılmasına yönelik deney materyallerinin geliştirilmesi ve geliştirilen bu materyaller kullanılarak deneylerin gerçekleştirilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla Blender yazılımı kullanılarak dijital ortamda modeller oluşturulmuş, Creality yazılımında dilimleme işlemleri gerçekleştirilmiş ve Creality K1 Max yazıcısıyla üretim yapılmıştır. Geliştirilen tüm materyallere ait Blender çizimleri, STL ve G-code dosyaları, öğretmen, öğrenci ve araştırmacıların erişimine sunulmak üzere çevrimiçi bir platformda (Google Drive - <https://drive.google.com/drive/folders/1eQn4Bw4h5FDALaDuIAh4EoEc2VXvL-ok?usp=sharing>) paylaşılmıştır. Çalışma kapsamında elde edilen deney düzeneklerinde yer alan bileşenler kullanıcılar tarafından değiştirilebilir, boyutlandırılabilir ve yeniden üretilebilir formattadır. Bu durum deney düzeneklerinin daha esnek olmasını sağlamaktadır (Zhang et al., 2013).

Geliştirilen materyaller tam ve yarı gölge, gölge boyunun (ebatlarının) ışık kaynağı ve nesne arasındaki uzaklığına bağlı değişimi ve farklı açılardan geometrik şekillerin gölgelerinin gözlemlenmesi gibi optik konularının öğretiminde kullanılmak üzere tasarlanmıştır. Tüm deney düzeneklerinde lazer ve mum tutucuların taşıyıcı sistemler üzerinde iki eksenli hareket kabiliyeti sayesinde öğrencilere ve öğretmenlere deney ortamlarında değişkenleri kontrol edebilme ve gözlemlerini doğrudan yapabilme imkânı verilmiştir.

Bulgular kısmında verilen deneyler sırası ile incelendiğinde, tasarlanan ilk deney düzeneğinin gölge ebatlarının uzaklığa bağlı değişimini teorik değerler ile tutarlı biçimde gözlemlenmesine olanak sağladığı belirlenmiştir. Deney düzeneğinde kullanılan şerit metre uzaklık ölçümünü öğrenciler için oldukça kolay hale getirmektedir. Ortaya çıkan yüzde hatalar, birçok optik laboratuvar deneyinde kabul edilebilir düzeydedir. Hesaplanan bu yüzdesel hatanın sebebinin deney düzeneğinde kullanılan lazerin dış yapısına bağlı olarak, lazerin beyaz ışığının kimi zaman geometrik şeklin tam merkezine hizalanmasının zor olması düşünülebilir.

Geometrik şekillere ait farklı açılardan elde edilen gölgeler de yine Blender arayüzünde deney öncesinde elde edilen görseller ile birebir uyumludur. Bununla birlikte bu deney sayesinde öğrencilerin aynı geometrik şeklin ışık kaynağının pozisyonuna bağlı olarak farklı

gölgelerinin olabileceği açıkça ortaya konulmuştur. Tam gölge ve yarı gölge ile ilgili olarak gerçekleştirilen deneylerde geliştirilen düzenek sayesinde özellikle iki eksende ışık kaynaklarının hareket ettirilebilmesi ile öğrencilerin bu kavramları öğrenmesine olumlu yönde katkıda bulunulacağı düşünülmektedir. Elde edilen sonuçlar teorik bilgi ile birebir örtüşmektedir.

Çalışma kapsamındaki en önemli amaçlardan bir tanesi optik dersine yönelik deneylerde kullanılacak düşük maliyetli deney düzenekleri elde edilmesidir. Bu kapsamda maliyeti oluşturan ana etmen olarak kullanılan filament uzunlukları göz önüne alındığında bu hedefe ulaşıldığı söylenebilir. Ticari ürünlere kıyasla üç boyutlu yazıcılar kullanılarak üretilen deney malzemelerinin maliyetlerinin daha uygun olduğu Vinnakota et al. (2024) tarafından ifade edilmiştir. Ayrıca, Zhang et al. (2013) çalışmalarında üç boyutlu yazıcı ile üretilen optik deneylerine ilişkin bileşenin maliyetlerinin %97'nin üzerinde oranlarda azaldığını belirtmişlerdir. Benzer biçimde Haverkamp et al. (2022) üç boyutlu yazıcı kullanılarak optik deneylerini içerecek şekilde yaklaşık 100 € maliyetle bir deney düzeneği üretilebileceğini ifade etmişlerdir. Deney düzeneğinde literatürde yer alan diğer birçok çalışmadan farklı olarak sistemin iki eksende hareket etmesini sağlayan alüminyum profiller bulunmaktadır. Bu profiller her ne kadar sistemin toplam maliyetini arttırsa da öğretim açısından sağladığı esneklik sayesinde ortaya çıkan avantaj bu maliyetin göz ardı edilmesini sağlayabilmektedir.

Açık kaynak ilkesi çerçevesinde paylaşılan çizimler ve tasarımlar sayesinde öğrencilerin doğrudan üretim sürecine dahil olmasının, öğrenciler üzerinde birçok olumlu etki bırakacağı düşünülmektedir. 3 boyutlu yazıcıların öğrencilerin düşüncelerini gerçeğe dönüştürebilmeleri için teknik olarak donanımlı bireyler haline gelmelerinde yardımcı olma potansiyeli bulunmaktadır (Kuzu Demir ve ark., 2016). Özellikle çalışma kapsamında sunulan bileşenlerin yeniden boyutlandırılması ve düzenlenmesi sırasında öğrencilerin 3 boyutlu düşünme becerilerinin artacağı öngörülmektedir. Özsoy (2019) çalışmasında öğrencilerin 3 boyutlu baskı teknolojisi kullanımı ile 3 boyutta düşünme kabiliyetlerinin arttığını belirtmiştir. Ayrıca öğretmen adayları 3 boyutlu yazıcıyı 3. boyutu öğrenme-öğretme sürecine ekleyen bir teknoloji olarak tanımlamaktadırlar (Karaduman, 2018).

3 boyutlu yazıcıların öğretim ortamlarında kullanılmasının bir diğer olumlu etkisinin de soyut kavramların ve modellerin somutlaştırılması olduğu bilinmektedir (Munir vd, 2024). Öğrenciler, 3 boyutlu yazıcıları tanımlarken soyut olan bilgi, kavram, görsel ve

ulaşılamayacak nesnelere somutlaştırma özelliğinden bahsetmekte ve bu nedenle öncelikle akıllarına somutlaştırma ifadesinin geldiğini belirtmektedirler (Karaduman, 2018).

Öğrencilerin 3 boyutlu yazıcı deneyimlerinin yanı sıra öğretmenlerin de bu konuda elde edecekleri deneyimler meslek hayatları açısından oldukça önemlidir. Bazı öğretmen adaylarının 3 boyutlu yazıcıları yazma-çizme aracı, hologram ve simülasyon olarak tanımladığı (Karagöz ve Şahin Çakır, 2020) düşünüldüğünde bu deneyimlerin önemi daha da ortaya çıkmaktadır. Ayrıca çalışma kapsamında verilen üç boyutlu tasarımların üretilmesi ve kendi öğretim ortamlarına uygun biçimde düzenlenmesinin öğretmenlerin 21.yüzyıl becerilerini arttıracacağı düşünülebilir. Güleriyüz (2020), öğretmen adayları üzerinde 3B yazıcı ve robotik kodlama ile yapılan STEM uygulamaları sonucunda öğretmen adayların bilimsel ve teknolojik okuryazarlık, problem çözme, eleştirel düşünme, iletişim ve iş birliği gibi 21.yüzyıl becerilerini daha iyi kazandıklarını belirtmiştir. Ayrıca Çetin ve ark. (2025) 3 boyutlu yazıcıların tasarlama ve modelleme sürecinin öğretmen adaylarının materyal geliştirme sürecine yönelik öz-yeterlik inançlarının gelişimi ve bilimsel yaratıcılıkları üzerinde olumlu etkilerinin olduğunu belirtmiştir. Tüm bunların yanı sıra 3 boyutlu yazıcı teknolojisi sayesinde öğretmenler, öğrencilerinin ihtiyaçlarına uygun biçimde öğretim materyallerini kendileri tasarlayabilir ve bu tasarımları somut hale getirebilirler. Bu durumda öğretmenler, öğrencilerine bireyselleştirilmiş öğrenme ortamları sunarak, öğrenmelerin daha etkili olmasını sağlayabilirler (Kuzu Demir ve ark., 2016). Bu açıdan bakıldığında gerçekleştirilen bu çalışmanın öğretmenleri bu konuda motive edebileceği ve farklı konularda deney düzenekleri tasarlamaya itebileceği düşünülebilir.

Tüm bunlarla birlikte çalışma kapsamında araştırmacılar, öğretmenler ve öğrenciler ile açık olarak paylaşılan dosyaların kullanıcılar açısından 3 boyutlu yazıcı deneyimlerini arttıracığı ve farklı alanlarda 3 boyutlu yazıcıyı kullanmaya motive edeceği düşünülebilir. Bu sayede özellikle öğrencilerin eğitim hayatlarının ardından bu tecrübelerini farklı alanlarda kullanarak iş hayatlarında farklı kazanımlar elde edebilecekleri düşünülebilir. Benzer biçimde Kökhan ve Özcan (2018) 3 boyutlu baskı teknolojisinin hem eğitim sürecinde hem de eğitim süreci sonrasında iş hayatında önemli avantajlar getirebileceğini belirtmişlerdir.

Çalışma sonucunda uygulayıcılar, ilgili alandaki politika geliştiriciler ve gelecekte benzer araştırmaları yapacak araştırmacılar için aşağıdaki önerilerde bulunmaktadır:

- Fen ve fizik öğretmenlerine üç boyutlu yazıcı kullanarak öğretim materyali geliştirmeye yönelik hizmet-içi atölye programları düzenlenebilir.
- Okul laboratuvarları üç boyutlu yazıcı, tarayıcı ve temel tasarım yazılımları ile desteklenerek öğrencilerin deneysel öğrenme fırsatları artırılabilir.
- Eğitim fakültelerinde yer alan dersler arasına öğretmen adaylarının tasarım yapma becerilerinin geliştirilebileceği seçmeli / zorunlu dersler konularak öğretmen adaylarının kendilerini bu alanda geliştirmeleri lisans seviyesinde sağlanabilir.
- Daha sonra gerçekleştirilecek araştırmalarda üç boyutlu yazıcıların kullanılarak materyal üretildiği farklı konularda çalışmalar yapılabilir. Bu çalışmalarda oluşturulan deney düzenekleri öğretime entegre edilerek öğrencilerin ilgili konudaki kavramsal anlama düzeylerindeki değişim araştırılabilir.
- Daha sonra gerçekleştirilecek araştırmalarda üç boyutlu yazıcılar ile üretilen öğretim materyallerinin elektronik kartlar ve komponentler (Örn. Arduino, LDR vb.) ile entegre biçimde çalışması sağlanarak farklı değişkenler açısından verilerin bilgisayar ortamına alınması sağlanabilir.

Bunların yanı sıra benzer çizimleri gerçekleştirecek ve derslerinde uygulayacak öğretmen ve araştırmacılar için aşağıdaki önerilerde bulunulabilir:

- Deneylerin gerçekleştirilmesinde daha karanlık ortamların oluşturulması deneyin görünürlüğünü arttıracaktır. Bu açıdan deneyler için özel karanlık oda olarak adlandırılan kapalı sistemler tasarlanabilir. Bu odaların büyüklüğü deney düzeneği ile orantılı olarak çok büyük olmak zorunda değildir.
- Benzer çizimlerin gerçekleştirilmesinde Blender dışında ücretsiz programlar kullanılarak daha basit düzeyde çizimlerde bu programlardan yararlanılabilir.
- Deneylerin gösterimi dışında güneş ve ay tutulması gibi farklı doğa olaylarını simüle edecek yapılar basılarak öğrencilerin dikkati çekilebilir ve derse karşı olan motivasyonları artırılabilir.
- Özellikle daha küçük yaş grupları için renkli materyallerin ilgi çekici olduğu düşünüldüğünde deney bileşenlerinin üretilmesi sırasında tek renk filament yerine farklı renklerde filamentler kullanılmasının öğrencilerin dikkatini çekeceği düşünülebilir.

6. KAYNAKLAR

- Ahçı, M.** (2012). Üniversite Öğrencilerinin Işık ve Optik Konuları ile İlgili Kavramsal Anlamaları, Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Akgün, U.** (2022). Üç Boyutlu Yazıcının Kullanıldığı STEM Eğitim Uygulamalarının 7. Sınıf Fen Bilimleri Dersinde Akademik Başarı, Tutum ve Motivasyona Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi Eğitim Bilimleri Enstitüsü.
- Aldemir, U., Caner, S., Akın, P. & Kaplan, A.** (2024) Eğitimde öğrenci merkezli öğrenme modelleri, *International QMX Journal*, 3(3), 1280-1285.
- Amirkhanov, B., Nurgazy, T., Amirkhanova, G., Kunelbayev, M. and Tyulepberdinova, G.** (2025). Creating 3D models of production equipment and infrastructure using Blender, *International Journal of Innovative Research and Scientific Studies*, 8(1), 1572–1588.
- Anıl, Ö. ve Küçüközer, H.** (2010). Ortaöğretim 9. Sınıf Öğrencilerinin Düzlem Ayna Konusunda Sahip Oldukları Ön Bilgi ve Kavram Yanılgılarının Belirlenmesi, *Türk Fen Eğitimi Dergisi*, 7(3), 104-122.
- Ataş, V.** (2023). Akran Öğretimi Yönteminin ve 3D Yazıcı Kalem Teknolojisinin 7. Sınıf Öğrencilerinin Matematik Dersi Akademik Başarılarına ve Tutumlarına Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.
- Avinal, M.** (2019). Üç Boyutlu Yazıcı Teknolojisi ile Tasarlanan Etkinliklerin Vücudumuzdaki Sistemler Ünitesinin Öğretimine Etkisinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Kastamonu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Aydın, S.** (2007). Geometrik Optik Konusundaki Kavram Yanılgılarının Kavramsal Değişim Metinleri İle Giderilmesi, Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Blender**, “Blender History”, <https://www.blender.org/about/history/> (Erişim tarihi: 12 Ağustos 2025)
- Cai, B., Mainhood, L. A., Groome, R., Laverty, C., and McLean, A.** (2021). Student behavior in undergraduate physics laboratories: Designing experiments. *Physical Review Physics Education Research*, 17(2), 020109.
- Çekirge, E.** (2019). 3B Yazıcı Kullanımının Akademik Başarıları, Tutum, Motivasyon ve Eleştirel Düşünme Eğilimlerine Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Necmettin Erbakan Üniversitesi Eğitim Bilimleri Enstitüsü.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Çetin, A., Şaşmaz Ören, F., Evrekli, E., Karapınar, A., Şerenli, E., Şahin, F., Varol, İ., Bekmezci, S. ve Ateş, A. M.** (2025). 3D yazıcı destekli proje uygulamalarının öğretmen adaylarının bilimsel yaratıcılık düzeyleri ile materyal geliştirmeye yönelik öz-yeterlik inançları üzerindeki etkisi, *Mehmet Akif Ersoy University Journal of Education Faculty*, 73, 178-205.
- Çopur, S.** (2019). 3D Yazıcı Kalem Teknolojisinin Geometri Derslerinde Kullanımının Etkinliğinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Cumhuriyet Üniversitesi Eğitim Bilimleri Enstitüsü.
- Dağlı, H.** (2022). 7. Sınıf Fen Eğitiminde Uzaktan Eğitim Yoluyla Verilen Üç Boyutlu Tasarım Uygulamasının Etkinliği: Vaka Çalışması, Yüksek Lisans Tezi, Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Dash, A., Deasi, H., Damani, M. and Gonsalves, J.** (2024). Blender as an alternative to architectural apps, *International Journal of Scientific Research in Engineering and Management (IJSREM)*, 8(3), 1-4.
- Diederich, B., Lachmann, R., Carlstedt, S., Marsikova, B., Wang, H., Uwurukundo, X., Mosig, A.S. and Heintzmann, R.** (2020). A versatile and customizable low-cost 3D-printed open standard for microscopic imaging, *Nature Communications*, 11, 5979.
- Düzgün, B.** (2000). Fizik konularının kavratılmasında görsel öğretim materyallerinin önemi, *Milli Eğitim Dergisi*, 148.
- Eren, E.S.** (2019). Sınıf Öğretmeni Adaylarının Geometrik Optik Konusu Kavram Yanılgılarının Tespit Edilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Eğitim Bilimleri Enstitüsü.
- Erol, D.I.** (2020). Doğadaki Mikro ve Nano Yapıların 3B Baskılı Modellerinin Oluşturulması ve Argüman Temelli Nanobilim Öğretiminde Kullanılması, Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Gul, S. and Yalinkilic, F.** (2025). Teaching of the subject ‘biomolecules in living organisms’ using 3d printing models, *Education and Information Technologies*, 30, 13213–13248.
- Güleryüz, H.** (2020). 3D Yazıcı ve Robotik Kodlama Uygulamalarının Öğretmen Adaylarının 21. Yüzyıl Öğrenen Becerileri, Stem Farkındalık ve Stem Öğretmen Öz Yeterliliğine Etkisi, Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi Eğitim Bilimleri Enstitüsü.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Gürel-Taşkıran, A.** (2019). Fen Eğitiminde 3D Yazıcıların Kullanımının Öğrencilerin Tutumları ve Görüşlerine Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, İnönü Üniversitesi Eğitim Bilimleri Enstitüsü.
- Haverkamp, N., Pusch, A., Heusler, S. and Gregor, M.** (2022). A simple modular kit for various wave optic experiments using 3D printed cubes for education, *Physics Education*, 57, 1-13.
- Henssen, D., Karstens, J., De Jong, G., Duits, J.D., Boer, L., Brink, M., Maal, T. and Peters-Bax, L.** (2025). Implementing 3D printing and extended reality in anatomy education: Organization, evolution, and assessment of an innovative teaching program in an undergraduate medical school in the Netherlands, *Annals of Anatomy*, 257, 152354.
- İbiş, A.** (2019). 3 Boyutlu Modelleme ve Yazdırmanın 6. Sınıf Sosyal Bilgiler Dersine Entegrasyon Süreci ve Bu Sürece İlişkin Öğrenci Görüşleri, Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi Eğitim Bilimleri Enstitüsü.
- İşbaralı, M.** (2017). Aile Eğitim Materyallerinin Ortaokul Öğrencilerinin Işık Ünitesindeki ve Aile Katılımlı Etkinliklerdeki Başarılarına Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Kafkas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Kaçan, B.** (2008). Işık Hakkındaki Kavram Yanılgılarının Tespiti ve Giderilmesine Yönelik Uygulamalar, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Eğitim Bilimleri Enstitüsü.
- Kaplan, E.** (2017). 6. Sınıf Öğrencilerinin Işık ve Ses Konusundaki Kavram Yanılgılarının Kavram Testi, Kavram Karikatürleri ve Yarı Yapılandırılmış Görüşme Kullanılarak Tespit Edilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi Eğitim Bilimleri Enstitüsü.
- Karaduman, H.** (2018). Soyuttan somuta, sanaldan gerçeğe: öğretmen adaylarının bakış açısıyla üç boyutlu yazıcılar, *Abant İzzet Baysal Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 18(1), 273-303.
- Karagöz, B. ve Şahin Çakır, Ç.** (2020). fen bilgisi öğretmen adaylarının 3 boyutlu yazıcılar hakkındaki görüşlerinin belirlenmesi, *Karaelmas Eğitim Bilimleri Dergisi*, 8(2), 303-317.
- Kökhan, S. ve Özcan, U.** (2018). 3D yazıcıların eğitimde kullanımı. *Bilim, Eğitim, Sanat ve Teknoloji Dergisi*, 2(1), 81-85.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Kuzu Demir, E. B., Çaka, C., Tuğtekin, U., Demir, K., İslamoğlu, H. ve Kuzu, A. (2016).** Üç boyutlu yazdırma teknolojilerinin eğitim alanında kullanımı: Türkiye'deki uygulamalar, *Ege Eğitim Dergisi*, 17(2), 481-503
- Mert, N. (2024).** Fen Bilimleri Eğitiminde 3B Yazıcı Teknolojileri: Santral Dogmanın Biyomoleküler Tasarımı ve Modellemesinin Akademik Başarı, Mühendislik Tasarım Becerileri ve 3B Baskı Teknolojilerine Yönelik Görüşler Üzerine Etkileri, Yüksek Lisans Tezi, Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi Eğitim Bilimleri Enstitüsü.
- Munir, M. T., Jamwal, P. K., Li, B., Carter, S. and Hussain, S. (2024).** Revolutionising engineering pedagogy: The role of 3D printing in modern engineering education. *Innovations in Education and Teaching International*, 62(2), 575–593.
- Oker, E. (2023).** E-twinning Platformunda Uygulanan Stem Etkinliklerinin Öğrencilerin Steme Yönelik Tutum ve Motivasyonlarına Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi Eğitim Bilimleri Enstitüsü.
- Ozdemir, E. Coramik, M. And Urek, H. (2020).** Determination of conceptual understanding levels related to optics concepts: the case of opticianry, *International Journal of Education in Mathematics, Science and Technology (IJEMST)*, 8(1), 53-64.
- Öz Yıldız, R. (2024).** Üç Boyutlu Üretim Araçları ile Geliştirilen Tasarımların 7. Sınıf Öğrencilerin Uzamsal Becerilerine, Malzeme Bilgilerine, Mühendislik Tasarım Süreçlerine ve Akademik Başarılarına Etkisi, Doktora Tezi, Marmara Üniversitesi Eğitim Bilimleri Enstitüsü.
- Özdemir, F.B. (2024).** 2013 ve 2018 Fen Bilimleri Dersi Öğretim Programlarına Göre Ortaokul Öğrencilerinin Işık ve Ses Kavramları Hakkındaki Bilgilerinin Karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü.
- Özsoy, K. (2019).** Üç boyutlu (3b) yazıcı teknolojisinin eğitimde uygulanabilirliği: Senirkent MYO Örneği. *Duzce University Journal of Science and Technology*, 7(2), 111-123.
- Pınarkaya, Y. (2017).** Aynalarda Yansıma ve Işığın Soğrulması Ünitesinde Animasyon Destekli Kavram Karikatürleri Uygulamalarının Öğrencilerin Akademik Başarılarına, Kavram Yanılgılarına ve Tutumlarına Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Ordu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Ramos, A. de S. and Oliveira, I. M. de.** (2023). The Blender 3D computer program and learning styles. *Seven Editora*.
- Sel, İ.** (2024). Okul Öncesi Eğitimde 3 Boyutlu Modelleme ve Yazdırma: Bir Uygulama Örneği, Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi Temel Eğitim Anabilim Dalı.
- Smail, Y. Codjia, F., Attal, J-P., Alexander, H., François, P. and Ejeil, A-L.** (2025). Perceptions of the use of a 3D-printed manufactured educational simulator for incisions and sutures, *BMC Medical Education*, 25:1177.
- Şengünel, C. ve Sarıhan, S.** (2024). Convergence of art technology in character and space design with Blender, *Art Time*, 7, 38-47.
- Tang, H. and Qian, Y.** (2025). Enhancing rural students' perceived relevance and career interest in engineering through 3D printing, *Frontiers in Education*, 10, 1-7.
- Tejera, M., Galiç, S. and Lavicza, Z.** (2025). 3D Modelling and printing in teacher education: a systematic literature review, *Journal for STEM Education Research*,
- Tenkoğlu, H.** (2017). Fen Bilimleri Dersinde Teknoloji Entegrasyon Matrisi Modelinin Öğrencilerin Teknoloji Standartları, Yansıtıcı Düşünme Becerileri ve Akademik Başarılarına Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Amasya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Topçuoğlu, N.** (2022). Kimya Eğitiminde Atom ve Molekül Yapılarının Öğretiminde Üçboyutlu Tasarım Uygulamaları, Doktora Tezi, Kastamonu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Tsai, Y. C.** (2023). Learner-centered analysis in educational metaverse environments: Exploring value exchange systems through natural interaction and text mining, *Journal of Metaverse*. 3(2), 121-132.
- Vinnakota, R. K, Barr, B. A. and Radavaram S.** (2024). Open-source 3D printed laboratory for education: Illuminating optics and optoelectronics demonstrations, *Physics Education*, 59, 1-17.
- Yağbasan, R., ve Gülçiçek, A. G. Ç.** (2003). Fen öğretiminde kavram yanlışlarının karakteristiklerinin tanımlanması, *Pamukkale Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 13(13), 102-120.
- Yıldırım, K.** (2022). Öğrencilerin Üç Boyutlu Yazıcı Etkinlikleri ile Geometrik cisimler Konusundaki Kavram İmajlarının ve Tanımlarının İncelenmesi, Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Eğitim Bilimleri Enstitüsü.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Yıldızbaş, H.** (2017). Ortak Bilgi Yapılandırma Modeline Dayalı Öğretimin Öğrencilerin Akademik Başarılarına ve Eleştirel Düşünme Becerilerine Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Necmettin Erbakan Üniversitesi Eğitim Bilimleri Enstitüsü.
- Yılmaz, T.** (2016). Probleme Dayalı Öğrenme Yönteminin Fen Konularının Öğretilmesinde Ortaokul 5. Sınıf Öğrencilerinin Akademik Başarılarına ve Fen Bilimleri Dersine Yönelik Tutumlarına Etkisi: Işık ve Ses, Yüksek Lisans Tezi, Bozok Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Zhang, C., Anzalone N.C., Faria, R.P, Pearce, J.M.** (2013) Open-source 3D-printable optics equipment, *PLoS ONE*, 8(3), e59840.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı : Osman Beyli

Doğum tarihi ve yeri :

e-posta :

Öğrenim Bilgileri

Derece	Okul/Program	Yıl
Lisans		
Lise		