

T.C.
KASTAMONU ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MATEMATİK VE FEN BİLİMLERİ EĞİTİMİ ANA BİLİM DALI
FEN BİLGİSİ EĞİTİMİ



KİMYA EĞİTİMİNDE ATOM VE MOLEKÜL YAPILARININ
ÖĞRETİMİNDE ÜÇ BOYUTLU TASARIM UYGULAMALARI

NAZAN TOPÇUOĞLU

DOKTORA TEZİ

PROF. DR. ZEKERİYA YERLİKAYA

OCAK - 2022
KASTAMONU

TEZ ONAYI

NAZAN TOPÇUOĞLU tarafından hazırlanan “**Kimya Eğitiminde Atom ve Molekül Yapılarının Öğretiminde Üç Boyutlu Tasarım Uygulamaları**” adlı tez çalışmasının savunma sınavı **27.01.2022** tarihinde yapılmış olup aşağıda verilen jüri tarafından oy birliği ile Kastamonu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Matematik ve Fen Bilimleri Eğitimi Ana Bilim Dalı’nda **Doktora Tezi** olarak kabul edilmiştir.

Danışman	Prof. Dr. Zekeriya YERLİKAYA	
	Kastamonu Üniversitesi	
Eş Danışman	Dr. Öğr. Üyesi Ahmet ÜNAL	
	Kastamonu Üniversitesi	
Jüri Üyesi	Prof. Dr. Yüksel TUFAN	
	Gazi Üniversitesi	
Jüri Üyesi	Doç. Dr. Halil TÜMAY	
	Gazi Üniversitesi	
Jüri Üyesi	Doç. Dr. Halil İbrahim AKYÜZ	
	Kastamonu Üniversitesi	
Jüri Üyesi	Doç. Dr. Fuat KARTAL	
	Kastamonu Üniversitesi	

Jüri üyeleri tarafından kabul edilmiş olan bu tez Kastamonu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunca onanmıştır.

Enstitü Müdürü Prof. Dr. İzzet ŞENER

TAAHHÜTNAME

Bu tezin tasarımı, hazırlanması, yürütülmesi, araştırmalarının yapılması ve bulgularının analizlerinde bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu; ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını, bilimsel etiğe uygun olarak kaynak gösterildiğini bildirir ve taahhüt ederim.

Nazan TOPÇUOĞLU

ÖZET

DOKTORA TEZİ

KİMYA EĞİTİMİNDE ATOM VE MOLEKÜL YAPILARININ ÖĞRETİMİNDE ÜÇ BOYUTLU TASARIM UYGULAMALARI

NAZAN TOPÇUOĞLU

KASTAMONU ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MATEMATİK VE FEN BİLİMLERİ EĞİTİMİ ANA BİLİM DALI
FEN BİLGİSİ EĞİTİMİ

DANIŞMAN:PROF. DR. ZEKERİYA YERLİKAYA
EŞ DANIŞMAN:DR. ÖĞR. ÜYESİ AHMET ÜNAL

Hızla gelişen ve değişen teknoloji hayatımızın hemen hemen her alanını etkilemektedir. Bu gelişmelerden ve değişimlerden oldukça fazla etkilenen alanların başında ise eğitim gelmektedir. Özellikle üç boyutlu (3D) tasarım ve baskı teknolojisi başta olmak üzere pek çok yeni uygulamanın eğitim alanında kullanımı her geçen gün artmaktadır. Bu durumdan hareketle, araştırmanın amacını kimya dersi kapsamında işlenen “Atom ve Periyodik Sistem” ile “Kimyasal Türler Arası Etkileşimler” ünitelerine yönelik 3D tasarım uygulamalarının kullanılacağı öğrenme ortamının tasarlanması ve uygulanması oluşturmaktadır.

Araştırmada nicel ve nitel araştırma desenlerinin bir arada kullanıldığı karma araştırma deseni kullanılmıştır. Araştırma Kastamonu Anadolu İmam Hatip Lisesi 9.sınıfta öğrenim gören 63 öğrenci ile yürütülmüştür. Hazırlanan teknoloji öğretim programı çerçevesinde ve uzaktan eğitim yoluyla, deney grubu öğrencilerine yönelik hazırlanan bir eğitim programı uygulanmış, program sonunda araştırmacı ve öğrenciler tarafından konu ile ilgili birçok 3D tasarım uygulamaları gerçekleştirilmiş ve tasarlanan atom ve molekül modellerin çıktıları 3D yazıcı ile basılmıştır. Araştırma verileri Kimya Başarı Testi, Teknoloji Öğrenimine Karşı Motivasyon ve Öz Düzenleme Ölçeği ve odak grup görüşmeleri aracılığıyla toplanmıştır. Hazırlanan başarı testi ve ölçek öğrencilere, deney öncesi ve sonrası “ön test– son test” olarak uygulanmış ve başarı testi son test olarak uygulandıktan on hafta sonra kalıcılık testi olarak tekrar uygulanmıştır. Elde edilen nicel veriler SPSS istatistik paket programı kullanılarak analiz edilmiştir. Odak grup görüşmeleri ile öğrencilerin uygulamaya yönelik görüşleri alınmış ve elde edilen nitel veriler içerik analizi yöntemiyle analiz edilmiştir.

Verilerin analizi sonucunda her iki grupta da 3D materyal destekli işlenen kimya derslerinin öğrencilerin başarısını arttırdığı, uzaktan eğitim sürecine yönelik öğrencilerin negatif bakış açıları olmasına rağmen deney grubu öğrencilerinin yapılan 3D tasarım uygulamaları sayesinde teknolojiye olan tutumlarının değişmediği görülmüştür. Ayrıca yapılan odak grup görüşmeleri sonucunda deney grubu öğrencileri uygulamadan memnun kaldıklarını, tasarım yapmayı öğrendiklerini ve birçok 3D materyal tasarladıklarını ifade etmişlerdir.

Bu çalışma 3D tasarım uygulamalarının kullanıldığı teknoloji destekli bir öğrenme ortamının eğitime ne şekilde uyarlanabileceği konusunda uygulayıcılara örnek olması bakımından da önem taşımaktadır. Ayrıca, araştırma sonuçlarından hareketle bu tür teknoloji destekli eğitim-

öğretim materyal ve etkinliklerinin kimya eğitimi ve eğitimin diğer alanlarına vereceği katkılar tartışılmış ve çeşitli öneriler sunulmuştur.

ANAHTAR KELİMELER: Üç boyutlu (3D) tasarım, üç boyutlu materyal, üç boyutlu yazıcı, eğitim, kimya eğitimi, üç boyutlu modeller, teknoloji destekli öğretim, Tinkercad

Ocak 2022, 183 Sayfa



ABSTRACT

PH.D THESIS

THREE-DIMENSIONAL DESIGN APPLICATIONS IN TEACHING ATOM AND MOLECULAR STRUCTURES IN CHEMISTRY EDUCATION

NAZAN TOPÇUOĞLU

**KASTAMONU UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE
DEPARTMENT OF MATHEMATICS AND SCIENCE EDUCATION
SCIENCE EDUCATION**

SUPERVISOR: PROF. DR. ZEKERİYA YERLİKAYA

CO-SUPERVISOR: ASST. PROF. DR. AHMET ÜNAL

Rapidly developing and changing technology affects almost every aspect of our lives. Education is one of the most affected areas by these developments and changes. The use of many new applications in the field of education, especially three-dimensional (3D) design and printing technology, is increasing day by day. Based on this situation, the aim of the research is to design and implement the learning environment in which 3D design applications for the units "Atomic and Periodic System" and "Interactions Between Chemical Species" will be used within the scope of chemistry course.

Mixed research design, in which quantitative and qualitative research designs are used together, was used in the research. The research was carried out with 63 9th grade students of Kastamonu Anatolian Imam Hatip High School. Within the framework of the prepared technology curriculum and through distance education, a training program prepared for the Experimental group students was implemented, at the end of the program, many 3D design applications were carried out by the researchers and students, and the outputs of the designed atom and molecule models were printed with a 3D printer. Research data were collected through Chemistry Achievement Test, Technology Learning vs. Motivation and Self-Regulation Scale, and focus group interviews. The prepared achievement test and the scale were applied to the students before and after the experiment as a "pretest-posttest" and it was applied again as a retention test ten weeks after the achievement test was applied as a posttest. The quantitative data obtained were analyzed using the SPSS statistical package program. Through focus group interviews, students' views on practice were taken and the qualitative data obtained were analyzed by content analysis method.

As a result of the analysis of the data, it was seen that the chemistry lessons taught with 3D material support in both groups increased the success of the students, and although the students had negative perspectives on the distance education process, the attitudes of the experimental group students to technology did not change thanks to the 3D design applications. In addition, as a result of the focus group interviews, the experimental group students stated that they were satisfied with the application, they learned how to design and they designed many 3D materials.

This study is also important in terms of setting an example for practitioners on how a technology-supported learning environment using 3D design applications can be adapted to education. In addition, based on the results of the research, the contributions of such technology-supported educational materials and activities to chemistry education and other fields of education were discussed and various suggestions were presented.

KEYWORDS: Three dimensional (3D) design, three-dimensional material, three-dimensional printer, education, chemistry education, three-dimensional models, technology-assisted teaching, Tinkercad

January 2022, 183 Page



TEŞEKKÜR

Öncelikle değerli danışman hocam Sayın Prof. Dr. Zekeriya YERLİKAYA'ya bu tez çalışmasını yürütme ve yazma süreci boyunca sağladığı rehberlik, teşvik, uzmanlık ve olumlu bakış açısı için sonsuz teşekkürlerimi iletmek isterim. Önüme çıkan engeller karşısında pes etmeyip onların üstesinden gelmem konusunda bana çok yardımcı oldunuz. Pozitif bakış açınız sayesinde çalışmaya devam etme motivasyonumu hiçbir zaman kaybetmedim. Verdiğiniz tüm destekler ve emekler için size minnettarım.

Lisansüstü eğitimim süresince bilgisiyle, sabrıyla, anlayışıyla, gülen yüzüyle ve rehberliğiyle her an yanımda olan ikinci danışmanım değerli hocam Sayın Dr. Öğr. Üyesi Ahmet ÜNAL'a da teşekkürü bir borç biliyorum. Her şey için çok teşekkür ederim.

Tez izleme komitesinde yer alan, değerli görüş ve önerileri ile çalışmaya katkı sağlayan değerli hocalarım Sayın Doç. Dr. Halil İbrahim AKYÜZ ve Sayın Doç. Dr. Fuat KARTAL'a teşekkür ederim. Ayrıca görüş ve önerileriyle çalışmaya katkı sunan değerli hocalarım Sayın Prof. Dr. Yüksel TUFAN ve Sayın Doç. Dr. Halil TÜMAY'a teşekkür ederim.

Tez çalışmam süresince sahip olduğu bilgi ve birikimle bana destek olan Sayın Bilişim Teknolojileri Öğretmeni Ali Osman DEMİREL'e çok teşekkür ediyorum.

Çalışmamı yürütebilmem için tüm imkânlarını seferber eden, her konuda yardımını esirgemeyen Kastamonu Anadolu İmam Hatip Lisesi (Proje Okulu) müdürü Sayın Cengiz GÜNDAY ile büyük bir aile olan, Kastamonu Anadolu İmam Hatip Lisesi idareci, öğretmen ve personeline çok teşekkür ederim.

Hayatımın her anında her zaman yanımda olan, maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen, emeklerinin karşılığını hiçbir şekilde ödeyemeyeceğim başta sevgili annem ve babam Güler ve Yılmaz ŞİMŞİR'e, çok kıymetli babaannem Şahizer ŞİMŞİR'e, canım kardeşlerim Yonca ve Yiğit ŞİMŞİR'e çok teşekkür ediyorum. İyi ki hayatımdasınız iyi ki yanımdasınız.

Varlığıyla bana her zaman güç veren, sevgisini ve bana olan inancını her zaman yanımda hissettiğim en büyük destekçim ve şansım değerli eşim Adnan TOPÇUOĞLU'na sonsuz teşekkür ve sevgilerimi sunarım.

NAZAN TOPÇUOĞLU

Kastamonu, 2022

İÇİNDEKİLER

Sayfa

TEZ ONAYI	ii
TAAHHÜTNAME	iii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT	vi
TEŞEKKÜR	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	xii
TABLOLAR DİZİNİ	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xiv
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Problem Durumu	2
1.2 Alt Problemler	2
1.3 Araştırmanın Amacı	3
1.4 Araştırmanın Önemi	4
1.5 Sayıtlar	7
1.6 Sınırlılıklar.....	7
2. KURAMSAL ÇERÇEVE	9
2.1 Covid-19 Sürecinde Uzaktan Eğitim.....	9
2.2 Fen Bilimleri Öğretimi	12
2.2.1 Fen Bilimleri Öğretiminin Genel Amaçları	13
2.2.2 Fen Bilimleri Öğretiminde Teknoloji Kullanımı	14
2.2.2.1 Fen bilimleri öğretiminde teknoloji kullanımına yönelik öz düzenleme	15
2.2.2.2 Fen bilimleri öğretiminde teknoloji kullanımı ve motivasyon	16
2.2.3 Fen Bilimleri Öğretiminde Kullanılan Teknoloji Destekli Bazı Yaklaşımlar	17
2.2.3.1 Modelle öğretim yaklaşımı	17
2.2.3.2 STEM eğitimi yaklaşımı	22
2.3 Üç Boyutlu Tasarım Uygulamaları	25
2.3.1 Üç Boyutlu Yazıcı Teknolojisi	27
2.3.2 Üç Boyutlu Yazıcıların Tarihsel Gelişimi	28
2.3.3 Üç Boyutlu Yazıcılarda Bulunan Parçalar ve Malzemeler	28
2.3.4 Üç Boyutlu Yazıcılarda Kullanılabilen Ham Maddeler.....	29
2.3.5 Üç Boyutlu Yazıcı Türleri	35
2.3.6 Üç Boyutlu Yazıcıların Üretim Teknikleri	38
2.3.7 Üç Boyutlu Yazıcıların Baskı Süreci	49
2.3.8 Üç Boyutlu Baskı Teknolojisinin Avantajları.....	53
2.3.9 Üç Boyutlu Baskı Teknolojisinin Dezavantajları	55
2.3.10 Üç Boyutlu Yazıcıların Kullanım Alanları	56
2.3.11 Üç Boyutlu Tasarım Uygulamalarının ve Üç Boyutlu Baskı Teknolojisinin Eğitimde Kullanımı	59
2.4 Alanyazındaki Çalışmalar	69
3. YÖNTEM.....	84

3.1	Araştırmanın Modeli	84
3.2	Çalışma Grubu.....	85
3.3	Uygulama Süreci	86
3.4	Veri Toplama Araçları.....	91
3.4.1	Kimya Başarı Testi	91
3.4.2	Teknoloji Öğrenimine Karşı Motivasyon ve Öz Düzenleme Ölçeği.....	93
3.4.3	Yarı Yapılandırılmış Görüşme Formları.....	94
3.5	Verilerin Analizi.....	94
4.	BULGULAR	95
4.1	Birinci Alt Probleme İlişkin Bulgular	95
4.1.1	Deney ve Kontrol Grubu Kimya Başarı Testi Ön Test Sonucuna İlişkin Bulgular.....	95
4.1.2	Deney Grubu Öğrencilerinin Kimya Başarı Testi Ön Test ve Son Test Sonuçlarına İlişkin Bulgular	96
4.1.3	Kontrol Grubu Öğrencilerinin Kimya Başarı Testi Ön Test ve Son Test Sonuçlarına İlişkin Bulgular	97
4.1.4	Deney ve Kontrol Grubu Kimya Başarı Testi Son Test Sonucuna İlişkin Bulgular.....	99
4.1.5	Deney ve Kontrol Grubu Kimya Başarı Testi Kalıcılık Testi Sonucuna İlişkin Bulgular.....	100
4.2	İkinci Alt Probleme İlişkin Bulgular	101
4.2.1	Deney Grubu Öğrencilerinin Teknoloji Öğrenimine Karşı Motivasyon ve Öz Düzenleme Ölçeği Ön Test ve Son Test Sonuçlarına İlişkin Bulgular	101
4.2.2	Kontrol Grubu Öğrencilerinin Teknoloji Öğrenimine Karşı Motivasyon ve Öz Düzenleme Ölçeği Ön Test ve Son Test Sonuçlarına İlişkin Bulgular	102
4.2.3	Deney ve Kontrol Grubu Teknoloji Öğrenimine Karşı Motivasyon ve Öz Düzenleme Ölçeği Ön Test Sonucuna İlişkin Bulgular	103
4.2.4	Deney ve Kontrol Grubu Teknoloji Öğrenimine Karşı Motivasyon ve Öz Düzenleme Ölçeği Son Test Sonucuna İlişkin Bulgular	105
4.3	Üçüncü Alt Probleme İlişkin Bulgular	106
4.3.1	Birinci Soru İle İlgili Elde Edilen Bulgular	106
4.3.2	İkinci Soru İle İlgili Elde Edilen Bulgular	108
4.3.3	Üçüncü Soru İle İlgili Elde Edilen Bulgular	109
4.3.4	Dördüncü Soru İle İlgili Elde Edilen Bulgular	111
4.3.5	Beşinci Soru İle İlgili Elde Edilen Bulgular	111
4.3.6	Altıncı Soru İle İlgili Elde Edilen Bulgular	113
4.3.7	Yedinci Soru İle İlgili Elde Edilen Bulgular.....	114
4.3.8	Sekizinci Soru İle İlgili Elde Edilen Bulgular	115
4.3.9	Dokuzuncu Soru İle İlgili Elde Edilen Bulgular.....	116
5.	SONUÇ, TARTIŞMA VE ÖNERİLER.....	119
5.1	Sonuçlar ve Tartışma.....	119
5.1.1	Öğrencilerin Akademik Başarılarına Ait Sonuçlar ve Tartışma ..	119

5.1.2	Uygulamanın Öğrencilerin Teknoloji Öğrenimine Karşı Motivasyon ve Öz Düzenlemeleri Üzerine Etkisine Ait Sonuçlar ve Tartışma	121
5.1.3	Öğrencilerin Uygulamaya Yönelik Görüşleri ile İlgili Elde Edilen Nitel Bulgulara Ait Sonuçlar ve Tartışma	123
5.2	Öneriler.....	126
KAYNAKLAR		128
EK 1	MEB İzin Belgesi	146
EK 2	Etik Kurul İzin Belgesi	147
EK 3	Kimya Başarı Testi.....	148
EK 4	Teknoloji Öğrenimine Karşı Motivasyon ve Öz Düzenleme Ölçeği ..	151
EK 5	Araştırmacı Tarafından Geliştirilen Atom Modelleri ile İlgili 3D Ders Materyalleri	153
EK 6	Araştırmacı Tarafından Geliştirilen İyonik Bileşiklerin Kristal Örgü Yapısı İle İlgili 3D Ders Materyali.....	154
EK 7	Araştırmacı Tarafından Geliştirilen İyonik Bileşikler ile İlgili 3D Ders Materyali	155
EK 8	Araştırmacı Tarafından Geliştirilen Elementlerin İsimleri ve Sembolleri ile İlgili Ders Materyali.....	156
EK 9	Araştırmacı Tarafından Geliştirilen Periyodik Cetvel 3D Ders Materyali.....	157
EK 10	Araştırmacı Tarafından Geliştirilen Periyodik Özelliklerin Değişimi ile İlgili 3D Ders Materyali	159
EK 11	Araştırmacı Tarafından Geliştirilen Lewis Yapısı ile İlgili 3D Ders Materyali	160
EK 12	Araştırmacı Tarafından Geliştirilen Katman Elektron Dizilimleri ile İlgili 3D Ders Materyali	161
EK 13	Araştırmacı Tarafından Geliştirilen 3D Organik bileşik örnekleri (C ₂ H ₅ OH-CH ₃ COOH)	162
EK 14	Araştırmacı Tarafından Geliştirilen Molekül Geometrisi ile İlgili 3D Ders Materyalleri	163
EK 15	Araştırmacı Tarafından Geliştirilen 3D Kovalent Bağlı Bileşik Örnekleri	164
EK 16	Odak Grup Görüşme Soruları	166
EK 17	3D Tasarım ve Baskı Teknolojisi Öğretim Programı	169
EK 18	Pilot Uygulama Sonucu Elde Edilen Öğrenci Tasarımları	170
EK 19	Deney Grubu Öğrencileri Tarafından, Süreç İçerisinde Baskısı Alınan 3D Materyaller.....	171
EK 20	Pilot Uygulamaya Ait Fotoğraflar.....	174
EK 21	3D Modellerin Tinkercad Görüntülerinden Örnekler	175
EK 22	Etkinliğe Ait Fotoğraflar	176
EK 23	Deney Grubu Öğrencilerinin Baskıları	177

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1 Covid-19'un Türkiye eğitimine etkisi.....	11
Şekil 2.2 Üç bilim seviyesinin ilişkisi olduğunu gösteren model	20
Şekil 2.3 21.Yüzyıl becerileri.....	23
Şekil 2.4 Bütünleşik STEM eğitimi	23
Şekil 2.5 Tinkercad programı ile hazırlanmış örnek bir 3D model tasarımı.....	27
Şekil 2.6 3D yazıcı ve parçaları	29
Şekil 2.7 Fotopolimerin UV ışığı ile polimerizasyonu	30
Şekil 2.8 Filament rulosu	31
Şekil 2.9 Kartezyen tipi yazıcının hareket yörüngeleri	36
Şekil 2.10 Kartezyen tipi yazıcı	36
Şekil 2.11 Delta tipi yazıcının hareket yörüngeleri.....	37
Şekil 2.12 Delta tipi 3D yazıcı	37
Şekil 2.13 Core xy mantığı ile üretilmiş 3D yazıcı	38
Şekil 2.14 3D yazıcı kalem	38
Şekil 2.15 SLS tipi yazıcının baskı esnasındaki görünümü	39
Şekil 2.16 SLS makinesinin yapısı	40
Şekil 2.17 SLS makinesinin çalışma prensibi	41
Şekil 2.18 SLA makinesi	42
Şekil 2.19 SLA tipi yazıcının baskı esnasındaki görünümü	42
Şekil 2.20 FDM tipi yazıcının baskı esnasındaki görünümü	43
Şekil 2.21 FDM metodu.....	44
Şekil 2.22 Bağlayıcı jeti çalışma düzeneği	45
Şekil 2.23 Malzeme jeti çalışma düzeneği	45
Şekil 2.24 Polijet çalışma düzeneği	46
Şekil 2.25 LOM çalışma düzeneği	47
Şekil 2.26 DLP çalışma düzeneği	48
Şekil 2.27 SDL çalışma düzeneği	49
Şekil 2.28 Üretim sürecinin üç adımı.....	49
Şekil 2.29 Bir .STL dosyasında bilgilerin grafik gösterimi	50
Şekil 2.30 Genelleştirilmiş katkı üretim süreci	53

TABLÖLAR DİZİNİ

Sayfa

Tablo 2-1 3D tasarım uygulamalarının ve 3D baskı teknolojisinin farklı eğitim ortamlarında nasıl kullanıldığına dair genel bakış	60
Tablo 3-1 Araştırmanın deneysel deseni	85
Tablo 3-2 Araştırmanın çalışma grubu	86
Tablo 3-3 Kazanım-3D model eşleştirmesi	87
Tablo 4-1 Deney ve kontrol grubu öğrencilerinin ön test puanlarına ilişkin tanımlayıcı istatistikler	95
Tablo 4-2 Deney ve kontrol grubu öğrencilerinin ön test puanlarına ilişkin Mann-Whitney U testi sonuçları	96
Tablo 4-3 Deney grubu öğrencilerinin aldıkları puanlara ilişkin tanımlayıcı istatistikler	96
Tablo 4-4 Deney grubunun ön test ve son test puanlarının farklılığına ilişkin Wilcoxon testi sonuçları	97
Tablo 4-5 Kontrol grubu öğrencilerinin aldıkları puanlara ilişkin tanımlayıcı istatistikler	97
Tablo 4-6 Kontrol grubunun ön test ve son test puanlarının farklılığına ilişkin bağımlı t-testi sonuçları	98
Tablo 4-7 Deney ve kontrol grubu öğrencilerinin son test puanlarına ilişkin tanımlayıcı istatistikler	99
Tablo 4-8 Deney ve kontrol grubunun kimya başarı testi son test puanları ile ilgili bağımsız t- testi sonuçları	99
Tablo 4-9 Deney ve kontrol grubu öğrencilerinin kalıcılık testi puanlarına ilişkin tanımlayıcı istatistikler	100
Tablo 4-10 Deney ve kontrol grubunun kimya başarı testi kalıcılık testi puanları ile ilgili bağımsız t-testi sonuçları	100
Tablo 4-11 Deney grubu öğrencilerinin aldıkları puanlara ilişkin tanımlayıcı istatistikler	101
Tablo 4-12 Deney grubunun ön test ve son test puanlarının farklılığına ilişkin Wilcoxon testi sonuçları	102
Tablo 4-13 Kontrol grubu öğrencilerinin aldıkları puanlara ilişkin tanımlayıcı istatistikler	102
Tablo 4-14 Kontrol grubunun ön test ve son test puanlarının farklılığına ilişkin Wilcoxon testi sonuçları	103
Tablo 4-15 Deney ve kontrol grubu öğrencilerinin ön test puanlarına ilişkin tanımlayıcı istatistikler	104
Tablo 4-16 Deney ve kontrol grubu öğrencilerinin ön test puanlarına ilişkin Mann-Whitney U testi sonuçları	104
Tablo 4-17 Deney ve kontrol grubu öğrencilerinin son test puanlarına ilişkin tanımlayıcı istatistikler	105
Tablo 4-18 Deney ve kontrol grubunun teknoloji öğrenimine karşı motivasyon ve öz düzenleme ölçeğine ait son test puanları ile ilgili bağımsız t testi sonuçları	105

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

p	: Anlamlılık Düzeyi
SS	: Standart Sapma
T	: t değeri
N	: Örneklem Sayısı
%	: Yüzde
$\bar{X}$	: Aritmetik Ortalama
π	: pi
σ	: sigma
V	: Volt
W	: Watt
°C	: Derece santigrat

Kısaltmalar

MEB	: Milli Eğitim Bakanlığı
3D	: 3 Boyut (3 Dimension)
STEM	: Fen, Teknoloji, Mühendislik ve Matematik (Science, Technology, Engineering and Mathematics)
SPSS	: Sosyal Bilimler İstatistik Paketi (Statistical Package for the Social Sciences)
CAD	: Bilgisayar Destekli Tasarım (Computer Aided Design)
STL	: Stereolitografi Dosya Uzantısı
FeTeMM	: Fen, Teknoloji, Mühendislik ve Matematik
SLA	: Stereolitografi
PLA	: Polilaktik Asit
SLM	: Seçici Lazer Eritme
SLS	: Seçici Lazer Sinterleme
FDM	: Erimiş Birikim Modelleme
PVA	: Polivinil Alkol
PET	: Polietilen Tereftalat
AVM	: Alışveriş Merkezi
PC	: Polikarbonat
HIPS	: Yüksek Etkili Polistiren
PETG	: Polietilen Tereftalat Glikol
VSEPR	: Değerlik Kabuğu Elektron Çifti İtmesi
.3MF	: 3D Üretim Dosyası (3D Manufacturing File)
PC	: Kişisel Bilgisayar
ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
NASA	: Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi

SDL	: Seçici Birikim Laminasyonu
CMYK	: Camgöbeği, eflatun, sarı ve siyah (Cyan, Magenta, Yellow and Key)
DLP	: Dijital lazer projeksiyon
EBM	: Elektronik Işın Erime
IJP	: Mürekkep Püskürtmeli Yazıcılar
CAM	: Bilgisayar Destekli İmalat
ABS	: Akrilonitril Bütadien Stiren
LOM	: Lamine nesne üretimi
DMLS	: Doğrudan Metal Lazer Sinterleme
UV	: Ultraviyole Işık
cP	: Centipoise
mm	: Milimetre
cm	: Santimetre
yy	: Yüzyıl
3DP	: 3 Boyutlu Yazıcı
DMD	: Dijital mikromirror cihazı
2D	: İki boyutlu
LAN	: Yerel ağ
WLAN	: Kablosuz yerel ağ
USB	: Evrensel Seri Veriyolu
WLAN	: Kablosuz yerel ağ
SD kart	: Güvenli Dijital Hafıza Kartı (Secure Digital Memory Card)
UNESCO	: Birleşmiş Milletler Eğitim, Bilim ve Kültür Kurumu

1. GİRİŞ

Günümüzde dünyasında, gelişen bilimsel araştırmaların ve eğitim teknolojilerinin de katkısıyla, yeni öğretim programları ihtiyaçlara cevap verebilecek nitelikte düzenlenmeye çalışılmaktadır. Bu kapsamda; eğitim felsefeleri, öğretim kuramları, çağdaş öğretim ilkeleri, hedeflenen ortak beceriler ve kazandırılması önemli görülen ara disiplinler temel alınarak öğretim sisteminin yeniden yapılandırılması ve yapısal bir değişikliğe gidilmesi bir zorunluluk haline gelmiştir. Öte yandan dünyanın her yerinde gözlenen değişme ve gelişmeler, Türkiye’yi de yakından ilgilendirmekte olup, eğitimin yapısı da bu gelişim ve değişimler ışığında yeniden yapılandırılmakta, eksik ve yanlışlar belirlenerek düzeltilmeye çalışılmaktadır. Türkiye’nin nüfus yapısı, aile niteliği, toplumsal yapısı, tüketim biçimi, bilimsel ve teknolojik yapısında yaşanan değişimler, beraberinde eğitim sistemini de değişime zorlamaktadır. Bunun sonucunda da eğitim-öğretim sisteminde de köklü değişimlere gidilmesi ve küresel gelişmelere paralel olarak Türkiye’nin gereksinimlerinin algılanabilmesi, büyük bir ihtiyaç olarak görülmüştür (MEB, 2005).

Eğitim sistemimizin, değişim ve gelişmelere duyarlı, yeniliklere açık, çağın koşullarına, toplumun ihtiyaç ve beklentilerine uygun, dönüşüme duyarlı olacak şekilde düzenlenmesi zorunluluk olmuştur. Bu ekonomik ve toplumsal gelişmelerin yansımaları olarak; yaratıcı düşünme, kritik düşünme, araştırma, sorgulama, problem çözebilme, özgür iradeyle karar verebilme, işbirliği kurabilme yeterliliklerine ve üst düzey becerilere sahip, kendini ifade edebilen, girişimci, teknolojiyle barışık, vatandaşlık bilinci gelişmiş bireyler yetiştirmek büyük bir ihtiyaç olarak görülmektedir. Ayrıca bu ekonomik ve toplumsal gelişmelerin ışığında öğretmen ve öğrencilerin rolleri ile ilgili yeni yaklaşımların esas alınması gerekmektedir (Aslan, 2015).

20. yüzyılın ikinci yarısından itibaren eğitim alanında bilim, teknoloji ve toplum arasındaki karşılıklı etkileşim önem kazanmış olup, bireyin teknolojiyi ve teknolojinin fen ile olan karşılıklı etkileşimini anlaması fen eğitiminin en önemli amaçlarından biri haline gelmiştir (Bacanak vd., 2003). Teknolojiyi fen derslerine entegre ederek

öğrencilerin motivasyonu ve ders başarıları artırılabilir. Bilgisayar, internet ve mobil teknolojilerin gelişmesi sonucunda eğitim ortamlarında iletişim ve etkileşimi arttıran birçok yeni uygulama ortaya çıkmıştır (Erbaş ve Demirer, 2014). Bu bağlamda günümüzde hızla gelişen ve oldukça dikkat çekici bir teknoloji olan Tinkercad vb. bilgisayar destekli tasarım programlarının ve bu tasarım programlarından hareketle 3D yazıcılar yardımıyla elde edilebilecek 3D baskı materyallerinin de derslerde aktif kullanımı sağlanmalıdır. Bu sayede öğrencilerin öğrenmenin merkezinde yer almaları, yaparak ve yaşayarak öğrenmeleri sağlanabilir.

1.1 Problem Durumu

Kimya eğitiminde atom ve molekül yapılarının öğretiminde 3D tasarım uygulamalarının öğrencilerin başarılarına, teknoloji öğrenimine karşı motivasyon ve öz düzenlemelerine etkisi var mıdır? 3D tasarım uygulamaları ile ilgili öğrenci görüşleri nelerdir?

1.2 Alt Problemler

Araştırmada, belirlenen problem doğrultusunda aşağıdaki alt problemlere yanıt aranacaktır:

- Kimya eğitiminde atom ve molekül yapılarının öğretimi konusunda gerçekleştirilen 3D tasarım uygulamalarının öğrencilerin başarıları üzerine etkisi var mıdır?
- Kimya eğitiminde atom ve molekül yapılarının öğretimi konusunda gerçekleştirilen 3D tasarım uygulamalarının öğrencilerin teknoloji öğrenimine karşı motivasyon ve öz düzenlemeleri üzerine bir etkisi var mıdır?
- Kimya eğitiminde atom ve molekül yapılarının öğretimi konusunda gerçekleştirilen 3D tasarım uygulamalarına ilişkin öğrencilerin görüşleri nelerdir?

1.3 Araştırmanın Amacı

Milli Eğitim Bakanlığı'nın (2018) ifade ettiği üzere Fen Bilimleri Dersi Öğretim Programı'nın vizyonu; bireysel farklılıkları ne olursa olsun bütün öğrencilerin fen okuryazarı olarak yetişmesidir. Fen okuryazarlığı; bireylerin çevrelerine ve dünyaya yönelik merak duygularını devam ettirebilmeleri, hayat boyu öğrenen bireyler olmaları, araştırma, sorgulama, eleştirel düşünme, problem çözme ve karar verme becerilerini geliştirmeleri için gerekli olan fen ile ilgili beceri, tutum, değer, anlayış ve bilgilerin bir bütünüdür.

Fen okuryazarı olan bir kişi (MEB, 2018);

- Temel fen kavram, ilke, yasa ve kuramları ile bilimin ve bilimsel bilginin doğasını anlayarak uygun şekillerde kullanır,
- Fen, teknoloji, toplum ve çevre arasındaki etkileşimleri anlar,
- Problemleri çözerken ve karar verirken bilimsel süreç becerilerini kullanır,
- Bilimsel ve teknik psikomotor beceriler geliştirir,
- Bilimsel tutum ve değerlere sahip olduğunu gösterir,
- Bilgiye ulaşmada ve kullanmada, yeni bilgi üretmede, fen ve teknolojiyle alakalı sorunlar hakkında karar vermede, problemleri çözmede daha etkin rol alır.

Fen Bilimleri Dersi Öğretim Programı'nın vizyonu yukarıda bahsedilen yeterliliklerin edinilebilmesi için düz anlatım, not tutturma ve doğrulama tipi laboratuvar etkinlikleri gibi öğretmen merkezli geleneksel öğretim yöntemlerinin öğrencilerin fen okuryazarlığını geliştirmede yeterli olamadığını vurgulamaktadır. Bilim ve teknolojiye yaşanan hızlı değişimler bireylerden beklenen rolleri de doğrudan etkilemiş olup; bireyi bilgiyi üreten, hayatta işlevsel olarak kullanabilen, problem çözebilen, eleştirel düşünen, girişimci, kararlı, iletişim becerilerine sahip, empati

yapabilen, topluma ve kültüre katkı sağlayan vb. niteliklere sahip olarak tanımlamıştır (MEB, 2018).

Teknoloji hayatımızı her geçen gün biraz daha değiştirmektedir. Teknolojide yaşanan bu değişim ve gelişmelerin sonucunda pek çok alanda yeni uygulama ve yaklaşımlara ihtiyaç duyulduğu görülmektedir. Bireylere hedeflenen davranışların kazandırılabilmesi için teknolojik gelişmelerin ve ilerlemelerin eğitimde işe koşulması büyük önem taşır. Son zamanlarda eğitim de dâhil olmak üzere pek çok alanda etkisini hissettiğimiz teknolojilerden bir tanesi de 3D baskı teknolojisidir. Eğitim cephesinde, 3D baskı teknolojisi ile işlenebilir nesneler yapma, belirli bir çözüm üretmek için harcanan süreyi kısaltma ve sonucu değerlendirebilme gibi avantajlar sağlanır. 3D teknolojisiyle, pratikte daha hızlı öğrenilebilir ve deneyim yoluyla daha üretken olunabilir (Canessa vd., 2013; Karaduman, 2017; Gökçearsan, 2017).

Bu çalışmada 9.sınıf kimya dersi kapsamında işlenen ‘‘Atom ve Periyodik Sistem’’ ile ‘‘Kimyasal Türler Arası Etkileşimler’’ üniteleriyle ilgili 3D tasarım uygulamalarının kullanılacağı öğrenme ortamının tasarlanması ve uygulanması amaçlanmaktadır. Öğrencilerin öğrenmenin merkezinde yer alarak kendi materyallerini zihinlerinde tasarlamalarına ve bunları 3D yazıcılar kullanarak somut nesnelere dönüştürmelerine olanak sağlanacaktır. Bu sayede de öğrencilerde kalıcı öğrenmenin gerçekleşebileceği ve öğrencilerin ders motivasyonlarının artırılabilceği düşünülmektedir.

1.4 Araştırmanın Önemi

Kimya maddelerin bileşimlerini, yapılarını ve maddede meydana gelen değişimleri inceleyen bir bilim dalıdır. Kimyanın inceleme konusu olan maddenin yapıtaşı atomdur. Atomların belirli bir düzen içinde birleşmesi ile moleküller ya da formül birimleri meydana gelmektedir. Atomlar; molekülleri veya formül birimlerini oluşturmak üzere birbirleri ile bir araya gelirken belirli geometrik şekiller ortaya çıkmaktadır (Sarıkaya, 2007).

Kimyasal maddelerin davranışlarının kavranabilmesi için, öncelikli olarak kimyasal maddelerin moleküler geometrilerinin anlaşılması gerekmektedir. Ayrıca moleküler

geometriyi anlama, kimyadaki birçok konunun anlaşılması için hayati bir öneme sahiptir (Gillespie, 1997).

Moleküler geometriyi, merkez atomun melez (hibrit) türü ve merkez atoma bağlı atomların sayısı belirler. Orbital, atomik orbitallerin hibritleşmesi, kimyasal bağ ve moleküler geometri gibi kavramlar soyut kavramlardır. İnsanlar genellikle iki boyuttan sonra görülebilir ve dokunulabilir olan cisimleri bile hayal etmekte, şeklini çizmekte zorluk yaşamaktadırlar (Hurwitz vd., 2001).

Moleküler geometri, modeller yoluyla daha anlaşılır hale getirilebilir. Kimya eğitimcileri, eskiden beri kimya öğretiminde moleküler modeller kullanımının önemi üzerinde durmaktadırlar. Kimyada simetri elemanlarının ve simetri nokta gruplarının belirlenmesi, organik ve inorganik moleküllere simetri işlemlerinin uygulanması, geometrik (cis-trans) ve optik izomerliğin anlaşılması, organik moleküllerin konfigürasyonlarının belirlenmesi modeller yoluyla daha kolay gerçekleştirilebilir. π -bağının düzlemsel ve σ -bağının çizgisel olduğu, moleküldeki tepkimeye açık merkez ya da merkezler yine modeller yardımı ile daha kolay görülebilecektir (Sarıkaya, 2007).

Ancak geleneksel kimya modelleme kitleri, moleküllerin yapısında kullanılabilecek bağların ve yapıların, tipleri ve doğruluğu ile sınırlıdır (Jones ve Spencer, 2018). Geleneksel teknikler yoluyla karmaşık molekülleri temsil etmek genellikle zordur. Üretim süreçlerinin çoğu sisteme özgüdür; yani, belirli bir sınıfı veya kimyasal yapı grubunu temsil etme konusunda mükemmeldirler ancak çok çeşitli kimyasal yapıları üretebilen bir teknik sağlayamazlar. 3D baskı, geleneksel moleküler model yapıların yukarıda belirtilen kısıtlamalarını aşabilen modern bir katkı üretim sürecidir (Scalfani ve Vaid, 2014). Son zamanlarda 3D baskı teknolojisindeki hızlı gelişim kimya öğretimi için çok çeşitli moleküllerin oluşturulmasına imkân sağlamıştır. 3D baskı yazılımı kullanılarak çok çeşitli ve elle tutulabilir kimya modelleri üretilebilir (Wieren vd., 2017).

Konu ile ilgili alanyazında yapılan araştırmalarda, 3D yazdırma teknolojisinin nesnelerin görselleştirilmesine etkin bir şekilde katkı sağladığı ve eğitim alanı başta

olmak üzere birçok çalışma alanında kullanıldığı ve özellikle nesnelerin görselleştirilmesinde etkin bir rol oynadığı vurgulanmıştır. 3D yazıcı fiyatlarının düşmesi ve model çeşitliliğinin artması sonucunda 3D baskı teknolojisinin eğitim sektöründe kullanımı artmıştır (Eisenberg, 2013). 3D yazıcılar her akademik disiplinin öğretimine fayda sağlayabilecek fiziksel nesne ve modelleri hızlı bir şekilde oluşturmak için kullanılabilir (Schelly vd., 2015). Eğitim sürecinde fiziksel modeller hem görme hem de dokunma ve ayrıntılı inceleme imkânı sağlar (Horowitz ve Schultz, 2014). 3D yazıcılar ile Fen, Teknoloji, Mühendislik ve Matematik (FeTeMM) veya yaygın ifadesi ile Science, Technology, Engineering and Mathematics (STEM) etkinliklerini eğlenceli hale getirilebilir ve soyut kavramlar somutlaştırılarak öğrencilerin derslere olan ilgileri daha fazla çekilebilir (Peels, 2017). Ayrıca öğrenciler 3D tasarımlarını oluştururken veri sentezleme, yaratıcı düşünme, çözümleyici düşünme gibi pek çok alanda gelişim gösterebilecek ve öğrenciler birbirlerine destek olarak iletişim becerilerini de geliştireceklerdir (Cano, 2015).

Alanyazın incelendiğinde eğlenceden otomotive, sağlıktan mühendisliğe, eğitimden savunma sanayisine kadar pek çok farklı alanda 3D teknolojisinden yararlanıldığı ve bu alanlardaki çalışmaların son yıllarda artan bir ivmeye kavuşmuş olduğu görülmektedir. Örneğin ilgi çekmeyi amaçlayan çeşitli STEM projelerinde 3D baskı teknolojilerinin kullanıldığı görülmektedir (Demir Kuzu vd., 2016).

3D yazıcılar konusunda ulusal kapsamda yapılan çalışmalar incelendiğinde bu yönde yapılan çalışmaların sınırlılığı dikkat çekmektedir. 3D yazıcıların eğitim alanında uygulanmasına yönelik yurt içinde gerçekleştirilen çalışmalar incelendiğinde bu teknolojinin öğretim ortamlarından daha çok doğrudan eğitim ortamlarında kullanıldığı görülmektedir. 3D yazıcıların eğitimde kullanımına ilişkin yurt dışında gerçekleştirilen çalışmalar incelendiğinde ise bu teknolojinin öğretim ortamlarında da kullanıldığı görülmektedir. Bu yüzden 3D yazdırma teknolojilerinin bir araç olmaktan çıkartılıp, bir öğretim nesnesi yapısına kavuşturulması amaçlanmaktadır (Demir Kuzu vd., 2016).

İlgili alanyazındaki önerilerden yola çıkarak bu araştırmanın konusunu kimya dersi kapsamında 3D baskı teknolojisinin kullanılacağı öğrenme ortamının tasarlanması ve

uygulanması oluşturmaktadır. Çalışma sonucunda elde edilecek olan 3D materyaller daha sonraki yıllarda da kimya derslerinde kullanılabilecektir. Çalışma 3D yazıcıların kullanıldığı teknoloji destekli bir öğrenme ortamının eğitime ne şekilde uyarlanabileceği konusunda uygulayıcılara örnek olması bakımından önem taşımaktadır. Ayrıca uygulama sonuçlarına göre 3D yazıcıların eğitimde kullanılmasının getireceği avantajlar ve dezavantajlar konusunda alanyazına katkıda bulunacağı düşünülmektedir.

1.5 Sayıtlar

- Araştırmaya katılan öğrenciler üzerinde, deney koşulları dışındaki etkilerin eşit olduğu ve önemli bir etkilenmenin olmadığı varsayılmıştır.
- Öğrencilerin uygulanan kimya başarı testini ve teknoloji öğrenimine karşı motivasyon ve öz düzenleme ölçeğini samimiyetle cevapladıkları varsayılmıştır.
- Her iki gruptaki öğrenciler ile araştırmayı yürüten araştırmacı arasında, araştırma sürecinde, farkında olmayarak araştırma sonucunu etkileyebilecek, bir etkileşim gerçekleşmediği varsayılmıştır.

1.6 Sınırlılıklar

Bu araştırma;

1. 2020-2021 eğitim-öğretim yılında ‘‘Atom ve Periyodik Sistem’’ ile ‘‘Kimyasal Türler Arası Etkileşimler’’ üniteleri kapsamında işlenilen kimya dersleriyle,
2. Kastamonu Anadolu İmam Hatip Lisesi 9. Sınıf öğrencileriyle,
3. Teknoloji öğretim programı çerçevesinde gerçekleştirilen eğitim-öğretim programı 5 haftalık ve haftalık birer saat süreyle,
4. Araştırmacı tarafından tasarlanarak çıktısı alınan ve ünite öğretim programında kullanılan 3D tasarım materyalleriyle,

5. Bazı öğrencilerin zaman zaman internet erişimi sorunu yaşamasiyla, sınırlıdır.



2. KURAMSAL ÇERÇEVE

2.1 Covid-19 Sürecinde Uzaktan Eğitim

2019 yılının sonlarına doğru dünya, Çin'in Vuhan kentinden tüm dünyaya yayılmaya başlayan, halk tarafından yaygın olarak ifade edilen "COVID-19" veya "Coronavirus" olarak adlandırılan ölümcül bir virüsle karşılaştı. Virüs çok hızlı yayıldı. Dünyada Türkiye dâhil pek çok ülke ciddi önlemler almak zorunda kaldı. Alınan en önemli ve en acil önlem sosyal mesafeydi. Bu salgın hastalık (pandemi), insanların günlük yaşam düzenini değiştirdi. Pandeminin yayılmasını önlemek için insanlar aniden evlerine kapanmak zorunda kaldılar. Türkiye'de ilk Covid-19 vakası tespit edilir edilmez, sosyal yaşamın pek çok yerinde olduğu gibi eğitim sahasında da çeşitli tedbirler alınmaya başlandı. Çok kısa bir süre içinde okullar tatil edildi ve eğitim faaliyetlerinin çoğu ertelenmek zorunda kaldı. Ardından eğitime, uzaktan eğitim yoluyla devam edilmesine karar verildi. Türkiye'deki yükseköğretim kurumları, bir hafta gibi kısa bir sürede dijital ortamlardaki örgün eğitimlerini uzaktan eğitime dönüştürdü. Böylece yükseköğretim kurumlarının çoğu için uzaktan eğitim zorunlu hale gelmiştir. (Tezel Yalkut, 2020; Özdal, 2020; Akgül, 2021).

Çevrimiçi öğrenme, özellikle Covid-19 salgını nedeniyle karantina döneminde, dünya çapında popülerlik kazanmıştır. Covid-19 pandemisinin hem küresel olarak hem de ülkemizde yarattığı koşullar nedeniyle uzaktan eğitim, eğitim ve öğretim programlarımızın ayrılmaz bir parçası haline gelmiştir. Yaşanan pandemi süreci, bilgi ve iletişim teknolojilerinin eğitim öğretim faaliyetlerinin sürdürülmesinde hayati bir role sahip olduğunu gözler önüne sermiş ve uzaktan eğitimin ne kadar işlevsel olduğu anlaşılmıştır. Bu süreçte halk sağlığının korunması tedbirleri kapsamında eğitim ortamından uzaklaşan öğrencilerin öğretmenlerle etkileşiminin sağlanmasında uzaktan eğitim uygulamaları daha somut bir hal almıştır. Salgın nedeniyle dünya genelinde uzaktan eğitim uygulamalarının artmasıyla birlikte bilgisayarlar, telefonlar, dizüstü bilgisayarlar ve tabletlerin kullanımı artmıştır. Pandemi öncesinde yapılan araştırmalarda ebeveynlerin çocuklarının dijital teknolojiye fazla maruz kalmasını tercih etmedikleri ön plana çıkarken pandemi ile beraber ebeveynler çocuklarının

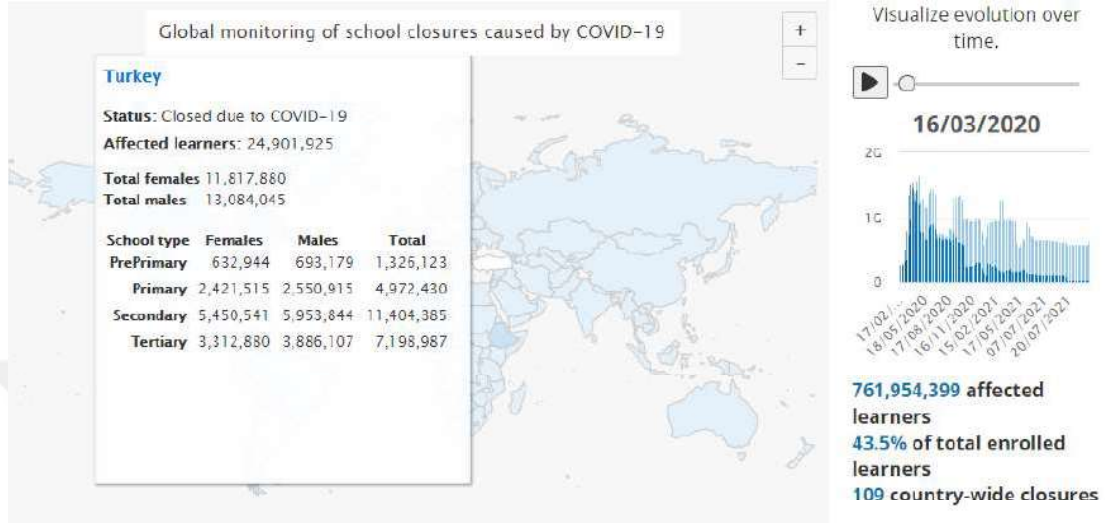
dijital okuryazarlıklarının farklı alanlarında hız kazanmalarına yardımcı olacak çalışmalara katılmalarını istemeye başlamışlardır. Eğitim sektörünün neredeyse tüm hayatı etkileyen teknoloji kullanımında, bu süreçle birlikte bir politika değişikliğine gidilmiştir. Salgından dolayı birçok ülkede TV aracılığıyla ve/veya çevrim içi olarak uzaktan eğitim modeli kullanılmıştır (Yumbul, 2021; Bakan, 2021; Tatlı, 2021; Saka; 2021).

Covid-19 pandemisi, uluslararası düzeyde eğitimin geleceğine yönelik, yeni yaklaşım tarzları geliştirmenin ve bu tip kriz süreçlerinde kullanılabilecek yeni eğitim modellerinin geliştirilmesinin gerekli olduğunu ortaya çıkarmıştır. Eğitimin kesintiye uğratılmadan sürdürülmesi gerekliliğinin anlaşılması, ülkelerin uzaktan eğitime daha fazla maddi anlamda yatırım yapılması gerektiğini ortaya çıkarmıştır. Salgından sonra da uzaktan eğitim uygulamalarının yüz yüze eğitim süreçlerini destekleyici bir rol oynayacağı düşünülmektedir. Uzaktan çevrim içi eğitim öğretim faaliyetlerinin salgın, deprem, afet gibi kriz süreçlerindeki eğitim uygulamalarında ve aynı zamanda kriz dışı normal sadece yüz yüze eğitimi desteklemek amacıyla kullanılabilecek önemli bir eğitim materyali olduğu unutulmamalı ve eğitim politikaları buna göre planlanmalıdır (Yumbul, 2021; Bakan, 2021; Tatlı, 2021; Saka; 2021).

Covid-19 salgını sırasında gerçekleştirilen uzaktan eğitim öğretim uygulamaları acil uzaktan eğitim olarak değerlendirilmelidir. Planlı, programlı bir uzaktan eğitim uygulamasının hayata geçirilmesi oldukça emek ve zaman isteyen bir süreçtir. Ancak zorunlu ve acil olarak uygulamaya geçirilen uzaktan eğitimde durum böyle değildir. Bu tür durumlarda temel amaçlardan biri, bir kriz halinde öğrenci, öğretmen ve veli arasındaki iletişimi sağlamaktır. Bu yüzden kriz durumunda uzaktan eğitim için gerekli olan öğretim tasarımının gereklilikleri aranmaz. Acil uzaktan eğitimde kriz durumunda var olan imkânlar çerçevesinde eğitim-öğretim faaliyetleri sürdürülebilirliği ve öğrencinin sistemde kalması amaçlanır (Tatlı, 2021).

Ülkemizde yüz yüze eğitime 16 Mart 2020 tarihinde ara verilmiştir. Birleşmiş Milletler Eğitim, Bilim ve Kültür Kurumu'nun (UNESCO) resmî sitesinde, Covid-19 salgınının neden olduğu okul kapanışlarının küresel olarak izlenmesini sağlayan bir uygulama yer almaktadır. Bu uygulamadan yararlanılarak ülkemizde örgün eğitime ara verilme

tarihi tarih 16 Mart 2020 seçildiğinde elde edilen veriler Şekil 2.1’de verilmiştir (URL-14, 2021). Ülkemizde bu durum yaklaşık olarak 25 milyon öğrencinin etkilenmesine neden olmuştur (Güngördü, 2021).



Şekil 2.1 Covid-19’un Türkiye eğitimine etkisi

Ülkemizde, eğitim-öğretime 16 Mart 2020 tarihinde bir hafta ara verildikten sonra 23 Mart 2020 tarihinde uzaktan eğitim sürecine geçilmiştir. Bu tarihten itibaren öğretmenlerle öğrencilerin iletişimleri ve öğretmenlerin ders anlatım yöntem ve teknikleri değişmiştir. Öğretmenler, öğrenciler ve veliler eğitimdeki dijitalleşmeye uyum sağlama uğraşı içine girmişlerdir. MEB, 13 Nisan 2020 tarihinde öğretmenler ve öğrenciler için canlı ders, canlı sınıf uygulamasını Eğitim Bilişim Ağı (EBA), Zoom, Teams vb. programlar üzerinden hayata geçirmiştir (Akgül, 2021).

EBA, EBA TV platformlarıyla ve bazı eğitimcilerin Zoom, Teams vb. programları da destekleyici olarak kullanmasıyla 2019-2020 eğitim-öğretim yılının bahar dönemi tamamlanmıştır. 2019-2020 eğitim-öğretim yılının bahar döneminde ilkokul, ortaokul ve lise düzeyinde öğrenim gören 17 702 938 öğrenciye EBA, EBA TV ve destekleyici programlar üzerinden uzaktan eğitim verilmiştir. Uzaktan eğitim ile sürdürülen eğitim faaliyetleri daha çok TV odaklı olmuştur. Bu yüzden bu süreçte yapılan eğitimin tek yönlü olduğu ve MEB’in sunduğu bu imkânlarla bulunduğu koşullar nedeniyle erişemeyen öğrencilerin bulunduğu söylenebilir. Buna ilaveten uzaktan eğitim imkânlarına erişimin yanında etkin kullanımı da önemli bir problemdir (Salman, 2020a; MEB,2020; Tatlı, 2021).

31 Ağustos 2020 tarihinde, yeni eğitim öğretim dönemi TRT EBA, EBA ve canlı dersler kullanılarak uzaktan eğitim yoluyla başlatılmıştır. 14 Ekim 2020 tarihinde, MEB uzaktan eğitime erişmekte güçlük çeken öğrenciler için satın alınan 500 bin tableti dağıtmaya başlamıştır. 15 Şubat 2021 tarihinde, yapılan üç haftalık tatilin ardından köy ve benzeri seyrek nüfuslu yerleşim yerlerinde ilkökul ve ortaokullar ile tüm anaokullarında haftada beş gün yüz yüze eğitime geçme kararı alınmıştır. 1 Mart 2021 tarihinde, tüm resmi ve özel ilkökullarda ve ana sınıflarında, özel eğitim sınıflarında, tüm resmi ve özel ortaokulların 8. sınıflarında ve lise kademesinde 12. sınıflarda haftada 2 gün yüz yüze eğitime başlanmıştır. 3 Mart 2021 tarihinde, ülke genelindeki illerin sahip olduğu hasta sayısı durumlarına göre bir ülke haritası oluşturulmuş ve bu haritaya göre Türkiye'deki iller düşük, orta, yüksek ve çok yüksek riskli iller olarak dört gruba ayrılmıştır. MEB risk durumlarına göre farklı uygulamalar yürütme kararı almıştır. Düşük ve orta riskli illerde; tüm ilkökullarda, ortaokullarda ve lise kademesinde haftada iki gün yüz yüze, üç gün uzaktan eğitim uygulanmasına, yüksek ve çok yüksek riskli illerde; tüm ilkökullarda haftada iki gün yüz yüze, üç gün uzaktan eğitim, ortaokul ve lise kademesinde ise diğer tüm sınıflarda uzaktan eğitimin devam etmesine karar verilmiştir. 30 Mart 2021 tarihinde, ülke risk haritasının açıklanması ve yüksek riskli şehirlerin sayısının 58'e ulaşmasıyla birlikte, ülke genelinde MEB tarafından alınan yüz yüze eğitime geçiş kararı tekrar durdurulmuştur. Riskli ve yüksek riskli bütün illerde ilkökullar, ortaokul 8. sınıflar ve lise 12. sınıflar haftada iki gün yüz yüze, üç gün uzaktan eğitime devam ederken diğer tüm sınıfların yüz yüze eğitimi durdurulmuş ve tekrar tam zamanlı uzaktan eğitime geçiş yapıldığı açıklanmıştır. 21 Eylül 2020 tarihinden sonra MEB tarafından öğrencilere çevrimiçi ya da karma öğretim sistemi biçiminde ilkökul, ortaokul ve lise düzeyinde eğitim vermeye başlanması, eğitim-öğretim faaliyetlerinin planlanması ve daha nitelikli içeriklerin hazırlanması acil uzaktan eğitimden normal uzaktan eğitime geçiş sürecini yansıtmaktadır (Deniz, 2021; Tatlı, 2021).

2.2 Fen Bilimleri Öğretimi

Bilim ve teknolojiye meydana gelen gelişmeler hayatımızın her alanını etkilemektedir. Bu gelişmelerden etkilenen alanlardan en önemlisi eğitim alanıdır. Bu muazzam bilgi artışı çağında, eğitimin temel amacı, bireylere mevcut bilgileri aktarmak yerine,

kendileri için değerli olacak bilgileri nasıl elde edeceklerini öğretmektir. Bu açıdan bakıldığında, fen öğretimi önemli bir yapıtaş olarak karşımıza çıkmaktadır (Hazır ve Türkmen, 2008).

Fen bilimi, insanların yaşadıkları ortamda gözlemledikleri doğal olayları anlamlandırmalarını sağlayarak, doğal çevrelerini ve kendilerini tanımalarına ve aynı zamanda da üst düzey becerilerini kullanıp geliştirmelerine imkân sağlayan bir bilim dalıdır (Düşkün ve Ünal, 2015). Okullarda fen dersleri, yaparak ve yaşayarak öğrenmeye en fazla imkân sağlayan dersler olduğu için, öğrencilerin zihinsel açıdan gelişmelerine katkıda bulunmaktadır. Bu yüzden fen öğretimi üzerinde önemle durulmalıdır (Hazır ve Türkmen, 2008).

2.2.1 Fen Bilimleri Öğretiminin Genel Amaçları

Fen bilimleri dersleri, öğrencilerin bilim insanı gibi düşünmelerine, çalışmalar yapmalarına ayrıca bilime ve bilimsel çalışmalara yönelik olumlu tutumlar geliştirilmesine olanak sağlar (Mutlu, 2012). Fen bilimleri öğretiminin temel amaçlarından biri sürekli değişen ve gelişen teknoloji çağına ayak uydurabilecek, teknolojik imkânlardan nasıl faydalanacağını bilen, bilimsel okuryazarlık düzeyinde bireyler yetiştirmektir (Hançer, 2006; Toprak, 2011). Fen okuryazarı bir birey; araştırma yapar ve bilgiyi sorgular, bilginin zamanla değişebileceğini bilir, kendisini toplumsal sorunlarla ilgili problemlerin çözümü konusunda sorumlu hisseder, yaratıcı ve analitik düşünme becerileri yardımıyla bireysel veya işbirliğine dayalı alternatif çözüm önerileri üretebilir ve fen bilimlerine ilişkin temel bilgilere yönelik bilimsel süreç becerilerine sahiptir (MEB, 2013).

Bütün bireylerin fen okuryazarı olarak yetişmesini amaçlayan Fen Bilimleri Dersi Öğretim Programı'nın diğer temel amaçları ise şu şekildedir (MEB, 2018) :

- “Astronomi, biyoloji, fizik, kimya, yer ve çevre bilimleri ile fen ve mühendislik uygulamaları hakkında temel bilgiler kazandırmak”,

- “Doğanın keşfedilmesi ve insan-çevre arasındaki ilişkinin anlaşılması sürecinde, bilimsel süreç becerileri ve bilimsel araştırma yaklaşımını benimseyip bu alanlarda karşılaşılan sorunlara çözüm üretmek”,
- “Birey, çevre ve toplum arasındaki karşılıklı etkileşimi fark ettirmek; toplum, ekonomi ve doğal kaynaklara ilişkin sürdürülebilir kalkınma bilincini geliştirmek”,
- “Günlük yaşam sorunlarına ilişkin sorumluluk alınmasını ve bu sorunları çözmede fen bilimlerine ilişkin bilgi, bilimsel süreç becerileri ve diğer yaşam becerilerinin kullanılmasını sağlamak”,
- “Fen bilimleri ile ilgili kariyer bilinci ve girişimcilik becerilerini geliştirmek”,
- “Bilim insanlarınca bilimsel bilginin nasıl oluşturulduğunu, oluşturulan bu bilginin geçtiği süreçleri ve yeni araştırmalarda nasıl kullanıldığını anlamaya yardımcı olmak”,
- “Doğada ve yakın çevresinde meydana gelen olaylara ilişkin ilgi ve merak uyandırmak, tutum geliştirmek”,
- “Bilimsel çalışmalarda çalışma ortamı ve iş güvenliğinin önemini fark ettirerek güvenli çalışma bilinci oluşturmak”,
- “Sosyobilimsel konuları kullanarak muhakeme yeteneği, bilimsel düşünme alışkanlıkları ve karar verme becerileri geliştirmek”,
- “Evrensel ahlaki değerleri, millî ve kültürel değerler ile bilimsel etik ilkelerinin benimsenmesini sağlamak.”

2.2.2 Fen Bilimleri Öğretiminde Teknoloji Kullanımı

Bilim ve teknoloji, toplumun gelişmesinde ve bireylerin yaşamları boyunca karşılaşılabilecekleri zorlukları aşmalarında hayati bir öneme sahiptir. Aynı zamanda bilim ve teknoloji, toplumu oluşturan bireylerin yaşamlarını sürdürmelerine ve

yaşamları boyunca daha rahat olmalarına yardımcı olmayı hedefler. Bu nedenle ülkelerin çoğu, müfredat içerine gerekli kazanımları yerleştirerek öğrencilere gerekli bilgi ve becerileri aktarmaya ve öğrencilerin teknoloji okuryazarlığını geliştirilmeye çalışmaktadır. Toplumun ihtiyaç duyduğu bireyleri yetiştirme sorumluluğunu üstlenen okul ve diğer eğitim kurumlarının; teknolojiyi kullanabilen, bilgiye erişebilen, bilgiyi kullanabilen, iletebilen ve üretebilen, kendi kendine öğrenebilen bireyler yetiştirmesi beklenmektedir. Teknoloji, günlük hayatımızın önemli bir parçası olarak eğitim faaliyetlerinin yürütülmesinde kullanılmaya başlanmıştır. Bu noktada okullarda yürütülen eğitim faaliyetlerinin öğrencileri teknolojiyi kullanma ve öğrenme konusunda olumlu yönde motive etmesi ve konuya ilişkin öz düzenleme becerilerinin kazandırılması beklenmektedir. Öğrenciler, teknoloji ile ilgili olumlu motivasyon ve öz düzenleme becerileri kazanamazlarsa, ekonomik kalkınmanın temeli olarak kabul edilen fen, teknoloji, mühendislik ve matematik gibi alanlara daha az ilgi göstereceklerdir. Yapılan araştırmalar, motivasyonu, öz düzenlemesi ve öz yeterliği yüksek olan öğrencilerin yüksek düzeyde akademik başarı sergilediklerini ortaya koymuştur (Şekerci, 2017).

2.2.2.1 Fen bilimleri öğretiminde teknoloji kullanımına yönelik öz düzenleme

Öz düzenleme, bireyin kendi öğrenme sürecinde davranışsal, zihinsel ve motivasyon açısından aktif olması anlamına gelir. Öz düzenleme süreci; öğrenmede önce hedeflerin belirlendiği, daha sonra bu hedefler tarafından yönlendirilen biliş, davranış ve motivasyonun kontrol edilmeye, ayarlanmaya ve izlenmeye çalışıldığı etkili ve yapıcı bir süreçtir. Öz düzenleme, bilişsel, duyuşsal, motivasyonla ilgili ve davranışsal bileşenlerden oluşur. Bu bileşenlerin öğrencilerin öğrenme sürecinde etkili bir rolü vardır. Öğrenmelerini kendi kendine düzenleyen öğrenciler, öğrenme sürecine aktif olarak katılabilmektedir. Öğrenme sürecine aktif olarak katılan öğrenciler; hem öğrenmeyi hem de motivasyonu olumlu yönde etkileyen kendi düşünce, duygu ve davranışlarını düzenleyebilmektedirler. Öğrencilerin motivasyon ve başarılarındaki farklılıklar bu durumun bir sonucu olabilmektedir (Şekerci, 2017).

2.2.2.2 Fen bilimleri öğretiminde teknoloji kullanımı ve motivasyon

Motivasyon, davranışın kontrol edilmesini, sürdürülmesini ve uyandırılmasını etkileyen tüm iç ve dış koşulları içeren çok boyutlu geniş bir yapı olarak tanımlanmaktadır. Motivasyon, öğrenci davranışlarının yönünü, şiddetini ve kararlılığını belirleyen en önemli kaynaklardanır. Öğrencilerin öğrenmelerini motive eden ve öğrenme performanslarını etkileyen en önemli faktörler öz yeterlik, öğrenme değeri algıları, öğrenme stratejisi kullanımı, öğrenme hedeflerine yönelim ve öğrenme ortamı algılarıdır (Şekerci, 2017).

Öz yeterlik; yeni, öngörülemeyen durumları yönetmek için gerekli eylemleri organize etme ve yürütme yeteneklerine olan inanç olarak tanımlanmaktadır. Öz yeterlik, öğrenme hedeflerinin ve stratejilerinin başarılı bir şekilde düzenlenmesinin anahtarıdır. Eğitim uygulamalarında öğrencilerin başarılarını, davranışlarını anlamada öz yeterlik önemli bir değişkendir. Genellikle yüksek öz yeterliğe sahip öğrencilerin başarıları da yüksektir. Öz yeterlik, hedef yönelimi ve motivasyon arasında köprü kurar (Şekerci, 2017).

Öğrenme değeri, öğrenenlerin öğrenme görevine katılma konusundaki istekliliğini ve ilgisini ifade eden bir inanç olarak tanımlanabilir. Öğrenme değeri, öğrencinin başarısını belirleyen temel faktörlerden biridir. Öz yeterlik algıları ile öğrenme/görev değeri arasında pozitif bir ilişki vardır (Şekerci, 2017).

Öğrenme hedef yönelimi, yeni beceriler kazanarak, yeni durumlara hâkim olarak ve deneyimlerden öğrenerek öğrencinin yeteneğini geliştirmeye odaklanır. Öğrencinin yeterliliğini geliştirme, bir beceride ustalaşma ve öğrenme materyalini anlama isteği olarak tanımlanmaktadır. Öğrenme hedef yönelimi, öz-düzenlemeli öğrenme ve öz yeterlik arasında pozitif bir ilişki mevcuttur. Öğrenme nesnelere yönelim, öğrencilerin öğrenme etkinlikleri sırasındaki yaklaşımlarını ve meşguliyetlerini belirleyen bazı davranışsal hedeflerden oluşan bir modeldir (Şekerci, 2017).

Öğrenme stratejisi, kavramın içeriğini öğrenmek ve hem okul görevlerinde hem de okul dışındaki görevlerde etkili ve verimli bir şekilde başarılı olmak için belirli becerileri kullanmanın ve düzenlemenin bireysel yoludur. Öğrenme stratejisi, bireyin

öğrenme sürecinde bireysel olarak tercih ettiği öğrenmeyi kelimenin tam anlamıyla gerçekleştirmek için kullanılan bir dizi yöntemdir. Öz-düzenlemeli öğrenme stratejisi ise, öğrencinin amaçları ve algıları da dâhil olmak üzere kazanılan bilgi ve becerilere uygun olarak yönetilen eylemler anlamına gelir (Şekerci, 2017).

2.2.3 Fen Bilimleri Öğretiminde Kullanılan Teknoloji Destekli Bazı Yaklaşımlar

Bireyler doğdukları andan itibaren karşılaştıkları durumlar aracılığıyla öğrenmenin temelini oluşturan bilgi, beceri, tutum ve davranışları kazanırlar. Öğrenme gerçekleşmeden önce, her bireyin konuyla ilgili bazı ön bilgilere sahip olduğu ve yeni bilgileri bu ön bilgilerle ilişkilendirerek öğrenmenin gerçekleştiği varsayılır. Öğrencinin sahip olduğu ön bilgiyle yeni bilgileri ilişkilendirebilmesi, öğrenme sürecinde kullanılan öğretim yöntem ve teknikleriyle sağlanmaktadır. Öğretim yöntemi, belirlenen amaçları gerçekleştirmek için eğitimin hedeflerine bağlı olarak izlenen en kısa, doğru ve güvenilir yoldur. Öğretim tekniği ise araç-gereç kullanımında ve etkinliklerin bir düzen ve sıraya konulmasında izlenen özel yoldur. Öğretim yöntem ve tekniklerindeki yeni yaklaşımlar ve program geliştirme çalışmalarındaki süreklilik Fen Bilimleri Dersi Öğretim Programı'nın öğrenciyi etkin kılan öğretim yöntem-tekniklerinin kullanımını destekleyecek şekilde hazırlanmasını beraberinde getirmiştir. Çağın gerektirdiği niteliklere sahip bir toplum inşa etmek için fen bilimleri öğretiminin kalitesi ve niteliği sürekli geliştirilmelidir. Bu bağlamda fen bilimleri öğretiminde öğrencilerin bireysel farklılıklarını dikkate alarak, dersin ve konunun amacına uygun yaklaşımların kullanılması kritik önem taşımaktadır (Yıldırım vd., 2016).

2.2.3.1 Modelle öğretim yaklaşımı

Modeller, fikirlerin gelişimini sağlayan ve bilgilerin bir üst basamağa taşınabilmesini sağlayan yol göstericidirler (Yıldız, 2006). Gerçek veya hayal edilen bir nesne bir model değildir. Nesne, başka şeylerle belirli bir ilişki içerisinde olduğu zaman model işlevini kazanır (Harre', 2004). Modeller zihinsel ve maddesel olmak üzere iki sınıfa ayrılabilir. Zihinsel modeller bir durumu açıklamak için tarafımızdan bilişsel olarak

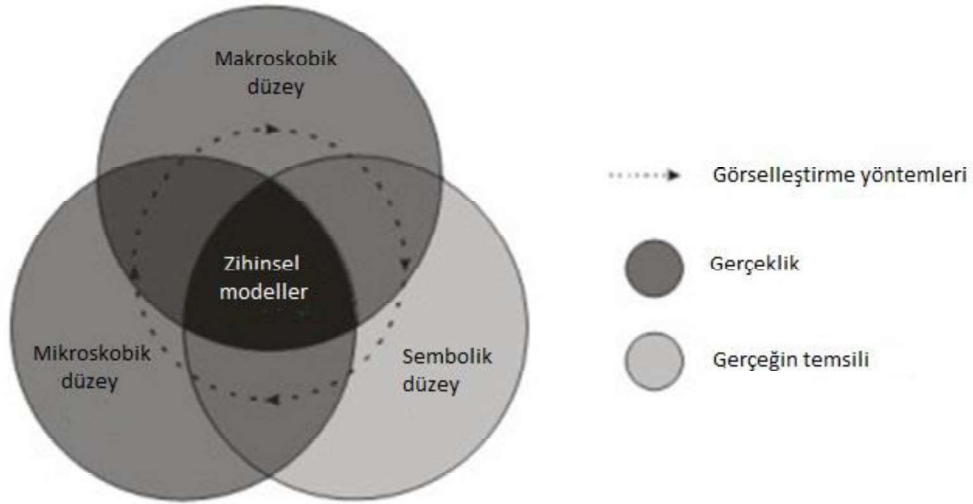
oluşturulmuş temsillerdir (Chamizo, 2013). Çoğu zaman zihinsel modellerimizin veya bu modellerin davranışlarımız üzerindeki etkilerinin bilinçli olarak farkında olmamaktayız. Derinden kökleşmiş varsayımlar, genellemeler, dünyayı algılamamızı sağlayan resimler veya görüntüler zihinsel modellere örnek verilebilir (Senge, 2004). Prototip olarak tanımlanabilen maddesel modeller ise ampirik erişime sahip olduğumuz ve diğer bireylerle iletişim kurmak için oluşturulmuş modellerdir (Chamizo, 2013).

Çevremizde öğretme-öğrenme amaçlı kullanabileceğimiz pek çok gerçek nesne vardır. Ancak bu nesneler bazen sınıf ortamına getirilemeyecek kadar büyük, gözle görülemeyecek kadar küçük, kirli, tehlikeli vb. özellikte olabilirler. Bu durumda, model kullanımı öğretme ve öğrenme açısından daha pratik ve anlamlı olabilir. Modeller öğrenmeyi kalıcı hale getirdiği, öğrencilerin dikkatini çektiği ve hatırlamayı kolaylaştırdığı için eğitimde oldukça önemli bir rol oynar (Ardıç ve Altun, 2017). Modeller sınıfta uygulamalı etkileşimi mümkün kılar ve temsil yeterliliğini geliştirmeye yardımcı olmak için, verileri görselleştirmek için alternatif bir yol sunar. Bu şekilde öğrencilerin karmaşık konulardaki anlayışını artırır özellikle görsel ve/veya dokunsal öğrenen öğrenciler için bu tür modellerden büyük ölçüde yararlanılabilir (Jones vd., 2021). Model kullanımı, öğrencilerin ilgili kavramlar arasında kolayca bağlantı kurmalarını ve öğrenme süreçlerine aktif olarak katılmalarını sağlar (Ghaffari, 2006). Öğrenciler modelleri birebir inceleyerek ya da kendi modellerini tasarlayarak yeni öğrendikleri bilgileri daha önceki öğrendikleri bilgilerle karşılaştırırlar. Bu sayede önceki bilgilerinin yetersizliğinin farkına varabilirler ya da kavram yanlışlarını ortaya çıkarabilirler (Gümüş vd., 2008).

Model kullanımı ile ilgili önem arz eden unsurların başında modeli kullanan bireyler gelir. Çünkü temsili yapan model değildir; temsili yapan modeli kullanan kişidir (Giere, 2006). Bu nedenle eğitimciler model seçiminde ve kullanımında büyük bir özen ve dikkat göstermelidir. Diğer bir unsur ise modellemenin doğru bir şekilde yapılmasıdır. Modelleme üç basamakta gerçekleşir. İlk basamağı bilgi oluşturur. İkinci basamakta ise belirli bir hedef için önemli olduğu düşünülen öğelerin seçilmesi ve birbirine entegre edilmesi yer alır. Son basamak ise hayal gücü ve yaratıcılığın kullanımını içerir (Chamizo, 2013).

Model ve modelleme fen eğitiminin ayrılmaz birer parçalarıdır. Fen eğitiminde, sadece soyut kavramların değil bazı somut kavramların da öğrenciler için ulaşılabilir ve anlaşılabilir hale getirilmesi oldukça güç olabilmektedir. Fen eğitiminin temel amaçlarından bir tanesi öğrencilere bilimsel düşünme ve çalışma becerileri kazandırabilmektir. Bu amaca ulaşılabilmesi için sınıflarda öğrencilere modellerin ve modelleme işleminin doğası anlatılmalı öğrendikleri bilgileri bireysel ya da grup çalışmaları şeklinde uygulamaya dökmelerine imkan sağlanmalıdır (Güneş vd., 2004). Özellikle araştırmacılar, öğrencilerin kendi zihinsel temsillerini oluşturmalarına ve bunları çevreleri ile paylaşımlarına izin verildiği takdirde, hedeflenen olguların ve süreçlerin daha iyi anlaşılacağını vurgulamaktadırlar (Seok ve Jin, 2011).

Kimya eğitimi makroskobik düzey (görülebilir/dokunulabilir olgular), mikroskobik düzey (atomik/moleküler) ve sembolik düzey (semboller/formüller) olarak üç düzeyden oluşur. Makroskobik seviye, öğrencilerin günlük hayatta karşılaşılabilecekleri gözlemlenebilir özellikleri veya olayları içerir. Mikroskobik seviye, parçacıkları ve bunların doğrudan görülemeyen atom, molekül, elektron, reaksiyonlar ve kimyasal bağlanma gibi etkileşimlerini içerir. Sembolik seviye ise formüller, denklemler, sayılar ve işaretler bakımından kimyasal süreçleri temsil eder. Bu üç düzey birbirleriyle bağlantılıdır ve öğrencilerin her düzeydeki bilgiyi anlaması büyük bir önem arz eder. Öğrencilerin kimya derslerinde mikroskobik seviyede atomlar ve moleküller arasındaki etkileşimler açısından düşünceleri ve makroskobik düzeyde olguları açıklamaları beklenir. Genel olarak öğrenciler için, farklı anlayış seviyeleri arasında düzgün bir bağlantı kurulması zor olmaktadır. Öğrencilerin, moleküllerin makroskobik/mikroskobik temsillerini ve kimyasal denklemlerde yer alan sembollerin ve formüllerin anlamını yeterli derecede anlamadığı görülmektedir. (Suat vd., 2010; Raiyn ve Rayan, 2015). Son kırk yılda yapılan kimya eğitim araştırmaları, ortaokul ve üniversite düzeyinde kimya derslerini tanımlayan birçok öğrencinin, üzerinde önemle durulan anlamlı öğrenmeyi geliştiremediklerini ortaya koymuştur (Talanquer, 2013). Sunyono vd. (2015) tarafından yapılan bir çalışmada, bir öğrencinin zihinsel modelinin makroskobik ve sembolik düzeylerde olma eğiliminde olduğu ve mikroskobik düzeydeki zihinsel modellerinin henüz iyi gelişmediği görülmüştür. Olguların mantıklı bir şekilde anlaşılabilmesi için öğrencilerin belleğinde her üç kavram seviyesinin de birbiriyle örtüşmesi gerekmektedir (Devetak vd., 2009).



Şekil 2.2 Üç bilim seviyesinin ilişkisi olduğunu gösteren model

Üç düzey arasında doğru bağlantı kurulamaması öğrencilerin kimya dersine ilişkin kavram yanlışlarının en önemli nedenlerinden biri olarak görülmektedir (Suat vd., 2010). Bu sonuçlar öğretmenlerin, öğrencileri ilgili kimyasal kavramları ve sistemleri keşfetmeye ve üç bilgi türü arasında net bağlantılar kurmaya yönlendirecek şekilde kimya derslerinde farklı yaklaşımlar uygulamaları gerektiğini ortaya çıkarmıştır (Talanquer, 2013).

Kimyayı bir disiplin olarak nitelendiren dört temel etkinlik ve bu etkinliklerle ilişkili temel sorular şu şekildedir:

- Analiz (Nedir?)
- Sentez (Nasıl yaparım?)
- Dönüşüm (Nasıl değiştirebilirim?)
- Modelleme (Nasıl açıklayacağım?)

Bu temel soruların tanınması öğretmenlere; öğrencilere kimya ile ilgili kavram ve fikirleri tanıtmak için farklı yollar bulmalarını sağlayabilir (Talanquer, 2013).

Araştırmacılar bu zorlukların üstesinden gelebilmek için 3D görselleştirme araçlarını kimya dersine entegre etmek ve farklı kimyasal sunumlar arasındaki geçişi teşvik

etmek gibi çeşitli çözüm yolları sunmaktadırlar (Suat vd., 2010; Raiyn ve Rayan, 2015). 19. yüzyılın ortalarından günümüze kadar hem öğretimde hem de araştırmalarda sıklıkla kullanılan moleküler modeller, kimya derslerinde oldukça yarar sağlamıştır. Modeller, öğrencilerin bir molekülün moleküler geometrisini görselleştirmelerine ve o molekülün belirli bir fiziksel ve kimyasal doğasını kavramsallaştırmasına imkân tanımaktadır (Ghaffari, 2006). Kimyasal yapıları İki Boyutlu (2D) / 3D modellerle temsil etmek öğrencilerin kimya konularının makroskobik, mikroskobik ve sembolik temsil seviyelerini birbirleriyle ilişkilendirmesine yardımcı olarak öğrencilerin kavramsal anlayışını arttırmaktadır (Suat vd., 2010; Raiyn ve Rayan, 2015). Bu nedenle üç öğrenme düzeyi arasındaki geçişi sağlayarak kavram yanlışlarını azaltabilmek için moleküler dünyanın doğru zihinsel modellerine ihtiyaç duyulmaktadır ve faydalı zihinsel modeller geliştirilmelidir (Tasker, 2016).

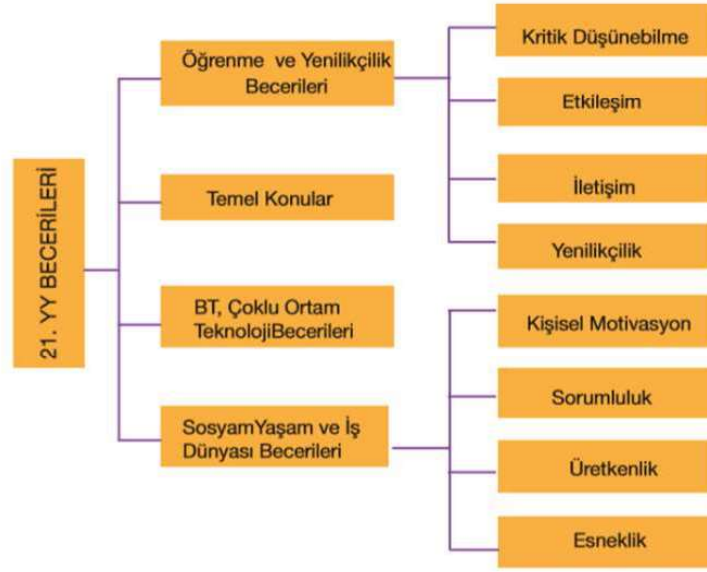
Düşkün ve Ünal (2015) tarafından yapılan bir çalışmada modellerin fen eğitiminde kullanılmasının sağlayacağı avantajlar şu şekilde sıralanmıştır:

- Karmaşık yapılar modeller yardımıyla sadeleştirilerek daha anlaşılır hale getirilebilir.
- Beş duyu organıyla algılanamayan araç, cisim ve olaylar modeller yardımıyla algılanabilir.
- Modeller sınıf ortamına getirilmesi mümkün olmayan araç, cisim, olgu ve olayların incelenmesini sağlarlar.
- Modeller soyut düşünce, kavram ve olayların açıklanmasında öğretmenlere yardımcı olarak zamandan tasarruf sağlarlar.
- Belirli bir olay modeller yoluyla canlandırılabilir.
- Modeller işlem ve süreçlerin sırasını doğru bir şekilde görmemizi sağlar.
- Modeller eğitime canlılık katarlar.

- Modeller vasıtası ile öğrencilerin derse karşı ilgileri çekilerek konuya olan dikkatleri artırılabilir. Öğrencilerin öğrenme isteği güdülenebilir.
- Modeller öğrenilen konu üzerinde uygulama imkânı verir.
- Öğrencilerde meydana gelecek kavram yanlışları modeller yardımı ile giderilebilir.
- Model kullanımı dogmatik, otoriter ve ezberci eğitimi sonlandıracağından öğrencilerin fen derslerini sevmeleri sağlanabilir.

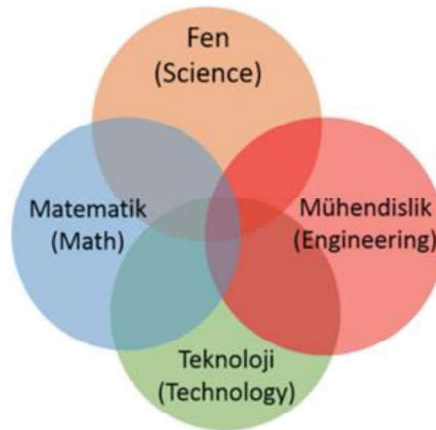
2.2.3.2 STEM eğitimi yaklaşımı

Yirminci yüzyılın ikinci yarısından itibaren bilim ve teknolojide meydana gelen hızlı değişimler, ülkelerin eğitim sistemlerini gözden geçirmelerini ve yeniden yapılandırılmasını zorunlu hale getirmiştir (Aydın, 2011). Çünkü bir ülkenin gelişebilmesi ve çağa ayak uydurabilmesi için en önemli etkenlerden biri eğitimidir. Bu bağlamda problem çözme ve eleştirel düşünme becerilerine sahip; düşünen, sorgulayan, araştıran, eleştiren ve 21. yy. becerilerine (Şekil 2.3) sahip bireylerin yetiştirilmesi büyük önem taşımaktadır (Ulutan, 2018). Bu niteliklere sahip bireylerin yetiştirilmesinde fen bilimleri eğitiminin önemli bir yeri vardır. Ülkelerin ihtiyacı olan çağın gereklerine uygun nitelikte bireylerin yetiştirilmesi etkili bir fen eğitiminin gerçekleştirilmesi ile sağlanabilir.



Şekil 2.3 21.Yüzyıl becerileri

Ancak fen eğitiminin sadece etkili bir şekilde verilmesi çağın gereklerine uygun bireylerin yetiştirilebilmesi için yeterli değildir buna ek olarak fen eğitiminin diğer disiplinlerle ilişkisinin de ortaya konulması gerekmektedir. Günümüzde fen eğitimi Şekil 2.4’te görüldüğü gibi teknoloji, mühendislik ve matematik birbirlerinden ayrı düşünülmemektedir (Akgündüz vd., 2015). Bu yüzden pek çok ülke ve eğitimci fen, teknoloji, mühendislik ve matematik disiplinlerinin birlikte verilmesinin önemi üzerinde durmaktadır. Bu dört temel disiplinin birbirine entegre bir şekilde verilmesine STEM eğitimi denilmektedir (Yıldırım ve Selvi, 2017).



Şekil 2.4 Bütünleşik STEM eğitimi

STEM eğitimi 2001 yılında Amerika’da ortaya çıkmış olup, ortaya çıkış sebebinin temelini ABD’li öğrencilerin fen, matematik ve mühendislik alanlarına olan ilgilerinin

giderek azalması oluşturmaktadır (Ostler, 2012). Amerika başta olmak üzere pek çok ülke farklı sınıf seviyelerinde STEM uygulamalarının yapılabilmesi için gerekli olan alt yapı çalışmaları üzerinde titizlikle çalışmaktadır (Eroğlu ve Bektaş, 2016).

Türkiye’de STEM özellikle fen öğretiminde yeni bir yaklaşım olarak görülmekte ve FeTeMM kavramı ile ifade edilmektedir. STEM eğitimi, öğrencilerin fen derslerine olan ilgi ve motivasyonlarını arttırmakta ve bu sebeple de fen öğretiminde oldukça önem arz etmektedir (Eroğlu ve Bektaş, 2016). MEB (2018) tarafından hazırlanan yeni Fen Bilimleri Dersi Öğretim Programı’nda da STEM eğitime yer verilmiştir. Fen bilimlerinin matematik, teknoloji ve mühendislikle bütünleşmesini sağlayacak, öğrencilerin problemlere disiplinler arası bakış açısıyla bakabilmelerini, buluş ve inovasyon yapabilme seviyesine ulaşabilmelerini, edindikleri bilgi ve becerileri kullanarak ürün oluşturabilmelerini sağlayacak olan mühendislik ve tasarım becerileri de programa eklenmiştir.

STEM okuryazarlığına sahip kişilerden oluşan iş gücü elde etmek, ülkeler için ekonomik avantaj sağlayacak yenilikler üretebilmek ve gelecekteki iş alanlarında yeterli olabilmek STEM eğitiminin amaçlarından (Thomas, 2014). Araştıran, sorgulayan, yaratıcı, eleştirel düşünebilen, problem çözebilen ve karar verme becerisine sahip vb. niteliklere sahip bireylerin yetiştirilmesinde fen, matematik, mühendislik ve teknoloji alanları önemli bir rol oynar (Eroğlu ve Bektaş, 2016). Bu nedenle STEM eğitimi müfredata entegre edilmeli ve sadece okul ortamında değil okul dışı etkinliklerle de desteklenmelidir (Uludağ, 2018).

STEM eğitimi bireylerin; problem çözme becerilerini geliştirir, temel bilgi ve becerilerini kullanarak mühendislik alanında yaratıcılıklarını geliştirmelerine katkı sağlar, mantıksal düşünmelerine fayda sağlar, teknolojinin doğasını açıklamalarına ve anlamalarına yardımcı olur (Morrison, 2006). Bunlara ek olarak Yıldırım ve Altun (2015) tarafından yapılan bir çalışmada STEM uygulamalarının faydaları şu şekilde sıralanmıştır:

- STEM uygulamaları öğrencilerin eleştirel düşünmelerini ve yaratıcılıklarının geliştirilmesini sağlar.

- STEM eğitimi sayesinde öğrenciler disiplinler arası bakış açısı kazanırlar.
- STEM eğitimi ile birlikte öğrenciler konuları daha eğlenceli olarak öğrenirler ve derse karşı ilgileri artar.
- STEM eğitimi ve uygulamaları, Bloom'un taksonomisinin üst seviyelerine hitap ederken öğrencilerin de daha üst seviyede düşüncelerini sağlar.
- STEM eğitim ve uygulamaları öğrencilerin öğrendikleri bilgilerin kalıcı olmasını, ayrıca önceki öğrenilen bilgilerin yeni öğrenilen bilgilerle ilişkilendirilmesini de sağlar.

Fen bilimleri, mühendislik, matematik eğitimleri ve teknolojinin bir bileşimi olan STEM'de; teknoloji boyutu diğer üç bileşenin daha derin anlaşılmasına imkân tanır. Teknoloji sayesinde, insanların ihtiyaçları doğrultusunda diğer üç bileşen kullanılarak yenilikler yapılmakta ve hayat kolaylaştırılmaktadır. Teknoloji, öğrencilerin STEM alanında elde ettikleri bilgileri günlük hayata aktarmalarını sağlar (Yıldırım, 2016). Teknoloji kullanılarak daha fazla duyu organına hitap edecek çeşitli türden materyaller geliştirilerek, öğrencilerde anlamlı ve kalıcı öğrenme sağlanabilir (Sönmez, 2003; Özmen, 2004). Bu nedenle teknoloji destekli fen eğitimi büyük önem arz etmektedir. Fen öğretiminde önemli bir yapıtaşı olan STEM eğitiminin gerçekleştirilmesinde etkili bir araç olarak kullanılabilecek teknolojilerin başında 3D materyal tasarımı ve 3D baskı teknolojisi gelmektedir. 3D baskı teknolojisi, STEM eğitimi çeşitli öğrenme teknikleri ve deneyimleriyle zenginleştirmek için kullanılabilmektedir (Pinger vd., 2019). 3D tasarım ve baskı becerilerini geliştirmek öğrencilerin STEM etkinliklerine katılımını teşvik etmektedir (Buehler vd., 2014).

2.3 Üç Boyutlu Tasarım Uygulamaları

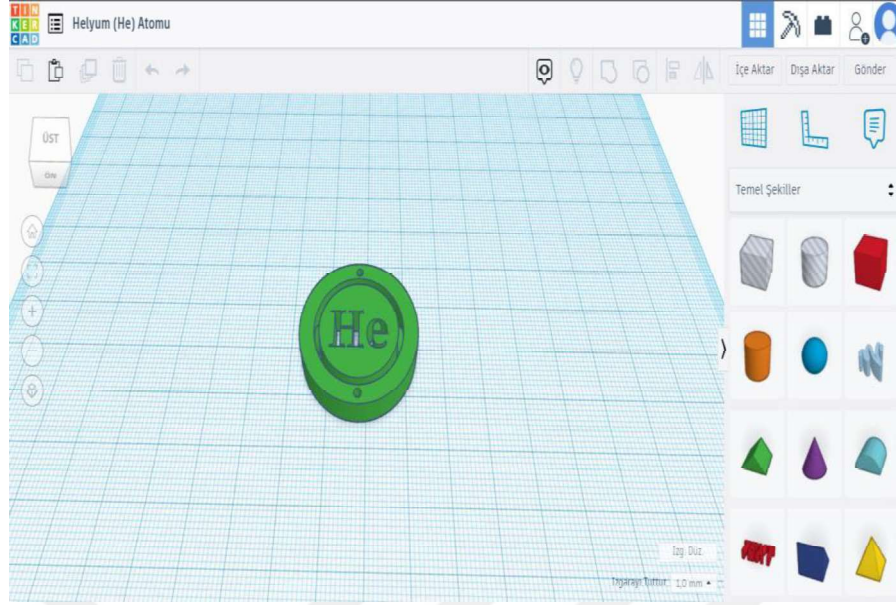
Hızla gelişmekte olan 3D baskı devrimi eğitimden sağlığa, arkeolojiden mühendisliğe kadar pek çok alanda etkisini hissettirmektedir. Eğitim cephesinde karmaşık yapıları daha iyi görselleştirmek için 3D nesneler yazdırabilir. Çivi yazılı tabletler ve madeni paralar gibi büyük tarihi değere sahip diğer nesneler 3D baskı ile çoğaltılabilir. Giyim üretimi için dikiş makinelerinde kullanılan parçalar 3D olarak basılabilir. Çok uzak

olmayan bir gelecekte, sürdürülebilir kalkınma bağlamında su pompalarından evlere kadar her şeyi üretebilecek daha büyük yazıcılara sahip olunacağı düşünülmektedir (Canessa vd., 2013).

Gerçek bir nesneyi yazdırmanın ilk adımı, genellikle CAD (Bilgisayar Destekli Tasarım) olarak adlandırılan bir yazılım kullanarak onun sanal bir dijital 3D modelini yapmaktır. En yaygın platformlar (Windows, Mac OS X, Linux) için bu tür birçok program vardır. Teknik 3D modelleme için SketchUp, FreeCAD, Blender, OpenSCAD gibi ücretsiz yazılımlar mevcuttur (Canessa vd., 2013).

Bir CAD programını kullanmaya başlamak kolay değildir, birçok menünün ve ikonun anlamını öğrenmek için haftalar veya aylar gerekebilir. Basit bir 3D model oluşturmak için tasarımınızın kolay ve hızlı bir şekilde oluşturulması veya değiştirilmesi için görsel araçlar sağlayan birçok özel web sitesinden birini kullanmak daha kolay ve hızlıdır. 3D modelleme için Tinkercad, 3Dtin, ShapeSmith, Cubify gibi web uygulaması örnekleri bulunmaktadır (Canessa vd., 2013).

3D tasarıma yeni başlayanlar için Tinkercad iyi bir seçimdir. Tinkercad, basit şekiller kullanarak 3D modellerin oluşturulmasına izin veren ücretsiz bir web uygulamasıdır. Bu uygulama bir hesap oluşturulmasını gerektirir ve size çevrimiçi olarak sınırsız model sunar. Tinkercad tamamen tarayıcı tabanlı olduğundan ve herhangi bir modern web tarayıcısında çalıştığından, hemen hemen her bilgisayarda çalıştırılabilmektedir. Yeni başlayanlar için iyi hazırlanmış bir giriş öğreticisidir ve 3D modelleri basit temel şekillerle (küp, küre, piramit) inşa ederek çalışır. 3D modellemeye yeni başlayanların temel kavramları anlamalarına imkân tanır. Tinkercad ayrıca diğer STL dosyalarının içe aktarılmasına da izin verir (Griffey, 2014).



Şekil 2.5 Tinkercad programı ile hazırlanmış örnek bir 3D model tasarımı

Tinkercad programı 3D Tasarım, Devre ve Kodblokları menüleri gibi sahip olduğu özellikler bakımından öğrencilerin bilgi işlemsel düşünme ve programlama becerileri kazanmasında etkili olabileceği düşünülmektedir. Ayrıca bilgi işlemsel düşünmenin alt bileşenleri olan yaratıcılık, eleştirel düşünme, algoritmik düşünme ve problem çözme boyutlarını etkileyecek özelliklere sahiptir. Bu özellikler göz önüne alındığında Tinkercad 21.yüzyıl becerilerinin bireylere kazandırılmasında önemli bir araç olarak görülmektedir (Deniz, 2020).

2.3.1 Üç Boyutlu Yazıcı Teknolojisi

Bilgisayar ile sanal ortamda tasarlanan 3D bir nesnenin katı formda basılması olayına 3D baskı işlemi denilir. Bu işlemi gerçekleştiren cihazlar 3D yazıcı olarak isimlendirilmektedir. 3D yazıcılar ile plastik, oyun hamuru, metal, seramik hatta çikolata gibi pek çok hammaddeyi kullanarak dijital ortamdaki modelleri somut nesnelere dönüştürmek mümkündür (Çalışkan, 2015; Demir Kuzu vd., 2016). 3D yazıcılar diğer uygulamalardan farklı olarak kendi plastik yedek parçalarını üretebildiği için kendi kendini kopyalayabilen makinelerdir (Oltean, 2017).

3D yazıcıların çalışma prensibi, CAD programları ile tasarlanan 3D bir nesnenin kalıp, model ve benzeri araç gereç olmaksızın sanal olarak katmanlara bölünmesine ve nesne

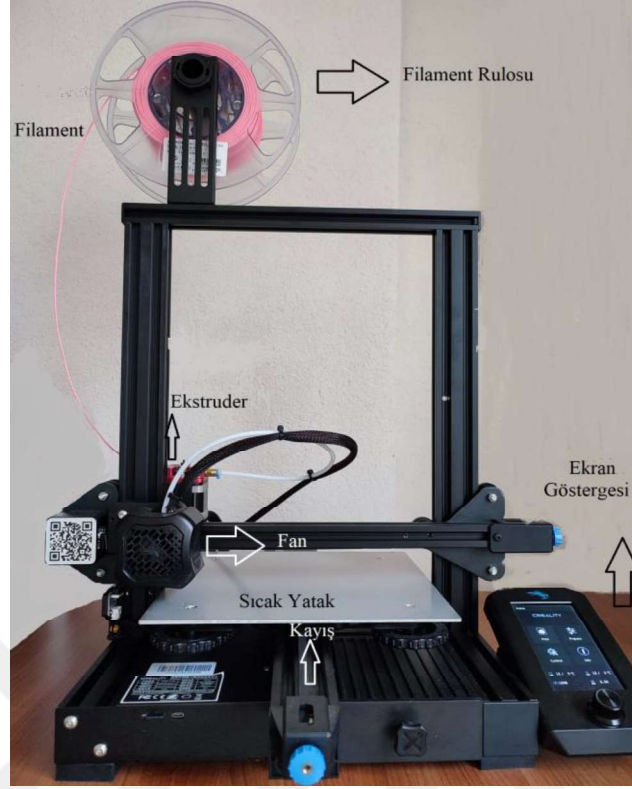
ile ilgili verilerin yazıcıya gönderilmesi yoluyla her bir katmanının eritilen hammadde dökülerek üst üste gelecek şekilde basılmasına dayanır (Yılmaz, 2013; Çalışkan, 2015). Tasarlanan nesne için uygun malzeme seçildikten sonra, doğru teknoloji kullanılarak ürünün çıktısı alınabilir. Günümüzde amatör ya da profesyonel kullanım için tercih edilebilecek 3D yazıcı çeşitleri mevcuttur (Gardner ve Olson, 2016).

2.3.2 Üç Boyutlu Yazıcıların Tarihsel Gelişimi

3D yazıcıların başlangıcı olarak 1970'lerin sonları kabul edilmektedir. İlk defa bir katı maddenin yazdırılma işlemi ise 1982 yılında Hideo Kodama tarafından yapılmıştır. 3D yazıcı ilk olarak Charles Hull tarafından 1984'te üretilmiştir. Stereolitografi (SLA) veya seçici lazer sinterleme (SLS) gibi bazı temel teknolojilerin yaklaşık 30 yıl önce var olduğu ve 1980'lerin sonunda ticari olarak mevcut olduğu bilinmektedir. Modern 3D tekniği 1986'da CAD yazılımı kullanılarak bir model tasarımının. stl formatına dönüştürülmesiyle kurulmuştur. İlk 3D yazıcı SLA teknolojisi olarak isimlendirilmiştir. 1988 yılında ilk ticari 3D yazıcı olan SLA 250 kullanıma sunulmuştur. 1989 yılında Carl Descard tarafından SLS patenti alınmıştır. Yine 1989 yılında Scott Crump, Erimiş Birikim Modelleme (FDM) teknolojisini icat etmiştir ve 1990 yılında kurduğu şirket tarafından ticari hale getirilmiştir. 1993 yılında Michael Cima, ticari ürünler dışında, bir 3D nesneyi yazdırmak için plastik, metal veya seramik kullanabilen bir yazıcıya 3D yazıcı adını vermiştir. İlk yüksek çözünürlüğe sahip ürünler üreten 3D yazıcı 1996 yılında üretilmiştir. 2007 yılında Reprap adıyla ilk açık kaynak kodlarına sahip yazıcılar piyasaya çıkmıştır. 2009 yılı itibariyle ev tipi 3D yazıcılarda artış görülmüştür (Canessa vd., 2013; Hofmann, 2014; Bharti ve Singh, 2017; Sönmez vd., 2018; URL-8, 2020; URL-10, 2020).

2.3.3 Üç Boyutlu Yazıcılarda Bulunan Parçalar ve Malzemeler

Her 3D yazıcı Şekil 2.6'da gösterilen belli başlı bazı parçalardan meydana gelir (Oltean, 2017).



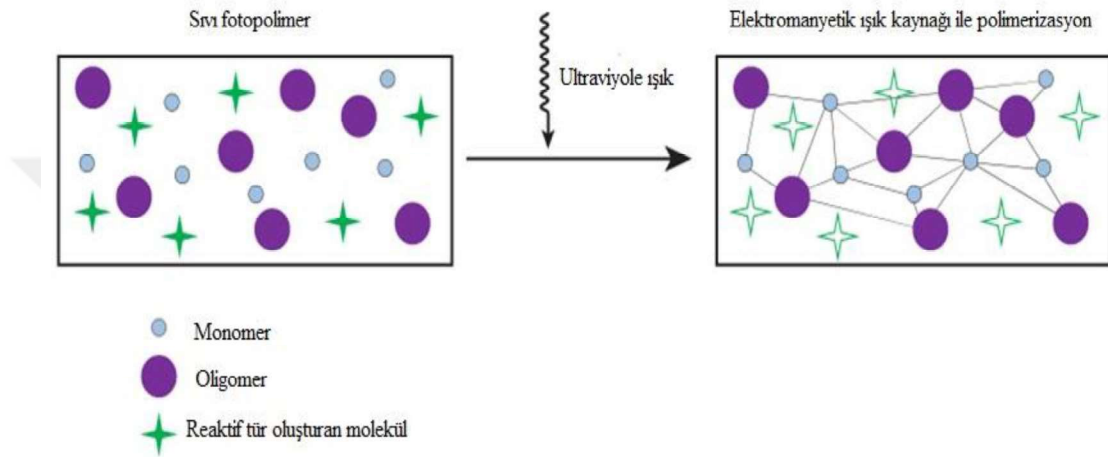
Şekil 2.6 3D yazıcı ve parçaları

Yazıcıların türlerine ve tasarımlarına göre farklı parçalar tercih edilebilir ancak her yazıcının olmazsa olmaz parçaları vardır. Bu parçalar: Sigma profiller, step motorlar, nozül, sıcak yatak, seramik ısıtıcı ve sıcaklıkölçer, durdurucu, ekstruder, kayışlar ve mil, rulmanlar, kaplin, köşe elemanları, anakart, ekran göstergesi, güç kaynağı ve diğer mekanik parçalardır (URL-12, 2020).

2.3.4 Üç Boyutlu Yazıcılarda Kullanılabilen Ham Maddeler

3D yazıcılarda her üretim metodu kendine has şekilde malzemeleri bir araya getirdiği için üretim yöntemine bağlı olarak malzemelerin kimyasal yapısı, fiziksel durumu veya bulunduğu fazı değişebilmektedir (Oktay, 2015). Baskı malzemesi, kullanılan 3D baskı teknolojisi türüne ve modele göre belirlenmektedir. Metaller, seramikler, kâğıt, biyomalzemeler, gıda malzemeleri gibi birçok malzeme 3D baskı için kullanılırken, plastik en yaygın ve yaygın olarak kullanılan malzemedir (Bharti ve Singh, 2017). Plastik filamentler FDM yönteminde, reçineler SLA ve DLP yöntemlerinde, plastik veya metal tozları SLS, DMLS ve SLM yöntemlerinde kullanılabilir (Jamie, 2018). 3D yazıcılarda yaygın olarak kullanılan ham maddeler şu şekildedir:

FOTOPOLİMER: Fotopolimerler ışığa maruz kaldığında özellikleri değişebilen bir polimer karışımıdır. Ultraviyole veya insan gözünün gördüğü elektromanyetik ışık kaynağı ile polimerize edilirler. Polimerizasyon işlemi proses olarak kürlenme olarak da bilinmektedir. Işık polimerizasyonu monomerler aracılığıyla oligomerlerin birbirine bağlanmasını sağlar (Oktay, 2015). Şekil 2.7’de fotopolimerin UV ışığıyla ile polimerizasyonu gösterilmektedir (URL-11, 2020).



Şekil 2.7 Fotopolimerin UV ışığı ile polimerizasyonu

BAĞLAYICI: Bağlayıcı püskürtme metodunda kullanılmaktadır. Sıkılan bağlayıcının cinsi bağlayacağı malzemeye göre değişiklik gösterir. Metal, plastik, tahta vb. malzemelerin tozları, bağlayıcı kullanılarak birbiri üzerine katman katman yapıştırılmaktadır. Katman katman yapıştırılması sırasında renkli bağlayıcı kullanılarak aynı zamanda üretimin boyanması sağlanmaktadır (Oktay, 2015).

TOZ: Isıtıldığında toz parçacıkları birbirleriyle eriyerek veya sinterlenerek kaynaşırlar. Tozların birbiriyle kürlenme işlemi lazer aracılığı ile yapılmaktadır. Tozların eriyerek veya sinterlenerek kaynaştığı sıcaklığa lazer etkisiyle kolayca gelmesi için üretim haznesi sıcak tutulmaktadır. Plastik, metal ve seramik gibi toz çeşitlerinin yanı sıra cam elyaf takviyeli plastik tozları veya plastik kaplamalı metal tozları gibi kompozit toz çeşitleri de mevcuttur (Oktay, 2015).

FİLAMANTLER: 3D baskı teknolojisinde sıklıkla kullanılan ham maddedir. Şekil 2.8’de görüldüğü gibi filamentler ruloya sarılı halde satılmaktadır. Filamentlerin silindirik geometride bulunmasının sebebi filamentin dış yüzeyinden verilen ısı ile

parçanın her açıdan simetrik olarak ısıtılmasıdır. Filamenlerin çapı step motorun bir adım hareketi ile dışarı atılan filament miktarını belirler. Genellikle hassas yüzeyler için 1,75 mm kaba ve dolgu yüzeyleri içinse 3 mm'lik filamentler kullanılır (Oktay, 2015)



Şekil 2.8 Filament rulosu

Genel olarak piyasada satılan filament türleri ABS, PLA ve bu filamentlerin türevleridir (Oktay, 2015):

- PLA (Polilaktik Asit), mısır nişastası veya şeker kamışından üretilen bir çeşit biyopolimer ve termoplastiktir. Bu nedenle PLA filamentin sağlığa herhangi bir zararı yoktur. Karanlıkta parlayan fosforlu çeşitleri de dâhil olmak üzere çok çeşitli renkleri mevcuttur. Genellikle yüksek derecede ayrıntı gerektiren parlak baskılar için tercih edilir. Normal erime sıcaklığı 80°C'dir ancak ideal işleme sıcaklığı olarak 180-200°C arası tavsiye edilmektedir. PLA sert bir yapıya sahip olup, dayanaklı ve darbelere karşı dirençlidir. Yatak kalibrasyonu, sıcaklık ve üretim hızı bir kez ayarlandıktan sonra sorunsuz basım yapılabilir. PLA parlak bir görüntüye sahip olduğu için göze hitap eden alanlarda ve sağlığa zararlı olmadığı için insan vücudu ile temas halinde olabilecek yerlerde sıklıkla kullanılmaktadır. Örneğin; oyuncaklar, mutfak gereçleri, kurabiye kalıpları, saklama kapları gibi (Hughes vd., 2017; Sönmez vd., 2018; URL-5, 2020).
- PLA Plus, son yıllarda geliştirilmiş organik bir biyopolimer olup ABS'ye yakın bir dayanıklılığa sahiptir (URL-5, 2020).
- Esnek PLA filamentler, Termoplastik Elastomerler (TPE) olarak da isimlendirilir. Bu tür filamentlerle ABS ve PLA'nın kaldıramayacağı gerilimlere ulaşabilir. Esnek PLA filamentleri ile baskı yapmak zordur. Esnek filament, uygun şekilde

yapılandırılmış bir ekstrüder ve nozzle gerektirir. Oyuncak, giyilebilir eşyalar (ayakkabı, terlik, bileklik, kolye vb.), telefon kapları ve görsel ürünler için kullanılabilir. Basım sıcaklığı genellikle 210°C -235°C arasındadır. Yatak sıcaklığı 60°C-70°C arasında önerilmektedir (URL-5, 2020).

- ABS (Akrilonitril Bütadien Stiren) petrol bazlı bir plastiktir. Isıtmalı platforma ihtiyaç duyan ABS baskı oldukça sağlamdır. ABS'nin ideal baskı sıcaklığı 250°C -260°C olup mat bir görünüme sahiptir. Yüksek sertlik ve dayanıklılığa sahip olup darbelere karşı dirençlidir. PLA'ya göre basımı oldukça zahmetlidir. Sağlık için tehlikeli kabul edilir. ABS ile çalışılırken mutlaka havalandırma kullanılmalıdır. Kapalı sisteme sahip 3D yazıcı kullanılarak soğuma esnasında meydana gelebilecek olan kalkma ve çatlama sorunları engellenebilir. Düzgün baskılar elde etmek için sıcaklık ve yatak kalibrasyonu ayarlarının doğru yapılması gerekmektedir. ABS, işlevsel 3D modellerin dayanıklı ve sağlam olması gereken durumlarda kullanılabilen yüksek mukavemetli bir malzemedir. Örneğin; mühendislik alanında prototip amaçlı 3D modeller, arabalar, elektrik ekipmanları gibi (Fonda, 2013; Sönmez vd., 2018; URL-5, 2020).
- ABS Plus, yeni geliştirilmiş termoplastik bir malzeme olup ABS'ye kıyasla daha dayanıklıdır (URL-5, 2020).
- PVA (Polivinil Alkol) filament suda eriyebilen genellikle destek malzemesi olarak PLA ve PLA karışımı filamentlerle kullanılan bir polimerdir. Günümüzde mevcut olan en iyi destek materyallerinden biridir. Sıcak veya soğuk suya atılıp çözünerek parçanızın desteklerden kurtulmasına yardımcı olur. Basım sıcaklığı genellikle 170°C–190°C arasındadır. Yatak sıcaklığı 50°C – 70°C arasında önerilmektedir. Bir kere ayarlanmış sıcaklık, yatak kalibrasyonu ve üretim hızı ile sorunsuz basım yapılabilir (Sönmez vd., 2018; URL-5, 2020).
- Tahta, ağaç kabuğu ve bambu filamentleri, ağaç lifi ile PLA karışımından oluşmaktadır. Bu filamentlerle üretilen objeler ele alındığında tahta hissi vermektedir. Ahşap görünümlü kaplamaya sahiplerdir. Ancak esneklikten ve çekme direncinden taviz verdikleri için hareketli ve dayanıklılık gerektiren

modellerde kullanılamayabilir. Dayanıklılıkları modellerin tasarımına göre değişmektedir. Ev dekorasyonunda, biblolarla kullanılabılır Baskı sıcaklığı genellikle 195°C ile 220°C arasındadır. Yatak sıcaklığı 60°C–70°C arasında önerilmektedir. Güzel çıktılar alabilmek için sıcaklık ve yatak kalibrasyonu ayarlarının dikkatli bir şekilde yapılması gerekebilir (URL-5, 2020).

- Metalik tozların PLA ile karışımı sonucu bronz, pirinç ve bakır filamentler elde edilmektedir. Bu filamentler PLA'dan daha ağırdır ve metalik parçacıklar içerdiklerinden ısıyı daha iyi iletirler. Bu nedenle, davranışları plastikten çok metaldir. Parlatma ve eskitme gibi yüzey işlemlerinden geçtikten sonra bronz, pirinç veya bakırdan oyularak yapılmış hissi veren ürünler haline gelirler. Kuyumculuk, heykel yapımı ve tarihi eserlerin restorasyonları gibi alanlarda kullanılmaktadır. Yüksek dayanıklılığa sahiptirler ve esneklikleri azdır. Baskı sıcaklığı genellikle 195°C ile 220°C arasındadır. Yatak sıcaklığı 60°C–70°C arasında önerilmektedir. İyi çıktılar elde etmek için sıcaklık ve yatak kalibrasyon ayarlarının dikkatli bir şekilde yapılması gerekebilir (URL-5, 2020).
- Naylon filament oldukça dayanıklı ve güçlüdür. Bu nedenle daha çok medikal alanda sıklıkla kullanılır. Nylon618 ve Nylon615 en çok kullanılan filamentlere örnek verilebilir. 235°C-270°C'lik bir ekstrüder sıcaklığı ve 60°-80°C'lik bir baskı yatağı sıcaklığı ile iyi sonuçlar verir (Hughes vd., 2017; Sönmez vd., 2018).
- PET (Polietilen Tereftalat) PLA'dan daha güçlü olan ve gıda kapları olarak kullanılmak üzere üretilen malzemelerde kullanılan endüstriyel bir filamenttir. Isıtıldığında ve soğutulduğunda saydamlığı değişir. Baskı için 160-170°C sıcaklıklar önerilir. PETG gibi değiştirilmiş bir versiyonu da mevcuttur. PETG (Polietilen Tereftalat Glikol), polietilen tereftalattan yapılmış termoplastik bir polimerdir. Mutfak eşyaları, kurabiye kalıpları, yiyecek ve içecek kapları kullanım alanları arasındadır. PETG, ABS'den daha güçlü ve esnek yapısıyla ABS ve PLA'ya daha güçlü ve esnek bir alternatiftir. Baskı sıcaklığı 220°C ila 250°C arasındadır. Soğutma sırasında, kalkma ve çatlama sorunları nadir görülür (Hughes vd., 2017; Sönmez vd., 2018; URL-5, 2020).

- Antibakteriyel filamentler PLA ile oldukça benzer niteliklere sahip PLA katkılı malzemelerdir. Antibakteriyel filamentler uygulandıkları parçanın yüzeyinde mikrop üremesini engelleyen bir yapıya sahiptir. Bu yüzden mutfaklarda, eğitim kurumlarında, banyolarda, yemekhanelerde ve alışveriş merkezi tuvaletlerindeki kapı ve musluk kolları gibi mikropların barınabileceği her yerde antibakteriyel malzeme olarak kullanılabilir. Antibakteriyel filamentler, baskı sırasında insan sağlığına zararlı zehirli gazlar yaymama, yüksek sertlik, darbe dayanımı, dayanıklılık ve hafiflik gibi birçok avantaj sağlar. Baskı sıcaklığı 185°C ile 195°C arasında değişir. Soğuma esnasında kalkma ve çatlama sorunları ile karşılaşılmaz. Yatak sıcaklığı 60°C–70°C arasında önerilmektedir. Güzel çıktılar alabilmek için sıcaklık ve yatak kalibrasyonu ayarlarının bir defa yapılması halinde çok az sorun ile karşılaşılır (URL-5, 2020).
- NinjaFlex ve SemiFlex, yüksek detay ve elastiklik gerektiren karmaşık parçalar için tokluk mukavemeti, güvenilirlik, şok emilimi ve esnekliğe sahip malzemelerdir. 210°-225°C arasında bir ekstrüder sıcaklığı ile tamamlanan 50°C'lik bir baskı yatağı sıcaklığı, pozitif sonuçlar verecektir. Malzeme hem 1,75 mm hem de 3 mm çaplarda bulunmaktadır (Hughes vd., 2017).
- Karbon Fiber filamentler karbon fiber telleri ile PLA karışımıdır. Ortaya çıkan malzeme olağanüstü yüzey kalitesi sağlar ve son derece hafiftir. Karbon fiber filamentler oldukça sert bir yapıya sahiptir. Bu filamentler ile obje basımı sırasında katmanlar birbirine iyi bir şekilde yapışır. Fakat nozülü aşındırabilir ve fiyatı diğer filamentlere göre pahalıdır. Bu yüzden kullanılan nozül, uygun bir malzemeyle kaplanmalı, pirinç yerine işlenmiş ve kaplanmış metalden yapılmış nozül kullanılmalıdır. Koruyucu kaplarda, mekanik parçalarda ve yüksek düzeyde dayanıklılık gerektiren diğer uygulamalarda kullanılabilir. Esnediğinde sınırlı elastikiyeti nedeniyle kırılabilir. İdeal basım sıcaklığı 195°C–220°C arasındadır. Karbon fiber filamentler ile çalışılırken soğuma esnasında kalkma ve çatlama sorunları ile çok az karşılaşılır. Yatak sıcaklığı 60°C–70°C arasında önerilmektedir (Hughes vd., 2017; URL-5, 2020).

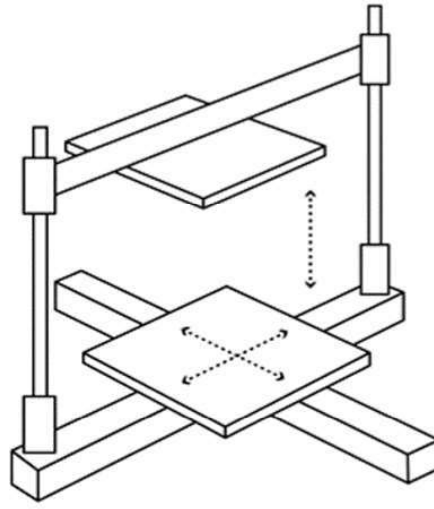
- F-Electric, elektriksel olarak oldukça iletken karbon nano t p tabanlı PLA filamenttir. Plastik filament, cm başına 0,75 ohm gibi inanılmaz bir elektrik direncine sahiptir. Metal kadar iletken olmasa da, baskı anahtarlarına, konektörlere ve elektrik devrelerine ilgi duyan yenilikçilerin dikkatini çekmektedir (Hughes vd., 2017).
- HIPS (Yüksek Etkili Polistiren), ABS filamentleri ile destek malzemesi olarak sıklıkla kullanılan eriyebilir bir polimerdir. Modele zarar verebilecek kazıma, kırma veya kesme işlemleri yapılmadan destek malzemesinin, limonen içeren suya batırılmış halde tutulması gerekir. Limonen, limon ve diğer narenciye kabuklarından elde edilen doğal bir     c d r. HIPS hafif esnekliğe sahiptir fakat kırılgandır. So uma esnasında kalkma ve çatlama sorunları ile kar ılaşılabılır. Basım sıcaklığı genellikle 235 C–255 C arasındadır. Yatak sıcaklığı 80 C–120 C arasında önerilmektedir (Fonda, 2013; URL-5, 2020).
- Alaşım yenilikçi bir filamenttir. Yüksek performanslı baskı malzemesi olarak tasarlanmıştır. Malzeme 45 C'lık bir baskı yata ıyla ve 245 C ekstrüder sıcaklığıyla zahmetsizce yazdırılır. Hem 1,75 mm hem de 3 mm çaplarda mevcuttur (Hughes vd., 2017).
- Polikarbonat (PC), yüksek optik berraklı ı ve yüksek erime sıcaklığı (yaklaşık 270 C ila 300 C) olan çok güçlü ve dayanıklı bir plastik malzemedir. Birçok endüstriyel yapımda kullanılmasına rağmen 3D yazıcılarla ilk testler 2012 yılında başlamıştır ve henüz sadece birkaç PC filament üreticisi vardır (Fonda, 2013).

2.3.5    Boyutlu Yazıcı Türleri

3D yazıcıların katmansal üretim teknolojisi aynı olsa da hareket mekanizmaları çalışma uzayına göre farklılık göstermektedir. Günümüzde yaygın olarak kullanılan 3D yazıcı türleri kartezyen yazıcı, delta yazıcı, core xy yazıcı ve 3D yazıcı kalemlerdir (Polat, 2016;    l  , 2017).

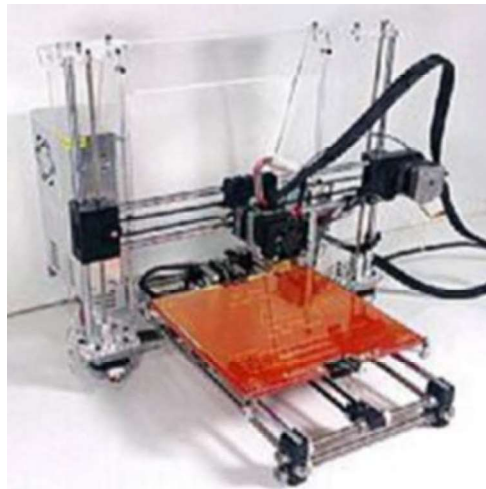
1-) Kartezyen yazıcılar: Kartezyen yazıcılar genel olarak bilgisayar kontrollü xyz kartezyen platformuna ba lanmış termoplastik p  k rt c den meydana gelir. Bu

yazıcıların iskeletleri elik çubuklardan veya profillerden, bağlantı yolları ise plastik parçalardan oluşur. Kartezyen yazıcılar üretilirken hareket tasarımı ya sıcak tabla Z ekseninde yukarı ve aşağı hareket ederken kafa X,Y ekseninde hareket edecek şekilde ya da şekil 2.9’da görüldüğü gibi tabla X,Y ekseninde hareket ederken kafa Z ekseninde yukarı aşağı hareket edecek şekilde tasarlanmıştır (Polat, 2016; ğlmş, 2017).



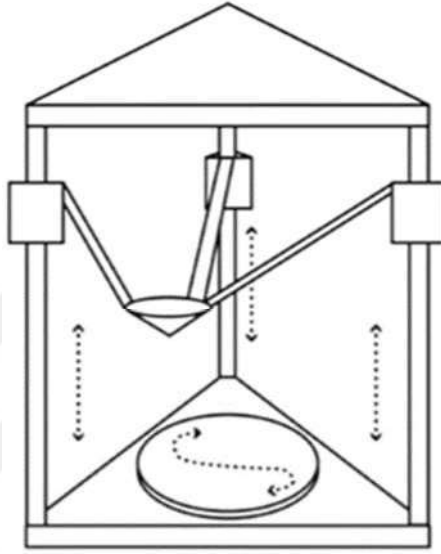
şekil 2.9 Kartezyen tipi yazıcının hareket yörüngeleri

Z eksenindeki hareket, vidalı miller kullanılarak iki adet step motor tarafından sağlanır. X ve Y eksenindeki hareketler ise eksantrik triger kayışı sayesinde kontrol edilir. şekil 2.10’da Kartezyen tipi 3D yazıcı rneği görülmektedir (Polat, 2016).



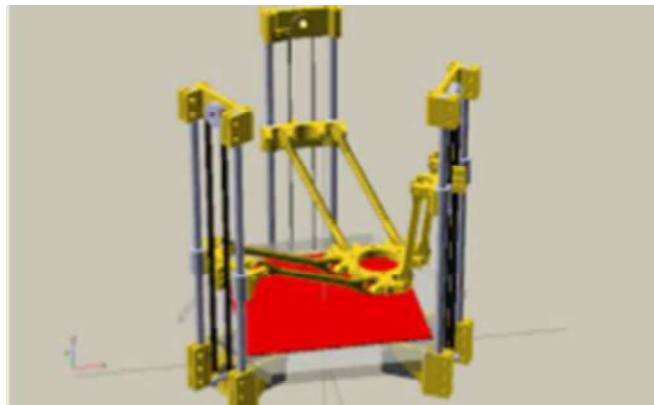
şekil 2.10 Kartezyen tipi yazıcı

2-) Delta Yazıcılar: Delta yazıcılar; hareket mekanizması olan XY eksenine yerleşen eşkenar üçgenin köşelerine oturan üç adet lineer kayma mekanizmasının, baskı kafasına eşit uzunluktaki mafsallı çubuklarla bağlanmasıyla oluşmaktadır (Şekil 2.11). Delta yazıcıları diğer yazıcılardan ayıran temel fark, şekil olarak üçgen gibi olması nedeniyle dikey Z eksenindeki hareketi sağlamak için üç yerden birer step motor ile tahrik edilmesidir (Polat, 2016; Öğülmüş, 2017).



Şekil 2.11 Delta tipi yazıcının hareket yörüngeleri

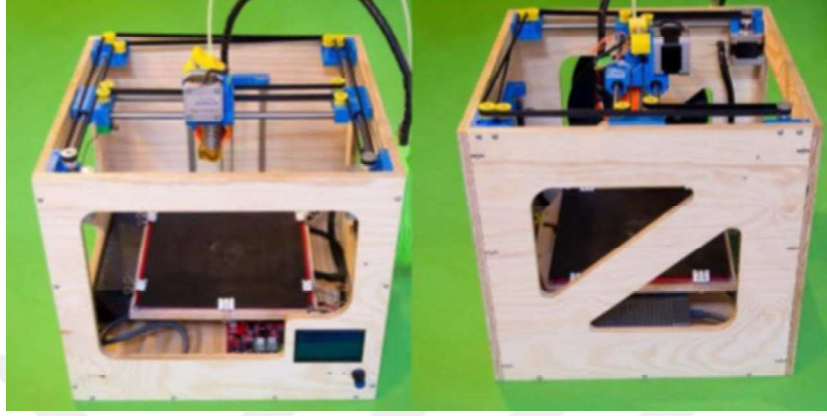
Delta yazıcılar kartezyen yazıcılara göre daha düşük maliyetlidir ancak kinematiğindeki farklılık ve karmaşıklığından dolayı daha az tercih edilmektedirler. Şekil 2.12’de örnek bir delta tipi yazıcı gösterilmiştir (Polat, 2016; Öğülmüş, 2017).



Şekil 2.12 Delta tipi 3D yazıcı

3-) Core xy yazıcı: Core xy yazıcılarda X ve Y eksen hareketi kayış kasknaklar vasıtasıyla gerçekleştirilmektedir. Ergitmenin yapıldığı kafa XY koordinat sistemine

bağlanmıştır. Z eksen hareketi tablaya verilmiştir ve tabla vidalı miller aracılığıyla step motorlar ile kontrol edilmektedir. Şekil 2.13'te core xy mantığıyla üretilen 3D yazıcı görülmektedir (Polat, 2016).



Şekil 2.13 Core xy mantığı ile üretilmiş 3D yazıcı

4-) 3D yazıcı kalem: 3D yazıcı kalem (3D printing pen) olarak adlandırılan teknoloji elinize bir kalem alıp havaya yazı yazmak gibi bir işleve sahiptir. 3D yazıcıların mantığıyla çalışan 3D yazıcı kalem teknolojisi sayesinde bireyler, 3D yapıların her aşamasını kendileri oluşturabilmekte ve tasarımlarının her yönüne hâkim olabilmektedirler. Bireylerin materyallerini kendilerinin oluşturuyor olması keşfe dayalı bir deneyim sağlamaktadır (Çopur ve Türkdoğan, 2021).



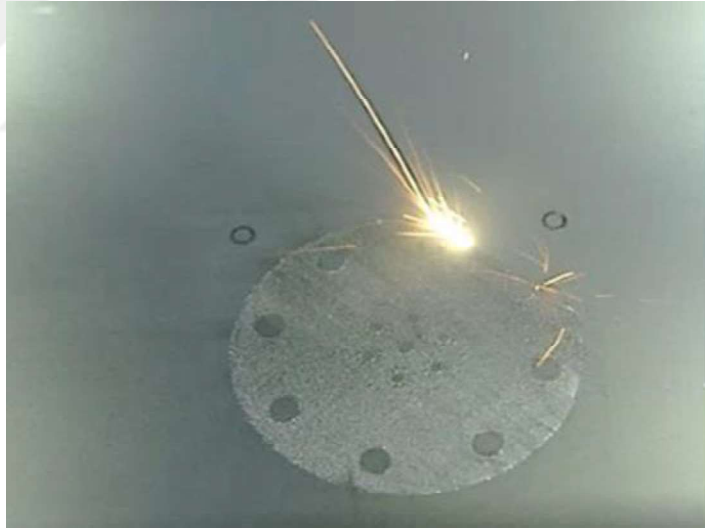
Şekil 2.14 3D yazıcı kalem

2.3.6 Üç Boyutlu Yazıcıların Üretim Teknikleri

3D geometrik verileri kullanarak malzemenin birbiri ardına katman katman eklenmesiyle parçaların hızlı bir şekilde basımını gerçekleştiren tekniğe eklemeli

imalat adı verilir. Eklemeli imalat teknolojileri 1980’li yıllarda ortaya çıkmış olup, ilk olarak prototip üretimi için kullanıldığından hızlı prototipleme olarak isimlendirilmiştir. Temel mantığı aynı olmasına rağmen, çeşitli teknikler kullanarak eklemeli üretim yapmak için çeşitli teknolojiler geliştirilmiştir (Kruth vd., 1998; Levy vd., 2003 akt. Çelik, 2015).

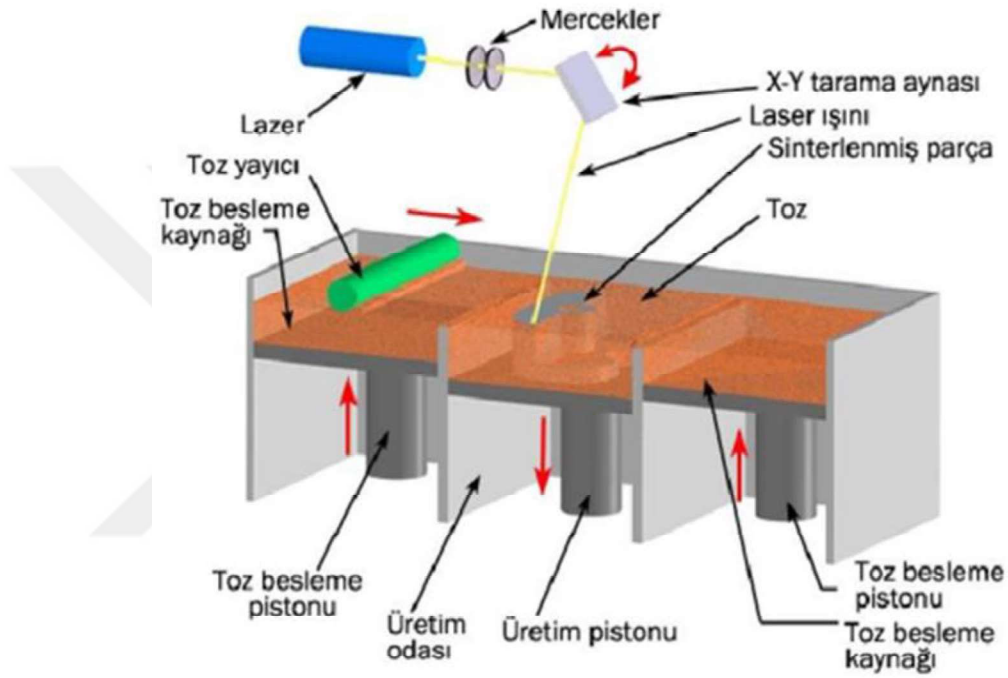
1-) Seçici lazer sinterleme (SLS): Seçici lazer sinterleme, 1980’lerin ortalarında Joe Baeman tarafından Teksas Üniversitesi bünyesinde geliştirilmiş bir teknolojidir. SLS yönteminde toz metaller ısı ve basınç altında katı cisimlere dönüştürülmektedir. Sinterleme için farklı çözümler kullanılabilir. Bunlardan bir tanesi de lazerdir. SLS yönteminde malzeme tozları üzerine çok hızlı bir şekilde lazer ışını yansıtılarak katmanlar meydana getirilir. Lazer ışını, lazer tarayıcı denenen bir parça aracılığı ile insan gözünün algılamakta güçlük çekebileceği hızlarda, katmanları oluşturabilmektedir (Şekil 2.15) (Öğülmüş, 2017).



Şekil 2.15 SLS tipi yazıcının baskı esnasındaki görünümü

SLS uygulamalarının çoğunda toz yatağı için termoplastik malzemeler kullanılır, özellikle farklı tipte poliamidler kullanılır ancak kullanılan lazer gücüne bağlı olarak metal, plastik, seramik, farklı metal alaşımları ve hatta mineral malzemeler de olmak üzere pek çok çeşitli malzeme ve malzeme karışımları kullanılabilmektedir. Üretilen parçalar iyi mekanik özelliklere ve termal dirence sahiptir. Bu nedenle günümüzde medikal, savunma ve havacılık sektöründe endüstriyel olarak tercih edilen yöntemdir. SLS tipi yazıcılarda modeller, ham madde olarak kullanılan toz içine gömülü olarak

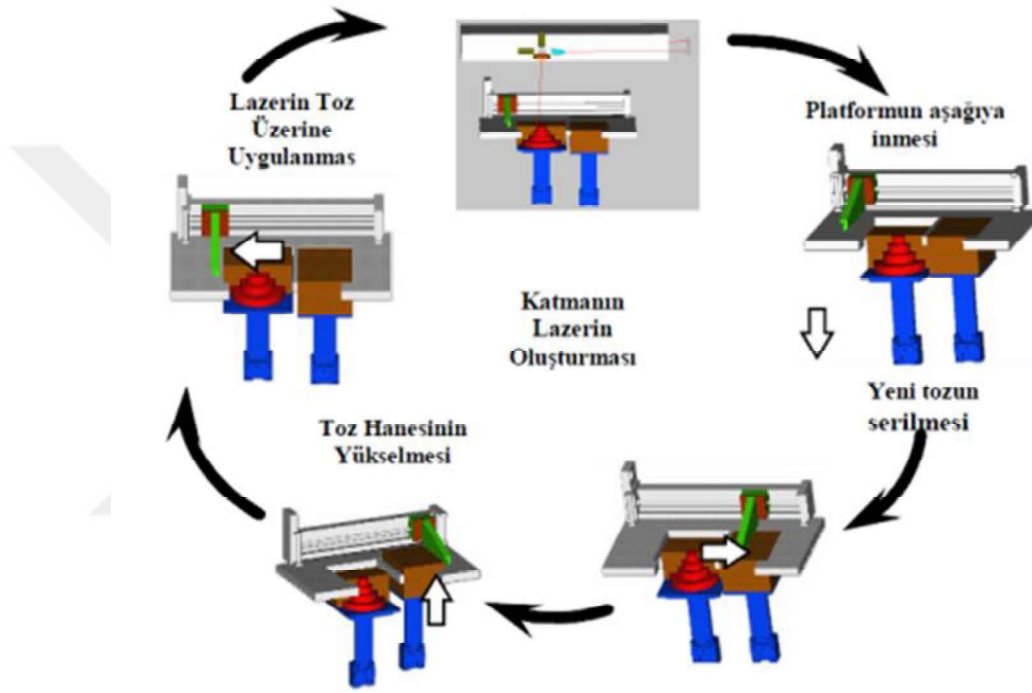
üretildiği için pek çok modelde destek malzemesi kullanımına ihtiyaç duyulmamaktadır. Tozun düzgün serilebilmesi için serici kafa oldukça yavaş hareket ettiği için toplam üretim süresi artabilmektedir. SLS teknolojisinin en büyük avantajı, kompleks geometrilerin üretiminde oluşturduğu kolaylıktır. SLS teknolojisi ile üretilen model, bir destek gerektirmedikinden son derece temiz ve nihaidir. Bu yüzden ön seri üretim mümkündür. (Hofmann, 2014; Öğülmüş, 2017; Şahin ve Turan, 2018).



Şekil 2.16 SLS makinesinin yapısı

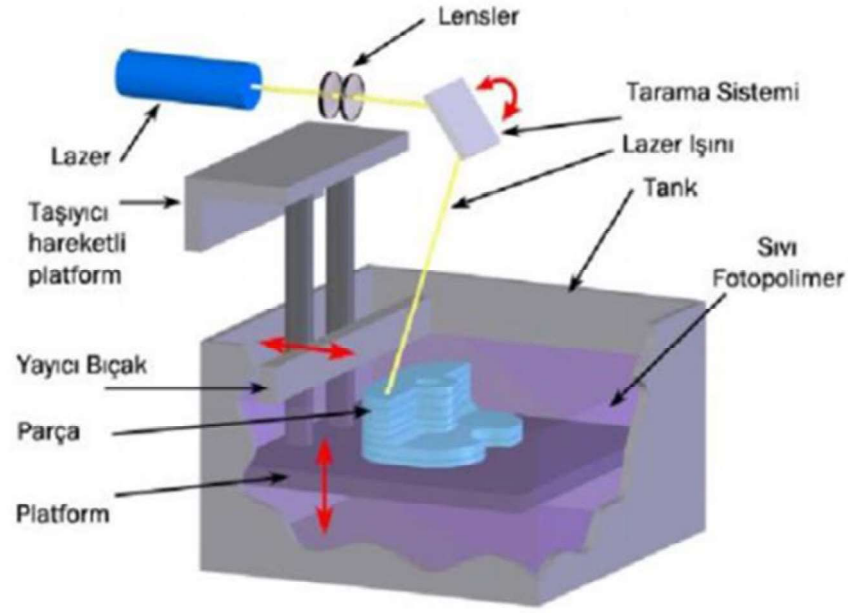
SLS teknolojisi üç aşamada gerçekleştirilebilir. İlk aşama, CAD ve benzeri yazılımlar kullanılarak, bir parça tasarlanmasıdır. Daha sonra parça, bilgisayarın veri olarak görebileceği uygun formatta kaydedilmelidir. Hızlı imalat için kullanılan cihazlarda STL uzantılı dosyalar standartlaştırılmıştır. STL formatlı dosya, farklı yazılımlar ile katmanlara ayrılır. Yapım aşamasında, imal edilecek parçanın ilk olarak hangi alaşımdan veya metalden yapılacağına karar verilir. Modeli yapmak için hangi malzemenin kullanılacağına karar verildikten sonra toz malzeme makinenin kartuşlarına yüklenir. Isıtıldığında eriyebilen bir yapı malzemesinin toz formu ince ve düzgün bir şekilde hazneye yayılır. Daha sonra toz haznesinin içi tasarımdan elde edilen verilere uygun olarak bir lazer ile taranır. Böylece lazer ile taranan bölgedeki tozlar birbirlerine tutunmaktadır, lazerin boş geçtiği bölgeler ise toz halinde kalmakta ve parçaya destek olmaktadır. Tabla, bir katmanın sinterleme işlemi tamamlandıktan

sonra bir katman oluşturacak kadar aşağı doğru hareket eder. Toz, yeni toz süpürücü tarafından havuza püskürtülür ve bu tabaka için sinterleme işlemi tekrar başlar. Bu prosedür, tasarlanan parçanın tabanından başlar ve en üste doğru ilerler. Lazere maruz kalmayan toz parçacıkları, nihai ürün için bir destek görevi görür. Destek görevi gören bu tozlar, işlem tamamlandığında fırça veya vakum emici kullanılarak temizlenir (Şekil 2.17) (Özgüven, 2015).



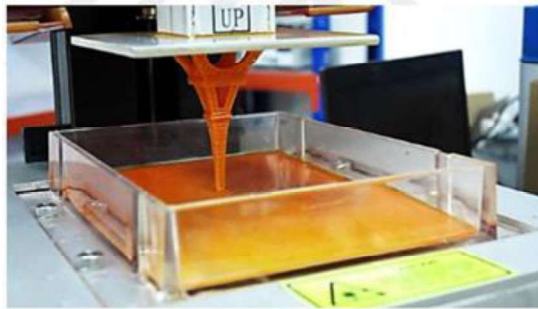
Şekil 2.17 SLS makinesinin çalışma prensibi

2-) Tarayarak ışıkla kürleme tekniği (SLA-Stereolitografi): Stereolitografi yönteminde, başlangıç malzemesi taranmış bir lazer ışını ile hızla çözülen 100–2000 cP viskozite aralığına sahip monomer ve oligomer bileşenlerinin sıvı bir karışımıdır. Şekil 2.18’de SLA makinesinin bileşenleri yer almaktadır. Bu yöntem yüksek doğrulukta ve çözünürlükte üretim imkânı sağlar. SLA yöntemi ile düzgün yüzeyli polimer parçalar elde edilebilir. SLA teknolojisinin en önemli avantajı, çok çeşitli malzemelerin üretimine olanak sağlamasıdır. Bu yüzden ulaşım, sağlık ve tüketim malları dâhil olmak üzere çok çeşitli endüstrilerde üretimi kolaylaştırır (Hofmann, 2014; Şahin ve Turan, 2018).



Şekil 2.18 SLA makinesi

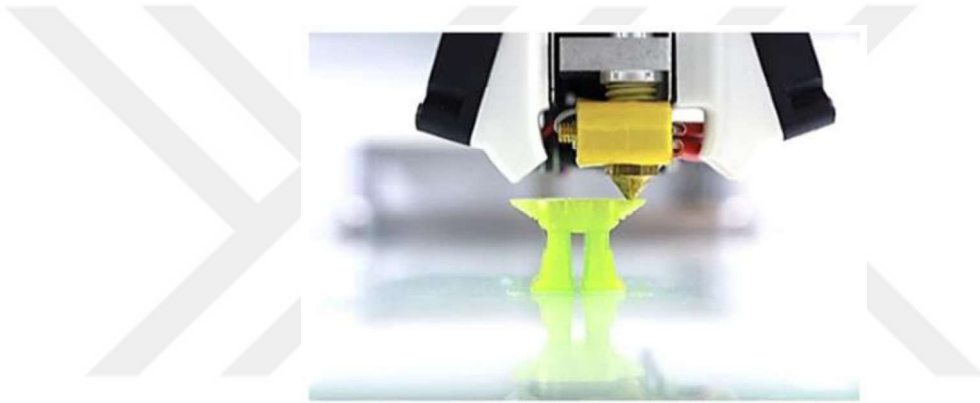
SLA, lazerle reaksiyona giren ve çok hassas parçalar üretmek için sertleşen fotopolimer reçinelerle çalışan lazer bazlı bir işlemdir. Fotopolimer reçinesi, içinde hareketli bir platform bulunan bir teknede tutulur. Bir lazer ışını, makineye verilen 3D verilere (.stl dosyası) göre reçinenin yüzeyi boyunca X-Y eksenlerine yönlendirilir, böylece reçine lazerin yüzeye çarptığı yerde tam olarak sertleşir. Katman tamamlandıktan sonra, kazan içindeki platform bir fraksiyonla (Z ekseninde) aşağı iner ve sonraki katman lazer tarafından izlenir. Bu, tüm nesne tamamlanana ve platform kaldırılmak üzere kazanın dışına çıkarılabilene kadar devam eder. Bazı bölümler, özellikle çıkıntılı veya alttan kesmeli olanlar, SLA sürecinin doğası gereği destek yapıları gerektirir. Bu yapılar manuel olarak ortadan kaldırılmalıdır. Şekil 2.19'da SLA tipi bir yazıcının baskı esnasındaki görüntüsü yer almaktadır (Öğülmüş, 2017; URL-9, 2020).



Şekil 2.19 SLA tipi yazıcının baskı esnasındaki görünümü

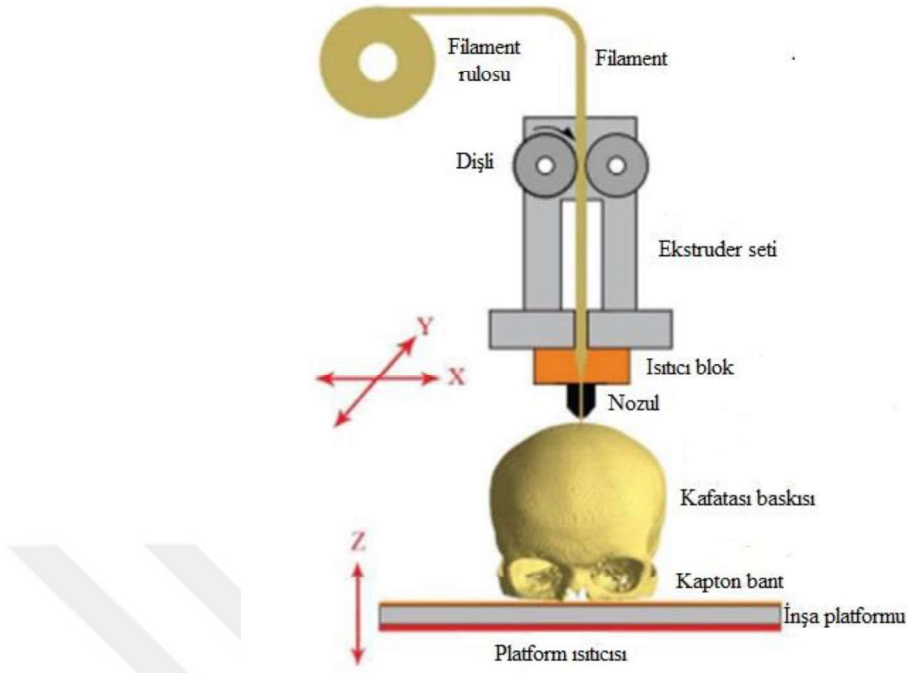
3-) Erimiş Birikim Modellemesi (FDM): Günümüzde en popüler 3D baskı teknolojilerinden biri FDM'dir. Bu teknolojiye nispeten düşük yazıcı fiyatları, neredeyse herkes için kullanılabilir olmasını sağlamaktadır (Szulzyk-Cieplak vd., 2014).

FDM teknolojisi ABS ve PLA gibi termo plastik malzeme kullanan katmanlı bir katkı üretim sürecidir. FDM süreci, 3D CAD verilerini katmanlara dilimleyerek başlar. Daha sonra veriler bir masaüstü 3D yazıcıya aktarılır. Termo plastik malzeme ısıtılmış nozülde ekstrüde edilir. Her katman bir önceki katmanın üzerine Şekil 2.20'de görüldüğü gibi yerleşir (Öğülmüş, 2017).



Şekil 2.20 FDM tipi yazıcının baskı esnasındaki görünümü

Her katmanın ardından, ekstrüzyon nozülü yatay bir X-Y düzleminde hareket etmeye devam ederken, yapı platformu bir katmanın kalınlığı kadar aşağı indirilir. Nesne tamamlanıncaya kadar katman katman eklenerek işlem tekrarlanır. FDM süreci Şekil 2.21'de verilmiştir (Berman, 2012 akt. Gür, 2014).



Şekil 2.21 FDM metodu

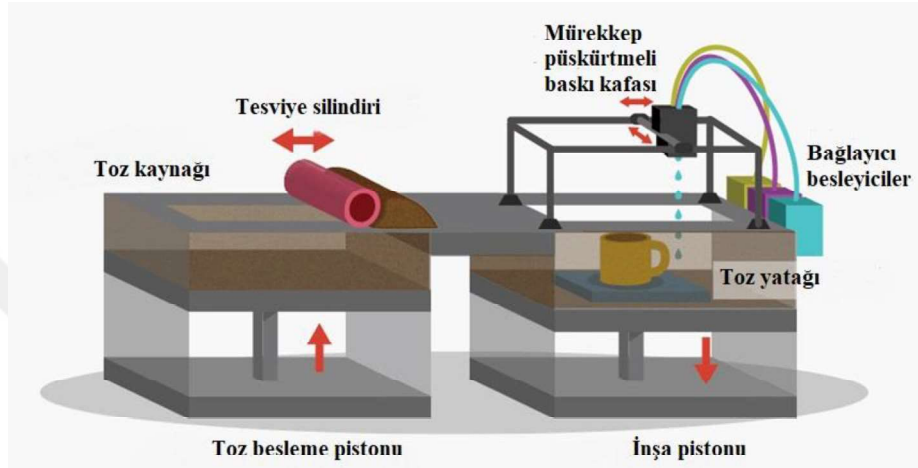
3D baskı sürecinde, yapı platformunda parçayı dik tutmak ve çıkıntıları, boşlukları ve köprüleri desteklemek için destek yapısı da üretilebilir. Parça tamamlandıktan sonra bu destek iskeleleri elle çıkarılabilir. Dilimleme bilgileri daha sonra 3D FDM yazıcının modeli yazdırmak için anlayabileceği “gcode” veya “x3g” dosya formatına aktarılır. Günümüzde kullanılan ekipman ve malzemenin ucuz olmasından dolayı en yaygın olarak kullanılan üretim tekniği FDM’dir. FDM teknolojisi otomotiv, havacılık, endüstriyel tasarım, elektronik, moda, gıda ve hatta tıp dünyasında olmak üzere çok çeşitli endüstrilerde kullanılmaktadır (Berman, 2012 akt. Gür, 2014; Öğülmüş, 2017).

3D yazıcılar için geliştirilen başka teknolojiler de vardır. Ancak bu teknolojiler bahsedilen üç teknoloji kadar yaygın değildir. Bunun sebebi kurulum maliyetlerinin ve satın alınma bedelinin yüksek olmasıdır. Bu teknolojilerden bazıları aşağıda özellikleriyle birlikte sıralanmıştır (Şahin ve Turan, 2018):

4-) Mürekkep Püskürtmeli (İnkjet) Yazıcılar: Püskürtme tekniğini kullanan iki tür 3D baskı işlemi vardır:

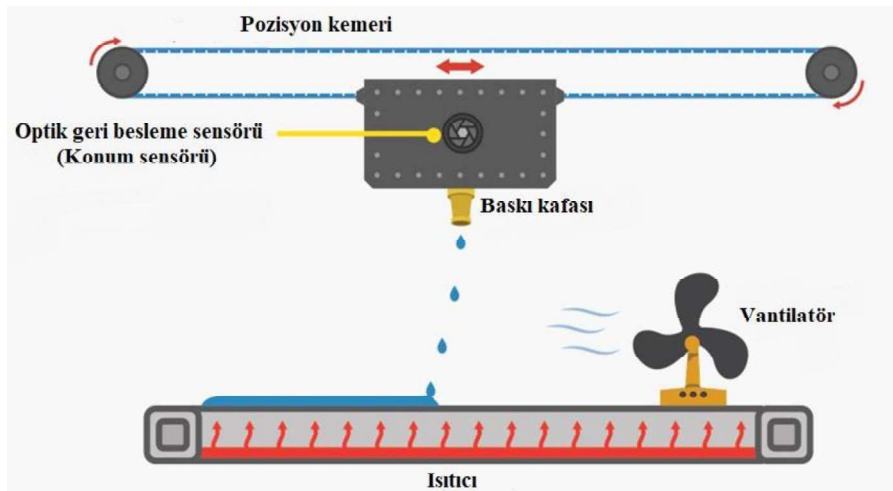
Bağlayıcı Jeti: Püskürtülen malzemenin bir bağlayıcı olduğu ve gerekli parçayı yazdırmak için her seferinde bir katmanı birleştirmek üzere seçici olarak parça

malzemesinin toz yatağına püskürtülür. Diğer toz yatağı sistemlerinde olduğu gibi, bir katman tamamlandıktan sonra, toz yatağı kademeli olarak düşer ve sonraki katman oluşturularak bir önceki katman ile birleştirilir (Şekil 2.22). Bu yöntemde destek yapılara ihtiyaç duyulmaz. Ayrıca, seramikler ve yiyecekler de dâhil olmak üzere bir dizi farklı malzeme kullanılabilir. Sürecin bir diğer ayırt edici avantajı, bağlayıcıya pek çok rengi kolayca ekleyebilme yeteneğidir (URL-9, 2020).



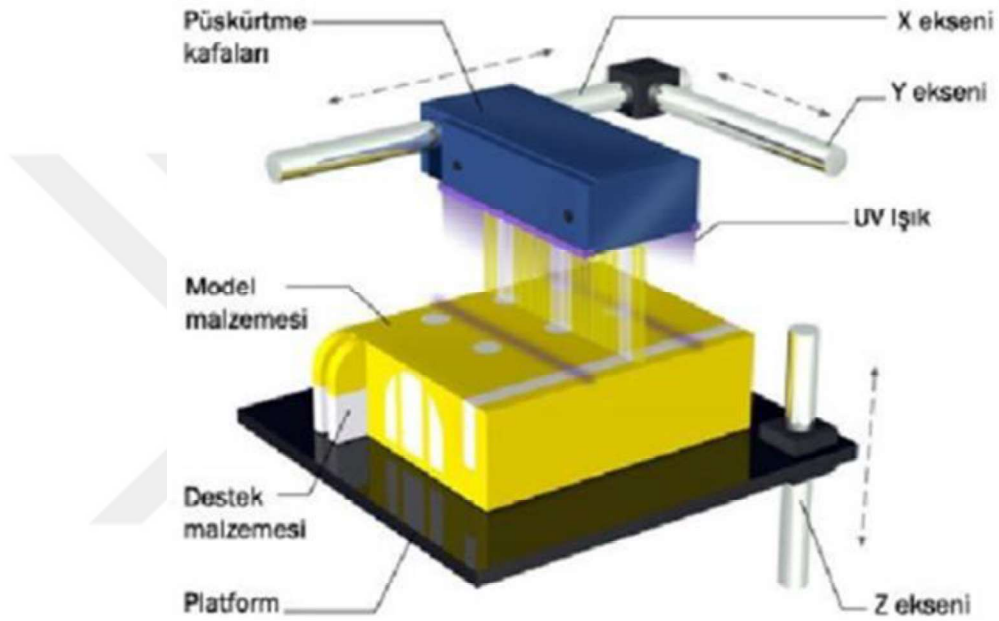
Şekil 2.22 Bağlayıcı jeti çalışma düzeneği

Malzeme jetleme: Gerçek yapı malzemelerinin (sıvı veya erimiş halde) seçici olarak birden fazla jet başlığı yoluyla katı haline getirildiği 3D baskı işlemidir. Bununla birlikte, malzemeler, her bir tabaka biriktirildikçe UV ışığı geçirilerek kürlenene sıvı fotopolimerler olma eğilimindedir (Şekil 2.23). Bu yöntem bir dizi malzemenin aynı anda birikmesine izin verir. Malzeme jeti, çok düzgün bir yüzeye sahip doğru parçalar üreten çok hassas bir 3D baskı yöntemidir (URL-9, 2020).



Şekil 2.23 Malzeme jeti çalışma düzeneği

5-) Polijet teknolojisi: Polijet teknolojisi, mürekkep püskürtmeli yazıcıların kullandığı yapıya benzetilebilir. Polijet teknolojisi karmaşık şekillerin üretimi konusunda oldukça başarılıdır ve malzeme çeşitliliği fazladır. Polijet teknolojisi ile üretilen ürünün çözünürlük oranı yüksek olduğu için ticari bir ürün gibi nitelendirilebilir. Polijet teknolojisinin kullanıldığı bir yazıcının çalışma düzeneği Şekil 2.24’te gösterildiği gibidir (Şahin ve Turan, 2018).

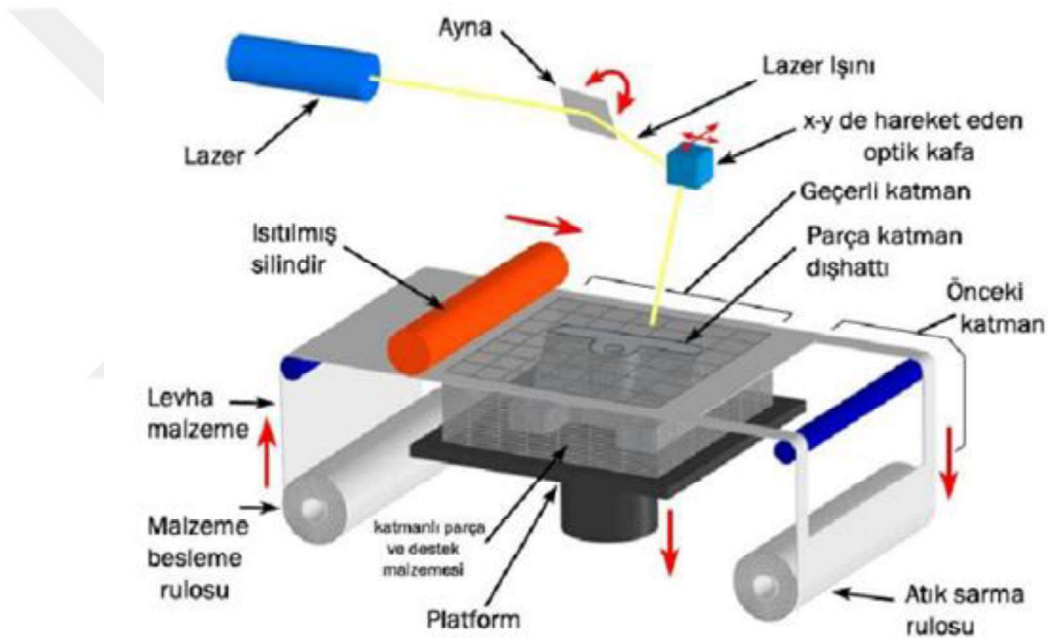


Şekil 2.24 Polijet çalışma düzeneği

Multijet Modelleme veya Polijet olarak adlandırılan işlemler, tam olarak şekillendirilmiş bir fotopolimer reçinesi katmanlarını ve normalde onu kısmen çevreleyen bir destek malzemesini çöktmek için mürekkep püskürtmeli yazıcılara benzer bir baskı kafası kullanır ve her katman, biriktirildikten hemen sonra UV ışınına maruz bırakılarak düzlemselleştirilir. Kesin katman kalınlığını korumak ve damlacık boyutunun küçük varyasyonlarını telafi etmek için mevcut makineler, baskı kafasının her geçişinde fazla malzemeyi kaldıran mekanik bir düzlemselleştirici kullanır. Bu makineler, sağlam reçine nesnelerini yüksek doğruluk ve çözünürlükle işleyebilir ve karmaşık lazerler ve ışın tarayıcıları gerektirmez. Malzemelerle ilgili bazı sınırlamalar, püskürtme işleminin (düşük) viskozite gereklilikleri ile ilgilidir; genellikle baskı kafası ve nozül ısıtılarak viskozite azaltılır. Bu ısıtma aynı zamanda yatırım döküm kalıpları

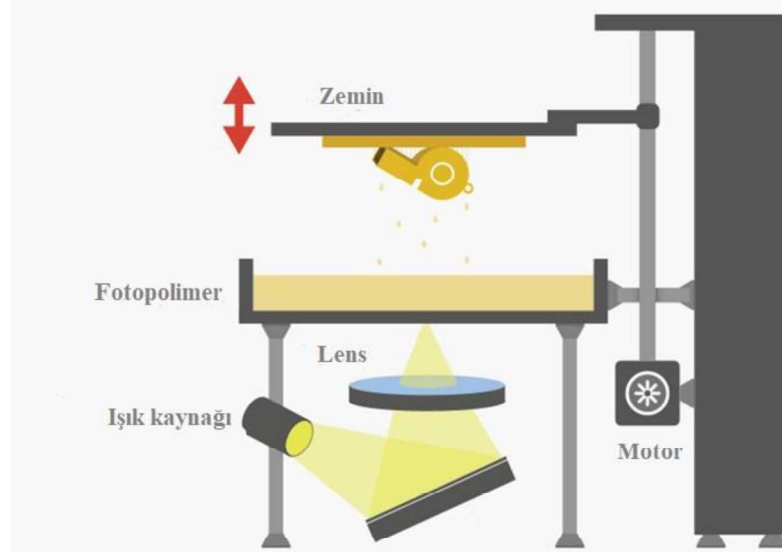
üretmek için balmumu malzemelerini işleyen makinelerde, mücevher ve diş restorasyon uygulamalarında özellikle gereklidir (Hofmann, 2014).

6-) Tabakalı yapıştırırmalı parça imalatı (LOM): LOM, hem çevre dostu bir teknolojidir hem de hızlı üretime imkân sağlar. Kaplamalı kağıt, plastik köpük ve seramik veya metal tozu emdirilmiş malzemelerin tümü bu yöntemde kullanılabilir (Şekil 2.25). Ayrıca üretimde geri dönüştürülmüş malzemelerin kullanılmasına da olanak tanır. Uygun tasarım ve özellikler seçilerek her boyutta yüksek hassasiyete sahip yapısal ve fonksiyonel modeller yapılabilir (Şahin ve Turan, 2018).



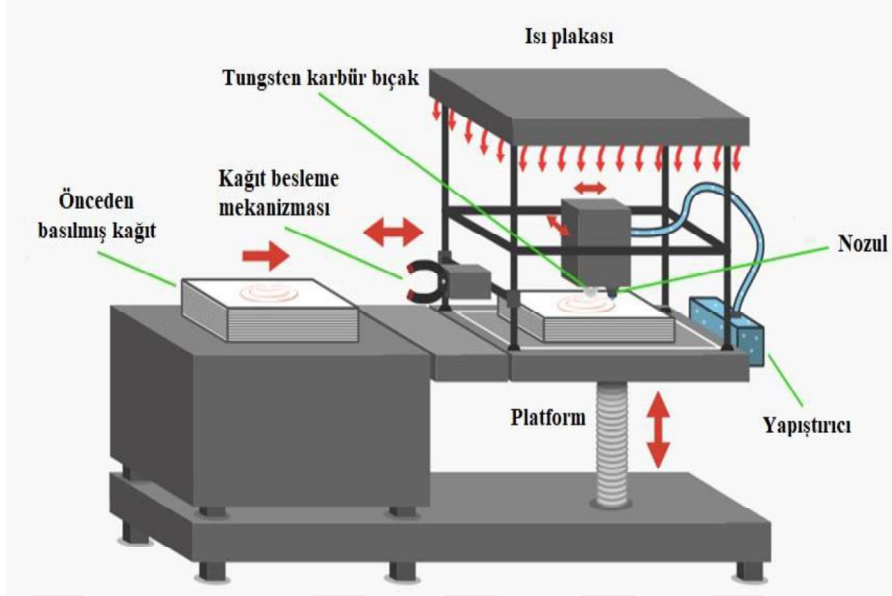
Şekil 2.25 LOM çalışma düzeneği

7-) Dijital ışık işleme (DLP): DLP fotopolimerler ile çalışan bir 3D baskı işlemi olduğu için stereolitografiye benzemektedir. Stereolitografiye ile arasındaki en büyük fark ise ışık kaynağıdır. DLP, bir fotopolimer reçine kazanının tüm yüzeyine genellikle tek geçişte uygulanan, sıvı kristal ekran paneli veya deforme edilebilir bir ayna cihazı (DMD) ile ark lambası gibi daha geleneksel bir ışık kaynağı kullanır. DLP'nin avantajlarından bir tanesi mükemmel çözünürlükle son derece hassas parçalar üretmesidir. DLP'nin bir başka avantajı ise, işlemin yalnızca sıvı bir reçine kabı kullanılarak düzene sokulabilmesidir, bu da daha az atık ve daha ucuz işletme giderleri ile sonuçlanır (Şekil 2.26) (URL-9, 2020).



Şekil 2.26 DLP çalışma düzeneği

8-) Seçici Birikim Laminasyonu (SDL): SDL, Mcor Technologies tarafından geliştirilen ve üretilen tescilli bir 3D baskı işlemidir. SDL 3D baskı işlemi, standart fotokopi kâğıdı kullanarak parçaları katman katman oluşturur. Her yeni katman, makineye verilen 3D verilere göre seçici olarak uygulanan bir yapıştırıcı kullanılarak önceki katmana sabitlenir. Bu, parça olacak alanda çok daha yüksek bir yapıştırıcı yoğunluğunun biriktiği ve çevreye destek olarak hizmet edecek ve nispeten kolay ayıklama veya destek çıkarmanın sağlanacağı çok daha düşük bir yapıştırıcı yoğunluğunun uygulandığı anlamına gelir. 3D yazıcıya kâğıt besleme mekanizmasından yeni bir kâğıt beslendikten ve önceki katmanda seçici olarak uygulanan yapıştırıcının üstüne yerleştirildikten sonra, yapı plakası bir ısı plakasına taşınır ve basınç uygulanır. Bu basınç, iki kâğıt yaprağı arasında pozitif bir bağ sağlar. Yapım plakası daha sonra, ayarlanabilen bir Tungsten karbür bıçağın bir kerede bir kâğıt kesip, yapı parçasının kenarlarını oluşturmak için nesne ana hattını izlediği yapı yüksekliğine geri döner. Bu kesme sırası tamamlandığında, 3D yazıcı bir sonraki yapışkan tabakaya geçer ve parça tamamlanıncaya kadar süreç devam eder. SDL, CMYK renk paleti kullanarak tam renkli 3D baskılı parçalar üretebilen çok az 3D baskı işleminden biridir. Parçalar, son işlem gerektirmeyen standart kâğıt olduğundan, tamamen güvenli ve çevre dostudur (Şekil 2.27) (URL-9, 2020).

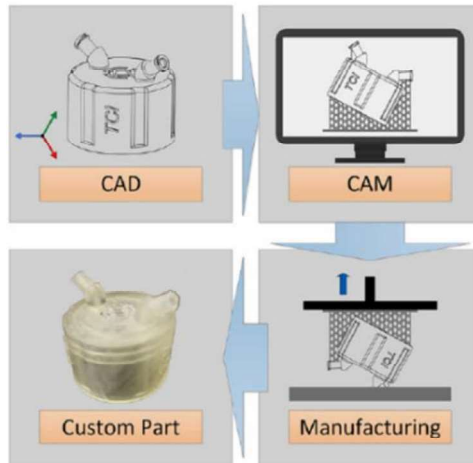


Şekil 2.27 SDL çalışma düzeneği

9-) Elektron Işın Eritme (EBM): Elektron Işın Eritme 3D baskı tekniği İsveçli Arcam firması tarafından geliştirilen tescilli bir süreçtir. Bu metal baskı yöntemi, metal tozundan parça oluşumunu sağlar. Isı kaynağı olarak elektron ışını kullanılır. EBM, çeşitli metal alaşımlarında, tıbbi sınıfta bile, tamamen yoğun parçalar oluşturma yeteneğine sahiptir ve bu teknik, özellikle implantlar için tıp endüstrisindeki bir dizi üretim uygulaması için özellikle başarılı olmuştur (URL-9, 2020).

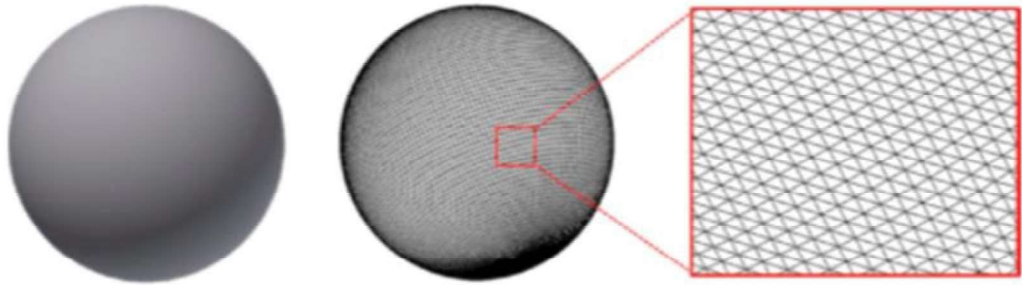
2.3.7 Üç Boyutlu Yazıcıların Baskı Süreci

Fikirden bitmiş ürüne kadar bir nesnenin oluşturulması Şekil 2.28’de yer alan üç aşamadan meydana gelir (Raddatz vd., 2018).



Şekil 2.28 Üretim sürecinin üç adımı

İlk aşama, 3D bilgisayar destekli bir tasarım modelin elde edilmesidir. Tasarımların yapılabileceği Tinkercad, Autodesk 123D, OpenSCAD, SketchUp, 3DTin, Blender, Smoothie-3D, FreeCAD, Sculptris, WeDesignLive, Meshmixer gibi çeşitli CAD programları mevcuttur. Bu programlar yardımıyla nesne önce planlanır, çizilir ve 3D katı oluşturulur. Bu aşamada internette yer alan hazır modeller de indirilerek kullanılabilir. Hazır modelleri bünyesinde bulunduran Thingiverse, My Mini Factory, GrabCAD, yeggi, Shapeways, TF3DM, Autodesk 123D, yobi3D, CGTrader, YouImagine, Sketchfab, pinshape, threeding, STLFinder, 3DExport, Cults3D, Repables, 3DShook, Libre3D, 3D Warehouse, The Forge, Trinpy, redpah, STLHive gibi siteler mevcuttur. Ya da kullanıcı 3D tarayıcılar ile herhangi bir kişi veya nesneyi tarayarak yazdırılmaya hazır model oluşturabilir. 3D tarayıcıların yanı sıra, Autodesk 123D Catch gibi bir mobil uygulama, bir akıllı telefonun kamerasını kullanarak 3D modeller oluşturmaya olanak tanır (Rayna ve Striukova, 2016; Karaduman, 2017; URL-6, 2020). Nesne oluşturulduktan sonra .stl dosya biçiminde kaydedilir. Bu biçim, bir standart olarak kabul edilir ve üretilecek nesnenin geometrik verilerini sağlar, yani 3D gövdenin yüzeyini ve hacmini tanımlar (Raddatz vd., 2018). Bir .STL dosyasının tanımlanmış yüzeyleri nasıl üçgenleştirdiğinin görsel bir örneği Şekil 2.29'da görülebilir (Gross vd., 2014).



Şekil 2.29 Bir .STL dosyasında bilgilerin grafik gösterimi

Şekil 2.29'da solda gösterilen nesne bir CAD programında oluşturulmuştur ve daha sonra .STL dosyası olarak kaydedilmiştir. Sağda gösterilen ise, aynı nesne için .STL dosyasında görüntülenen grafik bilgileridir, nesnenin yüzeyi üçgenlenmiştir. Üçgen köşelerin uzamsal koordinatları .STL dosyasında saklanır ve bu bilgiler üretim için yazıcıya iletilir (Gross vd., 2014).

İkinci aşamada .stl dosyası 3D yazıcı tarafından yorumlanabilecek bir biçime dönüştürülür. Bilgisayar destekli imalat (CAM) olarak bilinen dilimleme olarak da adlandırılan bu adımda nesne, basamakta çözünürlük ayarlarına bağlı olarak katmanlara ayrılır ve ‘‘G kodu’’ dosyası oluşturulur. Dilimleme sırasında baskı süresi ve malzeme tüketimi belirlenir. Ek olarak, bazen birçok ek üretim teknolojisi arasında büyük ölçüde farklılık gösteren parametreler tanımlanır. Örneğin, ekstrüder sıcaklığı eriyik tabakası işleminde belirleyicidir veya lazerin ayarları toz sinterleme ile ilgilidir. Skeinforge, Slic3r, KISSlicer, Cura ve MakerWare gibi en çok kullanılan birkaç farklı dilimleme programı vardır (Fonda, 2013; Çelik, 2015; Raddatz vd., 2018). Dilimleme programının aşamaları şu şekildedir (Fonda, 2013) :

- Dilimleme programı bir ana bilgisayarda başlatılır.
- Modelin STL dosyası yüklenir.
- Baskı platformunda düzgün bir şekilde konumlandırılana kadar model çevrilir, ölçeklendirilir, döndürülür.
- Doğru baskı için gereken tüm parametreler girilir.
- Dilimleme işlemi başlatılır ve tüm g kodu oluşturuluncaya kadar beklenilir.

Son aşamada oluşturulan G kodu, bir USB bağlantısı üzerinden yazıcıya gönderilir veya yazıcıya yüklenecek bir bellek kartının (genellikle SD veya microSD kart) içine kopyalanır. Bu arada, birçok 3D yazıcı LAN ve WLAN özelliğine de sahiptir. 3D yazıcıya aktarılan dosya yardımı ile ürün baskısı gerçekleştirilir (Fonda, 2013; Çelik, 2015; Raddatz vd., 2018).

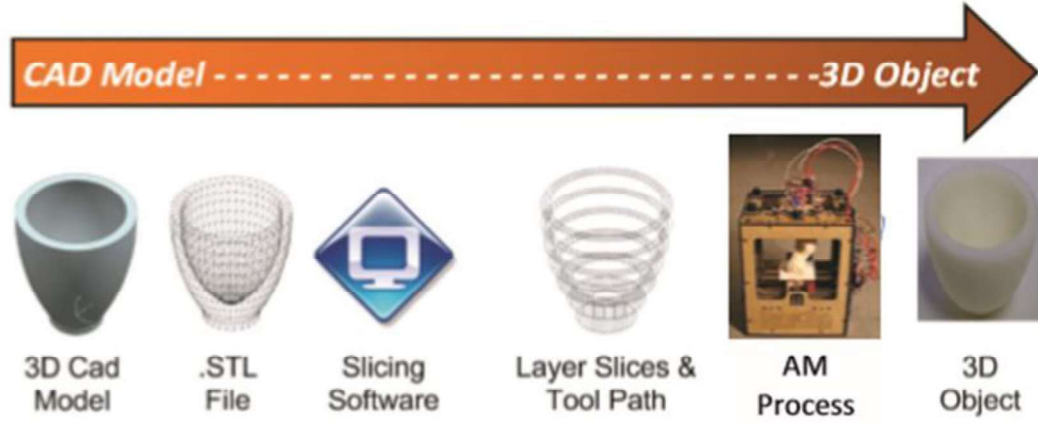
Başarılı sonuçlar elde etmek için dikkate alınması gereken 3D yazıcının seçimi, uygun kalibrasyonu ve kurulumu, plastik kaplamanın tipi ve kalitesi, baskı platformunu kaplayan yüzey tipi vb. noktalar vardır. G kodunu hazırladıktan sonra yazıcı açılarak ana bilgisayara bağlanmalı ve kalibrasyon prosedürü başlatılmalıdır (Fonda, 2013):

- Bağlantılar için doğru parametreler bulunmalıdır.

- Bağlantı kurulduktan sonra, her şeyin düzgün çalışıp çalışmadığını kontrol etmek için yazıcıya g-kodu komutları göndermeye başlanılabilir. İyi bir kalibrasyon prosedürü, tüm uç durdurma sensörleri, sıcaklık sensörleri ve adım motorlarının testini içermelidir.
- Tüm bu testler geçtikten sonra, baskı yatağının seviyelendirmesi yapılmalıdır. İdeal olan, mümkün olduğunca ve tüm yönlerde hareketli baskı kafasının eksenlerine mükemmel şekilde paralel bir platforma sahip olmaktır. Bu hedefe ulaşmak için, kullanıcı kafasını her yöne doğru hareket ettirmeli, dikey konumunu platformun biriyle karşılaştırmalı ve bazı vidalar vasıtasıyla ikincisinin seviyesini düzelterek dört köşesi yükseltilmeli veya alçaltılmalıdır.
- Tesviye işleminden sonra, platform dikkatlice temizlenmeli ve uygun yüzeyle kaplanmalıdır: bir veya daha fazla mavi bant (PLA için) veya Kapton bant (ABS için) veya diğer plastik türleri için gerekli olan uygun malzeme ile yapılabilir.
- Bir sonraki adım, malzemenin yüklenmesini gerektirir: bu, baskı kafasının (yani nozulun) ısıtılmasını ve ekstrüder dişlisinin elle veya ekstrüder adım motorunun aktivasyonu ile hareketini gerektirir.
- Bu adımda yazdırmak istediğimiz nesnenin g kodunu USB bağlantısı yoluyla yazıcıya göndermemiz veya dosyayı bir SD (veya microSD) kartına kaydedip yazıcıya yüklememiz gerekir.
- Son olarak, baskıyı başlatabiliriz.

Yazıcı bir nesneyi yazdırmayı bitirdikten sonra, tüm parçaların soğuması için birkaç dakika beklenmelidir. Baskı işlemi tamamlandıktan sonra destek noktalarının çıkarılması, boyama ve zımparalama işlemleri yapılarak pürüzsüz bir yüzey elde edilir (Fonda, 2013; Kietzmann vd., 2015; Karaduman, 2017).

3D baskı sürecinin geliştirilmiş hali Şekil 2.30'da verilmiştir (Campbell vd., 2011).



Şekil 2.30 Genelleştirilmiş katkı üretim süreci

2.3.8 Üç Boyutlu Baskı Teknolojisinin Avantajları

3D baskı teknolojinin avantajları şu şekilde sıralanabilir (Martens ve Klauss, 2013; Canessa vd., 2013; Oktay, 2015; Polat, 2016; Gökçearsan, 2017; Güneş, 2017; Sönmez vd., 2018; Şahin ve Turan, 2018; Kökhan ve Özcan, 2018, Jones vd., 2021):

- Bilgisayar ortamında çizilen çeşitli ürünlerin modelleri, 3D yazıcılar kullanılarak somut nesnelere dönüştürülebilir ve incelenebilir.
- Karmaşık küçük 3D nesnelerin oluşturulması bir saatten az sürebilir ve güçlü, kırılması zor, çok hafif ve makul derecede ucuz nesneler elde edilebilir.
- 3D yazıcılar kişiye özel üretim yapılabilmesine imkân tanır.
- Fikirlerin uygulanması ve denenmesi için gerekli olan parça ve ürün ihtiyaçları; hızlı, ucuz ve kaliteli bir şekilde 3D modelleme teknolojisi ile elde edilebilmektedir. 3D yazıcılar ile bir ürünün prototipinin çıktısı alınabilir. Bir ürünün piyasaya çıkmadan son hali görülebilir, prototip çıktı üzerinden var olan hata ve eksiklikler belirlenebilir, ürün geliştirilebilir. Böylece zaman ve ekonomide tasarruf sağlanır.
- 3D yazıcılarda kullanılan filamentler hem kolay temin edilebilir hem de uygun fiyattadır. Genel olarak 3D yazıcılarda mısır nişastasından üretilmiş PLA adındaki

bioplastik kullanılır. Bu nedenle sağığı olumsuz etkilemez. Erime işlemleri sırasında çevreye zehirli gazlar yayılmaz. Ayrıca doğada çözülebilme özellikleri vardır.

- 3D baskının maliyeti geleneksel yöntemlerle karşılaştırıldığında oldukça düşüktür. Geleneksel yöntemler makine, ekipman ve vasıflı işgücü kullanımını zorunlu kılmaktadır. 3D baskı teknolojisinde ise bu sorun ortadan kalkar ve daha ucuz sarf malzemeler kullanılır.
- Geleneksel üretim sürecinde kullanılan frezeleme, tornalama vb. birçok işi ortadan kaldırır.
- Özelleştirilmiş az sayıdaki ürünün çok daha ekonomik olarak üretilmesini sağlar.
- 3D yazıcılar geleneksel üretim yöntemlerine göre daha az atık üretir. 3D baskı sonucu oluşan hurda parça sayısı azdır, malzemeden minimum fire verilir ve hurda parçaların geri dönüşümü kolaydır.
- 3D yazıcılar ile değersiz plastik atıklar birkaç adımda değerli ve özelleştirilmiş ürünlere dönüştürülebilir.
- 3D baskı ile neredeyse %100 otomatik üretim gerçekleştirilebilir. Üretim başladıktan sonra herhangi bir müdahaleye ihtiyaç duyulmaz.
- 3D baskı yatırım ve üretim açısından verimlidir. İlk yatırımın maliyeti ucuzdur. 3D baskı ile ürün fiyatı, üretimden önce hesaplanabilir.
- 3D yazıcılar tasarımlarda esnekliğe izin verir, tasarım özgürlüğü sağlar.
- Tasarımların dijital veriler şeklinde olması nedeniyle 3D tasarımların paylaşılması kolaydır.
- 3D baskı dosyaları ülkeler arasında kolaylıkla gönderilebilir ve ortaya çıkan modeller birçok kez yeniden kullanılabilir. Bu, dağıtımı kolaylaştırır ve nakliye maliyetlerini azaltır.

2.3.9 Üç Boyutlu Baskı Teknolojisinin Dezavantajları

3D baskı teknolojinin dezavantajları şu şekilde sıralanabilir (Çalışkan, 2015; Özgüven, 2015; Uygan, 2016; Gökçearsan, 2017; Sönmez vd., 2018; Şahin ve Turan, 2018):

- Yüzey pürüzlülüğü, en profesyonel modellerden en acemi modellere kadar tüm 3D yazıcılarda görülen bir sorundur. Yakından bakıldığında katmanlar oldukça küçük olsa bile yüzey pürüzlülüğü görülebilir.
- Malzeme çeşitliliği geleneksel üretim yöntemlerine kıyasla oldukça azdır.
- 3D yazıcılarda hassasiyet, döküm ve talaşlı imalata göre oldukça büyük bir problemdir.
- Üretilen nesnelerin sıcaklık, nem ve kırılma dayanımı azdır.
- 3D yazıcılarda yazdırılacak ürün boyutu büyüdükçe maliyet katlanarak artmaktadır.
- 3D yazıcılar seri üretime göre yavaştır ve seri üretim maliyeti yüksektir.
- 3D yazıcılar ile bazı karmaşık yapıların üretiminde zorluklar yaşanmaktadır 3D yazıcıların olumsuz yönlerinden biri de dijital üretimin hızından ve kolay ulaşılabilirliğinden kaynaklı ortaya çıkabilecek olan niteliksiz ürünlerdir.
- 3D yazıcılar telif haklarıyla ilgili olumsuzluklara neden olabilirler. Hazırlanan özgün modeller izinsiz olarak internet ortamında yayılabilir ve kopyalanabilir.
- 3D yazıcı ile tasarlanıp basılabilen silah vb. nesnelerin tasarım dosyalarının internette paylaşılması veya güvenlik güçlerinin kullandığı kelepçelere ait yüksek güvenli anahtarların kopyalanması vb. durumlar güvenlik tehdidi oluşturabilir.

- 3D nesnelerin bu teknolojiler yardımıyla dijital ya da fiziksel olarak tekrar üretilbilir olması kopyalama, çoğaltma, fikri mülkiyet bağlamlarında hukuki sorunlara yol açabilir.
- 3D yazıcılar ile hammaddeyi kendisi sağlayan kişisel kullanıcı, ürünü evinde üretebilmekte ve üretilen ürünlerin kalite, sağlamlık ve güvenilirlik açısından ne düzeyde olacağı bir soru işareti oluşturmaktadır. Üretilen ürünler bir güvenlik standardından geçmediği için ürünlerin kullanımından dolayı kazalar, yaralanmalar ya da sakatlıklar oluşabilir veya insan sağlığını tehdit eden ürünler ortaya çıkabilir.
- 3D yazıcıda basılabilen doku ve organların, gelecekte bu yöntemle yaygın olarak üretileceği ve bunun da etik sorunlara neden olabileceği düşünülmektedir.
- 3D yazıcılar ile dijital olarak üretilebilecek olan virüslerin de insan sağlığını ciddi şekilde tehdit edebileceği düşünülmektedir.

2.3.10 Üç Boyutlu Yazıcıların Kullanım Alanları

3D baskı teknolojisi, heyecan verici ve her yaşta insanın ilgisini çekebilen büyüleyici yeni bir teknolojidir (Snyder vd., 2014). Gelişmekte olan bir teknoloji olarak 3D baskı, dünya çapında hızlı bir prototipleme ve küçük ölçekli üretim teknolojisi olarak büyük ilgi görmektedir. Hemen hemen her alanda kullanılmaya başlanılan 3D teknolojisi üçüncü sanayi devrimi olarak nitelendirilmektedir. 3D baskı pek çok alanda yaratıcı ve yenilikçi bir platform sağlar (Bharti ve Singh, 2017). 3D yazıcıların yaygınlaşması; askeri mühimmat, elektronik devreler, oyuncaklar, otomotiv, mücevherat, gıda, sağlık sektörü, eğitim sektörü ve akla gelebilecek her türlü sektörü ve gelecekte tüm hayatımızı derinden etkileyecektir (Çalışkan, 2015).

Düşük maliyetli masaüstü sürümleri, 3D baskı teknolojisini hem ev hem de ofiste günlük işler için yaygın olarak kullanılabilir hale getirmiştir (Bharti ve Singh, 2017). Uzay ve havacılık, heykeltiricilik, otomotiv, askeri donanım, mimari, kişisel araç gereç, dişçilik, kuyumculuk, kalıpcılık, yiyecek sektörü, elektronik, tıp bilimi ve eğitim dâhil olmak üzere çeşitli sektörlerde 3D yazıcılar kullanılmaktadır (Kim vd., 2015; Sönmez

vd., 2018). 3D yazıcılarla üretilen nesne yelpazesi çok geniştir ve sürekli artmaktadır. Prototipler, parçalar, kalıplar, aletler, organlar, protezler, oyuncaklar, gıda maddeleri, müzik aletleri, mobilya, kıyafetler 3D yazıcılarla üretilen nesnelerden bazılarıdır (Rayna ve Striukova, 2016).

Günümüzde pek çok alanda 3D baskı teknolojisinden yararlanılmaktadır. Bu teknoloji ile; sinema ve animasyon sektöründe karakterler oluşturulabilmekte, görme engelli insanlar için dokunulabilir haritalar üretilabilmekte, tasarımcılar ayakkabılar ve kıyafetler üretebilmekte, mimari türü evler inşa edilebilmektedir. Mühendislik alanında çeşitli yazılımlarla yeni makineler, robotlar ve diğer prototiplerin modelleri, otomotiv ve havacılık mühendisliğinde otomobil ve uçak prototipleri, 3D yazıcıların kendi yedek parçaları da dâhil olmak üzere ürün yedek parçaları 3D baskı teknolojisi ile hazırlanabilmektedir. Bir mimar bir binanın tasarımını 3D olarak yazdırabilir, biyomedikal ve sağlık bilimlerinde 3D baskı ile kemik baskısı, dokuların baskısı, diş implantları, biyonik kulaklar vb. elde edilebilir. 3D teknoloji sayesinde; tarihi eserlerin kopyaları orijinaline zarar verme endişesi olmadan araştırılabilir, çivi yazısı tabletleri ve madeni paralar gibi büyük tarihsel değere sahip diğer nesneler çoğaltılabilir, biyoloji ve tıp öğrencileri kemik yapılarını dokunarak öğrenebilir, kimya alanında 3D baskılı moleküler modeller bir kimyasal molekülün 3D yapısının incelenmesinde etkili bir şekilde kullanılabilir. 3D yazıcılar, sanayi devrimini tersine çevirebilecek güçlü ve yeni bir devrim olma potansiyeline sahiptir. Sanayi devriminin seri üretim, fabrikalaşma ve üretim hattı süreçlerini tersine çevirecek olan 3D yazıcılar, sanayi devrimi öncesinde olduğu gibi önümüzdeki yıllarda da ev üretimine dönüşe neden olacaktır. Örneğin evde kırılan bir eşyanın parçası 3D yazıcı ile üretililecek ya da ebeveynler çocuklarının istediği oyuncakı yazıcıdan basarak tedarik edebileceklerdir (Canessa vd., 2013; Balcıoğlu, 2014; Kostakis vd., 2015; Çalışkan, 2015; Deksi, 2016; Polat, 2016; Gökçearslan, 2017; Bharti ve Singh, 2017; Şahin ve Turan, 2018).

3D yazıcılar otomobil ve ev inşa etmek için kullanılabilir (Trust ve Maloy, 2017). Meksika'da, Dünya'da şimdiye kadar görülen en büyük 3D yazdırılmış mahallenin kurulması planlanmaktadır. İki ev şimdiden üretilmiş durumdadır. Evlerin yazılmaları yaklaşık 24 saat sürmüştür ve aynı anda iki ev üretilmektedir (Öztürk, 2019). Yine SQ4D isimli bir şirket, 175 metrekairelik evin inşasını 3D baskı sistemi

sayesinde 48 saatte bitirmeyi başarmıştır (Avcıoğlu, 2020). Dubai Future Foundation (DFF) tarafından Dubai’de 2016 yılında 3D yazıcı ile inşa edilen ilk ofis binası, Guinness Rekorlar Kitabı'na girmiştir (Baki, 2020b). Çek Cumhuriyeti’nde ise 3D baskı teknolojisi kullanılarak kırk sekiz saat içinde inşa edilen ev aynı zamanda da yüzebilmektedir (Karakoç, 2020).

3D baskı teknolojisi tıp ve medikal alanında da büyük bir öneme sahiptir. Anti-bakteriyel özelliklere sahip 3D baskılı nesneler, hastanelerde kullanılan medikal ekipmanlardan kaynaklı enfeksiyonların yayılmalarını engelleyebilir ve bu sayede de binlerce kişinin hayatını kurtarabilir. 3D baskı sürecine gümüş tabanlı bir anti-bakteriyel bileşen ekleyen Sheffield Üniversitesi araştırmacıları, bu tür ürünleri üretmeyi başarmışlardır. Araştırmacılar, anti-bakteriyel bileşenin çocuk oyuncakları, kapı kolları veya cep telefonu kılıfları gibi pek çok farklı 3D baskı ürüne uygulanabileceğini belirtmektedirler (Öztürk, 2020). 2013 yılında 3D yazıcılar hayvanlara yardım amacıyla da kullanılmıştır. Örneğin ayağı olmayan bir ördeğe takma ayak yapılmış ve ördek tekrar yürümeye başlamıştır (Balcıoğlu, 2014). 3D yazıcı sahibi şirketler, mühendisler, tasarımcılar ve yazılım geliştiriciler, Çin’in Wuhan kentinde başlayan ve hızla dünyaya yayılan Covid-19 salgınıyla mücadele etmek için 3 Boyut Destek isimli kolektif üretim hareketi oluşturmuşlar ve sağlık çalışanları için ücretsiz koruyucu yüz siperleri üretmişlerdir (URL-1, 2020). Covid-19 salgın hastalığı sürecinde, Türkiye’de sayılarının 600’e vardığı kaydedilen gönüllüler, Koronavirüs nedeniyle doktorların ihtiyacı olan maskeleri 3D yazıcı ile basmaya başlamışlardır (Nebil, 2020). Günümüzde tıbbi uygulamalar da dâhil olmak üzere 3D baskı teknolojisi ile birçok alanda başarılı sonuçlar elde edilmektedir. Örneğin Newcastle Üniversitesi’nden araştırmacılar, 3D yazıcı ile dünyanın ilk gerçek insan kornealarını oluşturmayı başarmışlardır (Baki, 2020a).

Gıda sektöründe de 3D baskı teknolojisinin etkileri görülmeye başlanmıştır. Pilav, bezelye ve deniz yosunu gibi bitkisel malzemelerden yapılmış bir macun kullanılarak yapılan 3D baskılı biftek üretilmiştir (URL-13). Redefine Meat isimli bir şirket aldığı yardımlarla 70’ten fazla tat parametresini (etin dokusu, yağ dağılımı, ağızdaki hissi vb.) dijital olarak haritalandırmış ve bunu 3D baskı yöntemiyle üretilen ete işlemiştir (Kılınç, 2020).

2.3.11 Üç Boyutlu Tasarım Uygulamalarının ve Üç Boyutlu Baskı Teknolojisinin Eğitimde Kullanımı

Eğitim başlığı 3D tasarım ve baskı uygulamaları için stratejik bir öneme sahiptir. 3D yazıcıların fiyatlarının düşmesi, tasarım programlarının gelişmesi, materyal ve model çeşitliliğinin artması eğitim sektöründe de bu tür uygulamaların kullanımını arttırmıştır. Bu teknolojinin eğitim ortamında etkin bir şekilde uygulanması sonucunda çok çeşitli konularda farklı deneyimlere sahip olmak mümkündür. Okullarda, üniversitelerde, kütüphanelerde ve özel eğitim ortamlarında 3D tasarım uygulamalarını yaygınlaştırmak; öğrencilere ve eğitimcilere 3D tasarım ve baskı uygulamaları hakkında bilgi vermek, eğitim-öğretimi destekleyici uygulamalar olarak değerlendirmek, öğrenmeye yardımcı olan materyaller ve modeller üretmek vb. hususlar eğitim-öğretim alanında gün geçtikçe daha da önem kazanmaktadır.

Ford ve Minshall (2019) tarafından yapılan bir çalışmada alanyazında yer alan çalışmalardan hareketle, 3D tasarım uygulamalarının ve baskı teknolojisinin eğitim sisteminde nerede ve nasıl kullanıldığı incelenmiştir. Alanyazında yer alan çalışmalar incelendiğinde bu uygulamaların ve teknolojinin eğitimde dört ana pedagojik ortamda kullanıldığı görülmektedir. Bunlar; okullar, üniversiteler, kütüphaneler ve özel öğretim ortamlarıdır. Bu tür uygulamaların eğitimde nasıl kullanıldığı incelendiğinde ise bu teknolojinin eğitimde kullanılabilmesi için altı ana yol olduğu görülmüştür: (1) öğrencilere 3D tasarım ve baskı teknolojisi hakkında bilgi vermek, (2) eğitimcilere 3D tasarım ve baskı teknolojisi hakkında bilgi vermek, (3) bir destek teknolojisi olarak öğretim sırasında, (4) öğrenmeye yardımcı olan eserler üretmek, (5) yardımcı teknolojiler yaratmak ve (6) sosyal yardım faaliyetlerini desteklemek. Chery vd. (2015) tarafından eğitim sisteminde 3D tasarım ve baskı teknolojisi uygulamalarına yönelik yapılan mevcut araştırmaların incelendiği bir çalışmada sunulan ve eğitim sisteminde “3D tasarım ve baskı teknolojisi uygulamaları nerede ve nasıl kullanılıyor?” sorularının cevapları Tablo 2.1’de özetlenmiştir.

Tablo 2-1 3D tasarım uygulamalarının ve 3D baskı teknolojinin farklı eğitim ortamlarında nasıl kullanıldığına dair genel bakış

Eğitim sisteminde 3D tasarım ve baskı teknolojisi nerede kullanılıyor?					
		Okullar	Üniversiteler	Kütüphaneler	Özel Eğitim Ortamları
Eğitim sisteminde 3D tasarım ve baskı teknolojisi nasıl kullanılıyor?	Öğrencilere 3D tasarım ve baskı teknolojisini öğretmek	Sınıfta tasarım ve prototip oluşturma projeleri sırasında öğrencilere 3D baskı teknolojisi ve 3D modelleme tanıtılır.	3D tasarım ve baskı teknolojisi ve 3D modellemenin temelleri, becerilerini sınıf içi projeler sırasında uygulayan mühendislik ve tasarım öğrencilerine tanıtılır.	3D tasarım ve baskı teknolojisi ekipman ve hizmetlerine erişimin iyileştirilmesi öğrencilerin sınıf dışında kendi kendine öğrenmesini sağlar.	-
	Eğitimcilere 3D tasarım ve baskı teknolojisi ile ilgili eğitim vermek	Hizmet içi eğitimlerle öğretmenlere 3D tasarım ve baskı teknolojisi ve 3D modelleme tanıtılabilir.	Hizmet içi eğitimlerle öğretmenlere 3D tasarım ve baskı teknolojisi ve 3D modelleme tanıtılabilir.	Kütüphane Görevlilerine 3D tasarım ve baskı teknolojisi eğitimi verilerek 3D baskı ekipmanlarını çalıştırabilir, bakımını yapabilir ve 3D modelleme sorunlarını giderebilir hale getirilebilirler.	-
	Öğretim sırasında 3D tasarım ve baskı teknolojisini kullanmak	Öğrencilerin STEM konularını anlamasını ve STEM etkinliklerine katılımlarını artırmak için sınıf projeleri sırasında 3D tasarım ve baskı teknolojisi kullanılabilir.	Öğrencilerin STEM konularını anlamasını ve STEM uygulamalarına katılımlarını artırmak için sınıf projeleri sırasında 3D tasarım ve baskı teknolojisi kullanılabilir.	-	Özel uyarlanabilir cihazlar ve eğitim yardımcılarını oluşturmak için 3D tasarım ve baskı teknolojileri kullanılabilir.
	Öğrenmeye yardımcı olan materyaller üretmek için 3D tasarım ve baskı teknolojisini kullanmak	-	3D tasarım ve baskı modelleri, özellikle anatomi ve kimya öğretiminde derslerde ve laboratuvar oturumlarında uygulamalı öğrenmeyi mümkün kılar.	-	-
	Yardımcı teknolojiler oluşturmak için 3D tasarım ve baskı teknolojisini kullanmak	-	-	-	Özellikle görme engelli olan öğrenciler için öğrenme fırsatlarını genişletir.
	Sosyal yardım faaliyetlerini desteklemek için 3D tasarım ve baskı teknolojisini kullanmak	Üniversite sosyal yardım programları sırasında 3D tasarım ve baskı teknolojisi kullanımı, öğrencilerin STEM konularına olan ilgisini artırır.	-	-	-

3D tasarım uygulamalarının ve baskının artan kullanılabilirliği ve bir öğrenme kolaylaştırıcısı olarak kullanılması aktif öğrenme için devrim niteliğinde ve güçlü bir kaynak oluşturur. Okullarda kullanılan bu tür teknolojiler, ilköğretimden üniversiteye kadar her öğrenim düzeyinde öğrencilerin hayal gücünü artıran ve öğrencilere yeni öğrenme fırsatları sunan bir teknolojidir. Mimarlık eğitimi, STEM eğitimi, robotik eğitimi, özel eğitim, sanat eğitimi, coğrafya eğitimi, kimya eğitimi, biyoloji eğitimi, tarih eğitimi, jeoloji eğitimi, matematik eğitimi, tıp eğitimi, bilim ve mühendislik eğitimi gibi alanların tümü 3D tasarım ve yazıcı teknolojisini kullanmaktadır. 1950'lerde matematik, fizik gibi dersler genellikle tepegöz ve slaytlar üzerinden anlatılırken, 1970'lerin ortalarında yeni teknolojilerin tanıtılmasıyla birlikte yeni bir öğrenme çerçevesi geliştirilmiştir. Günümüze kadar gelişerek devam eden bilgisayar, projeksiyon vb. teknolojilerin yanına yeni bir teknoloji olan 3D yazıcılar da eklenmiştir. Günümüzde özellikle Avrupa'daki birçok okul 3D tasarım ve baskı projeleri geliştirmekte ve bu projeler öğrencilerin ders motivasyonunu arttırmaktadır. Öğretmenler öğrencileriyle beraber tasarımlar yapabilir ve bu tasarımları 3D olarak yazdırabilirler. Bu süreç öğrencilerin öğrenme sürecini ve becerilerini geliştirir (Eisenberg, 2013; Fernandes ve Simoes, 2016; Karaduman, 2017; Kökhan ve Özcan, 2018; Ford ve Minshall, 2019).

Biyoloji dersinde öğrenciler 3D tasarım uygulamalarını kullanarak bir hücrenin yapısını 3D yazıcıyla basabilir, organ veya kemik gibi yapıları birebir kopyalayarak üretebilir ve bunlar üzerinde detaylı incelemeler ve deneyler yapabilirler. Ayrıca hücre zarındaki sodyum potasyum pompasının çalışma prensibini göstermek için görseller basılarak hücrenin yaşayabilmesi için gerekli olan bu pompanın anlaşılması daha kolay hale getirilebilir. Kimya dersinde öğrenciler moleküler modelleme kitleri, orbital şekilleri, periyodik tablo, laboratuvar ekipmanları, radyoaktif element modelleri vb. pek çok modeli 3D tasarlayabilir ve 3D yazıcı ile üretebilir ve karmaşık konuları kolayca anlayabilirler. Bu teknolojisi ile dişli, çark gibi sadece defter üzerinde çalışılan konuların gerçeğe dönüştürülmesi mümkündür. Projeleri daha anlaşılır hale getiren baskılar ve deney materyalleri 3D baskıyla kolaylıkla elde edilebilir. Öğrenciler tarih dersinde eski dönemlere ait tasarladıkları kalıntıların 3D modellerini 3D yazıcılarda kolaylıkla üretebilirler. Coğrafya dersinde rölyeflerin, sanat eğitiminde sanatsal nesnelerin tasarlanması ve yazdırılması 3D yazıcılarla gerçekleştirilebilir. 3D

uygulamalar ile geometrik şekiller, fonksiyonlar, alan-hacim hesapları ve kartezyen sistemin uzayda gösterimi gibi zor konular basitleşmektedir. Mühendislik ve tasarım öğrencileri de projelerinin prototiplerini veya parçalarını, mimarlık öğrencileri mimari projelerinin 3D modellerini kısa sürede kolayca üretebilirler. Grafik tasarım öğrencileri, fikirlerini hayata geçirmek için çalışmalarının 3D modellerini yapabilirler. Öğrenciler, projeleri ve ilgi alanları ile bağlantılı yedek parçalar veya yeni mekanik parçalar oluşturabilirler. Mühendislik ve teknoloji sınıflarında laboratuvar ekipmanlarının tasarlanmasında, robotik sınıflarında robotik parçaların üretilmesinde bu uygulamalardan yararlanılabilir. Müzik derslerinde basit enstrümanlar bu teknoloji ile üretilir. Bilimsel çalışmalarda 3D tasarım programında bir parça tasarlandıktan sonra, tutarlı bir deney düzeneği sağlamak için herhangi bir sayıda kopya yapılabilir. Böylece bir çalışma yayımlandıktan sonra, hem model tasarımı hem de yazdırma parametreleri serbestçe kullanılabilir hale getirilerek herkesin aynı ekipmanı kullanarak işi yeniden üretmesine olanak tanınır ve bilimsel çalışmalar tekrarlanabilirlik özelliği kazanır (Lütolf, 2013; Tyson vd., 2015; Muise vd., 2018; Kökhan ve Özcan, 2018; URL-7, 2020).

Üsküdar SEV Maker Kulübü öğrencileri NASA'dan esinlenerek örnek bir projeye imza atmışlardır. Öğrenciler 3D yazıcı ile akıllı tahtalar için ürettikleri kalemlemlerle, hem okulda kalem tasarrufu sağlamışlar, hem de çevre dostu bir kalem üretmişlerdir (URL-2, 2017). Kastamonu Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesi 3'üncü sınıf öğrencisi iki arkadaş, robot yapabilmek için 3D yazıcı üretmişlerdir (URL-3). Gebze Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesinde öğrenim gören üç öğrenci ise harçlıklarından artırdıkları parayla 3D yazıcı geliştirmişlerdir (URL-4, 2017).

3D tasarım uygulamalarının ve baskı teknolojisinin derslerde öğretilmesi ve uygulanması eğitim-öğretim süreçlerine birçok açıdan önemli katkılar yapmaktadır. Bu katkılar şu şekilde özetlenebilir (Szulzyk-Cieplak vd., 2014; Buehler vd., 2014; Chery vd., 2015; Verner ve Merksamer, 2015; Soldatov, 2015; Demir Kuzu vd., 2016; Karaduman, 2017; Kökhan ve Özcan, 2018; URL-7, 2020; Jones vd., 2021):

- Öğrencileri bilimsel ve teknik yaratıcılık konusunda teşvik eder.

- Öğrencilerde, 3D tasarım, modelleme ve görselleştirme beceri ve yeteneklerinin geliştirilmesine katkı yapar.
- Fen bilimlerinden, matematik ve tarihe kadar farklı alanlarda, öğretim materyalleri üretmemize ve konuların materyal destekli, etkili ve verimli bir şekilde öğretilmesine imkân sağlar.
- Öğrencilerin fikirlerini gerçeğe aktarmalarına imkân sağlar.
- Keşfetmeye ve yeni tasarımlar ortaya çıkarmaya yönelik öğrencilerin düşünme yeteneğini geliştirir.
- Yeni nesil teknolojik ürünlere karşı öğrencilerde bir merak uyanmasını sağlar ve meslek seçimlerine olumlu manada etki eder.
- Pek çok duyu organına hitap ettiği için somut ve kalıcı öğrenmelerin gerçekleştirilmesini sağlar.
- Öğrencilerin problem çözme, eleştirel düşünme, yaratıcılık ve bilgisayar okuryazarlığı becerilerini geliştirmelerini sağlar.
- Çeşitli disiplinler arası çalışmaları desteklenmesine imkân tanır.
- Özellikle fen dersleri ile STEM eğitimi arasında bağlantının kurulabilmesini sağlar.
- Öğrencinin kendini öğrenmenin merkezine almasına fırsat tanır.
- Öğrencilere, geleceğe yönelik olarak kariyerlerine hazırlanma ve kendilerine değerli beceriler kazandırabilme olanağı sağlar.
- Öğrencinin merakı ve ilgisini arttırarak dersleri daha eğlenceli hale getirir.

- Öğrenme-öğretme sürecinde kullanılan materyallerin daha ekonomik ve hızlı bir biçimde elde edilmesine katkı sağlar.
- 3D yazıcılarla zenginleştirilen bir öğrenme ortamında öğrencilerin görsel medya okuryazarlıklarının gelişimi sağlanır.
- Öğrencilerin proje tabanlı öğrenime geçmeleri sağlanarak, öğrencilerin kendi projelerini bilgisayar dışı bir ortamda yaparak bizzat ürüne dönüştürmelerine imkân tanınır.
- Öğretmenler bu teknoloji sayesinde öğrencilerinin ihtiyaçlarına uygun olan öğretim materyallerini kendileri tasarlayabilirler ve öğrencilerine bireyselleştirilmiş öğrenme ortamları sunabilirler.
- İnteraktif sınıf aktivitelerinin gerçekleştirilmesi sağlanır. Öğretmenler istedikleri örneği tasarlayıp öğrencilerle paylaşabilir ve onlarla paylaştıkları bilgiler sadece kitap sayfaları arasında kalmaz.
- 3D baskı özel eğitim alanında da büyük yarar sağlar. Bilişsel, motor ve görme bozukluğu olan bireyler de dâhil olmak üzere değişken becerilere sahip bireylere hizmet eder. 3D baskının kullanılması, âmâ veya görme engelli bir öğrencinin asgari yardımla yapı-işlev ilişkilerini öğrenmesine olanak tanır. Özel eğitim ortamlarında kullanılan 3D baskı teknolojisi uygulamaları, özel uyarlanabilir cihazların ve eğitim yardımcılarının oluşturulmasını sağlarken aynı zamanda öğrencilerin STEM konuları ile daha fazla etkileşim kurmasını sağlar.

3D tasarım ve baskı teknolojisi uygulamalarının eğitim açısından dezavantajlarına bakıldığında ise öğretmenlerin, sınıflarında bu teknolojiyi kullanırken karşılaştıkları bazı zorluklar şunlardır (Trust ve Maloy, 2017) :

- 3D yazıcılar yavaştır, 4 inçlik bir modelin oluşturulması bir saat kadar sürebilir. Bu hızda, bir öğretmenin bir sınıf projesi için tüm modelleri yazdırması bir hafta sürebilir.

- Çoğu zaman, baskılar kullanıcı, tasarım ve yazıcı hataları nedeniyle başarısız olabilmektedir.
- 3D yazıcıları kurmak, kullanmak ve tasarlamak için bilgi ve zaman gerektirir. Bu durum öğretmenlerin mevcut programlarını yetiştirememelerine sebep olabilir.
- 3D yazıcılar sınıf ortamlarında öğrenmeyi yeniden şekillendirme potansiyeline sahip olsa da, öğretmenler bu yeni teknolojiyi kullanma maliyetini göz önünde bulundurarak karar vermelidirler.

Kimya genellikle maddenin içyapısı ile ilgilendiği için çoğunlukla soyut kavramlar içerir. Bu soyut kavramlar ve kimyasal yapıların temsil edilme güçlüğü kimya dersinin zor ve karmaşık olarak nitelendirilmesine sebep olmuştur (Suat vd., 2010; Lickiss, 2015). Özellikle moleküler geometri, simetri, moleküller arası etkileşimler ve kristal yapılar gibi doğası gereği 3D olan birçok bilim kavramını öğrencilere aktarmak zordur (Wood vd., 2017).

Yapılan çalışmalar, kimya derslerinde öğrencilerde oluşan kavram yanlışlarının öğrencilerin ilerlemesinin önündeki en önemli engellerden biri olduğunu göstermiştir. Sağlam bir temel, öğrencilerin daha sonraki aşamalarda karmaşık ve üst düzey beceriler üzerinde çalışmalarına izin veren en temel gereksinimdir. Yeni bilgilerin öğrencilerin geçmiş bilgileri üzerine inşa edildiği görüşü hem bilişsel hem de yapılandırmacı öğrenme teorileri tarafından desteklenmektedir. Öğrenme sürecinin yenilikçi, teknolojik, etkileşimli öğrenme kaynakları tarafından desteklenmesi durumunda kavramlar daha iyi anlaşılır hale getirilebilir. 3D öğretim materyallerinin standart öğretim yöntemlerine göre kavram yanlışlarını azaltmada daha etkili bir teknik olduğu düşünülmektedir (Kahraman ve Demir, 2011; Akıllı ve Seven, 2014; Erlina vd, 2018; Singhal ve Balaji, 2019).

Kimyacılar, moleküllerdeki atomların farklı kimyasal bileşikler yapmak için çeşitli şekillerde düzenlenebileceğini fark etmeye başladığından beri, bu düzenlemeleri temsil etmek için yollar geliştirmektedirler. Çünkü kimya düzeyindeki başarı, moleküler yapıların doğru bir şekilde görselleştirilebilmesi ile güçlü bir şekilde ilişkilidir. Başlangıçta, bu yapıları tanımlamak için iki büyük engelin aşılması

gerekiyordu. Birincisi, moleküllerin görülememesiydi. Diğer bir zorluk ise kimyasal elementlerin nasıl birbirine bağlandığını, gerçekte nasıl olduğunu anlamak ve oluşturabilecekleri olası düzenlemeleri bulabilmektir. 19. yüzyılın ortalarında kimyacılar bileşiklerdeki elementlerin oranlarının moleküler düzeyde nasıl düzenlendiğini düşünmeye başladılar. İskelet formülleri, atomlar arasındaki bağları açıkça gösterdi, ancak molekülün 3D yapısını çok az gösterdi. Kimyagerler değerlik ve kimyasal bağların doğası ile boğuşurken, moleküllerin temsili 2D'de kaldı. Stereokimyanın gündeme gelmesiyle kimyacılar 2D gösterimlerinin artık molekülleri tanımlamak için yeterli olmadığını keşfettiler ve 3D olarak tanımlanması gerektiğini farkettiler (Suat vd., 2010; Lickiss, 2015; Fisher vd., 2016). Artırılmış gerçekliğin ve sanal gerçekliğin kullanımı, 3D moleküler yapıların sunumunu yeni bir düzeye çıkarmıştır. Bu tür yazılımlar, öğrencilerin moleküler yapı ve simetri gibi kavraması zor konuları görselleştirmelerine kesinlikle yardımcı olsa da sadece görsel algı ile sınırlıdır. Bu durum özellikle öğrenmede baskın duyuşsal yönelimi kinestetik ve dokunsal olan öğrenciler için çok önemli bir sorundur. Bu sorunun üstesinden gelmek için, insanlar 3D modelleme tekniklerini kullanarak somut molekül modelleri elde etmeye başlamışlardır. Böylece 3D bir model görsel algıya ek olarak dokunsal algılamayı da etkinleştirdiği için 3D modeller öğrenme için tamamlayıcı bir rol oynamaktadır (Savchenkov, 2020).

Akademik ortamlarda 3D tasarım ve baskı teknolojilerinin yaygınlaşması, özel eğitim yardımcılarının üretimini basit ve ekonomik bir hale getirmiştir (Stevens vd., 2021). Kimya eğitiminde bu tür uygulamaların kullanımı son 10 yılda büyük ölçüde gelişim göstermiştir (Jones vd., 2021). 3D baskı son zamanlarda çok çeşitli uygulamalar için kimya müfredatına dâhil edilmiştir. Kimyasal olayların daha iyi görselleştirilmesi için kullanılan 3D baskılı modellerin ve 3D baskılı laboratuvar cihazlarının eğitim amaçlı kullanımı hızla artmaktadır. 3D yazıcı ile özel laboratuvar cihazlarının ve ekipmanlarının hızlı üretimi, kullanıcıya sorunları çözecek bir platform sağlar (Pinger vd., 2019). Dokunsal öğrenme için pedagojik bir araç olarak 3D baskı, VSEPR teorisi, atomik yarıçap, organik bileşiklerde stereokimya, simetri ve nokta grubu teorisi, kiralite ve polimerize, inorganik komplekslerde moleküler simetri, birim hücre teorisi, yörünge teorisi, elektronegatiflik, izotop bolluğu, periyodik eğilimleri görüntülemek için 3D topografik periyodik tabloların basılması gibi çok çeşitli kimya konularına

dâhil edilmiştir. Eğitim sisteminde 3D baskı uygulamasına yönelik yapılan mevcut araştırmaları özetleyen bir çalışmada, kimya dersinde öğrenmeyi desteklemek için 3D basılı eserlerin kullanıldığı konular atomik yapı, kristaller, kopolimer nanoyapıları, enerji düzeyleri, molekül yapıları, orbitaller olarak belirlenmiştir. Hızlı prototipleme, eğitimcilerin daha önce inşa etmek için çok karmaşık olan nesnelerin somut modellerini yapmalarını sağlar. İlgili alanyazında üretilen 3D materyallerin kimya eğitiminin daha verimli olması ve öğretilen bilgilerin daha kalıcı olması açısından büyük katkılar sağlayabileceği vurgulanmıştır. Eğitim sürecinde üretilen 3D kimya modelleri öğrencilere hem görme, hem dokunma hem de detaylı inceleme açısından yardımcı olmaktadır (Chery vd., 2015; Dean vd., 2016; Wuttisela, 2017; Paukstelis, 2018; Pinger vd., 2019; Şimşir vd., 2021).

Kimya eğitiminde 3D yazıcıların yanı sıra elle tutulan 3D baskı kalemi de kullanılmaktadır. Moleküler geometri öğretiminde bu teknolojinin uygulanması, bir öğrencinin molekülleri çizebilme becerisine üçüncü bir boyut ekleyerek, öğrenci yapısını moleküler yapıya kavuşturmak için değerli bir yoldur. 3D baskı kullanarak yapılan bazı araştırmalardan elde edilen sonuçlar bu kolay üretilen modellerin öğrencilerin öğrenme algılarını olumlu yönde etkilediğini göstermektedir. Elde tutulan 3D baskı teknolojisinin kullanımı, öğrencilerin farklı moleküler geometrilerin 3D tasvirlerini çizmelerine imkân vererek ve karmaşık moleküler yapıların yapı taşlarının şekillerini anlamalarını sağlayarak, VSEPR teorisini öğrenmeye eşsiz ve çekici bir yaklaşım sunar. Bununla birlikte, doğru ortamda, elle tutulan 3D baskı kalemleri, VSEPR teorisinin öğretilmesi için potansiyel olarak güçlü bir araçtır (Dean vd., 2016).

3D baskı teknolojisi geleneksel süreçlere kıyasla birçok avantaja sahiptir. Geleneksel üretim süreçlerinin çoğu sisteme özgüdür; yani, belirli bir sınıfı veya kimyasal yapı grubunu temsil etme konusunda mükemmeldirler ancak çok çeşitli kimyasal yapıları üretebilen bir teknik sağlayamazlar. 3D baskı, geleneksel üretim süreçlerinin bu kısıtlamalarını aşabilen modern bir katkı üretim sürecidir. 3D baskı ile geleneksel moleküler model imalat teknikleri ile üretilmesi son derece karmaşık ve çok çeşitli moleküler yapılar üretilmektedir. 3D baskı ile moleküller, moleküler modellerin üretim sürecini büyük ölçüde basitleştirerek, dijital bir 3D tasarımdan doğrudan tek

parça halinde oluşturulabilir. 3D baskı ile hammadde israfı minimum düzeye iner (Scalfani ve Vaid, 2014; Scalfani vd., 2016; Pernaa ve Wiedmer, 2019).

3D baskı teknolojilerinin kimya eēitiminde kullanımı eēitim- ēretim sürecine birçok açıdan önemli faydalar saēlar. Bu faydalar şu şekilde özetlenebilir (Scalfani ve Vaid, 2014; Baden vd., 2015; Tyson vd., 2015; Casas ve Estop, 2015; Hall vd., 2017; Bardakçı vd., 2018; Pernaa ve Wiedmer, 2019; Renner ve Griesbeck, 2020):

- 3D baskı teknolojisi ile basit organik yapılarından koordinasyon bileşiklerine ve genişletilmiş katı yapılarına kadar pek çok model üretilir.
- 3D baskılı moleküler modeller,  ērencilerin moleküller arası etkileşimleri anlayabilmelerine yardımcı olur.
- Hem sanal hem de basılı 3D kristal modelleri,  ērencilerin simetri ve nokta grupları gibi kimyasal eēitim konuları daha iyi anlamasına,  ēretmenlerin de  ērencilere konuyu daha iyi aktarmalarına yardımcı olabilir.
- 3D baskı, evre dostu ve sürdürülebilir kimya düşüncesine hizmet eder.
- 3D modelleme, yaratıcılık ve 21. yüzyıla ilgili çoklu becerilerin geliştirilmesini destekler.
- 3D baskılı kimya modellerinin güçlü yanlarından biri de etkileşim sürecinde materyallere dokunma hissinin sürece eklenmesidir.
- 3D baskı teknolojisi kimya  ēretiminde her  ēretmenin  ērencilerinin özellik ve ihtiyaçlarını gözeterek gereksinim duyduēu materyali geliştirmesine imkân tanır.
- 3D baskı bir laboratuvarın daha önce hiç olmadıēı kadar hızlı ve kolay çalışmasına yardımcı olan malzemeler oluşturmasına imkân tanır. 3D baskı yöntemi, en karmaşık deneyler için bile yeni bir basitleştirme ve  rneklemeye yöntemi sunar.  ērenci ve eēitimcilere laboratuvarlarda 3D baskı ve ilgili teknolojilere kolay ve

doğrudan erişim sağlamak için altyapı desteği oluşturularak, laboratuvarı daha verimli bir şekilde kullanmaları sağlanabilir.

- 3D baskı, kimya laboratuvarlarında yeni yöntemleri hızla uygulayabilmek için gerekli ekipmanı üretmemize imkân sağlayan tekrarlanabilir, esnek, basit ve uygun maliyetli bir yöntem sunar.
- Görme engelli öğrencilerin kimya konularını daha kolay anlayabilmeleri için en büyük yardımcı 3D baskı teknolojisidir.

Eğitimcilerin kimya derslerinde kullanabileceği Thingiverse Education, Shapeways gibi hali hazırda birkaç 3D baskı kaynağı vardır. Thingiverse Education, okullarda öğretilen her konu için 3D baskı parçası dosyaları ile birlikte ders planları ve materyaller sağlayarak, öğretmenleri parçaları basmak ve derslerine dâhil etmek için rehberlik etmektedir. Thingiverse Education'da yer alan bilim kategorisinde, kimya bölümünde ucuz santrifüjler yapmak için parçalar, moleküler modelleme kitleri ve basılı elektron orbitalleri gibi kimya eğitimi için onlarca araç vardır. Shapeways, çevrimiçi ortamda, eğitimcilerin ve öğrencilere 3D baskı konusunda yardımcı olmak için özel programlar sunar. Ayrıca Shapeways eğitimcilere ve öğrencilere, ücretsiz 3D baskı için hibe başvurusunda bulunma imkânı ve düşük maliyetli baskı fırsatları da sunmaktadır (Muisse vd., 2018). Ayrıca Muise vd., (2018) tarafından bir web sitesi geliştirilmiştir. Oluşturulan web sitesi kimya öğretmenlerine kimya öğretiminde yardımcı olmak için geliştirilmiş kapsamlı bir web sitesidir. Web sitesi, bir kimya eğitimcisinin sınıfta kullanabilecekleri nesneleri yazdırmaya başlamak için ihtiyaç duyabileceği tüm bilgileri içerir. Web sitesinde kaynaklar, kimya yanılırları ve 3D baskı kılavuzu olmak üzere üç alan oluşturulmuştur.

2.4 Alanyazındaki Çalışmalar

Bu bölümde; yapılan alanyazın çalışmalarından hareketle, 3D tasarım ve baskı teknolojisinin kimya derslerinde kullanımına yönelik yapılan araştırmalarla ilgili bilgilere yer verilmiştir.

3D dünyamızda en fazla iki değişkenli bir fonksiyonun $V(x, y)$ grafiği çizilebilir, görülebilir ve anlaşılabilir. Bu nedenle, potansiyel enerji fonksiyonunun tüm boyutlarıyla görselleştirilmesi, üç atomlu gibi en küçük poliatomik moleküller için bile mümkün değildir. Bu, bir molekül içindeki atomların etkileşimini anlamamızı engeller. Yapılan bir çalışmada, üç atomlu bir molekülün potansiyel enerji fonksiyonunun, tüm boyutlarıyla 3D uzayında yüzey olarak değil, hacim olarak görüntülenmesini sağlayan izoenerji yaklaşımı gözden geçirilmiştir. Ayrıca, ele geçirilebilecek ve detaylı olarak incelenebilecek bu tür izoenerji nesnelerinin plastik modellerini oluşturmamak için 3D baskı teknolojisinin kullanımı önerilmiştir (Teplukhin ve Babikov, 2014).

Scalfani ve Vaid (2014) tarafından yapılan çalışmada, kimyasal yapıların 3D basılabilir dijital dosyalarını hazırlamak için uygun yollar önerilmekte ve çalışma sonuçları 3D baskının, 3D molekül modellerini ve genişletilmiş katıları üretmek için mükemmel bir yöntem olduğunu göstermektedir. Modeller, öğrencilerin ve araştırmacıların kimyasal yapıları 3D görselleştirmelerine yardımcı olmakta, moleküllerin ve genişletilmiş katı maddelerin plastik 3D modellerini üretmek için benzersiz ve basit bir yaklaşım sunmaktadır. Bu çalışmada, simetri ve nokta grupları gibi kimyasal eğitim konularını öğretmek için faydalı olacak bir dizi dijital 3D tasarım moleküler yapıları hazırlanmıştır. Ayrıca 3D yazdırılabilir kimyasal yapıların nasıl hazırlanacağını gösteren iki ana hazırlık metodu tartışılmıştır. Hazırlanan dijital 3D kimyasal yapı serisinden, 18 molekül ve 7 genişletilmiş katı 3D yazdırılmıştır. Ferrosen, $[B_{12}H_{12}]^{-2}$, ZnS ve CaF_2 gibi birkaç zorlu yapı kolaylıkla imal edilmiştir.

Lolur ve Dawes (2014) tarafından yapılan çalışmada moleküler yapı ve reaktiviteyi anlamak için kullanılan faydalı moleküler potansiyel enerji yüzeylerinin plastik modellerin 3D baskı ile üretimi gösterilmiştir. 3D baskının, potansiyel enerji yüzeylerini görselleştirerek moleküler yapı ve dinamikleri göstermede faydalı olan plastik modelleri basmak için kullanılabileceği görülmüş olup kimya eğitimi için çok yararlı olduğu düşünülmektedir.

Chery vd. (2015) tarafından Philadelphia'daki bir kız lisesinde 10.sınıf kimya derslerinde gerçekleştirilen çalışmada 3D baskı teknolojisi uygulamaları

kullanılmıştır. Öğretmenin öğrencilerin atomun yapısını anlamakta zorlandıklarını fark etmesi üzerine çalışma gerçekleştirilmiştir. Çünkü atomun anlaşılması, kimyada temel bir beceridir ve atomun yapısını anlamadan kimyadaki birçok konuyu anlamak çok zor olacaktır. Yapılan çalışmada 3D baskı teknolojisi uygulamaları 10. sınıf kimya derslerinde atomik yapıyı tanıtmak için kullanılmıştır. 3D baskı uygulamalarının öğretime entegrasyonu ve öğrenci öğrenimi arasındaki ilişki incelendiğinde pozitif bir korelasyon bulunmuştur.

Nanoteknolojideki gelişmeler bilimin her alanını etkilemektedir. Fiziksel moleküler modeller, kimya bilimlerinde vazgeçilmez öğrenme yardımcıları olduğu gibi nanoteknoloji eğitimi de somut 3D nanoyapı modellerinin kullanımından büyük ölçüde yararlanabilir. Eğitimciler, öğrenciler, polimer bilimi ve nanoteknoloji alanındaki araştırmacılar için faydalı olması amacıyla yapılan bir çalışmada birkaç blok kopolimer nanoyapısı morfolojisi tasarlanmış ve somut 3D baskılar üretilmiştir. Moleküler ve genişletilmiş katı kimyasal yapıların aksine, 3D baskı için çok az periyodik nanoyapı 3D modeli bulunmaktadır. Bunun üstesinden gelmek için çeşitli yöntemlerle bir dizi 3D nanoyapısı dijital modeli oluşturulmuştur. Çalışmada nano yapılarının başarılı 3D baskıları üretilmiştir. Bu nano yapı modelleri nanoteknoloji eğitimi ve araştırmalarında geniş uygulama alanı bulmaktadır (Scalfani vd., 2015).

Rossi vd. (2015) tarafından yapılan araştırmada; düşük maliyetli bir 3D yazıcı tarafından basılabilen ve kimyasal eğitim konularını öğretmek için kullanılan, 3D özelleştirilmiş yapıların oluşturulmasını sağlayan bir yazılım önerilmiştir. Bu yazılım, özel bir programlama bilgisi gerektirmez ve öğrencilerin ve eğitimcilerin izomerizm, konformerler, tepkime mekanizmaları, nokta grupları ve kiralite gibi yapı özelliklerini gerçekleştirmelerini ve görselleştirmelerini sağlamaktadır.

Basılı 3D kristal modelleri, öğrencilere ve öğretmenlere simetri ve nokta grupları gibi kimyasal eğitim konularında yardımcı olabilir. Yapılan çalışmada, somut kristal modelleri üretmek için 3D baskının kullanımı incelenmiştir, ayrıca simetri ve nokta gruplarını incelemek için 3D tasarım uygulamasına örnek olarak ücretsiz indirilebilir iki araç (etkileşimli PDF dosyaları ve bir mobil uygulama) sunulmuştur. Çalışmanın

eğitimcileri; sınıflarında sunulan araçları kullanmaya ve benzer araçları tasarlamaya teşvik edeceği beklenmektedir (Casas ve Estop, 2015).

Yörünge teorisi, kimyadaki birçok olguyu rasyonelleştirmek ve anlamak için güçlü bir araç sunmaktadır. Birçok kimyaya giriş dersinde, öğrencilere 2D çizimler şeklinde atomik ve moleküler orbitallere tanıtılır. Robertson ve Jorgensen (2015) tarafından yapılan çalışmada, elektronik yapı hesaplamalarını ve moleküler görselleştirmeyi sağlayacak yörünge modellerinin 3D yazdırma dosyalarını üretmek için genel bir yöntem açıklanmıştır. Bilgilendirici ve yapısal olarak sağlam, katı ve örgü orbitalleri üretmek için yöntemler geliştirilmiştir. Ayrıca fiziksel baskıya ilişkin çeşitli ilgi çekici sistemlerin sayısız örneği, 3D baskı için. stl formatında ve işlem için tamamen resimli bir öğretici olarak verilmiştir.

Kimya öğretiminde, potansiyel enerji yüzeyi, geçiş durumu ve tepkime yolu gibi temel fiziksel kimya kavramlarını öğretmek zor bir iştir. Potansiyel ve serbest enerji yüzeylerinin geleneksel olarak kullanılan aşırı basitleştirilmiş 2D gösterimi, bu görevi daha da zorlaştırmakta ve öğrencilerin kafasını karıştırmaktadır. Kaliakin vd. (2015) tarafından yapılan bir çalışmada, 3D baskı teknolojisini kullanılarak 2D gösterimin yüzey modelleri oluşturulmuş ve daha gerçekçi potansiyel ve serbest enerji yüzeylerine nasıl genişletilebileceği gösterilmiştir. Çalışmada sunulan 3D modellerin, potansiyel enerji yüzeyi, geçiş durumu, minimum enerji tepkime yolu, tepkime yörüngesi, harmonik frekans gibi farklı kimyasal kinetik, dinamik ve titreşimsel spektroskopi kavramlarının öğretiminde nasıl kullanılabileceği tartışılmıştır.

Kostakis vd. (2015) tarafından Yunanistan'daki iki lisede 3D baskının kullanıldığı bir eğitim deneyi gerçekleştirilmiştir. Bir devlet okulundan ve bir özel liseden toplam 33 öğrenci kendi seçtikleri eserlerini 3D yazıcılar ile tasarlama ve üretme sürecine çağırılmıştır. Öğrencilerden deneme yanılma yoluyla süreci keşfetmeleri, grup işbirliğini ve 3D nesneler oluşturma yaratıcı düşünmeyi sağladığını öğrenmeleri beklenmiştir. Ders ve video tabanlı sınıflar aracılığıyla öğrenciler 3D baskı teknolojisi sürecine dâhil edilmiştir. Çalışma öğrencilere 3D baskı kavramının tanıtılmasıyla başlamıştır. Daha sonra, öğrenciler, tarayıcı tabanlı belirli yazılımları kullanarak 3D tasarım yapmayı öğrenmişlerdir. Öğrenciler nesneleri belirlemekte özgür

birakılmışlardır. Daha sonra geçici çalışma ekipleri oluşturulmuştur (2 ya da 4 kişilik). Öğrencilerden nesneleri düşük maliyetli bir 3D yazıcıda 3D olarak basılabilir olacak şekilde tasarlanmaları istenmiştir. İsteyen öğrencilerin görme engelli öğrenciler için kullanılabilir ve işlevsel nesneler oluşturabilecekleri belirtilmiştir. Görme engelli öğrencilerin kullanımına yönelik nesneler tasarlamaya karar veren öğrencilerin çoğu, eserlerinin tasarımına uygulamak için Braille dilinde yazmayı öğrenmek zorunda kalmışlardır. Yukarıda belirtildiği gibi, öğrenciler görme engelli öğrencilere gönderilecek bir nesneyi tasarlayıp tasarlamayacaklarını seçmekte özgür bırakılmıştır. İsteğe bağlı bir durum olmasına rağmen genel olarak tasarlanan 16 nesneden 13'ü görme engelli insanlar tarafından kullanılmak üzere tasarlanmıştır. Öğrencilerin birçoğunun evde çalışmalarına devam etmeleri projeye olan bağlılıklarını göstermiştir. Tasarım aşamasından sonra öğrenciler baskı sürecine alınmıştır. Tasarımların sahip olduğu bazı eksiklikler nedeniyle, her bir ürünün elde edilmesi ortalama olarak 120 dakikadan fazla sürmüştür. Son olarak öğrenciler, eserleri hakkında raporlar yazmışlardır (örneğin, tasarım aşamalarında ve baskı aşamalarında gördükleri problemler vb.). Bu üç aylık eğitim deneyiyle, 3D baskının bir öğrenme aracı olarak sahip olabileceği etkiler göz önüne serilmeye çalışılmış ve öğrencilerin daha önce olduğundan farklı düşüncelerine, dünyayı farklı görmelerine yardımcı olunmuştur.

3D baskı teknolojisinin Değerlik Kabuğu Elektron Çifti İtme (VSEPR) teorisi öğretimine uygulanmasının konu edildiği bir çalışmada öğrencilere, 3D baskı kalemleri ve temel VSEPR şekillerinin 3D modellerini oluşturmalarına izin veren 2D şablonlar sağlanmıştır. Yaygın olarak kullanılan top ve çubuk modeli kitleri, VSEPR teorisini öğretmek için etkili bir araç olsa da, elde tutulan 3D baskı kalemlerinin uygulanması, öğrencilerin moleküler geometriler hakkında bilgi edinmeleri için yeni ve benzersiz bir yol sağlamıştır. Doğru ayarlar, elde tutulan 3D baskı kalemleri, VSEPR teorisinin öğretilmesi için potansiyel olarak güçlü bir araçtır. Bu sadece öğrenciler için eğlenceli ve ilgi çekici bir öğrenme alıştırması olmakla kalmayıp, elde edilen modeller öğrenciler tarafından daha sonraki aşamalarda da kullanılabilir. Bu durumun, öğrencilerin VSEPR teorisini öğrenmeye karşı daha olumlu bir tutum sergilemeleri, arkadaşlarıyla ve aileleriyle deneyimlerini paylaşma ihtimalleri ile sonuçlanacağı öngörülmüştür. Çalışmada, öğrenciler için çizim sürecini kolaylaştırmak amacıyla 2D bir şablon tasarlanmıştır. Öğrenciler, 3D baskı kalemiyle

resimlerin üzerinden gidebilmişler ve böylece kaliteli modeller üretmek için güçlü sanatsal becerilere duyulan ihtiyaç ortadan kaldırılmıştır. 2D dijital şablon kullanılarak elde edilen şekiller, öğrencilerin 3D baskı kalemiyle iki parçayı izleyeceği ve daha sonra bunları karşılık gelen moleküler şekle birleştireceği bulmaca parçaları gibi olacak şekilde tasarlanmıştır. Öğrenci daha sonra parçaları yerinde tutarak ve baskı kalemini kullanarak bunları birleştirmiştir. Sonuç, temel VSEPR şekillerinin güzel, parlak renkli 3D modelleridir (Dean vd., 2016).

Smiar ve Mendez (2016) tarafından yapılan bir çalışmada, kimya dersi için 3D baskı kullanarak üç set fiziksel model oluşturulmuştur. Fiziksel modeller, 3D yazıcılar için model tasarlamak için yaygın olarak kullanılan ücretsiz bir CAD programı olan OpenSCAD'de tasarlanmıştır. Bohr atom modeli, bağ polaritesi ve melezleşme, kimyaya giriş derslerinin ilk döneminde yaygın olarak görülen konulardır ve bu çalışma için seçilmiştir. Bu konuların üçü de 2D görüntülerle veya moleküler model kitleleriyle tam olarak gösterilemeyen 3D atomlara ve moleküllere odaklanmaktadır. Bohr atom modeli, bağ polaritesi ve melezleşme konuları ile ilgili etkileşimli model kümesinin bazı derslerin öğretilmesinde yararlı bir araç olduğu kanıtlamıştır. Ayrıca öğrenci anketlerinden elde edilen sonuçlar, üretilmesi kolay olan bu modellerin öğrencilerin öğrenme algıları üzerinde olumlu bir etkisi olduğunu göstermiştir. 3D baskıya erişimin artması, bu yeni teknolojinin kimya eğitiminde giderek daha önemli bir rol oynayabileceği anlamına gelmektedir.

CAD ve 3D baskı yöntemlerinde son zamanlarda yaşanan hızlı ilerlemeler, benzersiz nesne ve kişiselleştirme araçlarına erişim sağlar. Düşük maliyetli 3D baskı artık hemen hemen her uygulama için bireysel kullanıcı özelliklerini karşılamak üzere tasarımları hızlı bir şekilde özelleştirme, prototip oluşturma ve revize etme yeteneğini sunmaktadır. Tüketici seviyesi 3D yazıcılar ile hızlı ve ucuz bir şekilde basılabilen esnek tasarımlar, öğrenciler ve eğitimciler için büyük bir potansiyel sunmaktadır. Porter vd. (2016) tarafından yapılan çalışmada basit ve ucuz 3D baskılı kolorimetrelerin üretimi için kullanıcı dostu bir CAD modelleri ve stereolitografi (STL) dosyaları seti bildirilmiştir.

Griffith vd. (2016) tarafından yapılan bir çalışmada, 3D baskı yoluyla 3D hidrojen yörünge modelleri oluşturulmuştur. Kimyaya giriş dersinde öğrenciler, genellikle fiziksel 3D modellerin yardımı olmadan, hidrojen elektron orbitallerinin 3D şekillerini görselleştirmekte güçlük çekerler. Ticari olarak temin edilebilen modeller de oldukça pahalıdır. 3D baskı, hidrojen orbital modellerini üretmek için bir çözüm sunmaktadır. Modellerin oluşturulması, küresel koordinatlarda elektron yörünge olasılık dağılımlarının grafiklenmesini ve stl dosyaları olarak dışa aktarılmasını gerektirmektedir. Orbital denklemleri çizebilen ve istenen formatta dışa aktarabilen hem ücretsiz (CalcPlot3D) hem de lisans gerektiren (Matlab, Mathematica, Maple) yazılımlar mevcuttur.

Penny vd. (2017) tarafından yapılan çalışmada 3D baskı, modüler moleküler ve orbital modeller oluşturmak için kullanılmıştır. Stereokimya, konfigürasyon ve melezleşme konuları ile ilgili temel kavramları göstermek için modeller tasarlanmıştır. sp^3 , sp^2 ve sp melez orbitallere sahip atomlar (karbon, oksijen ve azot), hidrojen atomları, bağlar (tek, çift, üçlü ve döndürülebilir) ve bunları birleştirmek için klipsler geliştirilmiş ve basılmıştır.

Carroll ve Blauch (2017) tarafından yapılan bir çalışmada, doymamış organik yapıların modellerini hazırlamak için 3D baskı teknolojisi kullanılmıştır. Modellere p orbitalleri de ilave edilerek öğrencilere organik kimya derslerinde, π sistemindeki orbital hizalama kavramı ile ilgili pratik deneyim kazanmalarını sağlamıştır.

Van Wieren vd. (2017) tarafından yapılan bir çalışmada, organik kimya, organometalik kimya ve biyokimyadan 3D yapı örnekleri sergilenmiştir. Bu çalışmada 3D yazıcıların görselleştirme aracı olarak kullanımı anlatılmıştır. Çalışmada, Chimera ve Magics moleküler görselleştirme ve 3D baskı yazılımını kullanılarak kimya ve biyokimya öğretimi uygulamaları için somut modeller üretme yöntemi sunulmuştur.

Porter vd. (2017) tarafından yapılan çalışmada eğitimcilere ve öğrencilere basit ve ucuz 3D baskılı filtre florometrelerinin üretiminde yardımcı olmak için çok yönlü ve kullanıcı dostu stl dosyaları ve CAD modelleri paylaşılmaktadır. CAD ve 3D baskı

kombinasyonu eğitimcilere ve öğrencilere öğrenme laboratuvarı için yenilikçi tasarımlar geliştirmek için yeni bir yöntem sunmaktadır.

3D baskıdaki son gelişmeler bu teknolojinin kullanılabilirliğini ve erişilebilirliğini arttırmıştır. Böylelikle, karmaşık moleküllerin detaylı ve yapısal olarak uygun fiziksel modellerinin uygun maliyetle etkin ve kullanıcı dostu bir şekilde oluşturulması daha kolay hale gelmiştir. Makro-moleküler yapıların yüksek derecede karmaşıklığı, öğrencilerin zihinlerinde bu yapıları işlemesi için güçlük oluşturmaktadır. Yapılan çalışmada öğrencilerin elektrostatik ve küçük peptit dizileri seviyesinden biyolojik makromoleküllere kadar, kovalent olmayan etkileşimleri anlamalarını ve makro-moleküler yapı ile ilişkilerini ele almak için dört farklı fiziksel model tasarlanmıştır. Ayrıca bu çalışmada, bu modellerin öğrencileri uygun zorluk seviyesine çekmede etkili olup olmadıklarını belirlemek ve öğrencilerin dikkatini elektrostatik çekim ilkelerine odaklamak için sınıf ortamlarında bu modeller test edilmiştir (Cooper ve Oliver-Hoyo, 2017).

Trust ve Maloy (2017) tarafından yapılan çalışmada, çoklu sınıf düzeylerinden ve konu alanlarından öğretmenlere 3D projelerin öğrenci öğrenmesi üzerindeki etkisi hakkında soru soran bir araştırmanın sonuçlarını sunmaktadır. Öğretmenlere öğrencilerle yaptıkları 3D proje türleri ve öğrencilerin bu projelere katılarak hangi beceri veya bilgi geliştirdikleri sorulmuştur. Katılımcılar, 3D modelleme, yaratıcılık, teknoloji okuryazarlığı, problem çözme, öz-yönelimli öğrenme, eleştirel düşünme ve azim dâhil olmak üzere 3D baskı projeleri üzerinde çalışırken öğrencilerinin bir dizi beceri geliştirdiğini bildirdi. Öğretmen tarafından belirlenen beceriler ile 21. yüzyıl becerilerinin listesi arasındaki benzerlikler, 3D projelerin öğrencileri dijital çağda yaşama ve çalışmaya hazırlama konusunda umut verici bir yaklaşım olduğunu göstermektedir.

3D baskı teknolojisinin kimya mühendisliği eğitime uygulanmak için muazzam bir potansiyeli vardır. Yapılan çalışma, 3D baskı teknolojisi kullanılarak reaktör tasarlama ve geliştirme süreci gerçekleştirilmesini sağlamıştır. Ayrıca 3D baskılı mezoreaktörlerin, kimya mühendisliği lisans programının ana dersleri olan sıvı

dinamiği, kimyasal kinetik ve reaksiyon mühendisliğinin öğretiminde kullanılabilmesine imkan tanımıştır (Tabassum vd., 2018).

STEM eğitim ortamlarında 3D yazıcılar gibi model geliştirme araçlarının kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır. LeSuer, (2018) tarafından yapılan çalışmada atomik yarıçap ve iyonlaşma enerjileri gibi geleneksel olarak öğretilen periyodik özelliklerden, insan vücudundaki bolluk ve kararlı izotopların sayısı gibi daha az sıklıkta görselleştirilmiş dağılımlara kadar çeşitli eğilimleri gösteren 3D yazdırılmış periyodik tablolar oluşturulmuştur. 3D baskı ile istenilen bilgileri içeren periyodik tablolar kolayca oluşturulabilmektedir. Ayrıca çalışmada 3D yazdırılan tabloların sınıf ortamında nasıl kullanılabileceğini göstermek için örnek bir grup çalışması etkinliği sunulmaktadır.

Paukstelis (2018) yaptığı bir çalışmada, MolPrint3D programını çeşitli örnekler ile (cis-1,2-dimetilsikloheksan ve trans-1,2-dimetilsikloheksan moleküllerinin 3D yapısı vb.) açıklamıştır. Ticari olmayan 3D yazıcıların kullanılabilirliğinin artması, eğitmenlere ve öğrencilere baskı teknolojisine daha fazla erişim sağlamıştır. Bununla birlikte, karmaşık top ve çubuk moleküler yapıların basılması, moleküler karmaşıklıkla artan destek yapılarına duyulan ihtiyaç dâhil olmak üzere farklı zorluklarla karşı karşıyadır. MolPrint3D, Blender 3D modelleme paketi için, kullanıcının molekülleri seçici olarak parçalara ayırmasını sağlayarak top ve çubuk moleküler modellerin basılabilirliğini artıran bir yazılım eklentisidir. MolPrint3D, parçaların bağımsız olarak basılmasını ve monte edilmesini sağlamak için seçilen bağlantı noktalarındaki atomdaki bağ ve deliklere pimler eklemektedir. Bu yaklaşım, ihtiyaç duyulan destek yapılarının sayısını en aza indirir. MolPrint3D, 3D baskı için moleküler top ve çubuk modellerini basitleştirmek için hızlı ve sezgisel bir yol sunmaktadır. Modelleri baskıdan sonra kolayca monte edilebilecek küçük parçalara bölmek, kapsamlı destek yapılarına duyulan ihtiyacı ortadan kaldırarak maliyeti düşürmeye imkân tanır ve tek bir yazıcı çalışmasında birçok modeli basma yeteneğini geliştirir. Bu geliştirmelerin, eğitmenlerin tüm sınıflar için moleküler modeller basma ve sonuçta öğrencilerin önemli kimya kavramlarını anlamaları için yeni araçlar sağlama becerisini önemli ölçüde geliştireceği düşünülmektedir.

Fourches ve Feducia (2018) tarafından yapılan çalışmada her biri en az 200 öğrenciden oluşan iki ayrı Organik Kimya dersinde 3D baskı etkinliği tasarlanmıştır. Bu etkinlik, öğrencilerin üniversite kütüphaneleri aracılığıyla sunulan hizmetlere dayanarak seçtikleri bir molekülü 3D olarak basmalarını gerektirmiştir. Öğrencilerin katılımını arttırmak için hem birinci hem de ikinci dönem organik kimya dersinde bağımsız bir 3D baskı faaliyeti verilmiştir. Öğrencilere ilgilerini çeken bir molekül seçme (örneğin, ilaç, metabolit, böcek ilacı veya boya), kimyasal yapısını 3D bir nesneye dönüştürme ve yazdırma fırsatı verilmiştir. Birinci dönem dersinde 208 öğrenciye bir molekülü 3D yazdırma veya bu molekülü tanımlayan bir YouTube videosu oluşturma seçeneği verilmiştir. İkinci dönem dersinde ise 214 öğrenciden, 3D baskının bir seçenek olduğu, kendi seçtikleri bir yöntem kullanarak moleküllerinin bir modelini oluşturmaları ve molekül hakkında halkla paylaşmak için bilgi üretmeleri istenmiştir. Dönem sonunda bir anket yoluyla elde edilen veriler, öğrencilerin ilk kez 3D modeller basma deneyimleri hakkında önemli bilgiler sağlamıştır. Öğrenciler bu şekilde 3D baskı faaliyeti üzerinde çalışmaktan büyük bir zevk almışlardır. Bu etkinlik, 3D baskıyı içeren yenilikçi lisans etkinlikleri için sınıf ortamının bir engel olmadığını kanıtlar.

Öğrencilerin kimyasal yapıları 3D olarak görselleştirmelerine yardımcı olmak için somut modellerin kullanılması, uzun yıllardır kimya eğitiminin temelini oluşturmaktadır. 3D baskı teknolojisinin gelişimi, geniş çeşitlilikte moleküllerin oluşturulmasına izin vermiştir ancak yapılması kolay değildir. Moleküler yapıları yazdırmak için gereken dosyaları oluşturmak teknik olarak zordur ve her zaman kullanıcı dostu olmayan çoklu yazılım programlarının kullanılmasını gerektirir. Jones ve Spencer (2018) tarafından yapılan bir çalışmada hemen hemen her molekülün 3D baskısı için gereken dosyaları kolayca oluşturmak için basit bir yöntem gösterilmiştir. Temel molekül yapısı yaratılabilir veya UniProt veya PubChem gibi veri tabanlarından çevrimiçi olarak kolayca elde edilebilir. Çevrimiçi ve yerel mağazaların yanı sıra şirket içi 3D yazıcıları kullanarak bu tür yapıların hızlı ve ucuz bir şekilde basılması için seçenekler araştırılmış ve basit bir protokol anlatılmıştır. Bu şekilde 3D baskı daha geniş kitlelere ulaştırılabilir, kimyasal pedagojideki kullanımının yaygınlaşmasına yardımcı olunabilir ve öğrencilerin öğrenme alıştırmalarında da kullanılabilir.

Carroll ve Blauch (2018) tarafından yapılan başka bir çalışmada ise gömülü mıknatıslarla bir π -bağlı model hazırlamak için 3D baskı kullanılmıştır. Bu model, öğrencilere, bağlanma, bağlanan ve bağlanmayan p orbital etkileşimlerinin enerjisini taklit eden, yani uygulama ve yaratma etkinliklerinin hepsinin birlikte olduğu, hareket ve eylemin, dinleme etkinliğinin önüne geçtiği, merak duygusunun harekete geçirildiği, yaratıcılığın ortaya çıkarıldığı kinestetik bir deneyime sahip olmalarını sağlamaktadır.

Cataldo vd. (2018) tarafından yapılan başka bir çalışmada ise, 3D baskı teknolojisi kullanılarak melez orbital modeller üretilmiştir. Kimyaya giriş dersi öğrencileri, melez orbitaller kavramını atomik orbitallerden moleküler bağlara geçiş olarak görürler. Hem bireysel melez orbitallerin fiziksel modelleri hem de melez orbital tiplerinin kombinasyonları, öğrencinin moleküler geometriyi görselleştirilmesine yardımcı olma potansiyeline sahiptir. 3D baskı teknolojisi, fiziksel olarak doğru modelleri uygun maliyetli bir şekilde üretmeye yaramaktadır. Serbestçe kullanılabilen bir JavaScript uygulamasının (CalcPlot3D) kullanılması, 3D yazıcıya yazdırılabilen 3D baskı dosyalarının (.stl / .3mf dosyaları) oluşturulmasını sağlar. Prosedür, düşük maliyetli ve nispeten esnektir ve uygulamalı pedagojik araçlar olarak işlev görebilecek matematiksel olarak hassas melez yörünge modelleri üretir.

Bardakçı vd. (2018) tarafından yapılan çalışmada 9.sınıf Kimya dersine ilişkin olarak atomun 3D yapısının öğretilmesine yönelik bir 3D öğretim materyalinin tasarımına ve kullanımına değinilmiştir. Hazırlanan bu materyalle 9. sınıf Kimya dersinin ikinci ünitesi olan “Atom ve Periyodik Sistem” ünitesindeki “Atomun Yapısı” ve “Periyodik Sistem” konularıyla ve üçüncü ünitesi olan “Kimyasal Türler Arası Etkileşimler” ünitesindeki “Güçlü Etkileşimler” konusuyla ilişkili olarak atomun 3D yapısının öğrenilmesi amaçlanmıştır. Model birleştirilip parçalanabilir bir yapıya sahip olduğu için hem farklı element, kavram ve olayları açıklayabilmesine hem de öğrencilerin materyalle etkileşebilmesine imkân sağlamaktadır.

Singhal ve Balaji (2019) tarafından yapılan çalışmada görme engelli öğrenciler için kimyasal denklem yazmayı desteklemek için dokunsal özelliklere sahip açık kaynaklı, istiflenebilir 3D baskılı birbirine bağlı parçalar kullanarak atom temsilleri

oluşturulmuştur. Görme engelli bir öğrenci için molekül düzenlemelerini yazmak, kimyasal denklemleri dengelemek ve mevcut değerlik elektronları bilgisini kavramak çok zordur. 3D baskı gibi yeni teknolojiler moleküler ve kimyasal modeller oluşturmamıza yardımcı olur. Sunulan modeller, görme engelli öğrencilere yardımcı olmak için gerekli miktara göre kolayca basılabilir, böylece görme engelli öğrenciler temel ve moleküler reaksiyonları öğrenebilir, anlayabilir ve temsil edebilirler. Sağlanan tüm modeller ölçeklenebilir ve Braille etiketleriyle tanımlanabilir. Elementleri, iyonları, bileşikler veya tam bir kimyasal denklemi yazmak ya da temsil etmek için bulmaca parçaları şeklinde temel yapı birimlerinin 3D modelleri üretilmiştir. Modeller son derece ekonomik, baskısı kolay ve hafiftir; yazdırmak için destek yapısına ihtiyaç duymaz ve biyolojik olarak bozunabilir polimerler kullanılarak basılır. Sağlanan modeller bir kilit ve anahtar ayarını takip eder ve herhangi bir kimyasal ifadeyi oluşturmak için istenen herhangi bir şekilde birleştirilebilir. Tüm birimler için stl dosyaları sunulmuştur. Bu biçim, birçok 3D yazıcı tarafından kabul edilen standart biçimlerden biridir. Bu dosyalar başka bir değişiklik yapılmaksızın doğrudan yazdırılabilir.

Moleküler simetri konusunun daha anlaşılır kılınabilmesi için 3D baskı ile modellerin hazırlandığı bir çalışmada, hazırlanan modeller ile öğrencilerin konuyu daha iyi anladıkları belirtilmiştir. Geleneksel fiziksel modeller molekül simetrisini anlatmakta kullanılmak için yeterli değildir. Çalışmada nokta gruplarını içeren moleküler modeller, benzen modeli, karşıt bağlayıcı moleküler orbitalin belirtildiği hidrojen molekülü modelleri hazırlanmıştır. 3D baskı, moleküler simetri kavramlarını öğretmek için özelleştirilmiş modeller hazırlamayı mümkün kılar. Burada sunulan modeller, yaygın olarak bulunan yazıcılarla basılabilir ve çeşitli nokta gruplarında döndürme, yansıtma vb. işlemlerinin gösterilmesini sağlar. Öğrenciler, modellerin konuyu daha anlaşılır kıldıklarını belirterek faydalı bulmuşlardır (Niece, 2019).

Dean vd. (2019) tarafından yapılan çalışmada öğrencilerin boş zamanlarında ders çalışmak için eve götürmelerine izin vermek için yeterince ucuz olan bir dizi moleküler şekil geliştirmeye çalışılmıştır. Mevcut birçok ticari moleküler model vardır ve bunların hiçbirisi kaynak maliyetinde önemli bir ayarlama yapmadan öğrencilere dağıtılabilecek kadar ucuz değildir. Bu nedenle sadece derslerde değil diğer

zamanlarda da öğrencilerin ellerinde bulundurulabilecek modeller geliştirilmeye çalışılmıştır. Beş renkte lazerle kesilmiş akrilik parçalar kullanılmıştır ve her set, sıkça karşılaşılan 13 farklı moleküler şekil elde edebilmek için hızlıca birbirine monte edilebilir. 3D baskı, bu modellerin küçük ölçekli dağıtımına çok uygundur. Şekiller kümesi çekici, kullanışlı, kolay ve hızlı bir şekilde üretilmiş olup öğrenciler tarafından takdir edilmiştir. Tüm dosyalar açık kaynak formatında yayınlanmıştır bu nedenle çalışmada sunulan açık kaynaklı moleküler tasarımlar, eğitimcilere öğrencilerin temel geometrilerin ucuz 3D sunumlarını yapmalarını sağlamak için bir fırsat sunar. Kullanılan lazerle kesilmiş akrilik parçalar, öğrencilere dersten sonra eve dönmeleri için verilebilecek kadar ucuz elde edilmiştir ve onlara sınıfta veya laboratuvarında öğretilen kavramların kalıcı bir hatırası olmuştur.

Vangunten vd. (2019) tarafından yapılan çalışmada, 3D baskı yöntemlerinden biri olan SLA baskı ile basit ve düşük maliyetli bir üretim yöntemi ile mikro-akışkanlar hazırlanmıştır. Bu çalışmadan hareketle SLA baskının kimya laboratuvarında yenilikçi deneyler sunmayı destekleyeceği belirtilmiştir.

Pernaa ve Wiedmer (2019) tarafından yapılan çalışmada 3D yazıcıların kimya eğitiminde kullanımı hakkında daha önceki araştırmaların kapsamlı bir incelemesi yapılmıştır. Yapılan çalışmada; kimya eğitiminde 3D baskı alanında ne tür çalışmalar yapıldığı; ne tür tasarım stratejileri uygulandığı; 3D baskının kimya eğitimi araştırmalarında nasıl kullanıldığı sorularına cevap aranarak kimya eğitimi geliştirmek için araştırmaya dayalı bilgiler sunulmuştur. Kimya eğitiminde 3D baskının kullanımı için kapsamlı öğrenci merkezli pedagojik modellere büyük ihtiyaç duyulduğu görülmüştür.

Grumman ve Carroll (2019) tarafından yapılan çalışmada 3D baskı, atomların Van der Waals yarıçaplarına dayanarak küreler olarak gösterildiği ve elektron yoğunluğunun molekül üzerinde gösterildiği yüksek çözünürlüklü moleküler modelleri hazırlamak için kullanılmıştır. Klasik top-çubuk modellerinde moleküller arası etkileşimlerin temsili eksiktir. Tasarlanan modeller bu eksikliği ortadan kaldırarak öğrencilerin bir bilim adamı olarak gelişmelerine önemli ölçüde katkı sağlayacaktır. Ayrıca bu

modeller ile görme engelli öğrencilerin moleküllerin somut temsillerini deneyimlemeleri de sağlanabilir.

Eriksen vd. (2020) tarafından yapılan bir çalışmada herhangi bir kimyasal 3D modeli görselleştirmek için basit bir prosedür şeklinde artırılmış bir gerçeklik uygulaması sunulmuştur. Kimya biliminde, 3D'de görselleştirme zorluğu, üniversite düzeyinde birinci sınıf stereokimya problemlerini öğretmekten kimyasal araştırmanın ön saflarında karmaşık moleküler yapıları görselleştirmeye kadar çeşitli düzeylerde mevcuttur. Moleküller büyüdükçe, daha karmaşık hale geldiğinden ve üç boyuta yayıldığından, görselleştirme özellikle zor olabilir. Molekülleri 3D olarak görselleştirmenin kolay bir yolu, istenen yapıyı 3D olarak yazdırmaktır. Bu katkıda, molekülleri 3D olarak görselleştirmek için bir mobil cihaz (ör. Telefonlar ve tabletler) aracılığı ile basit bir artırılmış gerçeklik uygulamasının nasıl yapılacağını anlatılmıştır. Artırılmış gerçeklik 2D yapıları 3D olarak görselleştirme fırsatı sağlar. Ayrıca önerilen uygulama küçük moleküller, supramoleküler yapılar ve biyomakromoleküller dâhil tüm moleküller için işe yaramaktadır.

Renner ve Griesbeck (2020) tarafından yapılan çalışmada, öğrencilerin 3D baskının temellerini öğrenebilecekleri bir 3D baskı laboratuvarı konsepti tanıtılmıştır. 3D baskı laboratuvarı, hem FDM hem de SLA türleri ve bir 3D tarayıcı olmak üzere çok sayıda 3D yazıcı ile donatılmıştır. Ayrıca öğrencilerin ekipmanla ilgili programları öğrenmelerini sağlayan PC'lerle donatılmıştır. Öğrenciler 3D baskı laboratuvarında birkaç öğrenme istasyonundan (tarama, dijitalleştirme, CAD ile veri işleme, baskı) geçmişlerdir. 3D baskı laboratuvarı, öğrencilerin bir deneyin basit ve anlaşılır bir şekilde nasıl 3D yazdırılacağını uygulayarak görmelerini sağlamıştır. Öğrenciler sadece 3D baskı yöntemini değil, aynı zamanda yeni bir kimyasal reaksiyon yöntemi olan 3D baskılı akış reaktörünü de öğrenmişlerdir.

Zolotareva vd. (2021) tarafından yapılan çalışmada kimya eğitiminde "Üniversite - Okul" etkileşim sistemi çerçevesinde eğitim kurumlarının karşılıklı olarak yararlı işbirliği deneyimi açıklanmıştır. Makale, öğrencilerin ve öğretmenlerin rehberliğinde okul çocukları tarafından oluşturulan 3D baskılı modellerin uygulamalı örneklerini sunmaktadır. C60 fullerenin bir bilgisayar modeli, bir stand üzerinde bir fulleren

molekölü, bir DNA makromolekölü, kafeinin düz yapısal bir modeli ve bir test tüpü standı tasarlanarak baskısı alınan modellerdendir. Modern 3D baskı teknolojileri, model kimyasal nesnelerin yanı sıra laboratuvar kompleksleri oluşturma alanında da geniş ve umut verici fırsatlar sağlayarak eğitim sürecini iyileştirme fırsatı sunar. "Üniversite – Okul" işbirliğinin bir sonucu olarak öğrenci yeni bilgiler edinir. Öğrenciler kimyasal bir nesneyi kendi elleriyle modellemekten, bir 3D baskı prosedürünü gerçekleştirmeye kadar bilgiye erişmek için teknolojik araçlardaki ustalığını gösterebilir.



3. YÖNTEM

3.1 Araştırmanın Modeli

Bu çalışmada kimya dersi kapsamında işlenen ‘‘Atom ve Periyodik Sistem’’ ve ‘‘Kimyasal Türler Arası Etkileşimler’’ üniteleri ile ilgili 3D tasarım ve baskı teknolojisinin kullanılacağı öğrenme ortamının tasarlanması ve uygulanması amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda, araştırmacı tarafından hazırlanan ve temel amacı 3D baskı teknolojisi ile ilgili bir tasarım programını (Tinkercad) ve 3D yazıcıdan çıktı alma işlemlerini öğretmek olan bir ‘3D Tasarım ve Baskı Teknolojisi Öğretim Programı’ geliştirilmiş ve bu program araştırmanın başında, 5 hafta boyunca uygulanmıştır (EK 17).

Çalışmada karma yöntem kullanılmıştır. Karma yöntem araştırmaları, araştırma sorularına cevap ararken çoklu yaklaşımları kullanmaya çalışır. Karma yöntem araştırmalarında nicel ve nitel teknikler birlikte kullanıldığı için, her iki tekniğin avantajlı tarafları kuvvetlendirilmiş olur. Karma yöntem; kapsamlı, çoğulcu, tamamlayıcı bir araştırma yöntemidir (Baki ve Gökçek, 2012). Bu çalışmanın nicel verileri ön test ve son test şeklinde uygulanan ‘Kimya Başarı Testi’ ve ‘Teknoloji Öğrenimine Karşı Motivasyon ve Öz Düzenleme Ölçeği’nden hareketle elde edilmiştir. Nitel veriler ise çalışma grubundaki öğrencilerle yapılan odak grup görüşmelerinden elde edilmiştir. Uygulamanın başında sadece nicel veri kaynakları kullanılırken uygulama sonrası hem nitel hem de nicel veri kaynakları birlikte kullanılmıştır.

Bu çalışmada eğitim araştırmalarında sıkça kullanılan yarı deneysel desen kullanılmıştır. Yarı deneysel desende rasgele dağılım dışında bir yolla kişilerin yerleştirildiği deney ve kontrol gruplarından, deney grubu deneysel çalışmaya katılıp özel bir müdahaleye uğrarken kontrol grubuna herhangi bir deneysel müdahalede bulunulmaz (Çepni, 2012).

Tablo 3-1 Araştırmanın deneysel deseni

GRUPLAR	ÖN TESTLER	İŞLEM	SON TESTLER	KALICILIK TESTİ
DENEY GRUBU	1.Kimya Başarı Testi 2.Teknoloji Öğrenimine Karşı Motivasyon ve Öz Düzenleme Ölçeği	3D model destekli işlenilen kimya dersleri 3D Baskı Teknolojisi Öğretim Programı çerçevesinde yapılan 3D baskı teknolojisi uygulamaları	1.Kimya Başarı Testi 2.Teknoloji Öğrenimine Karşı Motivasyon ve Öz Düzenleme Ölçeği	Kimya Başarı Testi
KONTROL GRUBU	1.Kimya Başarı Testi 2.Teknoloji Öğrenimine Karşı Motivasyon ve Öz Düzenleme Ölçeği	3D model destekli işlenilen kimya dersleri	1.Kimya Başarı Testi 2.Teknoloji Öğrenimine Karşı Motivasyon ve Öz Düzenleme Ölçeği	Kimya Başarı Testi

3.2 Çalışma Grubu

Bu araştırmada, seçkisiz olmayan örnekleme yöntemlerinden uygun örnekleme yöntemi seçilmiştir. Uygun örnekleme yöntemi, mevcut sınırlılıklar nedeniyle örneklemin kolay ulaşılabilir ve uygulama yapılabilir birimlerden seçilmesidir (Büyüköztürk vd., 2014 akt. İlhan vd., 2016). Araştırmanın çalışma grubunu Kastamonu Anadolu İmam Hatip Lisesi 9.sınıf öğrencileri oluşturmaktadır. Araştırmaya toplam altmış üç öğrenci katılmıştır. Çalışma grubunun kontrol ve deney gruplarına göre dağılımı Tablo 3.2’de verilmiştir.

Tablo 3-2 Araştırmanın çalışma grubu

Kastamonu Anadolu İmam Hatip Lisesi 9.Sınıf Öğrencileri	GRUP TÜRÜ	ÖĞRENCİ SAYISI
	DENEY GRUBU	33
	KONTROL GRUBU	30
TOPLAM		63

3.3 Uygulama Süreci

2019-2020 eğitim-öğretim yılının 1. döneminde Kastamonu Anadolu İmam Hatip Lisesi 9.sınıfta bulunan 30 öğrenci ile hazırlanan teknoloji öğretim programı çerçevesinde bir pilot uygulama gerçekleştirilmiştir. Uygulamalar ilgili okulun bilgisayar sınıfında gerçekleştirilmiştir. Öğrencilerin sayıca fazla olması ve her öğrenciye bir bilgisayar sağlanamaması sebeplerinden ötürü öğrenciler iki gruba bölünmüştür. İlk hafta öğrencilere 3D tasarım uygulamaları, 3D baskı teknolojisi ve Tinkercad programı ile ilgili bir sunum yapılmıştır. İkinci hafta öğrencilerle ilk olarak kupa bardak tasarımı yapılmıştır. Sonraki haftalarda ise öğrencilerle H, Li, K gibi elementlerin katman elektron dağılımını gösteren modeller, HCl, BeH₂, BH₃,CH₄, NH₃ ve H₂O gibi molekül modelleri ve periyodik cetvel modeli tasarlanmıştır. Öğrencilere her hafta uygulamalar esnasında tasarlanacak olan materyallerle ilgili ders notları dağıtılmış ve tasarımla ilgili videolar izlettirilmiştir. 16 Mart 2020 tarihinde Covid-19 sebebiyle okullar tatil edildiği için uygulamalar sonlandırılmıştır. Okulların tatil edilmesi sebebi ile tasarlanan modellerin baskıları araştırmacı tarafından 3D yazıcı ile alınmıştır (EK 18). Pilot uygulama ile ilgili öğrencilerin görüşlerini alabilmek için bir odak grup görüşmesi gerçekleştirilmiştir. Pilot uygulama sonrası eksiklikler tespit edilerek esas uygulama hatasız yapılmaya çalışılmıştır.

Çalışma kapsamında 2020-2021 eğitim öğretim yılının 1. döneminde, deney ve kontrol grubunda bulunan öğrencilere başarı testi ve teknoloji öğrenimine karşı motivasyon ve öz düzenleme ölçeği ön test olarak uygulanmıştır. Her iki gruba da araştırmacı

tarafından tasarlanarak basılan 3D ders materyallerinin (EK 5, EK 6, EK 7, EK 8, EK 9, EK 10, EK 11, EK 12, EK 13, EK 14, EK15) kullanıldığı kimya dersleri gerçekleştirilmiştir. Kimya derslerinin işlenişi esnasında 9.sınıf müfredatında yer alan kazanımlara uygun olarak Tablo 3.3'te belirlenen 3D materyaller kullanılarak kazanımların daha kolay ve akılda kalıcı bir şekilde öğretilmesi hedeflenmiştir.

Tablo 3-3 Kazanım-3D model eşleştirmesi

KAZANIMLAR	İLGİLİ 3D MODELLER
9.2.1.1. Dalton, Thomson, Rutherford ve Bohr atom modellerini açıklar.	EK 5 Atom modelleri ile ilgili 3D ders materyalleri
9.2.3.1. Elementlerin periyodik sistemdeki yerleşim esaslarını açıklar.	EK 9 Periyodik cetvel 3D ders materyali
9.2.3.2. Elementleri periyodik sistemdeki yerlerine göre sınıflandırır.	EK 9 Periyodik cetvel 3D ders materyali
9.2.3.1. Elementlerin periyodik sistemdeki yerleşim esaslarını açıklar. b. Atomların katman-elektron dağılımlarıyla periyodik sistemdeki yerleri arasındaki ilişki açıklanır.	EK 12 Katman elektron dizilimleri ile ilgili 3D ders materyali
9.2.3.3. Periyodik özelliklerin değişme eğilimlerini açıklar.	EK 10 Periyodik özelliklerin değişimi ile ilgili 3D ders materyali
9.3.3.1. İyonik bağın oluşumunu iyonlar arası etkileşimler ile ilişkilendirir. b. İyonik bileşiklerin yapısal birimleri ile molekül kavramının karıştırılmamasına vurgu yapılır	EK 6 İyonik bileşiklerin kristal örgü yapısı ile ilgili 3D ders materyali
9.3.3.1. İyonik bağın oluşumunu iyonlar arası etkileşimler ile ilişkilendirir. a. Nötr atomların ve tek atomlu iyonların Lewis sembolleri verilir. Örnekler periyodik sistemdeki ilk 20 element arasından seçilir.	EK 11 Lewis yapısı ile ilgili 3D ders materyali
9.1.3.1. Günlük hayatta sıklıkla etkileşimde bulunan elementlerin adlarını sembolleriyle eşleştirir.	EK 8 Elementlerin isimleri ve sembolleri ile ilgili 3D ders materyali
9.3.3.1. İyonik bağın oluşumunu iyonlar arası etkileşimler ile ilişkilendirir.	EK 7 İyonik bileşikler ile ilgili 3D ders materyali
9.3.3.3. Kovalent bağın oluşumunu atomlar arası elektron ortaklaşması temelinde açıklar.	EK 13 3D Organik bileşik örnekleri (C ₂ H ₅ OH-CH ₃ COOH) EK 14 Molekül geometrisi ile ilgili 3D ders materyalleri EK 15 3D Kovalent bağlı bileşik örnekleri

Ayrıca deney grubu öğrencileri ile pilot uygulamadan sonra revize edilmiş olan 3D Tasarım ve Baskı Teknolojisi Öğretim Programı (EK 17) çerçevesinde uygulamalar yapılmıştır. Covid-19 nedeni ile okullar yüz yüze eğitime kapatıldığı için çalışma uzaktan eğitim yoluyla yürütülmüştür. Bazı öğrencilerin bilgisayar ve internet erişiminin olmaması uzaktan eğitim almalarını zorlaştırmıştır. Bu tür eksiklikleri

giderebilmek için Milli Eğitim Bakanlığı tarafından uzaktan eğitime destek amacıyla öğrencilere tabletler dağıtılmış; evlerinden uzaktan eğitime katılma imkânı olmayan öğrencilerin EBA'dan yararlanabilmelerini sağlamak için 81 il genelinde okullarda EBA destek noktaları oluşturulmuştur. Çalışma kapsamında yapılan uygulamalar Zoom programı üzerinden gerçekleştirilmiştir. Her hafta öğrencilere uygulamadan önce tasarımı yapılacak olan materyalle ilgili hazırlanan ders notları ve videolar gönderilerek derse hazırlıklı gelmeleri istenmiştir. İlk hafta öğrencilere 3D yazıcılar, 3D baskı teknolojisi ve Tinkercad tasarım programı ile ilgili bilgilendirme yapılmıştır. Öğrencilerle birlikte bir Tinkercad sınıfı oluşturulmuştur. İkinci hafta öğrencilerle ilk tasarımın yapımına başlanmış olup, öğrencilerle birlikte kupa bardak tasarımı yapılmıştır. Kupa bardak tasarımı için izlenmesi gereken adımlar öğrencilere ders notu şeklinde verilmiştir. Ayrıca tasarımla ilgili video hazırlanarak öğrencilerle paylaşılmıştır. Diğer haftalarda öğrencilerle “Atom ve Periyodik Sistem” ve “Kimyasal Türler Arası Etkileşimler” üniteleri ile ilgili basit tasarımların yapımına geçilmiştir. Katman elektron dizilimi konusu kimya derslerinde işlendikten sonra öğrencilerle H, He, Li ve K atomlarının katman elektron dizilimlerini gösteren modellerin tasarımına başlanmıştır. Her hafta tasarıma başlamadan önce öğrencilere konu özeti şeklinde bilgiler verilmiştir. H atomunun tasarımına başlamadan önce öğrencilere hidrojen atomunun sembolünü H harfi ile gösterdiğimizi, 1 tane protona sahip olduğunu, atom nötr olduğu için proton sayısının aynı zamanda elektron sayısını ifade ettiğini ve bu yüzden 1 elektrona sahip olduğunu, hidrojen atomunun çekirdeğinin etrafında 1 tane katman olacağını ve bu katmana sadece 1 tane elektron yerleştirmeleri gerektiği anlatılmıştır. Benzer şekilde He atomunun tasarımına başlamadan önce helyum atomunun sembolünün He şeklinde olduğu, 2 tane elektrona sahip olduğu, çekirdeğin etrafındaki ilk katmanın en fazla 2 elektron alabildiği dolayısıyla çekirdeğin etrafına 1 tane katman çizerek bu katman üzerinde 2 elektronu göstermeleri gerektiği anlatılmıştır. Lityum atomunun tasarımına geçildiğinde; lityum atomunun Li sembolü ile gösterildiği, 3 tane elektrona sahip olduğu, 1.katmanın en fazla 2 elektron alması sebebi ile çekirdeğin etrafında artık 2 katman olması gerektiği, ilk katmana 2 elektron 2. katmana da kalan 1 elektronun yerleştirilmesi gerektiği anlatılmıştır. Potasyum atomunun tasarımına başlamadan önce; potasyum atomunun K sembolü ile gösterildiği, 19 elektrona sahip olduğu, kural gereği elektron dağılımı yaparken 1.katmana iki 2.katmana sekiz 3.katmana sekiz ve 4. katmana bir elektron

olacak şekilde 4 katman çizmeleri gerektiği hatırlatılmıştır. Bu şekilde katman elektron dağılımı ile ilgili 3D materyaller tamamlanmıştır. Kimya derslerinde kovalent bağ konusu işlendikten sonra öğrencilerle HCl, BeH₂, BH₃, CH₄, NH₃ ve H₂O gibi moleküllerin tasarımına başlanmıştır. HCl molekülünün tasarımına başlamadan önce öğrencilere hidrojen (H) ve klor (Cl) atomlarının birer ametal olduğu, H ve Cl atomları arasında meydana gelen bağın polar kovalent bağ olduğu, molekülün hidrojen klorür şeklinde adlandırıldığı ve yaygın isminin tuz ruhu olduğu, molekül geometrisinin doğrusal ve bağ açısının 180° olduğu öğrencilere hatırlatılmıştır. BeH₂ molekülünün tasarımına başlamadan önce öğrencilere berilyum (Be) ve H atomları arasında meydana gelen bu bileşiğin kovalent yapılı olduğu, bileşiğin berilyum hidrür şeklinde adlandırıldığı, molekülün apolar yapıda ve doğrusal olduğu, bağ açısının ise 180° olduğu öğrencilere aktarılmıştır. BH₃ molekülünün tasarımına başlamadan önce öğrencilere bor (B) ve H atomları arasında meydana gelen bu bileşiğin kovalent yapılı olduğu, molekülün apolar yapıda olduğu, bileşiğin bor tri hidrür şeklinde adlandırıldığı, molekül geometrisinin düzlem üçgen ve bağ açısının 180° olduğu öğrencilere aktarılmıştır. CH₄ molekülünün tasarımına başlamadan önce karbon (C) ve H atomları arasında meydana gelen bu bileşiğin kovalent yapılı olduğu, bileşiğin karbon tetra klorür şeklinde adlandırıldığı ve yaygın adının metan olarak bilindiği, molekülün apolar, molekül geometrisinin düzgün dörtyüzlü ve bağ açısının 109,5° olduğu öğrencilere aktarılmıştır. NH₃ molekülünün tasarımına başlamadan önce azot (N) ve H atomları arasında meydana gelen bu bileşiğin kovalent yapılı olduğu, bileşiğin tri hidrojen mono nitrür şeklinde adlandırıldığı ve yaygın adının amonyak olarak bilindiği, molekülün polar, molekül geometrisinin üçgen piramit ve bağ açısının 107° olduğu öğrencilere aktarılmıştır. H₂O molekülünün tasarımına başlamadan önce H ve oksijen (O) atomları arasında meydana gelen bu bileşiğin kovalent yapılı olduğu, bileşiğin di hidrojen monoksit şeklinde adlandırıldığı ve yaygın adının su olarak bilindiği, molekülün polar, molekül geometrisinin kırık doğru (açısal) ve bağ açısının 104,5° olduğu öğrencilere aktarılmıştır. Öğrencilerle birlikte konu özetleri sonrası 3D tasarım yapımına geçilmiş ve yukarıda ismi geçen moleküller tasarlanmıştır. Ayrıca öğrenciler 2020-2021 eğitim-öğretim yılı boyunca ‘‘Atom ve Periyodik Sistem’’ ve ‘‘Kimyasal Türler Arası Etkileşimler’’ üniteleri ile ilgili ve kendi istedikleri modelleri tasarlamaya devam etmişlerdir. Covid-19 nedeni ile uzaktan eğitime geçildiği için

öğrencilerin yıl boyunca tasarladıkları 3D modeller araştırmacı tarafından 3D yazıcı ile basılmıştır (EK 19).

Kimya Öğretim Programı'nda yer alan ‘‘Atom ve Periyodik Sistem’’ ile ‘‘Kimyasal Türler Arası Etkileşimler’’ üniteleri işlendikten sonra öğrencilere, Kimya Başarı Testi ve Teknoloji Öğrenimine Karşı Motivasyon ve Öz Düzenleme Ölçeği son test olarak uygulanmıştır. Son testler uygulandıktan 10 hafta sonra öğrencilere Kimya Başarı Testi kalıcılık testi olarak uygulanmıştır. Covid-19 sebebiyle okulların yüz yüze eğitime ara vermesi nedeniyle yapılan tüm uygulamalar, dersler ve testler sanal ortamda gerçekleştirilmiştir. Ön testler, son testler ve kalıcılık testi Google Forms uygulaması ile öğrencilere uygulanmış olup, kimya dersleri ve teknoloji uygulamaları ise EBA ve Zoom uygulamaları ile gerçekleştirilmiştir.

Çalışmada nitel verileri elde edebilmek için odak grup tekniği kullanılmıştır. Odak grup çalışması bir moderatör eşliğinde grupla birlikte yapılan ve görüşülen konuyu derinlemesine inceleme olanağı sağlayan nitel bir araştırma yöntemidir. Odak grup görüşmeleri, katılımcıların belirli bir konudaki bakış açıları, yaşamları, deneyimleri, eğilimleri, düşünceleri, duyguları, tutumları ve alışkanlıkları hakkında derinlemesine ve çok boyutlu nitel bilgi toplamak için kullanılır. Odak grup görüşmesi, bireylerin görüşlerini açıkça ifade edebilecekleri bir ortam yaratır. Karşılıklı etkileşim sonucu, katılımcılar birbirlerinin duygu ve düşünceleri etkileyerek zengin bir bilgi akışı olmasını sağlarlar (Sezgin, 2009; Çağlar, 2019). Odak grup görüşmeleri farklı şekillerde yapılabilmektedir: İki yönlü odak görüşmeleri, katılımcı veya moderatör grup görüşmeleri, iki moderatörlü grup görüşmeleri, düello yapan moderatörler, tele oturumlu grup görüşmeleri, çevrimiçi grup görüşmeleri, mini grup görüşmeleri gibi (Tufan, 2018).

Görüşme sırasında hangi soruların hangi sırayla sorulacağı önceden belirlenmiş, sorular hazırlanırken cevaplayana yönlendirmeyecek şekilde yapılandırılmış, derinleştirici sorular belirlenmiştir. Soruların sohbet tarzına uygun olmasına dikkat edilmiştir. Önceden hazırlanmış sorular katılımcılara yöneltildiği için yapılandırılmış bir teknik kullanılmıştır (Sezgin, 2009; Kaya, 2016).

2020-2021 bahar döneminde 10.sınıfta öğrenim görmekte olan 7 öğrenci ile bir pilot odak grup görüşmesi ve 9.sınıfta öğrenim görmekte olan deney grubu öğrencileri ile iki odak grup görüşmesi (her grup 6 öğrenciden oluşmaktadır) olmak üzere toplam üç odak grup görüşmesi gerçekleştirilmiştir. Araştırmacı görüşmenin moderatörlüğünü üstlenmiştir. Pilot odak grup görüşmesi Covid-19 nedeniyle yüz yüze eğitim ara verilmesi sebebi ile Zoom uygulaması üzerinden gerçekleştirilmiştir ve toplantı kayıt altına alınmıştır. Odak grup görüşmesinde, katılımcılara EK 16’da yer alan sorular yöneltilmiştir.

2021-2022 eğitim-öğretim yılında okullar yüz yüze eğitime açılmıştır. Deney grubu öğrencileri ile 3D yazıcılardan baskı alma süreci ile ilgili bir etkinlik yapılmıştır (EK 22). Deney grubu öğrencilerine okulun bilgisayar sınıfında bulunan 3D yazıcı tanıtılmış, 3D yazıcının çalışma prensibi anlatılmış ve bir örnekle 3D modelin baskı süreci öğrencilere aktarılmıştır. Öğrenciler 2021-2022 eğitim-öğretim yılı güz döneminde de tasarımlar yapmışlar ve bu tasarımların çıktılarını okulda bulunan 3D yazıcıyı kullanarak kendileri almışlardır (EK 23).

3.4 Veri Toplama Araçları

Bu çalışmada hem nicel (kantitatif) hem de nitel (kalitatif) veri kaynakları kullanılmıştır. Nicel veri toplama aracı olarak araştırmacı tarafından geliştirilmiş olan Kimya Başarı Testi ile Teknoloji Öğrenimine Yönelik Motivasyon ve Öz Düzenleme Ölçeği kullanılmıştır. Araştırmacı tarafından geliştirilmiş olan yarı-yapılandırılmış görüşme formu ise nitel veri toplama aracı olarak kullanılmıştır. Yarı-yapılandırılmış görüşme formu ile öğrencilerin uygulamaya yönelik görüşleri alınmıştır.

3.4.1 Kimya Başarı Testi

Araştırmacı tarafından 9.sınıf Kimya Öğretim Programı’nda yer alan ‘‘Atom ve Periyodik Sistem’’ ve ‘‘ Kimyasal Türler Arası Etkileşimler’’ ünitelerinde yer alan kazanımlarla ilgili soru havuzu oluşturulmuştur. Atom ve Periyodik Sistem ünitesinde yer alan kazanımlar şu şekildedir (MEB, 2018):

- ‘‘Dalton, Thomson, Rutherford ve Bohr atom modellerini açıklar.’’

- “Elektron, proton ve nötronun yüklerini, kütlelerini ve atomda bulundukları yerleri karşılaştırır.”
- “Elementlerin periyodik sistemdeki yerleşim esaslarını açıklar.”
- “Elementleri periyodik sistemdeki yerlerine göre sınıflandırır.”
- “Periyodik özelliklerin değişme eğilimlerini açıklar.”

Kimyasal Türler Arası Etkileşimler ünitesinde yer alan kazanımlar ise şu şekildedir (MEB, 2018) :

- “Kimyasal türleri açıklar.”
- “Kimyasal türler arasındaki etkileşimleri sınıflandırır.”
- “İyonik bağın oluşumunu iyonlar arası etkileşimler ile ilişkilendirir.”
- “Kovalent bağın oluşumunu atomlar arası elektron ortaklaşması temelinde açıklar.”
- “Metalik bağın oluşumunu açıklar.”
- “Kimyasal türler arasındaki zayıf etkileşimleri sınıflandırır.”
- “Hidrojen bağları ile maddelerin fiziksel özellikleri arasında ilişki kurar.”

40 nicel sorudan oluşan soru havuzu kazanımlara göre incelenerek soru sayısı 28 düşürülmüştür. 28 sorudan oluşan test ile ilgili uzman görüşü alınmıştır. Uzman görüşünden sonra soru sayısı 21’e düşürülmüştür. Geliştirilen Kimya Başarı Testi’nin pilot uygulaması; Kastamonu Anadolu İmam Hatip Lisesi (96 öğrenci) ve Ağlı Anadolu İmam Hatip Lisesi’nde (24 öğrenci) bulunan toplam 120 öğrenciye uygulanmıştır. Uygulama sonrası veriler SPSS programı ile analiz edilerek geçerlilik

ve güvenilirlik analizi yapılmıştır. Yapılan analiz sonucu soruların güçlük ve ayırt edicilik değerleri incelenmiştir.

Ayırt edicilik indeksi $\geq 0,40$ ise, madde çok iyi çalışıyordu. $0,30 \leq$ Ayırt edicilik indeksi $\leq 0,39$ ise, madde çok az veya hiç revizyon gerektirmez. $0,20 \leq$ Ayırt edicilik indeksi $\leq 0,29$ ise, maddenin revizyona ihtiyacı vardır. Ayırt edicilik indeksi $\leq 0,19$ madde elenmelidir veya tamamen revize edilmelidir (Crocker ve Algina, 1986).

Bu açıklamalar doğrultusunda testte ayırt edicilik indeksi $\leq 0,19$ olan beş soru testten çıkarılmış olup soru sayısı 16'ya düşürülmüştür. 16 sorudan oluşan Kimya Başarı Testi'nin Cronbach's Alpha katsayısı ise 0,712 olarak bulunmuştur. 0,7 ile 0,8 arasındaki değerler Cronbach'ın α için kabul edilebilir bir değerdir, daha düşük değerler ise güvenilir bir ölçeğe işaret etmektedir (Field, 2013). Öğrencilere testte doğru cevapladıkları her bir soru için 1 puan verilirken, yanlış cevaplar veya boş bırakılan sorular için 0 puan verilmiştir. Böylece bir öğrencinin Kimya Başarı Testi'nden alabileceği en düşük puan 0 en yüksek puan ise 16'dır.

3.4.2 Teknoloji Öğrenimine Karşı Motivasyon ve Öz Düzenleme Ölçeği

Çalışmada kullanılması planlanan teknoloji kullanımına yönelik tutum ölçeğinin belirlenebilmesi için alanyazın araştırması yapılmıştır. Yapılan araştırma sonucu çalışmanın amacına hizmet edebilecek Liou ve Kuo (2014) tarafından geliştirilen ve Türkçe'ye uyarlanmış olan Teknoloji Öğrenimine Karşı Motivasyon ve Öz Düzenleme Ölçeği dikkat çekmiştir. İlgili ölçeğe ait 1394 öğrenciden elde edilen verilere madde analizi yapılarak Cronbach's alfa değeri 0,95 olarak hesaplanmıştır. Teknoloji Öğrenimine Karşı Motivasyon ve Öz-düzenleme Ölçeği'nin Türkçe'ye uyarlanan formunun açıklayıcı ve doğrulayıcı faktör analizleri sonucu elde edilen bulgular, ölçeğin 37 maddelik halinin kültürel açıdan Türkiye'de kullanılabilecek geçerli ve güvenilir bir ölçek olduğunu göstermiştir. 'Teknoloji Öğrenimine Karşı Motivasyon ve Öz Düzenleme Ölçeği'nden alınacak toplam puanın belirlenmesinde 1'den 5'e kadar derecelendirme kullanılmıştır. "Kesinlikle Katılmıyorum" seçeneği 1 puan, "Katılmıyorum" seçeneği 2 puan, "Kararsızım" seçeneği 3 puan, "Katılıyorum" seçeneği 4 puan ve "Tamamen Katılıyorum" seçeneği 5 puan olarak

değerlendirilmiştir. Bu doğrultuda toplam 37 madde içeren ölçekten alınabilecek en düşük puan 37 iken en yüksek puan 185’dir (Şekerci, 2017).

3.4.3 Yarı Yapılandırılmış Görüşme Formları

“Atom ve Periyodik Sistem” ile “Kimyasal Türler Arası Etkileşimler” üniteleri kapsamında yapılacak olan 3D tasarım ve baskı teknolojisi uygulamaları ile ilgili öğrencilerin uygulamaya yönelik görüşlerini almak amacıyla yarı-yapılandırılmış görüşme formu hazırlanmıştır. Odak grup görüşmeleri ile öğrencilere görüşme formunda (EK 16) yer alan 9 tane soru ve derinleştirici sorular yöneltilerek, öğrencilerin uygulamaya yönelik görüşleri alınmıştır.

3.5 Verilerin Analizi

Araştırmanın genel ve alt amaçlarını test etmek için deney ve kontrol gruplarının ‘Kimya Başarı Testi ve Teknoloji Öğrenimine Karşı Motivasyon ve Öz Düzenleme Ölçeği’ne ait ön test ve son test puanları karşılaştırılmıştır. Grupların normal dağılıma sahip olup olmadığını görmek için SPSS programı kullanılarak çarpıklık ve basıklık değerleri hesaplanmıştır. Puanlar normal dağılım gösteriyorsa parametrik testlerden bağımlı ve bağımsız t-testleri, puanların normal dağılım göstermiyorsa parametrik olmayan Mann-Whitney U ve Wilcoxon testleri uygulanmış ve bu testlerin sonuçları yorumlanmıştır.

Öğretim programı çerçevesinde gerçekleştirilen uygulamalarla ilgili öğrencilerin fikirlerini alabilmek için odak grup görüşmelerinden yararlanılmıştır. Odak grup görüşmesi sonucu elde edilen veriler, içerik analizi yöntemiyle analiz edilmiştir.

4. BULGULAR

Bu bölümde önceden belirtilen alt problemlere ait veriler ve bu verilerin analizi ile ortaya çıkan bulgular yer almaktadır.

4.1 Birinci Alt Probleme İlişkin Bulgular

4.1.1 Deney ve Kontrol Grubu Kimya Başarı Testi Ön Test Sonucuna İlişkin Bulgular

Deney ve kontrol grubuna ön test olarak uygulanan kimya başarı testine ait tanımlayıcı istatistikler Tablo 4.1’de verilmiştir.

Tablo 4-1 Deney ve kontrol grubu öğrencilerinin ön test puanlarına ilişkin tanımlayıcı istatistikler

Gruplar	Kişi Sayısı	Aritmetik Ortalama ($\bar{x}$)	Ortanca (M_d)	Standart Sapma (SS)	Standart Çarpıklık Değeri	Standart Basıklık Değeri
Deney Grubu	33	2,70	2,00	2,10	2,95	1,68
Kontrol Grubu	30	2,70	3,00	2,35	1,82	0,61

Tablo 4.1 incelendiğinde Skewness değerinin deney grubu için 2,95 kontrol grubu için ise 1,82 olduğu, Kurtosis değerinin ise deney grubu için 1,68 kontrol grubu için ise 0,61 olduğu gözlenmiştir. Çarpıklık ve basıklık katsayılarının standart hataya bölünmesi ile elde edilecek z-istatistiğinin ($p=0,05$) $\pm 1,96$ arasında olması dağılımın normalden aşırı sapma göstermediği şeklinde yorumlanabilir (Büyüköztürk, 2014 akt. Akdoğdu ve Uşun, 2017). Deney grubu ön test puanlarının standart çarpıklık değerinin -1,96 ile +1,96 aralığına uymadığı görülmektedir. Ayrıca veri setinin normal dağılıma uygunluğu için yapılan Shapiro-Wilk normallik testinde deney grubu ön test sonuçlarının normal dağılımdan anlamlı olarak farklı çıktığı görülmüştür. Veri seti normal dağılıma uymadığı için anlamlı farklılığa bakmak için parametrik olmayan Mann-Whitney U testi uygulanmıştır.

Tablo 4-2 Deney ve kontrol grubu öğrencilerinin ön test puanlarına ilişkin Mann-Whitney U testi sonuçları

Gruplar	Kişi Sayısı	Sıra Ortalaması	Sıra Toplamı	U	p
Deney Grubu	33	32,12	1060,00	491,000	0,956
Kontrol Grubu	30	31,87	956,00		

Tablo 4.2 incelendiğinde $P > 0,05$ olduğu için, iki grubun başarı testi ön test puanları arasında 0,05 anlamlılık düzeyinde önemli bir farklılık olmadığı, deney ve kontrol gruplarının ön test puanları açısından birbirine denk oldukları görülmektedir.

4.1.2 Deney Grubu Öğrencilerinin Kimya Başarı Testi Ön Test ve Son Test Sonuçlarına İlişkin Bulgular

Deney grubu öğrencilerinin kimya başarı testi ön test ve son test puanlarına ait tanımlayıcı istatistikleri Tablo 4.3'te verilmiştir.

Tablo 4-3 Deney grubu öğrencilerinin aldıkları puanlara ilişkin tanımlayıcı istatistikler

Test	Kişi Sayısı	Aritmetik Ortalama ($\bar{x}$)	Ortanca (M_d)	Standart Sapma (SS)	Standart Çarpıklık Değeri	Standart Basıklık Değeri
Ön test	33	2,70	2,00	2,10	2,95	1,68
Son test	33	5,82	6,00	2,71	0,84	-0,98

Tablo 4.3 ön test puanları açısından incelendiğinde aritmetik ortalaması 2,70, ortanca 2,00 ve standart sapma 2,10 olarak bulunmuştur. Son test puanları incelendiğinde ise aritmetik ortalama 5,82; ortanca 6,00 ve standart sapma 2,71 olarak bulunmuştur. Yapılan çalışmada grupların normal dağılım gösterip göstermediğini belirleyebilmek Skewness ve Kurtosis değerlerine bakılmıştır. Skewness değerinin ön testte 2,95 son testte ise 0,84 olduğu, Kurtosis değerinin ise ön testte 1,68 son testte ise -0,98 olduğu gözlenmiştir. Tablo 4.3 incelendiğinde ön test puanlarının standart çarpıklık değerinin -1,96 ile +1,96 aralığına uymadığı görülmektedir. Ayrıca veri setinin normal dağılıma uygunluğu için yapılan Shapiro-Wilk normallik testinde ön test sonuçlarının normal dağılımdan anlamlı olarak farklı çıktığı görülmüştür.

Tablo 4-4 Deney grubunun ön test ve son test puanlarının farklılığına ilişkin Wilcoxon testi sonuçları

Ön test-Son test	N	Sıra Ortalaması	Sıra Toplamı	Z	p
Negatif Sıra	4	14,38	57,50	-3,744	0,000
Pozitif Sıra	27	16,24	438,50		
Eşit	2	-	-		

*Negatif Sıralar Temeline Dayalı

Deney grubunun ön test-son test puan ortalamaları arasında anlamlı bir fark olup olmadığını test etmek için Wilcoxon testi kullanılmıştır. Test sonuçlarına bakıldığında (Tablo 4.4) deney grubunun ön test-son test puan ortalamaları arasında anlamlı bir fark olduğu görülmektedir ($p < 0,05$). Başka bir ifade ile deney grubunun ön test puan ortalamaları ile son test puan ortalamaları arasındaki sayısal fark, deney grubu ile yapılan 3D baskı teknolojisi uygulamalarının ve derslerde kullanılan 3D öğretim materyallerinin öğrencilerin başarısını arttırmakta etkili sonuçlar verdiği söylenebilir.

4.1.3 Kontrol Grubu Öğrencilerinin Kimya Başarı Testi Ön Test ve Son Test Sonuçlarına İlişkin Bulgular

Kontrol grubu öğrencilerinin kimya başarı testi ön test ve son test puanlarına ait tanımlayıcı istatistikleri Tablo 4.5’te verilmiştir.

Tablo 4-5 Kontrol grubu öğrencilerinin aldıkları puanlara ilişkin tanımlayıcı istatistikler

Test	Kişi Sayısı	Aritmetik Ortalama ($\bar{x}$)	Ortanca (M_d)	Standart Sapma (SS)	Standart Çarpıklık Değeri	Standart Basıklık Değeri
Ön test	30	2,70	3,00	2,35	1,82	0,61
Son test	30	5,80	5,00	2,41	1,33	-0,63

Tablo 4.5 ön test puanları açısından incelendiğinde aritmetik ortalama 2,70, ortanca 3,00 ve standart sapma 2,85 olarak bulunmuştur. Son test puanları incelendiğinde ise aritmetik ortalama 5,80; ortanca 5,00 ve standart sapma 2,41 olarak bulunmuştur. Yapılan çalışmada grupların normal dağılım gösterip göstermediğini belirleyebilmek Skewness ve Kurtosis değerlerine bakılmıştır. Skewness değerinin ön testte 1,82 son testte ise 1,33 olduğu, Kurtosis değerinin ise ön testte 0,61 son testte ise -0,63 olduğu gözlenmiştir. Tablo 4.5 incelendiğinde her iki testin çarpıklık ve basıklık kat sayılarının $\pm 1,96$ aralığında olduğu görülmektedir. Bu durumda veri setinin normal dağılıma uyduğu söylenebilir. Bu durumda farklılığa bakmak için t testi uygulanmıştır.

Tablo 4-6 Kontrol grubunun ön test ve son test puanlarının farklılığına ilişkin bağımlı t-testi sonuçları

Kontrol Grubu	N	$\bar{X}$	SS	T	P
Ön test	33	2,70	2,35	-5,822	0,000
Son test	33	5,80	2,41		

*P< 0,05

Tablo 4.6 incelendiğinde kontrol grubunun ön test puan ortalaması 2,70 son test puan ortalaması ise 5,80 olarak bulunmuştur. Bu sonuçlara göre kontrol grubunun ön test-son test puan ortalamaları arasında anlamlı bir fark olup olmadığını test etmek için t-testi kullanılmıştır. Test sonuçlarına bakıldığında (Tablo 4.6) kontrol grubunun ön test-son test puan ortalamaları arasında anlamlı bir fark olduğu görülmektedir ($p=0,000$ $p<0,05$). Diğer bir ifade ile kontrol grubunun ön test puan ortalamaları son test puan ortalamaları arasındaki sayısal fark, kontrol grubu ile işlenen kimya derslerinde kullanılan 3D öğretim materyallerinin öğrencilerin başarısını arttırmakta etkili sonuçlar verdiği söylenebilir.

4.1.4 Deney ve Kontrol Grubu Kimya Başarı Testi Son Test Sonucuna İlişkin Bulgular

Deney ve kontrol grubuna son test olarak uygulanan kimya başarı testine ait tanımlayıcı istatistikler Tablo 4.7’de verilmiştir.

Tablo 4-7 Deney ve kontrol grubu öğrencilerinin son test puanlarına ilişkin tanımlayıcı istatistikler

Gruplar	Kişi Sayısı	Aritmetik Ortalama ($\bar{x}$)	Ortanca (M_d)	Standart Sapma (SS)	Standart Çarpıklık Değeri	Standart Basıklık Değeri
Deney Grubu	33	5,82	6,00	2,71	0,84	-0,98
Kontrol Grubu	30	5,80	5,00	2,41	1,33	-0,63

Tablo 4.7 incelendiğinde Skewness değerinin deney grubu için 0,84 kontrol grubu için ise 1,33 olduğu, Kurtosis değerinin ise deney grubu için -0,98 kontrol grubu için ise -0,63 olduğu gözlenmiştir. Her iki grupta da son test puanlarına ilişkin çarpıklık ve basıklık kat sayılarının $\pm 1,96$ aralığında olduğu görülmektedir. Bu durumda veri setinin normal dağılıma uyduğu söylenebilir.

Tablo 4-8 Deney ve kontrol grubunun kimya başarı testi son test puanları ile ilgili bağımsız t-testi sonuçları

GRUPLAR	N	$\bar{X}$	SS	t	P
DENEY GRUBU	33	5,82	2,71	0,028	0,978
KONTROL GRUBU	30	5,80	2,41		

*P< 0,05

Deney ve kontrol grubuna son test olarak uygulanan kimya başarı testine ait veriler t-testi ile analiz edilmiştir. Deney grubundaki öğrenci sayısı otuz üç, bu grubun başarı testi aritmetik ortalaması 5,82 ve standart sapması 2,71; kontrol grubundaki otuz kişinin ise aritmetik ortalaması 5,80 ve standart sapması 2,41 olarak bulunmuştur

(Tablo 4.8). İki grup arasında fark olup olmadığını ortaya koymak amacıyla bağımsız örneklem t-testi uygulanmıştır. Bağımsız örneklem t-testi sonuçları (Tablo 4.8) incelendiğinde $P > 0,05$ olduğu için, iki grubun başarı testi son test puanları arasında 0,05 anlamlılık düzeyinde önemli bir farklılık olmadığı görülmektedir.

4.1.5 Deney ve Kontrol Grubu Kimya Başarı Testi Kalıcılık Testi Sonucuna İlişkin Bulgular

Deney ve kontrol grubuna kalıcılık testi olarak uygulanan kimya başarı testine ait tanımlayıcı istatistikler Tablo 4.9’da verilmiştir.

Tablo 4-9 Deney ve kontrol grubu öğrencilerinin kalıcılık testi puanlarına ilişkin tanımlayıcı istatistikler

Gruplar	Kişi Sayısı	Aritmetik Ortalama ($\bar{x}$)	Ortanca (M_d)	Standart Sapma (SS)	Standart Çarpıklık Değeri	Standart Basıklık Değeri
Deney Grubu	33	5,42	5,00	3,31	1,61	-0,43
Kontrol Grubu	30	5,07	5,00	3,11	0,61	0,10

Tablo 4.9 incelendiğinde Skewness değerinin deney grubu için 1,61 kontrol grubu için 0,61 olduğu, Kurtosis değerinin ise deney grubu için -0,43 kontrol grubu için ise 0,10 olduğu gözlenmiştir. Her iki grupta da kalıcılık testi puanlarına ilişkin çarpıklık ve basıklık kat sayılarının $\pm 1,96$ aralığında olduğu görülmektedir. Bu durumda veri setinin normal dağılıma uyduğu söylenebilir.

Tablo 4-10 Deney ve kontrol grubunun kimya başarı testi kalıcılık testi puanları ile ilgili bağımsız t-testi sonuçları

GRUPLAR	N	$\bar{X}$	SS	t	P
DENEY GRUBU	33	5,42	3,31	0,441	0,661
KONTROL GRUBU	30	5,07	3,11		

* $P < 0,05$

Deney ve kontrol grubuna kalıcılık testi olarak uygulanan kimya başarı testine ait veriler t-testi ile analiz edilmiştir. Deney grubundaki öğrenci sayısı otuz üç, bu grubun başarı testi aritmetik ortalaması 5,42 ve standart sapması 3,31; kontrol grubundaki otuz kişinin ise aritmetik ortalaması 5,07 ve standart sapması 3,11 olarak bulunmuştur (Tablo 4.10). İki grup arasında fark olup olmadığını ortaya koymak amacıyla bağımsız örneklem t-testi uygulanmıştır. Bağımsız örneklem t-testi sonuçları (Tablo 4.10) incelendiğinde $P > 0,05$ olduğu için, iki grubun başarı testi kalıcılık testi puanları arasında 0,05 anlamlılık düzeyinde önemli bir farklılık olmadığı görülmektedir.

4.2 İkinci Alt Probleme İlişkin Bulgular

4.2.1 Deney Grubu Öğrencilerinin Teknoloji Öğrenimine Karşı Motivasyon ve Öz Düzenleme Ölçeği Ön Test ve Son Test Sonuçlarına İlişkin Bulgular

Deney grubu öğrencilerinin teknoloji öğrenimine karşı motivasyon ve öz düzenleme ölçeği ön test ve son test puanlarına ait tanımlayıcı istatistikleri Tablo 4.11’de verilmiştir.

Tablo 4-11 Deney grubu öğrencilerinin aldıkları puanlara ilişkin tanımlayıcı istatistikler

Test	Kişi Sayısı	Aritmetik Ortalama ($\bar{x}$)	Ortanca (M_d)	Standart Sapma (SS)	Standart Çarpıklık Değeri	Standart Basıklık Değeri
Ön test	33	147,61	153,00	30,56	-4,62	4,82
Son test	33	147,15	148,00	14,56	0,50	-0,22

Tablo 4.11 ön test puanları açısından incelendiğinde aritmetik ortalaması 147,61, ortanca 153,00 ve standart sapma 30,56 olarak bulunmuştur. Son test puanları incelendiğinde ise aritmetik ortalama 147,15; ortanca 148,00 ve standart sapma 14,56 olarak bulunmuştur. Yapılan çalışmada Skewness değerinin ön testte -4,62 son testte ise 0,50 olduğu, Kurtosis değerinin ise ön testte 4,82 son testte ise -0,22 olduğu gözlenmiştir. Tablo 4.11 incelendiğinde ön test puanlarının standart çarpıklık ve standart basıklık değerlerinin -1,96 ile +1,96 aralığına uymadığı görülmektedir. Ayrıca veri setinin normal dağılıma uygunluğu için yapılan Shapiro-Wilk normallik testinde ön test sonuçlarının normal dağılımdan anlamlı olarak farklı çıktığı görülmüştür.

Tablo 4-12 Deney grubunun ön test ve son test puanlarının farklılığına ilişkin Wilcoxon testi sonuçları

Ön test-Son test	N	Sıra Ortalaması	Sıra Toplamı	Z	p
Negatif Sıra	20	15,48	309,50	-0,851	0,395
Pozitif Sıra	12	18,21	218,50		
Eşit	1	-	-		

*Negatif Sıralar Temeline Dayalı

Deney grubunun ön test-son test puan ortalamaları arasında anlamlı bir fark olup olmadığını test etmek için Wilcoxon testi kullanılmıştır. Test sonuçlarına bakıldığında (Tablo 4.12) deney grubunun ön test-son test puan ortalamaları arasında anlamlı bir farklılık olmadığı görülmektedir ($p>0,05$).

4.2.2 Kontrol Grubu Öğrencilerinin Teknoloji Öğrenimine Karşı Motivasyon ve Öz Düzenleme Ölçeği Ön Test ve Son Test Sonuçlarına İlişkin Bulgular

Kontrol grubu öğrencilerinin teknoloji öğrenimine karşı motivasyon ve öz düzenleme ölçeği ön test ve son test puanlarına ait tanımlayıcı istatistikleri Tablo 4.13'te verilmiştir.

Tablo 4-13 Kontrol grubu öğrencilerinin aldıkları puanlara ilişkin tanımlayıcı istatistikler

Test	Kişi Sayısı	Aritmetik Ortalama ($\bar{x}$)	Ortanca (M_d)	Standart Sapma (SS)	Standart Çarpıklık Değeri	Standart Basıklık Değeri
Ön test	30	147,73	154,00	23,84	-2,11	0,17
Son test	30	129,63	129,50	21,75	0,05	0,97

Tablo 4.13 ön test puanları açısından incelendiğinde aritmetik ortalaması 147,73, ortanca 154,00 ve standart sapma 23,84 olarak bulunmuştur. Son test puanları incelendiğinde ise aritmetik ortalama 129,63; ortanca 129,50 ve standart sapma 21,75

olarak bulunmuştur. Yapılan çalışmada Skewness değerinin ön testte -2.11 son testte ise 0,05 olduğu, Kurtosis değerinin ise ön testte 0,17 son testte ise 0,97 olduğu gözlenmiştir. Tablo 4.13 incelendiğinde ön test puanlarının standart çarpıklık değerinin -1,96 ile +1,96 aralığına uymadığı görülmektedir. Ayrıca veri setinin normal dağılıma uygunluğu için yapılan Shapiro-Wilk normallik testinde ön test sonuçlarının normal dağılımdan anlamlı olarak farklı çıktığı görülmüştür.

Tablo 4-14 Kontrol grubunun ön test ve son test puanlarının farklılığına ilişkin Wilcoxon testi sonuçları

Ön test-Son test	N	Sıra Ortalaması	Sıra Toplamı	Z	p
Negatif Sıra	19	18,34	348,50	-2,387	0,017
Pozitif Sıra	11	10,59	116,50		
Eşit	0	-	-		

*Negatif Sıralar Temeline Dayalı

Veri seti normal dağılıma uymadığı için anlamlı farklılığa bakmak için parametrik olmayan Wilcoxon testi uygulanmıştır. Tablo 4.14 incelendiğinde kontrol grubunun ön test-son test puan ortalamaları arasında anlamlı bir fark olduğu görülmektedir ($p<0,05$).

4.2.3 Deney ve Kontrol Grubu Teknoloji Öğrenimine Karşı Motivasyon ve Öz Düzenleme Ölçeği Ön Test Sonucuna İlişkin Bulgular

Deney ve kontrol grubuna ön test olarak uygulanan teknoloji öğrenimine karşı motivasyon ve öz düzenleme ölçeğine ait tanımlayıcı istatistikler Tablo 4.15'te verilmiştir.

Tablo 4-15 Deney ve kontrol grubu öğrencilerinin ön test puanlarına ilişkin tanımlayıcı istatistikler

Gruplar	Kişi Sayısı	Aritmetik Ortalama ($\bar{x}$)	Ortanca (M_d)	Standart Sapma (SS)	Standart Çarpıklık Değeri	Standart Basıklık Değeri
Deney Grubu	33	147,61	153,00	30,56	-4,62	4,82
Kontrol Grubu	30	147,73	154,00	23,84	-2,11	0,17

Tablo 4.15 incelendiğinde Skewness değerinin deney grubu için -4,62 kontrol grubu için ise -2,11 olduğu, Kurtosis değerinin ise deney grubu için 4,82 kontrol grubu için ise 0,17 olduğu gözlenmiştir. Deney grubu ön test puanlarının standart çarpıklık ve standart basıklık değerlerinin -1,96 ile +1,96 aralığına uymadığı görülmektedir. Ayrıca veri setinin normal dağılıma uygunluğu için yapılan Shapiro-Wilk normallik testinde deney grubu ön test sonuçlarının normal dağılımdan anlamlı olarak farklı çıktığı görülmüştür.

Tablo 4-16 Deney ve kontrol grubu öğrencilerinin ön test puanlarına ilişkin Mann-Whitney U testi sonuçları

Gruplar	Kişi Sayısı	Sıra Ortalaması	Sıra Toplamı	U	p
Deney Grubu	33	32,79	1082,00	469,000	0,720
Kontrol Grubu	30	31,13	934,00		

Veri seti normal dağılıma uymadığı için anlamlı farklılığa bakmak için parametrik olmayan Mann-Whitney U testi uygulanmıştır. Tablo 4.16 incelendiğinde $P > 0,05$ olduğu için, iki grubun teknoloji öğrenimine karşı motivasyon ve öz düzenleme ölçeği ön test puanları arasında 0,05 anlamlılık düzeyinde önemli bir farklılık olmadığı, deney ve kontrol gruplarının ön test puanları açısından birbirine denk oldukları görülmektedir.

4.2.4 Deney ve Kontrol Grubu Teknoloji Öğrenimine Karşı Motivasyon ve Öz Düzenleme Ölçeği Son Test Sonucuna İlişkin Bulgular

Deney ve kontrol grubuna son test olarak uygulanan teknoloji öğrenimine karşı motivasyon ve öz düzenleme ölçeğine ait tanımlayıcı istatistikler Tablo 4.17’de verilmiştir.

Tablo 4-17 Deney ve kontrol grubu öğrencilerinin son test puanlarına ilişkin tanımlayıcı istatistikler

Gruplar	Kişi Sayısı	Aritmetik Ortalama ($\bar{x}$)	Ortanca (M_d)	Standart Sapma (SS)	Standart Çarpıklık Değeri	Standart Basıklık Değeri
Deney Grubu	33	147,15	148,00	14,56	0,50	-0,22
Kontrol Grubu	30	129,63	129,50	21,75	0,05	0,97

Tablo 4.17 incelendiğinde Skewness değerinin deney grubu için 0,50 kontrol grubu için -0,05 olduğu, Kurtosis değerinin ise deney grubu için -0,22 kontrol grubu için ise 0,97 olduğu gözlenmiştir. Her iki grupta da teknoloji öğrenimine karşı motivasyon ve öz düzenleme ölçeğine ait son test puanlarına ilişkin çarpıklık ve basıklık kat sayılarının $\pm 1,96$ aralığında olduğu görülmektedir. Bu durumda veri setinin normal dağılıma uyduğu söylenebilir.

Tablo 4-18 Deney ve kontrol grubunun teknoloji öğrenimine karşı motivasyon ve öz düzenleme ölçeğine ait son test puanları ile ilgili bağımsız t testi sonuçları

GRUPLAR	N	$\bar{X}$	SS	t	P
DENEY GRUBU	33	147,15	14,56	3,719	0,001
KONTROL GRUBU	30	129,63	21,75		

*P< 0,05

Deney ve kontrol grubuna son test olarak uygulanan teknoloji öğrenimine karşı motivasyon ve öz düzenleme ölçeğine ait veriler t-testi ile analiz edilmiştir. Deney grubundaki öğrenci sayısı otuz üç, bu grubun başarı testi aritmetik ortalaması 147,15 ve standart sapması 14,56; kontrol grubundaki otuz kişinin ise aritmetik ortalaması 129,63 ve standart sapması 21,75 olarak bulunmuştur (Tablo 4.18). İki grup arasında fark olup olmadığını ortaya koymak amacıyla bağımsız örneklem t-testi uygulanmıştır. Bağımsız örneklem t-testi sonuçları (Tablo 4.18) incelendiğinde $P < 0,05$ olduğu için, iki grubun teknoloji öğrenimine karşı motivasyon ve öz düzenleme ölçeği ön test puanları arasında 0,05 anlamlılık düzeyinde anlamlı bir farklılık olduğu görülmüştür.

4.3 Üçüncü Alt Probleme İlişkin Bulgular

2020-2021 bahar döneminde öğrencilerin uygulamaya yönelik görüşlerinin alınabilmesi için pilot uygulamada yer alan öğrenciler ve deney grubu öğrencileri ile toplam üç odak grup görüşmesi gerçekleştirilmiştir. Odak grup görüşmelerinde öğrencilere EK 16'da yer alan dokuz tane soru ve derinleştirici sorular yöneltilerek cevaplar kaydedilmiştir.

4.3.1 Birinci Soru İle İlgili Elde Edilen Bulgular

Araştırmacı tarafından öğrencilere yöneltilen: ‘‘Okul ve okul dışı ortamlarda teknolojik araç-gereç (bilgisayar, akıllı telefon, modeller, atölye, laboratuvar) destekli eğitim ile ilgili düşünceleriniz nelerdir?’’ şeklindeki ilk soru sonucunda elde edilen cevaplar incelendiğinde genel olarak öğrenciler; okul ve okul dışı ortamlarda eğitim amaçlı teknolojik araç ve gereçlerin yerinde ve doğru kullanımı sonucunda derse karşı ilgi ve isteğin, derse karşı dikkatin ve dersin verimliliğinin artabileceğini belirtmişlerdir. Örneğin bir öğrencinin ifadesi şöyledir: ‘‘Hocam bence daha verimli oluyor, isteği artırır. Mesela kalın kitaplardan ders işlemektense elinde bir teknolojik aletten ders işlemek daha iyi olur.’’ Eğitimde teknoloji araç-gereç kullanımının gerekli olduğunu ifade eden başka bir öğrenci ise teknolojinin rolünü şu cümleleri ile vurgulamaktadır: ‘‘Hocam bence teknolojik araç-gereç kullanımı daha etkili olur. Çünkü mesela siz bize geçen gün katıları işlerken amorf katılarla ilgili bir cam videosu

izlettiniz onları izledikçe biz daha iyi anlıyoruz. İlgi ve isteği, dersin verimliliğini artırır.”

Ayrıca ilk soru sonucunda elde edilen cevaplar incelendiğinde genel olarak öğrenciler uzaktan eğitime karşı olumsuz bir tutum geliştirdiklerini, yüz yüze eğitime ise olumlu yönde baktıklarını, yüz yüze eğitimde teknolojik araç ve gereçlerin doğru ve yerinde kullanımı sonucu derse karşı ilgi ve isteğin, derse karşı dikkatin ve dersin verimliliğinin artabileceğini belirtmişlerdir. Bu durumu yansıtan öğrenci ile araştırmacı arasında gerçekleşen bir diyalog aşağıda verilmiştir:

Diyalog 1

Öğrenci: Hocam ben kendi adıma konuşursam pek olumlu etkilemiyor. Gerek internet sorunu olsun gerek çekinme gibi durumlar olabiliyor bazen utaniyorum anlamadım diyemiyorum hocam. Bana göre olumsuz, dersten atma internet sıkıntısı bağlantı sorunu ses sorunu vb. sorunlar olabiliyor o yüzden bana göre olumsuz.

Araştırmacı: Peki, yüz yüze eğitimde çekinme durumu oluyor mu?

Öğrenci: Hocam ben kendi adıma konuşursam pek olumlu etkilemiyor. Gerek internet sorunu olsun gerek çekinme gibi durumlar olabiliyor bazen utaniyorum anlamadım diyemiyorum hocam. Bana göre olumsuz, dersten atma internet sıkıntısı bağlantı sorunu ses sorunu vb. sorunlar olabiliyor o yüzden bana göre olumsuz.

Araştırmacı: Peki, yüz yüze eğitimde çekinme durumu oluyor mu?

Öğrenci: Hocam yüz yüze eğitimde olmuyor şu an konuşurken bile kekeleyorum heyecandan. Çünkü yüz yüze olunca hoca karşınızda oluyor utanma yok direk içimizdekini söylüyoruz hocamızda anlayışla

karşıyor o yüzden ben çevrimiçi eğitimde biraz çekingen oluyorum ama yüz yüze eğitimde bir sıkıntım yok benim.

Araştırmacı: Peki, şöyle diyelim uzaktan eğitime anlaşılan olumsuz bakıyorsunuz. Uzaktan eğitimin pek olumlu olduğunu düşünmüyorsunuz. Şöyle sorayım o zaman soruyu eğer yüz yüze eğitim devam ediyor olsaydı, eğitim-öğretimin sınıfta devam ettiği bir durumda derslerde teknolojik araç-gereç kullanımı dersin verimliliğini derse karşı olan ilgi ve isteği etkiler mi? Etkilerse nasıl etkiler?

Öğrenci: Yüz yüze daha çok artırır diye düşünüyorum hocam. Tabi ki teknolojik aletlerle daha iyi olur daha verimli olur. Teknoloji kolaylaştırıyor zaten hayatı.

4.3.2 İkinci Soru İle İlgili Elde Edilen Bulgular

Araştırmacı tarafından öğrencilere yöneltilen “Yaşadığınız bu süreçten önce, eğitimde 3D baskı teknolojisi uygulamaları hakkında bir bilginiz var mıydı?” şeklindeki ikinci soru sonucunda elde edilen cevaplar incelendiğinde; öğrencilerden bazıları (9 kişi) uygulamadan önce tasarım ve 3D baskı teknolojisi ile ilgili bilgi sahibi olduklarını ayrıca 3D tasarım yaptıklarını belirtmişlerdir. Örneğin bir öğrencinin ifadesi şöyledir: “Hocam ortaokul 6.sınıfta biz STEM etkinliği yapmıştık. Etkinliğimizi Kaymakam Bey de beğenmişti ve okulumuza 3D yazıcı satın almıştı. Hocam o zamandan beri benim bir ilgilim var yani 2-3 senelik. Öğretmenimiz öğretti bize hocam. Hocam biz Teknofest’e katılacaktık. 3D yazıcıyı projelerde kullandık ayrıca kendim de filament almıştım, tasarım yapıp çıktı da aldım. Ondan sonra meraklandım şimdiye kadar da devam ediyorum hala başka programlardan da 3D tasarım yapıyorum.”

Tasarım yapmaya meraklı olduğunu ifade eden başka bir öğrenci ise tasarım yaptığını şu cümleleri ile vurgulamaktadır: “Bu dersten önce bu konularla alakalıyım. Autocad öğrenmiştim. Şu an 3ds Max öğreniyorum ama şu an bir yazıcım elimde olmadığı için basma imkânı bulamadım. Sizin dersinizden önce biliyorum ben.”

Bir başka öğrenci ise tasarım yapmaya olan ilgisini şu cümleler ile ifade etmiştir: “Ben kendim öğrendim. Kendi ilgim vardı yaz tatilinde biz köye gitmiştik orda yapacak iş bulamıyordum sonra dedim ki bu programlar bilgisayarda hali hazırda var mı bir bakayım şunlara dedim. Sonra beni içine çekti hocam artık tasarım yapmadan duramıyorum.”

Öğrencilerden bazıları tasarım yapıp bu tasarımların çıktılarını aldıklarını belirtmişlerdir. Örneğin bir öğrencinin ifadesi şöyledir: ”Hocam benim vardı hatta baskı yapıp çıkarttığım şey bile oldu.”

Öğrencilerden bazıları ise tasarım yapmayıp sadece 3D yazıcı ve 3D baskı teknolojisiyle ilgili bazı bilgilere sahip oldukları belirtmişlerdir. Örneğin bir öğrencinin ifadesi şöyledir: ”İnternette haberleri görünüyordum hocam oralara bakıyordum. Gerek sosyal medyada gerekse internette denk geliyordu oradan haberim vardı ama nasıl kullanıldığını bilmiyordum.”

Bazı öğrenciler ise yapılan uygulamadan önce bir bilgileri olmadığını belirtmişlerdir. Örneğin bir öğrencinin ifadesi şöyledir: “Hocam ben siz öğretmeden önce bilmiyordum. Siz gösterince ben öğrendim araştırdım daha doğrusu. Sizden önce bir bilgim yoktu o uygulamadan.”

4.3.3 Üçüncü Soru İle İlgili Elde Edilen Bulgular

Araştırmacı tarafından öğrencilere yöneltilen “Kimya eğitiminde 3D baskı teknolojisi uygulamaları sürecinde, uygulama açısından sizi olumlu yönde etkileyen yönler (faktörler) nelerdir?” şeklindeki üçüncü soru sonucunda elde edilen cevaplar incelendiğinde; genellikle öğrenciler uygulamanın faydalı olduğunu, uygulamanın ilgilerini çektiğini ve tasarım yapmayı öğrendiklerini belirtmişlerdir. Örneğin bir öğrencinin ifadesi şöyledir: “Hocam benim için de yararlı oldu. Bu uygulamadan sonra bu tasarım işlerini artık daha bilgili bir şekilde yapabiliyorum. Önceden kendi çapımda bir şeyler yapıyordum, artık biraz daha bilgi sahibi olarak daha özel, güzel şeyler yapabiliyorum.”

Uygulamanın kendisini olumlu bir şekilde etkilediğini belirten bir başka öğrenci ise kendisini olumlu yönde etkileyen faktörleri şu şekilde belirtmiştir :” Evet, ilgimi çekti hocam. Kendim yapmam beni mutlu etti, ilk ödevimiz bardak ödeviydi bunu yaparken heyecanlıydim mutlu bir şekilde yaptım. Size teslim ettiğimde de mutluydum. Kendim yaptığım için güzeldi. Ayrıca 3D olması gerçekçi olması da ilgimi çekti. Kendim de bir şeyleri yapmayı denedim mesela ev modeli gibi onlar da güzeldi. 3D olması da güzel.”

Tasarım yapmaya ilgi duyan bir başka öğrenci ise bu ilgisini şu cümlelerle ifade etmiştir: ”Hocam istediğimiz bir şeyi çıkarabilmek ve bizim yapmış olmamız beni aşırı etkiliyor o yüzden ben ilgileniyorum.”

Bazı öğrenciler ise yapılan uygulamanın farklı alanlarda kendilerine kolaylık sağladığını belirtmişlerdir. Bu durumu yansıtan öğrenci ile araştırmacı arasında gerçekleşen bir diyalog aşağıda verilmiştir:

Diyalog 2

Öğrenci: Hocam ben Deneyap Teknoloji Atölyeleri sınavını kazanmıştım, orda da tasarımlar yapıyorduk o kolaylık olmuştu.

Araştırmacı: Bizim uygulamadan sonra mı Deneyap Teknoloji Atölyeleri sınavını kazandın?

Öğrenci: Evet.

Araştırmacı: Deneyap Teknoloji Atölyeleri’nde yaptığınız çalışmalara bizim uygulamamızın faydası oldu yani?

Öğrenci: Evet, faydasını gördüm.

4.3.4 Dördüncü Soru İle İlgili Elde Edilen Bulgular

Araştırmacı tarafından öğrencilere yöneltilen “Yaşadığınız bu süreçte edindiğiniz tecrübelerden hareketle, kimya eğitiminde 3D baskı teknolojisi uygulamalarının olumlu ve olumsuz yönleri nelerdir?” şeklindeki dördüncü soru sonucunda elde edilen cevaplar incelendiğinde; öğrencilerden bazıları uygulamanın başında henüz tasarım süreci ile alakalı yeterli bilgi sahibi olmadıkları için uygulamayı yaparken zorlandıklarını ancak zamanla kolaylıkla tasarım yapabilir hale geldiklerini belirtmişlerdir. Örneğin bir öğrencinin ifadesi şöyledir: “Hocam ilk başlarda çok bilmediğim için zorlandım ama sonra öğrendim ve çok eğlenceli geldi.”

Tasarımla ilgili uygulamadan önce bilgisi olan öğrenciler ise herhangi bir zorluk yaşamadıklarını belirtmişlerdir. Örneğin bir öğrencinin ifadesi şöyledir: “Zorluk yaşamadım. İstedığımız şeyleri yapabiliyoruz bu yüzden hem güzel hem de eğlenceli güzel bir şey.”

Genel olarak öğrenciler yapılan uygulamanın kimya eğitimine olumlu yönde bir katkısı olduğu belirtmişlerdir. Örneğin bir öğrencinin ifadesi şöyledir: “Kimya dersi için aklımızda tutması zor olan şeyleri daha akılda kalıcı hale getirdi. Mesela bir sürü şey yaptık, periyodik tabloyla ilgili olsun periyodik tablonun numaralarına kadar her ayrıntısını yaptık üzerlerine. Aklımızda tutması zor olan şeyleri bizim için daha kolay hale getirdi diye düşünüyorum. Zorluk olarak da bunları yapması zor oluyordu ilk başlarda ilk öğrenirken. Ama ondan sonra yaptıkça insanın eli alışıyor ayarlamalarını falan daha kolay yapabiliyoruz.”

4.3.5 Beşinci Soru İle İlgili Elde Edilen Bulgular

Araştırmacı tarafından öğrencilere yöneltilen “3D baskı teknolojisi destekli işlenen kimya derslerinden sonra, eğitimde teknoloji kullanımı ile ilgili bakış açınızda bir değişme oldu mu?” şeklindeki beşinci soru sonucunda öğrencilerin verdikleri cevaplar incelendiğinde; öğrencilerin çoğu uygulamadan önce derslerde teknoloji kullanılması gerektiğini düşündüklerini, uygulamadan sonra da bu düşüncelerinin doğrulandığını belirtmişlerdir. Örneğin bir öğrencinin ifadesi şöyledir: “Hocam ben teknolojinin eğitimde kullanılmasında istekliydim, uygulamadan sonra daha da istekli oldum.”

Uygulamadan önce eğitimde teknoloji kullanımından yana olup, uygulamadan sonra da bu düşüncesinin pekiştiğini belirten bir öğrenci ise düşüncelerini şu şekilde ifade etmiştir: “Hocam beni etkiledi. Anlatıyordunuz anlattığınız şeyleri daha detaylı görebilmek gözle görebilmek elimize alabilmek, bir şeyi anlatıyordunuz biz onu direk geçiyorduk sonra bu uygulama ile daha detaylı olarak kendimiz tasarladığımız için daha iyi oldu. Bakış açımda olumlu bir değişme oldu.”

Derslerde teknoloji kullanımından yana olan bir başka öğrenci ise uygulama ile ilgili görüşlerini şu şekilde ifade etmiştir: “Daha güzelleştirdi, bizi hem daha istekli hale getirdi hem de dersi daha eğlenceli hale getirdi. Ben de derslerde teknolojinin kullanılmasından yanaydım, teknoloji çağında olduğumuz için bizim için daha güzel geliyor. Onun için daha güzel oldu daha iyi oldu.”

Bazı öğrenciler ise uygulamanın kendilerine farklı bir bakış açısı kazandırdığını belirtmişlerdir. Örneğin bir öğrencinin ifadesi şöyledir: “Evet, hocam yani teknoloji kullanılarak derste işlenecek materyalleri de basabiliyoruz ve onları kullanabiliyoruz. Daha farklı bir bakış açısı kazandırdı.”

Öğrencilere yöneltilen beşinci soru sonucunda öğrencilerden bazıları uzaktan eğitime olan olumsuz tutumları nedeniyle bakış açılarında bir değişiklik olmadığını belirtmişlerdir. Bir öğrenci ile araştırmacı arasında bu durumu yansıtan bir diyalog aşağıdadır:

Diyolog 3

Araştırmacı: Katılımcı-5 aynı soru ile ilgili senin düşüncelerin nelerdir? Bakış açında bir değişiklik oldu mu?

Öğrenci 1: Yok hocam. İlk dönem teknolojiden yanaydım ikinci dönem baktım ki uzaktan eğitim de ders konusunda pek bir şey anlamıyorum sürekli internet kapanıyor tabletin ya da telefonun şarjı bitiyor gene teknoloji taraftarıyım ama öncekinden biraz daha az.

Araştırmacı: Uzaktan eğitim olumsuz mu etkiledi?

Öğrenci: Evet hocam.

Araştırmacı: Uzaktan eğitimde yaşanan bazı aksaklıklar sizi soğutmuş sanırım. Peki, bu aksaklıklar zaman içerisinde giderilebilir? Bu aksaklıklar giderildiğinde uzaktan eğitim etkili bir araç olarak kullanılabilir mi eğitimde?

Öğrenci: Hocam derslerde dersten atma, seslerin gıcırtilı gelmesi gibi çeşitli sorunlar oluyor. Tabi ki bunlar çözülebilir sonuçta siz burada tüm öğrencileri toplayıp ders anlatabiliyorsanız bu çok güzel bir şey. Fakat hiçbir sorun olmasa da yüz yüze eğitimden biraz daha sıkıcı oluyor.

Araştırmacı: Yani yüz yüze eğitimi her türlü uzaktan eğitime tercih edersin?

Öğrenci: Tabi ki evet hocam

4.3.6 Altıncı Soru İle İlgili Elde Edilen Bulgular

Araştırmacı tarafından öğrencilere yöneltilen ‘‘3D baskı teknolojisi destekli işlenen kimya dersleri uygulamaları ile müfredatta belirtildiği şekilde uygulanan kimya öğretimi uygulamalarını kıyasladığınızda ne tür farklılıklar gözlemlediniz?’’ şeklindeki altıncı soru sonucunda elde edilen cevaplar incelendiğinde öğrencilerin çoğu 3D baskı teknolojisi destekli işlenen kimya derslerinin; kimya konularının akılda kalıcı olmasını sağladığını ve dolayısıyla ders başarısını olumlu yönde etkilediğini belirtmişlerdir. Örneğin bir öğrencinin ifadesi şöyledir: ‘‘İkisi arasında fark olur hocam. Hem konu anlatımı hem de 3D teknolojisinin kullanıldığı derste 3D görünüşüne bakarak kavramamız daha iyi olur. O yüzden bana göre 3D teknolojinin

kullanıldığı hem de konu anlatımının olduğu kimya dersleri normal konu anlatımına göre daha iyidir daha güzeldir.”

Öğrencilerin çoğu müfredatta belirtilen şekilde uygulanan kimya derslerine kıyasla 3D baskı teknolojisi destekli işlenen kimya derslerinin daha eğlenceli, verimli ve faydalı olduğunu belirtmişlerdir. Örneğin bir öğrencinin ifadesi şöyledir: “Hocam benim de ilgimi ve alakamı artırdı. Sadece tasarım değil aynı zamanda mesela katman elektron modelleri ile elektron dizilimlerini öğrenmek gibi kimya konularını daha da kolaylaştı biraz daha pekiştirdi.”

Öğrencilerden bazıları bu uygulama sayesinde kimya derslerini daha çok sevdiklerini belirtmişlerdir. Örneğin bir öğrencinin ifadesi şöyledir: “Hocam bence ikisi arasında fark olur. Hocam bence de başarıyı artırır teknoloji seven biri yapa yapa, kimyayı da sevmeye başlar.” Uygulamanın kimya dersine katkısı olduğunu düşünen bir başka öğrenci ise bu durumu şu şekilde ifade etmiştir: “Hocam bana göre başarıyı ve ilgiyi arttırır. Mesela dersle hiç alakası olmayan biri teknolojiyi çok seviyorsa teknoloji yaparken kimyayı da öğrenebilir.” Uygulamanın kimya derslerinin verimini artırdığını düşünen bir başka öğrenci ise: “Hocam sonuçta teknoloji çağındayız, teknolojiyle birlikte yapılıncı dersi daha çok dinlemek istiyoruz, böyle olunca daha verimli oluyor.” şeklinde görüşünü ifade etmiştir.

Öğrenciler yapılan uygulama ile tasarlanan 3D modellerin, kimya konularını daha akılda kalıcı hale getirdiğini belirtmişlerdir. Örneğin bir öğrencinin ifadesi şöyledir: “Hocam ben de olumlu yönde düşünüyorum. Mesela bir etkinlik yapıyoruz, 3D tasarımla ilgili bir atom modeli yapıyoruz elektronlarını sayıyoruz. Bu sayede insanın el kol koordinasyonu ve kabiliyeti gelişiyor. Aynı zamanda kimyayı bir oyun gibi öğrendiğimiz için aklımıza daha çok kazınır.”

4.3.7 Yedinci Soru İle İlgili Elde Edilen Bulgular

Araştırmacı tarafından öğrencilere yöneltilen ‘‘3D baskı teknolojisi destekli işlenen kimya derslerinden sonra Atomun Yapısı ve Kimyasal Türler Arası Etkileşim ünitelerindeki konuları daha kolay ve etkili bir şekilde öğrendiğinize inanıyor musunuz?’’ şeklindeki yedinci soru sonucunda elde edilen cevaplar incelendiğinde

öğrenciler genellikle 3D baskı teknolojisi destekli işlenen kimya derslerinden sonra atomun yapısı ve kimyasal türler arası etkileşim ünitelerindeki konuları daha kolay ve etkili bir şekilde öğrendiklerini belirtmişlerdir. Örneğin bir öğrencinin ifadesi şöyledir: “Evet, hocam bence de tasarımı kendimiz yaptığımız için yararlı oldu. Mesela molekülleri tasarladığımızda daha fazla akılda kalıyor. Çünkü ders anlatımında yazıyorsun okuman gerekiyor 3D baskı görsel olarak daha iyi. Görsel olduğu için ve kendimiz yaptığımız için daha etkili.”

Uygulamanın soyut kavramları somut hale getirdiğini düşünen bir öğrenci bu durumu şu şekilde ifade etmiştir: “Evet, hocam bence de normal derse göre güzel katkı sağladı. Mesela moleküller konusunda da somut bir şekilde önümüze geldiği zaman akılda daha çok kalıcı oluyor.”

Bir başka öğrenci uygulamanın kimya konularını tekrar etmelerini sağladığını şu şekilde ifade etmiştir: “Evet, hocam yararlı oldu üstelik kimya dersinden farklı bir zamanda olduğu için biraz da tekrar gibi oldu o yüzden daha yararlı oldu.”

Öğrenciler uygulama kapsamında 3D modelleri kendileri tasarladıkları için Atomun Yapısı ve Kimyasal Türler Arası Etkileşim ünitelerindeki konuları daha kolay ve daha etkili öğrendiklerini ifade etmişlerdir. Örneğin bir öğrencinin ifadesi şöyledir: “Hocam arkadaşımın dediği gibi kendim yaptığım için daha kolay ve etkili öğrendiğime inanıyorum, daha çok zihinde kalıyor.”

Öğrenciler bu tarz bir çalışmanın fizik ve biyoloji alanlarında da uygulanmasının faydalı olabileceğini belirtmişlerdir. Örneğin bir öğrencinin ifadesi şöyledir: “Hocam bence derste daha başarılı olmamızı ve dersle ilgilenmemizi etkiledi. Bence diğer derslerde de faydalı olur biyoloji ve fizikte de daha güzel olur daha rahat anlaşılır.”

4.3.8 Sekizinci Soru İle İlgili Elde Edilen Bulgular

Araştırmacı tarafından öğrencilere yöneltilen “3D baskı teknolojisi uygulamaları sırasında grup halinde ve birlikte çalıştığınız grup arkadaşlarınızla işbirliği yaparken herhangi bir olumsuz durumla karşılaştınız mı? Bu grup çalışmasını uygulamanın verimliliği açısından nasıl değerlendiriyorsunuz?” şeklindeki sekizinci soru

sonucunda elde edilen cevaplar incelendiğinde; öğrencilerin bir kısmının grup çalışmasına olumlu bakmadıkları, kişisel çalışmayı tercih ettikleri görülmüştür. Örneğin bir öğrencinin ifadesi şöyledir: “Ben de yalnız çalışmayı seviyorum hocam. Grup çalışmasında bir sürü fikir ortaya atıldığı için daha uzun sürebileceğini düşünüyorum, anlamak zor. Ben daha çok kişisel çalışıyorum.”

Öğrencilerin bir kısmı ise dezavantajlarına rağmen grupla çalışmayı tercih ettiklerini belirtmişlerdir. Örneğin bir öğrencinin ifadesi şöyledir: “Hocam bence grupla çalışmak daha iyi. Aramızda tartışma çıkmaması için gruptaki herkeste grup ruhu olması gerekiyor. Grupla çalışmanın olumlu ve olumsuz yönleri gruptaki kişilere, kişilerin çabalarına da bağlı hocam. O yüzden grupta sıkıntılar da olabilir ya da çok güzel işlerde olabilir. Ama ben yine de gruplu çalışmayı tercih ediyorum.”

Bazı öğrenciler ise bireysel ya da grupla çalışmanın tasarıma da bağlı olabileceğini belirtmişlerdir. Örneğin bir öğrencinin ifadesi şöyledir: “Hocam bence tasarıma da bağlı biraz. Mesela çok uzun sürecek bir tasarımsa onu grup olarak yapmak isterim ama kendim yapabileceğim bir şey varsa kendim yapmak isterim.”

Bazı öğrenciler ise bireysel ya da grupla çalışmanın her ikisinin de avantajları olduğunu belirtmişlerdir. Örneğin bir öğrencinin ifadesi şöyledir: “Hocam bence grupla ya da tek başına çalışmanın kendine göre avantajları var. Mesela tek başına çalıştığında birbirinden yardım alamazsın, grup olduğun zaman ise yapamadığın bir şey olduğunda yardım alabilirsin ama tek çalışmanın da ayrı bir güzelliği var çatışmalara vb. neden olmaz kendin uğraşarak yaparsın. Eğer ortak bir şey yapılıyorsa grup çalışması uygulamayı olumlu etkiler.”

4.3.9 Dokuzuncu Soru İle İlgili Elde Edilen Bulgular

Araştırmacı tarafından öğrencilere yöneltilen “Bu uygulamalardan hareketle, bu tür çalışmaların daha verimli olması için neler önerirsiniz?” şeklindeki dokuzuncu soru sonucunda öğrencilerin verdikleri cevaplar incelendiğinde; öğrenciler genellikle uygulamadan memnun kaldıklarını belirtmişlerdir. Örneğin bir öğrencinin ifadesi şöyledir: “Ben herşeyden memnunum hocam.”

Uygulamanın bir kurs veya seçmeli ders şeklinde açılmasını öneren öğrencilerden bir tanesi görüşünü şu şekilde ifade etmiştir: “Hocam bence kurs ya da seçmeli ders şeklinde olsa ben iki kere düşünmeden katılırdım.”

Öğrencilerden bazıları ileri düzeydeki çeşitli tasarım programlarının da kullanılması gerektiği yönünde öneride bulunmuşlardır. Örneğin bir öğrencinin ifadesi şöyledir: “Hocam daha zorlayıcı şeyler olabilir zorlayıcı derken daha ileri bir program olabilir.”

Öğrenciler tasarımların baskılarının alınması şeklinde bir öneride bulunmuşlardır. Örneğin bir öğrencinin ifadesi şöyledir: ”Bence dönem sonuna kadar bir sürü çalışma yapılmalı ve dönem sonunda en iyi tasarım seçilip basılmalı.”

Covid-19 nedeniyle uygulamalar uzaktan eğitim yolu ile gerçekleştirildiği için öğrenciler uygun şartlarda bu uygulamaların okul ortamında yüz yüze gerçekleştirilmesi yönünde önerilerde bulunmuşlardır. Örneğin bir öğrencinin ifadesi şöyledir: “Hocam bence Covid-19 geçtikten sonra okula gelip kurs şeklinde 40 dakikalık 2 ders olsa daha iyi olabilir. Herkes kendi bilgisayarının başında olsa, herkes isteği veya en güzel tasarımı bastırıp alabilse güzel olur.”

Araştırmacı tarafından öğrencilere yöneltilen ”Bu derste yaptığımız tasarımların, uygulamaların, Tinkercad’le içli dışlı olma sürecinin geleceğe yönelik hayallerinizde, planlarınızda bir etkisi oldu mu? Yapmak istediğiniz meslek olabilir, hobileriniz içerisinde yer alma olabilir vb. Yaşamınızda bugüne ve geleceğe yönelik bir etkisi oldu mu?” şeklinde sorulan derinleştirici soruya öğrencilerin verdiği cevaplar incelendiğinde bazı öğrenciler yapılan uygulamanın meslek seçimi üzerinde etkili olduğu belirtmişlerdir. Örneğin bir öğrencinin ifadesi şöyledir: “Hocam benim oldu zaten ben profesyonel 3D tasarımcı olmak istiyorum. Şu anki yaptığımız tasarımlar da benim için bir adım oldu.” Yapılan uygulamanın meslek seçimini olumlu yönde pekiştirdiğini düşünen bir başka öğrenci ise bu durumu şu şekilde ifade etmiştir: “Ben bilgisayar mühendisi olmak istiyordum ve hâlâ da olmak istiyorum. Bu tür şeylere zevkim olduğunu Tinkercad ile daha fazla anladım o yüzden bilgisayar mühendisi olmayı daha çok istiyorum. Yapılan uygulamanın meslek seçimi üzerinde etkisi olduğunu belirten bir başka öğrenci ise görüşünü şu şekilde ifade etmiştir: “Hocam

ben zaten ilerde ya dijital oyun tasarımı okumak istiyorum ya da yazılım mühendisi olmak istiyorum ya da 2D veya 3D artist olmak istiyorum. Bana bayağı etkisi oldu hocam.” Bazı öğrenciler ise yapılan uygulama sayesinde meslek seçimi ile ilgili kararsızlıklarının sona erdiğini belirtmiştir. Örneğin bir öğrencinin ifadesi şöyledir: “Ben farklı meslekler arasında kalıyordum hocam. Böyle teknolojiyle alakalı şeyler kullanınca artık teknolojiyle alakalı bir meslek seçeceğimi kararlaştırdım o yüzden ben yazılım mühendisi olmak istiyorum hocam.”

Bazı öğrenciler ise uygulamanın kendilerine bir hobi kazandırdığını belirtmiştir. Örneğin bir öğrencinin ifadesi şöyledir: “Hocam benim ileride hobi olarak çok güzel hedeflerim var bunla alakalı. Tasarlayıp basıp süs olarak falan çok güzel şeyler olabilir.”

5. SONUÇ, TARTIŞMA VE ÖNERİLER

5.1 Sonuçlar ve Tartışma

Araştırma bulgularından elde edilen sonuçlar; kimya eğitiminde atom ve moleküler yapıların öğretiminde 3D tasarım ve baskı teknolojisi uygulamalarının, öğrencilerin akademik başarıları üzerine etkisine ilişkin sonuçlar, teknoloji öğrenimine karşı motivasyon ve öz düzenleme üzerine etkisine ilişkin sonuçlar, öğrencilerin uygulamaya yönelik görüşleri ile ilgili elde edilen nitel bulgulara ilişkin sonuçlar ve öğrencilerin tasarım ve 3D baskı materyali geliştirme becerilerine ait sonuçlar olmak üzere dört ayrı bölümden oluşmaktadır.

5.1.1 Öğrencilerin Akademik Başarılarına Ait Sonuçlar ve Tartışma

2020 yılı bahar döneminden 2021 yılı güz dönemine kadar, Covid-19 pandemi süreci, dünyadaki her seviyedeki öğretmenler için çevrimiçi eğitime hızlı bir kayma ile sonuçlandı. Bu süreçte, Covid-19 pandemisine ve bunun sonucunda dünyadaki akademik kurumların kapatılmasına cevap olarak, eğitimcilerin öğretim yaklaşım, yöntem ve tekniklerini ve öğretim felsefelerini çevrimiçi, uzaktan öğrenmeye hızlı bir şekilde uyumlu hale getirip değiştirmeleri zorunlu hale geldi. Geleneksel olarak yüz yüze öğretilen akademik disiplinler için, bu pedagojik değişim, sınıf içi öğretimden web tabanlı toplantılara geçişle çok sayıda zorlukla karşılaşıldı. Covid-19'un hızlı başlangıcı, hem zaman hem de kaynakların az olduğu bir dönemde alternatif pedagojik yöntemleri zorladı. Kimya bilimlerinde kara tahta / beyaz tahta vb. araç-gereçlerin ve laboratuvar yöntem ve tekniklerinin yaygın kullanımı göz önüne alındığında, her seviyedeki kimyasal eğitimcilerin bu teknolojik eksiklikten etkilenmesi şaşırtıcı değildir. 3D tasarım ve baskı teknolojisi de, son alanyazında sayısız örnekle, kimya eğitimindeki kullanımı yaygınlaşmıştır. Bu yaklaşım, kimya eğitiminde derslerde öğrencinin anlayışını geliştirmeye yönelik olarak kullanılmaktadır. Bu teknolojinin kullanışlılığı, basitliği ve esnekliği kimya eğitimi açısından göz ardı edilemez (Davis ve Wheeler, 2020). Dolayısıyla bu çalışmada kimya dersi uzaktan eğitim süreci 3D materyallerle desteklenmiştir. Bu sayede teknolojinin eğitim ortamında kullanılabileceği kimya dersleri ile gösterilmiştir.

Kastamonu Anadolu İmam Hatip Lisesi 9. Sınıf öğrencilerinin akademik başarılarının belirlenebilmesi için uygulamadan önce ve sonra öğrencilere Kimya Başarı Testi uygulanmıştır. Ön test sonucunda deney grubundaki otuz üç öğrencinin ve kontrol grubundaki otuz öğrencinin başarı testi aritmetik ortalaması 2,70 olarak bulunmuştur. İki grup arasında fark olup olmadığını ortaya koymak amacıyla yapılan Wann Whitney U testi sonucunda $P > 0,05$ olduğu için, iki grubun başarı testi ön test puanları arasında 0,05 anlamlılık düzeyinde önemli bir farklılık olmadığı, deney ve kontrol gruplarının ön test puanları açısından birbirine denk oldukları görülmüştür.

Son test sonucunda ise deney grubundaki otuz üç öğrencinin başarı testi aritmetik ortalaması 5,82 kontrol grubundaki otuz öğrencinin aritmetik ortalaması ise 5,80 olarak bulunmuştur. İki grup arasında fark olup olmadığını ortaya koymak amacıyla yapılan bağımsız örneklem t-testi sonucu incelendiğinde $P > 0,05$ olduğu için, iki grubun başarı testi son test puanları arasında 0,05 anlamlılık düzeyinde önemli bir farklılık olmadığı görülmektedir.

Ön test ve son test aritmetik ortalamaları karşılaştırıldığında her iki grubun da aritmetik ortalamasının arttığı görülmektedir. Her iki grubun son test ortalamalarının artması ve son test puanları arasında anlamlı bir farklılığın olmamasının sebebinin; ‘hem deney hem de kontrol grubunda, kimya derslerinin işlenişi esnasında araştırmacı tarafından tasarlanarak basılan 3D modellerin ders materyali olarak kullanılması’ olarak yorumlanabilir. Covid-19 nedeniyle derslerin uzaktan eğitim yolu ile işlenmesi öğrencilerin materyalleri dokunarak incelemelerine engel olmuştur. Sınıf ortamında, yüz yüze işlenilen kimya derslerinde soyut konuların öğretilmesini somutlaştırmak, hızlı, kolay ve kalıcı öğrenme için tasarlanan 3D materyallerin kullanılmasının; hem dersin verimliliğini hem de öğrencilerin akademik başarı ortalamalarını daha da arttırabileceği düşünülmektedir. Aynı zamanda 2021 Liselere Geçiş Sistemi (LGS) sınavı analiz raporu incelendiğinde 20 soruluk Fen Bilimleri testinde Türkiye ortalamasının 8,04 gibi önceki senelere göre düşük olduğu görülmekte ve buradaki, sonuçlardan da hareketle, uzaktan eğitimin eğitim-öğretimdeki başarı düzeyine olumsuz etki yaptığı şeklinde yorumlanabilir.

Son testten on hafta sonra kimya başarı testi öğrencilere kalıcılık testi olarak uygulanmıştır. Kalıcılık testi sonucunda deney grubundaki otuz üç öğrencinin aritmetik ortalaması 5,42; kontrol grubundaki otuz öğrencinin aritmetik ortalaması ise 5,07 olarak bulunmuştur. İki grup arasında fark olup olmadığını ortaya koymak amacıyla yapılan bağımsız örneklem t-testi sonucu incelendiğinde $P > 0,05$ olduğu için, iki grubun başarı testi kalıcılık testi puanları arasında 0,05 anlamlılık düzeyinde önemli bir farklılık olmadığı görülmektedir. Son test ortalamaları ile kalıcılık testi ortalamaları karşılaştırıldığında ortalamaların birbirine yakın olduğu görülmektedir. Bu durum;

- Öğrencilerin testi samimiyetle cevapladıklarını
- Uygulanan başarı testinin doğruluğunu ve
- 3D materyal destekli eğitimin her iki grupta da kalıcılığı sağladığını göstermektedir.

5.1.2 Uygulamanın Öğrencilerin Teknoloji Öğrenimine Karşı Motivasyon ve Öz Düzenlemeleri Üzerine Etkisine Ait Sonuçlar ve Tartışma

Uygulamanın öğrencilerin teknoloji öğrenimine karşı motivasyon ve öz düzenlemeleri üzerine etkisinin olup olmadığını belirlenebilmesi için uygulamadan önce ve sonra öğrencilere teknoloji öğrenimine karşı motivasyon ve öz düzenleme ölçeği uygulanmıştır. Ön test sonucunda deney grubundaki otuz üç öğrencinin aritmetik ortalaması 147,61 ve kontrol grubundaki otuz öğrencinin aritmetik ortalaması ise 147,73 olarak bulunmuştur. İki grup arasında fark olup olmadığını ortaya koymak amacıyla yapılan Mann Whitney U testi sonucunda $P > 0,05$ olduğu için, iki grubun teknoloji öğrenimine karşı motivasyon ve öz düzenleme ölçeği ön test puanları arasında 0,05 anlamlılık düzeyinde önemli bir farklılık olmadığı, deney ve kontrol gruplarının ön test puanları açısından birbirine denk oldukları görülmüştür.

Son test sonucunda ise deney grubundaki otuz üç öğrencinin aritmetik ortalaması 147,15 ve kontrol grubundaki otuz kişinin ise aritmetik ortalaması 129,63 olarak bulunmuştur. İki grup arasında fark olup olmadığını ortaya koymak amacıyla yapılan bağımsız örneklem t-testi sonucunda $P < 0,05$ olduğu için, iki grubun teknoloji

öğrenimine karşı motivasyon ve öz düzenleme ölçeği ön test puanları arasında 0,05 anlamlılık düzeyinde anlamlı bir farklılık olduğu görülmüştür.

Deney grubu öğrencilerinin ön test ortalaması 147,61 iken son test ortalaması 147,15'tir. Kontrol grubunun ön test ortalaması 147,73 iken son test ortalaması ise 129,63'tür. Öğrencilerin uzaktan eğitime ilişkin sahip oldukları olumsuz tutumların bu duruma sebep olabileceği düşünülmektedir. Lise öğrencilerinin uzaktan eğitim ile ilgili görüşlerinin ortaya koyulmaya çalışıldığı bir araştırmada elde edilen verilere göre öğrencilerin yarıdan fazlası uzaktan eğitim almaktan mutlu değildir (Doğrukök vd., 2021). Uçkaç (2020) tarafından yapılan çalışmada ise yarıdan fazla öğrencinin (%55) uzaktan eğitim sürecini sağlıklı yönetemediğini düşündüğü görülmüştür. Hebebe vd.(2020) tarafından öğretmenlerin ve öğrencilerin uzaktan eğitim uygulamalarına bakış açılarını ortaya çıkarmak için yapılan çalışmada; sınırlı katılım, altyapı sorunları ve ekipman eksikliği gibi konular uzaktan eğitim faaliyetlerine ilişkin en dikkat çekici olumsuz görüşler arasında yer almıştır. Ayrıca araştırma sonuçları incelendiğinde eğitimden memnun olmayan öğrencilerin daha fazla olduğu dikkat çekmektedir. Keskin ve Kaya (2020) tarafından yapılan bir araştırmaya göre, web tabanlı uzaktan eğitim öğrencilerin uygulama becerilerinden çok teorik bilgi düzeylerine katkı sağlamıştır. Özellikle uygulamalı derslerde öğrenciler daha çok yüz yüze eğitime ihtiyaç duymaktadır. Öğrencilerin bilgiyi uygulama yerine sadece alarak öğrenmeleri durumunda konuları daha çabuk unutabilecekleri düşünülmektedir. Bu bulgu, uzaktan eğitimin bilgiyi alma ve kavrama aşamalarında başarılı olabileceğini, ancak uygulama, sentezleme, analiz etme ve değerlendirme adımlarında başarılı olamayacağını düşündürmektedir. Satrianingrum ve Prasetyo (2020) tarafından yapılan başka bir çalışmada uzaktan eğitimin; yetersiz tesisler ve altyapı, internet kotası satın alma yükü, internet bağlantısının yavaşlaması, öğretmenlerin kendilerini sınıftaki kadar özgür hissetmemesi gibi çeşitli olumsuzluklara neden olduğu bildirilmiştir. Kürtüncü ve Kurt (2020) tarafından yapılan araştırmada öğrencilerin çoğu uzaktan eğitimin hem teorik hem de uygulamalı dersler için yetersiz kalacağını belirtmişlerdir. Öğrencilerin uzaktan eğitimle ilgili sorunlarını; uzaktan eğitim altyapısı ile ilgili sorunlar, yüz yüze eğitim eksikliği, sınırlı internet bağlantısı, salgının neden olduğu ruh hali ve sınav kaygısı olarak belirlemişlerdir. Araştırmacı tarafından yapılan nitel görüşmeler sonucu elde edilen veriler de bu sonuçları desteklemektedir. Deney grubunda bu olumsuz

tutuma rağmen ortalamanın değişmemesinin (kontrol grubu ile karşılaşıldığında dūřmemesinin) sebebi, deney grubu öğrencileri ile yapılan teknoloji uygulamaları olduğu ve ‘bu uygulamaların öğrenci motivasyonları üzerinde olumlu bir etki yaptığı’ şeklinde yorumlanabilir.

5.1.3 Öğrencilerin Uygulamaya Yönelik Görüşleri ile İlgili Elde Edilen Nitel Bulgulara Ait Sonuçlar ve Tartışma

Öğrencilerin uygulamaya yönelik görüşlerinin belirlenebilmesi için odak grup görüşmeleri gerçekleştirilmiştir. Yapılan görüşmeler sonucunda öğrencilerin vermiş oldukları cevaplar incelenerek şu sonuçlara ulaşılmıştır:

- Okul ve okul dışı ortamlarda eğitim amaçlı teknolojik araç ve gereçlerin yerinde ve doğru kullanımı sonucunda öğrencilerin derse karşı ilgi ve isteğinin, derse karşı dikkatlerinin ve dersin verimliliğinin artabileceği,
- Özellikle uzaktan eğitime karşı olumsuz tutum geliştiren öğrenciler için eğitimde teknolojik araç gereç kullanımının yüz yüze eğitimde daha faydalı olabileceği,
- Kimya eğitiminde 3D baskı teknolojisi uygulamaları sürecinde, yapılan uygulamaların öğrencilerin ilgisini çektiği ve bu süreç içerisinde öğrencilerin tasarım yapmayı öğrendikleri,
- Özellikle tasarım yapmayı bilen öğrencilerin bu uygulama sayesinde kendilerini geliştirdikleri daha güzel ve özgün modeller tasarlayabildikleri,
- Gerçekleştirilen uygulamanın Deneyap Teknoloji Atölyeleri vb. alanlarda öğrencilere kolaylık sağladıği,
- Öğrencilerin uygulama kapsamında 3D tasarım programını öğrenmelerinin ve uygulama yapmalarının onları mutlu ettiği,
- Uygulamanın başında henüz tasarım süreci ile alakalı yeterli bilgi sahibi olmayan öğrencilerin tasarım yaparken zorlandıkları ancak zamanla kolaylıkla tasarım

programını öğrendikleri ve istedikleri modeli tasarlama becerisini kazandıkları, tasarımı ilgili uygulamadan önce bilgisi olan öğrencilerin de herhangi bir zorluk yaşamadıkları ve becerilerini geliştirdikleri,

- Yapılan uygulamanın kimya eğitime olumlu yönde bir katkısı olduğu,
- Uygulamanın, Kimya dersi kapsamında işlenen soyut kavramları somut hale getirerek öğretilen bilgilerin kalıcı olmasını sağladığı,
- Uygulamadan sonra öğrencilerin derslerde teknoloji kullanılması gerektiği ile düşüncelerinin doğrulandığı ve pekiştiği, bazı öğrencilerin farklı bir bakış açısı kazandıkları,
- Uygulamanın kimya derslerinde işlenen konuları pekiştirerek yanlış kavramları düzeltme yönünde olumlu bir etkisi olabileceği,
- Uzaktan eğitime karşı olumsuz tutum geliştiren öğrencilerde uygulamanın, eğitimde teknoloji kullanımına yönelik bakış açılarında bir değişiklik meydana getirmediği,
- 3D tasarım ve baskı teknolojisi destekli işlenen kimya dersleri uygulamaları ile müfredatta belirtildiği şekilde uygulanan kimya öğretimi uygulamaları kıyasladığında, 3D baskı teknolojisi destekli işlenen kimya derslerinin; kimya konularının akılda kalıcı olmasını sağladığı ve dolayısıyla ders başarısını olumlu yönde etkileyebileceği,
- Müfredatta belirtilen şekilde uygulanan kimya derslerine kıyasla 3D baskı teknolojisi destekli işlenen kimya derslerinin daha eğlenceli, verimli ve faydalı olduğu,
- Uygulama sayesinde öğrencilerin kimya derslerini daha çok sevdikleri,

- Öğrencilerin 3D tasarım ve baskı teknolojisi destekli işlenen kimya derslerinden sonra ‘Atom ve Periyodik Sistem’ ve ‘Kimyasal Türler Arası Etkileşimler’ ünitelerindeki konuları daha kolay ve etkili bir şekilde öğrenebildikleri,
- Bu tarz bir çalışmanın fizik, biyoloji vb. alanlarda da uygulanmasının faydalı olabileceği,
- Öğrencilerin bir kısmının grup çalışmasına olumlu bakmayıp kişisel çalışmayı tercih ettikleri; öğrencilerin bir kısmının ise dezavantajlarına rağmen grupta çalışmayı tercih ettikleri,
- Uygulamanın bazı öğrencilerin meslek seçimi üzerinde etkili olabileceği,
- Uygulamanın bazı öğrencilere bir hobi kazandırdığı,
- Öğrencilerin gerçekleştirilen uygulamadan memnun kaldıkları,
- Öğrencilerin uygulamanın süresinin uzatılması, uygulamanın bir kurs veya seçmeli ders şeklinde açılması, tasarımların baskılarının alınması ve ileri düzeydeki çeşitli tasarım programlarının da kullanılması gerektiği şeklinde önerileri olduğu,

yapılan görüşmeler sonucunda belirlenmiştir. Alanyazında benzer sonuçları destekleyen araştırmalar bulunmaktadır. Yılmaz ve Yaşar (2019) tarafından yapılan bir çalışmada öğrenciler fen eğitiminde teknoloji kullanımı ile etkili, kalıcı ve anlamlı öğrenmenin gerçekleşeceğini, öğrenme yeteneklerinin artacağını ve bilgiye ulaşmanın kolaylaşacağını belirtmişlerdir. Avinal (2019) tarafından yapılan bir çalışmada ise 3D tasarım ve baskı teknolojisi uygulamalarının öğrencilerin merak ve motivasyonlarını olumlu yönde geliştirdiği, derse karşı ilgilerinin ve derse aktif katılımlarının artırılmasına yardımcı olduğu, geleneksel öğretim yöntemlerine kıyasla öğrencilere büyük bir fayda sağladığı belirtilmiştir.

5.2 Öneriler

Yapılan araştırma sonucunda elde edilen bulgu ve sonuçlara dayalı olarak aşağıdaki önerilerde bulunulabilir:

- Bu çalışma, kimya derslerinde 3D tasarım ve baskı teknolojisi uygulamalarından ne şekilde yararlanılabileceğine dair yönlendirici bilgiler içermesi açısından önemlidir. Öğretmenler bu tür uygulamaları kullanarak farklı derslerde farklı ders etkinlikleri geliştirilebilirler.
- Çalışma kapsamında tasarlanan 3D materyaller kimya derslerinde ders materyali olarak kullanılabilir, yeni ve özgün tasarımlar geliştirilebilir.
- Okullarda 3D baskı teknolojisi ve tasarım eğitimlerini almış 3D yazıcı kullanabilen ve 3D tasarım yapabilen öğretmenlerin sayısının arttırılmasına yönelik, ilgili kurumlarca çalışmalar yapılabilir.
- Öğretim programları içerisinde 3D tasarım ve baskı teknolojisi ve kullanımı ile ilgili kazanımlar yer alabilir.
- Yapılan çalışmadan yola çıkılarak, farklı konularda, farklı branşlarda ve farklı öğrenme ortamlarında 3D tasarım ve baskı teknolojisi uygulamaları öğrencilere sunulabilir.
- Okullarda 3D baskı teknolojilerinin öğretilbileceği şekilde tasarlanmış sınıf veya öğrenme ortamlarının sayısı artırılabilir.
- Kimya eğitiminde, benzer bir çalışma yüz yüze eğitim yolu ile gerçekleştirilebilir. Öğrencilerin bilgisayar sınıflarında tasarımlarını yapmaları ve anında çıktı almaları sağlanabildiği takdirde öğrencilerin akademik başarıları, derse karşı ilgi ve istekleri artırılabilir aynı zamanda tasarım becerileri de geliştirilebilir. Ayrıca bilgisayar ve internet erişimi olmayan öğrencilerin bu sorunu ortadan kaldırılmış olur ve bu sayede daha çok öğrenciye hitap edilebilir.

- Bu çalışma Covid-19 pandemisi nedeni ile uzaktan eğitim yolu ile gerçekleştirilmiştir. Pandemi nedeniyle aynı uygulama yüz-yüze olarak yapılamadığı için yüz yüze eğitim ve uzaktan eğitim sonuçlarının karşılaştırılması yapılamamıştır. Bu duruma yönelik benzer yeni çalışmaların yapılması halinde çalışmanın genellenebilirliği üzerinde yeni değerlendirmeler yapılabilir.
- 3D tasarım etkinliklerinin uygulanacağı fizik, kimya, biyoloji, matematik vb. dersleri ile öğrencilerin uzamsal yeteneği geliştirilebilir.
- Bu çalışma, Covid-19 pandemisi gibi zorunlu kalınan durumlarda uzaktan eğitimin ne kadar önemli olduğunu göstermiştir ve bu nedenle uzaktan eğitim sürecinde de 3D baskı teknolojisi uygulamalarının kimya eğitiminde destekleyici bir öğretim yaklaşımı olabileceği düşünülebilir.
- Benzer çalışmalarda, 3D tasarım baskı teknolojisi uygulamaları daha az sayıda öğrenci grupları ile gerçekleştirilirse öğrencilerin çalışmaları daha uzun süre incelenebilir ve öğrencilere daha fazla geri bildirim verilebilir.
- Lise düzeyinde seçmeli ders veya kurs şeklinde 3D tasarım ve baskı teknolojisi uygulamaları dersleri açılabilir.
- Uygulama sonucunda bazı öğrencilerin 3D tasarıma hem merakları hem de yetenekleri olduğu görülmüştür. Bu öğrencilerin kendilerini geliştirebilecekleri ve üst düzeye taşıyabilecekleri bir teknoloji ortamı öğrencilere sunulabilir.
- Üniversite-Milli Eğitim Kurumları arasındaki işbirliğini artırmak ve özellikle proje okullarında, eğitim-öğretimde niteliği artırmak, öğrencilerin teknolojiye olan ilgilerini ve motivasyonlarını arttırmak için bu tür akademik çalışmalara daha çok yer verilebilir.

KAYNAKLAR

- Akdoğdu, E., & Uşun, S. (2017). Sınıf Öğretmenliği Lisans Programının Öğretmen Adaylarının Görüşleri Doğrultusunda Bağlam, Girdi, Süreç ve Ürün (CIPP) Modeli ile Değerlendirilmesi. *İlköğretim Online*, 16(2).
- Akgül, G. (2021). Sosyal Bilgiler Öğretmenlerinin, Ortaokul Öğrencilerinin ve Öğrenci Velilerinin Pandemi Sürecindeki Uzaktan Eğitime İlişkin Görüşleri.Yüksek Lisans Tezi, *Uşak Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü*. Uşak.
- Akgündüz, D., Aydeniz, M., Çakmakçı, G., Çavaş, B., Çorlu, M. S., Öner, T., & Özdemir, S. (2015). *STEM eğitimi Türkiye raporu*. İstanbul: Scala Basım.
- Akıllı, M., & Seven, S. (2014). 3D bilgisayar modellerinin akademik başarıya ve uzamsal canlandırmaya etkisi: atom modelleri. *Turkish Journal of Education*, 3(1), 11-23.
- Ardıç, E., & Altun, A. (2017). Sosyal Bilgiler Dersleri İçin Üç Boyutlu Bir Öğretim Materyali: Kâğıt Modeller. *Uluslararası Alan Eğitimi Dergisi*, 3(1), 75-87.
- Aslan, D. (2015). Fen Liselerindeki Öğretim Sürecinin Yapılandırmacı Yaklaşım Açısından Değerlendirilmesi. Doktora Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü*. İstanbul.
- Avinal, M. (2019). Üç Boyutlu Yazıcı Teknolojisiyle Tasarlanan Etkinliklerin Vücudumuzdaki Sistemler Ünitesinin Öğretimine Etkisinin İncelenmesi. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi. *Kastamonu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. Kastamonu.
- Avcıoğlu, H. (2020). *Bir Şirket, 3D Yazıcıyla 175 Metrekarelik Evi 48 Saatte İnşa Etti*. <https://www.webtekno.com/sq4d-3d-yazici-175-metrekarelik-ev-48-saat-insa-etti-h83735.html>, Erişim tarihi: 03/05/2020.
- Aydın, M. (2011). Fen ve teknoloji öğretmenleri için geliştirilen proje tabanlı öğretim yöntemi konulu bir destek programının etkilerinin araştırılması. Yayınlanmamış Doktora Tezi, *Karadeniz Teknik Üniversitesi Eğitim Bilimleri Enstitüsü*. Trabzon.
- Bacanak, A., Karamustafaoğlu, O., & Köse, S. (2003). Yeni Bir Bakış: Eğitimde Teknoloji Okuryazarlığı. *Pamukkale Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 14 (14), 191-196.

- Baden, T., Chagas, A. M., Gage, G., Marzullo, T., Prieto-Godino, L. L., & Euler, T. (2015). Open Labware: 3-D printing your own lab equipment. *PLoS Biol*, 13(3).
- Balcıoğlu, Y.S. (2014). 3 Boyutlu Yazıcı ve Sinemada Kullanımı. Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi. *Yaşar Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü*. İzmir.
- Bakan, P. (2021). Özel Gereksinimli Çocuk Sahibi Annelerin Covid-19 Pandemi Deneyimlerine İlişkin Görüşlerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, *Marmara Üniversitesi Eğitim Bilimleri Enstitüsü*. İstanbul.
- Baki, O. (2020a). *Bilim İnsanları, 3D Yazıcı ile Gerçek İnsan Korneaları Üretti*. <https://www.webtekno.com/3d-yaziciyla-kornea-uretildi-h86538.html>, Erişim tarihi: 03/05/2020.
- Baki, O. (2020b). *3D Yazıcıyla İnşa Edilen Bina, Guinness Rekorlar Kitabı'na Girdi*. <https://www.webtekno.com/3d-yazici-bina-guinness-rekoru-h86726.html>, Erişim tarihi: 03/05/2020.
- Baki, A., & Gökçek, T. (2012). Karma yöntem araştırmalarına genel bir bakış. *Elektronik Sosyal Bilimler Dergisi (elektronik)*, 11(42), 1-21.
- Bardakçı, S., Kılıçer, K., Akbulut, C., Çağlar, A., & Kocadağ Ünver, T. (2018). Üç Boyutlu Yazıcı ve Öğretim Sürecinde Kullanımı. B. Akkoyunlu, A. İşman ve H.F.Odabaşı (Eds.), *Eğitim Teknolojileri Okumaları*. 1. Baskı, Ankara: Pegem Akademi.
- Bharti, N., & Singh, S. (2017). Three-dimensional (3D) printers in libraries: Perspective and preliminary safety analysis. *Journal of chemical education*, 94(7), 879-885.
- Buehler, E., Kane, S. K., & Hurst, A. (2014). ABC and 3D: opportunities and obstacles to 3D printing in special education environments. In *Proceedings of the 16th international ACM SIGACCESS conference on Computers & accessibility*, 107-114.
- Campbell, T., Williams, C., Ivanova, O., & Garrett, B. (2011). Could 3D printing change the world. *Technologies, Potential, and Implications of Additive Manufacturing*, Atlantic Council, Washington, DC, 3.
- Canessa, E., Fonda, C., Zennaro, M., & Deadline, N. (2013). Low-cost 3D printing for science, education and sustainable development. *Low-Cost 3D Printing*, 11.
- Cano, L. M. (2015). *3D printing: a powerful new curriculum tool for your school library*. California: ABC-CLIO.

- Chamizo, J. A. (2013). A new definition of models and modeling in chemistry's teaching. *Science & Education*, 22(7), 1613-1632.
- Carroll, F. A., & Blauch, D. N. (2017). 3D Printing of Molecular Models with Calculated Geometries and p Orbital Isosurfaces. *Journal of Chemical Education*, 94(7), 886-891.
- Carroll, F. A., & Blauch, D. N. (2018). Using the Force: Three-Dimensional Printing a π -Bonding Model with Embedded Magnets. *Journal of Chemical Education*, 95(9), 1607-1611.
- Casas, L., & Estop, E. (2015). Virtual and printed 3D models for teaching crystal symmetry and point groups. *Journal of Chemical Education*, 92(8), 1338-1343.
- Chery, D., Mburu, S., Ward, J., & Fontecchio, A. (2015). Integration of the arts and technology in GK-12 science courses. In *2015 IEEE Frontiers in Education Conference (FIE)*, 1-4. IEEE.
- Cooper, A. K., & Oliver-Hoyo, M. T. (2017). Creating 3D physical models to probe student understanding of macromolecular structure. *Biochemistry and Molecular Biology Education*, 45(6), 491-500.
- Crocker, L., & Algina, J. (1986). *Introduction to classical and modern test theory*. Holt, Rinehart and Winston, 6277 Sea Harbor Drive, Orlando, FL 32887.
- Çağlar, S. (2019). 2005 yılı sonrası Türkiye sinema endüstrisi üzerine bir odak grup çalışması. Yüksek Lisans Tezi, *Maltepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü*. İstanbul.
- Çalışkan, M. G. (2015). Üç Boyutlu Yazıcılar ve Gelecekte Yar Atacağı Olası Fikri Haklar Çatışmaları. *FMR Dergisi*, 1.
- Çelik, D. (2015). Üç Boyutlu Yazıcı Tasarımı, Prototipi ve Tersine Mühendislik Uygulamaları. Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. Karabük.
- Çepni, S. (2012). *Araştırma ve Proje Çalışmalarına Giriş*. Altıncı baskı, Trabzon: Celepler Matbaacılık.
- Çopur, S., & Türkdoğan, A. (2021). 3D Yazıcı Kalem Teknolojisinin Matematik Dersinde Uygulanmasından Yansımalar. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 18(1), 106-136.
- Davis, E. J., & Wheeler, K. (2020). Use of 3D printing to manufacture document camera mounts in support of online education shifts during the COVID-19 pandemic. *Journal of Chemical Education*, 97, 2691-2695.

- de Cataldo, R., Griffith, K. M., & Fogarty, K. H. (2018). Hands-On Hybridization: 3D-Printed Models of Hybrid Orbitals. *Journal of Chemical Education*, 95(9), 1601-1606.
- Dean, N. L., Ewan, C., & McIndoe, J. S. (2016). Applying Hand-Held 3D Printing Technology to the Teaching of VSEPR Theory. *Journal of Chemical Education*, 93(9), 1660-1662.
- Dean, N. L., Ewan, C., Braden, D., & McIndoe, J. S. (2019). Open-source laser-cut-model kits for the teaching of molecular geometry. *Journal of Chemical Education*, 96(3), 495-499.
- Deksi, A. (2016). Olağanüstü Durumlarda Barınma İçin Yenilikçi Bir Yaklaşım Önerisi: 3d Yazıcı İle Uygulama. Doktora Tezi, *İstanbul Aydın Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. İstanbul.
- Demir Kuzu, E. B., Çaka, C., Tuğtekin, U., Demir, K., İslamoğlu, H., & Kuzu, A. (2016). Üç boyutlu yazdırma teknolojilerinin eğitim alanında kullanımı: Türkiye'deki uygulamalar. *Ege Eğitim Dergisi*, 17(2), 481-503.
- Deniz, G. (2020). Programlama Eğitiminde Tinkercad Kullanımının Öğrencilerin Bilgi İşlemsel Düşünme Becerisine ve Algılarına Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Eğitim Bilimleri Enstitüsü*. Ankara.
- Deniz, S. (2021). Öğretmenlere Yönelik Uzaktan Eğitim Tutum Ölçeğinin Geliştirilmesi ve Öğretmen Tutumlarının Çeşitli Değişkenlere Göre İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, *Gaziantep Üniversitesi Eğitim Bilimleri Enstitüsü*. Gaziantep.
- Devetak, I., Lorber, E. D., Jurišević, M., & Glažar, S. A. (2009). Comparing Slovenian year 8 and year 9 elementary school pupils' knowledge of electrolyte chemistry and their intrinsic motivation. *Chemistry Education Research and Practice*, 10(4), 281-290.
- Doğrukök, B., Kurnaz, A., Barışık, C. Ş., & Kaynar, H. Lise Öğrencilerinin Uzaktan Eğitime İlişkin Algılarının Farklı Değişkenler Açısından Değerlendirilmesi. *Stratejik ve Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 5(1), 146-169.
- Düşkün, İ., & Ünal, İ. (2015). Modelle öğretim yönteminin fen eğitimindeki yeri ve önemi. *Mehmet Akif Ersoy, Üniversitesi Eğitim Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 4(6), 1-18.
- Eisenberg, M. (2013). 3D printing for children: What to build next? *International Journal of Child-Computer Interaction*, 1(1), 7-13.

- Eriksen, K., Nielsen, B. E., & Pittelkow, M. (2020). Visualizing 3D Molecular Structures Using an Augmented Reality App. *Journal of Chemical Education*, 97(5), 1487–1490.
- Erbaş, Ç., & Demirer, V. (2014). Eğitimde artırılmış gerçeklik uygulamaları: Google Glass örneği. *Journal of Instructional Technologies and Teacher Education*, 3(2), 8-16.
- Erlina, Cane, C., & Williams, D. P. (2018). Prediction! The VSEPR Game: Using Cards and Molecular Model Building To Actively Enhance Students' Understanding of Molecular Geometry. *Journal of Chemical Education*, 95(6), 991-995.
- Eroğlu, S., & Bektaş, O. (2016). STEM eğitimi almış fen bilimleri öğretmenlerinin stem temelli ders etkinlikleri hakkındaki görüşleri. *Eğitimde Nitel Araştırmalar Dergisi*, 4(3), 43-67.
- Fernandes, S. C., & Simoes, R. (2016). Collaborative use of different learning styles through 3D printing. In *2016 2nd International Conference of the Portuguese Society for Engineering Education (CISPEE)*, 1-8.
- Field, A. (2013). *Discovering statistics using IBM SPSS statistics*. sage.
- Fisher, N. B., Charbonneau, J. C., & Hurst, S. K. (2016). Rapid Creation of Three-Dimensional, Tactile Models from Crystallographic Data. *Journal of Crystallography*, 2016.
- Fonda, C. (2013). A Practical Guide to Your First 3D Print. Low-cost 3D Printing for Science, Education and Sustainable Development. E. Canessa, C. Fonda & M. Zennaro (Eds.), *Low-cost 3D printing for science, education and sustainable development*. ICTP: The Abdus Salam International Centre for Theoretical Physics.
- Ford, S., & Minshall, T. (2019). Invited review article: Where and how 3D printing is used in teaching and education. *Additive Manufacturing*, 25, 131-150.
- Fourches, D., & Feducia, J. (2018). Student-guided three-dimensional printing activity in large lecture courses: a practical guideline. *Journal of Chemical Education*, 96(2), 291-295.
- Gardner, A., & Olson, A. (2016). 3D Printing of Molecular Models. *Journal of Biocommunication*, 40(1), 15-21.
- Ghaffari, S. (2006). A laboratory experiment using molecular models for an introductory chemistry class. *Journal of chemical education*, 83(8), 1182.

- Giere, R. N. (2006). *Scientific perspectivism*. Chicago: University of Chicago Press.
- Gillespie, R.J. (1997). The Great Ideas of Chemistry. *Journal of Chemical Education*, 74(7), 862-864.
- Gökçearslan, A. (2017). Üç Boyutlu Yazıcının Grafik Tasarım Alanına Yansımaları. *Fine Arts*, 12(2), 135-148.
- Griffey, J. (2014). Creating and printing files. *3-D Printers for Libraries*, 50(5), 16-22.
- Griffith, K. M., Cataldo, R. D., & Fogarty, K. H. (2016). Do-it-yourself: 3D models of hydrogenic orbitals through 3D printing. *Journal of Chemical Education*, 93(9), 1586-1590.
- Gross, B. C., Erkal, J. L., Lockwood, S. Y., Chen, C., & Spence, D. M. (2014). Evaluation of 3D printing and its potential impact on biotechnology and the chemical sciences. *Analytical Chemistry*, 86(7), 3240-3253.
- Grumman, A. S., & Carroll, F. A. (2019). 3D-printing electron density isosurface models and high-resolution molecular models based on van der Waals radii. *Journal of Chemical Education*, 96(6), 1157-1164.
- Gümüş, İ., Demir, Y., Koçak, E., Kaya, Y., & Kırıcı, M. (2008). Modelle Öğretimin Öğrenci Başarısına Etkisi. *Erzincan Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 10(1).
- Güngördü, N. (2021). Bilişim Teknolojileri Öğretmenlerinin Genel Özyeterlikleri İle Uzaktan Eğitimde Kodlama Etkinliklerindeki Özyeterlik Algılarının İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, *Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. İstanbul.
- Güneş, B., Gülçiçek, Ç., & Bağcı, N. (2004). Eğitim fakültelerindeki fen ve matematik öğretim elemanlarının model ve modelleme hakkındaki görüşlerinin incelenmesi. *Journal of Turkish Science Education*, 1(1), 35-48.
- Güneş, N. (2017). 3 Boyutlu Yazıcılar İçin Test Modeli Geliştirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, *Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. Kocaeli.
- Gür, Y. (2014). Additive manufacturing of anatomical models from computed tomography scan data. *MCB: Molecular & Cellular Biomechanics*, 11(4), 249-258.
- Hall, S., Grant, G., Arora, D., Karaksha, A., McFarland, A., Lohning, A., & Anoopkumar-Dukie, S. (2017). A pilot study assessing the value of 3D printed

molecular modelling tools for pharmacy student education. *Currents in Pharmacy Teaching and Learning*, 9(4), 723-728.

Hançer, H. (2006). Fen ve Teknoloji Eğitimi. Ö. Taşkın & Ö. Koray (Eds.), *Fen ve Teknoloji Öğretimi*. İstanbul: Lisans yayıncılık.

Harre', R. (2004). *Modeling: Gateway to the unknown*. Amsterdam: Elsevier.

Hazır, A. & Türkmen, L. (2008). İlköğretim 5. Sınıf Öğrencilerinin Bilimsel Süreç Beceri Düzeyleri. *Selçuk Üniversitesi Ahmet Keleşoğlu Eğitim Fakültesi Dergisi*, 26, 81-96.

Hebebe, M. T., Bertiz, Y., & Alan, S. (2020). Investigation of views of students and teachers on distance education practices during the coronavirus (COVID-19) pandemic. *International Journal of Technology in Education and Science*, 4(4), 267-282.

Hofmann, M. (2014). 3D printing gets a boost and opportunities with polymer materials. *ACS Macro Letters*, 3(4), 382-386.

Horowitz, S. S., & Schultz, P. H. (2014). Printing space: Using 3D printing of digital terrain models in geosciences education and research. *Journal of Geoscience Education*, 62(1), 138-145.

Hughes, B., Mona, L., Wilson, G., Seamans, J., McAninch, S., & Stout, H. (2017). Every day a new 3D printing material. *Technology and Engineering Teacher*, 76 (5), 8-13.

Hurwitz, C. L., Abegg, G., Garik, P., & Nasr, R. (2001). High School Students' Understanding of the Quantum Basis of Chemistry. Home Page of "The Quantum Science Across Disciplines".

İlhan, A., Çelik, H. C., & Aslan, A. (2016). Üniversite öğrencilerinin bilimsel araştırmaya yönelik tutumlarının incelenmesi. *İnönü Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 17(2).

Jamie, D. (2018). *3D Printing vs CNC machining: Which is best for prototyping?* <https://www.3dnatives.com/en/3d-printing-vs-cnc-160320184/>, Erişim tarihi: 03/05/2020.

Jones, O. A., & Spencer, M. J. (2018). A simplified method for the 3D printing of molecular models for chemical education. *Journal of Chemical Education*, 95(1), 88-96.

Jones, O. A., Stevenson, P. G., Hameka, S. C., Osborne, D. A., Taylor, P. D., & Spencer, M. J. (2021). Using 3D Printing to Visualize 2D Chromatograms and

NMR Spectra for the Classroom. *Journal of Chemical Education*, 98, 1024–1030.

Kahraman, S., & Demir, Y. (2011). Bilgisayar destekli 3D öğretim materyallerinin kavram yanlışları üzerindeki etkisi: Atomun yapısı ve orbitaller. *Erzincan Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 13(1), 173-188.

Kaliakin, D. S., Zaari, R. R., & Varganov, S. A. (2015). 3D printed potential and free energy surfaces for teaching fundamental concepts in physical chemistry. *Journal of Chemical Education*, 92(12), 2106-2112.

Karaduman, H. (2017). Sosyal Bilgiler Eğitiminde 3 Boyutlu Yazıcıların Kullanımı. *Anadolu Üniversitesi Eğitim Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 7(3), 590-625.

Karakoç, N. (2020). 48 Saat İçinde İnşa Edilebilen, 3D Baskı Yüzer Ev. <https://www.arkitera.com/haber/48-saat-icinde-insa-edilebilen-3d-baski-yuzer-ev/>, Erişim Tarihi: 31/05/2020.

Kaya, E. (2016). Çalışan Kadınların Kozmetik Ürün Tüketimi Konusundaki Algı ve Davranışlarının Odak Grup Görüşmeleri Yoluyla İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, *Nişantaşı Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü*. İstanbul.

Kılınç, Ü. (2020). 3 Boyutlu Baskı Yöntemiyle Üretilen Bitkisel Et Tanıtıldı. <https://www.webtekno.com/3-boyutlu-baski-yontemiyle-uretilen-bitkisel-et-h96145.html>, Erişim Tarihi:05/07/2020.

Kietzmann, J., Pitt, L., & Berthon, P. (2015). Disruptions, decisions, and destinations: Enter the age of 3-D printing and additive manufacturing. *Business Horizons*, 58(2), 209-215.

Kim, Y., Yoon, C., Ham, S., Park, J., Kim, S., Kwon, O., & Tsai, P. J. (2015). Emissions of nanoparticles and gaseous material from 3D printer operation. *Environmental science & technology*, 49(20), 12044-12053.

Kruth, J. P., Leu, M. C., & Nakagawa, T.(1998). Progress in Additive Manufacturing and Rapid Prototyping. *Cirp Annals*, 47(2), 525-540.

Kostakis, V., Niaros, V., & Giotitsas, C. (2015). Open source 3D printing as a means of learning: An educational experiment in two high schools in Greece. *Telematics and informatics*, 32(1), 118-128.

Kökhan, S. & Özcan, U. (2018). 3D yazıcıların eğitimde kullanımı. *Bilim, Eğitim, Sanat ve Teknoloji Dergisi*, 2(1), 81-85,

- Kürtüncü, M., & Kurt, A. (2020). COVID-19 pandemisi döneminde hemşirelik öğrencilerinin uzaktan eğitim konusunda yaşadıkları sorunlar. *Avrasya Sosyal ve Ekonomi Araştırmaları Dergisi*, 7(5), 66-77.
- LeSuer, R. J. (2018). Incorporating Tactile Learning into Periodic Trend Analysis Using Three-Dimensional Printing. *Journal of Chemical Education*, 96(2), 285-290.
- Lickiss, M. (2015). *Pictures of the molecular World*. <https://edu.rsc.org/feature/pictures-of-the-molecular-world/2000103.article>, Erişim tarihi: 04/05/2020.
- Liou, P.Y., & Kuo, P.J. (2014). Validation of an Instrument to Measure Students' Motivation and Self-Regulation Towards Technology Learning. *Research in Science & Technological Education*, 32(2), 79-96.
- Lolur, P., & Dawes, R. (2014). 3D printing of molecular potential energy surface models. *Journal of Chemical Education*, 91(8), 1181-1184.
- Lütolf, G. (2013). Using 3D Printers at School: the Experience of 3drucken.ch. Canessa, C. Fonda & M. Zennaro (Eds.), *Low-cost 3D printing for science, education and sustainable development*. ICTP: The Abdus Salam International Centre for Theoretical Physics.
- Martens, J., & Klauss, L. (2013). Perpetual Plastic Project. E. Canessa, C. Fonda & M. Zennaro (Eds.), *Low-cost 3D printing for science, education and sustainable development*. ICTP: The Abdus Salam International Centre for Theoretical Physics.
- Millî Eğitim Bakanlığı (2020). Erişim adresi: <http://www.meb.gov.tr/basinaciklamasi/haber/21601/tr>.
- Millî Eğitim Bakanlığı [TTKB]. (2005). *İlköğretim 1-5. Sınıf Programları Tanıtım El Kitabı*. Ankara: Devlet Kitapları.
- Millî Eğitim Bakanlığı [TTKB]. (2013). Fen Bilimleri Dersi Öğretim Programı (3, 4, 5, 6, 7 ve 8. sınıflar). Ankara.
- Millî Eğitim Bakanlığı [TTKB]. (2018). Fen Bilimleri Dersi Öğretim Programı (İlkokul ve Ortaokul 3, 4, 5, 6, 7 ve 8. Sınıflar). Ankara.
- Millî Eğitim Bakanlığı [TTKB]. (2018). Ortaöğretim Kimya Dersi Öğretim Programı (9,10,11 ve 12. Sınıflar). Ankara.
- Morrison, J. (2006). Attributes of STEM education: The student, the school, the classroom. *TIES (Teaching Institute for Excellence in STEM)*, 20.

- Mutlu, S. (2012). Bilimsel Süreç Becerileri Odaklı Fen ve Teknoloji Eğitiminin İlköğretim Öğrencilerinin Bilimsel Süreç Becerileri, Motivasyon, Tutum ve Başarı Üzerine Etkileri. Yüksek Lisans Tezi, *Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. Edirne.
- Muise, D. F., Stegeman, J. T., & Calnan, J. V. (2018). Advancing Chemistry Education with 3D Printed Tools. *Worcester Polytechnic Institute*.
- Nebil, F. S. (2020). Sayıları 600'e Varan Gönüllü, Doktorların Maskelerini Ücretsiz "3D" ile Basıyor. <https://turk-internet.com/sayilari-600e-varan-gonullu-doktorlarin-maskelerini-ucretsiz-3d-ile-basiyor/>, Erişim tarihi: 03/05/2020
- Niece, B. K. (2019). Custom-Printed 3D Models for Teaching Molecular Symmetry. *Journal of Chemical Education*, 96(9), 2059-2062.
- Oktay, K. (2015). Ergitmeli Yığılma Yöntemiyle Üretim Yapan 3D Yazıcılarda Çift Filament Süren Ekstruder Tasarımı. Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. İstanbul.
- Oltean, S. E. (2017). A Practical Approach to the Design And Implementation of a Low Cost 3d Printer Using Open Source Technologies. *Scientific Bulletin of the Petru Maior University of Targu Mures*, 14(2).
- Ostler, E., (2012). 21st century STEM education: a tactical model for long-range success. *International Journal of Applied Science and Technology*, 2(1), 28-33.
- Öğülmüş, A. S. (2017). Scara Tipi Üç Boyutlu Yazıcının Tasarımı ve Analizi. Yüksek Lisans Tezi, *Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. Konya.
- Özdal, R. (2020). A Swift Change In Education: Synchronous And Asynchronous English Language Learning During Covid-19 Pandemic. Master's thesis, Atatürk University Graduate School Of Social Sciences. Erzurum.
- Özgüven, S. (2015). Seramik Sanatında Üç Boyutlu Yazıcıların Yeni Bir İfade Biçimi Olarak Kullanılması. *İdil Sanat ve Dil Dergisi*, 4(18), 167-183.
- Özmen, H. (2004). Fen öğretiminde öğrenme teorileri ve teknoloji destekli yapılandırmacı (constructivist) öğrenme. *The Turkish Online Journal of Educational Technology*, 3(1), 100-111.
- Öztürk, L. (2019). Dünya'nın En Büyük 3D Baskı Mahallesi. https://www.chip.com.tr/haber/dunyain-en-buyuk-3d-baski-mahallesi_85517.html, Erişim tarihi:03/05/2020.

- Öztürk, L. (2020). *3D Baskı, Yeni Gelişme İle Birlikte Hayatları Kurtarabilir*. https://www.chip.com.tr/haber/3d-baski-yeni-gelisme-ile-birlikte-hayatları-kurtarabilir_86116.html, Erişim tarihi:03/05/2020.
- Paukstelis, P.J.(2018). MolPrint3D: Enhanced 3D Printing of Ball-and-Stick Molecular Models. *J. Chem. Education*, 95 (1),169–172.
- Peels, J. (2017). *3D printing in education: How can 3D printing help students?* <https://3dprint.com/165585/3d-printing-in-education/>, Erişim Tarihi: 21.04.2018.
- Penny, M. R., Cao, Z. J., Patel, B., Sil dos Santos, B., Asquith, C. R., Szulc, B. R., ... & Hilton, S. T. (2017). Three-Dimensional Printing of a Scalable Molecular Model and Orbital Kit for Organic Chemistry Teaching and Learning. *Journal of Chemical Education*, 94(9), 1265-1271.
- Pernaa, J., & Wiedmer, S. (2019). A systematic review of 3D printing in chemistry education—analysis of earlier research and educational use through technological pedagogical content knowledge framework. *Chemistry Teacher International*.
- Pinger, C. W., Geiger, M. K., & Spence, D. M. (2019). Applications of 3D-Printing for Improving Chemistry Education. *Journal of Chemical Education*, 97(1), 112-117.
- Polat, E. (2016). 3D Printer (Üç Boyutlu Yazıcı). Bitirme Tezi, *Karabük Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mekatronik Mühendisliği*. Karabük.
- Porter Jr, L. A., Chapman, C. A., & Alaniz, J. A. (2017). Simple and inexpensive 3D printed filter fluorometer designs: User-friendly instrument models for laboratory learning and outreach activities. *J. Chem. Educ.*, 94(1), 105-111.
- Porter Jr, L. A., Washer, B. M., Hakim, M. H., & Dallinger, R. F. (2016). User-friendly 3D printed colorimeter models for student exploration of instrument design and performance. *J. Chem. Educ.*, 93(7), 1305-1309.
- Raddatz, L., Austerjost, J., & Beutel, S. (2018). 3D-Druck: Chancen, Möglichkeiten, Risiken: Wie eine neue Technologie die Zukunft der Biotechnologie und Chemie prägen könnte. *Chemie in unserer Zeit*, 52(1), 42-50.
- Raiyn, J., & Rayan, A. (2015). How chemicals’ drawing and modeling improve chemistry teaching in colleges of education. *World Journal of Chemical Education*, 3(1), 1-4.
- Rayna, T., & Striukova, L. (2016). From rapid prototyping to home fabrication: How 3D printing is changing business model innovation. *Technological Forecasting and Social Change*, 102, 214-224.

- Renner, M., & Griesbeck, A. (2020). Think and Print: 3D Printing of Chemical Experiments. *Journal of Chemical Education*, 97(10), 3683-3689.
- Robertson, M. J., & Jorgensen, W. L. (2015). Creating and using concepts in physical organic chemistry with 3D printed orbitals. *Journal of Chemical Education*, 92(12), 2113-2116.
- Rossi, S., Benaglia, M., Brenna, D., Porta, R., & Orlandi, M. (2015). Three dimensional (3D) printing: a straightforward, user-friendly protocol to convert virtual chemical models to real-life objects. *Journal of Chemical Education*, 92(8), 1398-1401.
- Saka, A. (2021). Okul Müdürlerinin Kriz Yönetimi: Covid 19 Sürecindeki Tutumları. Yüksek Lisans Tezi, *Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü*. Rize.
- Salman, U.A. (2020a). Türkiye’de koronavirüsün Eğitime Etkileri-III, Uzaktan Eğitimin İlk İki Haftası Nasıl Geçti? Erişim adresi: <https://www.egitimreformugirisimi.org/turkiyede-koronavirusunegitime-etkileri-iiiuzaktan-egitimin-ilk-iki-haftasi-nasil-gecti/>,web
- Sarıkaya, M. (2007). Kolay sağlanabilir malzemelerle molekül model yapımı. *Türk Eğitim Bilimleri Dergisi*, 5(3), 513-537.
- Savchenkov, A. V. (2020). Designing three-dimensional models that can be printed on demand and used with students to facilitate teaching molecular structure, symmetry, and related topics. *Journal of Chemical Education*, 97(6), 1682–1687.
- Satrianingrum, A. P., Prasetyo, L. (2020). Persepsi Guru Dampak Pandemi Covid-19 terhadap Pelaksanaan Pembelajaran Daring di PAUD. *Jurnal Obsesi : Jurnal Pendidikan Anak Usia Dini*, 5(1),633-640.
- Scalfani, V. F., & Vaid, T. P. (2014). 3D printed molecules and extended solid models for teaching symmetry and point groups. *Journal of Chemical Education*, 91(8), 1174-1180.
- Scalfani, V. F., Turner, C. H., Rupar, P. A., Jenkins, A. H., & Bara, J. E. (2015). 3D Printed Block Copolymer Nanostructures. *Journal of Chemical Education*, 92(11), 1866-1870.
- Scalfani, V. F., Williams, A. J., Tkachenko, V., Karapetyan, K., Pshenichnov, A., Hanson, R. M., ... & Bara, J. E. (2016). Programmatic conversion of crystal structures into 3D printable files using Jmol. *Journal of cheminformatics*, 8(1), 1-8.

- Schelly, C., Anzalone, G., Wijnen, B., & Pearce, J. M. (2015). Open-source 3-D printing technologies for education: Bringing additive manufacturing to the classroom. *Journal of Visual Languages & Computing*, 28, 226-237.
- Seok, P., & Jin, S. (2011). What teachers of science need to know about models: An overview. *International Journal of Science Education*, 33, 1109–1130.
- Senge, P.M. (2004). *The Fifth Discipline: The Art and Practice of the Learning Organization*. New York: Doubleday Dell Publishing Group.
- Sezgin, M. (2009). İş Tatmini Üzerinde Bir Odak Grup Çalışması. Yüksek Lisans Tezi, *Celal Bayar Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü*. Manisa.
- Singhal, I., & Balaji, B. S. (2019). Creating Atom Representations Using Open-Source, Stackable 3D Printed Interlocking Pieces with Tactile Features to Support Chemical Equation Writing for Sighted and Visually Impaired Students. *Journal of Chemical Education*, 97(1), 118-124.
- Smiar, K., & Mendez, J. D. (2016). Creating and Using Interactive, 3D-Printed Models to Improve Student Comprehension of the Bohr Model of the Atom, Bond Polarity, and Hybridization. *Journal of Chemical Education*, 93(9), 1591-1594.
- Snyder, T. J., Andrews, M., Weislogel, M., Moeck, P., Stone-Sundberg, J., Birkes, D., ... & Friedman, S. (2014). 3D Systems' Technology Overview and New Applications in Manufacturing, Engineering, Science, and Education. *3D printing and additive manufacturing*, 1(3), 169-176.
- Soldatov, A. (2015). 3D-printers in education. In *Sborník příspěvků z mezinárodní studentské odborné Konference Olympiáda techniky Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni*, 65-67. ISBN 978-80-261-0519-0.
- Sönmez, V. (2003). *Öğretmenlik mesleğine giriş*. Ankara: Anı Yayıncılık.
- Sönmez, S., Kesen, U., & Dalgıç, C. (2018). 3 Boyutlu Yazıcılar. In *6th International Printing Technologies Symposium*.
- Suat, Ü., Coştu, B., & Alipaşa, A. (2010). Secondary school students' misconceptions of covalent bonding. *Journal of Turkish Science Education*, 7(2), 3-29.
- Stevens, K. E., Stevens, R. E., & Grady, R. L. (2021). Facilitating Student–Instructor and Student–Student Interaction During Remote Learning Using a 3D Printed Mirror Mount. *Journal of Turkish Science Education*, 98, 1436–1441.
- Szulzyk-Cieplak, J., Duda, A., & Sidor, B. (2014). 3D Printers–New Possibilities in Education. *Advances in Science and Technology Research Journal*, 8(24), 96-101.

- Şahin, K., & Turan, B. O. (2018). Üç Boyutlu Yazıcı Teknolojilerinin Karşılaştırmalı Analizi. *Stratejik ve Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 2(2), 97-116.
- Şekerci, A. R. (2017). Teknoloji Öğrenimine Karşı Motivasyon ve Öz-düzenleme Ölçeği'nin (TÖMÖD) Türkçe'ye Uyarlanması: Geçerlik ve Güvenirlik Çalışması. *Bayburt Eğitim Fakültesi Dergisi*, 12(24), 487-514.
- Şimşir, N., Ünal, A., Akyüz, H. İ., & Yerlikaya, Z. (2021). 3D Printing Technology In Education And Some Examples Of 3D Printer Technology Materials Applied In Chemistry Education. *Uluslararası Alan Eğitimi Dergisi*, 7(1), 156-184.
- Tabassum, T., Iloska, M., Scuereb, D., Taira, N., Jin, C., Zaitsev, V., ... & Kim, T. (2018). Development and application of 3D printed mesoreactors in chemical engineering education. *Journal of Chemical Education*, 95(5), 783-790.
- Talanquer, V. (2013). Chemistry education: Ten facets to shape us. *Journal of Chemical Education*, 90(7), 832-838.
- Tasker, R. (2016). ConfChem Conference on Interactive Visualizations for Chemistry Teaching and Learning: Research into Practice-Visualizing the Molecular World for a Deep Understanding of Chemistry. *Journal of Chemical Education*, 93(6), 1152-1153.
- Tatlı, C. (2021). Uzaktan Eğitimde Farklı Etkileşim Türlerinin Eğitsel Denkliklerinin İncelenmesi. Doktora Tezi, *Ankara Üniversitesi Eğitim Bilimleri Enstitüsü*. Ankara.
- Teplukhin, A., & Babikov, D. (2014). Visualization of potential energy function using an isoenergy approach and 3D prototyping. *Journal of Chemical Education*, 92(2), 305-309.
- Tezel Yalkut, D. (2020). A Ux Analysis Study Into 'Bıgbluebutton' With Yıldız Technical University School Of Foreign Languages Users Amid Covid-19 Precautions. Master's thesis, *Yıldız Technical University Graduate School Of Social Sciences*. İstanbul.
- Thomas, T. A. (2014). Elementary teachers' receptivity to integrated science, technology, engineering, and mathematics (STEM) education in the elementary grades. Doctoral dissertation.
- Toprak, F. (2011). Fen Bilgisi Öğretmenliği Genel Kimya Laboratuvarında 3E ve 5E Öğretim Modellerinin Uygulanmasının Öğrencilerin Akademik Başarısı, Bilimsel Süreç Becerileri ve Derse Karşı Tutumlarına Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, *Ondokuz Mayıs Üniversitesi Eğitim Bilimleri Enstitüsü*. Samsun.

- Tufan, K. E. (2018). Türkiye’de sosyal medya kullanımı ve popüler instagram annelerinin etkileri üzerine odak grup araştırması. Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Ticaret Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü*. İstanbul.
- Trust, T., & Maloy, R. W. (2017). Why 3D print? The 21st-century skills students develop while engaging in 3D printing projects. *Computers in the Schools*, 34(4), 253-266.
- Tyson, A. L., Hilton, S. T., & Andreae, L. C. (2015). Rapid, simple and inexpensive production of custom 3D printed equipment for large-volume fluorescence microscopy. *International journal of pharmaceutics*, 494(2), 651-656.
- Uçkaç, K. Sağlık meslek lisesi öğrencilerinde covid-19 pandemi sürecine bağlı uzaktan eğitimin öğrenci duygu ve davranışları üzerindeki etkileri. *Sağlık Bilimlerinde Eğitim Dergisi*, 3(1), 34-44.
- Ulutan, E. (2018). *Dünyada Eğitim Trendleri ve Ülkemizde STEM Öğrenme Etkinlikleri: Meb K12 Okulları Örneği*. Yenilik ve Eğitim Teknolojileri Genel Müdürlüğü, MEB.
- URL-1. Corona için 3D yazıcıyla siper! Sağlık çalışanlarına ücretsiz, 03/05/2020 tarihinde <https://www.milliyet.com.tr/gundem/corona-icin-3d-yaziciyla-siper-6173632> adresinden alınmıştır.
- URL-2. Ortaokul öğrencileri 3 boyutlu yazıcı ile çevre dostu kalem üretti, 07/05/2020 tarihinde <http://www.gazetevatan.com/ortaokul-ogrencileri-3-boyutlu-yazici-ile-cevre-dostu-kalem-uretti-1129664-egitim/> adresinden alınmıştır.
- URL-3. Liselilerden 3 boyutlu yazıcı, 07/05/2020 tarihinde <https://www.hurriyet.com.tr/egitim/liseliler-3-boyutlu-yazici-uretti-40680901> adresinden alınmıştır.
- URL-4. Harçlıklarından artırarak üç boyutlu yazıcı yaptılar, 07/05/2020 tarihinde <https://m.yeniakit.com.tr/haber/harcliklarindan-artirarak-uc-boyutlu-yazici-yaptilar-332829.html>, adresinden alınmıştır.
- URL-5. 3D Yazıcı Filament Özellikleri, 11/05/2020 tarihinde <https://www.artiboyut.com/index.php/tr/bilgi-bankasi/39-3d-yazici-filament-ozellikleri>, adresinden alınmıştır.
- URL-6. 3D Modellemede Dikkat Edilmesi Gerekenler, 11/05/2020 tarihinde <https://www.artiboyut.com/index.php/tr/bilgi-bankasi/47-3d-modellemede-dikkat-edilmesi-gerekenler>, adresinden alınmıştır.

- URL-7. Okullarda 3 Boyutlu Yazıcı Kullanımı, 11/05/2020 tarihinde <https://www.artiboyut.com/index.php/tr/bilgi-bankasi/56-okullarda-3-boyutlu-yazici-kullanimi>, adresinden alınmıştır.
- URL-8. History of 3D Printing, 11/05/2020 tarihinde <https://3dprintingindustry.com/3d-printing-basics-free-beginners-guide#02-history>, adresinden alınmıştır.
- URL-9. 3D Printing Processes, 11/05/2020 tarihinde <https://3dprintingindustry.com/3d-printing-basics-free-beginners-guide#04-processes>, adresinden alınmıştır.
- URL-10. 3D Yazıcı Tarihi ve Gelişimi, 18/05/2020 tarihinde <http://priyoid.com/3d-yazici-teknolojisi/3d-yazici-tarihi/>, adresinden alınmıştır.
- URL-11. Photopolymer, 18/05/2020 tarihinde <https://en.wikipedia.org/wiki/Photopolymer>, adresinden alınmıştır.
- URL-12. 3D Yazıcı Parçaları, 18/05/2020 tarihinde <https://rasyonalist.org/yazi/3d-yazici-parcalari-malzemeleri-elemanlari/>, adresinden alınmıştır.
- URL-13. 3D yazıcı ile biftek üretildi! Gerçek yiyeceklerin yerini tutabilecek mi? 05/07/2020 tarihinde <https://www.chip.com.tr/haber/3d-yazici-ile-biftek-uretildi-gercek-yiyeceklerin-yerini-tutabilecek-mi-88960.html>, adresinden alınmıştır.
- URL-14. 20.08.2021 tarihinde <https://en.unesco.org/covid19/educationresponse>, adresinden alınmıştır
- Uygan, O. (2016). Heykel sanatında üç boyutlu baskı teknolojilerinin kullanımı Yüksek Lisans Tezi, *Anadolu Üniversitesi Güzel Sanatlar Enstitüsü*. Eskişehir.
- Van Wieren, K., Tailor, H. N., Scalfani, V. F., & Merbouh, N. (2017). Rapid Access to Multicolor Three-Dimensional Printed Chemistry and Biochemistry Models Using Visualization and Three-Dimensional Printing Software Programs. *Journal of Chemical Education*, 94(7), 964-969.
- Vangunten, M. T., Walker, U. J., Do, H. G., & Knust, K. N. (2019). 3D-Printed Microfluidics for Hands-On Undergraduate Laboratory Experiments. *Journal of Chemical Education*, 97(1), 178-183.
- Verner, I., & Merksamer, A. (2015). Digital design and 3D printing in technology teacher education. *Procedia Cirp*, 36, 182-186.
- Wood, P. A., Sarjeant, A. A., Bruno, I. J., Macrae, C. F., Maynard-Casely, H. E., & Towler, M. (2017). The next dimension of structural science communication: simple 3D printing directly from a crystal structure. *CrystEngComm*, 19(4), 690-698.

- Wuttisela, K. (2017). Authentic Assessment Tool for the Measurement of Students' Understanding of the Valence Shell Electron Pair Repulsion Theory. *Universal Journal of Educational Research*, 5(9), 1549-1553.
- Yıldırım, B., & Altun, Y. (2015). STEM eğitim ve mühendislik uygulamalarının fen bilgisi laboratuvar dersindeki etkilerinin incelenmesi. El-Cezeri. *Journal of Science and Engineering*, 2(2).
- Yıldırım, B. (2016). 7. Sınıf fen bilimleri dersine entegre edilmiş fen teknoloji mühendislik matematik (STEM) uygulamaları ve tam öğrenmenin etkilerinin incelenmesi. Yayınlanmamış Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Eğitim Bilimleri Enstitüsü*. Ankara.
- Yıldırım, E. G., Köklükaya, A., & Aydoğdu, M. (2016). Fen bilgisi öğretmen adaylarının öğretim yöntem-teknik tercihleri ve bu tercihlerinin nedenleri. *e-Kafkas Journal of Educational Research*, 3(1), 15-25.
- Yıldırım, B., & Selvi M. (2017). STEM uygulamaları ve tam öğrenmenin etkileri üzerine deneysel bir çalışma. *Eğitimde Kuram ve Uygulama*, 13 (2), 183-21.
- Yıldız, H. T. (2006). İlköğretim ve ortaöğretim öğrencilerinin atomun yapısı ile ilgili zihinsel modelleri. Yüksek Lisans Tezi, *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. Balıkesir.
- Yılmaz, F. (2013). *Üretimde Devrim 2D Yazıcıdan 3D Yazıcıya Geçiş*. <http://www.dunya.com/Prof.-Dr.-Fevzi-YILMAZ-haberleri/>, Erişim tarihi: 10/05/2020.
- Yılmaz, Z. A., & Yaşar, M. D. (2019). Öğretmen ve Öğrencilerin Fen Eğitiminde Teknolojik Uygulamalara İlişkin Görüşleri. *Turkish Studies-Educational Sciences*, 14(3), 975-991.
- Sunyono, S., Leny, Y., & Muslimin, I. (2015). Supporting students in learning with multiple representation to improve student mental models on atomic structure concepts. *Science Education International*, 26(2), 104-125.
- Yumbul, E. (2021). Liselerde Görev Yapan Öğretmenlerin Uzaktan Eğitime Yönelik Tutumlarının İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, *Ondokuz Mayıs Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü*. Samsun.
- Zolotareva, N. V., Resnyanskaya, A. S., & Ocheredko, Y. A. (2021). Implementation of modeling elements and 3D printing technology for chemical objects in the educational process within the framework of the “University–School” interaction system. In *SHS Web of Conferences* (Vol. 113, p. 00043). EDP Sciences.



EKLER

EK 3'ün devamı

EK-3

KİMYA BAŞARI TESTİ

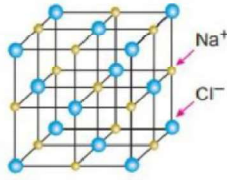
8-) MgCl_2 bileşiğiyle ilgili olarak

- I. Lewis yapısı $\text{Mg}^{2+} 2[\ddot{\text{Cl}}:]^{-}$ olarak gösterilir.
 II. Mg atomu Cl atomundan 2 elektron almıştır.
 III. Mg^{2+} ve Cl^{-} iyonlarının elektron dizilimleri, kendilerine en yakın soy gazın elektron dizilimi ile aynıdır.

yargılarından hangileri doğrudur? ($_{12}\text{Mg}$, $_{17}\text{Cl}$)

- A) Yalnız I B) Yalnız II C) Yalnız III
 D) I ve II E) I ve III

9-) NaCl bileşiğinin iyon örgü yapısı aşağıdaki şekilde gösterilmiştir. Bu bileşik ile ilgili aşağıdaki yargılardan hangisi yanlıştır?



- A) Kristal örgü yapılı iyonik bir bileşiktir.
 B) Katı hâlde elektrik akımını iletmez.
 C) Oda koşullarında katı hâlde bulunur.
 D) Sıvı hâlde elektrik akımını iletir.
 E) Suda iyi çözünmez.

10-) Kovalent bağlarla ilgili,

- I. Yalnızca metal atomları arasında oluşur.
 II. Tümü apolar özelliktedir.
 III. Elektronların ortaklaşa kullanılmaları sonucu oluşur.

yargılarından hangileri doğrudur?

- A) III B) I ve II C) I ve III
 D) II ve III E) I, II ve III

11-) $_{1}\text{H}$, $_{6}\text{C}$, $_{7}\text{N}$, $_{8}\text{O}$, $_{9}\text{F}$ elementleri ve oluşturdıkları bileşiklerle ilgili aşağıdaki ifadelerden hangisi yanlıştır?

- A) HF molekülündeki bağ, polar kovalent bağdır.
 B) N_2 molekülünde atomlar arasında apolar kovalent bağlar vardır.
 C) H_2O molekülü apolar bir bileşiktir.
 D) CH_4 molekülü kovalent bağlar içerir.
 E) F_2 molekülü apolardır.

12-) $_{1}\text{H}$, $_{6}\text{C}$, $_{7}\text{N}$, $_{8}\text{O}$, $_{17}\text{Cl}$ element atomlarının birbirleriyle oluşturduğu aşağıdaki bileşiklerden hangisi apolar bileşiktir?

- A) CO_2 B) H_2O C) HCl D) NO E) CO

13-) H_2O molekülü ile ilgili

- I. Lewis yapısı $\text{H}-\ddot{\text{O}}-\text{H}$ şeklindedir.
 II. Bağlar kovalenttir.
 III. Oksijen atomu oktete, hidrojen atomları dublete ulaşmıştır.

yargılarından hangileri doğrudur? ($_{1}\text{H}$, $_{8}\text{O}$)

- A) Yalnız I B) Yalnız II C) I ve II
 D) II ve III E) I, II ve III

14-) NaCl, HCl, Cl_2 maddelerindeki atom veya iyonlar arası bağ türleri aşağıdakilerin hangisinde doğru ($_{1}\text{H}$, $_{11}\text{Na}$, $_{17}\text{Cl}$) olarak verilmiştir?

NaCl	HCl	Cl_2
A) iyonik	iyonik	polar kovalent
B) polar kovalent	polar kovalent	apolar kovalent
C) iyonik	polar kovalent	apolar kovalent
D) apolar kovalent	apolar kovalent	apolar kovalent
E) iyonik	apolar kovalent	polar kovalent

15-) Metalik bağ ile ilgili aşağıdaki ifadelerden hangisi yanlıştır?

- A) Metal atomları arasında oluşan kimyasal bağdır.
 B) Kimyasal etkileşimler katyonlar ve anyonlar arasındadır.
 C) Metal atomları arasında güçlü etkileşimler gerçekleşir.
 D) Metal bağın oluşumunda, hareketli değerlik elektron denizi oluşur.
 E) Değerlik elektron sayısının artışı, metalik bağın kuvvetini artırır.

KİMYA BAŞARI TESTİ

X

I. II.

- Ametal-ametal atomları arasında elektronların ortak kullanımı sonucu bağlı bileşikler oluşur.
- Farklı iki ametal atomları arasında oluşan bağ bağıdır.
- (+) yüklü metal iyonları ile (-) yüklü ametal iyonları arasındaki oluşan çekim kuvvetinebağ denir.
- Aynı iki ametal atomları arasında oluşan bağ bağıdır.

Y

• iyonik	• apolar kovalent	• metalik
• kovalent	• polar kovalent	

16-)X kümesindeki boşluklara, Y kümesindeki kavramlar yazılarak anlamlı cümleler oluşturulacaktır. Buna göre, Y kümesindeki hangi kavram kullanılmamış olur?

- A) apolar kovalent
 B) polar kovalent
 C) iyonik
 D) metalik
 E) kovalent

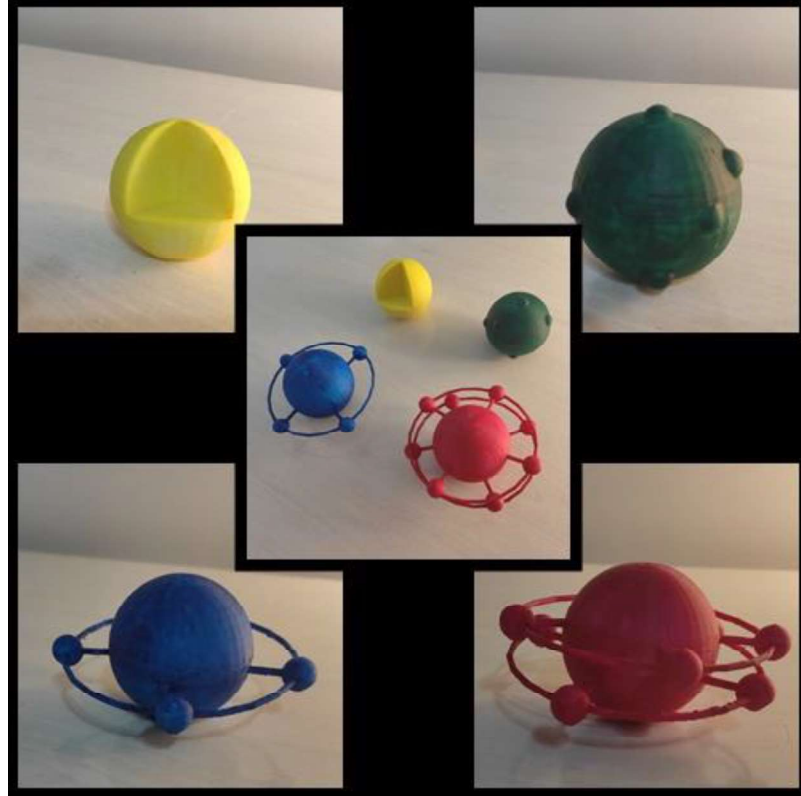
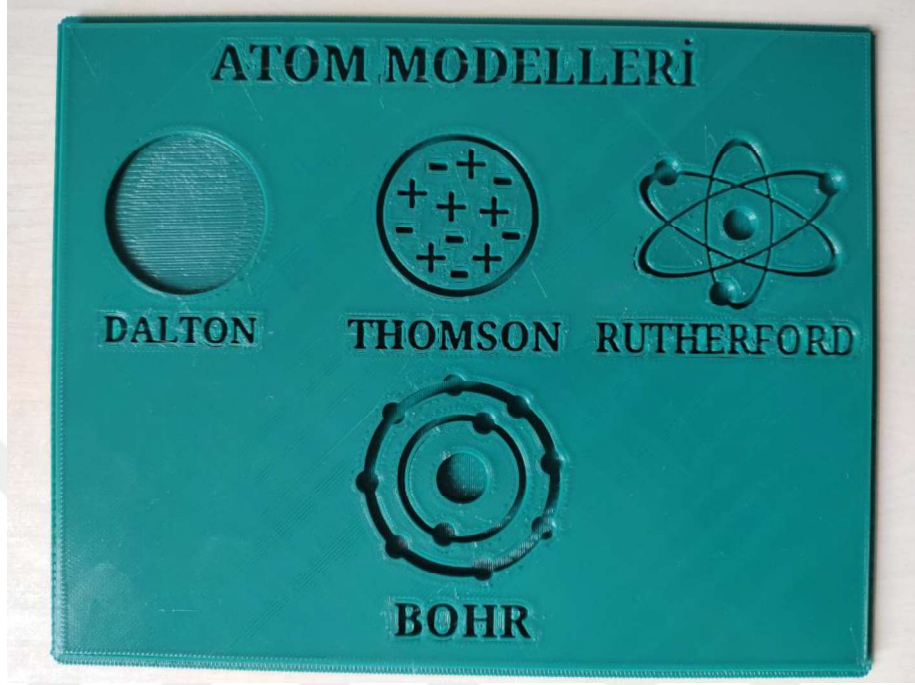
EK 4 Teknoloji Öğrenimine Karşı Motivasyon ve Öz Düzenleme Ölçeği

Yönerge: Bu ölçekte, 3d baskı teknolojisi ve tasarım uygulamalarına karşı motivasyon ve öz düzenlemeye yönelik tutumunuzla ilgili ifadeler bulunmaktadır. Bu ifadeler, "tamamen katılıyorum" ile "Kesinlikle katılmıyorum" arasında değerlendirilmiştir. Ölçeği eksiksiz olarak doldurmaya özen gösteriniz. Bu ankete verdiğiniz cevaplar, yalnızca akademik amaçla ve kişisel bilgileriniz kullanılmadan değerlendirilecektir. Araştırmaya katkılarınızdan dolayı çok teşekkür ederiz. TEKNOLOJİ ÖĞRENİMİNE KARŞI MOTİVASYON VE ÖZ DÜZENLEME ÖLÇEĞİ		Tamamen Katılıyorum	Katılıyorum	Kararsızım	Katılmıyorum	Kesinlikle katılmıyorum
Teknoloji öğrenme öz yeterliliği						
1	Teknoloji ile ilgili kavramları öğrenirken çok iyi anlayabilirim					
2	Teknoloji konuları benim için kolaydır.					
3	Teknolojide genellikle iyiyimdir.					
4	Gayret edersem zorlu çalışmalarımı tamamlayabilirim.					
Teknoloji öğrenme değeri						
5	Günlük hayatımda kullanabildiğim için teknoloji öğrenmenin önemli olduğunu düşünürüm.					
6	Düşüncelerimi harekete geçirdiği için teknoloji öğrenmenin önemli olduğunu düşünürüm.					
7	Teknolojide, problemlerin nasıl çözüleceğini öğrenmenin önemli olduğunu düşünürüm.					
8	Teknolojide, sorgulamaya yönelik etkinliklere katılmanın önemli olduğunu düşünürüm.					
9	Teknoloji öğrenirken merakımı giderecek fırsatlara sahip olmanın önemli olduğunu düşünürüm.					
Teknoloji aktif öğrenme stratejileri						
10	Teknoloji ile ilgili yeni kavramları öğrenirken onları anlamak için çaba gösteririm.					
11	Teknoloji ile ilgili yeni kavramları öğrenirken onları önceki deneyimlerimle ilişkilendirmeye çalışırım.					
12	Teknoloji ile ilgili yeni kavramları öğrenirken onları anlamak için araştırmaya çalışırım.					
13	Bir teknoloji kavramını anlamadığım zaman, o kavramı netleştirmek için öğretmenimle ya da öğrenci arkadaşlarımla tartışırım.					
14	Teknoloji ile ilgili bir konuyu öğrenirken önceden öğrendiğim kavramlar ile bağlantılar kurmaya çalışırım.					
15	Teknolojiyi uygulamada bir engelle karşılaştığımda bu problemin nedenlerini anlamaya çalışırım.					
16	Anlamadığım teknoloji kavramlarıyla karşılaştığımda, onları yine de öğrenmeye çalışırım.					
17	Teknolojiyle ilgili öğrendiğim önceki ve yeni kavramlar uyuşmadığında aralarındaki farklılıkları ayırt etmeye çalışırım.					
Teknoloji öğrenme ortamında teşvik						
18	Teknoloji ile ilgili ders kitapları görsel olarak canlı ve zengin içeriğe sahip olduğu için derse katılmaya istekliyim.					
19	Öğretmenim çeşitli öğretim yöntemlerini kullandığı için teknoloji dersine katılmaya istekliyim.					
20	Öğretmenim üzerimde çok fazla baskı oluşturmazdığı için teknoloji dersine katılmaya istekliyim.					
21	Öğretmenim beni önemseydiği için teknoloji dersine katılmaya istekliyim.					
22	Teknoloji dersi ilgi çekici olduğu için bu derse katılmaya istekliyim.					

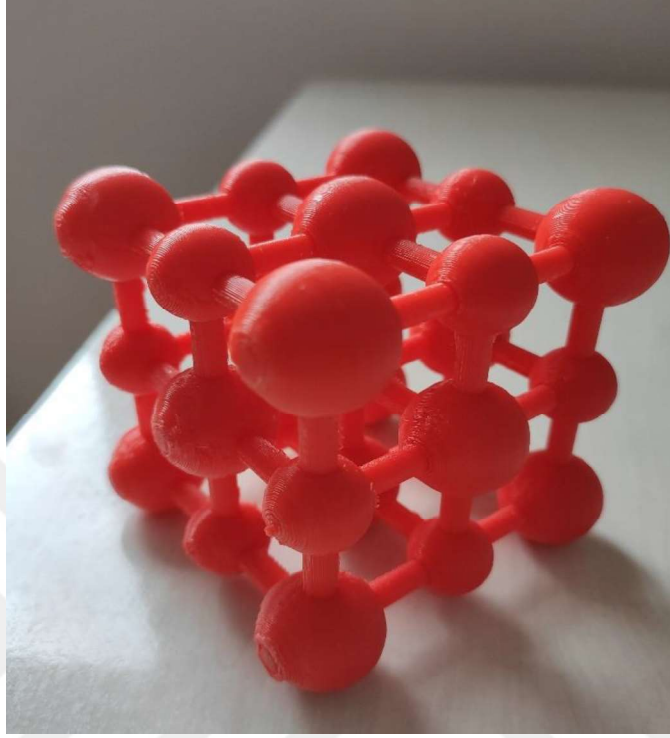
EK 4'ün devamı

23	Teknoloji dersi, öğrencileri tartışmalara dâhil ettiği için bu derse katılmaya istekliyim.						
Teknoloji öğrenme hedefine yönelim							
24	Hedeflerimden birisi mümkün olduğu kadar teknoloji ile ilgili kavramları öğrenmektir.						
25	Hedeflerimden birisi yeni teknolojilerin içeriğini öğrenmektir.						
26	Hedeflerimden birisi teknoloji ile ilgili yeni becerilerde ustalaşmaktır.						
27	Teknoloji dersini anlamam önemlidir.						
28	Teknoloji ile ilgili becerilerimi geliştirmek benim için önemlidir.						
29	Teknolojik fikirleri anlamak benim için önemlidir.						
Teknoloji öğrenme öz-düzenlemeyi tetikleme							
30	Teknoloji ile ilgili ödevler/görevler ilgi çekici olmadığında bile çalışmaya devam ederim.						
31	Yaptıklarımın hoşlanmasam bile teknoloji dersine sıkı çalışırım.						
32	Yapılacak daha iyi şeyler olsa bile teknoloji çalışmaya devam ederim.						
Teknoloji öğrenme öz-düzenlemeyi uygulama							
33	Önemli noktaları kaçırmamak için teknoloji dersine yoğunlaşırım.						
34	Teknoloji ile ilgili çalışmalarını ve ödevlerimi zamanında bitiririm.						
35	Teknoloji ile ilgili çalışmalar zor olsa bile vazgeçmem.						
36	Teknoloji dersine konsantre olurum.						
37	Teknoloji dersinde yapmam gerekenleri bitirene kadar çalışmaya devam ederim						

EK 5 Araştırmacı Tarafından Geliştirilen Atom Modelleri ile İlgili 3D Ders Materyalleri



**EK 6 Araştırmacı Tarafından Geliştirilen İyonik Bileşiklerin Kristal Örgü Yapısı
İle İlgili 3D Ders Materyali**



EK 7 Araştırmacı Tarafından Geliştirilen İyonik Bileşikler ile İlgili 3D Ders Materyali



[illegible]

EK 9 Araştırmacı Tarafından Geliştirilen Periyodik Cetvel 3D Ders Materyali



EK 9'un devamı

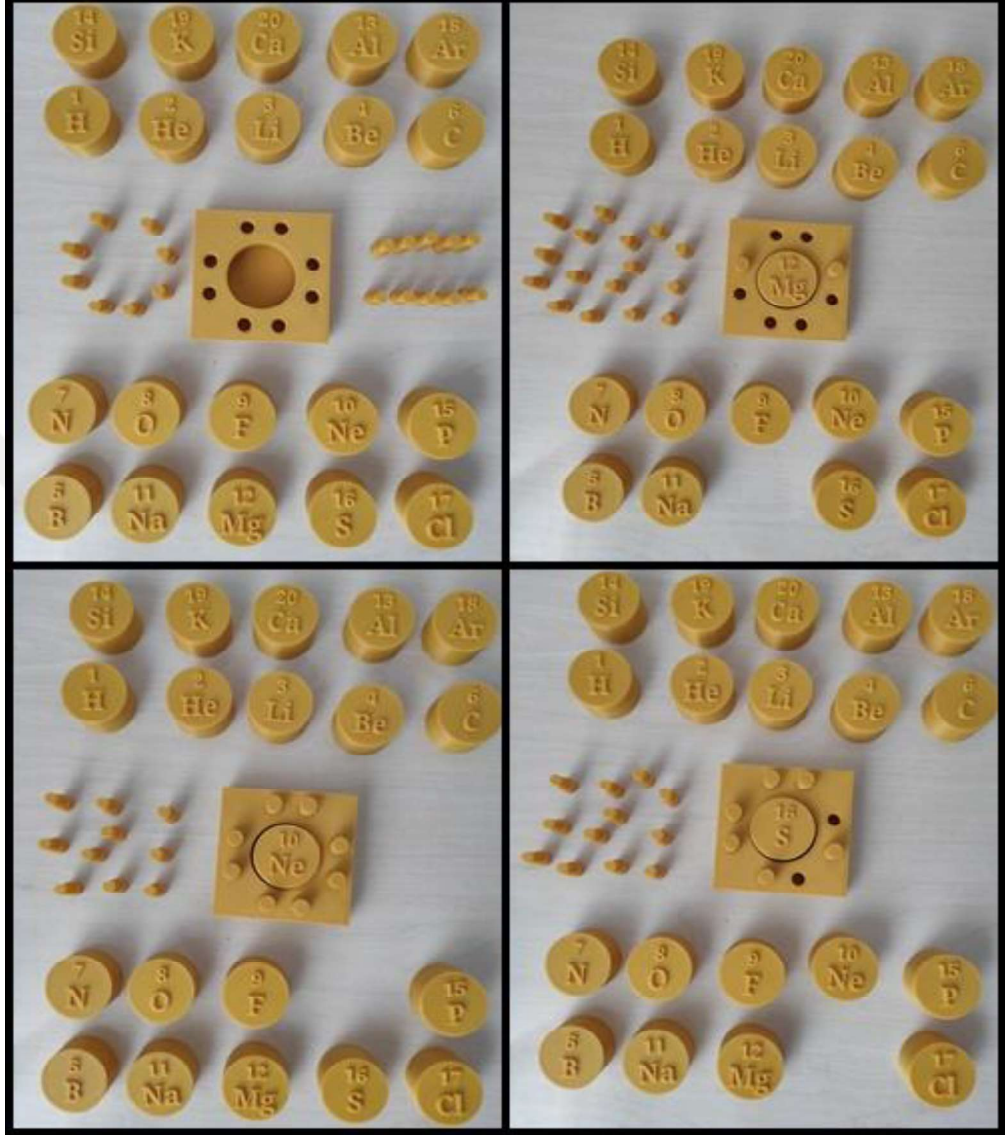
PERİYODİK TABLO																	
1	1A 2																18
1	H	2A															8A
2	Li	Be															He
3	K	Mg															Ne
4	Na	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br
5	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I
6	Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At
7	Fr	Ra	Ac	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Ds	Rg	Cn	Nh	Fl	Mc	Lv	Ts
			6	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
			7	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr

PERİYODİK TABLO																	
1	1A 2																18
1	H	2A															8A
2	Li	Be															He
3	K	Mg															Ne
4	Na	Ca	Sc	Ti	V											Br	Kr
5	Rb	Sr	Y	Zr	Nb											Te	I
6	Cs	Ba	La	Hf	Ta											At	Rn
7	Fr	Ra	Ac	Rf	Db											Og	
			6	Ce	Pr											Lu	
			7	Th	Pa											Lr	

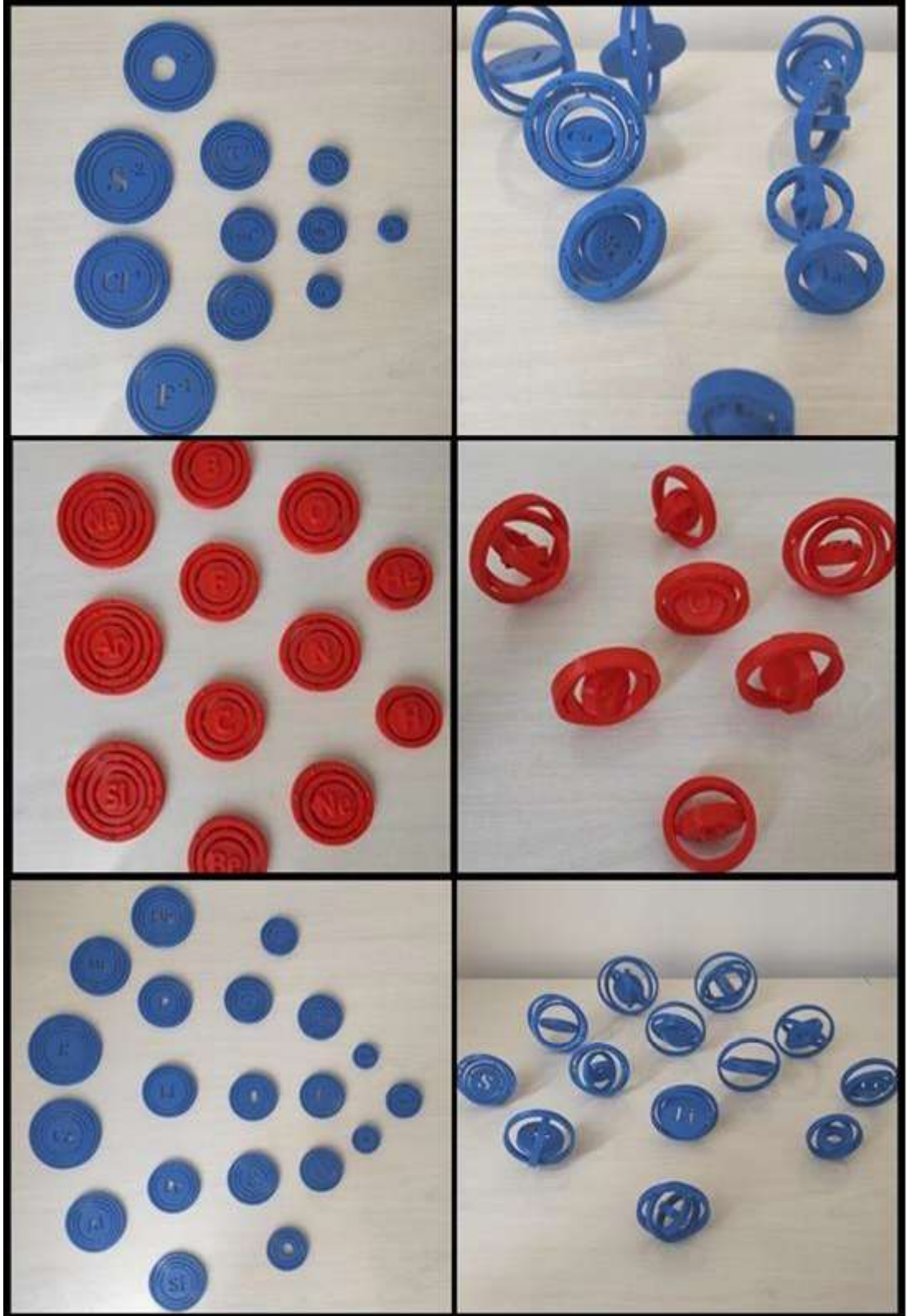
**EK 10 Araştırmacı Tarafından Geliştirilen Periyodik Özelliklerin Değimi ile İlgili
3D Ders Materyali**



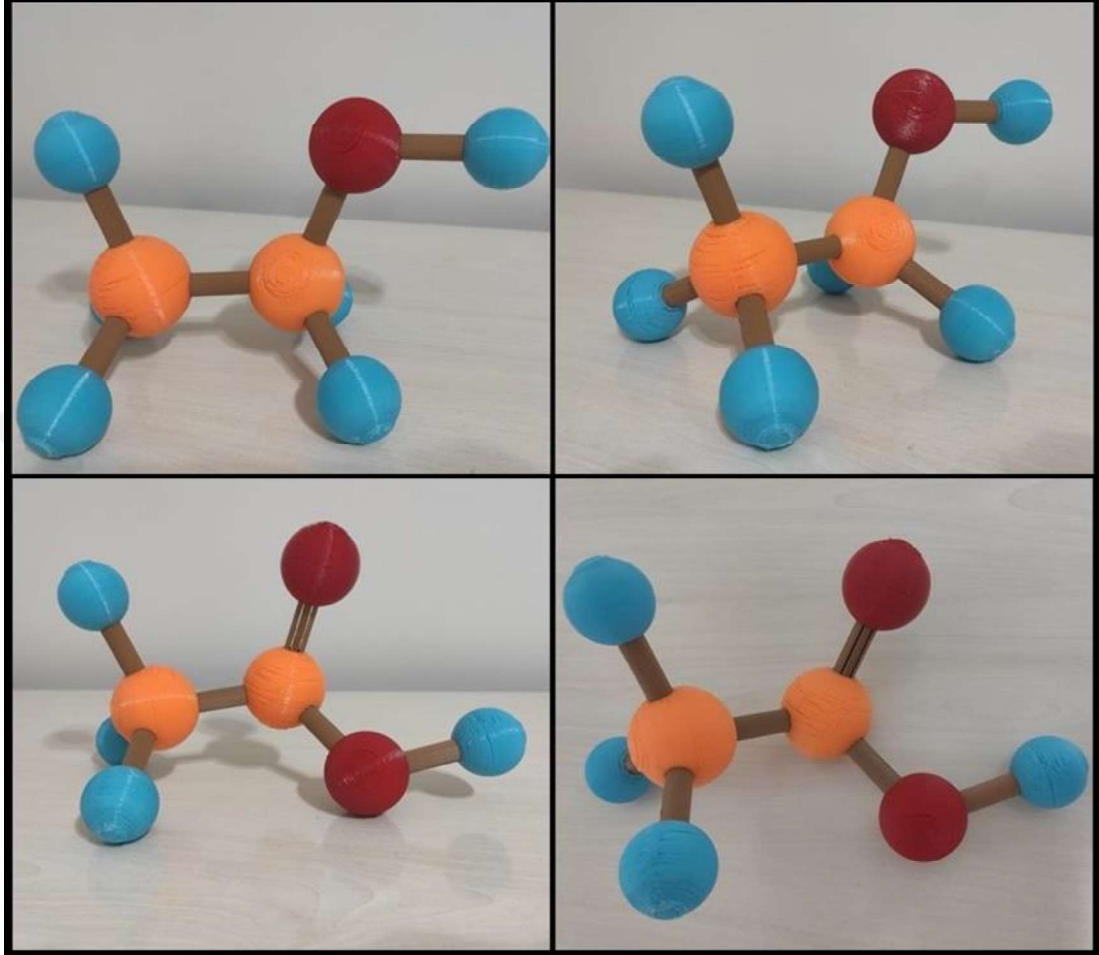
EK 11 Araştırmacı Tarafından Geliştirilen Lewis Yapısı ile İlgili 3D Ders Materyali



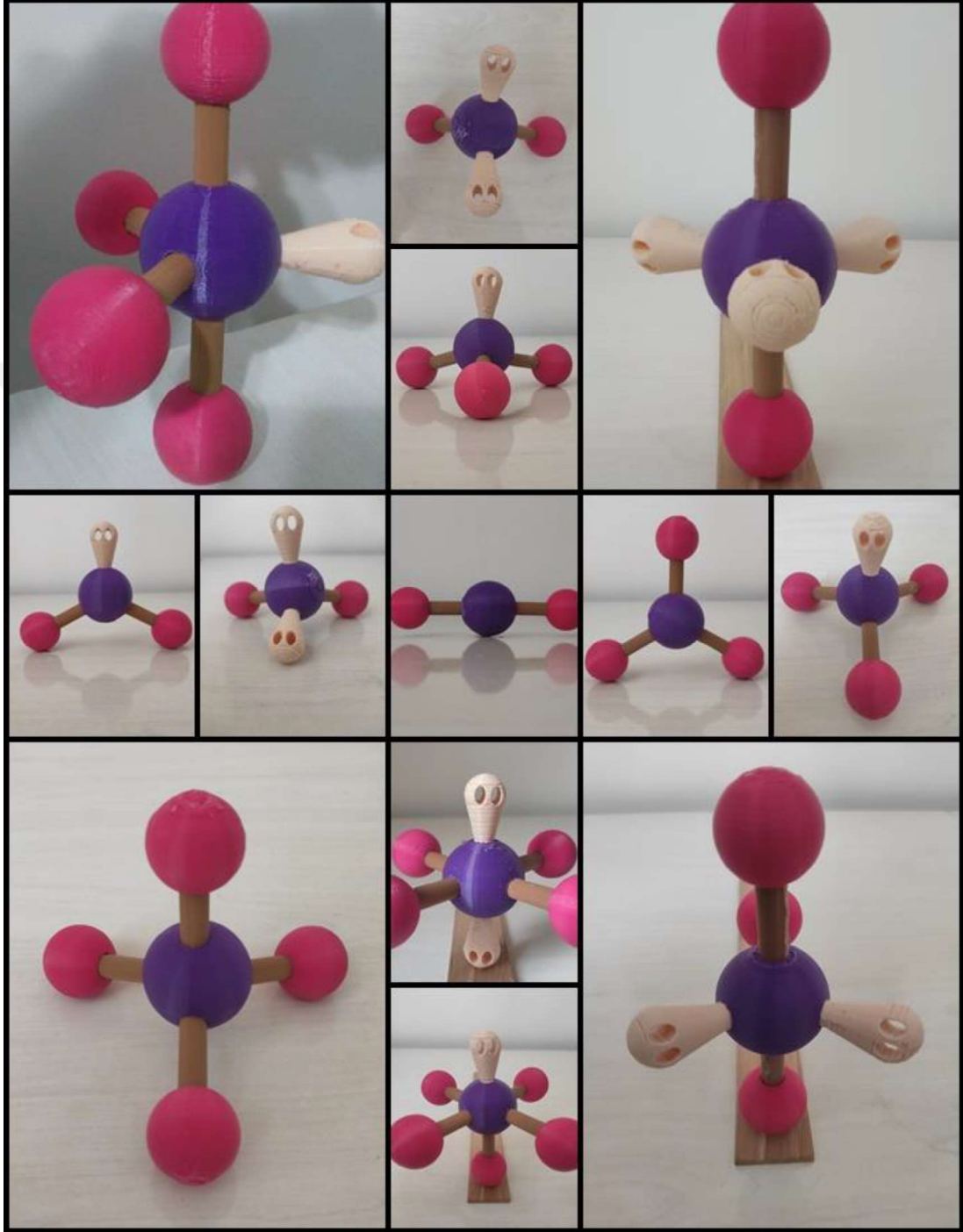
**EK 12 Araştirmacı Tarafından Geliştirilen Katman Elektron Dizilimleri ile İlgili
3D Ders Materyali**



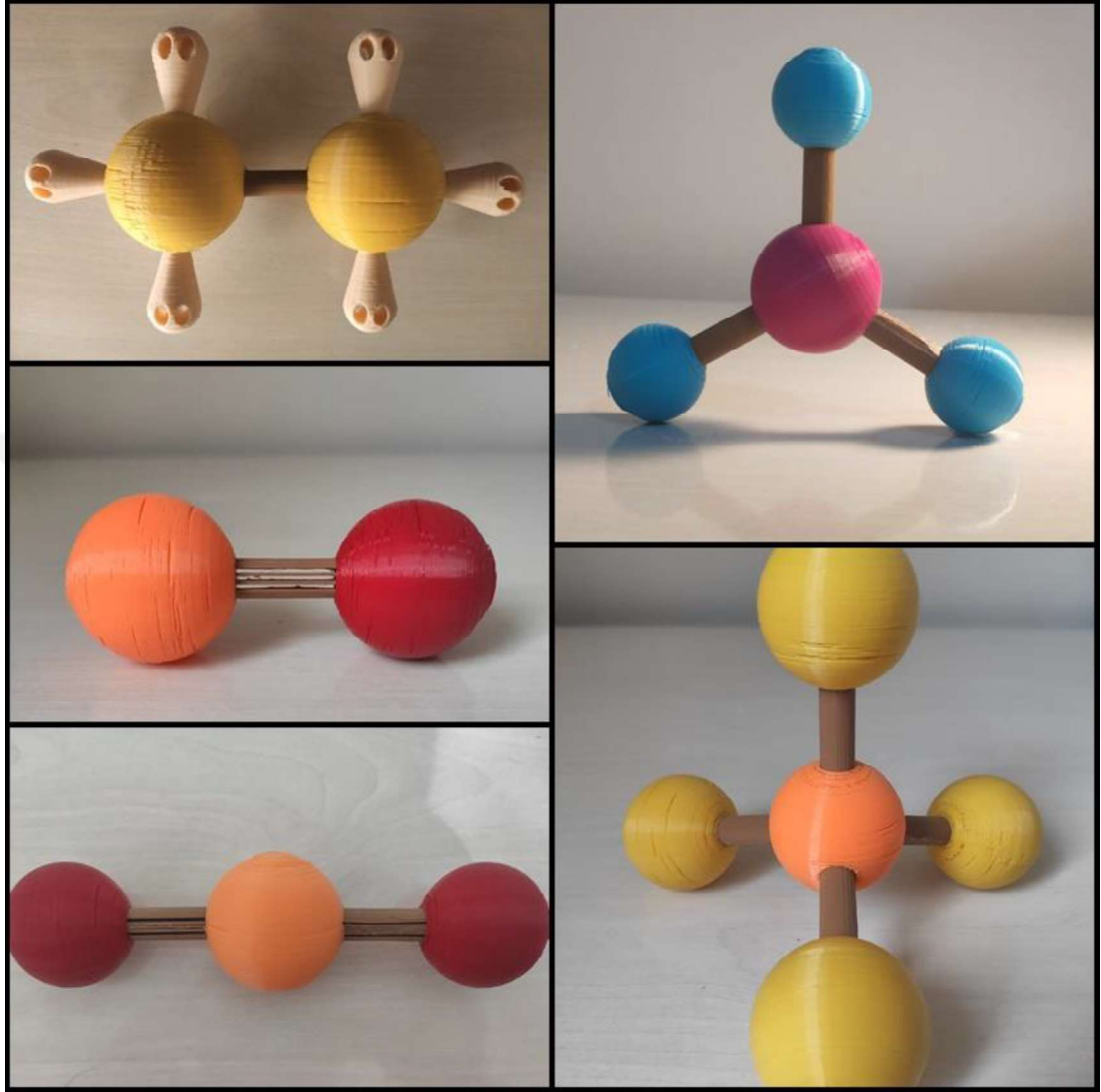
**EK 13 Araştırmacı Tarafından Geliştirilen 3D Organik bileşik rnekleri
(C₂H₅OH-CH₃COOH)**



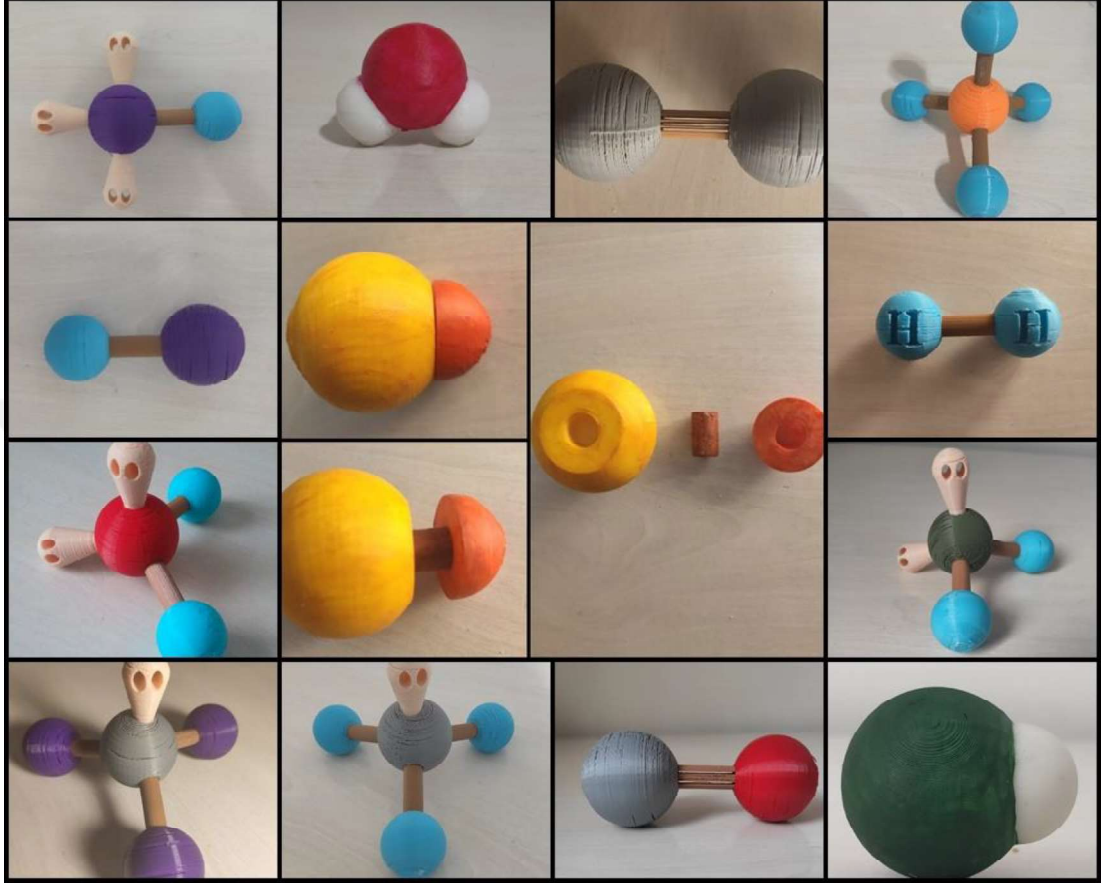
**EK 14 Araştirmacı Tarafından Geliştirilen Moleköl Geometrisi ile İlgili 3D Ders
Materyalleri**



EK 15 Araştırmacı Tarafından Geliştirilen 3D Kovalent Bağlı Bileşik rnekleri



EK 15'in devamı



EK 16 Odak Grup Görüşme Soruları

1-) Okul ve okul dışı ortamlarda teknolojik araç-gereç (bilgisayar, akıllı telefon, modeller, atölye, laboratuvar) kullanıyorsanız, teknoloji ile ilgili düşünceleriniz nelerdir?

- Derse karşı olan ilgi ve istek açısından düşünceleriniz nelerdir?
- Derse karşı dikkat ve yoğunlaşma açısından düşünceleriniz nelerdir?
- Dersin verimliliği açısından düşünceleriniz nelerdir?

2-) Bu uygulamadan önceki eğitim-öğretim dönemlerinizde, 3D (3 boyutlu) baskı teknolojisi uygulamaları hakkında bir bilginiz var mıydı?

- Bu tür uygulamalar hakkında bilgileriniz varsa, ne tür uygulamalar yaptınız?

3-) Kimya eğitiminde 3D baskı teknolojisi uygulamaları sürecinde, uygulama açısından sizi olumlu yönde etkileyen yönler (faktörler) nelerdir?

- Uygulama ilginizi çekti mi? Cevabınız evet ise uygulama hangi açılardan ilginizi çekti?

4-) Yaşadığınız bu süreçte edindiğiniz tecrübelerden hareketle, kimya eğitiminde 3D baskı teknolojisi uygulamalarının olumlu ve olumsuz yönleri nelerdir?

- Uygulama esnasında ne tür zorluklarla karşılaştınız?

5-) 3D baskı teknolojisi destekli işlenen kimya derslerinden sonra, eğitimde teknoloji kullanımını ile ilgili bakış açınızda bir değişim oldu mu?

EK 16'nın devamı

- Cevabınız evet ise nasıl bir değişme oldu ve hangi açılardan sizi etkiledi?
- Cevabınız hayır ise nedenini açıkla mısınız?

6-) 3D baskı teknolojisi destekli işlenen kimya dersleri uygulamaları ile müfredatta belirtildiği şekilde uygulanan kimya öğretimi uygulamalarını kıyasladığınızda başarı, derse ilgi vb. açılardan değerlendirildiğinde bir farklılık var mı?

- Fark varsa; bu farklılıkların ders başarısı üzerinde nasıl bir etkisi olmuştur? Olumlu mu yoksa olumsuz mu?
- Fark yoksa sizce nedeni nedir?

7-) 3D baskı teknolojisi destekli işlenen kimya derslerinden sonra atomun yapısı ve kimyasal türler arası etkileşim ünitelerindeki konularını daha kolay ve etkili bir şekilde öğrendiğinize inanıyor musunuz?

- Cevabınız evet ise, bu teknoloji hangi açılardan öğrenmeyi desteklemiştir? Neden?
- Bu tarz bir çalışmayı fizik ve biyoloji alanlarına da uygulanmasının faydalı olabileceğine inanıyor musunuz? Bunu nasıl anladınız?

8-)3D baskı teknolojisi uygulamaları sırasında grup halinde ve birlikte çalıştığınız grup arkadaşlarınızla işbirliği yaparken herhangi bir olumsuz durumla karşılaştınız mı? Bu grup çalışmasını uygulamanın verimliliği veya verimsizliği açısından nasıl değerlendiriyorsunuz?

EK 16'nın devamı

- Olumsuz bir durumla karşılaştıysanız bu durumlar karşısındaki tavrınız nasıl oldu?
- Çalışmaya katılma noktasında, sizde veya grup arkadaşlarınızda bir isteksizlik ve motivasyon eksikliği var mıydı? Varsa nedenleri sizce neler olabilir?

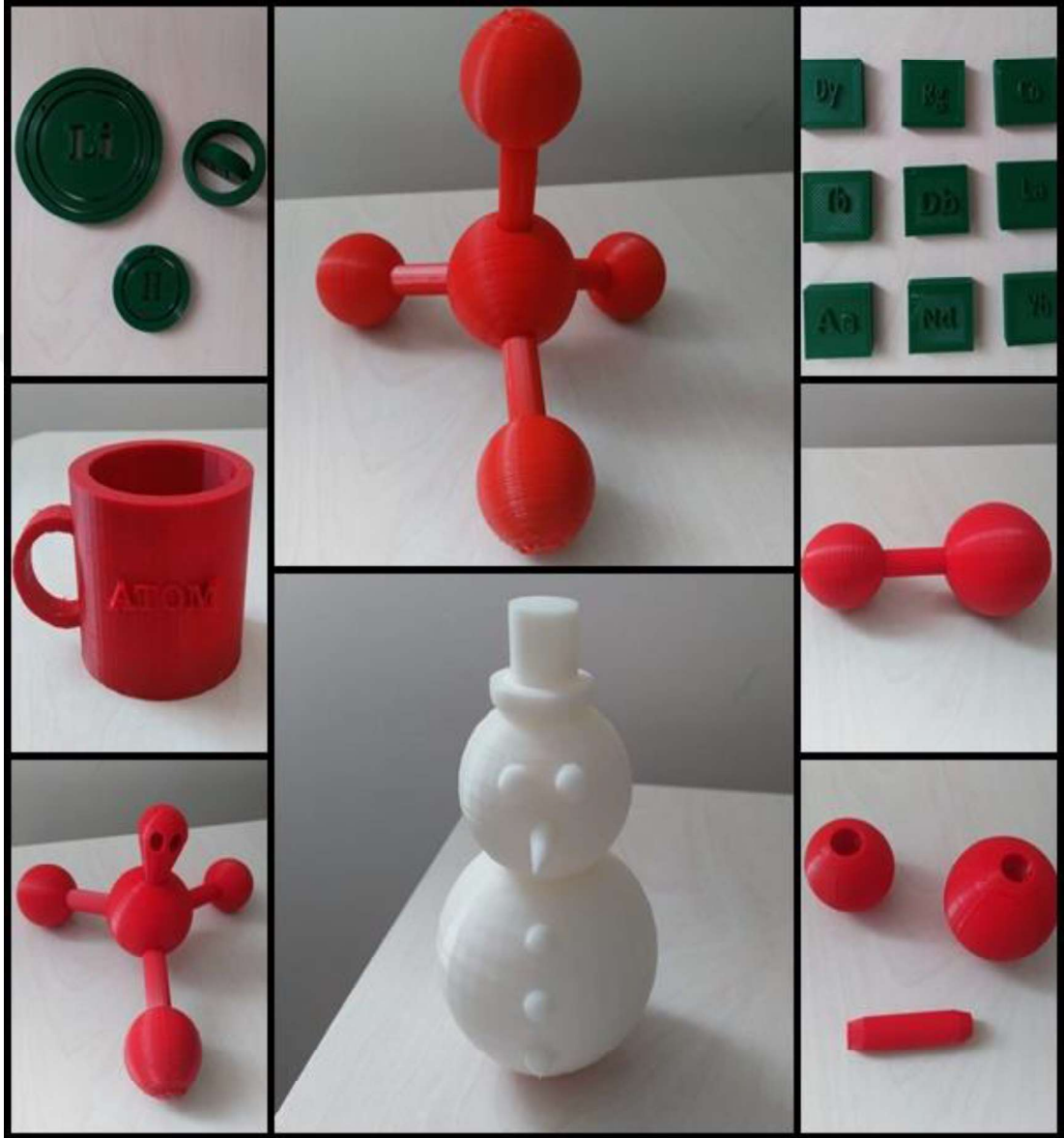
9-) Bu uygulamaları tekrar yaparsak, sizce neleri değiştirmek gerekir? Bize neler tavsiye edersiniz?

- Çalışmanın daha verimli olabilmesi için 3D teknoloji tasarımı ile ilgili verilen eğitimin içeriği, süresi, ayrı bir seçmeli ders olarak okutulması gereği vb. konularda neler önerirsiniz?

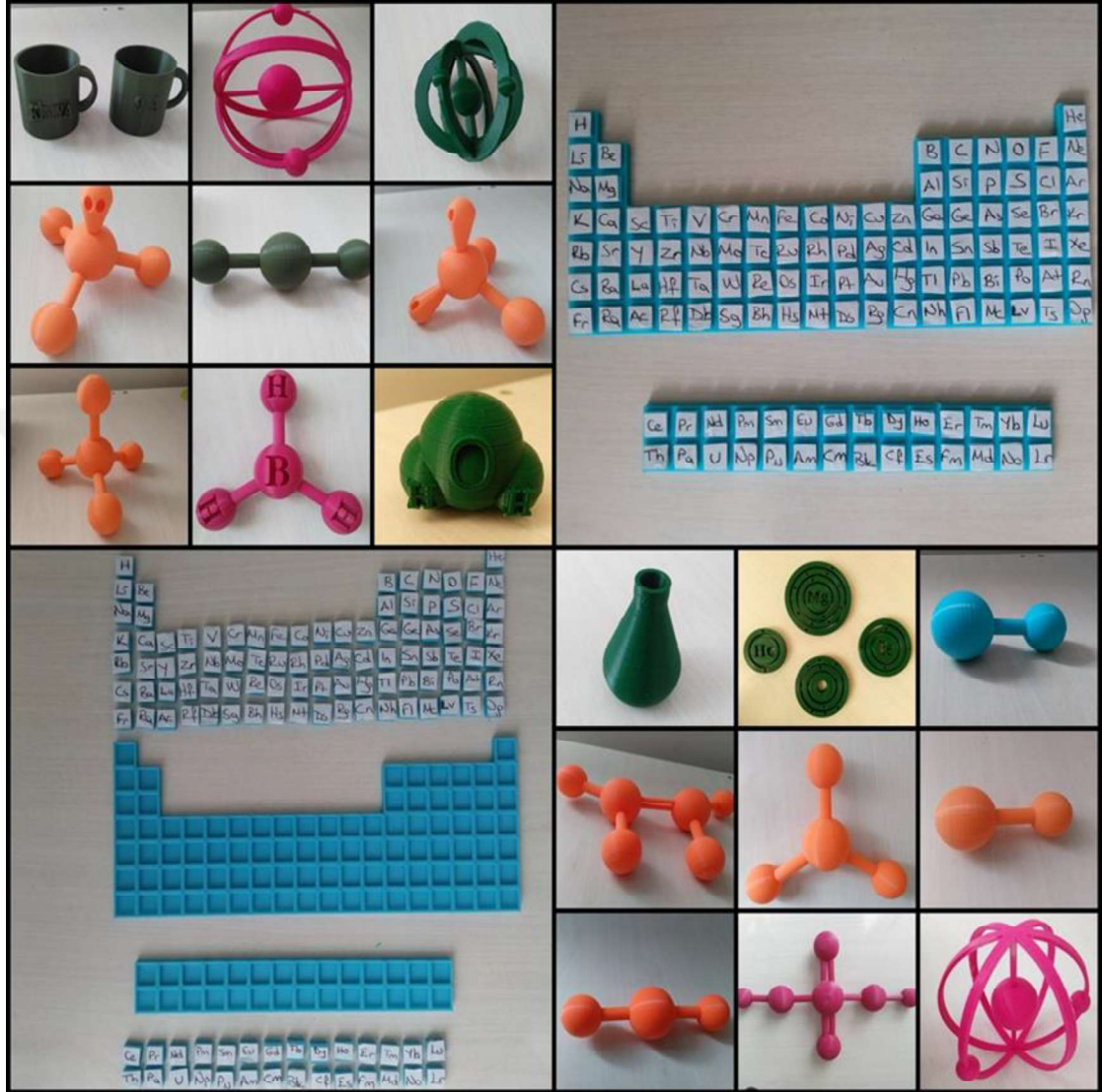
EK 17 3D Tasarım ve Baskı Teknolojisi Öğretim Programı

SÜRE		2020-2021 EĞİTİM-ÖĞRETİM YILI 3D TASARIM VE BASKI TEKNOLOJİSİ ÖĞRETİM PROGRAMI					
AY	HAFZA	KONULAR	KAZANIMLAR	ÖĞRENME-ÖĞRETME YÖNTEM VE TEKNİKLERİ	KULLANILAN EĞİTİM TEKNOLOJİLERİ ,ARAÇ VE GEREÇLER	UZAKTAN EĞİTİMİN YAPILDIĞI PLATFORM	DEĞERLENDİRME
KASIM	26/11/2020	1.3D NESNELER VE 3D YAZICILAR	1.1. 3D nesne nedir tanımını yapar. 1.2. 3D yazıcı tanımını yapar. 1.3. 3D yazıcıların çalışma prensibini öğrenir. 1.4. 3D yazıcıların kullanım alanlarını öğrenir. 1.5. 3D yazıcıların eğitim alanında kullanımını öğrenir. 1.6. 3D yazıcıların kimya eğitiminde kullanımını öğrenir.	Anlatım, Soru-Cevap, Örnekleme, Gösterip yapıtırma, Simülasyon	Ders notları, slaytlar, ders videoları, bilgisayar, internet, Tinkercad programı	Zoom Uygulaması	Öğrencilerin 3D baskı teknolojisi ve Tinkercad programı ile ilgili sahip oldukları bilgiler değerlendirilir.
		2.TINKERCAD TASARIM PROGRAMI	2.1. Tinkercad programına üye olur ve Tinkercad programının arayüzünü tanıır. 2.2.Tinkercad' de sınıf oluşturulur. 2.3. Bilgisayarda 3D tasarım oluşturmak için gerekli aşamaları açıklar.				
		3.TINKERCAD TASARIM PROGRAMI İLE 3D TASARIM	3.1. İlk tasarımın yapımına başlanır (Kupa Bardak Tasarımlar)	Anlatım, Soru-Cevap, Örnekleme, Gösterip yapıtırma, Simülasyon	Ders notları, slaytlar, ders videoları, bilgisayar, internet, Tinkercad programı	Zoom Uygulaması	Öğrenciler tarafından yapılan tasarımların doğru ve hatalı yönleri üzerinde durulur.
ARALIK	10/12/2020	3.TINKERCAD TASARIM PROGRAMI İLE 3D TASARIM	3.2. Kimya ile ilgili basit tasarımların yapımına başlanır. (H, He, Li ve K elementlerinin katman elektron dağılımlarını gösteren modeller tasarlar.)	Anlatım, Soru-Cevap, Örnekleme, Gösterip yapıtırma, Simülasyon	Ders notları, slaytlar, ders videoları, bilgisayar, internet, Tinkercad programı	Zoom Uygulaması	Öğrenciler tarafından yapılan tasarımların doğru ve hatalı yönleri üzerinde durulur.
ARALIK	17/12/2020	3.TINKERCAD TASARIM PROGRAMI İLE 3D TASARIM	3.3. Hidrojen klorür (HCl), berilyum hidrür (BeH ₂) ve bor hidrür (BH ₃) moleküllerini tasarlar.	Anlatım, Soru-Cevap, Örnekleme, Gösterip yapıtırma, Simülasyon	Ders notları, slaytlar, ders videoları, bilgisayar, internet, Tinkercad programı	Zoom Uygulaması	Öğrenciler tarafından yapılan tasarımların doğru ve hatalı yönleri üzerinde durulur.
ARALIK	24/12/2020	3.TINKERCAD TASARIM PROGRAMI İLE 3D TASARIM	3.4. Metan (CH ₄), amonyak (NH ₃) ve su (H ₂ O) moleküllerini tasarlar.	Anlatım, Soru-Cevap, Örnekleme, Gösterip yapıtırma, Simülasyon	Ders notları, slaytlar, ders videoları, bilgisayar, internet, Tinkercad programı	Zoom Uygulaması	Öğrenciler tarafından yapılan tasarımların doğru ve hatalı yönleri üzerinde durulur.
Yıl Boyunca	Yıl	4.ATOMUN YAPISI VE PERİYODİK SİSTEM İLE KİMYASAL TÜRLER ARASI ETKİLEŞİMLER ÜNİTELERİYLE İLGİLİ 3D MODEL TASARIMI	4.1. Öğrencilerin 'Atomun Yapısı ve Periyodik Sistem' ile 'Kimyasal Türler Arası Etkileşimler' üniteleriyle ilgili bilgisayar ve 3D yazıcı teknolojilerinden yararlanarak modeller yapımaları sağlanır.				Yıl boyunca öğrenciler tarafından tasarlanacak olan modellerin doğru ve hatalı yönleri incelenir, baskıya hazır olan tasarımların çıktıları 3D yazıcılar kullanılarak alınır.

EK 18 Pilot Uygulama Sonucu Elde Edilen Öğrenci Tasarımları



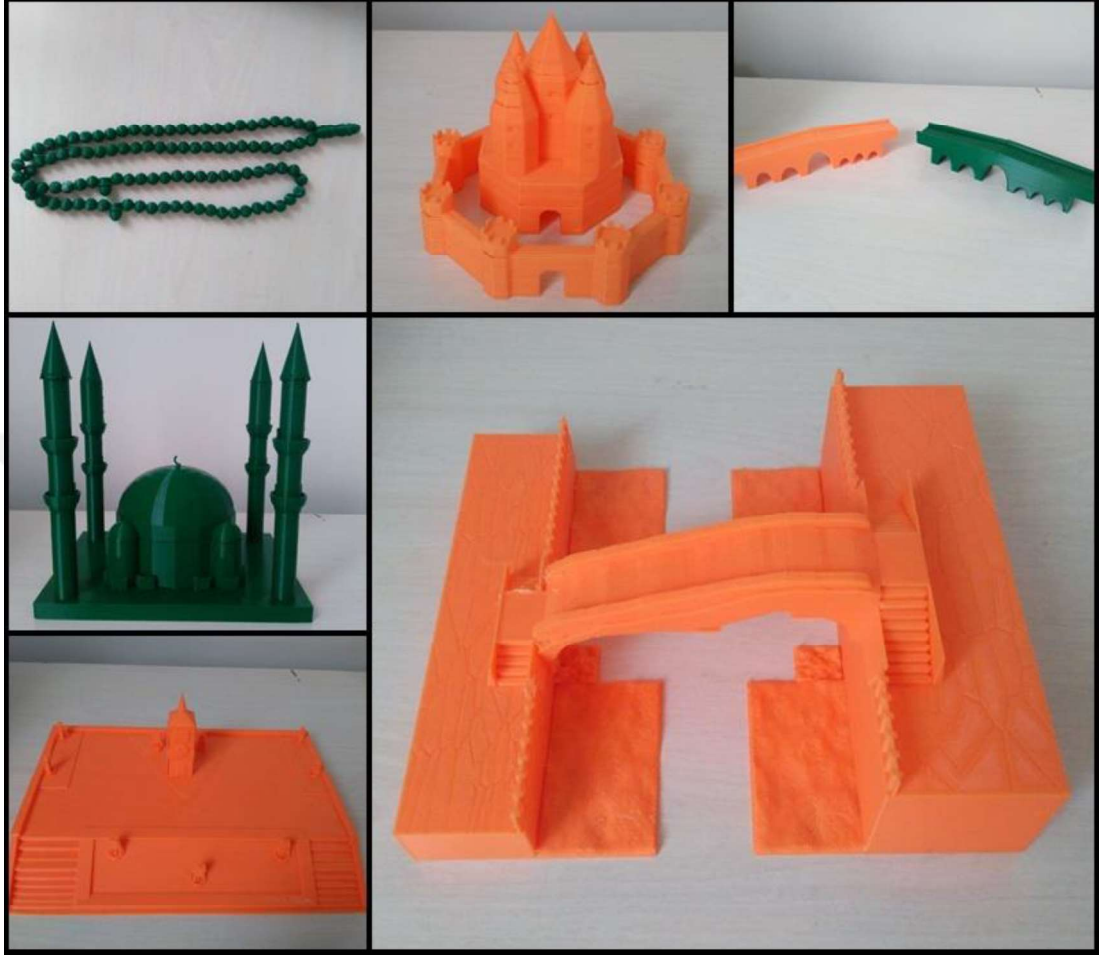
EK 19 Deney Grubu Öğrencileri Tarafından, Süreç İçerisinde Baskısı Alınan 3D Materyaller



EK 19'un devamı



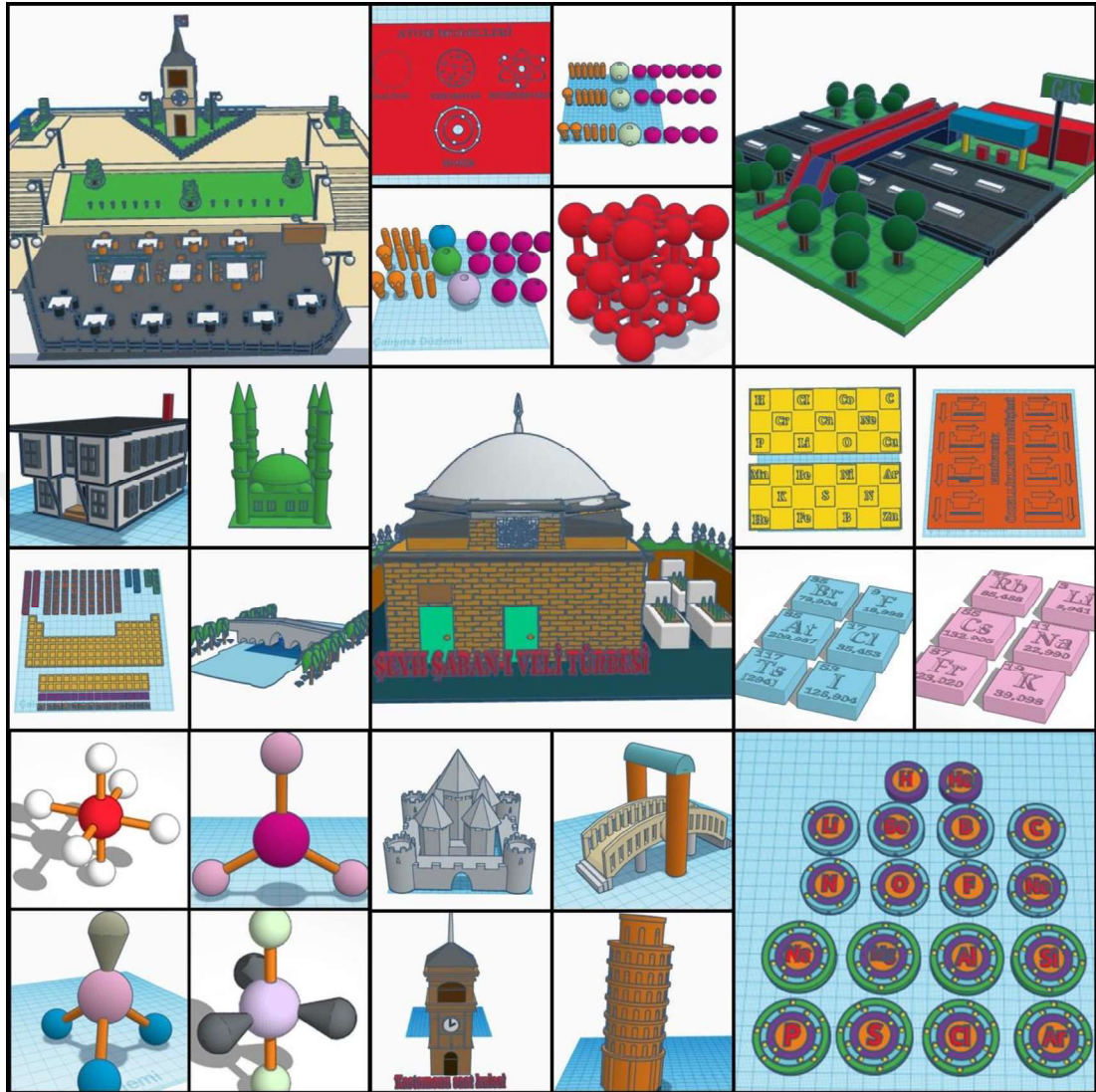
EK 19'un devamı



EK 20 Pilot Uygulamaya Ait Fotoğraflar



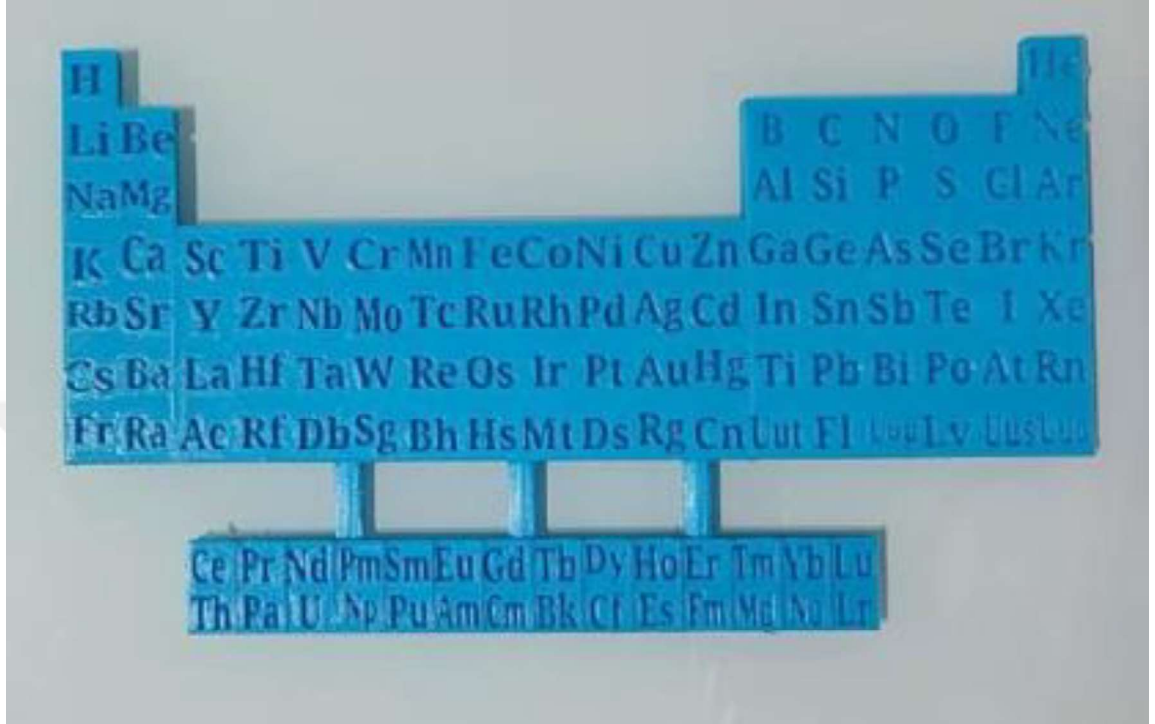
EK 21 3D Modellerin Tinkercad Görüntülerinden Örnekler



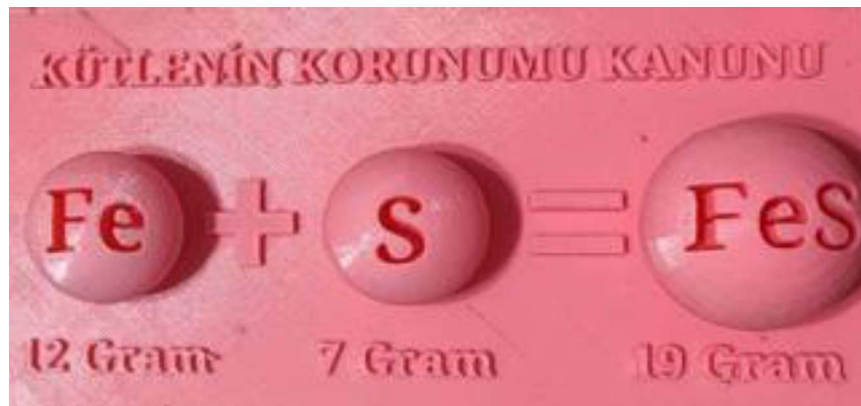
EK 22 Etkinliğe Ait Fotoğraflar



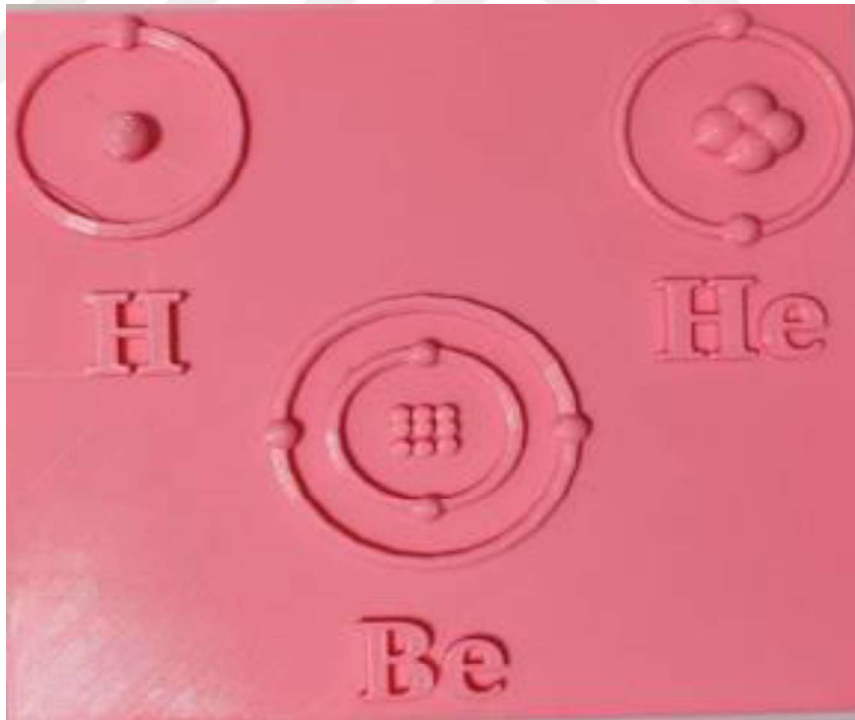
EK 23 Deney Grubu Öğrencilerinin Baskıları



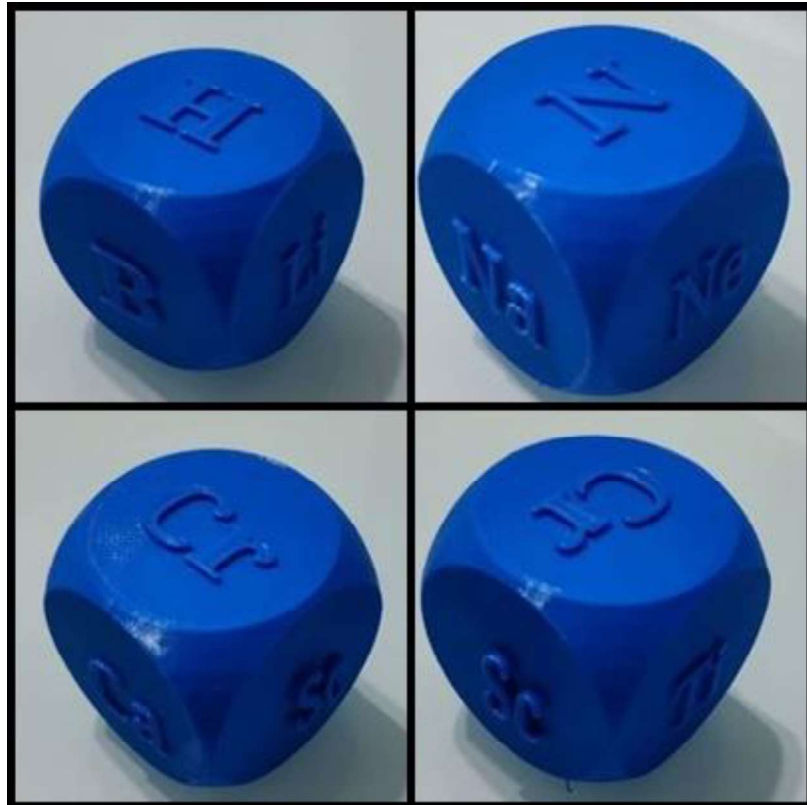
EK 23'ün devamı



EK 23'ün devamı



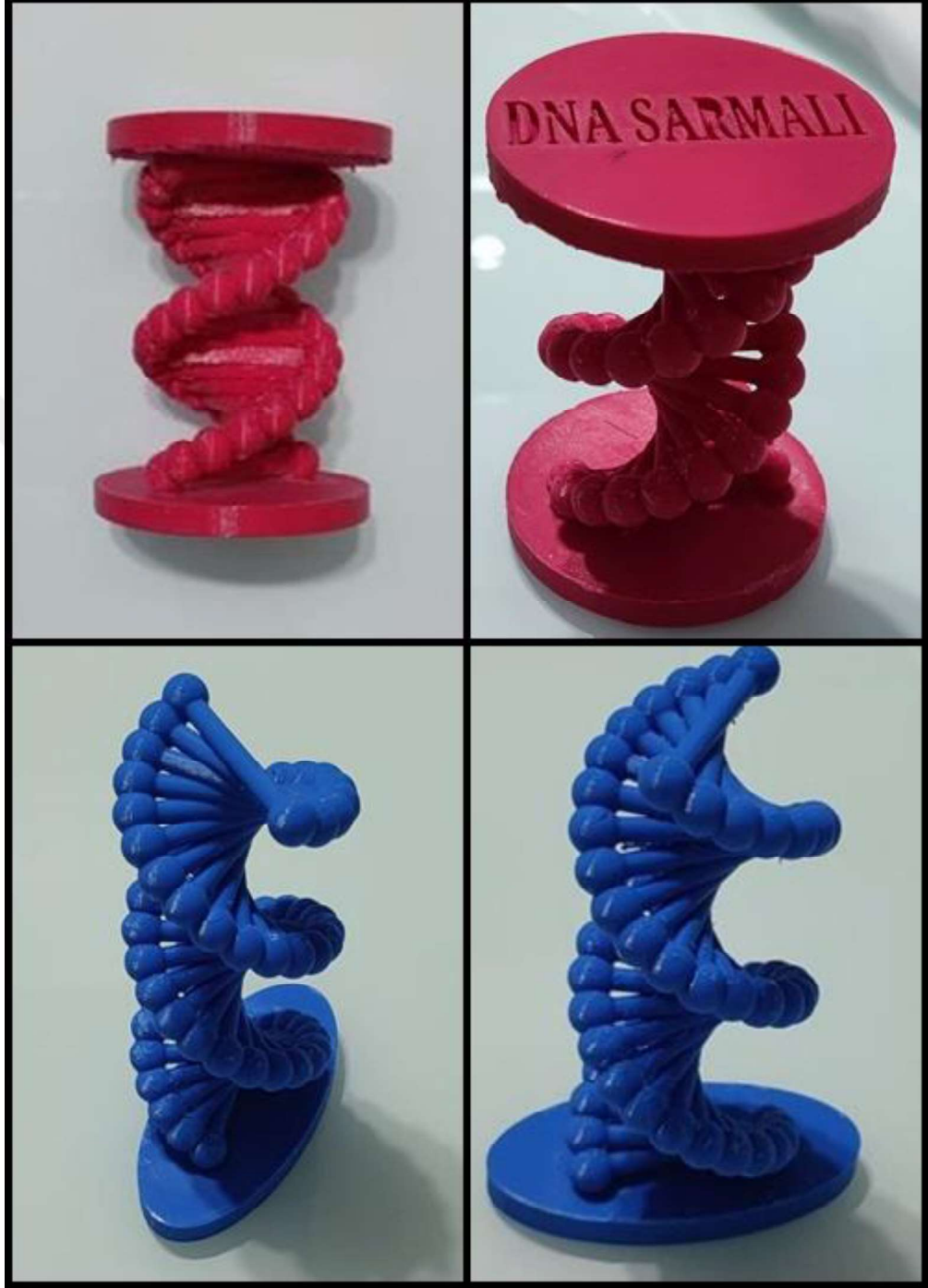
EK 23'ün devamı



EK 23'ün devamı



EK 23'ün devamı



EK 23'ün devamı

