



T.C.

DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ

EĞİTİM BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MATEMATİK VE FEN BİLİMLERİ EĞİTİMİ ANABİLİM DALI

KİMYA ÖĞRETMENLİĞİ PROGRAMI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**KİMYA ÖĞRETMEN ADAYLARININ TEKNOLOJİ DESTEKLİ ÜÇ
BOYUTLU MOLEKÜL MODELLEMELERİNİN KAVRAMSAL
ANLAMALARI VE UZAMSAL YETENEKLERİ BAĞLAMINDA
İNCELENMESİ: BİR KARMA YÖNTEM ARAŞTIRMASI**

BÜŞRA EMETİ CENGİZ

İzmir

2025

TC
DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
EĞİTİM BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MATEMATİK VE FEN BİLİMLERİ EĞİTİMİ ANABİLİM DALI
KİMYA ÖĞRETMENLİĞİ PROGRAMI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

**KİMYA ÖĞRETMEN ADAYLARININ TEKNOLOJİ DESTEKLİ
ÜÇ BOYUTLU MOLEKÜL MODELLEMELERİNİN
KAVRAMSAL ANLAMALARI VE UZAMSAL YETENEKLERİ
BAĞLAMINDA İNCELENMESİ: BİR KARMA YÖNTEM
ARAŞTIRMASI**

BÜŞRA EMETİ CENGİZ

**TEZ DANIŞMANI
PROF. DR. MELİS ARZU UYULGAN**

**JÜRİ ÜYESİ
Prof. Dr. Nalan AKKUZU GÜVEN**

**JÜRİ ÜYESİ
Prof. Dr. Bülent PEKDAĞ**

İzmir

2025

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Yüksek lisans tezi olarak sunduğum “*Kimya Öğretmen Adaylarının Teknoloji Destekli Üç Boyutlu Molekül Modellemelerinin Kavramsal Anlamaları ve Uzamsal Yetenekleri Bağlamında İncelenmesi: Karma Yöntem Araştırması*” adlı çalışmanın içerdiği fikri izinsiz başka bir yerden almadığımı; çalışmamın hazırlık, veri toplama, analiz ve bilgilerin sunumu olmak üzere tüm aşamalarında ve bölümlerinin yazımında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada kullanılan her türlü kaynağa eksiksiz atıf yaptığımı ve bu kaynaklara kaynakçada yer verdiğimi, ayrıca bu çalışmanın Dokuz Eylül Üniversitesi tarafından kullanılan bilimsel intihal tespit programıyla tarandığını ve *intihal içermediğini* beyan ederim. Herhangi bir zamanda aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonuca razı olduğumu bildiririm.

19/06/2025

Büşra Emeti CENGİZ

Tarih: 10.07.2025

Tez Başlığı: Kimya Öğretmen Adaylarının Teknoloji Destekli Üç Boyutlu Molekül

Modellemelerinin Kavramsal Anlamaları ve Uzamsal Yetenekleri Bağlamında İncelenmesi:
Bir Karma Yöntem Araştırması

Yukarıda başlığı belirtilen tez çalışmamın a) Kapak sayfası, b) Giriş, c) Ana bölümler ve d) Sonuç kısımlarından oluşan toplam 156 sayfalık kısmına ilişkin, 9.07.2025 tarihinde **tez danışmanın tarafından** Dokuz Eylül Üniversitesi Kütüphane ve Dokümantasyon Daire Başkanlığı'nın sağladığı İntihal Tespit Programından (**Turnitin-Tez İntihal Analiz Programı**) aşağıda belirtilen **filtreleme tiplerinden biri** (uygun olanı işaretleyiniz) uygulanarak alınmış olan orijinallik raporuna göre, tezimin **benzerlik oranı % 11'dir.**

- <http://www.kutuphane.deu.edu.tr/tr/turnitin-tez-intihal-analiz-programi/> adresindeki Tez İntihal Analiz Programı Kullanım Kılavuzunu okudum ✓

Filtreleme Tipi 1(Maksimum %15) ✓

Filtreleme Tipi 2(Maksimum %30) ☐

✓ Kabul/Onay ve Bildirim sayfaları hariç, ✓ Kaynakça hariç, ✓ Alıntılar dâhil, ✓ Sekiz (8) kelimeden daha az örtüşme içeren metin kısımları hariç.	☐ Kabul/Onay ve Bildirim sayfaları hariç, ☐ Kaynakça dâhil, ☐ Alıntılar dâhil.
EK 1- İntihal Tespit Programı Raporu LK K SAYFA ✓ EK 2- İntihal Tespit Programı Raporu (Tümü) USB içinde. ☐	

Dokuz Eylül Üniversitesi Eğitim Bilimleri Enstitüsü Tez Çalışması Orjinallik Raporu Uygulama Esasları'nı inceledim ve yukarıda belirtilen azami benzerlik oranlarına göre tez çalışmasının herhangi bir intihal içermediğini; aksinin tespit edileceği muhtemel durumda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve yukarıda vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Gereğini saygılarımla arz ederim.

Adı Soyadı : Büşra Emeti CENGİZ

Öğrenci No

Anabilim Dalı : Matematik ve Fen Bilimleri Eğitimi Ana Bilim Dalı

Programı : Kimya Öğretmenliği Yüksek Lisans

Statüsü : Yüksek Lisans ✓

Doktora ☐

ÖĞRENCİ

Büşra Emeti CENGİZ

İmza:

10.07.2025

DANIŞMAN

Prof. Dr. Melis Arzu UYULGAN

İmza:

10.07.2025

Açıklamalar

1: Bu formu teslim etmeden önce sizden istenen bilgileri uygun kutucuğu () işaretleyerek doldurunuz.

Kullanıcı şifre vb. konusunda sorun yaşanması durumunda Üniversitemiz Merkez Kütüphanesinde bulunan Turnitin yetkilisine başvurunuz.

2: Yüksek Lisans/Doktora Tez Çalışması Orijinallik Raporu" formu tezin ciltlenmiş ve elektronik nüshalarının içerisinde ekler kısmında yer alır.

3: Tez savunmasında düzeltme alınması durumunda bu form güncellenerek yeniden hazırlanır.

4: Turnitin-Tez İntihal Analiz Programına yükleme yapılırken Dosya Başlığı (document title) olarak **tez başlığının tamamı**, Yazar Adı (author's first name) olarak **öğrencinin adı**, Yazar Soyadı (author's last name) olarak **öğrencinin soyadı** bilgisini yazınız.

TEŞEKKÜR

Bu yüksek lisans tezinin ortaya çıkmasında, yol göstericiliğiyle her zaman yanımda olan, akademik bir danışmandan çok daha fazlası olarak sürecin her anında bilgi, sabır ve anlayışıyla rehberlik eden çok kıymetli hocam Sayın Prof. Dr. Melis Arzu UYULGAN'a en derin teşekkürlerimi sunuyorum. Bilimsel bakış açısı, yönlendirici tavsiyeleri ve her koşulda desteğini esirgemeyen duruşuyla bu süreci anlamlı ve geliştirici bir yolculuğa dönüştürmüştür. Yalnızca bir tez danışmanı değil, aynı zamanda beni her daim motive eden, inancımı tazeleyen, akademik gelişimime ilmek ilmek katkı sunan bir öğretici, bir ilham kaynağı olmuştur. Onun desteği ve rehberliği olmadan bu noktaya ulaşmam mümkün olmazdı. Kendisine duyduğum sonsuz saygı ve minneti kelimelere sığdırmak zor olsa da bu çalışmanın her satırında emeğinin izleri olduğunu bilerek en içten teşekkürlerimi sunarım.

Tez jürisinde yer alarak değerli katkılarıyla sürece bilimsel derinlik katan Sayın Prof. Dr. Bülent PEKDAĞ ve Prof. Dr. Nalan AKKUZU GÜVEN'e içten teşekkür ederim. Ayrıca bu araştırmanın desteklenmesini sağlayan Dokuz Eylül Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi'ne (BAP) (Proje No: 3301), sağladığı akademik ve maddi katkılar için teşekkür ederim.

Bu tez çalışmasının her aşamasında, yalnızca bir destekçi değil, aynı zamanda en büyük ilham ve güç kaynağım olan müstakbel eşim Asımcan SARGIN'a en derin teşekkürlerimi sunuyorum. Her düştüğümde elimden tutan, inancımı yitirdiğimde gözlerindeki kararlılıkla bana yeniden yön çizen, kelimelere sığmayan sabrıyla ve verdiği desteğiyle varlığını hep yanımda hissettiren bir yoldaş oldun. Çoğu zaman tek bir bakışınla içimdeki fırtınayı dindirdin, bir cümlele günlerimin ağırlığını hafifleten oldun. Bu süreç sadece bir akademik tamamlanma değil, seninle birlikte büyüyen bir sabrın, sevginin ve ortak bir emeğin öyküsüdür. Hayalini birlikte kurduğumuz her şeyin ilk adımlarında senin izlerin var. Varlığınla her zorluğu aşılabılır kıldığın, beni ben yapan her yanımla sevgiyle kabul ettiğin için sonsuz teşekkür ederim.

Hayatım boyunca yanımda olan, sevgisi, sabrıyla yolumu aydınlatan canım aileme en derin şükranlarımı sunuyorum. Biricik annem Hatice CENGİZ... Her zaman bir adım geriden gelerek beni gözetken, kararlı varlığınla arkamda duran, yorgun düştüğümde sözlerinle yeniden ayağa kaldıran sensin. Ne zaman kararsız kalsam bakışların yönümü bulmama yardım etti. Gücümün tükendiği yerde, sabrın ve sevgilerinle bana dayanak oldun. İyi ki varsın, iyi ki annemsin. Babam Faruk CENGİZ... Sessizliğin ardındaki güçlü desteğinle her zaman yanımda olduğunu hissettirdin. Varlığın ve bana duyduğun güven, içimde taşıdığım en büyük motivasyondur. Teşekkür ederim.

Canım kardeşim Büşra CENGİZ... Bu süreçte yalnızca bir kardeş değil, aynı zamanda ruhumun sesi oldun. Yorulduğumda omzum, sustuğumda sesim, vazgeçtiğimde inancım oldun. Sevinçlerimi paylaştığında gözlerindeki ışıltı, sabrınla beni hep ayakta tuttu. Belki yalnızca bir paragrafta yer alıyorsun ama bu tezin her satırında senin sevgin ve anlayışın var. İyi ki benim kardeşimsin.

Ve sevgili anneannem ile dedem, Tülay ve Yılmaz USLU... Siz yalnızca ailem değil, aynı zamanda kalbimin huzuru, dualarımın en içten yankısı oldunuz. Anneannemin ellerindeki şefkat, dedemin gözlerindeki güven bana her zaman cesaret verdi. Sarsıldığımda dualarınızla güç buldum, vazgeçtiğimde sevginizle toparlandım. Varlığınız bu yolculuğun en etkili desteği oldu. İyi ki varsınız, iyi ki benim ailemsiniz.

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	vii
ABSTRACT	viii
BÖLÜM I.....	1
GİRİŞ	1
1.1. Problem Durumu.....	1
1.2. Amaç ve Önem	4
1.2.1. Araştırmanın Amacı	4
1.2.2. Araştırmanın Önemi.....	5
1.3. Problem Cümlesi.....	7
1.4. Sınırlılıklar	7
1.5. Varsayımlar.....	8
1.6. Tanımlar.....	8
BÖLÜM II.....	9
KAVRAMSAL ÇERÇEVE	9
2.1. Modelleme.....	9
2.1.1. Tanımı	9
2.1.2. Modelleme ile Öğretim	10
2.1.3. Kimya Eğitiminde Üç Boyutlu Modelleme	14
2.2. Üç Boyutlu Yazıcılar.....	16
2.2.1. Üç Boyutlu Yazıcıların Tanımı	18
2.2.2. Üç Boyutlu Yazıcıların Tarihçesi.....	20
2.2.3. Üç Boyutlu Yazıcıların Çalışma Prensipleri ve Özellikleri	25
2.2.4. Eğitimde Üç Boyutlu Yazıcıların Kullanımı.....	27
2.2.5. Eğitimde Üç Boyutlu Yazıcı Kullanımının Avantajları.....	28
2.2.6. Eğitimde Üç Boyutlu Yazıcı Kullanımının Dezavantajları	29

2.2.7. Kimya Eğitiminde Üç Boyutlu Yazıcıların Kullanımı	30
2.3. Uzamsal Yetenek	32
2.3.1. Uzamsal Yetenek Tanımı	32
2.2.2. Uzamsal Yetenek Bileşenleri	33
2.3.2. Uzamsal Yetenek ve Eğitimdeki Önemi	35
2.3.4. Uzamsal Yeteneklerin Geliştirilmesi	38
2.4. İlgili Araştırmalar	39
BÖLÜM III	43
YÖNTEM.....	43
3.1. Araştırmanın Modeli	46
3.1.1. Nicel Araştırma Deseni	46
3.1.2. Nitel Araştırma Deseni	47
3.2. Araştırmanın Örneklemi.....	47
3.3. Veri Toplama Süreci ve Araçları	48
3.3.1. İki Aşamalı Molekül Geometrilere Tanı Testi.....	49
3.3.2. Molekül Modeli Uzamsal Yetenek Testi	50
3.3.3. Odak Grup Görüşmeleri.....	51
3.4. Tasarım, Geliştirme ve Uygulama Süreci	53
3.4.1. Genel Bilgilendirme ve Ön Test Uygulaması	53
3.4.2. 3D Modelleme Yazılım Eğitimi.....	53
3.4.3. 3D Yazıcı Eğitimi	59
3.4.4. Odak Grup Görüşmeleri.....	65
3.4.5. Son Test Uygulaması ve Değerlendirme.....	66
3.5. Verilerin Analizi.....	66
3.5.1. İki Aşamalı MGTT'nin Analizi	66
3.5.2. Molekül Modeli Uzamsal Yetenek Testi'nin Analizi	68

3.5.3. Odak Grup Görüşmelerinin Analizi	69
3.6. Araştırmanın Geçerliği ve Güvenirliği.....	70
3.6.1. İç Geçerlik	71
3.6.2. Güvenirlik	71
3.7. Araştırmacının Rolü	72
BÖLÜM IV	74
BULGULAR	74
4.1. Araştırmanın Birinci Alt Problemine İlişkin Bulgular	74
4.2. Araştırmanın İkinci Alt Problemine İlişkin Bulgular.....	78
4.3. Araştırmanın Üçüncü Alt Problemine İlişkin Bulgular	79
4.4. Araştırmanın Dördüncü Alt Problemine İlişkin Bulgular	82
4.5. Araştırmanın Beşinci Alt Problemine İlişkin Bulgular	83
4.5.1. Kavramsal Anlama Hakkındaki Sorulara İlişkin Bulgular	83
4.5.2. Uzamsal Yetenek Hakkındaki Sorulara İlişkin Bulgular	85
4.5.3. Mesleki Yeterlilik Hakkındaki Sorulara İlişkin Bulgular	88
BÖLÜM V	91
TARTIŞMA, SONUÇ VE ÖNERİLER.....	91
5.1. Tartışma.....	91
5.2. Sonuç ve Öneriler.....	93
5.2.1. Sonuç.....	93
5.2.2. Öneriler	100
KAYNAKÇA	102
EKLER.....	115

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 1	22
<i>Üç boyutlu yazıcı teknolojisinin tarihsel gelişimi</i>	22
Tablo 2	47
<i>Tek grup ön test – son test deneysel desen</i>	47
Tablo 3	50
<i>İki aşamalı MGTT sorularının konu içeriğine göre dağılımı</i>	50
Tablo 4	61
<i>Örnek bir molekülün (BH_3 molekülünün) 3D baskı süreci</i>	61
Tablo 5	67
<i>İki aşamalı MGTT'nin analizi için kullanılan değerlendirme kriterleri</i>	67
Tablo 6	67
<i>Kavramsal anlama düzeylerine ilişkin belirlenen ölçütler ve puan aralıkları</i>	67
Tablo 7	74
<i>Öğretmen adaylarının iki aşamalı MGTT'den aldıkları ön test ve son test puan düzeylerinin sınıflandırılması</i>	74
Tablo 8	75
<i>Öğretmen adaylarının iki aşamalı MGTT'den aldıkları ön test ve son test puanlarının kavramsal anlama kategorilerine göre değişimi.....</i>	75
Tablo 9	77
<i>Öğretmen adaylarının iki aşamalı MGTT ön test ve son test puan ortalamalarındaki değişimleri.....</i>	77
Tablo 11	81
<i>Öğretmen adaylarının MMUYT'den aldıkları ön test ve son test puan düzeylerinin sınıflandırılması</i>	81
Tablo 12	82
<i>MMUYT öntest ve sontest ortalama puanlarının t-testi sonuçları.....</i>	82
Tablo 13	83
<i>Kavramsal anlama hakkındaki sorulara ilişkin bulgular</i>	83
Tablo 14	86
<i>Uzamsal yetenek hakkındaki sorulara ilişkin bulgular</i>	86
Tablo 15	88
<i>Mesleki yeterlilik hakkındaki sorulara ilişkin bulgular</i>	88

ŞEKİLLER LİSTESİ

<i>Şekil 1. Kimya eğitiminde kavramsal anlama düzeyleri (sofra tuzu örneği)</i>	<i>14</i>
<i>Şekil 2. 3D yazıcı görseli (https://www.robotus.net/anycubic-kobra-max-3d-yazici)</i>	<i>19</i>
<i>Şekil 3. Eklemeli imalat (3D baskı) işlem adımları (Sürmen, 2019).</i>	<i>26</i>
<i>Şekil 4. Uzamsal yetenek bileşenleri</i>	<i>33</i>
<i>Şekil 5. Araştırmada izlenen çeşitleme deseni süreç modeli.....</i>	<i>45</i>
<i>Şekil 6. Chemdoodle 3D programı ana ekran görüntüsü</i>	<i>54</i>
<i>Şekil 7. Chemdoodle 3D programı ile oluşturulan molekül örnekleri</i>	<i>55</i>
<i>Şekil 8. 3D Yazılım eğitiminden görüntü.....</i>	<i>56</i>
<i>Şekil 9. Öğretmen adaylarının Chemdoodle 3D yazılım programını kullanarak yapmış oldukları çalışmalara ait görüntüler.....</i>	<i>57</i>
<i>Şekil 10. Öğretmen adaylarının Chemdoodle 3D programını kullanarak oluşturduğu bazı molekül örnekleri.....</i>	<i>59</i>
<i>Şekil 11. XYZ Da Vinci 1.1 plus 3D yazıcı.....</i>	<i>60</i>
<i>Şekil 12. Üç boyutlu baskı üretim süreci (Uyulgan ve Cengiz, 2024)</i>	<i>61</i>
<i>Şekil 13. 3D yazıcı eğitiminden görüntü</i>	<i>63</i>
<i>Şekil 14. 3D baskı ile üretilmiş molekül örnekleri</i>	<i>64</i>
<i>Şekil 15. 3D basılmış molekülleri boyama etkinliğinden görüntüler</i>	<i>65</i>
<i>Şekil 16. Öğretmen adayları ile gerçekleştirilen odak grup görüşmeleri.....</i>	<i>65</i>
<i>Şekil 17. Öğretmen adaylarının MMUYT'den aldıkları öntest ve sontest toplam puan dağılım grafiği.....</i>	<i>80</i>

ÖZET

KİMYA ÖĞRETMEN ADAYLARININ TEKNOLOJİ DESTEKLİ ÜÇ BOYUTLU MOLEKÜL MODELLEMELERİNİN KAVRAMSAL ANLAMALARI VE UZAMSAL YETENEKLERİ BAĞLAMINDA İNCELENMESİ: BİR KARMA YÖNTEM ARAŞTIRMASI

Bu araştırmanın amacı, kimya öğretmen adaylarının teknoloji destekli üç boyutlu (3D) molekül modelleme etkinlikleri aracılığıyla kavramsal anlama düzeyleri ile uzamsal yeteneklerini incelemektir. Karma yöntem deseninde yürütülen bu çalışma, nicel ve nitel verilerin birlikte değerlendirildiği bir araştırma olarak tasarlanmıştır. Nicel veriler, İki Aşamalı Molekül Geometrilere Tanı Testi ve Molekül Modeli Uzamsal Yetenek Testi aracılığıyla elde edilmiştir; nitel veriler ise odak grup görüşmeleri yoluyla toplanmıştır. Araştırma, 2023–2024 eğitim-öğretim yılı bahar döneminde, İzmir'de bir devlet üniversitesinde Kimya Öğretmenliği programında son sınıfta öğrenim gören 22 öğretmen adayı ile gerçekleştirilmiştir. Araştırma kapsamında, öğretmen adayları ChemDoodle 3D yazılım programı kullanarak molekül modelleri tasarlamış, bu modelleri 3D yazıcıyla somut hale getirerek hibritleşme, hibrit orbitaller ve molekül geometrisi gibi soyut kimya kavramlarını görselleştirmiştir. Bulgular, öğretmen adaylarının kavramsal anlama düzeylerinde ve uzamsal yeteneklerinde anlamlı bir gelişim olduğunu ortaya koymuştur. Ayrıca nitel veriler, katılımcıların üç boyutlu modelleme sürecini öğrenmeye katkı sağlayan, motive edici ve kalıcı öğrenmeyi destekleyen bir deneyim olarak değerlendirdiklerini göstermiştir. Elde edilen sonuçların, kimya eğitiminde teknoloji destekli öğretim süreçlerinin etkisini ortaya koyması ve öğretmen eğitimi programlarına katkı sağlaması beklenmektedir.

Anahtar Kelimeler: Üç boyutlu molekül modelleme, uzamsal yetenek, kavramsal anlama, kimya eğitimi, kimya öğretmen adayı.

ABSTRACT

INVESTIGATION OF PRE-SERVICE CHEMISTRY TEACHERS' TECHNOLOGY-SUPPORTED THREE-DIMENSIONAL MOLECULE MODELING IN THE CONTEXT OF THEIR CONCEPTUAL UNDERSTANDING AND SPATIAL ABILITIES: A MIXED METHOD RESEARCH

The aim of this study is to examine the conceptual understanding levels and spatial abilities of pre-service chemistry teachers through technology-supported three-dimensional (3D) molecular modeling activities. Designed as a mixed-methods research, the study integrates both quantitative and qualitative data. Quantitative data were collected using the Two-Tier Molecular Geometry Diagnostic Test and the Molecular Modeling Spatial Ability Test, while qualitative data were obtained through focus group interviews. The research was conducted during the spring semester of the 2023–2024 academic year with 22 senior-year pre-service chemistry teachers enrolled in a state university in İzmir, Türkiye. As part of the study, participants used the ChemDoodle 3D modeling software to design molecular models, which were then physically produced using a 3D printer. This process enabled participants to visualize abstract chemistry concepts such as hybridization, hybrid orbitals, and molecular geometry in a tangible form. The findings revealed that participants showed statistically significant improvement in both conceptual understanding and spatial ability. Furthermore, the qualitative data indicated that participants perceived the 3D modeling process as a motivating, engaging, and meaningful learning experience that supported long-term retention. The results of the study are expected to contribute to the literature on the effectiveness of technology-enhanced instructional practices in chemistry education and offer valuable implications for teacher education programs.

Keywords: Three-dimensional molecule modeling, spatial ability, conceptual understanding, chemistry education, pre-service chemistry teacher.

BÖLÜM I

GİRİŞ

1.1. Problem Durumu

İçinde yaşadığımız dünyanın getirdiği sosyal, ekonomik, teknolojik, eğitsel gelişmeler ve yenilikler çağa ayak uydurmamızı sağlamıştır. Son yıllarda teknolojinin de bu denli hızla ilerlemesi çağın dönüşümünü aynı oranda hızlandırmıştır. Eğitim ortamlarında teknolojiyi uygulayan bireyler öğretmenlerdir. Bu durumda çağdaş eğitim anlayışının sürdürülebilmesi konusunda öğretmenlerin teknoloji kullanım bilgi ve yeteneklerinin ele alınması önem kazanmaktadır. Aynı zamanda derslerde teknolojik unsurların kullanılması ve öğrencilere araştırma, keşfetme olanağının sağlanması kavramsal anlamada ve bilginin transferinin kolaylaştırılmasında önemli bir fark yaratmaktadır (Moore, Herzog ve Perkins, 2013). Eğitim ortamlarında teknolojinin bize sunduğu fırsat ve unsurlardan biri de üç boyutlu yazıcılardır. Üç boyutlu yazıcılar, bilgisayar ortamında sanal olarak oluşturulan tasarımların farklı tür materyaller üzerine somut olarak üç boyutlu çıktısını alma imkanı sağlayan araçlardır (Balcıoğlu, 2014). Ayrıca üç boyutlu yazıcılar, özel olarak geliştirilmiş yazılım programlarında taratılan çizim ya da modelleri geleneksel yöntemle göre daha hızlı üretebilen eklemeli imalat olarak da tanımlanmaktadır (Doğan ve Baloğlu, 2020). Uzay ve havacılık, otomotiv, biyomedikal, savunma sanayi, enerji sektörü gibi farklı endüstri alanlarında parça imalatı amacıyla eklemeli imalat teknolojileri kullanılmaktadır. Pek çok alanda olduğu gibi eğitim alanında da bu tür imalat teknolojileri eğitimcilere yeni olanaklar sunmaktadır. Araştırmalar öğrencilerin kendi fikirlerini üç boyutlu yazıcılar aracılığı ile somut modellere dönüştürmesinin, öğrencilerin hayal güçlerini ve yaratıcılıklarını geliştirebileceğini ifade etmektedir (Kökhan ve Özcan, 2018). Üç boyutlu yazıcılar ile öğrenciler hayalini kurdukları veya ders kapsamında öğrendikleri soyut bilgileri somutlaştırabilmektedir. Böylece, özellikle fen, teknoloji, mühendislik ve matematik etkinliklerinde öğrencilerin yeni fikirler üretmeye ve çalışmaya yönelik olarak motivasyonlarının artış göstereceği, öğrencilerin kendi tasarladıkları objelere dokunabilmesinin de öğrenciler için benzersiz bir deneyim imkânı sunacağı düşünülmektedir (Brown, 2015). Bu teknolojinin kullanımının yaygınlaşması ile eğitimci ve öğrenci arasındaki etkileşim daha da artacaktır. Bununla birlikte öğrencilerin zihinlerindeki kavramların elle tutulur nesnelere dönüşmesiyle yaratıcılık ve yenilikçi düşünme yeteneği kazanmaları kolaylaşacaktır (Kökhan ve Özcan, 2018). İlköğretimden üniversiteye kadar her öğrenme düzeyinde etkili bir şekilde kullanılmakta olan üç boyutlu yazıcılar öğrencilerin özgüven ve hayal gücünü artıran ve onlara yeni öğrenme fırsatları sunan bir teknolojidir.

Ayrıca öğrenme sırasında etkileşimi canlandırmada; üç boyutlu yazıcı kullanarak sınıflarda etkileşimli bir ortam yaratılabilir. Bu etkileşim sırasında öğrencilerin ilgi odaklarını yakalamada, anlatım sırasında sözel ifadeler arasında kaybettikleri dikkatlerini yeniden toplamalarında, konuda istenen mesajı üç boyutlu olarak algılayabilmelerinde bu tür teknolojilerin kullanımı oldukça önemlidir. Bu nedenlerden ötürü Eğitim fakültelerinde yetişmekte olan öğretmen adaylarının bu tür teknolojileri eğitim ve öğretim ortamında etkili şekilde kullanarak çeşitli deneyim ve tecrübeler kazanmalarına ihtiyaç bulunmaktadır. Öğretmen adaylarını sadece gelecekteki kariyerlerine alan bilgisi ve pedagojik bilgi açısından hazırlamak ve onlara bu özellikleri kazandıracak becerilerle donatmak yeterli değildir. Onları çağın gerektirdiği eğitim teknolojilerinde de yeterli donanıma erdirmek önem taşımaktadır (Babacan ve Ören, 2017; Çorlu ve Aydın, 2016).

Son otuz yılda teknolojinin hızla gelişmesi ve bilgi işleme araçlarının pratik ve öğrenme-öğretme süreçlerine uygun hale gelmesi, eğitimciler üzerinde olumlu etkiler bırakmıştır. Teknolojinin hızla günlük yaşantımıza dahil olması ve sürekli gelişmesi, eğitimcilerin öğretimde yaratabileceği etkileri sorgulamasına neden olmuştur. Eğitim ortamlarına entegre edilen teknoloji, akademik başarı üzerinde önemli bir etki yaratmış, farklı başarı düzeylerindeki öğrencilerin öğrenmelerini kolaylaştırmıştır. Dijital araçların kullanımı ise öğrencilerin motivasyonunu ve derse katılımını artırarak öğrenme sürecini daha etkili ve verimli hale getirmiştir. Araştırmalar, teknolojik araçlarla desteklenen öğretim süreçlerinin, öğrencilerin akademik başarılarını olumlu yönde etkilediğini ve kalıcı öğrenmeyi sağladığını göstermektedir (Katrancı ve Uygun, 2013). Ayrıca eğitimde teknoloji kullanımı, öğrencilerin çalışmalarının somut ürünlere dönüşmesine olanak sağlayarak öğrenme sürecinden keyif almalarını ve kendi çalışma planlarını oluşturabilmelerini desteklemektedir. Bunun yanı sıra, teknoloji sayesinde öğrenciler araştırdıkları konularda daha güncel ve ayrıntılı bilgilere erişebilmekte, öğrenme sürecinde birden fazla duyu organını etkin bir şekilde kullanabilmekte, böylece öğrenmenin kalıcılığı artarken motivasyonları da yükselmektedir (Karaman vd., 2008).

Üç boyutlu yazıcılar, öğrenme ortamına son yıllarda dahil olmuş öğrencilerin yaratıcılığını destekleyen ve yazılım bilgisi kullanılarak hayal edilen her türlü tasarımın somut bir ürüne dönüştürülmesini mümkün kılan yenilikçi teknolojik araçlardır (Erdoğan, Çorlu ve Capraro, 2013). Bu cihazlar, öğrencilere hem bireysel hem de grup çalışmaları sırasında tasarım yapma ve bu tasarımları fiziksel hale getirme fırsatı sunar. Öğrenciler, üzerinde çalıştıkları bir konuyu daha ayrıntılı anlamak ve kavramları kalıcı bir şekilde öğrenmek için materyaller oluşturabilir, bu materyalleri geliştirip üç boyutlu bir çıktı olarak yazdırabilirler.

Üç boyutlu eğitim teknolojileri ile gerçekleştirilen öğretim, derse öğrencilerin aktif katılmasını, öğrencinin ilgisinin artmasını ve soyut olan kavramların somutlaştırılarak öğrenciler tarafından öğrenilmesini kolaylaştırmakla beraber, öğrencilerin birtakım yeteneklerinin gelişmesini de sağlamaktadır. Bu yeteneklerden biri de uzamsal yetenektir. Uzamsal yetenek, bireyin zihninde nesneleri canlandırabilmesi, nesnelerin üzerinde düzenlemeler yapabilmesi ve yeni görseller oluşturabilmesi yeteneğidir (Karaismailoğlu, 2022). Aynı zamanda bireylerin karşılaştıkları problemlere ait bilgileri organize ederek zihinlerinde görselleştirmesini, aralarındaki ilişkiyi anlamalarını ve yorumlamalarını sağlamaktadır (Turğut ve Yılmaz, 2012). Araştırmalar kimya başarısı ile uzamsal yetenek arasında olumlu bir ilişki bulunduğunu göstermektedir (Çetin, 2020; Karaismailoğlu, 2022; Yavuz ve Büyükekşi, 2018). Bunun nedeni kimya alanının molekül, molekül geometrisi, hibritleşme gibi uzamsal yeteneği ve düşünmeyi gerektiren kavramlar içermesidir. Uzamsal yetenek kavramının eğitim alanındaki öneminden dolayı son yıllarda bu yeteneğin tespit edilmesi ve geliştirilmesi adına birçok çalışma yürütülmüştür (Sütçü ve Oral, 2019; Yüksel ve Bülbül, 2014). Bodner ve McMillen (1986), yürüttükleri çalışma sonucunda uzamsal yetenek başarısı ile genel kimya başarısı arasında pozitif bir ilişki olduğunu ortaya koymuşlardır. Bu çalışmadan sonra uzamsal yetenek ve kimya başarısı ilişkisini inceleyen çalışmaların sayısı artmıştır. Wu ve Shah (2004) tarafından yürütülen çalışmada, 1966 yılından 2004 yılına kadar kimya dersi ile ilişkilendirilmiş uzamsal yeteneği konu alan 134 çalışma incelenmiş ve uzamsal yetenek ile kimya başarısı arasındaki olumlu ilişkiye dikkat çekilmiştir. Harle ve Towns (2011) araştırmalarında organik kimyada yapıların nasıl çizileceği, stereokimyada da molekül geometrilerinin zihinde canlandırılmasında öğrencilerin geliştirmesi beklenen bir uzamsal yetenek gerektiğini belirtmişlerdir. Öğrencilerin kimyayı daha kolay bir şekilde öğrenebilmelerinde soyut ve uzamsal düşünme yeteneklerinin gelişmesinde öğretmenleri büyük rol oynamaktadır. Öğretmenlerin öğrencilerine bu yeteneği kazandıracak yetkinlikte olması, öncelikle kendi uzamsal yeteneğini geliştirmesi ve öğrencilerine buna dair etkinlikler yaptırması ile mümkün olabilir.

Üç boyutlu yazıcılar gibi teknolojik araçların etkili bir şekilde kullanılabilmesi, özellikle uzamsal konuları içeren içeriklerin oluşturulmasında, öğretmenlerin ve öğretmen adaylarının uzamsal düşünme becerilerine sahip olmasını gerektirir. Bu bağlamda, öğretmenlerin yalnızca teknik bilgiye değil, aynı zamanda bu tür görselleri tasarlayabilmeleri için uzamsal düşünme yeteneklerine de ihtiyaçları vardır (Çevik vd., 2019). Bu durum, eğitim süreçlerinde öğretmenlerin uzamsal düşünme ve görsel tasarım becerilerini geliştirecek özel eğitim programlarına dahil edilmesi gerektiğini göstermektedir. Öğretmenlerin ve aynı

zamanda öğretmen adaylarının bu alanda yetkinleşmesi hem öğrencilerin öğrenme süreçlerini destekleyecek hem de teknolojinin eğitimde daha etkin bir şekilde kullanılmasını sağlayacaktır. Bu sebeple öğretmen adaylarının uzamsal yeteneklerinin test edilmesi ve gerçekleştirilecek üç boyutlu modelleme etkinliklerinin lisans düzeyinde bu yeteneğe etkisinin olup olmadığının araştırılması önem taşımaktadır (Çetin, 2020).

Bu bağlamda, kimya öğretmen adaylarının teknoloji destekli üç boyutlu modelleme etkinlikleri ile hem uzamsal yeteneklerinin hem de kavramsal anlama düzeylerinin geliştirilmesinin eğitim ortamlarına nasıl katkı sağlayabileceği araştırılması gereken önemli bir konudur. Öğretmen adaylarının, öğrencilere bu yetenekleri kazandırabilecek düzeyde yetkin olabilmeleri için lisans düzeyinde üç boyutlu modelleme etkinlikleri ile desteklenmelerinin gerekliliği ortaya çıkmaktadır. Buradan hareketle, bu tez çalışmasında kimya öğretmen adaylarının teknoloji destekli üç boyutlu modellemeler yoluyla uzamsal yeteneklerinin ve kavramsal anlamalarının incelenmesi hedeflenmiştir.

1.2. Amaç ve Önem

1.2.1. Araştırmanın Amacı

Bu çalışmada, Kimya Öğretmenliği lisans programında öğrenim gören öğretmen adaylarının kimya alanında üç boyutlu (3D) bir yazılım programını kullanılarak yürütülen öğretim sürecinde 3D yazıcılar ile kendi tasarladıkları molekül modelleri üzerinden hibritleşme, hibrit orbitaller, molekül geometrileri konularındaki kavramsal anlamalarının ve uzamsal yeteneklerinin incelenmesi amaçlanmaktadır. Aynı zamanda üç boyutlu molekül modelleme etkinlikleri uygulanarak öğretmen adaylarının bu konudaki anlamalarını daha anlamlı ve kalıcı hale getirmelerinin yanında uzamsal yeteneklerinin de geliştirilmesi beklenmektedir. Bu amaç doğrultusunda, araştırmacı tarafından öğretmen adaylarına 3D bir yazılım programı eğitimi verilmiştir. Eğitim tamamlandıktan sonra program öğretmen adayları tarafından uygulanarak molekül geometrileri konusunda öğretim gerçekleştirilmiştir. Bu öğretim sırasında 3D yazıcı kullanımı aracılığıyla da adayların yazılım programında tasarladıkları molekül modelleri ile yapılacak etkinliklerle molekül geometrileri konusundaki kavramsal anlamalarının somutlaştırılarak kalıcı hale getirilmesi hedeflenmiştir. Ayrıca öğretmen adaylarının molekül geometrileri konusundaki ön bilgileri ile son bilgileri karşılaştırılmış ve uzamsal yeteneklerinin süreç içerisindeki gelişimi incelenmiştir. İçinde yaşadığımız teknoloji çağının eğitim alanında getirdiği yenilikler kimya eğitiminde de yeni fırsat ve olanaklar sağlamaktadır. Bu fırsat ve olanaklar, öğretmen adaylarının uzamsal yeteneklerini geliştirmeye ve bununla birlikte öğrenmelerini kalıcı hale getirmeye yöneliktir.

Uzamsal yeteneği yeterli düzeyde gelişmemiş olan öğretmenlerin öğrencilerine görsel araçlar aracılığıyla etkili öğrenme ortamları oluşturabilmeleri konusunda sıkıntı yaşadıkları yapılan araştırmalarda belirtilmektedir. Özellikle Kimya eğitiminde kimyasal bağlanma, bağ açıları ve molekül yapılarının öğretiminde öğretmenlerin uzamsal yeteneklerini anlatımlarındaki çizimlerde veya gösterimlerde kullanmaları gerekmektedir. Hızla gelişmekte olan teknoloji sayesinde öğretmenlerin bu konuların öğretiminde kullanabilecekleri pek çok bilgisayar programı bulunmakta ve kullanılmaktadır. Bu bağlamda, öğrencilerin oldukça soyut özellikler taşıyan bu konularda anlamlı ve etkili bir şekilde öğrenebilmeleri kavram, olgu ve olayların teknoloji destekli görsel araçlar kullanılarak somut hale getirilmesi ile mümkün olabilir. Bu tez çalışmasında hedeflenen sonuçlara ulaşılması durumunda kimya öğretmen adaylarının teknoloji destekli molekül modelleme etkinlikleri ile konu hakkındaki kavramsal anlamalarının ve uzamsal yeteneklerinin geliştirilmesi mesleki yaşantılarında öğrencilerine etkili öğrenme ortamları oluşturabilmelerine önemli bir katkı sağlayacaktır.

1.2.2. Araştırmanın Önemi

Günümüzde hızla gelişen teknolojiler, eğitim ortamlarına yenilikçi yaklaşımlar getirmiş ve öğrencilerin soyut kavramları anlamalarını kolaylaştıracak etkili yöntemler sunmuştur. Özellikle kimya gibi soyut kavramların yoğun olduğu alanlarda, uzamsal düşünme ve kavramsal anlama süreçlerinin desteklenmesi için üç boyutlu yazılımlar ve modelleme araçları büyük önem taşımaktadır. Hibritleşme, hibrit orbitaller ve molekül geometrileri gibi konular, uzamsal yetenek gerektiren ve öğrencilerin zihinsel canlandırma yapmasını zorunlu kılan kimya kavramları arasında yer almaktadır. Ancak bu konuların öğretiminde yaşanan zorluklar hem öğrencilerin kavramsal anlamalarını hem de uzamsal yeteneklerini geliştirecek etkili öğretim yöntemlerine duyulan ihtiyacı artırmıştır.

Kimya öğretiminde uzamsal yetenek, molekül yapısında meydana gelebilecek en küçük bir değişikliğin bile kimyasal özellikler üzerindeki etkilerini anlamada kritik bir rol oynamaktadır. Ancak, uzamsal yeteneği gelişmemiş öğretmenlerin, öğrencileri için etkili öğrenme ortamları oluşturma konusunda sıkıntı yaşadığı görülmektedir (Erkek, Işıksal ve Çakıroğlu, 2017). Özellikle Kimya eğitiminde kimyasal bağlanma, bağ açıları ve molekül yapılarının öğretiminde öğretmenlerin uzamsal yeteneklerini anlatımlarındaki çizimlerde veya gösterimlerde kullanmaları gerekmektedir. Hızla gelişmekte olan teknoloji sayesinde öğretmenlerin bu öğretimlerinde kullanabilecekleri pek çok bilgisayar programı hazırlanmış ve kullanılmıştır (Chien, 2017). Bu bağlamda, öğrencilerin oldukça soyut özellikler taşıyan bu konularda anlamlı ve etkili bir şekilde öğrenebilmeleri kavram, olgu ve olayların teknoloji

destekli görsel araçlar kullanılarak somut hale getirilmesi ile mümkün olabilir. Bu nedenle, kimya öğretmen adaylarının üç boyutlu yazıcılar ve modelleme araçları gibi teknoloji destekli yöntemlerle eğitim alması hem kendi uzamsal becerilerini geliştirmelerine hem de öğrenciler için daha etkili öğretim materyalleri tasarlamalarına olanak tanımaktadır (Huang ve Lin, 2017).

Özellikle lisans düzeyinde, öğretmen adaylarına sunulan teknoloji destekli eğitim fırsatlarının sınırlı olması, onların mesleki gelişim süreçlerini olumsuz etkileyebilmektedir. Mevcut programlarda genellikle teorik bilgiyle sınırlı kalan teknoloji dersleri, üç boyutlu modelleme gibi pratik uygulamaları içermemektedir. Bu araştırma, kimya öğretmen adaylarına üç boyutlu modelleme ve yazıcı teknolojilerini kullanma imkânı sunarak, soyut kimyasal kavramları somutlaştırmalarını ve bu süreçte hem kavramsal hem de uzamsal becerilerinin değişimini incelemeyi amaçlamaktadır.

Bu bağlamda, kimya öğretmen adaylarının teknoloji destekli üç boyutlu yazılım programlarını kullanarak öğretim sürecinde hem kendi uzamsal yeteneklerini geliştirmeleri hem de öğrenciler için daha etkili öğretim materyalleri tasarlamaları önem kazanmaktadır. Öğretmen adaylarının bu süreçte kazandıkları deneyimlerin, hibritleşme, hibrit orbitaller ve molekül geometrileri konularındaki kavramsal anlamalarını ve uzamsal düşünme becerilerini nasıl etkilediği, araştırılması gereken önemli bir sorudur.

Üç boyutlu yazıcıların eğitimdeki en büyük avantajlarından biri, soyut kavramları somut hale getirerek öğrencilerin görselleştirme becerilerini geliştirmesidir. Özellikle kimya eğitimi alanında uzamsal yetenek gerektiren hibritleşme, molekül geometrisi ve kimyasal bağlanma gibi konuların öğretilmesinde üç boyutlu modellerin kullanımı, öğrencilerin bu soyut kavramları görselleştirmesini kolaylaştırırken aynı zamanda uzamsal düşünme becerilerini de destekler. Üç boyutlu yazıcılar, öğrencilerin tasarım yoluyla sorun çözme becerilerini geliştirmelerine, hayal güçlerini genişletmelerine ve bilimsel süreçlere daha aktif katılmalarına imkan tanıyan güçlü bir eğitim aracı olarak dikkat çekmektedir (Avinal, 2019).

Ayrıca, bu tür teknoloji destekli öğretim süreçlerinin öğretmen adaylarının pedagojik yeterliliklerine ve öğrencilerin öğrenme süreçlerine olan katkıları da dikkate alınmalıdır. Bu tez çalışmasında elde edilecek bulguların, kimya eğitiminde teknoloji destekli öğretim yöntemlerinin tasarımına ve öğretmen yetiştirme programlarına rehberlik etmesi beklenmektedir.

Bununla birlikte bu araştırma, öğretmen adaylarının yaşadıkları süreçte kazandıkları becerilerin gelecekte tasarlayacakları ders planlarına özgünlük kazandırması açısından da önemlidir. Bu tür yenilikçi öğretim yöntemleri, öğretmen adaylarının kimya eğitiminde daha

yaratıcı ve etkili öğrenme ortamları sunmalarını mümkün kılacaktır. Öğrenciler için geliştirilen üç boyutlu materyaller ve modeller, soyut kavramların daha anlaşılır hale getirilmesine ve öğrenmenin kalıcılığının artırılmasına destek olacaktır. Elde edilen bulguların, kimya eğitime ve öğretmen yetiştirme programlarına katkı sağlayarak, gelecekteki öğrencilerin öğrenme süreçlerini zenginleştirmesi beklenmektedir. Böylece, kimya eğitiminin kalitesi artacak ve öğrencilerin kimyaya olan ilgisi olumlu yönde etkilenecektir.

1.3. Problem Cümlesi

Kimya öğretmen adaylarının üç boyutlu bir yazılım programını kullanarak yürütülen teknoloji destekli öğretim sürecinde hibritleşme, hibrit orbitaller ve molekül geometrileri konularındaki kavramsal anlamaları ve uzamsal yetenekleri nasıldır?

Alt problemler

Bu araştırma problemi doğrultusunda aşağıdaki alt problemlere yanıt aranmaktadır:

1. Öğretmen adaylarının üç boyutlu bir yazılım programını kullanarak yürütülen teknoloji destekli öğretim sürecinde hibritleşme, hibrit orbitaller ve molekül geometrileri konularındaki kavramsal anlamaları ne düzeydedir?
2. Öğretmen adaylarının hibritleşme, hibrit orbitaller ve molekül geometrileri konularındaki iki aşamalı tanı testi ön test ve son test puanları arasında anlamlı bir fark var mıdır?
3. Öğretmen adaylarının üç boyutlu bir yazılım programını kullanarak yürütülen teknoloji destekli öğretim sürecinde uzamsal yetenekleri ne düzeydedir?
4. Öğretmen adaylarının uzamsal yetenek testi ön test ve son test puanları arasında anlamlı bir fark var mıdır?
5. Öğretmen adaylarının kimya alanında üç boyutlu bir yazılım programını kullanarak yürütülen teknoloji destekli öğretim süreci üzerine görüşleri nasıldır?

1.4. Sınırlılıklar

Araştırmanın sınırlılıkları aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

Bu araştırma,

1. İzmir ilindeki bir devlet üniversitesinde öğrenim gören 22 kimya öğretmen adayı ile sınırlıdır.

2. 12 haftalık uygulama süreci ile sınırlıdır.
3. “İki Aşamalı Molekül Geometrilere Tanı Testi”, “Molekül Modeli Uzamsal Yetenek Testi” ve odak grup görüşmeleri aracılığıyla toplanan veriler ile sınırlıdır.

1.5. Varsayımlar

Araştırmanın varsayımları aşağıda sıralanmıştır:

1. Araştırmada kullanılan odak grup görüşmelerinde katılımcıların görüş ve düşüncelerini gerçekçi ve samimi bir şekilde ortaya koyduğu varsayılmaktadır.
2. Araştırmada gerçekleştirilen üç boyutlu modelleme etkinliklerinin, kimya öğretmen adaylarının kavramsal anlamalarını ve uzamsal yeteneklerini geliştirebileceği varsayılmaktadır.
3. Çalışmanın gerçekleştirildiği üniversitenin fiziksel, teknolojik ve eğitimsel altyapısının, araştırma sürecinin sağlıklı bir şekilde yürütülmesine olanak sağladığı varsayılmaktadır.
4. Katılımcıların çalışmada kullanılan üç boyutlu modelleme yazılımlarını kullanma konusunda yeterli düzeyde rehberlik aldığı varsayılmaktadır.
5. Araştırma süresince elde edilen verilerin, analiz sonuçlarını etkileyecek düzeyde dış etkenlerden etkilenmediği varsayılmaktadır.
6. Katılımcıların teknoloji kullanım becerilerinin, üç boyutlu modelleme yazılımlarını etkin şekilde kullanmaya yeterli olduğu varsayılmaktadır.

1.6. Tanımlar

Üç Boyutlu Yazıcı (3D Yazıcı): Bilgisayar ortamında özel yazılımlar kullanılarak tasarlanan ya da üç boyutlu modelleme yöntemleriyle oluşturulan dijital tasarımları, somut ve fiziksel nesnelere dönüştüren bir üretim teknolojisidir (Laplume, Petersen ve Pearce, 2016).

Kavramsal Anlama: Molekül modelleme sürecinde Kimya öğretmen adaylarının hibritleşme, hibrit orbitaller ve molekül geometrilere konularındaki kavramsal bilgileridir.

Uzamsal Yetenek: Bireyin, görsel imgeleri zihninde oluşturabilme, mevcut imgeleri yeniden düzenleyebilme, bu imgeleri zihinsel olarak sürdürebilme ve farklı imgelere dönüştürebilme yeteneğidir (Lohman, 1993).

Modelleme: Hangi ayrıntının nasıl ve ne şekilde yer alacağını belirlediği ve birçok aşamadan oluşan aktiviteleri kapsayan karmaşık bir süreçtir (Gülçiçek ve Güneş, 2004).

BÖLÜM II

KAVRAMSAL ÇERÇEVE

Bu bölümde, modelleme, modellemenin tanımı, modelleme ile öğretim, kimya eğitiminde üç boyutlu modelleme, üç boyutlu yazıcıların tanımı, tarihçesi, çalışma prensibi ve özellikleri, eğitimde kullanımı, avantajları ve dezavantajları, kimya eğitiminde kullanımı, uzamsal yetenek, eğitimdeki önemi, bileşenleri, geliştirilmesi ve ilgili araştırmalar konu başlıklarına yer verilmiştir.

2.1. Modelleme

Modelleme, bilimsel bilginin üretilmesi ve bilimin ilerlemesi sürecinde vazgeçilmez bir unsur olarak kabul edilir. Bilim öğretiminde önemli bir yere sahip olan modelleme, öğrenme süreçlerine de önemli katkılar sağlamaktadır. Öğrenme ortamlarında modellemenin bir öğretim yöntemi olarak kullanılması, "modelleme temelli öğrenme" kavramını ortaya çıkarmıştır. Bilgiyi inşa edebilen ve kendi öğrenme sürecini yönetebilen bireyler yetiştirmek için modelleme temelli öğrenme ortamlarının büyük bir öneme sahip olduğu görülmektedir. Bu tür etkinliklere dayalı öğrenme ortamları, öğrencilerin yaparak ve deneyimleyerek öğrenmelerini sağlayarak değerli fırsatlar sunmaktadır (Ünal ve Benzer, 2021).

2.1.1. Tanımı

Modeller, karmaşık veya soyut olayların ve kavramların sadeleştirilmiş temsilleri olarak tanımlanabilir. Model, bir nesnenin yapısını ve davranışlarını tahmin etmeye olanak tanıyan bir araçtır. Ayrıca, modelleme bir sürecin işleyişini anlamada etkili bir yöntem olarak kabul edilmektedir (Kinnear ve Martin, 1992). Harrison (2001), modelleri görünmeyeni görünür kılan ve anlaşılması güç olanı daha anlaşılır hale getiren materyaller olarak ifade etmektedir. Schwarz ve Gwekwerere (2007), bilimsel modellerin, bilimsel teorilerin somutlaştırılmış temsilleri olduğunu vurgulamıştır. Cartier ve diğerleri (2001) ise modellemeyi, bilim insanlarının yasa, teori ve eşitlik gibi ürünler oluşturma süreci ve bu ürünlerin sonuçlarının kısa bir özeti olarak tanımlamıştır (Karaismailoğlu, 2022).

Modeller, karmaşık veya soyut olayların ve kavramların sadeleştirilmiş temsilleri olarak tanımlanabilir. Modelleme süreci, bir nesnenin yapısını ve davranışlarını tahmin etmeye olanak tanıyan bir araçtır. Ayrıca, modelleme bir sürecin işleyişini anlamada etkili bir yöntem olarak kabul edilmektedir (Kinnear ve Martin, 1992). Harrison (2001), modelleri görünmeyeni görünür kılan ve anlaşılması güç olanı daha anlaşılır hale getiren materyaller olarak ifade

etmektedir. Schwarz ve Gwekwerere (2007), bilimsel modellerin, bilimsel teorilerin somutlaştırılmış temsilleri olduğunu vurgulamıştır. Cartier ve diğerleri (2001) ise modellemeyi, bilim insanlarının yasa, teori ve eşitlik gibi ürünler oluşturma süreci ve bu ürünlerin sonuçlarının kısa bir özeti olarak tanımlamıştır (Karaismailoğlu, 2022).

Makro ya da mikro düzeydeki varlıkları somutlaştırmak, bu varlıklarla ilgili zihinsel bir model oluşturmakla mümkündür. Bu modeli oluşturmak için ise o varlığı temsil edebilecek ya da benzetilebilecek bir araca ihtiyaç duyulmaktadır. Bu nedenle, kullanılacak aracın zihinsel modelimize katkı sağlaması önem taşır. Örneğin, evrende yaklaşık 200 milyar galaksi bulunmaktadır ve Dünya, Güneş'e en yakın üçüncü gezegendir. Mevcut bir uzay gemisiyle Güneş'e ulaşmak yaklaşık 57 bin yıl sürebilir. Ayrıca evrende yaklaşık 10^{21} tane Güneş benzeri yıldız vardır. Böylesine büyük bir evrende bizler, bir nokta kadar küçük olabiliriz. Ancak beynimiz, modelleme yoluyla evrenin tamamını, makro düzeydeki yapıları zihinsel modellerle kavrayabilir. Benzer şekilde, mikro düzeydeki atom, kimyasal bağ, orbital gibi kavramlar da (örneğin bu kavram "proton" şeklinde bir nesne veya "proton alış-verişi" şeklinde bir olay olabilir) modeller aracılığıyla anlaşılabilir (Pekdağ, 2024; Ulusoy, 2011).

2.1.2. Modelleme ile Öğretim

Kimya dersinde yer alan konuların soyut ve karmaşık yapısı, öğretimin somut materyallerle desteklenmesi gerekliliğini ortaya çıkarmıştır. Bu amaçla kullanılan araçlardan biri olan modellerin öğrenmeye etkisi, fen alanında yapılan birçok çalışmada araştırılmış ve bu araçların önemine vurgu yapılmıştır (Ulusoy, 2011). Fen bilimleri eğitiminde "model" terimi, belirli bir sürecin sonucunda ortaya çıkan ürünü ifade ederken, "modelleme" bu sürecin hangi aşamalarında hangi detayların nasıl ve nerede yer alacağını belirlenmesini içeren karmaşık bir süreç olarak tanımlanabilir (Justi ve Gilbert, 2002).

Modelleme, fen bilimleri eğitiminde karmaşık ve soyut kavramları daha anlaşılır hale getirmek için etkili bir öğretim stratejisidir. Özellikle kimya ve fizik gibi disiplinlerde, modelleme çalışmaları öğrencilerin kavramsal anlamalarını derinleştirir ve öğrenme süreçlerine aktif katılımlarını sağlar (Gilbert, 2004). Bu yöntem, öğrencilere soyut bilimsel kavramları somutlaştırma imkânı sunarak, moleküler yapılar veya atom altı parçacıklar gibi konuların daha iyi anlaşılmasına katkıda bulunur (Justi ve Gilbert, 2002).

Modelleme etkinlikleri, öğrencilerin fen bilimleri konularını daha derinlemesine anlamalarına ve bu konularda daha etkili bir şekilde öğrenmelerine olanak tanımaktadır. Bu etkinliklerin kimya eğitimi gibi soyut kavramların yoğun olduğu alanlarda kullanılması hem

kavramsal öğrenmeyi hem de öğrenci motivasyonunu artırmada kritik bir role sahiptir (Justi ve Gilbert, 2002). Ayrıca grup çalışmaları ve bilgisayar destekli modelleme uygulamaları gibi farklı modelleme yöntemlerinin kullanılması, öğrencilerin bilimsel süreç becerilerini geliştirmelerine ve fen bilimlerine karşı olumlu tutum geliştirmelerine katkıda bulunmaktadır (Gilbert, 2004).

Düşkün ve Ünal (2015) tarafından yapılan bir çalışmada, modellerin fen eğitiminde kullanılmasının sağladığı avantajlar şu şekilde ifade edilmiştir:

- Karmaşık yapılar, modeller aracılığıyla sadeleştirilebilir ve daha anlaşılır hale getirilebilir.
- Beş duyu organıyla algılanması zor olan nesneler ve olaylar, modeller yardımıyla daha kolay kavranabilir.
- Modeller, sınıf ortamında bulunması mümkün olmayan nesne ve olayların incelenmesine olanak tanır.
- Soyut kavramlar ve olaylar, modeller sayesinde daha kolay açıklanarak öğretmenlerin zamandan tasarruf etmelerine yardımcı olur.
- Belirli olaylar, modeller kullanılarak canlandırılabilir ve öğrencilerin bu olayları daha iyi anlaması sağlanabilir.
- Süreç ve işlemler, modeller yardımıyla doğru sırada görselleştirilebilir.
- Modeller, derslere canlılık katarak öğrenme ortamını daha ilgi çekici hale getirir.
- Modellerin kullanımı, öğrencilerin derse ilgisini artırarak dikkatlerini konuya odaklamalarına ve öğrenme motivasyonlarının yükselmesine yardımcı olur.
- Modeller, öğrencilerin konu üzerinde pratik yapmalarını sağlar.
- Oluşabilecek kavram yanlışları, modeller kullanılarak giderilebilir.
- Model kullanımı, dogmatik, otoriter ve ezberci öğretimi ortadan kaldırarak öğrencilerin fen derslerine olan ilgisini artırabilir.

Modelleme süreci, karmaşık ve zaman alıcı olabilir. Veriler ve koşullar zamanla değişebilir, bu nedenle modelleme sürekli güncellenmelidir. Ayrıca, herhangi bir modelin sınırlamalarını ve doğruluğunu anlamak önemlidir. Öğretmenler, soyut ve karmaşık fen kavramlarını açıklığa kavuşturmak ve öğrencilerin bu kavramlarla ilgili bilimsel açıdan doğru zihinsel modeller geliştirmelerine yardımcı olmak amacıyla modelleri kullanmaktadır (Gobert ve Buckley, 2000).

Modelleme, fen bilimleri eğitiminde özellikle soyut ve karmaşık kavramların somutlaştırılarak anlaşılmasını kolaylaştıran etkili bir öğretim yaklaşımıdır (Gilbert, 2004; Justi ve Gilbert, 2002). Ancak bu yöntemin öğretim sürecine verimli biçimde entegre edilebilmesi için dikkatli bir planlama yapılması ve modellemenin sınırlılıkları ile dezavantajlarının dikkate alınması gerekmektedir. Modellemenin sınırlılıkları, öğrencilerin mevcut bilgi düzeyine, öğretmenin rehberlik becerisine ve modelin temsil ettiği kavramın soyutluk düzeyine bağlı olarak değişebilir (Wang vd., 2014). Örneğin, bazı modeller gerçek sistemin yalnızca belirli yönlerini yansıttığı için öğrenciler tüm yapıyı tam anlamıyla kavrayamayabilir ya da dinamik süreçleri yansıtamayan modeller öğrenme sürecini kısıtlayabilir (Smit ve Finegold, 1995). Ayrıca, modelin temsili niteliğinin yeterince açıklanmaması durumunda, öğrenciler modeli gerçek nesne ile karıştırabilir, modelin tüm yönleriyle gerçeği yansıttığını düşünebilir ya da kavramsal genellemeler yoluyla yanlış anlamalara ulaşabilir. Bu tür olumsuzlukların önüne geçilebilmesi için öğretmenlerin modellemeyi yalnızca görsel bir destek olarak değil, öğrencilerin düşünme becerilerini geliştiren, kavramsal anlamayı derinleştiren ve eleştirel düşünmeyi teşvik eden bir pedagojik araç olarak kullanmaları önem arz etmektedir (Berber ve Güzel, 2009).

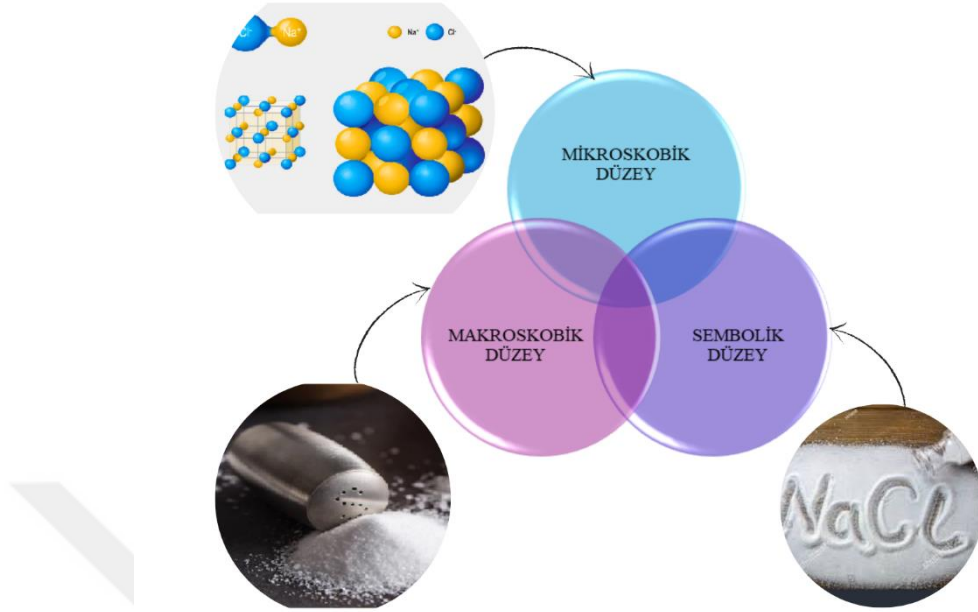
Kimya eğitimi, öğrencilerin kimyasal kavramları ve süreçleri anlayabilmesi için üç farklı düzeyde ele alınmaktadır: makroskobik düzey, mikroskobik düzey ve sembolik düzey. Bu üç düzey, kimya konularının bütüncül olarak anlaşılmasına katkıda bulunur ve öğrencilerin kimyasal olguları farklı bakış açılarıyla değerlendirebilmesini sağlar.

Makroskobik düzey, öğrencilerin gözlemleyebilecekleri ve günlük yaşamda karşılaşılabilecekleri somut olayları ve özellikleri içerir. Bu düzeyde, kimyasal reaksiyonlar ya da maddelerin fiziksel değişimleri gibi gözle görülüp dokunulabilen olgular incelenir. Örneğin, suyun buharlaşması, demirin paslanması veya şekerin suda çözünmesi gibi olaylar makroskobik düzeyde değerlendirilebilir. Öğrenciler, bu düzeyde gördükleri ve deneyimledikleri olgularla kimyasal süreçleri daha somut bir şekilde anlamaya çalışırlar.

Mikroskobik düzey ise, doğrudan gözle görülemeyen atom, molekül, elektron gibi parçacıkların yapısını ve bunlar arasındaki etkileşimleri konu alır. Bu düzey, öğrencilerin kimyasal olayları atom ve molekül seviyesinde incelemelerine olanak tanır. Örneğin, iki hidrojen atomunun bir oksijen atomuyla bağlanarak su molekülünü oluşturması, bu seviyede ele alınan bir konudur. Mikroskobik düzeyde yapılan çalışmalar, öğrencilere atomik ve moleküler düzeyde gerçekleşen kimyasal etkileşimlerin nasıl meydana geldiğini anlamaları için temel bir zemin hazırlar.

Sembolik düzey ise kimyasal süreçlerin semboller, formüller, kimyasal denklemler ve matematiksel işaretler aracılığıyla temsil edilmesidir. Kimya eğitiminde bu düzey, atom ve moleküllerin kimyasal tepkimelerde nasıl etkileşime girdiğini, bu etkileşimlerin nasıl sembolik olarak ifade edileceğini ve kimyasal süreçlerin nicel olarak nasıl temsil edileceğini gösterir. Örneğin, suyun oluşumunu ifade eden " $2\text{H}_2 + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}$ " şeklindeki kimyasal bir denklem, sembolik düzeyde verilen bir temsildir. Bu düzey, öğrencilerin kimyasal olguları ve süreçleri matematiksel ve sembolik olarak anlamlandırmasına yardımcı olur.

Kimya eğitiminde bu üç düzeyin birbiri ile ilişkilendirilmesi, öğrencilerin kimyasal kavramları daha derin ve kapsamlı bir şekilde anlamaları açısından son derece önemlidir. Makroskobik, mikroskobik ve sembolik düzeyler arasında anlamlı ilişkiler kurmak, öğrencilerin kimyasal olayları bütüncül bir anlayışla ele almalarını sağlar. Ancak, yapılan araştırmalar öğrencilerin bu üç düzey arasında anlamlı ilişkiler kurmakta zorluk yaşadığını ve bu düzeylerin her birine yönelik yeterli kavrayışa sahip olmadıklarını göstermektedir (Raiyn ve Rayan, 2015; Topçuoğlu, 2022; Ünal vd., 2010). Özellikle mikroskobik düzeyde atomlar ve moleküller arasındaki etkileşimleri kavrama ve bu bilgileri makroskobik düzeydeki olayları açıklamada kullanma noktasında öğrencilerin zorlandıkları gözlemlenmiştir (Wang vd., 2014). Bu olumsuz durum, kimya eğitiminde farklı düzeyler arasındaki ilişkilerin öğrenciler açısından yeterince net ve anlaşılır hale getirilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır. Öğrenciler, makroskobik düzeyde gözlemledikleri kimyasal olayların arkasındaki mikroskobik nedenleri ve bu olayların sembolik düzeyde nasıl ifade edildiğini tam olarak kavrayamadıklarında, kimyasal süreçlerin bütüncül bir anlayışını geliştirmekte zorlanmaktadırlar. Bu nedenle, öğretmenlerin bu üç düzey arasındaki ilişkiyi açıklayıcı ve somut örneklerle destekleyerek öğrencilerin bu bağlantıları kurmasına yardımcı olmaları büyük önem taşımaktadır. Şekil 1’de sofra tuzu örneğine ilişkin kavramsal anlama düzeyleri yer almaktadır.



Şekil 1. Kimya eğitiminde kavramsal anlama düzeyleri (sofra tuzu  rneği)

2.1.3. Kimya Eğitiminde    Boyutlu Modelleme

Üç boyutlu modeller,  ğretim süreçlerinde soyut ve somut kavramların etkili bir şekilde öğretilmesinde öğretmenler tarafından sıklıkla tercih edilen araçlardır. Bu modeller, özellikle görme ve dokunma duyularına hitap ederek öğrencilere somut ve doğrudan deneyimler sunar. Böylece  ğrenmenin kalıcılığını artırırken, yapılandırmacı yaklaşımın temel ilkelerinden biri olan yaparak ve yaşıyarak öğrenmeyi de desteklemektedir. Yapararak ve yaşıyarak öğrenme, yapılandırmacı yaklaşımın temel ilkelerinden biri olup bilginin kalıcılığını artırmakta; bu bağlamda modelleme etkinlikleri de öğrencilerin aktif katılımını sağlayarak kalıcı öğrenmeyi desteklemektedir. Görsellik unsurunun ön planda olduğu üç boyutlu modeller, öğrenilmesi g   ve karmaşı  kavramların anlaşılmasını kolaylaştırmakta, soyut düşüncelerin daha somut hale getirilmesine olanak tanımaktadır (Cansoy, 2001).

Eğitimde üç boyutlu modellerin kullanımı çeşitli faydalar sunmaktadır. Bunlar arasında öğrenilmesi güç olan kavramların etkili şekilde  ğretimi, bilgilerin küçük ve anlaşılır parçalara ayrılarak sunulması, öğrencilerin motivasyonunun artırılması ve diğer eğitim teknolojilerinin desteklenmesi yer almaktadır. Ayrıca üç boyutlu modeller; düşük maliyetli, taşınabilir ve defalarca kullanılabilir özelliklere sahiptir. Canlı anlatım imkanı sunmaları ve öğrenme süreçlerini sadeleştirmeleri, bu modellerin etkili ve işlevsel bir eğitim aracı olarak öne çıkmasını sağlamaktadır ( biş, 2019).

Kimya eğitimi, moleküllerin üç boyutlu yapılarının doğru bir şekilde anlaşılmasını gerektirir. Bu nedenle 3 boyutlu modelleme teknolojileri kimya derslerinde sıklıkla kullanılmaktadır. Geleneksel molekül modellerinin yanı sıra, bilgisayar destekli üç boyutlu (3D) tasarım araçları, öğrencilerin öğrenme süreçlerini destekleyen etkileşimli bir deneyim sunar. Yapılan araştırmalar, bu tür uygulamaların öğrencilerin uzamsal düşünme becerilerini geliştirdiğini ve öğrenmeyi kolaylaştırdığını göstermektedir (Aslan, Durukan ve Batman, 2021).

Üç boyutlu molekül modelleme, kimya eğitiminde soyut kavramların anlaşılmasını kolaylaştırmak için kullanılan etkili bir yöntemdir. Geleneksel olarak kullanılan iki boyutlu temsiller, moleküler yapıların gerçek boyutlarını ve geometrik özelliklerini kavramada yetersiz kalabilir. Üç boyutlu modelleme ise öğrencilerin bu yapıları daha iyi anlamasına olanak tanır (Topçuoğlu, 2022). Bireyin öğrenme sürecine aktif katılım sağlaması, özellikle kendi elleriyle modeller oluşturmaları ve bu modelleri fiziksel olarak incelemesi büyük önem taşımaktadır. Bu tür etkileşimler, atom, molekül, bileşik ve molekül geometrisi gibi soyut kavramları öğrencinin zihninde somutlaştırmasına yardımcı olur. Öğrenci, kendi çabasıyla oluşturduğu bu modelleri uzun süreli belleğinde daha kolay saklayabilir. Böylece, modelin temsil ettiği molekülün uzaysal yapısını daha bilinçli ve kolay bir şekilde çizebilir. Bu yaklaşım, öğrencilerin kimyasal yapıları anlamalarını ve bu bilgileri kullanmalarını daha etkili hale getirir; ayrıca öğrenmenin kalıcılığını artırır (Sarıkaya, 2007).

On dokuzuncu yüzyılın başlarında John Dalton, atomları temsil eden ilk somut modelleri geliştirerek kimya alanında önemli bir dönüm noktası oluşturmuştur. Bu gelişmenin ardından, birçok bilim insanı moleküler yapı konusundaki düşüncelerini ifade etmek için modelleme yöntemini kullanmıştır (Aubusson, Harrison ve Ritchie, 2006). Kimyada modelleme süreci, Antoine Lavoisier ve Alexander Smith tarafından da önerilmiş ve desteklenmiştir (Bent, 1984).

Modelleme, kimyasal kavramları anlamada ve aktarmada kritik bir rol oynar. Nesneleri ve olguları daha basit ve anlaşılır hale getirme amacı taşıyan bu süreç, bilgiyi daha etkili bir şekilde iletmeye yardımcı olur. Ancak, bu basitleştirme sürecinde, mükemmel doğruluk bir ölçüde göz ardı edilmek zorunda kalınır.

Kimya eğitimcileri, uzun süredir moleküler modellemenin öğretim sürecindeki önemini vurgulamaktadır. Bu doğrultuda, plastikten üretilen molekül model setleri geliştirilerek eğitimde kullanılmaya başlanmıştır. Molekül modelleri, birçok kimyasal

kavramın daha kolay anlaşılmasını ve görselleştirilmesini sağlamaktadır. Örneğin, organik ve inorganik bileşiklerde simetri işlemlerinin uygulanması, simetri elemanlarının belirlenmesi ve simetri nokta gruplarının tanımlanması modeller aracılığıyla somutlaştırılabilir (Sarıkaya, 2007).

Ayrıca, organik moleküllerin (D,L) ve (R,S) sistemlerindeki konfigürasyonlarının tespiti, geometrik izomerlik (cis–trans) ve optik izomerlik kavramlarının anlaşılması modeller yardımıyla daha kolay hale gelir. Benzer şekilde, π bağlarının düzlemsel ve σ bağlarının doğrusal olduğu, modeller üzerinde açıkça görülebilir. Moleküllerde tepkimeye yatkın merkezlerin belirlenmesi de modellerin sağladığı görselleştirme avantajlarından biridir (Sarıkaya, 2007).

Bir molekülün polar olup olmadığını ve dipol momentini anlamak, onun geometrisini doğru kavramaya bağlıdır. Örneğin, OF_2 ve NF_3 molekülleri polar olup dipol momentleri sıfırdan farklıdır. Buna karşın, BeF_2 ve BF_3 molekülleri apolar özellik gösterir ve dipol momentleri sıfırdır. Ancak, bu özellikleri yalnızca moleküllerin kimyasal formüllerine bakarak anlamak mümkün değildir. Molekül modelleri, bu tür kavramları üç boyutlu bir bakış açısıyla incelemeyi sağlayarak öğrenme sürecini desteklemektedir (Sarıkaya, 2007).

Üç boyutlu modelleme, kimya eğitiminde yeni bir öğrenme perspektifi sunarak öğrencilerin kavramsal anlamalarını güçlendiren ve eğitim süreçlerini zenginleştiren bir araçtır. Soyut kimyasal kavramların somutlaştırılmasını sağlayan bu araç, öğrencilerin öğrenme sürecine daha aktif katılım göstermelerine olanak tanırken, aynı zamanda öğretmenler için de etkili bir öğretim stratejisi sunmaktadır. Bu noktada, öğretmenlerin 3D modelleme teknolojilerine yönelik tasarım ve kullanım becerilerini geliştirmeleri, öğretim süreçlerini daha yenilikçi hale getirmekte ve bu teknolojinin potansiyelinden en iyi şekilde yararlanmalarına katkıda bulunmaktadır (Aslan, Durukan ve Batman, 2021).

Bu bağlamda, üç boyutlu modelleme teknolojilerinin eğitimde sunduğu avantajlardan biri de 3D yazıcıların kullanımındır. 3D yazıcılar, öğrencilerin kimyasal yapıları ve modelleri fiziksel olarak inceleyebilmelerine olanak tanıyarak öğrenme deneyimini daha etkileşimli hale getirmektedir. Öğrencilerin soyut kavramları somut nesneler üzerinden keşfetmelerini sağlayan bu teknoloji, kimya eğitiminde yenilikçi yaklaşımlar için güçlü bir araç sunmaktadır.

2.2. Üç Boyutlu Yazıcılar

Günlük yaşamımızda geniş yer tutan teknoloji, artık vazgeçilmez bir gerçeklik haline gelmiştir. Her geçen gün gelişen ve yeni olanaklar sunan teknolojilerden biri de 3 boyutlu

yazıcılarıdır. Özellikle bilim ve teknoloji alanında yoğun ilgi gören 3 boyutlu yazıcılar, en önemli buluşlar arasında kabul edilmekte ve birçok sektörde yaygın olarak kullanılmaktadır. Eklemeli imalat sistemi olarak bilinen bu teknoloji, çeşitli hammaddeler kullanılarak en alt tabakadan başlanıp üst üste eklenen katmanlar ile nesnelerin üretilmesine imkân tanımaktadır (Akbaba ve Akbulut, 2021).

İnsanoğlu tarih boyunca üretimle uğraşmıştır ve başlangıçta sadece kendi ihtiyaçlarını karşılamak amacıyla üretim yapmıştır. Ancak zamanla, artan ihtiyaçlar nedeniyle başkaları için üretim de önem kazanmıştır. Bu süreçte belirli ürünlerin üretiminde uzmanlaşan insanlar, küçük atölyeler ve zanaatkarlık gibi gelişmelerle karşılaşmıştır. Sanayi devrimi ile birlikte ise bu uzmanlaşma daha geniş bir ölçekte gerçekleşmiştir. Üretim merkezileştikçe, genel olarak üretilen malların kalitesi ve çeşidi artmış, düşen fiyatlarla ürünler daha geniş kitlelere ulaşmıştır. Ancak, üretim hacmi arttıkça, üretim aktiviteleri tüketicilere uzaklaşmış, üretilen ürünler standartlaşmış ve kişiye özel zevkleri karşılama kapasitesi azalmıştır (Güleryüz, 2020).

Geçmişten günümüze imalat sektöründe, seri üretim, montaj hattı kullanımı, elektroniklerin entegrasyonu ve bilgi teknolojilerinin gelişmesi devam etmektedir. Bu gelişmeler, Endüstri 2.0, Endüstri 3.0 ve Endüstri 4.0 gibi dönemlere evrilmiş ve imalat sektöründe çeşitli dönüm noktalarını ortaya çıkarmıştır. Her bir dönüm noktası, o dönemin koşullarında devrim niteliğinde görülmüş ve hızla benimsenmiştir (Özdoğan, 2017). Dördüncü Endüstri Devrimi (Endüstri 4.0), makinelerin insan müdahalesine ihtiyaç duymadan üretim sürecini kendi kendine yönetebilmesini sağlayan bir dönüşümdür. Büyük veri, otonom robotlar, sistem bağlantısı, artırılmış gerçeklik, simülasyon, akıllı fabrikalar, bulut bilişim, siber güvenlik ve yapay zekâ gibi birçok teknolojinin bütünleştiği bu süreçte, 3 boyutlu yazıcı teknolojisi de önemli bir rol üstlenmektedir. Geleneksel yöntemlerle yüksek zaman ve maliyet gerektiren prototip üretimi, 3 boyutlu yazıcılar sayesinde yalnızca saatler içerisinde tamamlanabilmektedir. Bu hız ve düşük maliyet avantajı ile 3 boyutlu yazıcılar, prototip üretimi ve tekil ürün imalatında farklı sektörlerde giderek yaygınlaşmaktadır (Karip, 2022). Üç boyutlu yazıcılar, geleneksel endüstriyel tasarım ve üretim anlayışının ötesinde, hızlı prototipleme ve bireysel yaratıcılığa dayalı yeni bir üretim modeli geliştirmektedir. Özellikle son yıllarda yazılım ve baskı teknolojilerindeki ilerlemeler sayesinde kullanım alanı giderek genişlemiştir. Bu yeni üretim teknolojisi ile ihtiyaca özel ve düşük maliyetli üretim yapılabilmesi, bireylerin yaratıcılıklarını ortaya koymalarına olanak tanımaktadır (Eksere, 2022; Kavas, 2022).

2.2.1. Üç Boyutlu Yazıcıların Tanımı

Üç boyutlu yazıcı (3D Yazıcı), bilgisayar ortamında özel yazılımlar kullanılarak tasarlanan ya da üç boyutlu modelleme yöntemleriyle oluşturulan dijital tasarımları, somut ve fiziksel nesnelere dönüştüren bir üretim teknolojisidir (Laplume, Petersen ve Pearce, 2016).

Üç boyutlu yazıcılar, mürekkep püskürtmeli yazıcıların çalışma prensiplerine benzer bir şekilde çalışmakta ancak iki boyutlu kâğıt yerine çeşitli malzemeleri kullanarak üç boyutlu nesneler üretmektedir. Bilgisayar destekli tasarım (CAD) programları ile hazırlanan modeller, katmanlar halinde gerçek 3 boyutlu nesnelere dönüştürülmektedir. Bu süreçte plastik, metal, seramik gibi çeşitli hammaddeler kullanılabilmekte ve tıp, mühendislik, mimari gibi birçok alanda uygulanmaktadır (Attaran, 2017).

Üç boyutlu yazıcılar, kullanıcıların bilgisayar ortamında tasarladıkları 3 boyutlu modellerin belirli bir formata dönüştürülüp, bu dosyanın yazıcıya gönderilerek fiziksel nesnelere dönüştürülmesini sağlayan bir teknoloji sunar (Şekil 2). Bilgisayar ortamında gerçekleştirilen model çizimi sonrasında çeşitli programları kullanılarak nesne katmanlara ayrılır ve dijital ortamda bilgisayar destekli tasarım dosyası gerekli formata dönüştürülerek yazıcıya iletilir. İlk katman oluşturulduktan sonra, diğer katmanlar aynı şekilde üst üste eklenerek nesnenin tamamlanması süreci devam eder (Akbaba ve Akbulut, 2021).

Üç boyutlu yazıcı teknolojisinin temel hedefi, soyut bir fikri somut bir nesneye dönüştürmektir. Bu amaçla öncelikle, üç boyutlu bir tasarım oluşturulur. Tasarım süreci genellikle SolidWorks, AutoCad, Rhino3D, Bonzai3D, Tinkercad gibi profesyonel programlarla yapılabilirken, aynı zamanda ücretsiz yazılımlar olan Google Sketchup ve FreeCad gibi araçlar da kullanılabilir. Üç boyutlu tasarımlar, genellikle .stl, .wrl (.vrm), .ply, .3ds ve .zpr gibi dosya uzantılarıyla dışa aktarılır. Dışa aktarıldıktan sonra, obje için gereken hammadde seviyesi belirlenir ve üretim adet sayısı 3 boyutlu yazıcıya girilir. Kesitlerin ve katmanların başarılı bir şekilde eklenmesiyle fiziksel nesne ortaya çıkar. Bu aşamadan sonra, oluşan tozları temizlemek ve gerektiğinde düzeltmeler yapmak için bir kurutma döngüsü uygulanır (Küçüksolak, 2019).



Şekil 2. 3D yazıcı görseli (<https://www.robotus.net/anycubic-kobra-max-3d-yazici>)

Üç boyutlu yazıcıların temel kullanım amaçları arasında soyut kavramların mümkün olduğunca görsel ve dokunsal olarak ifade edilmesi, yani somutlaştırılması yer almaktadır. 1980'lerde kullanılmaya başlanmış olmasına rağmen, son yıllarda adından sıkça söz edilen üç boyutlu baskı teknolojisi, yeni bir teknoloji izlenimi yaratmaktan ziyade gelecekte daha fazla konuşulacak gibi görünmektedir. Üç boyutlu baskı teknolojisi, ticari şirketlerden bireysel kullanıcılara kadar geniş bir kitlenin ilgisini çekmektedir. Hızla yeni yöntemlerin geliştirildiği ve yeni nesil cihazların üretildiği bu alanda, insanların hayal gücünün sınırlarını zorlayan birçok olanak mevcuttur. Protez ve implantlardan uzay teknolojisine, örneğin astronotların tüketebileceği yiyeceklerin üretilmesine veya savunma araçlarının yerinde üretimine kadar geniş bir yelpazede birçok ürün, 3D yazıcılar kullanılarak üretilmektedir (Akbaba ve Akbulut, 2021).

Üç boyutlu yazıcıları özellikle cazip kılan bir diğer unsur, mevcut teknolojilerle üretilmesi zor veya imkânsız nesneleri üretme kapasitesidir. Bilgisayar ortamında, yazılım aracılığıyla üç boyutlu modele dönüştürülen her türlü nesne veya obje, artık yeni bir kalıp gereksinimi olmaksızın üretilmektedir. Bu nesneler, plastik, metal ve diğer malzemeleri lazer ünitesi ile katmanlar halinde sırayla oluşturabilme yeteneğine sahiptir. Teknolojik avantajları, birçok endüstriyi derinden etkileyecek kadar çarpıcıdır ve etkisinin geniş bir yelpazede kaçınılmaz olduğu gözlemlenmektedir (Balcıoğlu, 2014).

Eksiltmeli imalatın ardından, eklemeli imalat teknolojileri imalat sanayini temelden değiştiren bir potansiyele sahip olmuştur. Üç boyutlu yazıcılar gibi eklemeli imalat yöntemleri, dijital ortamda tasarlanan modellerin somut nesnelere dönüştürölmesine olanak tanımiş ve kullanıma sunulmuştur. Teknik anlamda, üç boyutlu yazıcılar, bilgisayar destekli tasarım dosyalarının kullanılması ile planlanan fiziksel nesneleri ince katmanlar halinde üretebilme kapasitesine sahiptir (Tümer, 2020). Üç boyutlu yazıcı teknolojisi, ortaya çıktığı ilk dönemden günümüze kadar önemli evrimler geçirerek bugünkü haline ulaşmıştır. Başlangıçta yüksek maliyeti nedeniyle sınırlı bir kullanıma sahip olan bu teknoloji, yapılan çalışmalar ve çeşitli tekniklerle farklı üç boyutlu yazıcı modellerinin ticarileştirilmesi sonucunda daha erişilebilir hale gelmiştir. Bu uygun fiyatlı seçeneklerle birlikte hem kurumlar hem de bireyler arasında üç boyutlu yazıcı kullanımı önemli ölçüde artmıştır. Üç boyutlu yazıcıların hayal gücünden ilham alarak sınırları ortadan kaldırması ve sürekli gelişime açık olması nedeniyle, gelecekte kullanımının daha da yaygınlaşması beklenmektedir (Ekserin, 2022). Üç boyutlu yazıcıların yaygınlaşma sürecine baktığımızda, kişisel bilgisayarlar veya geleneksel yazıcıların evrim süreçlerinde farklılıklar ortaya çıkmaktadır. Üç boyutlu yazıcılar, büyük kuruluşların amaçlarından ziyade, genellikle girişimciler ve meraklı bireylerin liderliğinde geliştirilmektedir. Bu durum, teknolojinin farklı amaçlar için özelleştirilmiş çözümler üretebildiği bir dinamik oluştururken, diğer yandan birbirinden oldukça farklı teknik çözümler, üretim yöntemleri ve malzeme türleri ortaya çıkmaktadır (şahin ve Turan, 2018). Üç boyutlu yazıcıların bu gelişim sürecini daha iyi anlayabilmek için, teknolojinin tarihçesine ve ilk ortaya çıkışına kısaca göz atmak faydalı olacaktır.

2.2.2. Üç Boyutlu Yazıcıların Tarihçesi

Üç boyutlu yazıcı teknolojisi, üretim ve tasarım alanlarında devrim yaratan bir yenilik olarak kabul edilmektedir. Bu teknolojinin temelleri, 1980'li yılların başlarına kadar uzanmaktadır. Charles W. Hull, 1984 yılında stereolitografi yöntemini geliştirerek ilk üç boyutlu yazıcıyı icat etmiştir (Hull, 1986). Stereolitografi (SLA) sıvı fotopolimer reçinelerin katman katman sertleştirilmesi prensibine dayanmaktadır. 1986 yılında Hull, 3D Systems adlı şirketi kurarak üç boyutlu yazıcıların ticari üretimine başlamıştır (Lipson ve Kurman, 2013). Aynı dönemde, Carl Deckard tarafından geliştirilen Seçici Lazer Sinterleme (SLS) yöntemi, toz halindeki malzemelerin lazer yardımıyla katman katman sinterlenmesini sağlamıştır. Bu yöntemler, üç boyutlu baskı teknolojisinin temelini oluşturan ilk teknikler olarak kabul edilmektedir.

1990'lı yıllarda, üç boyutlu yazıcılar prototipleme süreçlerinde kullanılmaya başlanmıştır. Ergimiş Birikim Modellemesi (Fused Deposition Modeling-FDM) teknolojisi, 1992 yılında Scott Crump tarafından geliştirilmiş ve termoplastik malzemelerin eritilerek katmanlar halinde biriktirilmesi prensibi kullanılmıştır. Bu dönemde, üç boyutlu yazıcıların maliyetleri yüksek olduğu için daha çok endüstriyel uygulamalarda kullanılmıştır (Gebhardt, 2012).

2000'li yıllarda, teknolojinin olgunlaşması ve patentlerin süresinin dolmasıyla birlikte, üç boyutlu yazıcıların maliyetleri düşmeye başlamıştır. Açık kaynaklı projelerin ortaya çıkmasıyla, bireysel kullanıcılar ve küçük işletmeler için uygun maliyetli yazıcılar geliştirilmiştir. RepRap projesi, 2005 yılında Dr. Adrian Bowyer tarafından başlatılmış ve kendi parçalarını üretebilen ilk üç boyutlu yazıcıyı geliştirmiştir (Bowyer, 2014). Bu proje, üç boyutlu yazıcıların yaygınlaşmasında önemli bir rol oynamıştır.

2010'lu yıllarda, üç boyutlu yazıcı teknolojisi hızla gelişmeye devam etmiş ve tıp, havacılık, otomotiv ve inşaat gibi çeşitli sektörlerde kullanılmaya başlanmıştır (Gibson, Rosen ve Stucker, 2015). Metal baskı teknolojileri ve biyoyazıcılar gibi ileri düzey uygulamalar, teknolojinin potansiyelini genişletmiştir. Özellikle biyoyazıcılar aracılığıyla canlı doku ve organ basımı üzerine yapılan araştırmalar dikkat çekmiştir (Murphy ve Atala, 2014). 2013 yılında NASA, uzayda kullanılmak üzere üç boyutlu yazıcılar geliştirmeye başlamış ve 2014 yılında Uluslararası Uzay İstasyonu'na ilk üç boyutlu yazıcı gönderilmiştir (Prater vd., 2018). Bu gelişme, üç boyutlu yazıcıların uzay teknolojilerinde kullanımını göstermektedir. 2015 sonrasında, üç boyutlu yazıcıların hızları ve malzeme çeşitlilikleri artmış, çok malzemeli ve renkli baskı yapabilen modeller piyasaya sürülmüştür (Rosa vd., 2016). Ayrıca, inşaat sektöründe büyük ölçekli üç boyutlu yazıcılarla ev ve yapı inşası üzerine çalışmalar yoğunlaşmıştır (Bos vd., 2016).

2020 yılında COVID-19 pandemisi sırasında üç boyutlu yazıcılar, tıbbi ekipman ve koruyucu malzemelerin hızlı ve yerel üretiminde önemli bir rol oynamıştır (Swennen vd., 2020). Pandemi sürecinde, lojistik zincirlerde yaşanan kesintiler nedeniyle sağlık çalışanlarının güvenliğini sağlamak için yüz koruyucular, maskeler ve solunum cihazı bileşenleri gibi kritik ekipmanlara olan talep hızla artmıştır. Bu bağlamda, üç boyutlu yazıcılar yalnızca tıbbi malzeme üretim hızını artırmakla kalmamış, aynı zamanda yerel üretim kapasitesinin acil yanıt verme kabiliyetini gözler önüne sermiştir. Chuck Hull'un 1980'lerde geliştirdiği katmanlı üretim teknolojilerinin bir evrimi olarak üç boyutlu yazıcılar, inovasyon ve kriz yönetimi açısından sağlık sektöründe büyük bir öneme sahiptir (Ransikarbum ve

Khamhong, 2021). Üç boyutlu yazıcıların bu tarihsel gelişimi, pandeminin yarattığı tedarik sorunları ve acil ihtiyaçların karşılanması sürecinde sunduğu avantajları daha iyi anlamamıza olanak sağlamaktadır.

Tablo 1 bu teknolojinin tarihsel gelişimini özetleyerek, farklı alanlarda sunduğu dönüşüm potansiyelini ortaya koymaktadır. Tablo 1’de yer alan bilgiler Akbulut (2022)’un tez çalışmasından yararlanılarak yeniden düzenlenmiştir.

Tablo 1

Üç boyutlu yazıcı teknolojisinin tarihsel gelişimi

Yıl	Gelişme
1984	- Charles Hull tarafından stereolitografi (SLA) yöntemi kullanılarak ilk 3 boyutlu yazıcı geliştirildi. - Charles Hull, 3 boyutlu baskının temellerini oluşturan bir patent aldı. - İlk SLA yazıcının prototipi başarıyla test edildi.
1986	- Charles Hull, SLA yönteminin kullanım hakkını aldı. 3D Systems firması kuruldu ve SLA yöntemi ticarileştirildi. - İlk ticari SLA yazıcısı piyasaya sürüldü.
1988	- Scott Crump, Ergimiş Birikim Modellemesi (Fused Deposition Modelling - FDM) teknolojisini geliştirdi. 3D Systems şirketi, SLA 250 modelini piyasaya tanıttı. - FDM teknolojisi prototip olarak başarıyla üretildi (Crump, 1988).
1989	- Scott Crump ve Lisa Crump, Stratasys isimli 3 boyutlu yazıcı firmasını kurdu. - Stratasys firması, FDM teknolojisi için ilk patent başvurusunu yaptı. - Stratasys firması ilk ticari yazıcı için çalışmalara başladı.
1990	- Seçici Lazer Sinterleme (SLS) yöntemine sahip 'The DTM' isimli ilk ticari yazıcı piyasaya sürüldü. - SLS yönteminin ticari kullanımı konusunda çeşitli lisans anlaşmaları yapıldı. - Direct Manufacturing Technology (DTM) şirketi, Seçici Lazer Sinterleme (Selective Laser Sintering - SLS) yöntemiyle ilk seri üretimi gerçekleştirdi.

-
- | | |
|------|---|
| 1991 | <ul style="list-style-type: none"> • Helisys firması Lamine Nesne Üretimi (Laminated Object Manufacturing- LOM) sistemini geliştirdi ve sattı. • LOM sistemi, kağıt ve plastik tabanlı üretimler için kullanılmaya başlandı. • Helisys, LOM sistemi için çeşitli sanayi ortaklıkları kurdu. |
| 1992 | <ul style="list-style-type: none"> • Stratasys ilk FDM cihazını sattı. • FDM teknolojisi ev kullanıcılarına yönelik olarak geliştirilmeye başlandı. • FDM cihazlarının ticarileşmesi için yeni pazar stratejileri oluşturuldu. |
| 1993 | <ul style="list-style-type: none"> • Solidscape firması mürekkep püskürtmeli cihaz üretmek amacı ile kuruldu. • Massachusetts Teknoloji Enstitüsü (Massachusetts Institute of Technology - MIT), 3 boyutlu baskı için mürekkep püskürtme teknolojisi üzerinde çalışmalar yapmıştır. • Inkjet baskı teknolojisinin ilk ticari prototipi üretildi. |
| 1995 | <ul style="list-style-type: none"> • MIT patentini Z Corporation lisanslayarak 3 boyutlu yazıcı satışına başladı. • Z Corporation, inkjet tabanlı 3 boyutlu yazıcı geliştirmelerine başladı. • İlk ticari inkjet 3D yazıcı pazara sunuldu. |
| 1996 | <ul style="list-style-type: none"> • Stratasys 'Genisys' modelini piyasaya sürdü. • Z Corporation, 'Z402' modelini piyasaya sürdü. • 3D Systems, inkjet teknolojisine sahip 'Actua 2100' modelini piyasaya sürdü. |
| 1997 | <ul style="list-style-type: none"> • EOS firması SLA teknolojili 3 boyutlu yazıcıları 3D Systems'a sattı. • EOS, SLA yazıcılar için yeni malzeme geliştirmeleri yaptı. • 3D Systems, SLA teknolojisinin kullanım alanlarını genişletti. |
| 2000 | <ul style="list-style-type: none"> • Object Technologies firması ink jet teknolojisine sahip 'Quadra' isimli yazıcıyı geliştirdi. • Quadra yazıcı, mürekkep püskürtmeli teknolojiyi kullanarak yüksek hassasiyet sağladı. • Object Technologies, inkjet teknolojisi için farklı malzeme türleri geliştirdi. |
| 2001 | <ul style="list-style-type: none"> • 3D Systems, SLS teknolojisinin öncüsü olan DTM firmasını 40,3 milyon dolara satın aldı. • SLS teknolojisi, 3D Systems tarafından endüstriyel üretimde kullanılmaya başlandı. • DTM'nin satın alınmasıyla 3D Systems, SLS teknolojisinde lider konuma geldi. |
-

2002	• Wake Forest Üniversitesi, biyo materyal destekleriyle böbrek hücrelerinin oluşturulmasını sağlayan yazıcıyı geliştirdi. • Biyolojik doku yazıcıları, tıbbi araştırmalarda kullanım için geliştirildi. • İlk yapay kulak doku örneği başarıyla üretildi.
2007	• Açık kaynak kodlu 3 boyutlu yazıcılar Reprap ismi ile çıktı. • Reprap projesi, kendi kendini çoğaltabilen yazıcı konsepti ile dikkat çekti. • Reprap'ın ilk sürümü büyük bir kullanıcı kitlesine ulaştı.
2008	• Reprap'ın ilk versiyonu tamamlandı. • Reprap yazıcısı, kullanıcıların %50'sine kadar kendi parçalarını üretme imkanı sağladı. • Reprap, dünya çapında açık kaynak toplulukları tarafından desteklendi.
2009	• FDM teknolojisi patentinin 25 yıllık tek kullanım dönemi bitti. • Makerbot, FDM teknolojisi ile ilgili açık kaynaklı bir yazıcı geliştirdi. • FDM teknolojisi ev tipi yazıcılarda popüler hale geldi.
2011	• Southampton Üniversitesi, ilk 3D baskılı uçağı tasarladı. • İlk 3D baskılı uçak test uçuşunu başarıyla gerçekleştirdi. • 3D baskılı uçakların üretim maliyetlerini düşürmeye yönelik çalışmalar yapıldı.
2012	• 3 boyutlu yazıcı kullanılarak kişiselleştirilmiş eklem protezi geliştirildi. • Eklem protezleri, 3D baskı teknolojisi ile daha uygun maliyetle üretildi. • 3D baskı ile tıbbi cihaz üretimi yaygınlaştı.
2013	• Stratasys, Makerbot şirketini devraldı. • Makerbot'un devralınmasıyla açık kaynaklı 3D yazıcılar daha geniş bir pazara sunuldu. • 3D yazıcı pazarında büyük birleşmeler ve satın almalar yaşandı.
2014	• Uzayda ilk 3 boyutlu yazıcı kullanıldı. • Uzayda yapılan 3D baskılarla küçük parçalar üretildi. • Uzay araçları için yedek parçalar, 3D yazıcılar kullanılarak üretildi.
2015	• NASA, uzayda 3D yazıcı ile üretim yapmaya başladı. • Carbon 3D firması, CLIP teknolojisi ile ultra hızlı yazıcı geliştirdi. • Uzay araştırmalarında 3D baskı teknolojisinin rolü arttı.
2016	• Adidas, 3D yazıcı ile ayakkabı tabanı üreteceğini açıkladı.

	• Nike, 3D baskı ile spor ayakkabılarda yeni bir üretim yöntemi geliştirdi. • Ayakkabı tabanlarının kişiselleştirilmesi için 3D baskı kullanıldı.
2018	• 3D baskı ile inşa edilmiş eve ilk aile taşındı. • 3D baskı, inşaat sektöründe maliyetleri düşürmeye yönelik kullanıldı. • Baskı ile inşa edilen yapılar için yeni malzeme türleri geliştirildi.
2021	• Dünyada ilk 3D baskı ile inşası yapılacak okulun tasarımı yapıldı. • 3D baskı, eğitim altyapısında sürdürülebilirlik açısından kullanıldı. • Eğitim kurumlarında 3D baskı ile ilgili yeni projeler geliştirildi.
2023	• 3 boyutlu yazıcılarla biyolojik organ üretimi konusunda büyük ilerlemeler kaydedildi ve ilk yapay organ nakli başarılı oldu. • Yapay doku üretimi için 3D baskı teknolojileri geliştirildi. • Organ yazıcıları, tıp dünyasında devrim yarattı.
2024	• 3 boyutlu yazıcılarla sürdürülebilir inşaat malzemeleri üreterek ilk tamamen sürdürülebilir ev inşa edildi. • Sürdürülebilir 3D baskı malzemeleri geliştirilerek karbon ayak izi azaltıldı. • 3D baskı ile yapılan yapıların enerji verimliliği arttı.

Üç boyutlu yazıcı teknolojisi, başlangıcından itibaren hızlı bir gelişim göstermiş ve çeşitli sektörlerde devrim niteliğinde değişikliklere yol açmıştır. Bu teknolojinin gelecekte de gelişmeye devam etmesi ve daha geniş uygulama alanlarına ulaşması beklenmektedir.

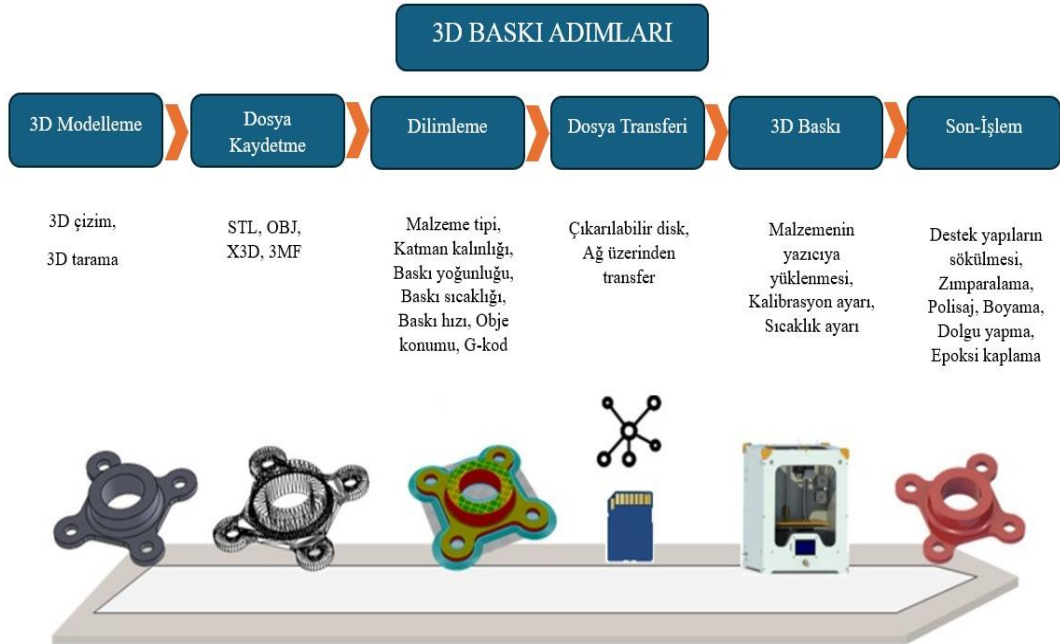
2.2.3. Üç Boyutlu Yazıcıların Çalışma Prensipleri ve Özellikleri

Üç boyutlu baskı süreci, birbirini takip eden beş temel aşamadan oluşmaktadır. Bu aşamalar: (i) bilgisayar destekli tasarım (CAD) ile 3D modelin oluşturulması, (ii) 3D CAD modelinin STL formatına dönüştürülmesi, (iii) STL dosyasının katmanlara ayrılması (dilimleme), (iv) 3 boyutlu yazıcı ile modelin üretilmesi ve (v) baskı sonrası işlemler şeklindedir.

Üç boyutlu baskının ilk aşaması, üretilecek modelin CAD yazılımları yardımıyla dijital ortamda tasarlanmasıdır. Bu aşamada, nesne tüm geometrik ayrıntılarıyla modellenir ve doğruluğu kontrol edilir. CAD yazılımları, karmaşık yapılar oluşturmayı ve modelin baskı için uygunluğunu değerlendirmeyi sağlar. Tasarım tamamlandıktan sonra model, yaygın olarak kullanılan STL (Standard Tessellation Language) dosyası formatına çevrilir. Bu format,

nesnenin yüzeyini küçük üçgenlerle ifade ederek yazıcının geometrik verileri kolayca işlemlerini sağlar. Bu dönüşüm, modelin yüzey yapısının doğru bir şekilde temsil edilmesi açısından kritik bir aşamadır. STL dosyası, dilimleme yazılımları yardımıyla ince katmanlara ayrılır. Dilimleme, modelin baskı süresince katman katman nasıl inşa edileceğini belirler. Ayrıca bu aşamada baskı süresi, malzeme miktarı ve katman kalınlığı gibi parametreler de optimize edilir. Katmanlara ayrılmış model, 3 boyutlu yazıcıya aktararak baskı işlemi başlatılır. Yazıcı, modeli katmanları üst üste ekleyerek fiziksel bir nesne haline getirir.

Baskı teknolojisine bağlı olarak farklı yöntemler uygulanabilir. FDM (Ergimiş Birikim Modellemesi) yöntemi plastik filamentler kullanırken, SLA (Stereolitografi) yöntemi ise sıvı reçineyi katılaştırır. Bu yöntemlerin her birinin baskı kalitesi ve hızı üzerinde belirgin etkileri bulunmaktadır. Baskı tamamlandığında, model üzerinde çeşitli son işlemler uygulanır. Bu işlemler, destek yapılarının temizlenmesi, yüzeyin düzeltilmesi ve gerektiğinde parlatılması gibi adımları içerir. Baskı sonrası işlemler, modelin estetik görünümünü iyileştirmenin yanı sıra işlevselliğini de artırır (Noorani, 2017). Şekil 3'te 3D baskı adımları gösterilmektedir (Sürmen, 2019).



Şekil 3. Eklemeli imalat (3D baskı) işlem adımları (Sürmen, 2019).

Üç boyutlu yazıcılar, dijital modelleri fiziksel nesnelere dönüştüren katmanlı üretim teknolojisine dayanır. Bu süreçte malzeme, katman katman eklenerek karmaşık geometrilere sahip nesneler hızlı ve ekonomik bir şekilde üretilir. Katmanlı üretim sayesinde karmaşık

yapılar, geleneksel üretim süreçlerine kıyasla daha düşük maliyetle elde edilebilir (Gibson, Rosen ve Stucker, 2015). Bir diğer önemli özellik, hızlı prototipleme ve ürün geliştirme süreçlerine sağladığı katkıdır. Üç boyutlu yazıcılar, tasarım aşamasındaki ürünlerin hızlı bir şekilde prototipe dönüştürülmesine imkan vererek inovasyon sürecini hızlandırır ve ürün geliştirme maliyetlerini düşürür (Oruç, 2020; Petrovic vd., 2011).

Üç boyutlu yazıcılar geniş bir malzeme çeşitliliği sunar. En yaygın kullanılanlardan PLA (Polilaktik Asit), yenilenebilir kaynaklardan elde edilen çevre dostu bir termoplastiktir ve prototipleme uygulamalarında tercih edilir (Tian vd., 2016). ABS (Akrilonitril Bütadien Stiren) dayanıklılık gerektiren uygulamalar için uygundur, ancak baskı sırasında duman çıkardığı için iyi havalandırılan ortamlarda kullanılması önerilir (Yang vd., 2017; Yılmaz vd., 2020). PETG (Polietilen Tereftalat Glikol) dayanıklılık ve esnekliği ile öne çıkmakta ve mutfak gereçleri gibi uygulamalarda kullanılmaktadır (Akman, 2021; Singh vd., 2022). Naylon (PA), mukavemeti yüksek ve aşınmaya dayanıklı bir malzeme olarak endüstriyel parçalarda yaygın olarak kullanılır (Çelik, 2022; Karaki vd., 2024). TPU (Termoplastik Poliüretan) ise esnekliği sayesinde elastik ürünlerin üretiminde tercih edilmektedir (Demir ve Seki, 2023; Goyanes vd., 2016).

Üç boyutlu yazıcılar, üretim süreçlerinde sundukları esneklik ve maliyet tasarrufu ile dikkat çeker. Tek bir işlemde parçaları üretebilme özellikleri, montaj gereksinimini azaltır ve üretim maliyetlerini düşürür. Ayrıca, malzeme israfının az olması nedeniyle sürdürülebilirlik açısından avantaj sağlar (Öztürk ve Burdurlu, 2021; Wohlers ve Caffrey, 2013). Bu özellikleri sayesinde 3D yazıcılar, mühendislik, tasarım, otomotiv ve endüstriyel üretim gibi pek çok alanda yenilikçi çözümler sunarak üretim süreçlerini dönüştürmektedir.

2.2.4. Eğitimde Üç Boyutlu Yazıcıların Kullanımı

Üç boyutlu yazıcı teknolojisi, eğitimde öğrencilere soyut kavramları somut nesnelere dönüştürme imkânı sunarak öğrenme sürecini daha etkili ve ilgi çekici hale getiren yenilikçi bir araç olarak dikkat çekmektedir. Mimarlık, mühendislik, kimya ve biyoloji gibi birçok disiplinde teorik bilgileri uygulamalı deneyimlere dönüştürmeyi sağlayan 3D yazıcılar, öğrencilerin yaratıcı düşünme, problem çözme ve eleştirel analiz becerilerini geliştirmelerine katkıda bulunmaktadır (Kökhan ve Özcan, 2018). Bu teknoloji, öğrencilerin öğrenme sürecine aktif katılımını teşvik ederken, derslerde öğrendikleri bilgileri doğrudan kullanarak fiziksel modeller oluşturmalarını mümkün kılmaktadır. Öğrenciler, 3D yazıcılarla çalışırken hataları

belirleyip analiz etme, çözüm geliştirme ve mantıksal düşünme becerilerini güçlendirmekte, böylece öğrenmeyi daha anlamlı ve kalıcı hale getirmektedirler (Kökhan ve Özcan, 2018).

Eğitim kurumlarında düşük maliyetli 3D yazıcı modellerinin yaygınlaşmasıyla öğretmenler, tablet veya mobil cihazlar üzerinden tasarım yazılımlarına erişebilmekte; bu durum, öğretmenlerin öğrencilerle birlikte projeler tasarlayıp bu projeleri fiziksel nesnelere dönüştürmelerine olanak sağlamaktadır. Avrupa'daki birçok okulda eğitim materyali olarak yer alan 3D yazıcı projeleri, öğrencilerin derslere olan motivasyonunu artırmakta ve onları öğrenmenin her aşamasına aktif bir katılımcı olarak dahil etmektedir (Kökhan ve Özcan, 2018). Ayrıca, 3D yazıcıların eğitimde kullanımı, öğrencilerin soyut fikirleri gözlem ve deneyim yoluyla anlamalarını sağlamaktadır. Öğrenciler, bir fikir aşamasından başlayarak üç boyutlu tasarım sürecine ve nihai nesnenin elde edilmesine kadar tüm aşamaları gözlemleyip deneyimleyerek karmaşık konuları daha kolay kavrayabilirler. Örneğin, rüzgar türbinlerinin çalışma prensibini, fiziksel yapısını ve matematiksel oranlarını daha iyi kavrayabilmek için öğrenciler, tasarlanmış bir rüzgar türbinini 3D yazıcı ile basarak yapıyı inceleyebilirler (McBride, 2017).

Günümüzde eğitim sistemlerinde giderek benimsenen Do-It-Yourself (Kendin-Yap) yaklaşımı da bu sürece önemli bir katkı sağlamaktadır. Kendin-Yap öğrenme yöntemiyle öğrenciler, kendi ilgi alanlarına uygun nesneleri 3D yazıcılarla üretebilir; bu süreç, onların hayal güçlerini geliştirmelerine imkan vermekte ve imalat teknolojisine uyum sağlamalarına katkı sunan etkili bir eğitim yolu sunmaktadır (Brown ve Hurst, 2012). Üç boyutlu yazıcıların sunduğu bu imkanlar, öğrencilere yalnızca teorik bilgi kazandırmakla kalmayıp onların yaratıcı düşüncelerini ve pratik becerilerini destekleyerek öğrenmeyi daha kapsamlı ve ilgi çekici bir hale getirmektedir (Brown ve Hurst, 2012; Kökhan ve Özcan, 2018).

2.2.5. Eğitimde Üç Boyutlu Yazıcı Kullanımının Avantajları

Üç boyutlu yazıcı teknolojisi, eğitimde öğrencilere önemli avantajlar sunan yenilikçi bir araç olarak dikkat çekmektedir. Özellikle kimya ve mühendislik gibi alanlarda kullanılan bu teknoloji, soyut kavramların somut ve daha anlaşılır hale gelmesine katkı sağlar (Trust ve Maloy, 2017). Geleneksel kimya modelleme kitlerinin, özellikle de Molymod gibi top ve çubuk modellerinin sunduğu sınırlı modelleme kapasitesine karşılık, üç boyutlu karmaşık moleküler yapıların ve farklı geometrilerin düşük maliyetle üretimini mümkün kılar (Jones ve Spencer, 2018). Bu sayede öğrenciler, teorik bilgilerini fiziksel nesneler aracılığıyla deneyimleyerek öğrenme süreçlerini daha aktif hale getirebilir.

Üç boyutlu yazıcılar, öğretmenler için de ders materyallerini çeşitlendirme ve dersleri daha etkili bir şekilde işleme fırsatı sunmaktadır. Özellikle STEM (Fen, Teknoloji, Mühendislik ve Matematik) projelerinde, öğretmenler yenilikçi yöntemler kullanarak öğrenci katılımını artırabilir ve soyut kavramları somutlaştırarak öğrencilerin kavrayışını destekleyebilir (de Vries, Kamp ve Klaassen, 2017). Üç boyutlu yazıcılar öğrencilere kendi tasarımlarını oluşturabilmesine ve problem çözme, eleştirel düşünme, yaratıcılık gibi becerilerini geliştirmelerine olanak tanır. Bu tür bir deneyim, öğrencilerin analitik düşünme yeteneklerini güçlendirerek eğitimdeki başarılarını destekler (Schelly vd., 2015). Ayrıca, 3D yazıcı teknolojisinin ölçeklenebilir ve düşük maliyetli olması, kalabalık sınıflar için ideal bir seçenek haline gelmiştir. Penny ve diğerleri (2017), kalabalık sınıflarda molekül geometrisi, izomerizm ve orbital teorisi gibi konuları daha anlaşılır hale getiren ve ölçeklenebilir 3D modelleme kitleri geliştirmişlerdir. Bu tür baskı modelleri, öğrencilerin konuları somut bir şekilde incelemelerine imkan tanırken kimya eğitiminde etkileşimli ve görselleştirici bir öğrenme deneyimi sunmaktadır (Jones ve Spencer, 2018). Bunun yanı sıra, 3D baskı ile üretilen modellerin öğrencilerin derslere ilgisini artırdığı ve kimyasal yapılarla ilgili bilgi düzeylerini geliştirmelerine yardımcı olduğu araştırmalarla desteklenmektedir (Casas ve Estop, 2015; Cochran vd., 2016; Paukstelis, 2018).

Üç boyutlu yazıcıların sağladığı erişilebilirlik, görme engelli öğrenciler için de faydalar sunmaktadır. Bu teknoloji, öğrencilerin molekül yapılarına dokunarak incelemelerine imkan tanır ve daha geniş bir öğrenci kitlesine erişim sağlar (Griffith vd., 2016; Smith vd., 2020; Rossi vd., 2015). Aynı zamanda, 3D yazıcılarla üretilen modellerin ölçeklenebilirliği, öğrenci gruplarına özel materyal oluşturma imkanı sunarak öğrenme sürecinin özelleştirilmesine katkıda bulunur (Küçüksolak ve Sezgin, 2019).

Bu bağlamda 3D yazıcılar, soyut kavramları somutlaştırması, öğrencilerin problem çözme ve yaratıcılık becerilerini geliştirmesi, öğretmenlere esnek materyal hazırlama olanağı sağlaması ve erişilebilir eğitim materyalleri sunulması gibi çeşitli avantajlar sağlamaktadır.

2.2.6. Eğitimde Üç Boyutlu Yazıcı Kullanımının Dezavantajları

Üç boyutlu yazıcı teknolojisinin eğitimde pek çok avantajı bulunmasına rağmen, bu teknolojinin kullanımı bazı zorlukları ve dezavantajları da beraberinde getirmektedir. İlk olarak, yüksek maliyetli olmaları, birçok eğitim kurumu için bütçe açısından bir engel oluşturur. Üç boyutlu yazıcıların satın alımı ve düzenli bakım-onarım gereksinimleri, kurumların mali yükünü artırırken, cihazların karmaşık yapısı nedeniyle teknik destek ihtiyacı

doğar. Ayrıca, 3D yazıcılar genellikle yavaş üretim süreçlerine sahip olduğundan, özellikle karmaşık yapıların basılması uzun sürebilir; bu durum sınıf içi etkinliklerde zaman yönetimi sorunlarına yol açabilir (Yıldırım vd., 2018).

Çevresel etkiler de göz ardı edilemeyecek bir dezavantajdır. Üç boyutlu yazıcılarda sıklıkla kullanılan plastik materyallerin doğada uzun süre çözünmeden kalması, çevre kirliliğine yol açabilmektedir. Öğrencilerin deneme amaçlı ya da tek kullanımlık prototip üretimlerinde bu durum, plastik atık miktarını artırarak çevresel bir sorun oluşturabilir. Çevreye duyarlı eğitim ortamları oluşturmak isteyen kurumlar için bu risk, 3D yazıcı teknolojisinin kullanımında dikkat edilmesi gereken önemli bir faktördür (Yıldırım vd., 2018).

Ayrıca, öğretmenlerin 3D yazıcı kullanımına yönelik yeterli bilgi ve deneyime sahip olmaması, bu teknolojinin eğitimde etkili bir şekilde kullanılmasını sınırlamaktadır. Üç boyutlu yazıcıları sınıf ortamında etkili bir eğitim aracı olarak kullanabilmek, belirli düzeyde teknik bilgi gerektirir. Ancak birçok öğretmenin bu konuda yeterli eğitimi almamış olması, 3D yazıcılardan tam anlamıyla yararlanılmasını zorlaştırmaktadır. Bu bağlamda, öğretmenlerin gerekli eğitimleri alması ve kurumların adaptasyon sürecine destek vermesi, 3D yazıcıların verimli kullanımına katkı sağlayacaktır (Cochran vd., 2016).

Özetle, 3D yazıcı teknolojisinin eğitim süreçlerine entegre edilmesinde maliyet, çevresel etkiler ve bilgi eksikliği gibi çeşitli zorluklar bulunmaktadır. Bu zorlukların üstesinden gelinmesi, teknolojinin eğitimdeki potansiyelini daha verimli bir şekilde ortaya koymasına olanak tanıyacaktır (Smith vd., 2020).

2.2.7. Kimya Eğitiminde Üç Boyutlu Yazıcıların Kullanımı

Üç boyutlu yazıcı teknolojisi, kimya eğitiminde öğrencilere soyut kimyasal yapıların somut bir şekilde anlaşılmasını sağlayarak öğretim süreçlerinde çığır açan bir yenilik olarak dikkat çekmektedir. Kimya gibi soyut bilgilerin aktarıldığı alanlarda öğrencilere daha kalıcı ve etkili öğrenme deneyimleri sunmayı hedefleyen 3D yazıcılar, moleküllerin yapısını ve moleküler geometriyi somut bir model üzerinde gözlemlemelerine olanak tanır. Böylece öğrenciler, atomların düzenini ve bağların uzunluklarını, yani moleküllerin uzamsal yapısını, doğrudan inceleyebilir. Bu da özellikle soyut kavramların anlaşılmasını büyük ölçüde kolaylaştırır. Öğrenciler, moleküler yapıların geometrik düzenini ve bağ açılarını görselleştirirken aynı zamanda bu kavramları zihinsel olarak da canlandırma fırsatı bulurlar.

Bu tür bir somutlaştırma, uzamsal düşünme yeteneklerini geliştirerek kavramsal anlamayı pekiştirmektedir (Dwiningsih vd., 2022).

Geleneksel kimya öğretim yöntemleri genellikle iki boyutlu temsillerle sınırlıdır. Öğrenciler, ders kitaplarındaki görseller veya dijital platformlardaki resimlerle molekülleri görsel olarak incelemeye çalışır. Ancak, iki boyutlu temsiller atomların düzenini, bağ uzunluklarını ve simetrileri gibi moleküllerin karmaşık yapısal detaylarını tam olarak yansıtamaz. Bu yüzden öğrencilerin moleküllerin gerçek üç boyutlu yapılarını kavramaları zorlaşmaktadır. Kimya eğitimi alanyazınında da bu durumun öğrencilerde kavramsal bilgi eksikliklere yol açtığı vurgulanmaktadır. Öğrencilerin kimyasal yapıların 3D modelleriyle karşılaşmaları, atomların bağ açıları ve uzaysal konumlarını doğrudan gözlemlemelerini sağlarken, aynı zamanda bu bilgiyi daha kalıcı hale getirir (McCollum vd., 2014; Scalfani vd., 2015; Stieff vd., 2012).

Üç boyutlu yazıcılar aracılığıyla oluşturulan fiziksel modeller, moleküllerin yanı sıra geçiş durumlarının da daha iyi anlaşılmasını sağlar. Kimyagerler ve biyokimyagerler uzun yıllardır molekül yapılarını açıklamak için plastik veya metal temsiller gibi fiziksel modeller kullanmaktadır; ancak, 3D yazıcıların sunduğu olanaklarla bu modeller daha erişilebilir ve uygun maliyetli hale gelmiştir. Fiziksel modellerin eğitimde kullanılması, öğrencilerin moleküler simetri, atomların pozisyonları ve bağların açisal düzenlerini daha kolay anlamalarına yardımcı olur. Fiziksel modellerle sınıfta çalışmak, öğrencilerin derse katılımını artırırken konunun daha ilgi çekici ve eğlenceli bir hale gelmesine katkı sağlar (Chatterjee, Hannan ve Thomson, 2015; Hannan vd., 2013). Bu tür modeller, aynı moleküllerin farklı formlarını inceleyebilme fırsatı sunarak Johnstone'un üçlü modeline de uygun bir yapı sergiler (Taber, 2013). Özellikle soyut kimya konularının daha anlaşılır hale gelmesi, öğrencilerin kavramsal düşünme becerilerini geliştirmekte ve kimya eğitiminde çok boyutlu bir bakış açısı kazandırmaktadır (Jones ve Spencer, 2018).

Üç boyutlu baskı teknolojisi, öğretmenlerin ders anlatım yöntemlerini de zenginleştirerek eğitime yenilikçi bir boyut kazandırmaktadır. Öğretmenler, 3D yazıcılarla öğrenciler için daha etkili ve etkileşimli ders içerikleri hazırlayarak öğrencilerin bilimsel düşünme, analiz ve gözlem becerilerini geliştirme şansı bulur. Bu tür bir öğrenme ortamı, öğrencilerin bilimsel kavramları günlük yaşamdaki uygulamalarla ilişkilendirmesini sağlayarak kalıcı öğrenmeyi destekler (Pernaa ve Wiedmer, 2020; Pinger, Geiger ve Spence, 2019). Üç boyutlu yazıcıların kimya eğitimine sağladığı bu katkılar, teknolojiye dayalı eğitim

anlayışının giderek yaygınlaştığı günümüzde öğretim sürecinde yenilikçi bir bakış açısı sunmaktadır. Sonuç olarak üç boyutlu yazıcılar, kimya eğitiminde pedagojik avantajlar sunan, motivasyonu güçlendiren, kavramsal anlamayı derinleştiren ve bilimsel becerilerini destekleyen yenilikçi bir öğrenme aracı olarak karşımıza çıkmaktadır. Eğitim ortamında kullanıldığında soyut kimya konularının anlaşılmasını kolaylaştıran bu teknoloji, öğrenme süreçlerini daha anlamlı, ilgi çekici ve kalıcı hale getirmektedir (Pernaa ve Wiedmer, 2020).

Öğrenciler, molekül ve atomik yapıların üç boyutlu modellerini fiziksel olarak görebilir ve dokunabilir, bu da onların kimyasal yapıların uzaysal düzenlerini daha iyi kavramalarını sağlar (Tseng ve Yang, 2020). Özellikle moleküllerin ve atomik yapıların üç boyutlu olarak modellenmesi, öğrencilerin bu yapıları zihinsel olarak canlandırmalarını kolaylaştırarak uzamsal düşünme becerilerini pekiştirmektedir (Chien ve Chu, 2018). Bu durum, uzamsal yeteneklerin kimya eğitimi sürecinde etkin bir şekilde geliştirilmesine ve bu becerilerin daha kalıcı bir şekilde kazanılmasına olanak tanır. Dolayısıyla, kimya eğitiminde 3D yazıcıların kullanımı, uzamsal yetenek ile kimyasal kavramların anlaşılması arasında güçlü bir bağlantı kurar.

2.3. Uzamsal Yetenek

Uzamsal yetenek, bir bireyin nesneleri ve bu nesnelerin uzaydaki konumlarını algılama, zihinsel olarak bu nesneleri döndürme ve aralarındaki ilişkileri anlama kapasitesidir. Uzamsal yetenek; zihinsel rotasyon, uzamsal algı, uzamsal görselleştirme ve mekansal ilişki kurma gibi dört temel bileşenden oluşmaktadır. Bu bileşenlerin her biri, bireylerin çevrelerindeki dünyayı daha iyi anlamalarına ve bu anlayışı hem günlük yaşamda hem de akademik ve mesleki başarılarında kullanmalarına katkıda bulunur (Uttal ve Cohen, 2012).

2.3.1. Uzamsal Yetenek Tanımı

Uzamsal yetenek, zihinsel rotasyon, nesnelerin zihinde döndürülerek farklı açılardan nasıl görüneceğini hayal etme becerisidir. Uzamsal algı, nesnelerin ve çevrelerinin konumlarını ve ilişkilerini anlama sürecini ifade eder. Uzamsal görselleştirme, nesneleri zihinde canlandırma ve bu nesneler üzerinde zihinsel değişiklikler yapma yeteneğidir. Mekansal ilişki kurma ise, birden fazla nesnenin birbirine göre konumlarını ve ilişkilerini kavrama yeteneğidir. Bu bileşenler, birlikte değerlendirildiğinde, bir kişinin zihninde nesneleri hayal edebilme, yönlendirebilme, dönüştürebilme ve yeni görseller oluşturabilme kapasitesini kapsamaktadır (Turğut, 2007).

Uzamsal yetenek üzerine gerçekleştirilen pek çok araştırma, bu yeteneğin tanımlanması ve sınıflandırılması açısından farklı yaklaşımlar benimsemiştir. Uzamsal yeteneğin tanımlanmasında bilişsel psikoloji, görsel sanatlar, fen, matematik ve mühendislik gibi çeşitli disiplinlerden araştırmacılar ve teorisyenler, "görsel" ve "uzamsal" terimlerini farklı şekilde kullanmışlardır. Ayrıca, bu yeteneği tanımlarken "yetenek", "beceri", "yönelim" ve "düşünme" gibi ifadeler de kullanılmıştır. Bu terminolojik çeşitlilik, uzamsal yetenekle ilgili farklı disiplinlerden gelen yaklaşımları ve bu yeteneğin kapsamını anlamamızı sağlar (Yüksel, 2013).

2.2.2. Uzamsal Yetenek Bileşenleri

Uzamsal yetenek, birden fazla bileşenden oluşan karmaşık bir yapıya sahiptir. Bu bileşenlerin her biri farklı zihinsel süreçleri içerir ve bireylerin çeşitli görevlerde nasıl performans göstereceklerini etkiler. Uzamsal yetenek; zihinsel rotasyon, uzamsal algı, uzamsal görselleştirme, mekansal ilişkiler, uzamsal hafıza (Şekil 4) ve bu bileşenlerin birbirleriyle olan etkileşimlerinden oluşmakta olup, birçok farklı alanda öğrenme ve problem çözme yeteneğini geliştiren önemli bir bilişsel beceridir (Lohman, 2013).



Şekil 4. Uzamsal yetenek bileşenleri

1. Zihinsel Rotasyon: Bireylerin nesneleri zihinlerinde döndürebilme ve farklı açılardan görselleştirebilme becerisidir. Shepard ve Metzler (1971) tarafından yapılan klasik çalışmada, bireylerin iki boyutlu veya üç boyutlu nesneleri zihinsel olarak döndürerek

karşılaştırabildiği gösterilmiştir. Bu beceri, mühendislik, mimarlık ve cerrahi gibi alanlarda önemlidir ve nesnelerin uzaydaki pozisyonlarının anlaşılması gerektiğinde kritik bir rol oynar (Shepard ve Metzler, 1971). Yakın zamanda yapılan çalışmalar da zihinsel rotasyon becerisinin STEM eğitiminde öğrenme başarısına katkı sağladığını göstermiştir (Uttal vd., 2013).

2. **Uzamsal Algı:** Bireylerin kendi bedenleri ile çevresindeki nesneler arasındaki konumsal ilişkileri algılayabilme yeteneğidir. Bu bileşen, genellikle derinlik algısı ve mekansal farkındalık gibi becerileri içerir. Örneğin, bir kişinin belirli bir nesnenin ne kadar uzakta olduğunu veya hangi yönde bulunduğunu algılaması uzamsal algının bir göstergesidir. Bu beceri, araç kullanma, spor faaliyetleri ve harita okuma gibi günlük yaşam becerilerinde oldukça önemlidir (Uttal ve Cohen, 2012). Ayrıca, uzamsal algı becerileri geliştirmenin, çocukluk dönemindeki erken mekansal oyunlar aracılığıyla mümkün olduğu ve bu oyunların bireylerin ilerleyen yaşlarda görsel-mekansal performanslarına olumlu katkı sağladığı belirtilmiştir (Jirout ve Newcombe, 2015).
3. **Uzamsal Görselleştirme:** Bireylerin karmaşık uzamsal bilgileri zihinsel olarak manipüle etme ve analiz etme kapasitesidir. Bu bileşen, çok aşamalı manipülasyonları içerebilir ve genellikle daha karmaşık uzamsal görevlerin yerine getirilmesinde kullanılır. Örneğin, bir binanın mimari planını okuyup anlayabilmek veya kimyasal bir molekülün yapısını zihinsel olarak analiz etmek uzamsal görselleştirme becerisi gerektirir (Sorby, 2007). Bu beceri aynı zamanda bilimsel düşünme ve problem çözme yeteneklerini de destekler; özellikle STEM alanlarında başarılı olabilmek için önemlidir (Hegarty, 2014).
4. **Mekansal İlişki:** Nesneler arasındaki pozisyonel ve yönelimsel ilişkileri anlama becerisidir. Bu beceri, nesnelerin birbirlerine göre nasıl konumlandığını ve hangi açılarla durduklarını anlamayı içerir. Özellikle grafik tasarım, mühendislik çizimleri ve kimya gibi alanlarda, nesneler arasındaki mekansal ilişkilerin doğru anlaşılması kritik öneme sahiptir (Stieff ve Raje, 2010). Bu bileşen, aynı zamanda çocukluk döneminde geliştirilen oyunlarla desteklenebilir; örneğin, yapboz veya Lego gibi yapı oyunları bu becerilerin gelişmesine yardımcı olabilir (Verdine vd., 2017).
5. **Uzamsal Hafıza:** Bir nesnenin veya yerin uzaydaki konumunu hatırlama becerisidir. Bu beceri, bireylerin karmaşık ortamlarda yol bulmasını ve konumsal bilgileri saklayarak daha sonra kullanmalarını sağlar. Özellikle labirent benzeri yapılarda ya da büyük bir alanda belirli bir noktaya geri dönebilme gibi görevlerde uzamsal hafıza

kritik rol oynar (Golledge, 1999). Bu becerinin, özellikle yön bulma ve harita okuma gibi alanlarda önemli olduğu vurgulanmaktadır (Hegarty ve Waller, 2004).

Uzamsal yeteneğin bu bileşenleri ve farklı yaklaşımlar, bireylerin karmaşık mekansal bilgileri anlamalarına ve bu bilgileri kullanarak çözüm üretmelerine yardımcı olur. Bu yetenek, özellikle mimarlık, mühendislik, fen bilimleri ve sanat gibi alanlarda büyük önem taşır ve bireylerin bu alanlardaki başarılarını doğrudan etkileyebilir. Örneğin, bir mühendis karmaşık bir yapının tasarımını zihninde döndürüp görselleştirirken, bir sanatçı da bir heykel ya da resim yaparken benzer uzamsal becerileri kullanır (Uttal ve Cohen, 2012; Yüksel, 2013).

Bu bağlamda, uzamsal yetenek bileşenleri, bireylerin çeşitli akademik ve profesyonel görevlerde başarılı olmaları için kritik öneme sahiptir. Zihinsel rotasyon, uzamsal algı, uzamsal görselleştirme, mekansal ilişkiler ve uzamsal hafıza gibi farklı bileşenler, bireylerin özellikle STEM alanlarında performanslarının artmasında önemli rol oynar. Bu nedenle, bu bileşenlerin geliştirilmesi ve desteklenmesi, özellikle erken yaşlardan itibaren uzamsal aktivitelerle desteklenerek önem kazanır.

2.3.2. Uzamsal Yetenek ve Eğitimdeki Önemi

Uzamsal yetenek, mühendislik, mimarlık, kimya ve matematik gibi alanlarda önemli bir rol oynar. Bu yetenek, karmaşık yapıların ve sistemlerin anlaşılmasını ve problem çözme süreçlerini kolaylaştırır. Eğitim alanında uzamsal yeteneklerin geliştirilmesi, öğrencilerin soyut kavramları daha iyi anlamalarına ve bu kavramları pratikte uygulamalarına yardımcı olabilir.

Uzamsal yetenek, eğitimde öğrencilerin soyut ve karmaşık kavramları daha iyi anlamalarına yardımcı olan temel bir beceridir. Matematik ve fen bilimleri gibi disiplinlerde, bu yeteneğin geliştirilmesi, öğrencilerin zihinsel görselleştirme kapasitelerini artırarak kavramları daha derinlemesine anlamalarına olanak tanır. Uzamsal yetenek, özellikle STEM (Bilim, Teknoloji, Mühendislik ve Matematik) alanlarında eğitim gören öğrenciler için hayati bir öneme sahiptir. Bu yetenek, öğrencilerin bilimsel süreçleri, fiziksel olayları ve geometrik şekilleri zihinsel olarak canlandırmalarını ve bu kavramları anlamalarını sağlar. Eğitimde uzamsal yeteneğin etkin bir şekilde kullanılması, öğrencilerin analitik düşünme ve problem çözme becerilerini geliştirir (Uttal vd., 2013).

Uzamsal yeteneğin eğitimdeki rolünü destekleyen çeşitli stratejiler, öğrencilerin akademik başarılarını artırmada önemli bir rol oynamaktadır. Üç boyutlu modelleme, dinamik geometri yazılımları, artırılmış gerçeklik uygulamaları ve zekâ oyunları gibi etkinliklerin kullanımı, öğrencilerin uzamsal farkındalıklarını artırmada etkilidir. Örneğin, üç boyutlu

yazıcılar ile yapılan modelleme çalışmaları, öğrencilere soyut kimyasal ve fiziksel kavramları somut hale getirme fırsatı sunarak bu kavramların daha iyi anlaşılmasını sağlamaktadır. Bu tür etkinliklerin, öğrencilerin kavramları sadece ezberlemeleri yerine anlamalarını ve bu bilgileri farklı bağlamlarda kullanmalarını teşvik ettiği görülmektedir (Topçuoğlu vd., 2021).

Matematik eğitimi bağlamında, dinamik geometri yazılımları öğrencilerin iki boyutlu ve üç boyutlu şekilleri daha kolay anlamalarını ve keşfetmelerini sağlamaktadır. Bu yazılımlar, öğrencilerin geometrik şekiller üzerinde manipülasyon yapmalarına olanak tanıyarak, uzamsal ilişkileri keşfetmelerine ve bu ilişkiler hakkında hipotezler geliştirmelerine yardımcı olmaktadır (Taş ve Yavuz, 2020). Öğrencilerin şekilleri zihinsel olarak döndürebilme ve bu şekiller arasındaki ilişkileri anlayabilme becerileri, matematiksel düşünmenin temel unsurlarından biridir ve bu tür yazılımlar bu becerilerin geliştirilmesine katkı sunmaktadır (Taş ve Yavuz, 2020).

Bunun yanı sıra, zekâ oyunları ve bulmacalar da uzamsal yeteneğin eğitimde etkin bir şekilde kullanılmasını sağlayan araçlar olarak kabul edilmektedir. Ortaokul öğrencileri üzerinde yapılan bir çalışmada, zekâ oyunlarının öğrencilerin uzamsal yeteneklerini geliştirdiği ve bu becerilerin öğrencilerin genel akademik performansını olumlu yönde etkilediği bulunmuştur (Kaya, 2019). Zekâ oyunları, öğrencilerin zihinsel rotasyon, perspektif alma ve mekânsal ilişkileri anlama gibi becerilerini destekler. Bu oyunlar aynı zamanda öğrencilerin yaratıcı düşünme kapasitelerini ve problem çözme yeteneklerini de geliştirmektedir (Kaya, 2019).

Eğitimde uzamsal yeteneğin kullanımı, yalnızca akademik başarıyı artırmakla kalmaz, aynı zamanda öğrencilerin günlük yaşam becerilerine de katkıda bulunur. Bir haritayı okuyabilme, bir yapbozu çözebilme ya da bir mimari tasarımı anlayabilme gibi beceriler, güçlü uzamsal yeteneklerle doğrudan ilişkilidir. Bu nedenle, uzamsal yeteneklerin eğitimde kullanımı, öğrencilerin yaşam boyu karşılaşılabilecekleri problemlere daha yaratıcı ve etkili çözümler bulmalarına yardımcı olur (Uttal vd., 2013).

Eğitim programlarının, öğrencilerin uzamsal yeteneklerini destekleyecek etkinlik ve stratejileri içermesi büyük önem taşımaktadır. Öğretmenlerin bu süreçte rolü, öğrencilere uygun öğrenme ortamları sağlayarak onların bireysel ihtiyaçlarına yanıt verebilecek esnek öğretim yöntemleri geliştirmektir. Bu doğrultuda, uzamsal yeteneği desteklemeye yönelik etkinliklerin planlanması ve bu etkinliklerin ders içeriğine entegre edilmesi, öğrencilerin daha derinlemesine ve anlamlı öğrenme deneyimleri yaşamalarını sağlayacaktır (Karaismailoğlu, 2022). Özellikle STEM alanlarında uzamsal yeteneklerin önemi büyüktür. Yapılan araştırmalar, uzamsal yeteneklerin geliştirilmesinin öğrencilerin akademik başarılarını olumlu

yönde etkilediğini ve bu yeteneklerin erken yaşlardan itibaren kazandırılmasının, STEM alanlarındaki kariyer tercihlerini de desteklediğini göstermektedir (Wai, Lubinski ve Benbow, 2009). Uzamsal yetenek, öğrencilerin bilimsel ve matematiksel kavramları daha iyi anlamalarına ve bu kavramları görselleştirerek kavramsal zorlukları aşmalarına yardımcı olur. Bu nedenle, uzamsal yeteneklerin geliştirilmesi, fen bilimleri ve matematik gibi derslerde daha iyi performans göstermelerini sağlar (Newcombe, 2010). Aynı zamanda, uzamsal yeteneklerin gelişimi, öğrencilerin problem çözme ve eleştirel düşünme becerilerini de destekler, bu da onları sadece akademik yaşamda değil, günlük hayatta da başarılı kılar (Wai, Lubinski ve Benbow, 2009).

Kimya gibi disiplinlerde uzamsal yeteneklerin önemi daha belirgindir. Kimyada, moleküllerin yapısını ve reaksiyon süreçlerini anlamak uzamsal düşünme becerisi gerektirir (Newcombe, 2010). Öğrenciler, bu yetenekleri kullanarak moleküllerin üç boyutlu yapılarını, reaksiyon mekanizmalarını ve kimyasal bağları zihinsel olarak görselleştirip analiz edebilirler. Bu durum özellikle moleküler geometri, izomerler ve organik bileşiklerin yapısal analizinde kritik bir rol oynar. Laboratuvar çalışmalarında ve deney planlamasında da uzamsal düşünme becerileri gereklidir. Uzamsal yetenekler, kimyasal kavramların öğrenilmesi ve uzun süreli hafızada tutulmasını kolaylaştırır ve öğrencilerin başarılarını artırır (Newcombe, 2010; Wai, Lubinski ve Benbow, 2009).

Uzamsal yeteneklerin gelişimi, teknolojiyle desteklenen eğitim araçlarıyla da güçlendirilebilir. Örneğin, bilgisayar destekli tasarım (CAD) ve üç boyutlu modelleme araçları, öğrencilerin karmaşık kavramları görselleştirmelerine ve öğrenmelerini daha etkili hale getirmelerine yardımcı olur (Katsioloudis ve Jones, 2015). Bu tür teknolojik araçlar, öğrencilerin kimya gibi soyut kavramları somutlaştırmalarını ve anlamalarını kolaylaştırır.

Kimya alanındaki pek çok kavram soyut bir yapıya sahiptir, bu da öğrencilerin bu kavramları anlamak için zihinsel canlandırma ve görselleştirme yapmalarını gerekli kılar. Moleküllerin yapısındaki küçük değişikliklerin bile kimyasal özellikleri tamamen değiştirebilmesi, uzamsal yeteneğin bu alandaki kritik rolünü vurgular. Kimyada molekül geometrisi, hibritleşme gibi konuların anlamlı ve doğru bir şekilde öğrenilebilmesi için öğrencilerin uzamsal düşünme yeteneklerini kullanmaları gerekmektedir. Bu bağlamda, uzamsal yeteneklerin tespit edilmesi ve geliştirilmesi amacıyla son birçok araştırma yürütülmüştür (Yüksel ve Bülbül, 2014; Sütçü ve Oral, 2019).

Öğrencilerin kimya gibi soyut disiplinleri daha iyi öğrenmeleri ve uzamsal düşünme yeteneklerinin gelişmesi, öğretmenlerin bu konuda rehberlik etmesiyle yakından ilişkilidir. Öğretmenlerin, öğrencilerine uzamsal yetenek kazandıracak etkinlikler düzenlemesi ve bu

konuda yetkin olmaları önemlidir. Bu nedenle, öğretmen adaylarının uzamsal yeteneklerinin ölçülmesi ve lisans düzeyinde uygulanan üç boyutlu modelleme etkinliklerinin bu yetenek üzerindeki etkisinin araştırılması büyük bir önem taşımaktadır (Çetin, 2020).

2.3.4. Uzamsal Yeteneklerin Geliştirilmesi

Uzamsal yeteneklerin geliştirilmesi, öğrencilerin düşünme süreçlerini daha etkili kullanmalarını sağlamakta ve kavramsal bilgilerini derinleştirmektedir. Bu yeteneklerin gelişimi için çeşitli yöntemler ve etkinlikler kullanılabilir. Özellikle teknoloji destekli uygulamalar, üç boyutlu modelleme ve artırılmış gerçeklik gibi yaklaşımlar, öğrencilerin uzamsal becerilerini geliştirmede etkili yöntemler arasında yer alır (Sorby, 2009). Üç boyutlu modelleme, soyut kavramların somutlaştırılmasını sağlayarak öğrencilerin bu kavramları daha iyi anlamalarına yardımcı olur. Bu etkinlikler, öğrencilerin nesneleri farklı açılardan görme ve analiz etme becerilerini destekler, bu da uzamsal düşünme yeteneklerini geliştirmelerine katkı sunar. Ayrıca Lego gibi yapı oyuncakları ve bulmacalar, küçük yaşlardan itibaren uzamsal yeteneklerin geliştirilmesi için etkili araçlardır (Verdine vd., 2017).

Eğitimde uzamsal yeteneklerin gelişimi, problem çözme temelli öğrenme (PÇTÖ) ve proje tabanlı öğrenme gibi aktif öğrenme yaklaşımlarıyla desteklenebilir. Bu yaklaşımlar, öğrencilere gerçek dünya problemleri üzerinden uzamsal becerilerini kullanarak çözüm üretme fırsatı sunar. Örneğin, PBL etkinlikleri sırasında öğrenciler bir mühendislik problemini çözerken nesneleri zihinsel olarak döndürme veya uzaydaki ilişkilerini analiz etme gibi uzamsal becerilerini kullanırlar (Sorby, 2009).

Fen alanları (Fizik, Kimya, Biyoloji) eğitiminde uzamsal yeteneklerin geliştirilmesi, üç boyutlu modelleme ve simülasyonların kullanımıyla mümkün olabilir. Bu yöntemler, öğrencilerin kavramsal anlamalarını güçlendirmekte ve konuları daha somut hale getirmelerine yardımcı olmaktadır. Örneğin, kimya derslerinde molekül modelleri kullanılarak öğrencilerin atomlar arasındaki bağları ve moleküllerin uzaydaki yapısını daha iyi anlamaları sağlanabilir (Stieff ve Raje, 2010). Bu tür modeller sayesinde öğrenciler, moleküllerin geometrik yapılarını ve bu yapıların kimyasal özelliklere olan etkilerini daha iyi kavrayabilir. Özellikle organik kimya gibi soyut bilgilerin yoğun olduğu derslerde bu yaklaşım, öğrencilerin başarısını artırabilir.

Dijital araçlar da uzamsal yeteneklerin gelişiminde önemli bir rol oynamaktadır. Bilgisayar destekli tasarım (CAD) programları ve üç boyutlu yazıcılar, öğrencilere uzamsal

yeteneklerini kullanarak yeni ürünler tasarlama ve bu ürünlerin prototiplerini oluşturma fırsatı sunar. Bu süreç, öğrencilerin uzamsal görselleştirme ve zihinsel rotasyon becerilerini geliştirirken, bu becerilerin gerçek dünya problemleriyle nasıl ilişkilendirileceğini de anlamalarına yardımcı olur (Sorby, 2009).

Kimya eğitiminde uzamsal yeteneklerin geliştirilmesi, bilgisayar destekli eğitim, fiziksel modeller ve görsel materyallerin kullanımıyla sağlanabilir. CAD yazılımları ve üç boyutlu modelleme araçları, moleküllerin ve kimyasal yapıların görselleştirilmesini mümkün kılarak uzamsal yeteneklerin gelişimine katkı sunar (Katsioloudis ve Jones, 2015). Fiziksel moleküler modeller ise öğrencilerin molekülleri fiziksel olarak manipüle ederek soyut kavramları daha somut hale getirmelerine olanak tanır (Gilbert ve Driver, 2000). Ayrıca öğretmenlerin moleküler modeller, diagramlar ve animasyonlar gibi görsel materyalleri kullanması, öğrencilerin soyut kavramları daha iyi görselleştirmesine yardımcı olabilir (Newcombe, 2010).

2.4. İlgili Araştırmalar

Bu başlık altında araştırmanın konusu ile ilgili ulusal ve uluslararası literatürde yer alan çalışmalara örnekler verilmiştir.

Alharbi (2025), organik kimya öğrencilerinin moleküler yapıları anlamada yaşadığı zorluklara çözüm olarak 3D görselleştirme araçlarının etkisini incelemiştir. Suudi Arabistan'da 56 üniversite öğrencisiyle gerçekleştirilen çalışmada, deney grubuna VSEPR tabanlı 3D modeller, kontrol grubuna ise geleneksel 2D çizimler kullanılarak öğretim yapılmıştır. Veri toplamak için başarı testleri ve yarı yapılandırılmış görüşmeler kullanılmıştır. Başarı testleriyle nicel, çizim analizleri ve görüşmelerle nitel veriler toplanmıştır. Deney grubunun başarı düzeyinde ve görselleştirme becerilerinde anlamlı artış bulunmuştur. Öğrenciler 3D modellerin somutlaştırıcı etkisini ve motivasyon artırıcı yönünü belirtmiştir. Sonuçlar, 3D araçların kavramsal anlamayı ve uzamsal düşünmeyi güçlendirdiğini göstermiştir.

Saygıner ve Laçın (2024), dijital eğitsel etkinliklerin özel eğitim öğretmenlerinin dijital yeterlik düzeylerine etkisini araştırmıştır. Türkiye genelinden 20 öğretmenle yürütülen çalışmada 16 farklı teknoloji destekli etkinlik uygulanmıştır. Ön test-son test deneysel desende yürütülen çalışmada dijital yeterlik ölçeği kullanılmıştır. Veriler nicel olarak analiz edilmiş ve %33'lük dijital yeterliğin %67'ye çıktığı bulunmuştur. Öğretmenlerin özellikle öğrencilerin dijital becerilerine rehberlik etme boyutunda gelişim gösterdiği belirlenmiştir. Ölçme-

değerlendirme boyutunda ise sınırlı ilerleme gözlenmiştir. Araştırma, öğretmenlerin teknoloji kullanımında sürekli eğitime ihtiyaç duyduğunu ortaya koymuştur.

Üçgül ve Altıok (2023), öğretmen adaylarının 3D yazıcıların eğitime entegrasyonu konusundaki algılarını ve deneyimlerini incelemiştir. Çalışma, BÖTE öğrencileriyle 14 haftalık bir 3D modelleme ve yazdırma dersi sürecinde yürütülmüştür. Öğretim sürecinde Autodesk 3ds Max yazılımı ve 3D yazıcılar kullanılmıştır. Veriler çevrimiçi anketler ve yarı yapılandırılmış görüşmelerle toplanmış, NVivo ile analiz edilmiştir. Katılımcılar, 3D yazıcıların somutlaştırma, motivasyon ve özelleştirilmiş materyal üretme açısından etkili olduğunu ifade etmiştir. Ancak zaman ve maliyet gibi faktörlerin sınırlayıcı olduğu belirtilmiştir. 3D yazıcılar, öğretmen eğitimi sürecine inovatif katkı sunmuştur.

Karaismailoğlu (2022), Ters Yüz Sınıf (TYS) modeliyle yürütülen 3D modelleme etkinliklerinin öğretmen adaylarının akademik başarı ve uzamsal yeteneklerine etkisini incelemiştir. Biyoloji öğretmenliği öğrencilerinden deney ve kontrol grupları oluşturulmuş; deney grubuna Tinkercad destekli 3D modelleme etkinlikleri uygulanmıştır. Veri toplamak için başarı testi, uzamsal yetenek testi ve yarı yapılandırılmış görüşmeler kullanılmıştır. Veriler karma yöntemle analiz edilmiştir. Deney grubunun hem başarı hem de uzamsal yetenek puanlarında anlamlı artış gözlenmiştir. Katılımcılar, YYS modelini daha verimli ve etkileşimli bir öğrenme ortamı olarak değerlendirmiştir. Araştırma, 3D modellemenin fen öğretiminde bilişsel gelişimi desteklediğini göstermiştir.

Rahmawati, Dianhar ve Arifin (2021), 3D sanal modelleme araçlarının öğrencilerin uzamsal yetenek gelişimine katkısını incelemiştir. Endonezya'da 10. sınıf düzeyinde 36 öğrenciyle gerçekleştirilen çalışmada moleküler geometri konusu ele alınmıştır. Öğretim süreci 3E öğrenme modeliyle yapılandırılmıştır. Veri toplamak için çalışma sayfaları, sınıf içi gözlemler, röportajlar ve geometri testi kullanılmıştır. Veriler nitel analizlerle değerlendirilmiştir. Öğrencilerin uzamsal ilişkiler kurmada güçlü, yönelim becerilerinde ise zayıf olduğu tespit edilmiştir. Çalışma, sanal modellerin öğrenmeyi desteklediğini ancak fiziksel modellerle tamamlanması gerektiğini önermektedir.

Çetin (2020), uzaktan eğitim ortamında yürütülen 3D tasarım etkinliklerinin öğrencilerin uzamsal görselleştirme becerilerine etkisini incelemiştir. Sekiz hafta süren araştırma, 21 lisans öğrencisiyle çevrimiçi yürütülmüştür. 3D tasarım uygulamaları eş zamanlı olarak bir öğrenme yönetim sistemi üzerinden gerçekleştirilmiştir. Veri toplamak için Purdue Uzamsal Görselleştirme Testi ve odak grup görüşmeleri kullanılmıştır. Öğrencilerin test

puanlarında anlamlı artış gözlenmiş, görüşmelerde ise kavramsal anlamada gelişme ve teknik sorunlar raporlanmıştır. Veriler karma yöntemle analiz edilmiştir. Araştırma, uzaktan eğitimde 3D modellemenin uzamsal becerileri geliştirebileceğini göstermektedir.

Güleryüz (2020), STEM eğitimi kapsamında 3D yazıcı ve robotik kodlama uygulamalarının öğretmen adaylarının beceri ve yeterliklerine etkisini incelemiştir. Muş Alparslan Üniversitesi'nde 37 öğretmen adayıyla yürütülen araştırmada 3D yazıcı ve Arduino tabanlı projeler geliştirilmiştir. Uygulama öncesi ve sonrası nicel ölçümlerle 21. yüzyıl becerileri, STEM farkındalık ve öz yeterlik düzeyleri değerlendirilmiştir. Ayrıca, yarı yapılandırılmış görüşmelerle nitel veriler toplanmıştır. Veriler karma yöntemle analiz edilmiştir. Sonuçlar, öğretmen adaylarında anlamlı gelişmeler olduğunu ve STEM uygulamalarına karşı olumlu tutum kazandıklarını göstermiştir. Araştırma, disiplinler arası teknoloji kullanımının öğretmen yetiştirme sürecine katkı sağladığını ortaya koymuştur.

Renner ve Griesbeck (2020), kimya eğitiminde 3D baskı laboratuvarlarının entegrasyonunu araştırmıştır. Yüksek lisans öğrencileriyle yürütülen çalışmada kimya deneylerinin 3D yazıcılarla tasarlanıp üretilmesi sağlanmıştır. Öğretim sürecinde öğrencilere özel yazılım desteği sunularak deney materyalleri üretmeleri istenmiştir. Veriler nitel analiz yöntemiyle değerlendirilmiştir. Öğrenciler kimyasal süreçleri daha iyi anladıklarını ve derse ilgilerinin arttığını belirtmiştir. Çalışma, 3D baskının soyut kavramları somutlaştırarak öğrenmeyi desteklediğini ortaya koymuştur. 3D yazıcıların kimya laboratuvarlarında kullanımı önerilmiştir.

Pinger, Geiger ve Spence (2020), 3D baskı teknolojilerinin kimya derslerinde öğrenmeye katkısını değerlendirmiştir. Literatür taraması ve uygulama örnekleriyle yürütülen çalışmada özellikle görsel-dokunsal öğrenmenin etkisi vurgulanmıştır. 3D yazıcıların molekül modelleme ve laboratuvar materyali üretiminde kullanımı incelenmiştir. Bulgular, 3D baskı teknolojisinin öğretimi somutlaştırdığı ve uzamsal düşünmeyi desteklediğini göstermiştir. Teknolojinin hala gelişim aşamasında olduğu fakat öğretime olumlu katkı sunduğu belirtilmiştir. Araştırma, bu uygulamaların yaygınlaştırılması gerektiğini vurgulamıştır. Eğitimciler için 3D baskı kullanım kılavuzlarının hazırlanması önerilmiştir.

de Cataldo, Griffith ve Fogarty (2018), hibrit orbitallerin öğretiminde 3D baskı tekniklerinin kullanımını araştırmıştır. ABD'de Genel Kimya dersinde yürütülen çalışmada öğrenciler hibrit orbitalleri önce yazılım ortamında simüle etmiş, ardından modellerini 3D yazıcıda üretmiştir. Öğrencilere sözel anlatım, simülasyon gösterimi ve fiziksel modelleme

süreci uygulanmıştır. Veri toplamak için gözlemler ve öğrenci görüşleri kullanılmıştır. Analizler, 3D modellerin orbitallerin uzamsal yapısını kavramada etkili olduğunu göstermiştir. Öğrenciler, soyut kavramların daha kolay anlaşıldığını belirtmiştir. 3D baskının görsel-dokunsal öğrenmeyi desteklediği sonucuna ulaşılmıştır.

Yavuz ve Büyükekşi (2018), kimya başarısı ile uzamsal yetenek arasındaki ilişkiyi incelemiş ve bu alana özgü bir test geliştirmiştir. Araştırma, Fen Bilgisi Öğretmenliği programında öğrenim gören 107 adayla gerçekleştirilmiştir. Uzamsal yeteneği ölçen 28 maddelik geçerli ve güvenilir bir ölçek geliştirilmiştir. Ölçeğin madde analizleri, KR-20 ve Split-Half güvenirlik katsayıları yüksek bulunmuştur. Bulgular, uzamsal yetenek ile kimya başarısı arasında pozitif korelasyon olduğunu ortaya koymuştur. Öğrencilerin uzamsal becerileri molekül yapıları ve etkileşimlerini anlamada belirleyici bulunmuştur. Araştırma, uzamsal yetenek odaklı öğretim stratejileri geliştirilmesi gerektiğini vurgulamaktadır.

Penny ve diğerleri (2017), 3D baskı teknolojisinin organik kimya öğretiminde kavramsal öğrenmeye katkısını araştırmıştır. Birinci sınıf öğrencileriyle yürütülen çalışmada hibritleşme ve orbital konularında 3D modeller üretilmiştir. Öğrenciler laboratuvarında bu modelleri bireysel olarak deneyimlemiştir. Anket yoluyla veri toplanmış ve betimsel analiz yapılmıştır. Sonuçlar, öğrencilerin 3D modeller sayesinde zorlandıkları kavramları daha iyi anladıklarını göstermiştir. 3D baskının somutlaştırma ve uzamsal ilişki kurma becerisini desteklediği bulunmuştur. Teknolojinin yaygınlaştırılması ve maliyetinin düşürülmesi önerilmiştir.

Bu çalışmalar, üç boyutlu modelleme, sanal görselleştirme ve teknoloji destekli öğretim araçlarının özellikle kimya eğitiminde kavramsal anlamayı, uzamsal yetenekleri ve akademik başarıyı geliştirmede etkili olduğunu göstermektedir. Hem öğretmen adayları hem de öğrenciler, bu teknolojilerin öğrenme sürecine katkı sağladığını, motivasyonu artırdığını ve soyut kavramların somutlaştırılmasını kolaylaştırdığını ifade etmektedir. Bu doğrultuda, 3D teknolojilerin öğretim programlarına entegre edilmesi ve öğretmenlerin bu alanda desteklenmesi, fen bilimleri eğitiminde önemli bir gelişim alanı olarak öne çıkmaktadır.

BÖLÜM III

YÖNTEM

Bu araştırmada, kimya öğretmen adaylarının üç boyutlu yazıcılar yardımıyla kendi tasarladıkları molekül modellerinin kavramsal anlamaları ve uzamsal yetenekleri bağlamında incelenmesi hedeflenmiştir. Bu hedef doğrultusunda, çalışmada karma yöntem araştırması kullanılmıştır. Karma araştırma yöntemi, araştırma sorularına daha kapsamlı yanıtlar sunabilmek amacıyla belirli desenlere dayalı olarak hem nitel hem de nicel verilerin bir arada toplanmasını, farklı yöntemlerle analiz edilmesini ve bu analiz sonuçlarının bütüncül bir şekilde yorumlanmasını kapsamaktadır. Bu yöntemde, nitel ve nicel yaklaşımlar birlikte kullanılarak her iki yöntemin zayıf yönlerinin, diğerinin güçlü özellikleriyle dengelenmesi hedeflenmiştir. Böylelikle, araştırma sürecinde her iki veri türünden elde edilen bulguların geçerlik ve güvenirlik düzeyinin artırılması sağlanmıştır (Creswell ve Plano Clark, 2023). Araştırmada bu yöntemin seçilme nedeni, nicel ve nitel verilerin bir arada toplanarak, birbirlerini desteklemesi ve araştırma sonuçlarının daha kapsamlı bir şekilde yorumlanabilmesine olanak sağlamıştır. Araştırma deseni olarak *eş zamanlı üçgenleme deseni* tercih edilmiştir (Creswell ve Creswell, 2017). Bu desen, nicel ve nitel verilerin *eş zamanlı* olarak (i) toplanmasını, (ii) analiz edilmesini ve (iii) birleştirilmesini içermiştir.

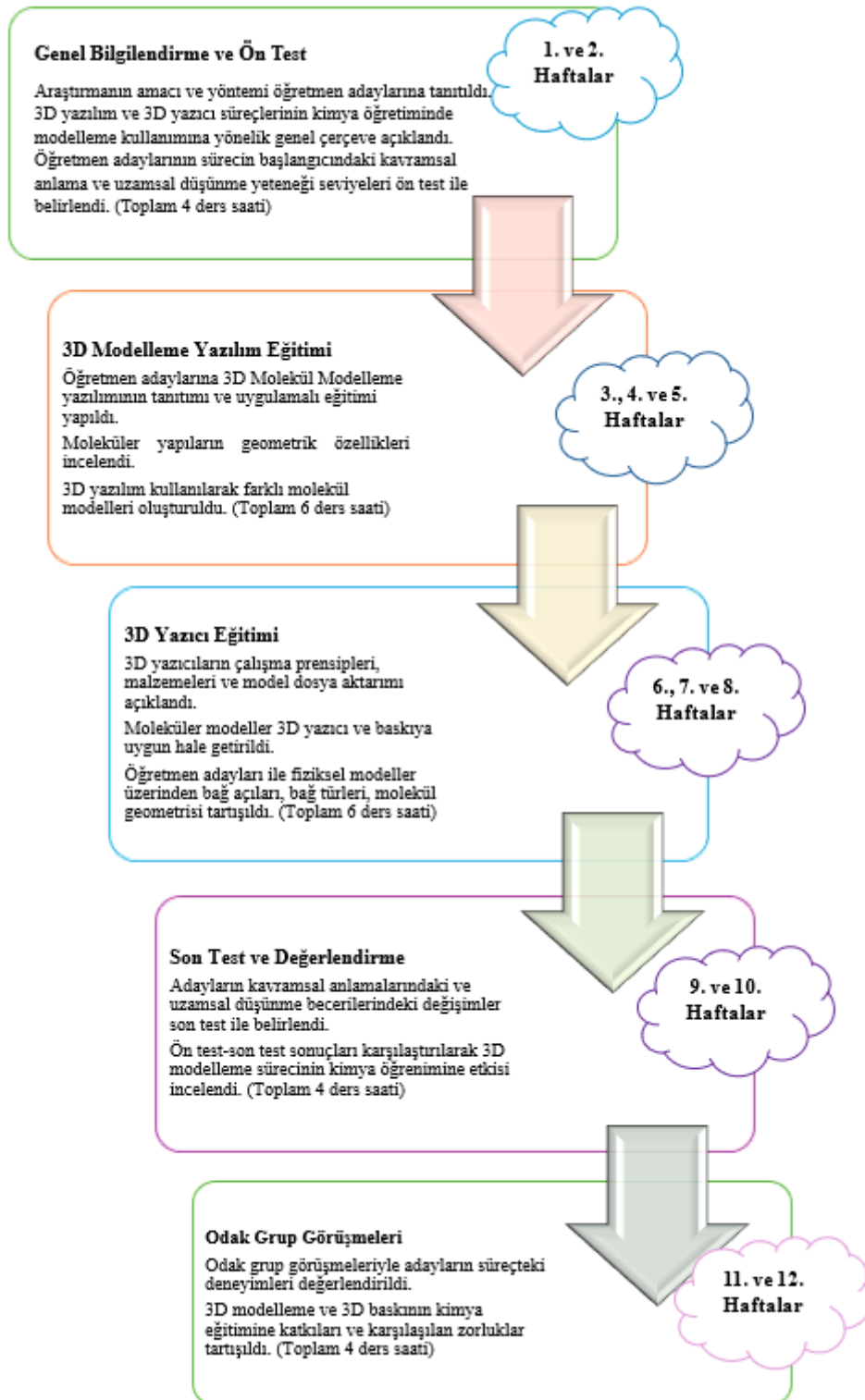
Creswell ve Creswell (2017), karma yöntem araştırmalarının temel özelliklerini şu şekilde sıralamaktadır:

- Araştırma problemini daha kapsamlı bir şekilde ele alabilmek için nicel ve nitel verilerin sistematik olarak toplanması ve analiz edilmesi,
- Nicel ve nitel araştırma yöntemlerinin güçlü yanlarının bir arada kullanılarak araştırma sürecinin metodolojik açıdan zenginleştirilmesi,
- Farklı veri türlerinin bütünleştirilmesi ve uyumlu bir şekilde yorumlanmasını sağlayan karma yöntem desenlerinin uygulanması.

Karma yöntem araştırmaları, nicel ve nitel verilerin sunduğu avantajları bir araya getirerek araştırma bulgularının kapsamlı ve çok yönlü bir şekilde değerlendirilmesine olanak tanımakta, böylece araştırmanın bilimsel geçerliliğini ve güvenirliğini artırmaktadır (Byrman, 2016). Karma yöntem araştırmalarında, nicel ve nitel yöntemlerin birleştirilme şekillerindeki farklılıklar, metodolojik çeşitliliği artırmaktadır. Karma yöntem araştırma desenleri; *çeşitleme*, *gömülü*, *açıklayıcı* ve *açımlayıcı* olmak üzere dört farklı şekilde uygulanmaktadır (Creswell ve Creswell, 2017). Bu araştırmada, *çeşitleme deseni* tercih edilmiştir. Bu tercihin temel

gerekçesi, araştırma problemlerine yönelik farklı türde verilerin elde edilmesini sağlamak amacıyla nicel ve nitel yaklaşımların birlikte kullanılarak verilerin çeşitlendirilmesi, karşılaştırılması ve çok yönlü olarak incelenmesidir (Morse, 1991). Bu yöntemde, nicel ve nitel veriler eşit düzeyde önem taşımakta ve birbirlerini tamamlayıcı nitelikte değerlendirilmektedir.

Araştırma sürecinde nicel ve nitel veriler eş zamanlı olarak toplanmış, analiz edilmiş ve tartışma kısmında bir araya getirilerek yorumlanmıştır. Nicel veriler, katılımcılara uygulanan testler aracılığıyla istatistiksel analizlere tabi tutulmuş; nitel veriler ise odak grup görüşmeleriyle elde edilen verilerin tematik analizi yöntemiyle elde edilmiştir. Araştırmanın yöntemi, teknoloji destekli öğretim sürecinin hem kavramsal anlama hem de uzamsal yetenek boyutlarındaki etkilerini detaylı bir şekilde ortaya koymayı amaçlamaktadır.



Şekil 5. Araştırmada izlenen çeşitleme deseni süreç modeli

Şekil 5’te görüldüğü gibi araştırma kapsamında uygulanan çeşitleme deseninde, eş zamanlı olarak tek grup ön test-son test deneysel desen modeli kullanılmıştır. Nicel veri toplama sürecinde, İki Aşamalı Molekül Geometrilere Tanı Testi ve Molekül Modeli Uzamsal Yetenek Testi aracılığıyla ölçümler gerçekleştirilmiştir. Nitel veri toplama sürecinde ise odak grup görüşmesi yöntemi uygulanarak veri çeşitliliği sağlanmış ve içerik zenginleştirilmiştir. Böylece, araştırma probleminin daha derinlemesine incelenmesi ve kapsamlı bir değerlendirme yapılması amaçlanmıştır.

3.1. Araştırmanın Modeli

Araştırmada kullanılan model, eş zamanlı üçgenleme deseni olup hem nicel hem de nitel veri toplama ve analiz süreçlerini içermektedir. Araştırmanın amacı, *Kimya öğretmen adaylarının kimya alanında üç boyutlu bir yazılım programını kullanarak yürütülen teknoloji destekli öğretim sürecinde hibritleşme, hibrit orbitaller ve molekül geometrileri konularındaki kavramsal anlamaları ve uzamsal yetenekleri nasıldır?* sorusuna hem nicel verilerin sayısal gücü hem de nitel verilerin derinlemesine anlamlarını ortaya çıkararak yanıt bulmaktır. Bu doğrultuda, tek grup ön test- son test deneysel desen ile elde edilen nicel veriler, odak grup görüşmeleri ile toplanan nitel verilerle birlikte analiz edilerek daha zengin ve kapsamlı bir sonuç elde edilmesi hedeflenmektedir. Bu sayede, araştırma konusu hakkında hem genel geçerliliği olan sonuçlara ulaşmak hem de olguların derinlemesine anlaşılması sağlanmıştır.

3.1.1. Nicel Araştırma Deseni

Araştırmanın nicel kısmında, öğretmen adaylarının hibritleşme, hibrit orbitaller ve molekül geometrileri konularındaki kavramsal anlamalarını ölçmek için tek grup ön test-son test deneysel desen kullanılmıştır (Tablo 2). Böylece araştırma kapsamında, tek bir grup üzerinde uygulama gerçekleştirilmiştir. Deneklerin bağımlı değişken üzerindeki etkisini değerlendirmek amacıyla, uygulama öncesinde ön test, uygulama sonrasında ise aynı denekler üzerinde son test uygulanmıştır. Bu desen, deneysel bir müdahalenin (teknoloji destekli öğretimin) ardından gerçekleştirilen değerlendirmeler yoluyla süreç boyunca meydana gelen değişimleri belirlemek için kullanılmaktadır. Karasar'a (2014) göre deneysel desenler, araştırmacıların farklı değişkenler arasındaki nedensel ilişkileri kontrol altında tutarak incelemelerine olanak tanıyan bilimsel bir yöntemdir. Bu desenler sayesinde, bir değişkendeki değişikliğin başka bir değişkendeki değişikliği ne ölçüde açıkladığı ortaya konulur.

Öğretmen adaylarının teknoloji destekli öğretim süreci öncesi ve sonrası kavramsal anlama ve uzamsal yeteneklerindeki değişim değerlendirmeleri, “İki Aşamalı Molekül

Geometrileri Tanı Testi” ve “Molekül Modeli Uzamsal Yetenek Testi” aracılığıyla yapılmıştır. Ölçme sürecinde, ön test ve son test için aynı ölçme araçları kullanılmıştır (Büyüköztürk vd., 2016).

Tablo 2

Tek grup ön test – son test deneysel desen

Gruplar	Ön Test	Uygulama	Son Test
Tek Grup	İki Aşamalı Molekül Geometrileri Tanı Testi	Üç boyutlu yazılım (Chemdoodle) ve üç boyutlu yazıcı aracılığıyla teknoloji destekli modelleme etkinlikleri	İki Aşamalı Molekül Geometrileri Tanı Testi
(Son sınıf kimya öğretmen adayları: 22 öğretmen adayı)	Molekül Modeli Uzamsal Yetenek Testi		Molekül Modeli Uzamsal Yetenek Testi

3.1.2. Nitel Araştırma Deseni

Araştırmanın nitel kısmında, öğretmen adaylarının teknoloji destekli öğretim sürecine ilişkin algı ve deneyimlerini derinlemesine anlamak amacıyla odak grup görüşmesi yöntemi kullanılmıştır. Barbour ve Kitzinger (2001) tarafından tanımlanan bu yöntem, belirli bir konu üzerinde katılımcıların görüşlerini ve algılarını ayrıntılı olarak ifade etmelerine olanak sağlamaktadır. Araştırmada odak grup görüşmeleri, teknoloji destekli öğretim süreci hakkında öğretmen adaylarının düşüncelerini ve deneyimlerini belirlemek amacıyla yapılandırılmıştır. Görüşmeler, araştırmacı tarafından hazırlanan *yapılandırılmış görüşme formu* aracılığıyla gerçekleştirilmiştir. Bu form, katılımcılara yöneltilen açık uçlu sorulardan oluşmakta ve öğretim sürecine dair derinlemesine bilgi toplamayı amaçlamaktadır. Görüşmelerin kayıt altına alınması, transkriptlerinin oluşturulması ve tematik analiz yöntemiyle incelenmesi yoluyla veriler detaylı bir şekilde analiz edilmiştir.

3.2. Araştırmanın Örneklemi

Araştırmanın örneklemini 2023-2024 öğretim yılının bahar döneminde bir devlet üniversitesi Eğitim Fakültesi'nde öğrenim gören 22 kimya öğretmen adayı oluşturmaktadır. Araştırmanın örneklemini oluşturmak üzere, evren içerisinde belirli ölçütlere göre uygun bireyler seçilmiş ve bu doğrultuda amaçlı rastgele örnekleme yöntemi tercih edilmiştir. Bu

yöntem, sistematik ve rastgele seçim ilkelerini birleştirerek, araştırma amacına uygun, bilgi açısından zengin ve temsil gücü yüksek bir örneklem oluşturmayı amaçlamaktadır (Marshall ve Rossman, 2014). Amaçlı rastgele örnekleme yöntemi, araştırmanın geçerliliğini ve güvenilirliğini artırmak amacıyla tercih edilmektedir. Bu yöntemin temel dayanağı, yalnızca rastgele seçilen bireylerden oluşan bir örneklem yerine, araştırmanın odaklandığı değişkenler açısından anlamlı ve çeşitlilik gösteren bir örneklem elde etmektir. Böylece, araştırma kapsamında ele alınan değişkenlerin farklı bağlamlardaki etkileri detaylı bir şekilde analiz edilebilmiş ve derinlemesine inceleme yapılabilmektedir. Özellikle nitel araştırmalarda, rastgele seçimle belirlenen bireylerin sağladığı verilerin sınırlılıklarını aşmak ve daha kapsamlı bilgiler elde etmek için amaçlı örnekleme stratejisi büyük önem taşımaktadır (Flick, 2014).

Sonuç olarak araştırmaya, amaçlı rastgele örnekleme yöntemi ile seçilen toplam 22 kimya öğretmen adayı katılmıştır. Bu örneklemin 5'i erkek (%22,7), 17'si ise kadındır (%77,3). Bu yöntemin tercih edilme nedeni, araştırma kapsamında belirli özelliklere sahip bireylerin araştırma sorularına uygunluklarını sağlarken, aynı zamanda rastgele seçim yaparak önyargıları en aza indirmektir. Örneklem büyüklüğü, karma araştırma desenini uygulayan benzer çalışmalardaki katılımcı sayılarıyla karşılaştırılarak yeterli kabul edilmiştir.

Katılımcıların seçimindeki temel ölçütler, son sınıf kimya öğretmen adayı olmaları ve 3 boyutlu modelleme etkinliklerine katılabilecek bilgi ve beceri düzeyine sahip olmalarıdır. Adayların son sınıfta olmaları, mezuniyet aşamasında olduklarını ve mesleklerine çok yakın bir noktada bulunduklarını göstermektedir. Bu durum, araştırma süreci sonunda edindikleri yeterlilikleri mesleki yaşantılarında kolaylıkla uygulayabilecekleri anlamına gelmektedir. Bununla birlikte adaylar, lisans öğrenimleri sırasında "Bilişim Teknolojileri" ve "Öğretim Teknolojileri" gibi dersleri başarıyla tamamlamışlardır. Bu bağlamda, araştırmada yer alan tüm katılımcıların teknoloji destekli öğretim süreçlerinde kullanılan 3 boyutlu yazılım programlarını öğrenmeye ve uygulamaya uygun niteliklere sahip olduğu değerlendirilmiştir. Araştırma sürecinde, katılımcılara bu yazılımların kullanımıyla ilgili rehberlik sağlanmış ve gerekli eğitimler verilmiştir.

3.3. Veri Toplama Süreci ve Araçları

Araştırmanın veri toplama süreci, üç farklı ölçme aracı ile yürütülmüştür. Kullanılan veri toplama araçları; "İki Aşamalı Molekül Geometrilere Tanı Testi" (MGTT), "Molekül Modeli Uzamsal Yetenek Testi" (MMUYT) ve "odak grup görüşmeleri"dır. Farklı veri toplama araçlarının kullanılması, araştırma sürecinde veri çeşitliliğini artırarak daha kapsamlı bir değerlendirme yapılmasını sağlamıştır. Tüm veri toplama araçlarının uygulanması süreci

ilgili başlık altında açıklanmıştır. Uygulama sürecinde katılım gönüllülük esasına dayalı olarak gerçekleştirilmiştir. Araştırmacı tarafından öğretmen adaylarına verecekleri cevaplarda dürüst, içten ve samimi olmaları konusunda bilgilendirme yapılmıştır.

3.3.1. İki Aşamalı Molekül Geometrileri Tanı Testi

Araştırmada, kimya öğretmen adaylarının hibritleşme, hibrit orbitaller ve molekül geometrileri konularındaki kavramsal anlama düzeylerini belirlemek amacıyla “İki Aşamalı Molekül Geometrileri Tanı Testi” (MGTT) kullanılmıştır (EK 5). İki aşamalı MGTT, 2014 yılında Uyulgan, Akkuzu ve Alpat tarafından geliştirilmiş ve toplam 25 sorudan oluşan bir ölçme aracıdır. İki aşamalı tanı testi formatında yapılandırılan testte, öğretmen adaylarından her bir soruya verdikleri cevabın ardından gerekçelerini belirtmeleri istenmiştir. Bu yapı sayesinde öğrencilerin yalnızca doğru bilgiye sahip olup olmadıkları değil, aynı zamanda sahip oldukları bilgiyi nasıl yapılandıkları da ortaya çıkarılabilmektedir. Testin, daha önceki araştırmalarda geçerlik ve güvenirlik analizleri yapılmıştır. Bu çalışmada, söz konusu test doğrudan veri toplama aracı olarak kullanılmış ve herhangi bir madde değişikliği ya da uyarılama yapılmamıştır. Test öğretmen adaylarının teknoloji destekli öğretim süreci öncesinde ve sonrasında olmak üzere iki kez uygulanmıştır. Bu uygulamalardan elde edilen veriler aracılığıyla kavramsal anlamalarındaki değişim değerlendirilmiştir.

İki aşamalı tanı testleri, öğrencilerin yalnızca doğru veya yanlış cevaplarını değil, aynı zamanda verdikleri yanıtların gerekçelerini de değerlendirmeye olanak tanımaktadır (Gurel, Eryılmaz ve McDermott, 2015). Testin uygulamasında adaylara ön ve son uygulamalarda eşit olacak şekilde 60 dakika süre verilmiştir. Adaylardan testin ilk aşamasında belirlenen seçenekler arasından doğru olduğuna inandıkları cevabı işaretlemeleri istenirken, ikinci aşamasında bu cevabı seçme nedenlerini açıklamaları beklenmiştir. Bu yöntem, öğretmen adaylarının sahip olduğu ön bilgileri ve kavramsal anlamalarını tespit etmede etkili bir araç olarak kullanılmıştır.

Araştırmada uygulanan iki aşamalı MGTT'nin içerdiği soruların konulara göre dağılımı aşağıdaki Tablo 3'te gösterilmiştir.

Tablo 3

İki aşamalı MGTT sorularının konu içeriğine göre dağılımı

Konular	Soru Numaraları
Rezonans	16, 21
Oktet kuralına uygun molekül yapıları	1, 4
Elektron çiftlerinin itmesi ve Moleküler geometri (VSEPR teorisi)	1, 2, 3, 5, 8, 9, 10, 12, 13, 15, 18, 19, 22, 23
Hibrit orbitaller (Hibritleşme)	11, 17
Moleküler orbitaller	6, 20, 24, 25
Moleküller arası çekim kuvvetleri	7, 10
Lewis ve VSEPR yapıları arasındaki ilişki	14, 17, 19, 25

Araştırmacılar tarafından iki aşamalı MGTT'nin madde ayırt edicilik indeksleri 0,251 ile 0,537 arasında, madde zorluk indeksleri ise 0,187 ile 0,826 arasında değiştiği tespit edilmiştir. Testin Cronbach Alfa iç tutarlılık katsayısı ise 0,856 olarak hesaplanmıştır (Uyulgan, Akkuzu ve Alpat, 2014). Bu değer testin yüksek düzeyde güvenilirliğe sahip olduğunu göstermektedir (Büyüköztürk vd., 2016).

3.3.2. Molekül Modeli Uzamsal Yetenek Testi

Öğretmen adaylarının uzamsal yeteneklerini ölçmek amacıyla bu araştırmada “Molekül Modeli Uzamsal Yetenek Testi” kullanılmıştır (EK 6). 2018 yılında Yavuz ve Büyükekeşi tarafından geliştirilen bu test, bireylerin özellikle kimya alanında gerekli olan üç boyutlu düşünme becerilerini değerlendirmek amacıyla hazırlanmıştır. Toplam 28 çoktan seçmeli sorudan oluşan testte, sorular molekül modelleri üzerinden hazırlanmış ve öğretmen adaylarının uzamsal yetenekleri ölçülmüştür. Testin içeriği, kimya eğitiminde sık karşılaşılan molekül geometrisi, bağ yapıları ve izomerlik gibi konularla ilişkilidir. Test, herhangi bir değişiklik yapılmadan orijinal haliyle uygulanmıştır. Her sorunun yalnızca bir doğru cevabı

bulunmaktadır. Araştırmacılar tarafından testteki maddelerin ortalama madde güçlük indeksi 0,62 ve ortalama ayırt edicilik indeksi 0,51 olarak hesaplanmıştır. Bununla birlikte maddelerin madde güçlük indeksleri (0,30; 0,91), ayırt edicilik indeksleri ise (0,24; 0,85) arasında olduğu belirlenmiştir. Güvenirlilik analizi sonucunda KR-20 değeri, 0,87 ve Split-Half değeri ise 0,74 olarak tespit edilmiştir. Araştırmacılar bu değerlere göre ölçeğin uygulamada güvenilir olduğunu bildirmişlerdir (Yavuz ve Büyükekeşi, 2018).

Test, araştırma sürecinde ön test ve son test olarak iki kez uygulanmıştır. Öğretmen adaylarına testi tamamlamaları için her iki uygulamada da 15 dakikalık bir süre verilmiştir. Uzamsal yeteneği değerlendirmek amacıyla uygulanan testlerde, zaman sınırı konulması önemlidir. Eğer test süresiz bırakılır ya da gereğinden fazla zaman tanınırsa, öğrenciler bilişsel stratejilerden yararlanarak sonuca ulaşabilir (Linn ve Petersen, 1985). Bu süre aynı zamanda testi geliştiren araştırmacılar tarafından önerilen ve yeterli görülen süredir. Ön test sonuçları, öğretmen adaylarının araştırma sürecine başlamadan önceki uzamsal düşünme beceri düzeylerini belirlemek için kullanılmıştır. Teknoloji destekli öğretim sürecinin tamamlanmasının ardından gerçekleştirilen son test uygulaması aracılığıyla da öğretmen adaylarının uzamsal yeteneklerinde meydana gelen gelişmeler istatistiksel olarak analiz edilmiştir. Ön test ve son test puanlarının karşılaştırılması, üç boyutlu yazılım ve modelleme süreçlerinin öğretmen adaylarının uzamsal düşünme becerileri üzerindeki etkisini belirlemeye yönelik bilimsel bir dayanak sağlamıştır.

3.3.3. Odak Grup Görüşmeleri

Araştırmada nitel veri toplama yöntemi olarak odak grup görüşmeleri uygulanmıştır. Odak grup görüşmesi, belirli bir konu hakkında seçilmiş bir grup katılımcının düşüncelerini ve deneyimlerini derinlemesine anlamak amacıyla kullanılan etkili bir yöntemdir (Barbour ve Kitinger, 2001). Bu çalışmada, kimya öğretmen adaylarının üç boyutlu yazılım ve yazıcı teknolojileri kullanılarak yürütülen teknoloji destekli öğretim süreci hakkındaki görüşlerini belirlemek amacıyla odak grup görüşmeleri gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda, öğretmen adaylarına araştırmanın temel bileşenleriyle ilgili sorular yöneltilerek, deneyimlerini özgür bir şekilde ifade etmelerine olanak tanınmıştır.

Yıldırım ve Şimşek'in (2006) nitel araştırma yöntemleri üzerine yaptığı çalışmanın temel ilkelerinden hareketle, görüşme soruları hem teorik çerçeveyi hem de araştırma sorularını kapsayacak şekilde titizlikle hazırlanmıştır. Uzman görüşleri alınarak soruların hem bilimsel açıdan geçerli hem de katılımcılar için anlaşılır olduğu tespit edilmiştir. Bu süreçte aşağıdaki adımlar izlenmiştir:

- Konuyla ilgili önceki bilimsel çalışmalara göz atılarak, katılımcıların görüşlerini en iyi şekilde yansıtabilecek sorular belirlenmiştir.
- Odak grup görüşmelerinde sorulan sorular katılımcıların hibritleşme, hibrit orbitaller ve molekül geometrileri konularındaki kavramsal anlamaları, uzamsal yetenekleri ve mesleki yeterlilikleri hakkındaki değişimleri ortaya çıkarmaya yöneliktir.
- Sorular üç bölümden oluşmaktadır. İlk bölümde öğretmen adaylarının kavramsal anlamalarına yönelik toplam 6 soru, ikinci bölümde uzamsal yeteneklerine ilişkin toplam 7 soru, üçüncü bölümde ise mesleki yeterliliklerine ilişkin toplam 9 soru yer almaktadır.
- Hazırlanan sorular, araştırmacı ve uzmanlar tarafından detaylı bir şekilde tartışılmış ve gerekli düzeltmeler yapılmıştır. Alanında uzman 3 kişiye sorular sunularak, içeriğin ve dilin uygunluğu konusunda geri bildirimler alınmıştır. Geri bildirimler sonucunda yapılan düzeltmeler ile Odak Grup Görüşme Formunun (EK 7) son hali oluşturulmuştur.

Odak grup görüşmeleri, öğretmen adaylarının teknoloji destekli öğretim sürecine yönelik algılarını, deneyimlerini ve bu sürecin öğrenmelerine etkisini detaylı bir şekilde incelemeye yardımcı olmuştur. Bu görüşmelerin içeriği, araştırmacı tarafından önceden oluşturulan bir odak grup görüşmesi formu aracılığıyla yönlendirilmiştir. Bu yöntemin araştırmada kullanılmasının temel nedeni, teknoloji destekli öğretim sürecinin öğretmen adayları üzerindeki etkilerini yalnızca istatistiksel sonuçlarla değil, aynı zamanda katılımcıların doğrudan ifadeleriyle desteklemek ve süreç hakkında daha derinlemesine bilgi sahibi olmaktır.

Her bir odak grup görüşmesi araştırmacı tarafından yürütülmüştür. Tüm görüşmeler ortak bir dil oluşturulması amacıyla başlangıçta araştırmacı tarafından, gerçekleştirilecek görüşmenin amacı ve araştırmacının kendisi hakkında yapılan kısa bir bilgilendirme ile başlatılmıştır. Görüşmeler 13-24 Mayıs 2024 tarihleri arasında toplam iki oturum halinde yüz yüze gerçekleştirilmiş olup, görüşmelere toplam 22 öğretmen adayı gönüllü olarak katılım sağlamıştır. Katılım öncesinde adayların bilgilendirilmiş onam formunu doldurmaları istenmiştir (EK 8). Görüşmeler sırasında veri kaybını önlemek amacıyla katılımcılardan izin alınarak ses kaydı alınmıştır. Aynı zamanda araştırmacı tarafından yazılı notlar da tutulmuştur.

3.4. Tasarım, Geliştirme ve Uygulama Süreci

Bu araştırmanın uygulama süreci, belirlenen bilimsel yöntemler doğrultusunda sistematik olarak planlanmış ve yürütülmüştür. Çalışmanın her aşaması, araştırmanın güvenilirliğini ve geçerliliğini artırmaya yönelik önlemler alınarak gerçekleştirilmiştir. Süreç boyunca, kimya öğretmen adaylarının teknoloji destekli üç boyutlu molekül modelleme uygulamalarına ilişkin kavramsal anlamalarının ve uzamsal yeteneklerinin gelişimi detaylı bir şekilde izlenmiş ve analiz edilmiştir.

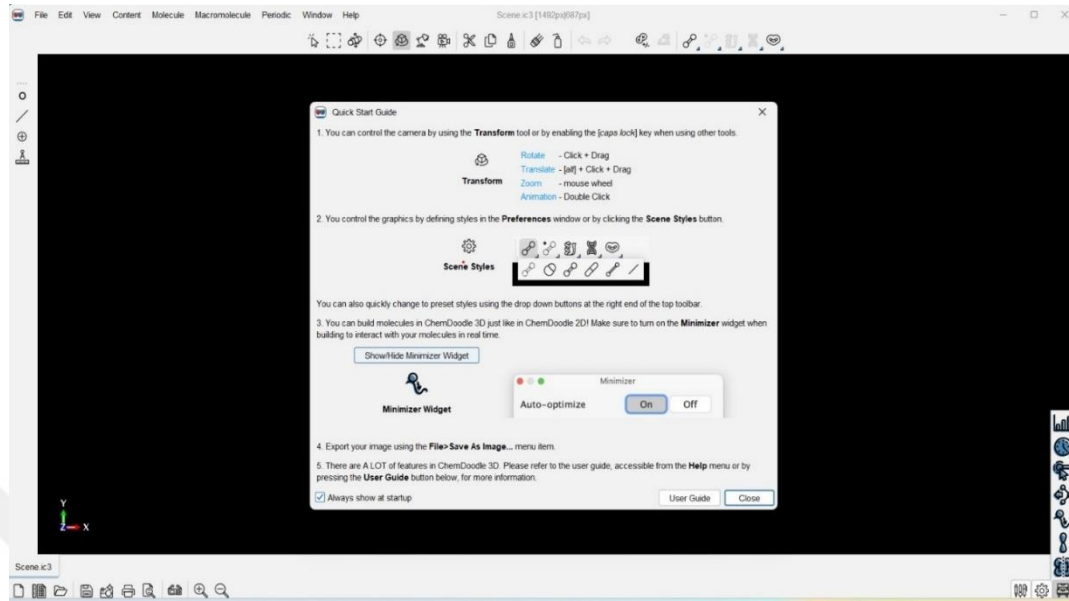
3.4.1. Genel Bilgilendirme ve Ön Test Uygulaması

Araştırma sürecinin başlangıcında, üç boyutlu modelleme ve yazıcı teknolojilerinin kimya öğretiminde kullanımı ile ilgili literatür taraması yapılmış ve kuramsal çerçeve oluşturulmuştur. Literatürde yer alan güncel çalışmalar incelenerek araştırmanın teorik altyapısı oluşturulmuş, böylece çalışmanın bilimsel dayanakları güçlendirilmiştir. Ön test uygulaması, araştırmaya katılan kimya öğretmen adaylarının ön bilgi düzeylerini ve uzamsal yeteneklerini belirlemek amacıyla gerçekleştirilmiştir. Ön test, araştırmanın başlangıcında yüz yüze ortamda uygulanmış olup, öğretmen adaylarının kavramsal anlamalarını ve uzamsal yeteneklerini değerlendiren sorular içermektedir. Bu veriler, araştırmanın sonraki aşamalarında gerçekleştirilen analizlerde karşılaştırma amacıyla kullanılmıştır.

Uygulama sürecinde kullanılacak üç boyutlu yazıcılar, modelleme yazılımları ve ilgili donanımlar temin edilerek gerekli teknik altyapı oluşturulmuştur. Teknolojik altyapının eksiksiz hazırlanması, uygulama sürecinde meydana gelebilecek aksaklıkları önlemek açısından kritik önem taşımaktadır. Bunun için görsel ve kavramsal olarak araştırma kapsamında ele alınan molekül modelleme konusuna uygun web ortamındaki 3D yazılım araçları araştırılmıştır. Bu araştırma sonucunda en uygun araçlar arasından Chemdoodle 3D yazılım programına karar verilmiştir. Bu programa ilişkin özellikler 3D Modelleme Yazılım Eğitimi başlığı altında sunulmuştur. Ayrıca, öğretmen adaylarının yazılım ve donanım araçlarını etkin bir şekilde kullanabilmesi için teknik eğitimler düzenlenmiş, üç boyutlu modelleme ve baskı süreçleri hakkında kapsamlı bilgiler sağlanmıştır.

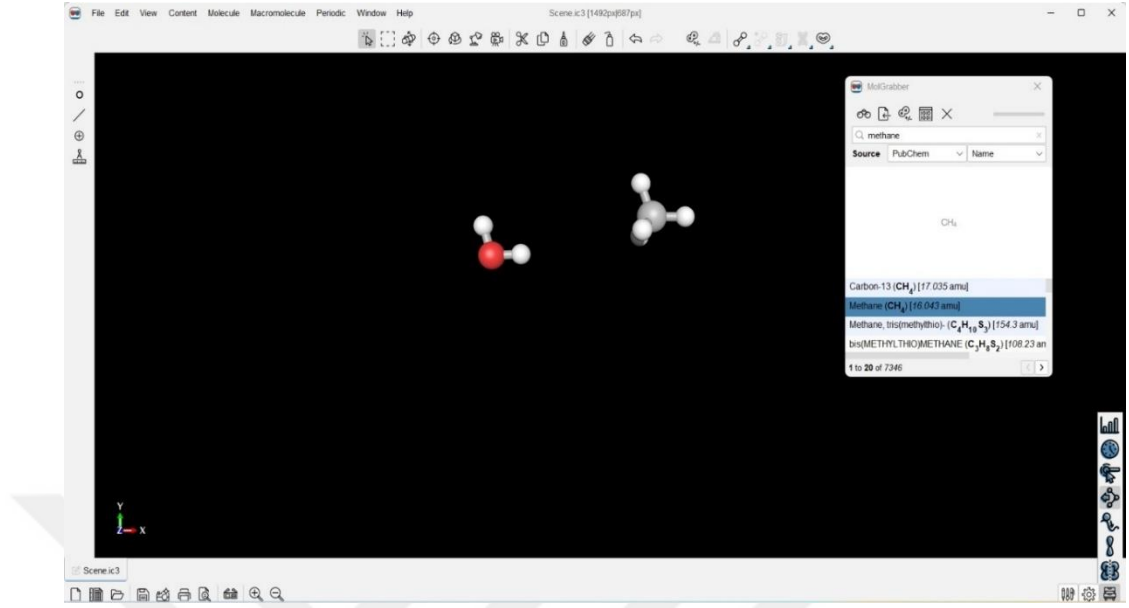
3.4.2. 3D Modelleme Yazılım Eğitimi

Araştırmada, öğretmen adaylarına yönelik olarak *Chemdoodle 3D* modelleme yazılımı eğitimi verilmiş ve bu eğitim süreci teorik ve uygulamalı oturumlar şeklinde düzenlenmiştir. ChemDoodle 3D, moleküler modelleme ve görselleştirme için geliştirilmiş bir yazılımdır (Ertl, 2010). Şekil 6'da Chemdoodle 3D programının ana ekran görüntüsü yer almaktadır.



Şekil 6. Chemdoodle 3D programı ana ekran görüntüsü

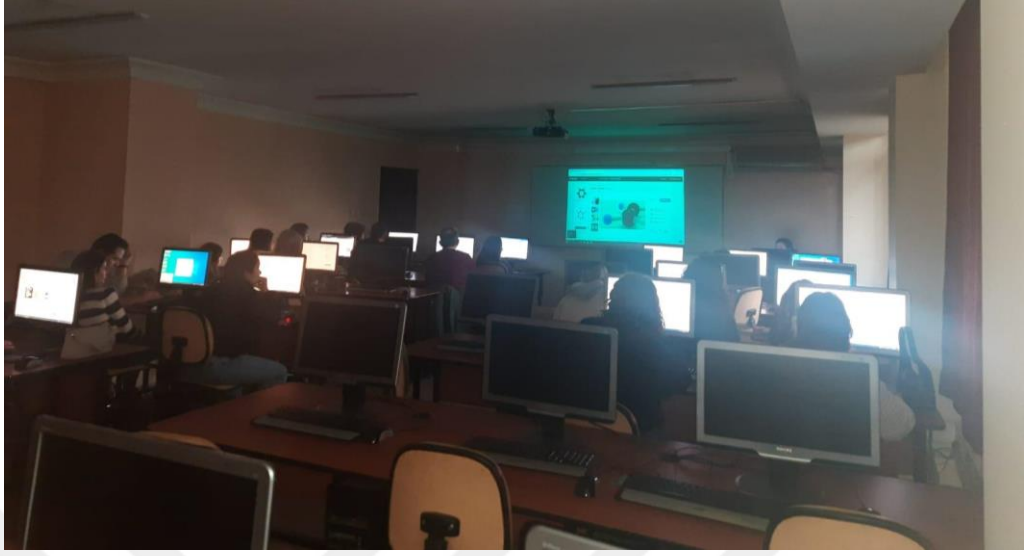
Ayrıca bu yazılım, moleküllerin üç boyutlu yapısını oluşturma, görselleştirme ve analiz etme imkanı sunmaktadır. Kullanıcı dostu arayüzü sayesinde hem eğitimciler hem de öğrenciler için kolaylık sağlamaktadır. ChemDoodle 3D, moleküler yapıların bağ uzunlukları, açıları ve geometrik düzenlenişlerini analiz etme gibi işlevlerle öğrencilerin teorik bilgilerini uygulamalı bir şekilde öğrenmelerine olanak tanıyan bir molekül modelleme yazılımıdır. Kimya eğitiminde, özellikle moleküler yapıların ve kimyasal bağların öğretiminde etkili bir araç olarak kullanılan yazılım, öğrencilerin soyut kavramları daha somut bir şekilde anlamalarını desteklemektedir. Moleküler modellerin üç boyutlu olarak görselleştirilmesi ve simülasyonlarla desteklenmesi, bağların geometrik özelliklerini ve izomerik yapıları incelemeyi kolaylaştırır (Furió vd., 2000; Rayan ve Rayan, 2017). Şekil 7’de Chemdoodle 3D programı ile oluşturulan molekül örneklerinden bazı görüntüler sunulmuştur.



Şekil 7. Chemdoodle 3D programı ile oluşturulan molekül örnekleri

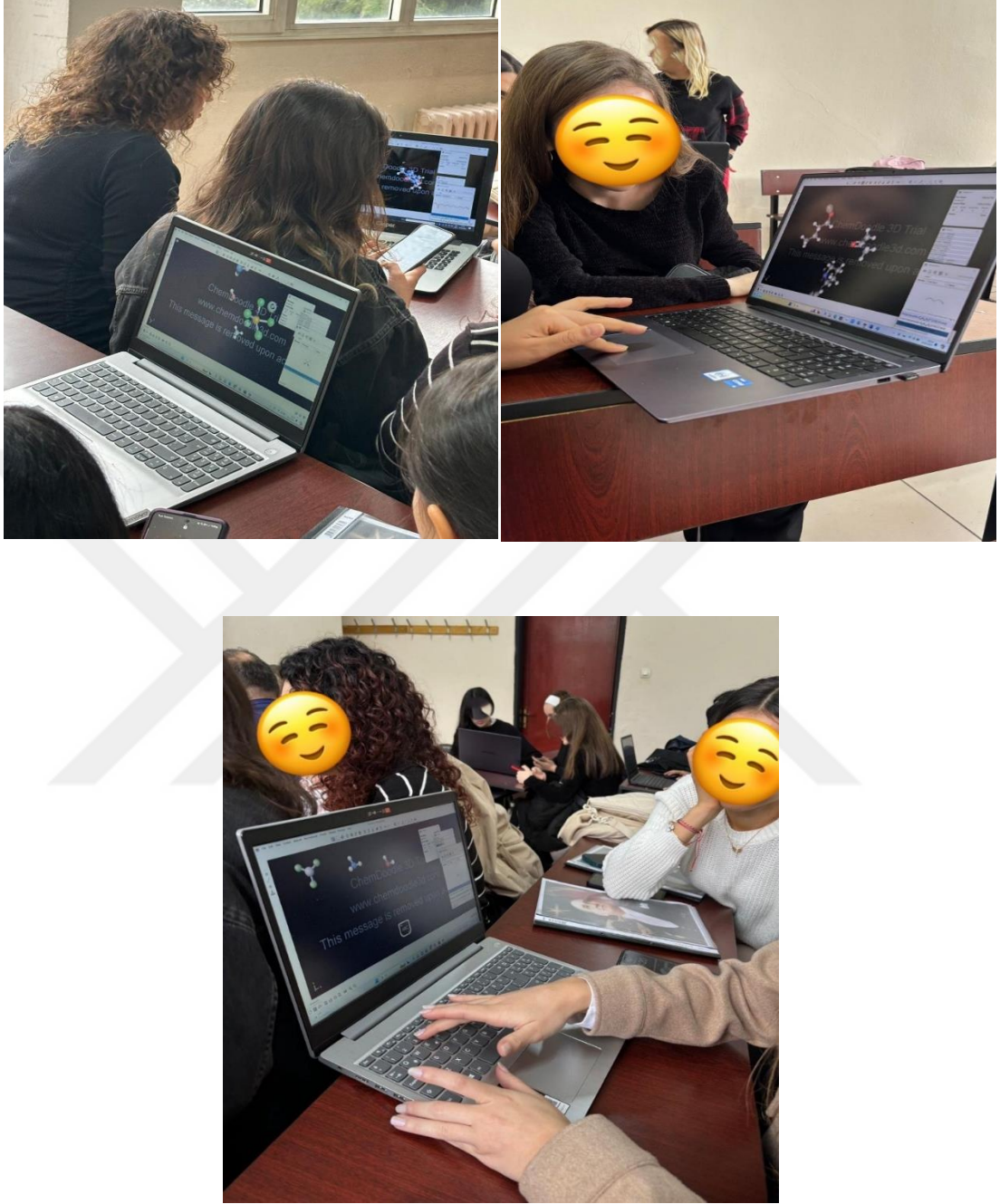
Ayrıca yazılım, model dosyalarını 3D yazıcılara uygun formatlarda hazırlama özelliği sayesinde, öğrencilerin oluşturdukları moleküler modelleri fiziksel olarak üretmelerini sağlamaktadır.

Öğretmen adaylarına düzenlenen eğitimlerde, Chemdoodle 3D yazılımının temel bileşenleri, kimyasal yapıların modellenmesi, modelleme süreçlerinde karşılaşılabilecek olası hatalar ve çözüm yolları detaylandırılmıştır. Düzenlenen eğitimlerden görseller Şekil 8’de sunulmuştur.



Şekil 8. 3D Yazılım eğitiminden görüntü

Eğitim süreci, öğretmen adaylarının aktif katılımını teşvik edecek şekilde atölye çalışmaları ile desteklenmiş olup, bireysel ve grup etkinlikleri ile yazılım kullanımında yetkinlik kazanmaları sağlanmıştır. Uygulama aşamasında, öğretmen adayları üç boyutlu modelleme yazılımlarını kullanarak çeşitli kimyasal yapıların üç boyutlu temsillerini oluşturmuş ve bu modelleri ders içeriklerine entegre etmeye yönelik uygulamalar gerçekleştirmiştir. Öğretmen adaylarının bireysel ve grup halinde yazılım programı ile çalıştıkları görseller Şekil 9’da sunulmuştur.

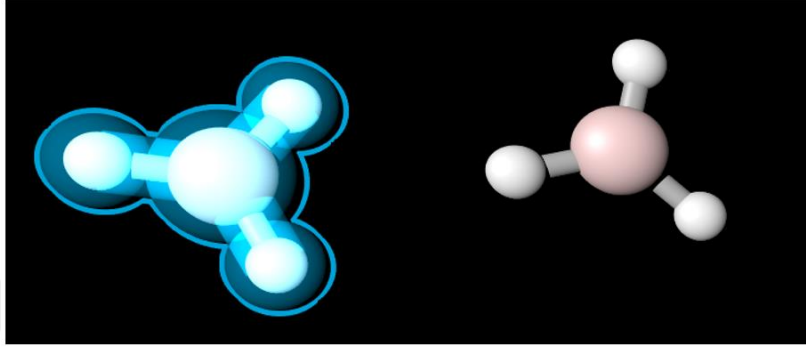


Şekil 9. Öğretmen adaylarının Chemdoodle 3D yazılım programını kullanarak yapmış oldukları çalışmalara ait görüntüler

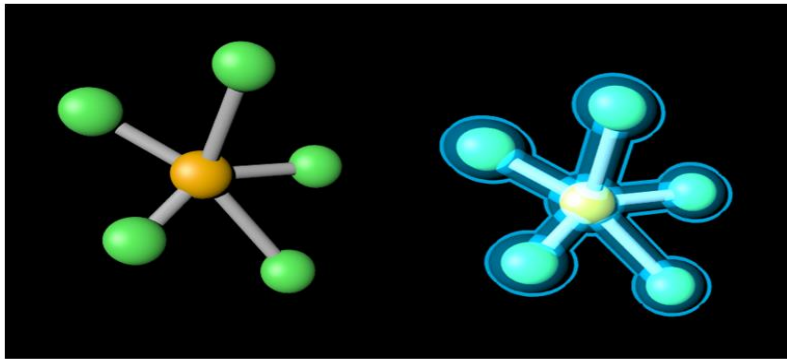
Molekül geometrisi, bağ türleri ve izomerlik gibi kimya kavramlarının görselleştirilmesine yönelik olarak adaylara çeşitli modelleme görevleri verilmiş, bu süreçte oluşturulan dijital modeller üç boyutlu yazıcılar aracılığıyla fiziksel hale getirilmiştir.

Öğretmen adaylarının Chemdoodle 3D yazılım programını kullanarak oluşturduğu modeller
Şekil 10'da sunulmuştur.

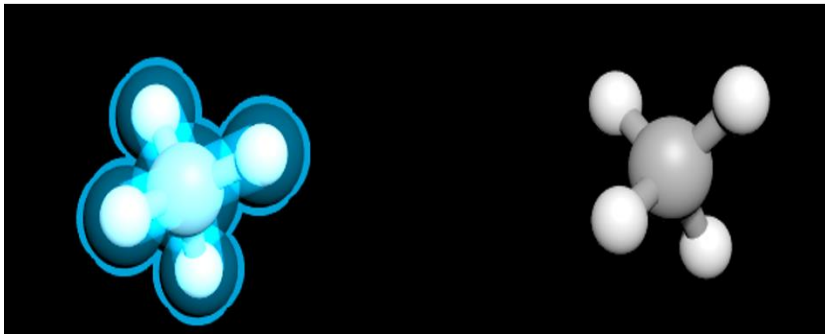
BH_3 molekülü



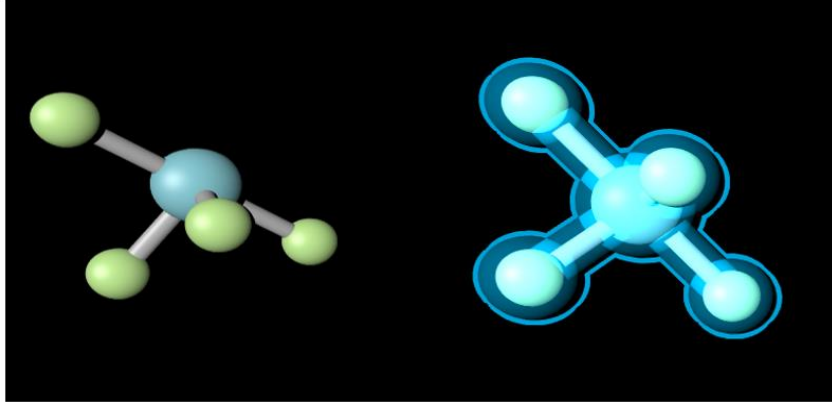
PCl_5 molekülü



CH_4 molekülü



XeF₄ molekülü



Şekil 10. Öğretmen adaylarının Chemdoodle 3D programını kullanarak oluşturduğu bazı molekül örnekleri

3.4.3. 3D Yazıcı Eğitimi

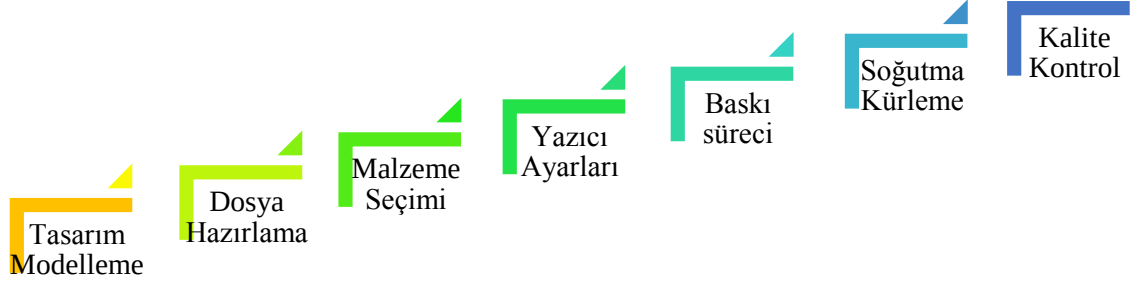
Araştırmanın bir diğer aşamasında, öğretmen adaylarına 3D yazıcının kullanımı hakkında eğitim verilmiştir. Bu eğitimin öncesinde kaliteli baskı, kolay kullanım vb. özellikleri taşıyan üç boyutlu yazıcılar incelenmiştir. Bu yazıcılardan bütçe dostu, kullanımı kolay ve hızlı baskı sağlayabilen XYZ Da Vinci 1.1 plus yazıcı satın alınmıştır. XYZ Da Vinci 1.1 Plus, masaüstü kullanıcılar ve eğitim projeleri için tasarlanmış, güvenilir ve kullanıcı dostu bir 3D yazıcıdır. Fused Filament Fabrication (FFF) teknolojisini kullanan bu yazıcı, 20 x 20 x 20 cm'lik geniş bir baskı hacmi sunmakta ve PLA ile ABS filamentlerle uyum göstermektedir. 1.75 mm filament çapı ve 0.4 mm nozzle boyutuyla, 100-400 mikron aralığında ayarlanabilir çözünürlük sağlamaktadır. Maksimum 120 mm/s baskı hızıyla etkili bir performans sunan yazıcı, bağlantı seçenekleri olarak USB ve Wi-Fi özellikleri de içermektedir. Yazıcı, 12,7 cm renkli dokunmatik ekranıyla kolay bir kontrol arayüzü sunmaktadır. Ayrıca otomatik filament yükleme ve tanıma sistemi sayesinde kullanıcı deneyimini daha verimli hale getirir. Entegre Wi-Fi özelliği ile dosyalar kablosuz olarak yazıcıya gönderilebilir ve yazıcı uzaktan kontrol edilebilir. Otomatik platform kalibrasyonu ve kapalı baskı alanı, baskı kalitesini artırırken, güvenli bir kullanım sağlamaktadır. Desteklenen dosya formatları arasında .STL, .OBJ ve XYZ formatları bulunur. XYZ Da Vinci 1.1 Plus, eğitimde ve projelerde etkili bir şekilde kullanılabilir. Tüm bu özellikleri dikkate alındığında özellikle kimya eğitiminde moleküler modellerin 3D baskısı için ideal bir yazıcı olduğu söylenebilir. Yazıcının kapalı tasarımı,

sıcaklık kontrolünü iyileştirerek tutarlı baskılar elde edilmesine yardımcı olmakta ve güvenli kullanım sunmaktadır. Kullanıcı dostu arayüzü sayesinde hem bireysel hem de grup çalışmalarında pratik bir kullanım sağlamaktadır. Şekil 11’de araştırmada kullanılan 3D yazıcının görseli sunulmuştur.



Şekil 11. XYZ Da Vinci 1.1 plus 3D yazıcı

Araştırma kapsamında, öğretmen adaylarına kullanılan üç boyutlu (3D) yazıcının teknik özellikleri detaylı biçimde tanıtılmıştır. Yazıcıyı kullanmadan önce, adaylardan belirlenen kimyasal yapıları ChemDoodle isimli 3D modelleme yazılımı aracılığıyla dijital ortamda modellemeleri istenmiştir. Daha sonra, adayların oluşturdukları bu üç boyutlu modellerin yazıcıyla uyumlu bir dilimleme programına nasıl aktarılacağı, örnek uygulamalar üzerinden açıklanmış ve uygulamalı olarak gösterilmiştir. Örnek bir model üzerinden baskı süreci; ilk adımdan baskının tamamlanmasına kadar, yazıcı ayarlarının yapılması, baskı parametrelerinin belirlenmesi ve çıktının alınması aşamalarıyla birlikte ayrıntılı biçimde uygulanmıştır. Bu süreç sonunda öğretmen adayları, ChemDoodle ile oluşturdukları kimyasal yapıların fiziksel modellerini üç boyutlu yazıcılarla üretmiş ve bu teknolojinin eğitim ortamlarına entegrasyonu konusunda doğrudan deneyim kazanmışlardır. Bu baskı sürecine ilişkin basamaklar Şekil 12’de sunulmuştur.



Şekil 12. Üç boyutlu baskı üretim süreci (Uyulgan ve Cengiz, 2024)

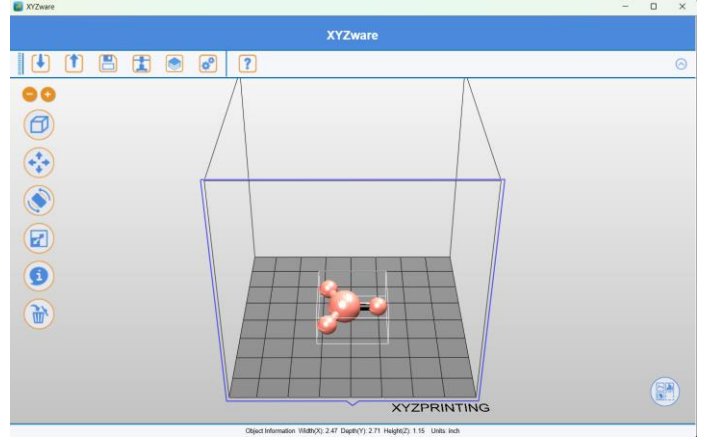
Araştırmada gerçekleştirilen örnek bir molekül modeli için gerçekleştirilen 3D baskı süreci, görüntüler eşliğinde Tablo 4’te adım adım açıklanmıştır.

Tablo 4

Örnek bir molekülün (BH_3 molekülünün) 3D baskı süreci

Süreç	Yapılan işlemler	Görüntüler
1.Adım	Chemdoodle 3D yazılım programı aracılığıyla modelin tasarımı yapılmıştır.	BH_3 molekülü

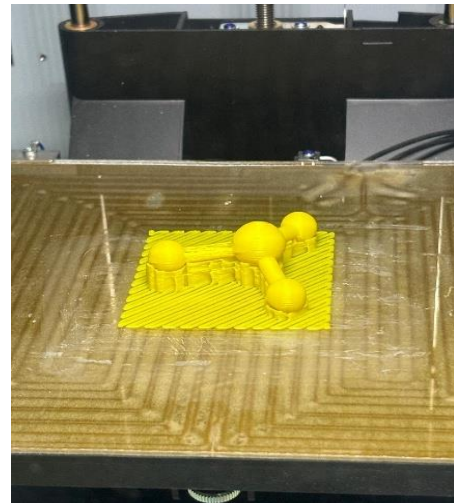
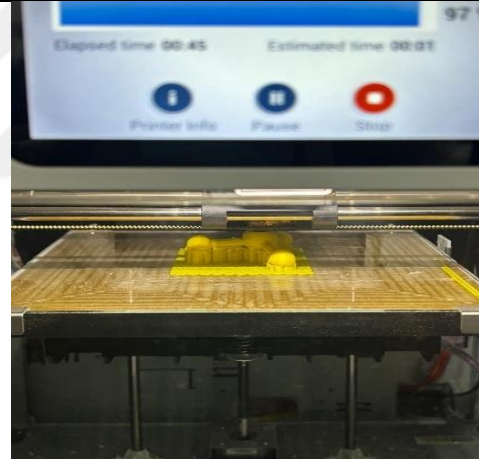
2.Adım Tasarlanan modelin baskı öncesi .stl dosya formatına uyarlanması sağlanmıştır.



3.Adım Uygun malzeme olarak ABS (sarı) ve PLA (beyaz) filamentler seçilmiştir.

4.Adım Yazıcı baskı için nozul sıcaklığı 220 °C, tabla sıcaklığı 90 °C olarak belirlenmiştir.

5.Adım Baskı süreci molekülün büyüklüğüne göre değişmektedir ve yaklaşık 30-150 dk arasında değişmektedir.



6.Adım Soğutma işlemi yaklaşık bir baskı için 15-30 dk sürmektedir.

7.Adım Kalite kontrol

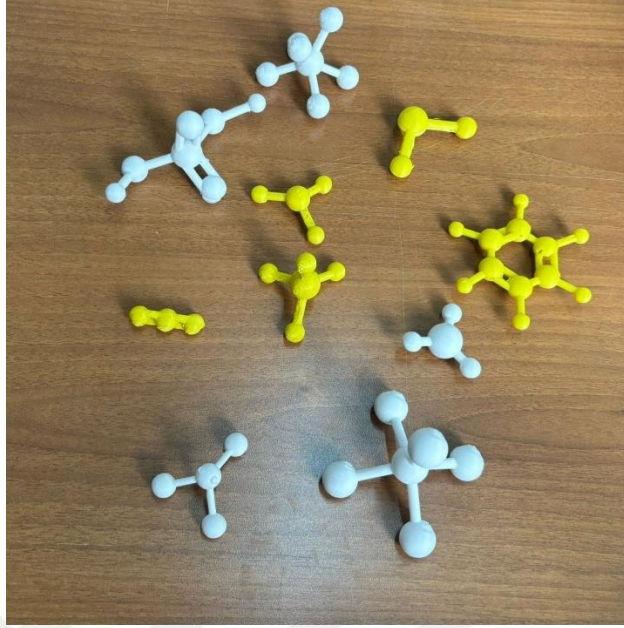


Baskı sürecinde, öğretmen adayları farklı baskı malzemeleri (PLA, ABS vb.), baskı çözünürlüğü ve modelleme süreçlerindeki hata düzeltme stratejileri hakkında bilgi edinmişlerdir. Fiziksel modellerin eğitim ortamında kullanımı, soyut kimya kavramlarının somutlaştırılması açısından değerlendirilmiş ve öğretmen adaylarının geri bildirimleri alınmıştır.

3D yazıcı eğitimi ve moleküllerin 3D baskı sürecinde üretilen bazı örneklerine ilişkin görüntüler Şekil 13 ve Şekil 14'te yer almaktadır.



Şekil 13. 3D yazıcı eğitiminden görüntü



Şekil 14. 3D baskı ile üretilmiş molekül örnekleri

Şekil 14'te yer alan moleküllerden beyaz olanlar PLA filament, sarı olanlar ise ABS filament kullanılarak üretilmiştir. Yapı ve doku kontrolü ile filamentler arasında karşılaştırma da yapılabilmektedir. Ayrıca filamentleri belirli renklerde olması nedeniyle ve moleküldeki atomların birbirinden ayırt edilmesini sağlayabilmek amacıyla öğretmen adayları ile molekül boyama etkinliği gerçekleştirilmiştir. Renklendirme işleminde atom renkleri molekül setlerinde standart olarak belirlenen renkler dikkate alınarak yapılmıştır. Bu etkinliğe ilişkin görüntüler Şekil 15'te yer almaktadır.



Şekil 15. 3D basılmış molekülleri boyama etkinliğinden görüntüler

3.4.4. Odak Grup Görüşmeleri

Uygulama sürecinin nitel veri toplama aşamasında, öğretmen adayları ile odak grup görüşmeleri gerçekleştirilmiştir. Şekil 16’da bu görüşmeye ait fotoğraf yer almaktadır.



Şekil 16. Öğretmen adayları ile gerçekleştirilen odak grup görüşmeleri

Bu görüşmelerde, öğretmen adaylarının 3D modelleme ve yazıcı kullanım süreçlerine ilişkin deneyimleri, karşılaştıkları zorluklar ve 3D modelleme destekli öğretimin kimya eğitimine katkıları değerlendirilmiştir. Odak grup görüşmelerinden elde edilen veriler tematik analiz yöntemi ile incelenmiş ve araştırmanın genel bulguları ile ilişkilendirilmiştir.

3.4.5. Son Test Uygulaması ve Değerlendirme

Araştırma sürecinin son aşamasında, öğretmen adaylarının uygulama süreci sonunda kavramsal anlamalarında ve uzamsal yeteneklerinde meydana gelen değişimi değerlendirmek amacıyla son test uygulanmıştır. Son test, öğretmen adaylarının gelişim düzeylerini belirlemeye yönelik olarak kullanılmıştır.

Toplanan tüm nicel ve nitel veriler sistematik bir şekilde düzenlenmiş ve analiz edilmiştir. Nicel veriler istatistiksel analiz teknikleri ile değerlendirilirken, nitel veriler tematik analiz yöntemi ile detaylı olarak incelenmiştir.

3.5. Verilerin Analizi

3.5.1. İki Aşamalı MGT'T'nin Analizi

İki aşamalı MGT'T'nin veri analizi hem birinci ve hem de ikinci aşamalar dikkate alınarak gerçekleştirilmiştir. Birinci aşamanın analizinde, tercih edilen seçeneklerin doğru veya yanlış olduğuna bakılarak değerlendirilmiştir. İkinci aşamanın analizinde ise öğretmen adaylarının işaretledikleri seçeneklere yazdıkları açıklamaların doğru ya da yanlış olmasına bakılmıştır. Bu iki aşamanın birlikte değerlendirilmesinde Tablo 5'te belirtilen ölçütler esas alınarak, adayların verdiği yanıtlar bilimsel değerleri doğrultusunda kategorilere ayrılmıştır. Bu süreçte, Uyulgan ve diğerlerinin (2014) anlama düzeylerini belirlemek için kullandığı kriterler, çalışmada öğretmen adaylarının kavramsal anlama düzeylerini tespit etmek amacıyla uyarlanmıştır.

Tablo 5

İki aşamalı MGTT'nin analizi için kullanılan değerlendirme kriterleri

Kategoriler			
1.Aşama	2.Aşama	Kısaltma	Puan
Doğru Cevap	Doğru Açıklama	DD	3
Yanlış Cevap	Doğru Açıklama	YD	2
Doğru Cevap	Boş	DB	2
Doğru Cevap	Yanlış Açıklama	DY	1
Yanlış Cevap	Boş	YB	0
Yanlış Cevap	Yanlış Açıklama	YY	0
Boş	Boş	BB	0

Bu kriterlere göre, her bir soru için adayların alabileceği maksimum puan 3, minimum puan ise 0 olarak belirlenmiştir. Testten alınabilecek toplam maksimum puan ise 75'tir. Adayların testten aldıkları puanlar hesaplanmış, bu puanlar üzerinden kavramsalanlama düzeyleri hakkında değerlendirmeler yapılmıştır. Bu değerlendirmeler mutlak bir yaklaşımla gerçekleştirilmiş ve Tablo 6'da belirtilen ölçütler temel alınmıştır.

Tablo 6

Kavramsal anlama düzeylerine ilişkin belirlenen ölçütler ve puan aralıkları

Kavramsal Anlama Düzeyleri	Puan Aralığı	
Düşük	0	25
Orta	26	50
Yüksek	51	75

Tablo 6’da belirlenen puan aralıklara göre öğretmen adaylarının kavramsal anlama düzeyleri ön test ve son testlerden aldıkları puanlara göre belirlenerek sınıflandırılmıştır.

Ön test ve son test puanlarının normal dağılıma uygunluğunu belirlemek amacıyla basıklık ve çarpıklık değerleri ve Shapiro-Wilks testi sonuçlarına bakılmıştır. Yapılan analizler sonucunda, verilerin normal dağılıma uygun olduğu tespit edilmiştir. Bu doğrultuda, öğretmen adaylarının ön test ve son test puanları arasındaki farkı incelemek için ilişkili örneklem t testi kullanılmıştır.

Öğretmen adaylarının kavramsal anlamalarındaki gelişimi incelemek için etki büyüklüğü (eta kare değeri) hesaplanmış ve bu etki büyüklüğüne ilişkin yorumlar yapılmıştır. Tüm analizler, IBM SPSS 24 istatistiksel yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiş olup, anlamlılık düzeyi $\alpha=0,05$ olarak kabul edilmiştir. Elde edilen bulgular, öğretmen adaylarının kavramsal anlamalarındaki gelişimi ve 3D modelleme sürecinin bu gelişim üzerindeki etkisini bilimsel bir perspektiften değerlendirmek amacıyla analiz edilmiştir.

3.5.2. Molekül Modeli Uzamsal Yetenek Testi’nin Analizi

Araştırmada öğretmen adaylarının uzamsal düşünme becerilerini ölçmek amacıyla kullanılan Molekül Modeli Uzamsal Yetenek Testi’nden elde edilen veriler istatistiksel analizlere tabi tutulmuştur. Testteki sorulara verilen yanıtlar doğru ise 1, yanlış veya boş bırakıldıysa 0 puan olarak hesaplanmıştır. Buna göre, 28 sorudan oluşan bu testten alınabilecek en düşük puan 0, en yüksek puan ise 28’dir. Adayların testten aldıkları puanlara karşılık gelen başarı düzeylerini belirlemek amacıyla bir sınıflandırma yapılmıştır. Buna göre, 0 ile 9 puan arasında puan alan öğretmen adayları düşük başarı düzeyinde yer almakta olup bu aralık %0 ile %32 arasındaki başarıyı temsil etmektedir. 10 ile 18 puan arasında puan alan adaylar orta düzeyde başarı sergilemiş ve bu oran %33 ile %66 arasında değişmektedir. 19 ile 28 puan alan öğretmen adayları ise yüksek başarı düzeyinde değerlendirilmiş ve %67 ile %100 aralığında başarı göstermiştir.

Ön test ve son test puanlarının normal dağılıma uygun olup olmadığını belirlemek için basıklık ve çarpıklık değerleri ve Shapiro-Wilks testi sonuçlarına bakılmıştır. Elde edilen verilerin normal dağılıma uygun olduğu görülmüştür. Bu nedenle, öğretmen adaylarının ön test ve son test puanlarının karşılaştırılması için ilişkili örneklem t testi kullanılmıştır.

Öğretmen adaylarının uzamsal düşünme becerilerindeki gelişimin etkisini belirlemek amacıyla etki büyüklüğü (eta kare değeri) hesaplanmış ve etki büyüklüğünün yorumlanması yapılmıştır. Tüm analizler IBM SPSS 24 istatistiksel yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiş olup, anlamlılık düzeyi $\alpha=0,05$ olarak belirlenmiştir. Elde edilen bulgular, öğretmen adaylarının uzamsal düşünme becerilerindeki gelişimi ve 3D modelleme sürecinin bu beceri üzerindeki etkisini bilimsel olarak değerlendirmek amacıyla yorumlanmıştır.

3.5.3. Odak Grup Görüşmelerinin Analizi

Araştırma kapsamında, odak grup görüşmelerinden elde edilen veriler, tematik analiz yöntemiyle değerlendirilmiştir. Tematik analiz, nitel veri analizinde yaygın olarak kullanılan esnek ve sistematik bir yaklaşımdır. Verilerdeki anlamlı kalıpları (temaları) tanımlamak, analiz etmek ve raporlamak amacıyla kullanılır (Braun ve Clarke, 2019). Bu yöntemle amaç, toplanan verilerden açıklayıcı kavramlar ve ilişkiler ortaya çıkarmaktır. Tematik analizin temelinde, benzer verilerin kodlanarak belirli temalar doğrultusunda kategorize edilmesi ve ardından bu kategorilerin okuyucunun anlayabileceği şekilde yorumlanması yer almaktadır (Çarıkçı vd., 2024).

Araştırmada, odak grup görüşmelerinden elde edilen her bir rapor metni, konuya ilişkin iki alan uzmanı tarafından incelenmiş ve anlamlı kod birimleri belirlenmiştir. Bu süreçte, verilerin ayrıntılı bir şekilde kodlanması sağlanmıştır. Nitel araştırmalarda verilerin kodlanması üç aşamaya ayrılmaktadır. Bunlar, daha önce belirlenmiş kavramlara dayalı kodlama, verilerden çıkarılan kavramlara göre kodlama ve genel bir çerçeve içinde yapılan kodlamadır. Bu çalışmada, verilerden çıkarılan kavramlara göre kod oluşturma yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntem, verilerin doğal olarak toplandığı ve kodlamanın veri analizi süreci boyunca şekillendiği bir yaklaşımdır. Araştırmacı, veri toplama aşamasında katılımcıların ifadelerinden ortaya çıkan kavramları belirler ve bu kavramları kodlara dönüştürür. Burada, veriler analiz edilerek yeni kavramlar ve temalar keşfedilir. Bu yöntem, özellikle keşifsel araştırmalarda, yeni kavramların ortaya konması gereken durumlarda uygundur (Kuş, 2019). Strauss ve Corbin (1990), bu tür kodlamayı "açık kodlama" olarak tanımlar ve araştırmacının verilerdeki gizli anlamları ve örüntüleri keşfetmesini sağlar.

Miles ve Huberman (1994), verilerin bu tür kodlamalarla daha iyi bir şekilde organize edileceğini ve bu sayede anlamlı sonuçlara ulaşılabileceğini belirtir. Kodlama süreci, ayrıca verilerin derinlemesine incelenmesini ve araştırmacının verilerle ilgili yeni anlayışlar geliştirmesini sağlar.

Odak grup görüşmelerinde yer alan sorular üç ana tema başlığı altında oluşturulmuştur. Görüşmelerden elde edilen veriler bu ana tema başlıkları altında kodlanmış ve kategorize edilmiştir. Elde edilen verilerin güvenilirliği kodlayıcı güvenilirliği ile belirlenmiştir. Kodlayıcı güvenilirliği, farklı araştırmacıların aynı verileri benzer şekilde kodlayıp kodlamadığını belirlemek amacıyla kullanılan bir yöntemdir. Bu süreçte, veriler bağımsız olarak en az iki uzman tarafından kodlanmış ve kodlama sonuçları karşılaştırılmıştır. Kodlayıcılar arasındaki uyumu değerlendirmek için Miles ve Huberman'ın (1994) önerdiği yüzde uyum hesaplama yöntemi kullanılmıştır. Literatürde, kodlayıcılar arasındaki güvenilirliğin kabul edilebilir düzeyde olması için yüzde 80'in üzerinde bir uyum oranının sağlanması önerilmektedir. Bu çalışmada belirlenen uyum %89'dır. Bu sonuç kodlayıcılar arasında yüksek bir uyum olduğunu göstermektedir.

Araştırmanın geçerliliğini artırmak amacıyla, uzman görüşlerine başvurulmuş ve elde edilen kodlar ile temalar arasındaki tutarlılık değerlendirilmiştir.

3.6. Araştırmanın Geçerliliği ve Güvenirliği

Karma yöntem araştırmalarında, nicel ve nitel yöntemlerin birlikte kullanılması, geçerlik ve güvenilirlik kavramlarının her iki yönetime uygun şekilde ele alınmasını gerektirir. Nicel araştırmalarda geçerlik, ölçme aracının araştırılan kavramı ne derece doğru ve eksiksiz ölçebildiğini ifade ederken, güvenilirlik, aynı ölçme aracının aynı koşullarda tutarlı sonuçlar verme kapasitesini ifade eder (Heale ve Twycross, 2015). Nitel araştırmalarda ise geçerlik, araştırma bulgularının inandırıcılığı ve derinliğine dayalı olarak değerlendirilirken, güvenilirlik daha çok uzman görüşlerinin karşılaştırılması ve analizlerdeki tutarlılık üzerinden sağlanır.

Heale ve Twycross'a (2015) göre, nicel araştırmalarda güvenilirlik, bir araştırma aracının aynı koşullarda tekrar uygulanması durumunda aynı sonuçları üretme derecesi olarak tanımlanmaktadır. Nicel yöntemlerde, iç güvenilirlik katılımcıların verdiği yanıtların tutarlılığı ile değerlendirilirken, dış güvenilirlik ise uygulamanın dış etkilerden arındırılmış olmasına bağlıdır. Bu bağlamda, nicel araştırmalarda güvenilirlik test tekrar testi, Cronbach alfa katsayısı gibi istatistiksel yöntemlerle değerlendirilir (Bryman, 2012).

Nitel yöntemlerde geçerlik, araştırmanın inandırıcılığı ve bulguların bağlama uygunluğu ile ilişkilidir. Nitel güvenilirlik ise daha çok katılımcı ifadelerinin doğruluğunu sağlamaya yönelik, farklı kodlayıcılar arasındaki tutarlılık oranı veya uzman görüşleriyle doğrulama gibi yöntemlerle ele alınır (Creswell ve Creswell, 2017). Bu doğrultuda, karma

yöntemlerde kullanılan veri toplama ve analiz süreçleri hem nicel hem de nitel yöntemlerin gerekliliklerini karşılayacak şekilde planlanmış ve uygulanmıştır.

3.6.1. İç Geçerlik

Bu araştırmada geçerlik, toplanan verilerin araştırmanın amacı ve soruları doğrultusunda anlamlı, tutarlı ve uygun sonuçlar üretebilmesini sağlama amacını taşımaktadır. Araştırmanın geçerliğini sağlamak için şu adımlar izlenmiştir:

- *Veri Toplama Araçlarının Uygunluğu:* Araştırmada kullanılan "İki Aşamalı Molekül Geometrilere Tanı Testi" ve "Molekül Modeli Uzamsal Yetenek Testi" geçerliği ve güvenirliği sağlanmış veri toplama araçlarıdır. Araştırma amacına uygun nitelikler taşımalarından dolayı araştırmada kullanılmıştır. Bir diğer veri toplama aracı olan "odak grup görüşme formu" ise alanyazında benzer çalışmalarda kullanılan geçerli araçlardan yararlanılarak oluşturulmuştur. Bu süreçte uzman görüşlerine başvurularak veri toplama araçlarının kapsam geçerliği sağlanmıştır.
- *Örneklem Seçimi:* Katılımcılar, araştırmanın amacına ve sorularına uygun olarak belirlenmiştir. Böylece, verilerin ve bulguların araştırma evrenini temsil etme geçerliği artırılmıştır.
- *Araştırma Süreci:* Veri toplama, eğitim uygulamaları ve analiz süreçleri detaylı bir şekilde planlanmış ve bu süreçlerde kullanılan yöntemlerin açıklığı sağlanmıştır.
- *Veri Çeşitliliği:* Araştırmada, hem nicel (ön test-son test) hem de nitel (odak grup görüşmeleri) veriler bir arada kullanılmıştır. Bu yöntemle farklı veri kaynaklarının birbiriyle tutarlılığı değerlendirilmiş, bulguların geçerliliği güçlendirilmiştir.

3.6.2. Güvenirlik

Güvenirlik, bir çalışmanın farklı yer ve zamanda gerçekleştirildiğinde aynı sonuçların elde edilme derecesini ifade eder (Merriam, 2018). Bu araştırmada güvenirlik hem nicel hem de nitel yöntemlerin bir arada kullanıldığı karma yöntem yaklaşımına uygun olarak ele alınmıştır.

Nitel kısım için güvenirlik şu yollarla sağlanmıştır:

- Araştırmada kullanılan odak grup görüşmelerinin soruları, uzman görüşü alınarak hazırlanmış ve detaylandırılmıştır. Böylece, soruların konuyu tam olarak kapsamı sağlanmıştır.
- Görüşmeler sırasında elde edilen verilerin detaylı betimlemelerle zenginleştirilmesi, araştırma bulgularının daha tutarlı ve anlaşılır hale gelmesine katkı sağlamıştır.
- Veri toplama süreci açık ve sistematik bir şekilde gerçekleştirilmiş, uygulamaların zaman ve yer bilgileri net bir şekilde belirtilmiştir.
- Çalışma grubunun seçim süreci ayrıntılı olarak açıklanmış; katılımcıların özellikleri ve seçilme kriterleri şeffaf bir şekilde sunulmuştur.
- Kodlama sürecinde, iki bağımsız alan uzmanı tarafından kodlamalar yapılmış ve yüksek düzeyde bir uyum sağlanarak kodlama güvenilirliği artırılmıştır.

Nicel kısım için güvenilirlik şu yollarla sağlanmıştır:

- Araştırmada kullanılan ölçeklerin Cronbach Alfa katsayısı $\alpha > 0.70$ olması, iç tutarlılık açısından yeterli kabul edilmiştir. Bu bağlamda tüm ölçeklerin yüksek derecede güvenilir olduğu söylenebilir.

Sonuç olarak, bu çalışmada veri toplama araçlarının geçerlik ve güvenilirlik çalışmaları titizlikle gerçekleştirilmiş; araştırma yöntemleri, uygulama süreçleri ve analizlerin detaylı bir şekilde raporlanması ile bulguların güvenilirliği desteklenmiştir. Bu yaklaşım, araştırmanın farklı bağlamlarda tekrarlanabilirliğini ve sonuçlarının genellenebilirliğini artırmaktadır.

3.7. Araştırmacının Rolü

Araştırmacı, üç boyutlu modelleme yazılımı olan *ChemDoodle* programına yönelik ön araştırmalar gerçekleştirmiş ve bu yazılımın çalışma kapsamında uygulanabilir olduğuna karar vermiştir. Bu doğrultuda, üniversitenin Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) desteği ile *ChemDoodle* yazılımına bir yıllık lisans temin edilmiştir. Ayrıca çalışmada kullanılacak 3D yazıcının seçimi de araştırmacı tarafından uygunluk kriterleri doğrultusunda yapılmıştır. Satın alınan 3D yazıcı ve kullanılan yazılımlara ilişkin teknik bilgi ve beceri açısından araştırmacı yeterlilik sahibidir. Çalışma süresince, öğretmen adaylarına 3D yazılım ve baskı teknolojilerine ilişkin gerekli eğitimler araştırmacı tarafından verilmiştir. Ayrıca, adayların bu teknolojik araçlarla hazırladıkları üç boyutlu tasarımlar, araştırmacı tarafından değerlendirilmiş ve yönlendirilmiştir.

Araştırmanın nitel aşamasında gerçekleştirilen odak grup görüşmelerinde ise araştırmacı hem süreci yapılandıran hem de veri üretimini yönlendiren bir kolaylaştırıcı olarak görev almıştır. Katılımcıların düşüncelerini özgürce ifade edebilecekleri güven temelli bir ortam oluşturarak, görüşmelere yönlendirici bir müdahalede bulunmadan, etkileşimlerin doğal akışını koruyarak süreci yönetmiştir. Ayrıca, elde edilen verilerin derinliğini artırmak amacıyla açıklayıcı ve takip edici sorular kullanarak görüşmelerin kapsamını genişletmiş; katılımcı ifadelerini bağlamsal olarak anlamlandırmak üzere aktif bir gözlemci olarak sürece katkı sağlamıştır.

Araştırmacının çalışma konusuna ilişkin daha önce akademik çalışmalar yürütmüş olması, araştırma sürecine eleştirel ve sorgulayıcı bir bakış açısıyla yaklaşmasını desteklemiştir. Bu durum hem verilerin yorumlanmasında hem de sürecin bütüncül biçimde değerlendirilmesinde etkili olmuştur.

BÖLÜM IV

BULGULAR

Bulgular, araştırma problemi ve alt sorularına yanıt olacak şekilde yapılandırılarak aşağıda sunulmuştur.

4.1. Araştırmanın Birinci Alt Problemine İlişkin Bulgular

Bu bölümde araştırmanın birinci alt problemi olan “*Öğretmen adaylarının üç boyutlu bir yazılım programını kullanarak yürütülen teknoloji destekli öğretim sürecinde hibritleşme, hibrit orbitaller ve molekül geometrileri konularındaki kavramsal anlamaları ne düzeydedir?*” sorusuna yanıt aranmıştır.

Bu soruya cevap verebilmek için öğretmen adaylarının iki aşamalı MGTT’den aldıkları puanlar hesaplanmış ve kavramsal bilgi düzeylerine ilişkin belirlenen ölçütlere göre değerlendirilmiştir. Tablo 7’de adayların iki aşamalı MGTT’den aldıkları ön test ve son test puan düzeylerinin sınıflandırılması yer almaktadır.

Tablo 7

Öğretmen adaylarının iki aşamalı MGTT’den aldıkları ön test ve son test puan düzeylerinin sınıflandırılması

Kavramsal Anlama Düzeyleri	Ön Test		Son Test	
	f	%	f	%
Düşük	12	54,55	1	4,55
Orta	10	45,45	18	81,82
Yüksek	0	0	3	13,64
Toplam	22	100	22	100

Tablo 7’de görüldüğü üzere ön testlere göre belirlenen puan düzeylerinde öğretmen adaylarının düşük (%54,55) ve orta (%45,45) kategorilerinde yer aldığı belirlenmiştir. Yüksek seviyesinde ise hiç öğretmen adayı yer almamaktadır. Son testlere göre belirlenen puan düzeylerinde ise orta (%81,82) ve yüksek (%13,64) seviyelerindeki öğretmen adayı sayısının

önemli ölçüde arttığı görülmektedir. Ayrıca, düşük seviyedeki (%4,55) öğretmen adayı sayısı ise ciddi oranda azalma göstermiştir. Bu fark, son testlerde adayların kavramsal bilgi açısından daha yüksek puanlara sahip olduğunu göstermektedir. Buna göre teknoloji destekli üç boyutlu molekül modelleme etkinlerinin öğretmen adaylarının kavramsal anlamalarında iyileşme gösterdiği söylenebilir.

Öğretmen adaylarının iki aşamalı MGTT'den aldıkları ön test ve son test puanlarının kavramsal anlama kategorilerine göre değişimi Tablo 8'de sunulmuştur.

Tablo 8

Öğretmen adaylarının iki aşamalı MGTT'den aldıkları ön test ve son test puanlarının kavramsal anlama kategorilerine göre değişimi

Kodlar	DD		YD		DB		DY		YB		YY		BB	
Soru No	Ön	Son	Ön	Son	Ön	Son	Ön	Son	Ön	Son	Ön	Son	Ön	Son
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
1	4,5	27,2	22,7	31,8	0	13,6	9,1	4,5	9,1	9,1	36,4	13,6	18,2	0
2	31,8	31,8	0	0	31,8	45,5	0	9,1	13,6	4,5	9,1	0	13,6	9,1
3	31,8	36,4	0	0	9,1	36,4	9,1	18,2	9,1	0	9,1	4,5	31,8	4,5
4	9,1	13,6	0	4,5	13,6	4,5	4,5	22,7	13,6	27,2	13,6	22,7	45,4	4,5
5	13,6	40,9	0	0	9,1	27,3	9,1	4,5	4,5	0	18,2	13,6	45,4	13,6
6	4,5	50	18,2	13,6	4,5	0	13,6	4,5	13,6	9,1	36,4	22,7	4,5	0
7	45,4	40,9	4,5	13,6	4,5	22,7	0	9,1	9,1	0	13,6	9,1	22,7	4,5
8	13,6	54,5	4,5	13,6	18,2	13,6	22,7	13,6	0	4,5	9,1	0	31,8	0
9	36,4	36,4	4,5	0	9,1	36,4	0	4,5	9,1	22,7	22,7	0	18,2	0
10	13,6	36,4	9,1	4,5	22,7	9,1	0	0	4,5	9,1	40,9	22,7	9,1	18,2
11	9,1	45,5	0	0	4,5	22,7	0	27,2	13,6	0	27,2	0	45,4	4,5
12	31,8	63,6	0	0	4,5	18,2	27,2	4,5	4,5	9,1	22,7	4,5	9,1	0
13	4,5	31,8	0	0	9,1	36,4	22,7	13,6	9,1	13,6	9,1	0	45,4	4,5
14	45,5	45,5	4,5	4,5	4,5	27,2	13,6	9,1	4,5	0	9,1	9,1	18,2	4,5

15	31,8	63,6	4,5	0	9,1	22,7	22,7	13,6	0	0	9,1	0	22,7	0
16	31,8	50	4,5	4,5	4,5	13,6	4,5	4,5	9,1	9,1	13,6	13,6	31,8	9,1
17	18,2	31,8	9,1	13,6	9,1	13,6	0	9,1	9,1	18,2	31,8	13,6	22,7	0
18	9,1	9,1	9,1	0	31,8	59,1	0	4,5	22,7	18,2	0	0	27,2	9,1
19	0	9,1	4,5	0	0	0	0	0	9,1	36,4	54,5	31,8	31,8	13,6
20	9,1	13,6	0	0	4,5	22,7	4,5	4,5	9,1	18,2	9,1	13,6	63,6	22,7
21	36,4	31,8	0	0	18,2	27,2	4,5	22,7	27,2	18,2	9,1	0	4,5	0
22	31,8	59,1	9,1	4,5	4,5	27,2	13,6	4,5	9,1	0	18,2	4,5	13,6	0
23	36,4	45,4	13,6	40,9	4,5	4,5	4,5	0	0	4,5	27,2	4,5	13,6	0
24	22,7	22,7	0	0	4,5	18,2	27,2	9,1	4,5	13,6	27,2	31,8	13,6	4,5
25	0	9,1	0	4,5	13,6	0	4,5	0	40,9	4,5	40,9	50	0	31,8

Tablo 8'deki bulgular incelendiğinde, öğretmen adaylarının ön test ve son test sonuçlarında belirgin iyileşmeler olduğu görülmüştür. Soruların konu dağılımlarına göre yapılan analizlerde, "Doğru Cevap - Doğru Açıklama" (DD) oranlarının neredeyse tüm konularda artış göstermesi, öğretmen adaylarının yalnızca doğru yanıt verme değil, aynı zamanda bu yanıtları doğru şekilde açıklama becerilerinde de ilerleme kaydettiklerini ortaya koymaktadır. Bununla birlikte, "Yanlış Cevap - Yanlış Açıklama" (YB) oranlarının büyük ölçüde azalması, yanlış yanıtların ve yanlış açıklamaların önemli ölçüde azaldığını göstermektedir.

Rezonans konusundaki sorularda (s16, s21), öğretmen adaylarının doğru yanıt verme oranlarında belirgin bir artış gözlenmiş, ancak açıklama yapma becerilerinde zaman zaman tutarsızlıklar olduğu anlaşılmıştır. Oktet Kuralına Uygun Molekül Yapıları ile ilgili sorularda (s1, s4) ise doğru cevap oranları büyük bir artış göstermiş, yanlış cevap oranlarında ise dikkat çekici bir düşüş yaşanmıştır. Bu bulgulara göre öğretmen adaylarının bu konularda ilişkin kavrayışlarının önemli ölçüde geliştiği söylenebilir.

Elektron çiftlerinin itmesi ve moleküler geometri konularındaki sorularda (s1, s2, s3, s5, s8, s9, s10, s12, s13, s15, s18, s19, s22, s23), öğretmen adaylarının doğru cevap verme oranları oldukça yüksek artış göstermiştir. Özellikle bazı sorularda, öğretmen adaylarının doğru açıklamalar yapabildikleri görülmekle birlikte, belirli sorularda açıklama yapmada hâlâ bazı eksiklikler olduğu dikkat çekmiştir. Hibrit orbitaller (s11, s17) ve moleküler orbitaller (s6, s20, s24, s25) konularında, doğru cevap oranları kayda değer bir yükseliş gözlenmiştir.

Ancak, öğretmen adaylarının doğru yanıt verdikleri hâlde açıklama yapmada zorlandıkları bazı durumlar olduğu belirlenmiştir.

Moleküller arası çekim kuvvetleri konusundaki sorularda (s7, s10), doğru cevap oranlarında genel bir artış gözlenirken, bazı sorularda doğru cevaba ulaşabilseler de yanlış açıklamalarda bulundukları da görülmüştür. Son olarak, Lewis yapıları ve VSEPR teorisiyle ilgili sorularda (s14, s17, s19, s25), doğru cevap oranlarının artması ve boş bırakılan ya da yanlış yanıtların azalması, adayların bu konularda daha iyi kavramsal anlamaya sahip olduklarını ortaya koymuştur.

Öğretmen adaylarının iki aşamalı MGTT ön test ve son test puan ortalamaları arasındaki değişimler konu bazıda Tablo 9’da verilmiştir.

Tablo 9

Öğretmen adaylarının iki aşamalı MGTT ön test ve son test puan ortalamalarındaki değişimleri

İki Aşamalı MGTT Konu Dağılımı	Ön Test Puan Ortalaması	Son Test Puan Ortalaması	Değişim
Rezonans	2,7	3,5	+0,8 (%29,6)
Oktet Kuralına Uygun Molekül Yapıları	1,3	2,6	+1,3 (%100)
Elektron Çiftlerinin İtilmesi ve Moleküler Geometri (VSEPR Teorisi)	14,8	25,9	+11,1 (%75)
Hibrit orbitaller (Hibritleşme)	1,3	3,7	+2,4 (%184,6)
Moleküler orbitaller	2,6	4,2	+1,6 (%61,5)
Moleküller arası çekim kuvvetleri	2,4	3,1	+0,7 (%29,2)
Lewis ve VSEPR yapıları arasındaki ilişki	3,0	4,3	+1,3 (%43,3)

Tablo 9'daki bulgular incelendiğinde, özellikle *Hibrit orbitaller (Hibritleşme) ve Oktet Kuralına Uygun Molekül Yapıları* konularındaki değişimler diğer konulara göre daha yüksek oranda artış göstermiştir. Testten alınan sonuçlar genel olarak değerlendirildiğinde ise tüm konularda adayların kavramsal anlamalarında bir artış olduğu söylenebilir. Bu bulgular, öğrenme sürecindeki gelişimi destekler nitelikte olup, eğitim uygulamalarında kullanılan yöntemlerin etkinliğini ortaya koymaktadır.

İki Aşamalı Molekül Geometrilere Tanı Testi'nden (MGTT) elde edilen bulgular, öğretmen adaylarının kavramsal anlama düzeylerinde sürece bağlı olarak bir gelişim yaşandığını ortaya koymaktadır. Uygulama öncesinde adayların MGTT'den aldıkları ortalama puan 25,18 olup bu değer “düşük düzey” olarak değerlendirilmiştir. Sürecin tamamlanmasının ardından elde edilen son test ortalaması ise 42,27'ye yükselmiş ve bu artış, adayların kavramsal anlama düzeylerinin “orta düzey” kategorisine ulaştığını göstermiştir. Bu durum, öğretim sürecinin kavramsal bilgi düzeyini artırmada etkili olduğunu ve öğretmen adaylarının molekül geometrilere ilişkin kavramsal anlamalarında yapısal bir ilerleme kaydettiklerini göstermektedir.

4.2. Araştırmanın İkinci Alt Problemine İlişkin Bulgular

Bu bölümde araştırmanın ikinci alt problemi olan “*Öğretmen adaylarının hibritleşme, hibrit orbitaller ve molekül geometrilere konularındaki iki aşamalı tanı testi ön test ve son test puanları arasında anlamlı bir fark var mıdır?*” sorusuna yanıt aranmıştır. Bu soruya cevap vermek amacıyla, öğretmen adaylarının iki aşamalı MGTT'den aldıkları öntest-sontest puanları arasındaki farkın anlamlılığı incelenmiştir. Öncelikle MGTT ön test ve son test verilerinin normal dağılımı incelenmiştir. Normal dağılımın belirlenmesi için basıklık ve çarpıklık değerleri sırasıyla basıklık değeri (0,491) ve çarpıklık değeri (0,953) +1 ile -1 arasındaki kabul edilebilir sınırlar içinde yer almaktadır. Shapiro-Wilks testi sonuçları ise ön test verileri için $p=0,568$; son test verileri için $p=0,670$ şeklindedir. Bu bulgular doğrultusunda, dağılımın normal dağılıma yakın olduğu sonucuna ulaşılmıştır (Büyüköztürk, 2011: 40; Çokluk vd., 2012: 15-16). Bu değerlendirme sonucunda gruplar arası farkın anlamlı olup olmadığını incelemek amacıyla yapılan ilişkili örneklem için t testi sonuçları Tablo 10'da verilmiştir.

Tablo 10

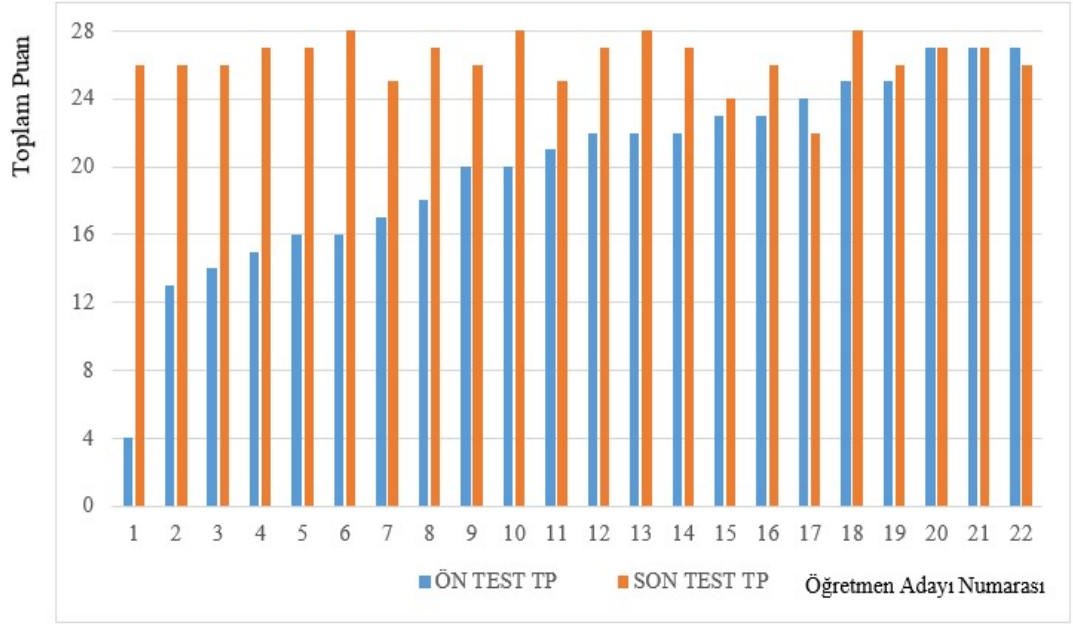
İki aşamalı MGTT öntest ve sontest ortalama puanlarının t-testi sonuçları

İki Aşamalı MGTT	N	$\bar{X}$	S	Sd	t	p
Öntest	22	25,18	9,69	21	-8,905	,000
Sontest	22	42,27	7,85			

Öğretmen adaylarının üç boyutlu bir yazılım programını kullanarak yürütülen teknoloji destekli öğretim sürecinde hibritleşme, hibrit orbitaller ve molekül geometrileri konularındaki kavramsal anlamalarında anlamlı bir fark olduğu bulunmuştur ($t_{(21)}=-8,905$, $p<.05$). Buraya, ön test ve son test puan ortalamaları yazılıp, bir “artışın” tespit edildiği belirtilmelidir. Bu bulgu, teknoloji destekli öğretim yaklaşımlarının kimya eğitimi bağlamında öğrenci başarısını artırma potansiyeline işaret etmektedir. Tespit edilen anlamlı farka ilişkin eta kare ($\eta^2=.790$) toplam varyansın %79'unun bağımsız değişken tarafından açıklandığını göstermektedir. Belirlenen etki büyüklüğü değeri yüksek bulunduğundan dolayı bağımsız değişkenin öğretmen adaylarının kavramsal anlamalarında güçlü bir etkisi olduğunu göstermektedir.

4.3. Araştırmanın Üçüncü Alt Problemine İlişkin Bulgular

Bu bölümde araştırmanın üçüncü alt problemi olan “*Öğretmen adaylarının kimya alanında üç boyutlu bir yazılım programını kullanarak yürütülen teknoloji destekli öğretim sürecinde uzamsal yetenekleri ne düzeydedir?*” sorusuna yanıt aranmıştır. Bu amaçla, öğretmen adaylarının MMUYT’den aldıkları ön test ve son test puanlarının karşılaştırılması, süreç öncesi ve sonrası uzamsal yetenek düzeyleri değerlendirilmiştir. Adayların ön ve son testlerden aldıkları bireysel toplam puanları Şekil 17’de gösterilmiştir.



Şekil 17. Öğretmen adaylarının MMUYT’den aldıkları öntest ve sontest toplam puan dağılım grafiği

Şekil 17’de, ön test sonuçlarının daha geniş bir dağılıma sahip olduğu ve puanların genelde düşük puanlarda yoğunlaştığı görülmektedir. Bu durum, öğretmen adaylarının süreç öncesinde uzamsal yetenek açısından farklı başlangıç düzeylerine sahip olduğunu göstermektedir. Son test sonuçlarında ise, puanların birbirlerine yakın bir dağılım gösterdiği ve genellikle daha yüksek puanlara ulaştığı belirlenmiştir. Bu bulgu ışığında, Chemdoodle 3D yazılım programı kullanımının uzamsal yetenek gelişiminde olumlu bir etkisi olduğu söylenebilir. Ayrıca, sürecin bireyler arasındaki farklılıkları azaltarak daha homojen bir öğrenme deneyimi sunduğu da söylenebilir.

Öğretmen adaylarının MMUYT’den aldıkları ön test ve son test puan düzeyleri Tablo 11’de sunulmuştur.

Tablo 11

Öğretmen adaylarının MMUYT'den aldıkları ön test ve son test puan düzeylerinin sınıflandırılması

Uzamsal Yetenek Düzeyleri	Ön Test		Son Test	
	f	%	f	%
Düşük	1	4,55	0	0
Orta	7	31,81	0	0
Yüksek	14	63,64	22	100
Toplam	22	100	22	100

Tablo 11'de öğretmen adaylarına uygulanan MMUYT ön test sonuçlarına göre, katılımcıların %4,55'i düşük düzeyde, %31,81'i orta düzeyde ve %63,64'ü yüksek düzeyde performans göstermiştir. Bu sonuçlar, adayların önemli bir kısmının ön bilgi düzeylerinin yüksek olduğunu ortaya koymaktadır. Buna karşın, az sayıda adayın düşük veya orta düzeyde olduğu görülmektedir.

Son test sonuçları incelendiğinde ise tüm adayların (%100) yüksek başarı düzeyine ulaştığı belirlenmiştir. Bu durum, araştırma sürecinde uygulanan teknoloji destekli modelleme öğretim sürecinin adayların uzamsal yetenekleri üzerinde olumlu bir etki yarattığını göstermektedir. Özellikle ön testte düşük ve orta düzeyde olan adayların, son testte yüksek düzeye ulaşmış olmaları dikkat çekicidir.

Öğretmen adaylarının uzamsal yetenek düzeylerindeki değişim, MMUYT'den aldıkları ön test ve son test puan ortalamaları üzerinden değerlendirilmiştir. MMUYT'den aldıkları puanların ön test ortalaması 20,05, son test ortalaması ise 26,32 olarak hesaplanmıştır. Bu bulgular, öğretim süreci öncesinde adayların genel olarak yüksek düzeyde uzamsal yeteneğe sahip olduklarını göstermektedir. Bununla birlikte, süreç sonunda ulaşılan 26,32 puanlık ortalama, bu düzeyin arttığını ve adayların büyük çoğunluğunun üst düzey uzamsal yetenek performansı sergilediğini ortaya koymaktadır.

Bu gelişim, üç boyutlu modelleme yazılımı (ChemoDoodle 3D) ile desteklenen öğretim sürecinin öğretmen adaylarının uzamsal düşünme yeteneklerini daha da ileri düzeye taşıdığını göstermektedir. Başlangıçta yüksek düzeyde olan uzamsal yetenek düzeyinin süreç sonunda üst sınıra yaklaşması, uygulamanın yalnızca öğrenmeyi desteklemekle kalmayıp bireysel potansiyelin açığa çıkmasına da katkı sağladığını ortaya koymaktadır.

4.4. Araştırmanın Dördüncü Alt Problemine İlişkin Bulgular

Bu bölümde araştırmanın dördüncü alt problemi olan “*Öğretmen adaylarının uzamsal yetenek testi ön test ve son test puanları arasında anlamlı bir fark var mıdır?*” sorusuna yanıt aranmıştır. Öğretmen adaylarının “Molekül Modeli Uzamsal Yetenek Testi” ön test ve son test puanları arasındaki farkları değerlendirmek için uygun istatistiksel analizler yapılmıştır. Öncelikle elde edilen verilerin normal dağılım gösterme durumu değerlendirilmiştir. Dağılımın normalliği değerlendirilirken belirlenen basıklık değeri (0,491) ve çarpıklık değeri (0,953) +1 ile -1 arasındaki kabul edilebilir sınırlar içinde yer almaktadır. Shapiro-Wilks testi sonuçları ise ön test verileri için $p=0,070$; son test verileri için $p=0,055$ şeklindedir. Normallik analizi sonucunda bulunan p değeri 0,050’ten büyük olduğundan dolayı veriler normal dağılım göstermektedir (Büyüköztürk, 2011: 40; Çokluk vd., 2012: 15-16). Dağılımın normalliği test edildikten sonra, MMUYT ön test ve son test puanları arasındaki farkın anlamlı olup olmadığını belirlemek için parametrik testlerden biri olan ilişkili örneklem t testi kullanılmıştır. t testinden elde edilen sonuçlar, Tablo 12’de sunulmuştur.

Tablo 12

MMUYT öntest ve sontest ortalama puanlarının t-testi sonuçları

MMUYT	N	$\bar{X}$	S	Sd	t	p
Öntest	22	20,05	5,58	21	-5,05	,000
Sontest	22	26,32	1,43			

Tablo 12’de belirlenen bulgulara göre öğretmen adaylarının teknoloji destekli öğretim sürecinde uzamsal düşünme yeteneklerinde anlamlı bir fark olduğu bulunmuştur ($t_{(21)}=-5,05$

$p < .05$). Tespit edilen anlamlı farka ilişkin eta kare ($\eta^2 = .548$) toplam varyansın %54,8'inin bağımsız değişken tarafından açıklandığını göstermektedir. Belirlenen etki büyüklüğü değeri yüksek bulunduğundan dolayı bağımsız değişkenin öğretmen adaylarının uzamsal düşünme yeteneklerinde güçlü bir etkisi olduğunu göstermektedir.

4.5. Araştırmanın Beşinci Alt Problemine İlişkin Bulgular

Bu bölümde araştırmanın beşinci alt problemi olan “*Öğretmen adaylarının kimya alanında üç boyutlu bir yazılım programını kullanarak yürütülen teknoloji destekli öğretim süreci üzerine görüşleri nasıldır?*” sorusuna yanıt aranmıştır. Bu amaçla, teknoloji destekli molekül modelleme sürecinin kimya öğretmen adaylarının “kavramsal anlamalarına”, “uzamsal yeteneklerine” ve “mesleki yeterliliklerine” ilişkin görüşlerini belirlemek amacıyla toplamda 22 soru, odak grup görüşmeleri yoluyla adaylara yöneltilmiştir. Öğretmen adaylarının sorulara vermiş olduğu cevapların tematik analizi sonucunda elde edile bulgular, “kavramsal anlama”, “uzamsal yetenek” ve “mesleki yeterlilik” olmak üzere 3 tema altında, kodlar ve örnek alıntılar ile birlikte sunulmuştur.

4.5.1. Kavramsal Anlama Hakkındaki Sorulara İlişkin Bulgular

Odak grup görüşmelerinde öğretmen adaylarının kavramsal anlamaları ile ilgili onlara 6 soru sorulmuştur. Öğretmen adaylarının bu sorulara vermiş oldukları yanıtların analizinden elde edilen bulgular, Tablo 13’te sunulmuştur.

Tablo 13

Kavramsal anlama hakkındaki sorulara ilişkin bulgular

TEMA 1: Teknoloji Destekli Molekül Modelleme Sürecinin Kimya Öğretmen Adaylarının Kavramsal Anlamalarına İlişkin Görüşleri		
Soru No	Kodlar	Örnek İfadeler
1	Soyut kavramları somutlaştırması	Molekül modelleri tasarlamak, hibritleşme, hibrit orbitaller ve molekül geometrilerini görselleştirerek

	Kavramsal anlamayı iyileştirmesi	kavramları somutlaştırmama yardımcı oldu. Bu sayede, teorik bilgiyi pratikte nasıl uygulayabileceğimi anladım. (Ö19)
	Görselleştirmeyi ve zihinde canlandırmayı sağlaması	Konuları daha iyi anlamamı sağladı ve molekülleri zihnimde canlandırabildim. (Ö5)
2	Kalıcı öğrenmeyi sağlaması	Tahtada çizerken zorlandığımız, 3 boyutlu düşünmemiz gereken molekül modellerini anlamamıza yardımcı oldu. (Ö2)
	Anlama sürecini kolaylaştırması	
3	Teorik bilgiden pratiğe geçişi kolaylaştırması	Eğitimden sonra edindiğimiz bilgiler molekül geometrisi konusunu kalıcı bir şekilde öğrenmemizi sağladı. Ezbere dayalı bilgilerden ziyade yaparak yaşayarak öğrendik. (Ö10)
4	Molekül geometrisi konusunda kavramsal anlamayı iyileştirmesi	2D yazım tekniğinde örnek olarak tahtaya metanı yazdığımızda bağ açıları 90 derece görünürken 3D modelleme de öyle olmadığını net bir şekilde gördüm. (Ö4)
		Su molekülünde çok rahat ettim. (Ö9)
5	Su molekülü	En zorlandığım pi bağına sahip moleküller oldu. En rahat ettiğim tekli bağ içerenler oldu. (Ö4)
	Karmaşık molekül (Atom cinsi farklı yapılar)	Karmaşık moleküllerde çok zorlandığımı gördüm. (Ö12)
	Pi bağı içeren moleküller	
6		3D yazıcıyı kullandığımız an benim için özel bir andı. Çünkü molekülleri daha somut bir şekilde gördük. (Ö17)
	Soyuttan somuta geçişi kolaylaştırması	
	3D düşünme becerisini geliştirmesi	Üç boyutlu düşünmekte zorlanıyordum şimdi daha iyi düşünebiliyorum. (Ö6)

Tablo 13'te verilen bulgular, adayların soyut kavramları somutlaştırma, kavrama ve anlamlandırma süreçlerinde üç boyutlu modelleme tekniklerinin önemli bir rol oynadığını göstermektedir. Özellikle molekül geometrileri ve bağ açıları gibi soyut kavramların, görselleştirme ve zihinde canlandırma yoluyla daha iyi anlaşıldığı ifade edilmiştir. Üç boyutlu düşünmenin kalıcı öğrenmeyi desteklediği ve anlama sürecine olumlu katkı sunduğu bildirilmiştir. Adayların ifadelerinde öğretim esnasında beyaz tahta üzerinde yapılan geleneksel iki boyutlu çizimlerin yanlış anlamalara neden olabileceği, ancak üç boyutlu modelleme uygulamalarının bu tür yanlış anlamaları gidermede etkili olabildiği vurgulanmıştır. Özellikle hibritleşme, orbital etkileşimleri ve bağ açıları gibi konuların öğrenciler tarafından daha iyi kavrandığı ifade edilmiştir. Bununla birlikte, modelleme sürecinin yalnızca kavramsal anlama açısından değil, aynı zamanda teorik bilgilerin pratiğe dökülmesi sürecinde de öğrencileri desteklediği anlaşılmaktadır. Geleneksel ezbere dayalı öğrenme yerine deneyimleyerek öğrenme yaklaşımının benimsendiği, öğretmen adaylarının bilgiyi uygulayarak daha derinlemesine kavrayabildiği gözlemlenmiştir. Son olarak, adayların molekül yapıları arasındaki farklılıkları anlamada üç boyutlu modellemelerden yararlandıkları, özellikle su molekülü ve karmaşık moleküllerin bağ yapılarının incelenmesi sürecinde zorlandıkları, ancak 3D modelleme desteğiyle bu zorlukların üstesinden gelebildikleri tespit edilmiştir. Elde edilen bulgular, teknoloji destekli 3D molekül modelleme sürecinin kimya eğitiminde kavramsal öğrenmeyi desteklemede etkili olduğunu ortaya koymaktadır.

4.5.2. Uzamsal Yetenek Hakkındaki Sorulara İlişkin Bulgular

Odak grup görüşmelerinde öğretmen adaylarının uzamsal yetenekleri ile ilgili onlara 7 soru sorulmuştur. Öğretmen adaylarının bu sorulara vermiş oldukları yanıtların analizinden elde edilen bulgular, Tablo 14'te sunulmuştur.

Tablo 14

Uzamsal yetenek hakkındaki sorulara ilişkin bulgular

TEMA 2: Teknoloji Destekli Molekül Modelleme Sürecinin Kimya Öğretmen Adaylarının Uzamsal Yeteneklerine İlişkin Görüşleri		
Soru No	Kodlar	Örnek İfadeler
1	Somutlaştırmayı ve 3D düşünme yeteneğinin geliştirilmesi	3D molekül modelleme etkinlikleri, moleküllerin üç boyutlu yapısını görselleştirme yeteneğimi geliştirdi. Uzamsal ilişkileri ve moleküller arasındaki açılar daha iyi anlamamı sağladı, bu da uzamsal yeteneklerimin gelişimine büyük katkı sağladı. (Ö19)
	Görsel ve zihinsel döndürme yeteneğinin iyileştirilmesi	
	Molekül modelleme becerisini geliştirilmesi	Molekül modelini tasarlayabilmemi ve Rahat öğrenebilmemi sağladı. (Ö3)
	Molekül geometrilerini görselleştirilmesi	Moleküllerin geometrileri kafamda oturmuyordu artık daha Rahat düşünebiliyorum. (Ö12)
2	Teknolojik aletleri kullanma becerisinin kazandırılması	3D yazıcılar ile üretilen molekül modelleri, hibritleşme, hibrit orbitaller ve molekül geometrileri gibi konuları anlamamı büyük ölçüde kolaylaştırdı. (Ö7)
	Anlamayı kolaylaştırılması	
3	Soyut kavramların somutlaştırılması	Bazı karmaşık molekül yapılarını daha net görebilmemi sağladı. Örnek olarak bazı moleküllerde atomun arka tarafta kalabildiğini kafamda canlandırmamı sağladı. (Ö9)
	Karmaşık molekül yapılarını anlaşılır kılınması	
	Görselleştirme ve zihinde canlandırma yeteneğinin geliştirilmesi	3D yazıcı programları ve yazıcılar sayesinde molekül modellerini somut bir şekilde görmek bazı havada kalan sorularımı yanıtladı ve artık kafamda canlandırırken bazı noktaları fark etmemi sağladı. (Ö12)
4	Kalıcı öğrenmenin sağlanması	Uzamsal yeteneklerim sayesinde zihnimde canlandırma yapabildiğim için soyut olan konuları

	3D araçların kullanımının sağlanması	somutlaştırabileceğim bu da molekül geometrisi gibi konuları kalıcı bir şekilde öğrenmeye katkı sağlayacaktır. (Ö10)
	Molekül modelleme öğretiminin gerçekleştirilmesi	Birçok molekülün yapısını çizerken zorlanıyordum. Artık molekül modellerken ve ders anlatırken kolay olacağını düşünüyorum. (Ö14)
	Somutlaştırarak öğrenmeyi sağlaması	Soyut olan çoğu molekülleri elimize aldık. (Ö4)
5	Teknoloji kullanma becerisini geliştirmesi	Teknoloji destekli molekül modelleme etkinliklerinin uzamsal yeteneklerin gelişimi üzerinde önemli ve olumlu etkileri olduğunu söyleyebilirim. Bu etkinlikler kimya kavramlarını daha somut ve anlaşılır hale getirerek daha iyi kavramayı sağladı. (Ö7)
	Soyut kavramları somutlaştırması	Etkinlikler sayesinde artık daha 3d düşünüyorum. (Ö19)
	3 boyutlu düşünme yeteneğinin kullanılması	
6	Soyut kavramları somutlaştırması	3D modelleme kimya konularını öğretmede çok faydalı. Çünkü biz kimyayı öğrenirken çoğu zaman soyut kavramlarla karşı karşıyayız. Öğrencilere anlatılan konu somut bir konuymuş gibi yaklaşılması onlar için etkili bir öğrenimdir. (Ö16)
	Öğretme yeterliliğini geliştirmesi	
	İlgi artışı	Elimde molekülleri tuttuğumdan beri ilgi düzeyim arttı. (Ö18)
7	Satranç	Satranç oynamayı etkili buluyorum. (Ö18)
	Video ve animasyonlar	Video izletmek veya animasyon izletmetmek. (Ö8)
	Top-çubuk modelleri	Top çubuk modelleri gibi yine 3 boyutlu öğretim yöntemlerinin etkili buluyorum. (Ö3)
	Hamur-kürdan yöntemi	Eski yöntem top- çubuk modeli olabilir. (Ö5)
	Sanal laboratuvarlar ve simülasyonlar	Renkli renkli hamurlardan ve kürdanlardan molekül modelleri yapabiliriz. (Ö9)
		Sanal laboratuvar veya simülasyon da kullanabiliriz. (Ö2)

Tablo 14'te yer alan bulgular, öğretmen adaylarının üç boyutlu düşünme becerilerini geliştirdiğini, uzamsal ilişkileri daha iyi anlamalarına yardımcı olduğunu ve molekül yapılarını zihinde canlandırmalarını sağladığını göstermektedir. Görüşmelerde belirtilen ifadelerden modelleme sürecinin, öğretmen adaylarının molekül yapılarını daha net görmelerine ve belirli atomların konumlarını daha doğru bir şekilde algılamalarına yardımcı olduğu anlaşılmıştır. Ayrıca, teorik bilgilerin pratiğe aktarılmasında etkili bir yöntem olduğu ve kalıcı öğrenmeyi desteklediği tespit edilmiştir. Hibritleşme, hibrit orbitaller ve molekül geometrileri gibi soyut konuların daha iyi anlaşılmasını sağladığı belirlenmiştir. Modelleme sürecinin, öğretmen adaylarına yalnızca öğrenme değil, aynı zamanda öğretme yeteneği kazandırdığı ve kimya derslerine olan ilgilerini artırdığı görülmüştür. Öğretmen adaylarının ifadelerinde top-çubuk modelleri, hamur-kürdan yöntemi, sanal laboratuvarlar ve simülasyonlar gibi çeşitli modelleme tekniklerinin, öğrencilerin uzamsal yeteneklerini daha etkileşimli ve verimli hale getirebileceği belirtilmiştir. Bununla birlikte teknoloji destekli molekül modelleme yöntemleri, kimya eğitiminde hem kavramsal anlamayı güçlendiren hem de bilimsel düşünme becerilerini destekleyen etkili bir öğretim aracı olarak değerlendirilmiştir.

4.5.3. Mesleki Yeterlilik Hakkındaki Sorulara İlişkin Bulgular

Odak grup görüşmelerinde öğretmen adaylarının mesleki yeterlilikleri ile ilgili onlara 9 soru sorulmuştur. Öğretmen adaylarının vermiş oldukları yanıtların analizi sonucunda elde edilen bulgular, Tablo 15'te sunulmuştur.

Tablo 15

Mesleki yeterlilik hakkındaki sorulara ilişkin bulgular

TEMA 3: Teknoloji Destekli Molekül Modelleme Sürecinin Kimya Öğretmen Adaylarının Mesleki Yeterliliklerine İlişkin Görüşleri		
Soru No	Kodlar	Örnek İfadeler
1	Zamandan tasarruf sağlanması Soyut kavramların somutlaştırması İlgiyi ve merakı artırması	Avantajları dezavantajlarından daha fazladır. Soyut bilgileri teknolojiyen destek alarak görsellerle daha somut hale getirebiliriz ve vakitten tasarruf sağlayabiliriz, öğrencilerin ilgisini daha kolay çekebiliriz. Dezavantajlı çok fazla yok bence sadece zaman zaman düzensizlik olabilir. (Ö4)

	Kalıcı öğrenmenin gerçekleştirilmesi	Öğretmen olduğumda kullanmak isterim. Şimdiden ilimde merakımda artmış durumda. Bu bir avantaj. (Ö17)
2	3 boyutlu yazıcı kullanımının sağlanması Molekül modelleme öğretiminin gerçekleşmesi 3 boyutlu yazılım programı kullanımının sağlanması	3 boyutlu yazıcıyı hemen şimdi dahi kullanmak istiyorum. Çünkü öncesinde ve sonrasında bende iyi anlamda değişiklikler oldu(Ö12) 3D yazılım programları hakkında daha önceden bir bilgiye sahip değildim fakat şimdi uygulamayı, modeller çizmeyi öğrendim. (Ö20) 3D yazılım programı hakkında bir fikrim yoktu. Program hakkında üniversitede bilgi sahibi oldum. (Ö2)
3	Etkili öğrenmenin gerçekleşmesi Yaratıcı düşünmenin gerçekleşmesi İlgi çekici hale gelmesi	3D yazıcılar ve molekül modellemesi kimya öğretiminde etkili bir araçtır. Öğrencilerin konuyu daha iyi anlamalarını, problem çözme becerilerini geliştirmelerini ve yaratıcı düşüncelerini sağlar. Kimya eğitimini daha ilgi çekici hale getirir ve öğrencilerin dikkatinin çekmeyi sağlar. (Ö7)
4	Soyut kavramları somutlaştırılması Bilgi aktarımını kolaylaştırması Kalıcı öğrenmenin gerçekleşmesi	Bilgilerimi aktarmada bana kolaylık sağlayacağını düşünüyorum. Ayrıca ders anlatımında da zamandan bana ekonomi sağlayabilir. (Ö17) Benim bile anlamakta zorlandığım konuyu Rahat bir şekilde kavrayıp anlaşırs ve kalıcı şekilde anlamamı ve anlatmamı sağladı. (Ö16)
5	Zamandan tasarruf sağlaması Bilginin kolay aktarılması Anlama kolaylığının sağlanması	Konuyu daha çabuk kavrayabiliriz bu da bize zamanı etkili kullanma açısından oldukça kolaylık sağlar. (Ö6)
6	Okul imkânı Maliyet	Maliyeti yüksek olduğu için her konuda bulunamaz bence. Bilgisayarlarından yapması gereken uygulamaları yapamazlar çünkü her öğrencide bilgisayar olmayabilir. (Ö8)
7	Pratik ihtiyacı İngilizce gereksinimi	Aracı daha önce öğretebilecek kadar pratik gerektirdiğini düşünüyorum sadece. (Ö3)

	Daha fazla molekül modeli deneyim gereksinimi	Yazıcıda çıkacak bazı uyarılar için ingilizce gerekiyor. İngilizceyi geliştirebilirim ve daha fazla molekül modeli çalışmam lazım diye düşünüyorum. (Ö7)
8	Bağ açısı	Bağ açılarını anlatmada zorluk yaşayabilirim. (Ö9)
	Molekül geometrisi	Bazı molekül geometrilerinin anlamada zorlanabilirim. (Ö19)
	Filament rengi	Filament renginin tek renk oluşu anlamda zorlanmamı sağladı. (Ö4)
9	Su molekülü	Su olurdu, çünkü öğrencilerin çoğunluğu suyun doğrusal yapıda olduğunu düşünüyor ve 3 boyutlu yazıcıyla suyun açısız yapıda olduğuna göstermek isterdim. (Ö8)
	Amonyak molekülü	Amonyak molekülünü seçerdim öğrenmesi zor gibi geliyor önce o yüzden. (Ö11)
	Metan molekülü	Metan seçerdim çünkü 90 derece gibi gözüküyor ama gerçekte öyle değil. (Ö19)
	Glikoz molekülü	Glikoz molekülü olurdu günlük hayattan olduğu için. (Ö5)

Tablo 15’te yer alan bulgular, teknoloji destekli molekül modelleme yöntemlerin öğretim süreçlerinde zaman tasarrufu sağladığını, soyut kavramları somutlaştırarak adayların ilgisini artırdığını ve kalıcı öğrenmeyi desteklediğini ortaya koymaktadır. Öğretmen adayları, üç boyutlu yazıcı ve yazılım programlarının kullanımının molekül modelleme becerilerini geliştirdiğini, ayrıca problem çözme ve yaratıcı düşünme becerilerine katkıda bulunduğunu belirtmişlerdir. Bu süreç, öğretmen adaylarının ders anlatımlarında görselleştirme tekniklerini etkili bir şekilde kullanmalarına olanak tanırken, öğrenme materyallerinin daha ilgi çekici hale gelmesini sağlamaktadır. Bununla birlikte, teknoloji destekli modelleme yöntemlerinin uygulanabilirliğine yönelik bazı sınırlılıklar da belirlenmiştir. Özellikle maliyet, okul imkanlarının yetersizliği ve bazı öğrencilerin kişisel bilgisayar erişiminin olmaması gibi faktörler, bu yöntemlerin yaygın kullanımını kısıtlayıcı unsurlar olarak değerlendirilmiştir. Ayrıca, üç boyutlu modelleme sürecinin pratik kullanım gereksinimi ve bazı yazılımların ingilizce dilinde olması gibi teknik engellerin öğretmen adayları açısından belirli zorluklar oluşturabileceği ifade edilmiştir. Bununla birlikte, molekül geometrisi, bağ açıları ve filament rengi gibi unsurların öğretiminde üç boyutlu modellemenin önemli avantajlar sunduğu belirtilmiştir. Üç boyutlu modelleme teknikleri, öğretmen adaylarının mesleki yeterliliklerini geliştirme, ders anlatım süreçlerini daha etkili hale getirme ve öğrencilerin bilimsel kavramları daha iyi anlamalarını sağlama açısından önemli bir öğretim stratejisi olarak değerlendirilmiştir.

BÖLÜM V

TARTIŞMA, SONUÇ VE ÖNERİLER

5.1. Tartışma

Bu çalışma, Kimya Öğretmenliği lisans programında öğrenim gören öğretmen adaylarının hibritleşme, hibrit orbitaller ve molekül geometrileri gibi kimyanın soyut ve kavramsal açıdan güçlük yaratan konularını anlama düzeyleri ile uzamsal yeteneklerinin, teknoloji destekli öğretim uygulamaları aracılığıyla nasıl geliştiğini çok yönlü bir biçimde araştırmıştır. Bununla birlikte, öğretim süreci boyunca adaylara üç boyutlu molekül modelleme yazılımlarıyla etkileşimli dijital modeller oluşturma fırsatı sunulmuş; ardından bu dijital yapılar, üç boyutlu yazıcılar kullanılarak fiziksel modellere dönüştürülmüştür. Bu süreç, adayların yalnızca dijital ortamda kavramları görselleştirmesine değil, aynı zamanda ürettikleri modelleri somutlaştırarak fiziksel düzlemde deneyimlemelerine de olanak tanımıştır. Özellikle kimya eğitiminde sıkça karşılaşılan kavramsal öğrenme güçlüklerinin aşılmasında bu tür görsel ve dokunsal öğrenme ortamlarının etkili olduğu, Barnea ve Dori (2000), Wu ve Shah (2004) gibi araştırmacıların yapmış oldukları çalışmalarla da desteklenmektedir. Öğretmen adaylarının moleküler yapıları üç boyutlu biçimde analiz edebilmeleri, bağ açılarını, hibrit orbital türlerini ve molekül geometrilerini farklı açılardan değerlendirebilmeleri, onların hem kavramsal anlamalarını hem de uzamsal yeteneklerini olumlu yönde etkilemiştir. Benzer nitelikteki çalışmalarda da öğretmen adaylarının moleküler yapıların üç boyutlu analizine yönelik deneyimlerinin, kavramsal anlamalarını ve uzamsal bilişsel becerilerini geliştirdiğine ilişkin benzer bulgular rapor edilmiştir (Grumman ve Carroll, 2019; Jones ve Spencer, 2018; Meyer, 2015; Paukstelis, 2018; Penny vd., 2017; Van Wieren vd., 2017).

Aynı zamanda araştırmanın nicel veri sonuçlarına bakıldığında, öğretmen adaylarına uygulanan iki aşamalı kavramsal anlama testinde ve molekül modeli uzamsal yetenek testinde öğretim süreci öncesi ve sonrası arasında anlamlı düzeyde farklılıklar tespit edilmiştir. Ayrıca, öğretmen adaylarının bu iki testten aldıkları puanlar, teknoloji destekli öğrenme sürecinin ardından istatistiksel olarak anlamlı bir biçimde artış göstermiştir. Bu sonuçlar, teknoloji destekli üç boyutlu modelleme uygulamalarının, özellikle uzamsal yeteneklerin önemli olduğu kimya konularında etkili bir öğretim yöntemi olduğunu ortaya koymuştur. Literatürde de benzer biçimde, dijital görselleştirme ve üç boyutlu modelleme uygulamalarının öğrencilerin kavramsal anlama düzeylerini yükselttiği belirtilmektedir (Dağlı, 2022; Düşkün ve Ünal, 2015; Ekserin, 2022; Gun ve Atasoy, 2017; Karaismailoğlu, 2022).

Diğer taraftan öğretmen adaylarının öğretim sürecine ilişkin görüşleri, üç boyutlu modelleme uygulamalarının öğrenmeye yönelik ilgilerini artırdığını, soyut kavramları daha kolay ve kalıcı biçimde anlamalarını sağladığını ve öğrenme sürecine aktif katılım duygusunu güçlendirdiğini göstermiştir. Bazı araştırmalar, 3D yazıcı kullanımının öğrencilerin derse yönelik ilgi ve istekleri üzerinde olumlu bir etki yaptığını açıkça belirtmektedir (Çekirge, 2019). Öğrencilerin projeler geliştirmesi (Brown, 2015; Çekirge, 2019; Míka ve Šmejkal, 2016) ve kendi tasarımlarını gerçeğe dönüştürmesi (Topçuoğlu vd., 2021), öğrenme görevine olan ilgilerini ve isteklerini artırmaktadır (Novak ve Wisdom, 2018). Öğretmenlerin görüşleri, 3D yazıcıların öğrencilerin ilgisini çektiğini ortaya koymaktadır. Ancak, bu teknolojinin yalnızca kolay kullanılabilir olması, öğretmenlerin sınıf içinde etkili şekilde faydalanmaları için yeterli değildir. 3D yazıcıların eğitimde etkili biçimde kullanılabilmesi için, ders içeriğiyle uyumlu hale getirilmesi, öğrencilerin gelişim düzeylerine uygun etkinliklerle desteklenmesi ve öğretmen eğitimi ile mesleki gelişim programlarına sistemli bir şekilde entegre edilmesi gerektiği belirtilmektedir (Novak ve Wisdom, 2018).

Ayrıca öğretmen adayları, teknoloji destekli öğretim sürecinin geleneksel anlatım yöntemlerine kıyasla daha öğretici olduğunu vurgulamış; özellikle kendi ürettikleri modelleri fiziksel olarak görmek ve dokunmak, kavramsal bilgilerini pekiştirmelerinde etkili olmuştur. Araştırmalarda öğretim materyallerinin çoklu öğrenme ortamı sağladığı, öğrenmenin büyük ölçüde duyu organlarıyla gerçekleştiği ifade edilmiştir (Düşkün ve Ünal, 2015). Üç boyutlu yazıcılardan üretilen modeller, özellikle görme ve dokunma duyularını bir arada kullanarak öğrenme sürecini zenginleştirmektedir (Dağlı, 2022; Ekserin, 2022). Dokunma duyusunun öğrenme-öğretme sürecine dâhil edilebildiği belirtilmiştir (Dağlı, 2022). Bu çoklu duyu katılımlarının, öğrencilerin kavramları daha iyi anlamalarına yardımcı olduğu düşünülmektedir.

Araştırmada ortaya çıkan önemli bir sonuç da teknoloji destekli öğretim uygulamalarının, özellikle üç boyutlu modelleme yazılımları ve yazıcıların entegrasyonu yoluyla, öğretmen adaylarının hem kavramsal anlama düzeylerini hem de uzamsal yeteneklerini geliştirme potansiyeline sahip olduğunu ortaya koymaktadır. Bu bulgular, kimya eğitimi alanında teknolojik araçların daha yaygın ve sistematik biçimde kullanılmasının önemini vurgulamaktadır. Bu bağlamda, öğretmen adaylarının yalnızca konu bilgisine sahip bireyler olarak değil; aynı zamanda dijital teknolojileri etkili biçimde kullanabilen, öğrencilerinin öğrenme ihtiyaçlarını öngörebilen ve yenilikçi öğretim yöntemleri geliştirebilen öğretmenler olarak yetiştirilmeleri gerektiği sonucuna ulaşılmaktadır. Ertmer ve Ottenbreit-Leftwich (2010), bu durumu dijital pedagojik yeterlikler bağlamında değerlendirerek,

öğretmenlerin teknoloji entegrasyonundaki başarılarının pedagojik donanımlarıyla ilişkili olduğunu belirtmektedir.

Ayrıca, yapılan önceki araştırmalar, uzamsal yetenek ile kavramsal anlama arasında istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki bulunduğunu göstermiştir. Uzamsal yeteneğin gelişiminin, özellikle moleküler yapıların anlaşılması gibi konularda kavramsal düzeyi desteklediği ve öğrenme sürecine olumlu katkı sunduğu sonucuna varılmıştır (Harle ve Towns, 2011; Yavuz ve Büyükekşi, 2018)

5.2. Sonuç ve Öneriler

5.2.1. Sonuç

Araştırmanın birinci alt problemi olan “*Öğretmen adaylarının üç boyutlu bir yazılım programını kullanarak yürütülen teknoloji destekli öğretim sürecinde hibritleşme, hibrit orbitaller ve molekül geometrileri konularındaki kavramsal anlamaları ne düzeydedir?*” sorusuna yanıt aramak amacıyla, öğretmen adaylarına iki aşamalı Molekül Geometrileri Tanı Testi (MGTT) uygulanarak teknoloji destekli üç boyutlu yazılım programı aracılığıyla yürütülen öğretim süreci sonrasında hibritleşme, hibrit orbitaller ve molekül geometrileri konularındaki kavramsal anlama düzeylerinde ne tür bir değişim yaşandığı incelenmiştir. Araştırma sonuçları, uygulanan teknoloji destekli üç boyutlu modelleme etkinliklerinin, öğretmen adaylarının söz konusu konularla ilgili kavramsal anlamalarını belirgin biçimde geliştirdiğini ortaya koymaktadır. Öğretmen adaylarının dijital modelleme sürecine aktif katılım sağlamaları, soyut kimya kavramlarının anlaşılmasını kolaylaştırmış; görsel, dokunsal ve etkileşimli bir öğrenme deneyimi yaşamaları kavramsal bilgilerin içselleştirilmesini desteklemiştir. Adayların hem dijital hem de fiziksel modellerle etkileşime girmeleri, kavramlar arası bağlantıları daha iyi kurmalarına ve kavramları farklı açılardan değerlendirebilmelerine imkân tanımıştır. Özellikle ön test-son test karşılaştırmalarında elde edilen puan farklılıkları, öğretim sürecinin öğrenme kalitesi üzerindeki olumlu etkisini açık biçimde ortaya koymuştur. Bu bağlamda, hibritleşme, hibrit orbitaller ve molekül geometrileri gibi görselleştirmeye dayalı, soyut ve çok boyutlu kimya konularının öğretiminde üç boyutlu modelleme uygulamalarının etkili ve anlamlı olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Araştırmada ortaya çıkan önemli bir sonuç da öğretmen adaylarının kavramsal anlamalarında; özellikle hibrit orbitaller (hibritleşme), oktet kuralına uygun molekül yapıları ve elektron çiftlerinin itmesi ve moleküler geometri (VSEPR Teorisi) konularında uygulama

öncesi ve sonrasında anlamlı bir farklılık bulunmasıdır. Hibritleşme konusunda puan ortalamasının yüksek çıkması, bu soyut kavramın üç boyutlu modelleme yoluyla daha anlaşılır ve kalıcı hale geldiği tespit edilmiştir. Benzer şekilde, oktet kuralı ve moleküler geometri konularındaki puan artışları, adayların başlangıçta zorlandığı kavramlarda teknoloji destekli öğretimin önemli bir fark yarattığını göstermektedir. Moleküler orbitaller, rezonans ve Lewis-VSEPR ilişkisi gibi diğer konularda da anlamlı artışlar gözlenmiş, moleküller arası çekim kuvvetlerinde ise daha sınırlı bir değişim sağlanmıştır. Teknolojik araçlarla yapılan modellemenin, özellikle soyut ve öğrenciler tarafından zor algılanan konularda daha belirgin katkılar sunduğunu göstermektedir. Yapılan araştırmalar, öğrencilerin soyut ve karmaşık olarak algıladıkları konuların daha kolay anlaşılabilmesi için bu kavramların somutlaştırılmasının gerekli olduğunu ortaya koymaktadır (Jaksic, 2015; Zastrow, 2020). Bu bağlamda, teknolojik araçların kullanımı soyut kavramların somutlaştırılmasında en sık başvuru ve etkili yöntemlerden biri olarak öne çıkmaktadır. Özellikle 3D yazıcılar gibi teknolojiler, sanal ortamda tasarlanan modellerin fiziksel ve somut nesnelere dönüştürülmesini mümkün kılarak öğrenme sürecine önemli katkılar sağlamaktadır (Canessa vd., 2013; Gibson vd., 2015).

Aynı zamanda sonuçlar, öğretmen adaylarının yalnızca doğru cevaba ulaşmakla kalmayıp, cevaplarını bilimsel gerekçelerle destekleme ve açıklama becerilerinde gelişim gösterdiklerini işaret etmektedir. Özellikle hibritleşme, oktet kuralı ve molekül geometrileri gibi soyut ve öğrenciler açısından genellikle zorlayıcı olan konularda, üç boyutlu modelleme yazılımının kullanılması; soyut kavramların somutlaştırılmasını ve öğrenmenin kalıcı hale gelmesini kolaylaştırmıştır. Yanlış cevap ve yanlış açıklama oranlarının azalması ise, bu konulardaki yanlış bilgilerin giderilmesinde bu tür teknoloji destekli uygulamaların etkili bir araç olduğunu göstermektedir. Benzer şekilde, Endeshaw ve O’Leary (2025) tarafından yapılan çalışma, üç boyutlu yazıcılarla üretilen moleküler orbitallerin, temel düzey üniversite kimya eğitiminde karşılaşılan kavram yanlışlarının giderilmesinde etkili bir şekilde kullanıldığını açıkça ortaya koymaktadır. Bununla birlikte bazı sorularda doğru yanıt veren adayların, açıklama yaparken kısmi veya eksik ifadeler kullandığı görülmüş; bu durum, öğretim sürecinin kavramsal anlamayı büyük ölçüde desteklese de açıklama becerilerinin daha fazla uygulamaya dayalı öğrenme ortamlarıyla güçlendirilmesi gerektiğini ortaya koymuştur. Bu bulgular, teknoloji destekli öğretim uygulamalarının öğretmen yetiştirme programlarında daha yaygın şekilde kullanılması gerektiğini; bu sayede adayların hem pedagojik hem de bilimsel yeterliliklerinin artırılabilceğini göstermektedir.

Araştırmanın ikinci alt problemi olan “*Öğretmen adaylarının hibritleşme, hibrit orbitaller ve molekül geometrileri konularındaki iki aşamalı tanı testi ön test ve son test puanları arasında anlamlı bir fark var mıdır?*” sorusuna yanıt aramak amacıyla, öğretmen adaylarının iki aşamalı MGTT ön test ve son test puanları arasındaki farkın anlamlı olup olmadığına bakılmıştır. Sonuçlar, teknoloji destekli üç boyutlu modelleme uygulamalarının öğretmen adaylarının hibritleşme, hibrit orbitaller ve molekül geometrileri konularındaki kavramsal anlamalarını anlamlı düzeyde geliştirdiğini göstermektedir. Araştırma kapsamında uygulanan iki aşamalı Molekül Geometrileri Tanı Testi (MGTT) ön test ve son test sonuçları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunması, teknoloji entegrasyonunun soyut kimya kavramlarının öğrenilmesinde ne kadar etkili olduğunu ortaya koymaktadır. Özellikle hibrit orbitaller ve molekül geometrileri gibi öğrenciler tarafından kavranması güç olan konularda, üç boyutlu yazılım programlarıyla desteklenen öğretim süreçlerinin adayların kavramsal gelişiminde güçlü bir etki yarattığı görülmektedir. İstatistiksel olarak elde edilen yüksek etki büyüklüğü ($\eta^2=.790$), uygulanan teknoloji destekli öğretim yönteminin öğretmen adaylarının kavramsal anlamaları üzerinde güçlü ve önemli bir etkisi olduğu tespit edilmiştir. Bu sonuç, teknoloji destekli uygulamaların özellikle karmaşık ve zor kavramların anlamlı öğrenilmesini desteklediğini ortaya koyan alan yazındaki araştırmalarla da örtüşmektedir (Alharbi, 2025; Avinal, 2019; Karaismailoğlu, 2022; Rayan ve Rayan, 2017; Yılmaz, 2012). Bu anlamda öğretmen adaylarının geliştirilen kavramsal anlamalarının, gelecekteki öğretim süreçlerinde öğrencilerin kimya konularını daha derinlemesine anlamalarına olumlu yansıtacağı öngörülebilir. Hibrit orbitaller ve molekül geometrileri gibi soyut kavramların daha iyi kavranması, bu adayların öğrencilerine daha etkili öğretim stratejileri sunmasını ve konuları somutlaştırarak anlamalarını kolaylaştırmasını sağlayabilir. Dolayısıyla, öğretmen adaylarının bu tür teknoloji destekli öğretim süreçlerinde kazandıkları kavramsal bilgi, öğrenci başarısını artırmada kritik bir rol oynayabilir.

Araştırmanın üçüncü alt problemi olan “*Öğretmen adaylarının kimya alanında üç boyutlu bir yazılım programını kullanarak yürütülen teknoloji destekli öğretim sürecinde uzamsal yetenekleri ne düzeydedir?*” sorusuna yanıt aramak amacıyla, öğretmen adaylarının teknoloji destekli bir öğretim süreci öncesinde ve sonrasında uzamsal yetenek düzeylerinde meydana gelen değişime bakılmıştır. Öğretmen adaylarının MMUYT’ ön test ve son testten elde ettikleri puanların dağılımına ilişkin grafiksel analizler, süreç öncesi ve sonrası uzamsal

beceri seviyeleri hakkında anlamlı ipuçları sunmaktadır. Ön test verileri incelendiğinde, öğretmen adaylarının puanlarının geniş bir aralıkta dağıldığı ve çoğunluğun düşük puanlarda yoğunlaştığı dikkat çekmektedir. Bu durum, sürece katılan adayların uzamsal yetenek açısından başlangıçta heterojen bir yapıya sahip olduğunu göstermektedir. Uzamsal becerilerin gelişimi açısından kritik bir değişken olan bu çeşitlilik, öğretim sürecine duyulan ihtiyacı da doğrulamaktadır. Buna karşın, son test sonuçları değerlendirildiğinde, katılımcıların büyük çoğunluğunun daha yüksek puanlara ulaştığı görülmektedir. Bu sonuç, sürecin öğretmen adayları üzerindeki etkisinin yalnızca puan yükselmesiyle sınırlı kalmadığını, aynı zamanda grup içi farklılıkların azalmasına katkı sağladığını göstermektedir.

Bu gelişmede, ChemDoodle 3D yazılımı ile desteklenen üç boyutlu modelleme etkinliklerinin yer aldığı öğretim uygulamalarının etkili biçimde planlanıp uygulanmış olmasının önemli bir payı olduğu söylenebilir. Soyut kimyasal yapıları somut biçimde görselleştirebilen bu yazılım, katılımcıların üç boyutlu düşünme, zihinsel döndürme ve uzamsal analiz becerilerini aktif biçimde kullanmalarına olanak sağlamıştır. Bu bağlamda, elde edilen bulgular, teknoloji destekli uygulamaların uzamsal yetenek gelişimini desteklediğine ilişkin literatürdeki önceki araştırmalarla da örtüşmektedir. Nitekim araştırmalar, dijital modelleme ve simülasyonların öğrencilerin bilişsel temsil sistemlerini desteklediğini ve kavramsal anlamayı derinleştirdiğini ortaya koymaktadır (Atherton, 2021; de Cataldo, Griffith ve Fogarty, 2018; Pinger, Geiger ve Spence, 2020; Sorby, 2009). Ayrıca, üç boyutlu yazılımların öğrenme sürecine katılımı artırarak bilişsel yükü azalttığı ve bilgilerin daha kalıcı hale gelmesine katkı sunduğu ifade edilmektedir. Yapılan çalışmalar, üç boyutlu tasarım ve modelleme ile sanal ortamlar gibi teknoloji destekli öğretim yaklaşımlarının öğrencilerin uzamsal yeteneklerini geliştirdiğini ortaya koymaktadır. Uzamsal yeteneğin gelişimi ise fen bilimlerindeki soyut kavramların daha iyi anlaşılmasını desteklemekte, bu da öğrencilerin konuya ilişkin anlayışlarının derinleşmesine yardımcı olmaktadır (Dwiningsih vd., 2022; Karagöz ve Şahin Çakır, 2020).

Bununla birlikte, üç boyutlu modelleme yazılımlarının yalnızca kavramsal öğrenmeyi değil, aynı zamanda bilişsel becerileri geliştirmede de etkili olduğunu ortaya koymaktadır. Uzamsal yetenek, özellikle moleküler yapıların anlaşılması, hibritleşme modellerinin kavranması ve moleküler geometri analizlerinin yapılması gibi kimya öğretiminde kritik öneme sahip alanlarda, öğretim sürecinin başarısını doğrudan etkileyen bir değişkendir. Bu nedenle, teknoloji destekli öğretim yöntemlerinin öğretmen eğitimi programlarına dahil

edilmesi hem bireysel gelişimi destekleyen hem de grup içi öğrenme farklılıklarını dengeleyen bütüncül bir yaklaşım sunmaktadır. Bu bağlamda, ChemDoodle 3D gibi dijital araçların öğretim süreçlerine sistemli bir şekilde entegre edilmesinin, yalnızca mevcut öğretim kazanımlarını artırmakla kalmayıp, aynı zamanda öğretmen adaylarının mesleki yeterliklerini geliştirmelerine ve öğrencilerinin ihtiyaçlarına daha etkili şekilde yanıt verebilmelerine olanak sağlayacağı söylenebilir.

Araştırmanın dördüncü alt problemi olan “*Öğretmen adaylarının uzamsal yetenek testi ön test ve son test puanları arasında anlamlı bir fark var mıdır?*” sorusuna yanıt aramak amacıyla, öğretmen adaylarına uygulanan MMUYT ön test ve son test sonuçları değerlendirilmiş ve bu süreçte ilişkili örneklem t-testi ile analiz yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar, teknoloji destekli üç boyutlu modelleme etkinliklerinin öğretmen adaylarının uzamsal düşünme becerilerinde anlamlı ve yüksek düzeyde bir gelişime yol açtığını göstermektedir. Testin uygulanmasıyla gözlenen bu gelişim, öğretmen adaylarının özellikle kimya alanında karmaşık yapıları zihinsel olarak canlandırma, molekül modelleri üzerinde üç boyutlu düşünme ve soyut kavramları somutlaştırma yeteneklerini güçlendirmiştir. Bu sonuç, kimya eğitimi gibi uzamsal becerilerin öne çıktığı disiplinlerde, geleneksel öğretim yöntemlerinin ötesine geçilerek teknoloji destekli uygulamalara daha fazla yer verilmesi gerekliliğini vurgulamaktadır. Öğretmen adaylarının bu süreçten faydalandığına dair elde edilen sonuçlar, teknoloji destekli öğretim etkinliklerinin farklı disiplinlerde, çeşitli öğretim ortamlarında ve öğrenim düzeylerinde de kullanılabileceğine işaret etmektedir.

Literatürde de belirtildiği üzere, üç boyutlu dijital modelleme ve benzeri araçların kullanımı, öğrencilerin ve öğretmen adaylarının kavramsal anlamalarını derinleştirmekte, soyut bilgilerin zihinde daha kalıcı ve anlamlı hale gelmesini sağlamaktadır (Pernaa ve Wiedmer, 2020; Scalfani vd., 2015; Stieff vd., 2012). Araştırmada uygulanan MMUYT ile elde edilen sonuçlar, teknoloji tabanlı öğretim süreçlerinin uzamsal düşünme becerilerinin gelişiminde etkili ve sürdürülebilir bir katkı sunduğunu göstermektedir. Ayrıca, uygulanan yöntemin yüksek etki büyüklüğüyle öğretmen adaylarının bilişsel gelişiminde belirleyici rol oynadığı görülmüştür. Bu bağlamda, MMUYT ile yapılan değerlendirmeler, teknoloji destekli üç boyutlu öğretim uygulamalarının, öğretmen adaylarının uzamsal yeteneklerinde anlamlı bir artış sağladığını göstermektedir. Bu sonuç hem kimya öğretmenliği programlarının güncellenmesinde hem de farklı disiplinlerde uzamsal yetenek odaklı eğitim uygulamalarının geliştirilmesinde, teknoloji entegrasyonunun önemini açıkça göstermektedir. Gelecekte,

öğretmen yetiştirme süreçlerinde bu tür dijital ve modelleme tabanlı uygulamaların yaygınlaştırılması, mesleki yeterliliklerin ve çağın gerektirdiği dijital becerilerin kazandırılması açısından kritik bir öneme sahiptir.

Araştırmanın beşinci alt problemi olan “*Öğretmen adaylarının kimya alanında üç boyutlu bir yazılım programı kullanılarak yürütülen teknoloji destekli öğretim süreci üzerine görüşleri nasıldır?*” sorusuna yanıt aramak amacıyla, öğretmen adaylarının bu sürece ilişkin görüşleri; kavramsal anlama, uzamsal yetenek ve mesleki yeterlilik temaları çerçevesinde incelenmiştir. Yapılan incelemeler sonucunda, teknoloji destekli üç boyutlu molekül modelleme sürecinin öğretmen adaylarının kavramsal anlama becerilerini anlamlı düzeyde geliştirdiğini ortaya koymaktadır. Özellikle hibritleşme, hibrit orbitaller ve molekül geometrileri gibi geleneksel öğretim süreçlerinde kavranması güç olan soyut kimya kavramlarının, üç boyutlu modelleme sayesinde daha açık, somut ve anlaşılır hale geldiği görülmüştür. Öğretmen adayları, molekül yapılarını yalnızca görmekle kalmayıp, bu yapılar üzerinde düşünerek ve uygulayarak öğrenme imkânı bulduklarını ifade etmişlerdir. Bu sonuçlar, kavramsal anlama sürecinin görsel temsillerle desteklendiğinde ve öğrenenler aktif olarak sürece katıldığında daha etkili hale geldiğini göstermektedir.

Öğretmen adaylarının, 3D ortamında modelleyerek öğrendikleri yapıların hem zihinsel canlandırmasını daha kolay yaptıkları hem de bu kavramlara ilişkin bilgileri uzun süreli belleğe daha etkili biçimde kodladıkları yönündeki görüşleri, kalıcı öğrenmeyi destekleyen bir etki yaratıldığını göstermektedir. Bu sonuçlar, modelleme destekli öğrenme ortamlarının özellikle kimya gibi yüksek soyutlama gerektiren alanlarda kavramsal derinlik sağlama potansiyeline işaret etmektedir (Uyulgan ve Cengiz, 2024). Ayrıca, teori ile pratiği birleştiren bu uygulama süreci, adayların kimyasal bilgileri gerçek yaşamla ilişkilendirme becerilerini de güçlendirmiştir. Böylece, öğrenme süreci sadece bilgi edinmeye değil, aynı zamanda anlam kurmaya ve bağlam oluşturmaya da hizmet etmiştir.

Araştırmanın uzamsal yetenek boyutuna ilişkin elde edilen sonuçlar ise üç boyutlu molekül modelleme uygulamalarının öğretmen adaylarının zihinsel dönüşüm, yapısal canlandırma ve üç boyutlu düşünme gibi uzamsal bilişsel becerilerini anlamlı biçimde geliştirdiğini göstermektedir. Moleküllerin uzayda kapladıkları yer, atomlar arası mesafeler, bağ açıları gibi unsurların doğru anlaşılması için gerekli olan uzamsal muhakeme becerileri, geleneksel yöntemlerle sınırlı biçimde gelişmektedir. Ancak üç boyutlu modelleme süreci,

katılımcıların bu yapıları yalnızca görsel olarak değil; aynı zamanda zihinsel olarak döndürme, yeniden yapılandırma ve analiz etme becerilerini kullanmalarını gerektirdiğinden, uzamsal yetenek gelişimi açısından güçlü bir zemin sunmaktadır (Çetin, 2020; Karagöz ve Şahin Çakır, 2020; Leopold vd., 2001). Adaylar, moleküllerin üç boyutlu doğasını zihinde canlandırabilme becerilerinin bu süreçte önemli ölçüde ilerlediğini ifade etmişlerdir. Bu tür bir zihinsel dönüşüm yeteneği, özellikle kimya eğitiminde sadece öğrenen olarak değil, ileride öğretici konumunda olacak bireyler için de kritik bir yeterliktir (Çekirge, 2019; Çevik vd., 2019). Öğretmen adaylarının, yapıların konumunu, yönünü ve simetrisini anlayarak öğrencilerine daha anlamlı açıklamalar yapabilmeleri, onların pedagojik yetkinliklerine doğrudan katkı sunmaktadır.

Araştırma sonuçlarına göre, öğretmen adaylarının farklı molekül yapılarını karşılaştırabilme, karmaşık yapıları görselleştirebilme ve yapıların 3D özelliklerine ilişkin uzamsal düşünme yeteneklerinde önemli düzeyde ilerleme kaydettikleri görülmüştür. Bu becerilerin, özellikle dijital ortamda yürütülen model üretme süreçleriyle desteklenmesi, adayların kimyasal yapıları daha derinlemesine analiz edebilmelerine katkı sağlamıştır. Elde edilen bulgular, uzamsal yeteneğin bireysel bir özellik olmanın ötesinde, bu yeteneğin gelişimini hedefleyen öğretim stratejilerinin kimya eğitiminde öğrenmeyi destekleyici bir rol üstlenebileceğini ortaya koymuştur.

Üç boyutlu molekül modelleme sürecine ilişkin öğretmen adaylarının mesleki yeterlikleri çerçevesindeki görüşleri incelendiğinde, bu sürecin adaylara yalnızca içerik bilgisi kazandırmakla kalmayıp, aynı zamanda etkili bir öğretim pratiği geliştirme konusunda da önemli katkılar sunduğunu göstermektedir. Adaylar, bu uygulamanın öğretim süreçlerinde zaman yönetimi, görsel materyal hazırlama, öğrencilerin ilgisini çekme ve kavramları etkili biçimde aktarma gibi temel pedagojik beceriler üzerinde doğrudan olumlu etkiler yarattığını belirtmişlerdir. Bu bağlamda, teknoloji destekli öğretim ortamları yalnızca öğrenme çıktıları açısından değil, aynı zamanda öğretim tasarımı ve sınıf yönetimi gibi mesleki yeterlik alanlarında da öğretmen adaylarını güçlendiren bir öğrenme ortamı sunmaktadır. Bu sonuçla paralel olarak Güteryüz (2020) ile Renner ve Griesbeck (2020) çalışmalarında, 3D yazıcı ve robotik kodlama gibi uygulamaların, öğretmen adaylarının STEM eğitimi kapsamında öğrenme süreçlerini daha etkili bir şekilde yönetmelerine katkı sağlayabileceğini belirtmişlerdir.

Ayrıca, üç boyutlu yazılım programlarıyla çalışma deneyimi, adayların dijital okuryazarlıklarını artırmış, öğretmenlik mesleğinin gerektirdiği çağdaş öğretim araçlarını

kullanma becerilerini geliştirmiştir. Bu durum, mesleki yeterliğin yalnızca bilgi temelli değil, uygulama temelli bir yeterlik alanı olduğunu da desteklemektedir. Benzer şekilde, Güleriyüz, Dilber ve Erdoğan (2019), 3D yazıcı kullanımının öğretmen adaylarının daha çözüm odaklı ve üretken olmalarına katkı sağladığını ifade etmişlerdir. Bununla birlikte, teknolojik uygulamaların öğretim sürecine entegrasyonuna yönelik bazı sınırlayıcı unsurlar da dile getirilmiştir. Donanım eksiklikleri, yazılım dil bariyerleri, maliyet ve bireysel teknolojik yeterlik farklılıkları gibi faktörler, modelleme uygulamalarının eğitim ortamlarında yaygınlaştırılmasını kısıtlayabilecek potansiyel engeller olarak görülmektedir. Ancak tüm bu sınırlamalara rağmen, öğretmen adaylarının üç boyutlu modelleme tekniklerini eğitimde kullanmaya yönelik ilgi ve olumlu tutum sergilemeleri, bu sürecin uzun vadeli mesleki gelişim açısından önemli fırsatlar sunduğunu göstermektedir. Literatürde yer alan çalışmalar da benzer yönde sonuçlar ortaya koymaktadır (Uyulgan ve Cengiz, 2024; Üçgül ve Altıok, 2023). Öğrencilerin kavramsal anlamalarını iyileştirmede etkili araçlar tasarlayabilme, öğrenmeyi daha kalıcı ve etkili kılma ve öğrencilerle güçlü bir etkileşim kurabilme becerileri, bu sürecin öğretmen adaylarını çağdaş öğretmen profiline yaklaştıran yönlerini vurgulamaktadır.

5.2.2. Öneriler

Bu bölümde, araştırma sonuçları göz önünde bulundurularak aşağıda bazı önerilere yer verilmiştir:

- Benzer araştırmalar, farklı üniversitelerin fen bilimleri eğitimi alanında öğrenim gören öğrencileriyle yürütülebilir ve elde edilen sonuçlar mevcut araştırma ile karşılaştırılabilir.
- Üç boyutlu modelleme etkinlikleri, kimya eğitiminde hibritleşme, hibrit orbitaller ve molekül geometrileri gibi konularla sınırlı kalmayıp farklı konulara da uygulanarak daha geniş kapsamlı araştırmalar yapılabilir.
- Bu araştırma 12 haftalık uygulama süreci ile sınırlandırılmıştır. Gelecekte yapılacak çalışmalarda uygulama süresi artırılarak üç boyutlu modelleme etkinliklerinin uzun vadeli etkileri incelenebilir.
- Bu araştırma son sınıf kimya öğretmen adayları ile yürütülmüştür. Gelecekte yapılacak araştırmalarda, farklı eğitim seviyelerindeki öğrencilerin ya da öğretmen adaylarının üç boyutlu modelleme süreçlerine uyumu değerlendirilebilir.
- Bu çalışmada üç boyutlu modelleme süreci öğretmen adaylarıyla yürütülmüştür. İlerleyen çalışmalarda aktif olarak görev yapan kimya öğretmenlerinin görüşleri alınarak, eğitim süreçlerine entegrasyonu değerlendirilebilir.

- Üç boyutlu yazıcı ve modelleme yazılımlarının daha geniş kapsamda eğitimde kullanılabilmesi için öğretmen adaylarına yönelik kapsamlı eğitim programları oluşturulmalıdır. Lisans eğitiminde bu eğitim içeriklerinin seçmeli ders olarak programa eklenebilir.
- Eğitim fakültelerinde üç boyutlu modelleme ve yazıcı kullanımına yönelik atölye ve laboratuvar uygulamaları artırılarak öğretmen adaylarının teknolojiye olan yatkınlığı güçlendirilebilir.
- Üç boyutlu modelleme yazılımlarının Türkçe destekli ve daha kullanıcı dostu versiyonları geliştirilerek öğrencilerin bu araçları daha kolay kullanması sağlanabilir.

Bu öneriler doğrultusunda yapılacak çalışmalar, üç boyutlu modelleme tabanlı öğretimin kimya eğitimine olan katkısını daha detaylı bir şekilde ortaya koyacak ve eğitim programlarının geliştirilmesine katkı sağlayacaktır.

KAYNAKÇA

- Akbaba, A. İ., & Akbulut, E. (2021). 3 Boyutlu Yazıcılar ve Kullanım Alanları. *ETÜ Sentez Politik ve İdari Bilimler Dergisi*, (3), 19-46.
- Akbulut, E. (2022). *3 eksenli 3 boyutlu yazıcı tasarımı ve uygulaması* (Yüksek lisans tezi), Atatürk Üniversitesi.
- Alharbi, A. A. (2025). Cognitive learning approach to enhance university students' visualization of molecular geometry in chemical compounds: A case study in Saudi Arabia. *Journal of Radiation Research and Applied Sciences*, 18(1), 101283. <https://doi.org/10.1016/j.jrras.2024.101283>
- Aslan, A., Durukan, Ü. G., & Batman, D. (2021). Fizik, kimya ve biyoloji öğretmenlerinin 3-boyutlu katı model tasarımı ve kullanım ihtiyaçlarına genel bir bakış. *International Journal of 3D Printing Technologies and Digital Industry*, 5(3), 515-534.
- Atherton, M. (2021). *The efficiency of using three-dimensional models to teach lifting and rigging concepts to learners of varying spatial ability* (Master's thesis, California State University, San Bernardino). <https://scholarworks.lib.csusb.edu/etd/1231>
- Attaran, M. (2017). The rise of 3-D printing: The advantages of additive manufacturing over traditional manufacturing. *Business horizons*, 60(5), 677-688.
- Aubusson, P. J., Harrison, A. G., & Ritchie, S. M. (2006). Metaphor and analogy. In *Metaphor and analogy in science education* (pp. 1-9). Springer, Dordrecht.
- Avinal, M. (2019). *Üç boyutlu yazıcı teknolojisiyle tasarlanan etkinliklerin vücudumuzdaki sistemler ünitesinin öğretimine etkisinin incelenmesi* [Yayımlanmamış yüksek lisans tezi]. Kastamonu Üniversitesi.
- Babacan, T., & Ören, F. Ş. (2017). Teknoloji destekli mikro öğretim uygulamalarının fen bilimleri öğretmen adaylarının teknoloji kullanım algıları üzerine etkisi. *Eğitim Teknolojisi Kuram ve Uygulama*, 7(2), 193-214.
- Balcıoğlu, Y. S. (2014). *3 boyutlu yazıcı ve sinemada kullanımı* (Yüksek lisans tezi). Yaşar Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İzmir.
- Barnea, N., & Dori, J. Y. (2000). Computerized molecular modeling—The new technology for enhancing model perception among chemistry educators and learners. *Chemistry Education Research and Practice*, 1(1), 109-120.
- Barbour, R. S., & Kitzinger, J. (Eds.). (2001). *Developing Focus Group Research: Politics, Theory, and Practice*. London: SAGE.
- Bent, H. A. (1984). Uses (and abuses) of models in teaching chemistry. *Journal of Chemical Education*, 61(9), 774.

- Berber, C. N. & Güzel, H. (2009). Fen ve Matematik Öğretmen Adaylarının Modellerin Bilim ve Fendeki Rolüne ve Amacına İlişkin Algıları. *Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*. 21, 87-97.
- Bodner, G. M., & McMillen, T. L. (1986). Cognitive restructuring as an early stage in problem solving. *Journal of Research in Science Teaching*, 23(8), 727–737.
- Bos, F., Wolfs, R., Ahmed, Z., & Salet, T. (2016). Additive manufacturing of concrete in construction: Potentials and challenges of 3D concrete printing. *Virtual and Physical Prototyping*, 11(3), 209–225. <https://doi.org/10.1080/17452759.2016.1209867>
- Bowyer, A. (2014). 3D printing and humanity's first imperfect replicator. *3D Printing and Additive Manufacturing*, 1(1), 4-5.
- Braun, V. ve Clarke, V. (2019). Psikolojide tematik analizin kullanımı. S. N. Şad, N. Özer ve A. Atli (Çevirenler). *Eğitimde Nitel Araştırmalar Dergisi – Journal of Qualitative Research in Education*, 7(2), 873-898. <https://doi.org/10.14689/issn.2148-2624.1.7c.2s.17m>
- Brown, A. (2015). 3D printing in instructional settings: Identifying a curricular hierarchy of activities. *TechTrends*, 59(5), 16-24. <https://doi.org/10.1007/s11528-015-0887-1>
- Brown, C., & Hurst, A. (2012, February). VizTouch: Automatically generated tactile visualizations of coordinate spaces. In *Proceedings of the 6th International Conference on Tangible, Embedded and Embodied Interaction* (pp. 131–138). Association for Computing Machinery. <https://doi.org/10.1145/2148131.2148160>
- Bryman, A. (2012). *Social research methods* (4th ed.). Oxford University Press.
- Bryman, A. (2016). *Social research methods* (5th ed.). Oxford University Press.
- Büyüköztürk, Ş. (2011). *Veri analizi el kitabı*. Ankara: Pegem Akademi Yayıncılık.
- Büyüköztürk, Ş., Kılıç Çakmak, E., Akgün, Ö. E., Karadeniz, Ş., & Demirel, F. (2016). *Bilimsel araştırma yöntemleri* (21. Baskı). Pegem Akademi.
- Canessa, E., Fonda, C., Zennaro, M., & Deadline, N. (2013). Low-cost 3D printing for science, education and sustainable development. *Low-Cost 3D Printing*, 11(1).
- Cansoy, R. (2001). *Kimya öğretiminde model ve deneysel yöntemin başarıya olan etkisi* (Yüksek Lisans Tezi), Marmara Üniversitesi.
- Cartier, J., Rudolph, J., & Stewart, J. (2001). *The nature and structure of scientific models*. Wisconsin: NCISLA.
- 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. <https://doi.org/10.1021/ed500881b>

- Chatterjee, H. J., Hannan, L., & Thomson, L. (2015). Introduction to object-based learning and multisensory engagement. In H. J. Chatterjee & L. Hannan (Eds.), *Engaging the senses: Object-based learning in higher education* (pp. 1–20). Ashgate.
- Chien, Y. H. (2017). Developing a pre-engineering curriculum for 3D printing skills for high school technology education. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 13(7), 2941-2958.
- Chien, Y. H., & Chu, P. Y. (2018). The different learning outcomes of high school and college students on a 3D-printing STEAM engineering design curriculum. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 16(6), 1047–1064. <https://doi.org/10.1007/s10763-017-9832-4>
- Cochran, J. A., Cochran, Z., Laney, K., & Dean, M. (2016). Expanding geometry understanding with 3D printing. *Mathematics Teaching in the Middle School*, 21(9), 534–542. <https://pubs.nctm.org/view/journals/mtms/21/9/article-p534.xml>
- Crump, S. (1988). Apparatus and method for creating three-dimensional objects. *U.S. Patent No. 5,121,329*.
- Creswell, J. W., & Creswell, J. D. (2017). *Research design: Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches*. Sage publications.
- Creswell, J. W., & Plano Clark, V. L. (2023). Revisiting mixed methods research designs twenty years later. *Handbook of Mixed Methods Research Designs*, 1(1), 21–36.
- Çarıkcı, K., Meral, H., Berkil, S., Çalışır, A., Önala, L., & Arslan, Ö. (2024). Nitel araştırmalarda tematik analiz. *Socrates Journal of Interdisciplinary Social Researches*, 10(37), 127–140.
- Çekirge, E. (2019). *3B yazıcı kullanımının akademik başarı, tutum, motivasyon ve eleştirel düşünme eğilimlerine etkisi* (Yüksek Lisans Tezi). Necmettin Erbakan Üniversitesi.
- Çetin, E. (2020). Uzaktan eğitimde uzamsal görselleştirme: 3 boyutlu tasarım sürecinin uzamsal yeteneğe etkisi. *Kastamonu Eğitim Dergisi*, 28(6), 2295–2304.
- Çevik, E. E., Helvacı, S. C., Bozdemir, H., & Kurnaz, M. A. (2019). Fen bilgisi öğretmeni adaylarının uzamsal yeteneklerinin incelenmesi. *Bayburt Eğitim Fakültesi Dergisi*, 14(27), 165–182.
- Çokluk, Ö., Şekercioğlu, G., & Büyüköztürk, Ş. (2012). *Sosyal bilimler için çok değişkenli istatistik: SPSS ve LISREL uygulamaları* (Vol. 2). Pegem Akademi.
- Çorlu, M., & Aydın, E. (2016). Entegre STEM projeleri aracılığıyla öğrenme kazanımlarının değerlendirilmesi. *Uluslararası Matematik, Bilim ve Teknoloji Eğitimi Dergisi*, 4(1), 20–29. <https://doi.org/10.18404/ijemst.35021>
- Dağlı, H. (2022). *7. sınıf fen eğitiminde uzaktan eğitim yoluyla verilen üç boyutlu tasarım uygulamasının etkililiği: Vaka çalışması* (Yüksek Lisans Tezi). Necmettin Erbakan Üniversitesi.

- 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.
- De Vries, P., Klaassen, R., & Kamp, A. (2017, June). Emerging technologies in engineering education: can we make it work?. In *Proceedings of the 13th International CDIO Conference, Calgary, AB, Canada* (pp. 18-22).
- Demir, M., & Seki, Y. (2023). FDM baskılı PLA parçaları ile yüzey işlenmiş selülozik dokuma kumaşlar arasındaki arayüz yapışma mukavemeti. *Hızlı Prototipleme Dergisi*, 29(6), 1166-1174.
- Doğan, O., & Baloglu, N. (2020). Endüstri 4.0 kavramsal farkındalık ölçeği. *Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi Sosyal ve Ekonomik Araştırmalar Dergisi*, 22(38), 58-81.
- 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.
- Dwiningsih, K., Fajaroh, F., Parlan, P., Munzil, M., & Habiddin, H. (2022). 3D Molecular Interactive Multimedia for Building Chemistry Students' Spatial Ability. *International Journal of Emerging Technologies in Learning (IJET)*, 17(14), 253-262.
- Ekserin, E. (2022). *Sosyal bilgiler öğretiminde 3D yazıcı kullanımının öğrencilerin motivasyon, tutum ve başarılarına etkisi* (Yüksek lisans tezi). Kütahya Dumlupınar Üniversitesi.
- Endeshaw, H., & O'Leary, D. J. (2025). *Demystifying misconceptions in introductory undergraduate chemistry education with 3D printed molecular orbitals* (Senior thesis, Pomona College). Pomona Senior Theses, 335. https://scholarship.claremont.edu/pomona_theses/335
- Erdoğan, N., Çorlu, M.S., Capraro, R.M. (2013). Defining innovation literacy: do robotics programs help students develop innovation literacy skills?. *International Online Journal of Educational Sciences*, 5(1), 1-9.
- Erkek, Ö., Işıksal, M., & Çakıroğlu, E. (2017). A study on pre-service teachers' spatial visualization ability and spatial anxiety. *Kastamonu Education Journal*, 25(1), 33-50.
- Ertmer, P. A., & Ottenbreit-Leftwich, A. T. (2010). Teacher technology change: How knowledge, confidence, beliefs, and culture intersect. *Journal of Research on Technology in Education*, 42(3), 255-284.
- Flick, U. (2014). *An Introduction to Qualitative Research*. New York: Sage.
- Furió, C., Azcona, R., Guisasola, J. & Ratcliffe, M. (2000). Difficulties in teaching the concept of amount of substance and mole. *International Journal of Science Education*, 22(12), 1285-1304.
- Gebhardt, A., & Fateri, M. (2013). 3D printing and its applications. *RTEjournal-Forum für Rapid Technologie*, 2013(1). http://rtejournal.de/rte/article/view/2013_1/234

- Gibson, I., Rosen, D., & Stucker, B. (2015). *Additive manufacturing technologies: 3D printing, rapid prototyping, and direct digital manufacturing* (2nd ed.). New York: Springer.
- Gilbert, J. K. (2004). Models and modelling: Routes to more authentic science education. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 2(2), 115–130. <https://doi.org/10.1007/s10763-004-3186-4>
- Gobert, J. D., & Buckley, B. C. (2000). Introduction to model-based teaching and learning in science education. *International Journal of Science Education*, 22(9), 891-894.
- Golledge, R. G. (1999). *Wayfinding behavior: Cognitive mapping and other spatial processes*. Baltimore: Johns Hopkins University Press.
- Goyanes, A., Det-Amornrat, U., Wang, J., Basit, A. W., & Gaisford, S. (2016). 3D scanning and 3D printing as innovative technologies for fabricating personalized topical drug delivery systems. *Journal of controlled release*, 234, 41-48.
- 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.
- 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. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.8b00747>
- Gülçiçek, Ç., & Güneş, B. (2004). Fen öğretiminde kavramların somutlaştırılması: modelleme stratejisi, bilgisayar simülasyonları ve analogiler. *Körpeoğlu Journal*, 29(134), 36-48.
- Güleryüz, H. (2020). *3D yazıcı ve robotik kodlama uygulamalarının öğretmen adaylarının 21. yüzyıl öğrenen becerileri, STEM farkındalık ve STEM öğretmen öz yeterliğine etkisi* [Doktora tezi], Atatürk Üniversitesi.
- Güleryüz, H., Dilber, R., & Erdoğan, İ. (2019). STEM uygulamalarında öğretmen adaylarının 3D yazıcı kullanımı hakkındaki görüşleri. *Ağrı İbrahim Çeçen Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 5(2), 1–8.
- Gurel, D. K., Eryilmaz, A., & McDermott, L. C. (2015). A review and comparison of diagnostic instruments to identify students' misconceptions in science. *EURASIA Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 11(5), 989–1008. <https://doi.org/10.12973/eurasia.2015.1369a>
- Gun, E., & Atasoy, B. (2017). The effects of augmented reality on elementary school students' spatial ability and academic achievement. *Eğitim ve Bilim-Education and Science*, 42(191). <https://doi.org/10.15390/EB.2017.7140>
- Harle, M., & Towns, M. (2011). A review of spatial ability literature, its connection to chemistry, and implications for instruction. *Journal of Chemical Education*, 88(3), 351–360. <https://doi.org/10.1021/ed900003n>

- Harrison, A. G. (2001). How do teachers and textbook writers model scientific ideas for students? *Research in Science Education*, 31, 401-435.
- Heale, R., & Twycross, A. (2015). Validity and reliability in quantitative studies. *Evidence-Based Nursing*, 18(3), 66-67.
- Hegarty, M. (2014). Spatial thinking in undergraduate science education. *Spatial Cognition & Computation*, 14, 142-167. doi.org/10.1080/13875868.2014.889696
- Hegarty, M., & Waller, D. (2004). A dissociation between mental rotation and perspective-taking spatial abilities. *Intelligence*, 32(2), 175-191.
- Huang, T. C., & Lin, C. Y. (2017). From 3D modeling to 3D printing: Development of a differentiated spatial ability teaching model. *Telematics and Informatics*, 34(2), 604-613.
- Hull, C. W. (1986). *Apparatus for production of three-dimensional objects by stereolithography* (U.S. Patent No. 4,575,330). Google Patents.
- İbiş, A. (2019). *3 boyutlu modelleme ve yazdırmanın 6. sınıf sosyal bilgiler dersine entegrasyon süreci ve bu sürece ilişkin öğrenci görüşleri* (Yüksek lisans tezi). Anadolu Üniversitesi.
- Jaksic, N. I. (2015, June). What to do when 3D Printers go wrong: Laboratory Experiences. In *2015 ASEE Annual Conference & Exposition* (pp. 26-1730).
- Jirout, J. J., & Newcombe, N. S. (2015). Building blocks for developing spatial skills: Evidence from a large, representative US sample. *Psychological science*, 26(3), 302-310.
- Jones, O. A. H., & Spencer, M. J. S. (2018). A simplified method for the 3D printing of molecular models for chemical education. *Journal of Chemical Education*, 95(1), 88-96. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.7b00474>
- Justi, R. S., & Gilbert, J. K. (2002). Modelling, teachers' views on the nature of modelling, and implications for the education of modellers. *International Journal of Science Education*, 24(4), 369-387.
- Karagöz, B., & Şahin Çakır, Ç. (2020). Fen bilgisi öğretmen adaylarının 3 boyutlu yazıcılar hakkındaki görüşlerinin belirlenmesi. *Karaelmas Eğitim Bilimleri Dergisi*, 8, 303-317.
- Karaismailoğlu, F. (2022). *Ters yüz sınıf modeli çerçevesinde gerçekleştirilen 3D modellemenin fen bilgisi öğretmen adaylarının uzamsal yetenekleri ve akademik başarıları üzerine etkisinin incelenmesi* (Yüksek lisans tezi), Marmara Üniversitesi.
- Karaki, A., Hammoud, A., Masad, E., Khraisheh, M., Abdala, A. A., & Ouederni, M. (2024). A review on material extrusion (MEX) of polyethylene-challenges, opportunities, and future prospects. *Polymer*, 127333.

- Karaman, S., Yıldırım, S., & Kaban, A. (2008). Öğrenme 2.0 yaygınlaşıyor: Web 2.0 uygulamalarının eğitimde kullanımına ilişkin araştırmalar ve sonuçları. *XIII. Türkiye’de İnternet Konferansı Bildirileri*, 22(23), 35-40.
- Karasar, N. (2014). Bilimsel Araştırma Yöntemi- Kavramlar İlkeler Teknikler. Ankara: Nobel.
- Karip, E. (2022). *Akıllı polimerden biyokompozit malzeme tasarımı ve 3 boyutlu yazıcıda kullanımı* (Doktora tezi). Fırat Üniversitesi.
- Katrancı, M., & Uygun, M. (2013). Sınıfların Türkçe derslerinde teknolojik kullanımına yöneliktir. *Adıyaman Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 11, 773-797.
- Katsioloudis, P., & Jones, M. (2015). Using computer-aided design software and 3D printers to improve spatial visualization. *Technology and engineering teacher*, 74(8), 14-20.
- Kavas, O. (2022). 4. sınıf kesirler ünitesinin öğretiminde 3B yazıcıların kullanımının öğrencilerin akademik başarılarına etkisi (Yüksek lisans tezi). Afyon Kocatepe Üniversitesi.
- Kaya, D. (2019). Sekizinci sınıf öğrencilerinin uzamsal görselleştirme, zihinsel döndürme ve zihinde canlandırma becerilerinin matematik odaklı epistemolojik inançlar ve bazı değişkenlerle ilişkisi. *Kastamonu Eğitim Dergisi*, 27(4), 1787–1798. <https://doi.org/10.24106/kefdergi.3329>
- Kinncar, J., & Martin, M. (1992). *Nature of biology: Book one*. The Jacaranda Press.
- Kökhan, S., & Özcan, U. (2018). 3D yazıcıların eğitimde kullanımı. *Bilim Eğitim Sanat ve Teknoloji Dergisi*, 2(1), 80–85.
- Kuş, E. (2009). *Nicel-nitel araştırma teknikleri: Sosyal bilimlerde araştırma teknikleri nicel mi, nitel mi?* (3. baskı). Anı Yayıncılık.
- Küçüksolak, M., & Sezgin, E. (2019). Eğitimde 3B yazıcı teknolojilerinin kullanımına yönelik dezavantajların incelenmesi. *Eğitim Teknolojileri Dergisi*, 4(2), 45-56.
- Küçüksolak, S. (2019). Üç boyutlu yazıcıların eğitimde kullanımı: Öğrenciler üzerine bir uygulama (Yüksek lisans tezi), Aksaray Üniversitesi.
- Laplume, A. O., Petersen, B., & Pearce, J. M. (2016). Global value chains from a 3D printing perspective. *Journal of International Business Studies*, 47(5), 595-609.
- Leopold, C., Gorska, R. A., & Sorby, S. A. (2001). International experiences in developing the spatial visualization abilities of engineering students. *Journal for Geometry and Graphics*, 5(1), 81-91.
- Linn, M. C., & Petersen, A. C. (1985). Emergence and characterization of sex differences in spatial ability: A meta-analysis. *Child Development*, 1479–1498.
- Lipson, H., & Kurman, M. (2013). *Fabricated: The new world of 3D printing*. John Wiley & Sons.

- Lohman, D. F. (1993, July 8). *Spatial ability and g* [Conference presentation]. First Spearman Seminar, University of Plymouth, England. <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.111.7385&rep=rep1&type=pdf>
- Lohman, D. F. (2013). Spatial ability and g. In *Human abilities* (pp. 97-116). Psychology Press.
- Marshall, C., & Rossman, G. B. (2014). *Designing Qualitative Research*. New York: Sage.
- McCollum, B. M., Regier, L., Leong, J., Simpson, S., & Sterner, S. (2014). The effects of using touch- screen devices on students' molecular visualization and representational competence skills. *Journal of Chemical Education*, 91(11), 1810–1817. <https://doi.org/10.1021/ed500059h>
- Mika, L., & Šmejkal, P. (2016). 3D printed VSEPR models and 3D periodic tables for chemistry education. In *DidSci 2016* (p. 107).
- Meyer, S. C. (2015). 3D printing of protein models in an undergraduate laboratory: Leucine zippers. *Journal of Chemical Education*, 92(12), 2120–2125. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.5b00320>
- Miles, M. B., & Huberman, A. M. (1994). *Qualitative data analysis: An expanded sourcebook* (2nd ed.). Thousand Oaks, CA: Sage Publications.
- Moore, E. B., Herzog, T. A., & Perkins, K. K. (2013). Interactive simulations as implicit support for guided inquiry. *Chemistry Education Research and Practice*, 14(3), 257-268.
- Morse, J. M. (1991). Evaluating qualitative research. *Qualitative Health Research*, 1(3), 283-286.
- Murphy, S. V., & Atala, A. (2014). 3D bioprinting of tissues and organs. *Nature Biotechnology*, 32(8), 773-785.
- Newcombe, N. S. (2010). Picture this: Increasing math and science learning by improving spatial thinking. *American Educator*, 34(2), 29.
- Noorani, R. (2017). *3D printing: technology, applications, and selection*. CRC Press.
- Novak, E., & Wisdom, S. (2018). Effects of 3D printing project-based learning on preservice elementary teachers' science attitudes, science content knowledge, and anxiety about teaching science. *Journal of Science Education and Technology*, 27(5), 412-432.
- Oruç, P. (2020). 3D digitisation of cultural heritage: Copyright implications of the methods, purposes and collaboration. *Journal of Intellectual Property, Information Technology and Electronic Commerce Law*, 11, 149–160.
- Öztürk, Y., & Burdurlu, E. (2021). 3D yazıcı ile yazdırılmış malzemede ahşap kaplama laminasyonunun eğilme direncine etkisi. *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 23(3), 885-891.

- Paukstelis, P. J. (2018). MolPrint3D: Enhanced 3D printing of ball-and-stick molecular models. *Journal of Chemical Education*, 95(1), 169–172. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.7b00664>
- Pekdağ, B. (2024). Kavram, Kavram Öğrenme ve Kavramsal Değişim: Semiyotik, Semantik, Didaktik ve Bilişsel Psikolojik Yaklaşım. B. Pekdağ & N. Azizoğlu (Eds.), *Kavramsal Değişim Kuramları ve Uygulamaları* içinde (ss.357-400). Bursa: Dora Yayınevi.
- Penny, M. R., Cao, Z. J., Patel, B., Sil dos Santos, B., Asquith, C. R. M., Szulc, B. R., Rao, Z. X., Muwaffak, Z., Malkinson, J. P., & 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. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.7b00135>
- Pernaa, J., & Wiedmer, S. (2020). 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*, 2(2), 20190005.
- Petrovic, V., Vicente Haro Gonzalez, J., Jordá Ferrando, O., Delgado Gordillo, J., Ramón Blasco Puchades, J., & Portolés Griñan, L. (2011). Additive layered manufacturing: sectors of industrial application shown through case studies. *International Journal of Production Research*, 49(4), 1061-1079.
- 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.
- Prater, T., Kim, T., Roman, M. C., & Mueller, R. P. (2018). NASA's Centennial Challenge for 3DPrinted Habitat: Phase II Outcomes and Phase III Competition Overview. In *2018 AIAA SPACE and Astronautics Forum and Exposition* (p. 5405).
- Rahmawati, Y., Dianhar, H., & Arifin, F. (2021). Analysing students' spatial abilities in chemistry learning using 3D virtual representation. *Education Sciences*, 11(4), 185.
- 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.
- Ransikarbum, K., & Khamhong, P. (2021). Integrated fuzzy analytic hierarchy process and technique for order of preference by similarity to ideal solution for additive manufacturing printer selection. *Journal of Materials Engineering and Performance*, 30(9), 6481–6492. <https://doi.org/10.1007/s11665-021-05728-6>
- Rayan, B., ve Rayan, A. (2017). Avogadro program for chemistry education: To what extent can molecular visualization and three-dimensional simulations enhance meaningful chemistry learning. *World Journal of Chemical Education*, 5(4), 136-141.
- Renner, M., & Griesbeck, A. (2020). Think and print: 3D printing of chemical experiments. *Journal of Chemical Education*, 97(10), 3683-3689.

- Rosa, B., Mognol, P., & Hascoet, J. Y. (2016). Modelling and optimization of laser polishing of additive laser manufacturing surfaces. *Rapid Prototyping Journal*, 22(6), 956–964. <https://doi.org/10.1108/RPJ-03-2015-0038>
- 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. <https://doi.org/10.1021/ed500938w>
- Sarıkaya, M. (2007). Kolay sağlanabilir malzemelerle molekül model yapımı. *Türk Eğitim Bilimleri Dergisi*, 5(3), 513-537.
- Saygıner, Ş., & Laçın, E. (2024). Teknoloji destekli eğitsel etkinliklerin özel eğitim öğretmenlerinin dijital yeterlik düzeylerine etkisinin incelenmesi. *Mustafa Kemal Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 8(14), 26-39. <https://doi.org/10.56677/mkuefder.1532760>
- Scaifani, 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.
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.jvlc.2015.01.001>
- Schwarz, C. V., & Gwekwerere, Y. N. (2007). Using a guided inquiry and modeling instructional framework (EIMA) to support preservice K-8 science teaching. *Science Education*, 91(1), 158-186.
- Shepard, R. N., & Metzler, J. (1971). Mental rotation of three-dimensional objects. *Science*, 171(3972), 701-703.
- Singh, B., Kumar, R., Chohan, J., Sharma, S., Singh, J., Ilyas, R. A., Rangappa, S. M., Siengchin, S., Naresh, K., Raghu, S., & James, R. (2022). Investigation of copper reinforced Acrylonitrile Butadiene Styrene and Nylon 6 based thermoplastic polymer nanocomposite filaments for 3D printing of electronic components. *High Performance Polymers*, 35(1), 115–125. <https://doi.org/10.1177/09540083221112307>
- Smith, D. W., Lampley, S. A., Dolan, B., Williams, G., Schleppenbach, D., & Blair, M. (2020). Effect of 3D manipulatives on students with visual impairments who are learning chemistry constructs: A pilot study. *Journal of Visual Impairment & Blindness*, 114(5), 370-381.
- Smit, J. J. A. & Finegold, M. (1995). Models in Physics: Perceptions Held By Final-Year Prospective Physical Science Teachers Studying at South African Universities. *International Journal of Science Education*. 17(5), 621-634.
- Sorby, S. A. (2007). Developing 3D spatial skills for engineering students. *Australasian Journal of Engineering Education*, 13(1), 1-11.

- Sorby, S. A. (2009). Educational research in developing 3-D spatial skills for engineering students. *International Journal of Science Education*, 31(3), 459-480.
- Strauss, A. L., & Corbin, J. (1990). *Basics of Qualitative Research: Grounded Theory Procedures and Techniques*. Sage.
- Stieff, M., & Raje, S. (2010). Expert algorithmic and imagistic problem solving strategies in advanced chemistry. *Spatial Cognition & Computation*, 10(1), 53-81.
- Stieff, M., Ryu, M., Dixon, B., & Hegarty, M. (2012). The role of spatial ability and strategy preference for spatial problem solving in organic chemistry. *Journal of Chemical Education*, 89(7), 854-859. <https://doi.org/10.1021/ed200133d>
- Sürmen, H. K. (2019). Eklemeli İmalat (3B Baskı): Teknolojiler ve Uygulamalar. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 24(2), 373-392.
- Sütçü, N. D., & Oral, B. (2019). Uzamsal görselleştirme testinin geliştirilmesi: geçerlik ve güvenilirlik çalışmaları. *Kastamonu Eğitim Dergisi*, 27(3), 1179-1195.
- Swennen, G. R., Pottel, L., & Haers, P. E. (2020). Custom-made 3D-printed face masks in case of pandemic crisis situations with a lack of commercially available FFP2/3 masks. *International Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 49(5), 673-677.
- Şahin, K., & Turan, B. O. (2018). Üç boyutlu yazıcı teknolojilerinin karşılaştırmalı analizi. *Stratejik ve Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 2(2), 97-116.
- Taber, K. S. (2013). Revisiting the chemistry triplet: drawing upon the nature of chemical knowledge and the psychology of learning to inform chemistry education. *Chemistry Education Research and Practice*, 14(2), 156-168.
- Taş, S., & Yavuz, A. (2020). 7. sınıf öğrencilerinin uzamsal yetenekleri ile zihnin geometrik alışkanlıkları arasındaki ilişki. *OPUS Uluslararası Toplum Araştırmaları Dergisi*, 15(25), 3120-3137.
- Tian, X., Liu, T., Yang, C., Wang, Q., & Li, D. (2016). Interface and performance of 3D printed continuous carbon fiber reinforced PLA composites. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 88, 198-205.
- Topçuoğlu, N. (2022). Kimya eğitiminde atom ve molekül yapılarının öğretiminde üç boyutlu tasarım uygulamaları (Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi). Kastamonu Üniversitesi.
- Topçuoğlu, 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. *International Journal of Field Education*, 7(1), 156-184.
- 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.

- Tseng, M., & Yang, Y. (2020). Integrating 3D Printing Technology in Chemistry Education to Enhance Spatial Ability. *Journal of Chemical Education*, 97(10), 3585-3592. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.0c00371>
- Tümer, M. B. (2020). *Üç boyutlu yazıcılar ve günümüz mimarisinde kullanımı* (Yüksek lisans tezi). Işık Üniversitesi.
- Turğut, M. (2007). Matematik öğretiminde üç boyutlu geometrik modellerin kullanımı. *Milli Eğitim Dergisi*, 174, 34-45.
- Turğut, M., & Yılmaz, S. (2012). İlköğretim 7. ve 8. sınıfların uzamsal çalışmalarının incelenmesi. *Dicle Üniversitesi Ziya Gökalp Eğitim Fakültesi Dergisi*, 19, 69-79.
- Ünal, S., & Benzer, A. İ. (2021). Modelleme temelli öğrenme: Türkiye’de 2004-2019 yılları arasında yayımlanmış makalelerin içerik analizi. *Atatürk Üniversitesi Kazım Karabekir Eğitim Fakültesi Dergisi*, 42, 185-206.
- Ünal, S., Coştu, B., & Ayas, A. (2010). Secondary school students’ misconceptions of covalent bonding. *Journal of Turkish Science Education*, 7(2), 3–29.
- Ulusoy, F. (2011). *Kimya eğitiminde Model uygulamalarının ve bilgisayar uygulamalarının ve bilgisayar destekli öğretimin öğrenme ürünlerine etkisi: 12. sınıf kimyasal bağlar örneği* (Doktora tezi), Marmara Üniversitesi.
- Uttal, D. H., & Cohen, C. A. (2012). Spatial thinking and STEM education: When, why and how. *Psychology of Learning and Motivation*, 57, 147-181.
- Uttal, D. H., Meadow, N. G., Tipton, E., Hand, L. L., Alden, A. R., Warren, C., & Newcombe, N. S. (2013). The malleability of spatial skills: a meta-analysis of training studies. *Psychological bulletin*, 139(2), 352.
- Uyulgan, M. A., Akkuzu, N., & Alpat, Ş. (2014). Assessing the students’ understanding related to molecular geometry using a two-tier diagnostic test. *Journal of Baltic Science Education*, 13(6), 839-855.
- Uyulgan, M. A., & Cengiz, B. E. (2024). Kimya öğretiminde 3B baskı uygulamaları. G. Şendur & M. A. Uyulgan (Ed.), *Kimya öğretiminde teknoloji uygulamaları* içinde (ss. 233–260). Pegem Akademi Yayıncılık.
- 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. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.6b00891>
- Verdine, B. N., Golinkoff, R. M., Hirsh-Pasek, K., & Newcombe, N. S. (2017). Links between spatial and mathematical skills across the preschool years: V. Results—Individual difference factors in spatial and mathematical skills. *Monographs of the Society for Research in Child Development*, 82(1), 81–88.

- Wai, J., Lubinski, D., & Benbow, C. P. (2009). Spatial ability for STEM domains: aligning over 50 years of cumulative psychological knowledge solidifies its importance. *Journal of Educational Psychology*, 101(4), 817.
- Wang, Z., Chi, S., Hu, K., & Li, W. (2014). Chemistry teachers' knowledge and application of models. *Journal of Science Education and Technology*, 23(2), 211–226. <https://doi.org/10.1007/s10956-013-9455-7>
- Wohlers, T., & Caffrey, T. (2013). *Additive manufacturing and 3D printing: State of the industry annual worldwide progress report 2014*. Wohlers Associates.
- Yang, L., Grottkau, B., He, Z., & Ye, C. (2017). Three dimensional printing technology and materials for treatment of elbow fractures. *International Orthopaedics*, 41, 2381–2387.
- Yavuz, S., & Büyükeksi, C. (2018). Molekül modeli uzamsal yetenek testi geliştirme çalışması. *Türkiye Kimya Derneği Dergisi Kısım C: Kimya Eğitimi*, 3(2), 59–76.
- Yıldırım, G., Yıldırım, S., & Çelik, E. (2018). Yeni bir bakış-3 boyutlu yazıcılar ve öğretimsel kullanımı: Bir içerik analizi. *Bayburt Eğitim Fakültesi Dergisi*, 13(25), 163–184.
- Yıldırım, A., & Şimşek, H. (2006). *Sosyal bilimlerde nitel araştırma yöntemleri* (5. baskı). Seçkin Yayıncılık.
- Yıldırım, A., & Şimşek, H. (2010). *Nitel araştırma yöntemleri* (9. baskı). Seçkin Yayıncılık.
- Yılmaz, T. (2012). *Model tabanlı ve bilgisayar tabanlı öğretimin 9. sınıf öğrencilerinin uzamsal yetenekleri ve iyonik örgü konusundaki kavramsal anlayışları üzerindeki etkilerinin karşılaştırılması* (Yayınlanmamış yüksek lisans tezi). Boğaziçi Üniversitesi.
- Yılmaz, F., Arar, M. E., & Koç, E. (2020). 3D baskı ile hızlı prototip ve son ürün üretimi. *Metallurji ve Malzeme Mühendisliği Odası Dergisi*, 168, 35–40. https://www.metalurji.org.tr/dergi/dergi168/d168_3540.pdf
- Yüksel, N. S. (2013). *Uzamsal yetenek, bileşenleri ve uzamsal yeteneğin geliştirilmesi üzerine*. (Doktora Tezi). Hacettepe Üniversitesi.
- Yüksel, N. S., & Bülbül, A. (2014). Uzamsal görselleştirme üzerine test geliştirme çalışması. *Necatibey Eğitim Fakültesi Elektronik Fen ve Matematik Eğitimi Dergisi*, 8(2), 124–142.
- Zastrow, M. (2020). 3D printing gets bigger, faster and stronger. *Nature*, 578(7793), 20–24.

EKLER

EK 1.

ÖĞRENCİNİN AKADEMİK ÖZGEÇMİŞİ

Kişisel Bilgiler			
Adı ve Soyadı	Büşra Emeti CENGİZ		
E-postası/Web Sayfası			
Bildiği Yabancı Diller	İngilizce (A2 Seviyesi)		
Uzmanlık Alanı	Kimya Eğitimi		
Öğrenim Bilgileri			
	Üniversite	Bölüm	Yıl
Lisans	Dokuz Eylül Üniversitesi	Kimya Öğretmenliği	2020
Tez Başlığı	Kimya Öğretmen Adaylarının Teknoloji Destekli Üç Boyutlu Molekül Modellemelerinin Kavramsal Anlamaları ve Uzamsal Yetenekleri Bağlamında İncelenmesi: Karma Yöntem Araştırması		
Tez Danışmanı	Prof. Dr. Melis Arzu UYULGAN		
Akademik Eserler			
Bildiri Özetleri:			
Cengiz, B. E., Korkmaz Güneş, P. (2024, Kasım 12-17). Ortaöğretim 11.Sınıfların Teknoloji Destekli 3 Boyutlu Molekül Modellemelerinin Kavramsal Anlamalarına Etkisi [Özet bildirir]. Uluslararası ESEP Eğitim Bilimleri ve Uygulamalar Kongresi, Nevşehir, Türkiye. *Cengiz, B. E., & Uyulgan, M. A. (2024, Eylül 4–7). Kimya öğretmen adaylarının teknoloji destekli üç boyutlu molekül modellemelerinin uzamsal yetenekleri bağlamında incelenmesi [Özet bildirir]. 16. Ulusal Fen Bilimleri ve Matematik Eğitimi Kongresi, Edirne, Türkiye. Cengiz, B. E., & Uyulgan, M. A. (2023, Eylül 6–8). Kimya eğitiminde 3D baskı üzerine bir meta-sentez çalışması [Özet bildirir]. 8. Ulusal Kimya Eğitimi Kongresi, İstanbul, Türkiye.			
Kitap Bölümü:			
Uyulgan, M. A., & Cengiz, B. E. (2024). Kimya öğretiminde 3B baskı uygulamaları. G. Şendur & M. A. Uyulgan (Ed.), <i>Kimya öğretiminde teknoloji uygulamaları</i> içinde (ss. 233–260). Pegem Akademi Yayıncılık.			
Seminer:			
Cengiz, B. E., Korkmaz Güneş, P. (2025, Mart 22). Ortaöğretim 11.Sınıf öğrencilerinin teknoloji destekli 3 boyutlu molekül modellemelerinin uzamsal yeteneklerine etkisinin incelenmesi. Yaratıcı Yenilikçi Öğretmen Semineri. İTK Kampüs, İzmir, Türkiye.			

EK 2. UYGULAMA İZİNLERİ



T.C.
DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ REKTÖRLÜĞÜ
HUKUK MÜŞAVİRLİĞİ



Sayı : E-87347630-659-863318

15.01.2024

Konu : Araştırma İzni- Büşra Emeti CENGİZ

EĞİTİM BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜNE

İlgi : a) 18.12.2023 tarihli ve E-87347630-659-830499 sayılı yazımız.

b) Buca Eğitim Fakültesi Dekanlığının 09/01/2024 tarih ve 852598 sayılı yazısı. (1 Sayfa).

İlgi (a)'da kayıtlı yazımız ile bildirilen Enstitünüz öğrencisi Büşra Emeti CENGİZ'in "Kimya Öğretmen Adaylarının Teknoloji Destekli Üç Boyutlu Molekül Modellemelerinin Kavramsal Anlamaları ve Uzamsal Yetenekleri Bağlamında İncelenmesi: Bir Karma Yöntem Araştırması" konulu çalışma kapsamında uygulama yapma talebine ilişkin olarak tarafımıza gönderilen ilgi (b)'de kayıtlı cevabi yazı ve ekleri, işbu yazımız ekinde sunulmaktadır.

Bilgilerini ve gereğini rica ederim.

Prof. Dr. Nükhet HOTAR
Rektör

Ek: İlgi (b) Yazı (1 Sayfa)

Bu belge, güvenli elektronik imza ile imzalanmıştır.
Doğrulama Kodu: 5FF731D8-020B-4ED4-9858-C2FD8745D920 Doğrulama Adresi: <https://turkiye.gov.tr/dokuz-eylul-universitesi-ebys>
Adres: Kültür Mahallesi, Cumhuriyet Bly No:144, 35220 Konak/İzmir Bilgi için: Gülcan TOPCU
Telefon No: Belgegeçer No: Sürekli İsci
e-posta: hukukmusavirligi@deu.edu.tr internet adresi: <https://hukukmusavirligi.deu.edu.tr> Telefon No: 232 431 11 11
KEP Adresi: dokuzeyluluniversitesi@hs01.kep.tr





T.C.
DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
BUCA EĞİTİM FAKÜLTESİ
Öğrenci İşleri Birimi



Sayı : E-85316909-659[659]-852598

09.01.2024

Konu : Araştırma İzni- Büşra Emeti CENGİZ

HUKUK MÜŞAVİRLİĞİNE

İlgi : Hukuk Müşavirliğinin 18.12.2023 tarihli ve E-87347630-659-830499 sayılı yazısı.

Üniversitemiz Eğitim Bilimleri Enstitüsü öğrencisi Büşra Emeti CENGİZ, "*Kimya Öğretmen Adaylarının Teknoloji Destekli Üç Boyutlu Molekül Modellemelerinin Kavramsal Anlamaları ve Uzamsal Yetenekleri Bağlamında İncelenmesi: Bir Karma Yöntem Araştırması*" başlıklı çalışması kapsamında ölçek uygulama talebi Dekanlığımızca uygun görülmüştür.

Bilgilerini ve gereğini arz ederim.

Prof. Dr. Sibel YEŞİLDERE İMRE
Dekan V.

Bu belge, güvenli elektronik imza ile imzalanmıştır.

Doğrulama Kodu: 8CAD8CA-E4C7-4660-A1E6-029967800C59 Doğrulama Adresi: <https://turkiye.gov.tr/dokuz-eylul-universitesi-ebys>

Adres: Uğur Mumcu Cad. 135. Sk. No:3/A 35150 Buca-İZMİR

Faks:

KEP Adresi : dokuzeyluluniversitesi@hs01.kep.tr

Bilgi için:Önder ŞENEL
Bilgisayar İşletmeni



EK 3. ETİK İZİN



T.C.
DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ REKTÖRLÜĞÜ
HUKUK MÜŞAVİRLİĞİ

Sayı : E-87347630-659-759304

12.10.2023

Konu : Etik Kurul İzni- Büşra EMETİ CENGİZ

EĞİTİM BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜNE

İlgi : 05/10/2023 tarih ve 750331 sayılı yazınız.

İlgide kayıtlı yazınız ile bildirilen başvuru, Üniversitemiz Sosyal ve Beşeri Bilimler Bilimsel Araştırma ve Yayın Etik Kurulunun 10/10/2023 tarihli toplantısında değerlendirilmiş ve toplantıda alınan 11 sayılı karar ile Büşra EMETİ CENGİZ'in, "*Kimya Öğretmen Adaylarının Teknoloji Destekli Üç Boyutlu Molekül Modellerinin Kavramsal Anlamları ve Uzamsal Yetenekleri Bağlamında İncelenmesi: Bir Karma Yöntem Araştırması*" başlıklı çalışmasının etik açıdan uygun olduğuna karar verilmiş olup, alınan karar Makamınızca onaylanmıştır.

Bilgilerini ve gereğini rica ederim.

Prof.Dr. Esra BUKOVA GÜZEL
Rektör V.

Bu belge, güvenli elektronik imza ile imzalanmıştır.

Doğrulama Kodu: FBD9120B-C520-4C06-BCBD-EF28AB49411B Doğrulama Adresi: <https://turkiye.gov.tr/dokuz-eyul-universitesi-ebys>
Adres: Kültür Mahallesi, Cumhuriyet Biv No:144, 35220 Konak/İzmir
KEP Adresi : dokuzeyuluniversitesi@hs01.kep.tr

Bilgi için: Gülcan TOPÇU
Sürekli İşçi

Telefon No:



EK 4. ÖLÇME ARAÇLARININ UYGULANMA İZİNLERİ

Kimden:

Konu: **Re: Ölçek izni**

Tarih: 13 Ocak 2023, 21:21:46

Kime: **Emeti Cengiz**

Merhaba Büşra hocam

Molekül Modeli Uzamsal Yetenek Testi'ni çalışmalarınızda kullanmanızdan mutluluk duyarım.

Testin doğru cevapları makalede Tablo-2'de yıldızla belirtilmiştir. Her sorunun puanı eşittir. Test 28 puan üzerinden değerlendirilmiştir.

<https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/592908>

YAVUZ, S., & BÜYÜKEKŞİ, C. (2018). Molekül Modeli Uzamsal Yetenek Testi Geliştirme Çalışması. Türkiye Kimya Derneği Dergisi Kısım C: Kimya Eğitimi, 3(2), 59-76.

Arş. Gör. Cem BÜYÜKEKŞİ

Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi

Ereğli Eğitim Fakültesi

Matematik ve Fen Bilimleri Bölümü / Kimya Eğitimi A.B.D.

2023-01-12 20:25, Emeti Cengiz yazmış:

Sayın Hocam,

Ben Dokuz Eylül Üniversitesi Eğitim Bilimleri Enstitüsü Kimya Öğretmenliği Programı Tezli Yüksek Lisans öğrencisi Büşra Emeti CENGİZ. Dönem projemde Kimya öğretmen adaylarının uzamsal yeteneklerine ilişkin bir çalışma yapmayı planlıyoruz. Sizin geçerlik ve güvenilirliğini yaptığınız "Molekül Modeli Uzamsal Yetenek Testi" ölçeğini çalışmamızda Danışman hocam ile birlikte kullanmak istiyoruz. Buna yönelik kullanım izninizle birlikte ölçeği ve puanlandırılmasını bizimle paylaşabilir misiniz? Şimdiden size teşekkür eder, çalışmalarınızda başarılar dilerim.

Saygılarımla.

Büşra Emeti CENGİZ

Dokuz Eylül Üniversitesi YL öğrencisi

Kimden: Melis UYULGAN

Konu: Re: İzin

Tarih: 2 Ekim 2023, 15:52:55

Kime: Emeti Cengiz

Merhaba Emeti,

Tez araştırman kapsamında Molekül Geometrisi Ünitesi Testini Kullanmana izin veriyorum.
Başarılar dilerim.

Doç.Dr.Melis Arzu UYULGAN
Dokuz Eylül Üniversitesi
Buca Eğitim Fakültesi
Kimya Eğitimi Anabilim Dalı

Emeti Cengiz <

Sayın hocam, yüksek lisans tez çalışmamda sizin geçerlilik ve güvenilirliğini yaptığınız Molekül Geometrisi Ünitesi Testinizi kullanmak istiyorum. Buna yönelik kullanım izninizi rica ederim. İyi çalışmalar dilerim.
Yüksek lisans öğrencisi
Büşra Emeti CENGİZ



molekül geo...risi testi.doc
145 KB

İndir

Pages'da Aç

EK 5. İKİ AŞAMALI MOLEKÜL GEOMETRİLERİ TANI TESTİ

Sevgili Öğretmen Adayı,

Bu test sizin hibritleşme, hibrit orbitaller ve molekül geometrileri konularındaki kavramsal anlamalarınızı ayrıntılı olarak ortaya çıkarmak amacıyla hazırlanmıştır. Aşağıdaki soruların yalnız bir doğru cevabı vardır. Size en doğru gelen cevabı işaretleyerek cevabınızın nedenini açıklama kısmına yazınız. Lütfen cevaplanmamış soru bırakmayınız ve aklınıza gelen tüm bilgi ve düşünceleri kağıdınıza aktarınız.

Katılımınız için teşekkür ederiz.

YL Öğrencisi Büşra Emel CENGİZ

Danışman: Doç.Dr.Melis Arzu UYULGAN

Molekül Geometrisi Ünitesi Testi									
1) SF_6 ve SF_4 molekülleri için, I. Her iki molekülden de merkez atom oktet kuralına uymaz. II. Yalnızca SF_4 molekülünde merkez atomda ortaklanmamış elektron çifti yer alır. III. Her ikisi de suda iyi çözünür. Yargılardan hangileri doğrudur? (F-9, S-16) A) Yalnız II B) I ve II C) I ve III D) I, II ve III Seçeneğinizin Açıklaması:	5) PCl_2F_3 molekülü için verilen aşağıdaki yargılardan hangisi <u>yanlıştır</u>? (P-15, Cl-17, F-9) A) Molekül geometrisi üçgensel bipiramittir. B) Klor atomları boylamsal konumda yerleşmiştir. C) Enlemsel konumda molekül yapısı tetrahedradır. D) Flor ve fosfor atomları arasındaki bağ açıları 120° dir. Seçeneğinizin Açıklaması:								
2) Kovalent bağlı bir atomun değerlik tabakasındaki beş elektron çifti, <u>en iyi</u> bir şekilde aşağıdaki hangi düzenlemede yer alır? A) Üçgen düzlem B) Düzgün dört yüzlü C) Düzgün sekiz yüzlü D) Üçgensel bipiramit Seçeneğinizin Açıklaması:	6) ClF_3 (klortriflorür)'ün molekül geometrisi aşağıdakilerden hangisidir? (F-9, Cl-17) A) Üçgen düzlem B) Üçgensel piramit C) T-şekli D) Tetrahedral Seçeneğinizin Açıklaması:								
3) Aşağıda molekül geometrileri ve polariteleri verilen moleküllerin hangileri <u>yanlış</u> eşleştirilmiştir? A) Cl_2 - apolar - doğrusal B) SF_6 - apolar - düzgün sekiz yüzlü C) BrF_3 - polar - karedüzlem D) PCl_5 - apolar - üçgen bipiramit Seçeneğinizin Açıklaması:	7) COCl_2 molekülünün içerdiği bağ yapısına göre, I. Bir çift bağ içerir. II. Karbonun oksijen ile arasındaki bağ klor atomu ile arasındaki bağdan zayıftır. III. 3 tane II bağı içerir. Yargılardan hangileri <u>yanlıştır</u>? (C-6, O-8, Cl-17) A) Yalnız II B) Yalnız III C) I ve III D) II ve III Seçeneğinizin Açıklaması:								
4) Moleküller arası çekim kuvvetlerine göre aşağıdaki yargılardan hangisi <u>yanlıştır</u>? A) Polar moleküller arasında dipol-dipol çekim kuvvetleri oluşur. B) Her bağ dipolünün negatif ucu merkez atomuna doğru yönelmiştir. C) Polar olmayan moleküllerde dipol-dipol çekim kuvveti oluşmaz. D) Yüksek polariteye sahip moleküllerin dipol momentleri her zaman yüksektir. Seçeneğinizin Açıklaması:	8) Moleküller arası çekim kuvvetlerinden hidrojen bağı dipol-dipol etkileşiminden daha kuvvetli, Van der Waals çekim kuvvetleri ise en zayıftır. Buna göre, aşağıdaki bileşiklerin kaynama noktaları büyükten küçüğe doğru nasıl sıralanır? <table border="1"> <thead> <tr> <th>Molekül</th> <th>Molekül geometrisi</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>I. NH_3</td> <td>Üçgensel piramit</td> </tr> <tr> <td>II. CH_4</td> <td>Düzgün dört yüzlü</td> </tr> <tr> <td>III. H_2O</td> <td>Açısall</td> </tr> </tbody> </table> A) I, II, III B) III, I, II C) II, III, I D) III, II, I Seçeneğinizin Açıklaması:	Molekül	Molekül geometrisi	I. NH_3	Üçgensel piramit	II. CH_4	Düzgün dört yüzlü	III. H_2O	Açısall
Molekül	Molekül geometrisi								
I. NH_3	Üçgensel piramit								
II. CH_4	Düzgün dört yüzlü								
III. H_2O	Açısall								

9)  Molekülleri için verilen, I. Merkez atomları 3 değerlik elektronuna sahiptir. II. VSEPR'ye göre molekül şekilleri üçgen düzlemseldir. III. Her iki molekülde de klor atomları arasındaki açı birbirine eşittir. yargılardan hangisi <u>yanlıştır</u>? (B=5, C=6, O=8, Cl=17) A) Yalnız II B) Yalnız III C) I ve II D) I ve III Seçeneğinizin Açıklaması: 10) Aşağıda verilen aynı molekül geometrisine sahip bileşiklerin bağlı aynı atomları arasındaki bağ açıları büyükten küçüğe doğru nasıl sıralanır? (II-1, B-5, C-6, O-8, Cl-17) I. BCl_3 II. HCOH III. COCl_2 A) I,II,III B) II,I,III C) III,I,II D) III,II,I Seçeneğinizin Açıklaması: 11) CO_3^{2-} molekülü için verilen, I. Moleküldeki tüm bağlar tekli bağlıdır. II. Oksijenin moleküldeki yükü -2'dir. III. Molekül geometrisi üçgensel düzlemseldir. IV. Moleküldeki bağ açıları birbirine eşittir. yargılardan hangileri doğrudur?(C=6, O=8) A) Yalnız I B) I ve II C) I ve IV D) III ve IV Seçeneğinizin Açıklaması: 12) Aşağıdaki bileşiklerden hangisi Lewis'e <u>uymaz</u>? A) CO_2 B) NH_3 C) NO D) CH_4 Seçeneğinizin Açıklaması:	13) Aşağıda verilen hibrit orbitalleri ve molekül geometrileri arasındaki eşleştirmelerden hangisi <u>yanlıştır</u>? A) sp^2- üçgen düzlemsel B) sp^2- T-şekli C) dsp^2- üçgen bipiramidal D) d^2sp^3- oktahedral Seçeneğinizin Açıklaması: 14) Çekirdeğinde 7 protonu bulunan X elementinin oluşturduğu X_2 molekülü için, I. Atomları arasında ortaklaşmış üç çift elektron vardır. II. Polar moleküldür. III. Molekül geometrisi doğrusaldır. yargılardan hangileri doğrudur? A) Yalnız I B) Yalnız II C) I ve III D) I, II ve III Seçeneğinizin Açıklaması: 15) BeBr_2 ve SCl_2 molekülleri için, I. Lewis yapıları II. Hibritleşme türü III. Molekül geometrisi IV. Ortaklanmamış elektron sayıları V. Bağ sayısı gibi niceliklerden hangileri <u>aynıdır</u>?(Be=4, Cl=17, S=16, Br=35) A) Yalnız V B) II, III C) I, II, V D) I, III, IV, V Seçeneğinizin Açıklaması: 16) OF_2 ve BeF_2 molekülleri için aşağıda verilen yargılardan hangisi doğrudur?(Be=4, F=9, O=8) A) OF_2'nin dipol momenti BeF_2'den büyüktür. B) Molekül geometrileri aynıdır. C) Her ikisinde de II bağı bulunur. D) Oksijen ve Flor arasındaki çekim kuvveti Berilyum ile Flor arasındaki çekim kuvvetine göre daha zayıftır. Seçeneğinizin Açıklaması:
---	---

17) NI_3 ve NF_3 molekülleri için, - Molekül geometrilere üçgen piramittir. - N-H ve N-F atomları arasındaki bağ açıları birbirinden farklıdır. NH_3 molekülünün dipol momenti NF_3 molekülünün dipol momentinden küçüktür. yargılarından hangileri <u>yanlıştır</u>? (H=1, N=7 F=9) A) Yalnız II B) Yalnız III C) I ve III D) I, II ve III Seçeneğinizin Açıklaması: 18) Aşağıdakilerden hangisi bir molekülün rezonans yapısını <u>en iyi</u> açıklar? - Molekülün tek bir Lewis gösterimini vardır. - Molekül yapısında tüm bağlı atomlar sürekli yer değiştirir. - Molekül yapısında yalnızca tekli bağlar bulunur. - Molekül yapısında elektronlar delokalize olmuşlardır. Seçeneğinizin Açıklaması: 19) O_2 ve N_2 moleküllerinin manyetik özellikleri için aşağıda verilenlerden hangisi doğrudur? (O=8, N=7) N_2 molekülü paramanyetikdir. O_2 molekülü paramanyetikdir. O_2 ve N_2 molekülleri paramanyetikdir. O_2 ve N_2 molekülleri diamanyetikdir. Seçeneğinizin Açıklaması: 20) Aşağıda verilen bileşiklerin hangisinde rezonans yapısı <u>görülmez</u>? A) CH_3CO_2^- B) N_2O C) NH_4^+ D) C_6H_6 Seçeneğinizin Açıklaması:	21) Aşağıda Lewis yapıları verilen SO_2, BrF_3, CS_2 moleküllerinin VSEPR'ye göre tahmini yapıları aşağıdakilerden hangilerinde doğru olarak verilmiştir? (F=9, C=6, O=8, S=16, Br=35) <table border="0"> <thead> <tr> <th>Lewis</th> <th>VSEPR</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>I. $\text{:}\ddot{\text{O}}\text{--}\ddot{\text{S}}\text{--}\ddot{\text{O}}\text{:}$</td> <td>Doğrusal</td> </tr> <tr> <td>II. $\text{:}\ddot{\text{F}}\text{--}\text{Br}\text{--}\ddot{\text{F}}\text{:}$ $\text{:}\ddot{\text{F}}\text{:}$</td> <td>Kare piramit</td> </tr> <tr> <td>III. $\text{:}\ddot{\text{S}}\text{=C=}\ddot{\text{S}}\text{:}$</td> <td>Doğrusal</td> </tr> </tbody> </table> A) Yalnız I B) I ve III C) II ve III D) I, II ve III Seçeneğinizin Açıklaması: 22) CH_4, NH_3, H_2O molekülleri için aşağıdakilerden hangisi <u>yanlıştır</u>? (H=1, N=7, C=6, O=8) - Molekül geometrilere birbirinden farklıdır. - Bağ açıları $\text{CH}_4 < \text{NH}_3 < \text{H}_2\text{O}$ şeklindedir. CH_4 tetrahedral yapıdadır. NH_3 ve H_2O molekülleri en az bir ortaklanmamış elektron çifti içerir. Seçeneğinizin Açıklaması: 23) O_2 ve F_2 molekülleri için aşağıda verilen özelliklerden hangisi benzerdir? (O=8, F=9) - Lewis yapıları - Moleküller orbitallerindeki elektron sayısı - Bağ açıları - Manyetik özellikleri Seçeneğinizin Açıklaması:	Lewis	VSEPR	I. $\text{:}\ddot{\text{O}}\text{--}\ddot{\text{S}}\text{--}\ddot{\text{O}}\text{:}$	Doğrusal	II. $\text{:}\ddot{\text{F}}\text{--}\text{Br}\text{--}\ddot{\text{F}}\text{:}$ $\text{:}\ddot{\text{F}}\text{:}$	Kare piramit	III. $\text{:}\ddot{\text{S}}\text{=C=}\ddot{\text{S}}\text{:}$	Doğrusal
Lewis	VSEPR								
I. $\text{:}\ddot{\text{O}}\text{--}\ddot{\text{S}}\text{--}\ddot{\text{O}}\text{:}$	Doğrusal								
II. $\text{:}\ddot{\text{F}}\text{--}\text{Br}\text{--}\ddot{\text{F}}\text{:}$ $\text{:}\ddot{\text{F}}\text{:}$	Kare piramit								
III. $\text{:}\ddot{\text{S}}\text{=C=}\ddot{\text{S}}\text{:}$	Doğrusal								

24) Aşağıda verilen eşleştirmelerden hangisi yanlıştır? (H=1, B=5, F=9, Br=35, Xe=54)

Merkez atom Bileşik

- | | | |
|----|----|------------------|
| A) | Xe | XeF ₂ |
| B) | B | BF ₃ |
| C) | H | HF ₂ |
| D) | Br | BrF ₃ |

Seçeneğinizin Açıklaması:

25) X atomu periyodik cetvelin 2.periyot 5A grubunda yer almaktadır, Y atomu ise periyodik cetvelin 2.periyot 3A grubunda yer almaktadır.

Buna göre X ve Y atomu için aşağıda verilenlerden hangisi söylenemez?

- A) X atomunun oluşturduğu bileşiklerin bazıları Lewis kuramına uymaz.
 B) X ve Y atomları aralarında kovalent bağlı bileşik oluştururlar.
 C) X atomunun oluşturduğu X₂ molekülü diamanyetik özellik gösterir.
 D) Y atomu oktetini tamamlamak için 3 değerlik elektronunu ortaklaşa kullanır.

Seçeneğinizin Açıklaması:

Test Bitti. Lütfen cevaplarınızı kontrol ediniz.

EK 6. MOLEKÜL MODELİ UZAMSAL YETENEK TESTİ

Ad Soyad:

MOLEKÜL MODELİ- UZAMSAL DÜŞÜNME YETENEĞİ TESTİ

Yönerge: Bu test üç boyutlu düşünme becerilerini ölçmek için hazırlanmış 28 sorudan oluşmaktadır. Her sorunun sadece bir doğru cevabı vardır. Tüm soruları 15 dakika içinde cevaplandırınız! Katılımınız için teşekkür ederiz.

YL öğrencisi: Büşra Emeti CENGİZ

Danışman: Doç.Dr.Melis Arzu UYULGAN

1. – 14. sorularda verilen molekülün bir veya daha fazla eksen etrafında çevrilmiş halini bulmanız istenmektedir.

Örnek:



a)



b)



c)



d)



e)



Doğru cevap "e" şıkkıdır.

15. – 28. Sorularda 2 boyutlu şekli verilen molekülün 3 boyutlu şeklini bulmanız istenmiştir.

Örnek:



a)



b)



c)



d)



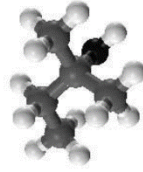
e)



Doğru cevap "d" şıkkıdır.

1. – 15. sorularda verilen molekülün bir veya daha fazla eksen etrafında çevrilmiş halini işaretleyiniz

1)



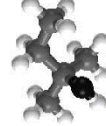
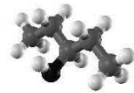
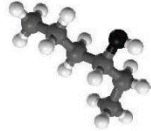
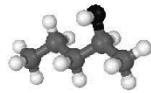
a)

b)

c)

d)

e)



2)



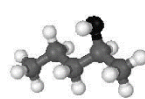
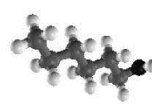
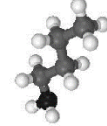
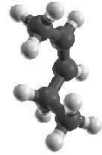
a)

b)

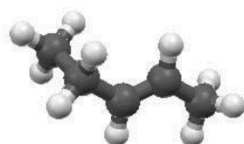
c)

d)

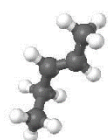
e)



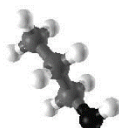
3)



a)



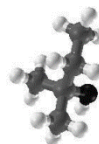
b)



c)



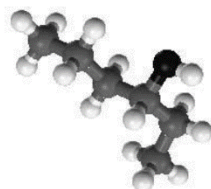
d)



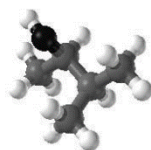
e)



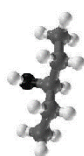
4)



a)



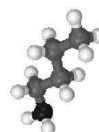
b)



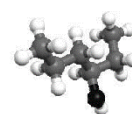
c)



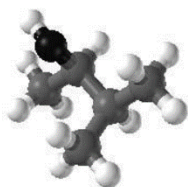
d)



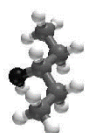
e)



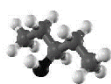
5)



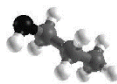
a)



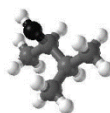
b)



c)



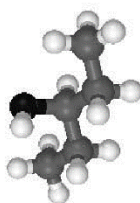
d)



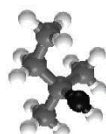
e)



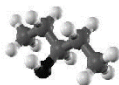
6)



a)



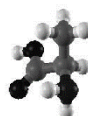
b)



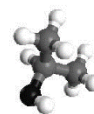
c)



d)



e)



7)



a)

b)

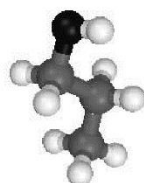
c)

d)

e)



8)



a)

b)

c)

d)

e)



9)



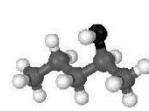
a)

b)

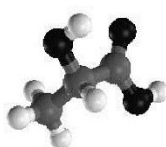
c)

d)

e)



10)



a)

b)

c)

d)

e)



11)



a)

b)

c)

d)

e)



12)



a)

b)

c)

d)

e)



13)



a)



b)



c)



d)



e)



14)



a)



b)



c)



d)

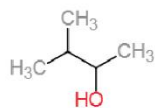


e)



15. – 28. Sorularda 2 boyutlu şekli verilen molekülün 3 boyutlu şeklini işaretleyiniz.

15)



a)

b)

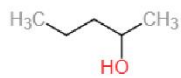
c)

d)

e)



16)



a)

b)

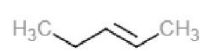
c)

d)

e)



17)



a)



b)



c)



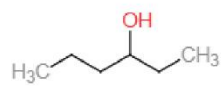
d)



e)



18)



a)



b)



c)



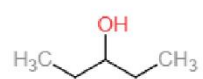
d)



e)



19)



a)

b)

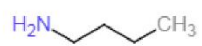
c)

d)

e)



20)



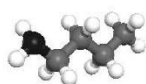
a)

b)

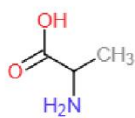
c)

d)

e)



21)



a)



b)



c)



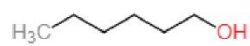
d)



e)



22)



a)



b)



c)



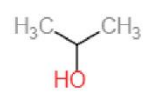
d)



e)



23)



a)



b)



c)



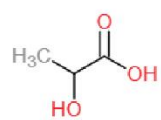
d)



e)



24)



a)



b)



c)



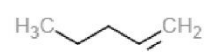
d)



e)



25)



a)



b)



c)



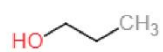
d)



e)



26)



a)



b)



c)



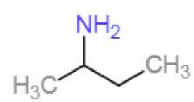
d)



e)



27)



b)

b)

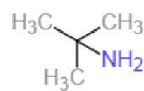
c)

d)

e)



28)



a)

b)

c)

d)

e)



EK 7. ODAK GRUP GÖRÜŞMESİ FORMU

ODAK GRUP GÖRÜŞMESİ FORMU

Sayın Katılımcı,

Bu araştırma kapsamında üç boyutlu yazılım ve 3D yazıcı kullanma deneyiminiz, kavramsal anlamalarınız ve uzamsal yetenekleriniz hakkında derinlemesine bilgi edinmek ve sizin değerli görüşlerinizi öğrenmek amacıyla bu odak grup görüşmesini düzenliyoruz. Görüşleriniz bizim için çok değerli ve bu konuda daha iyi kararlar alabilmemiz açısından kritik bir öneme sahiptir.

Görüşme boyunca lütfen sizlere belirteceğim hususlara dikkat ediniz;

- Bu görüşmede paylaşılan tüm bilgiler gizli kalacaktır. Katılımcıların isimleri veya diğer kişisel bilgileri raporlarda veya paylaşımlarda belirtilmeyecektir.
- Lütfen düşüncelerinizi açıkça ifade ediniz. Farklı görüşlerin olması normaldir ve her bir görüş bizim için değerlidir.
- Lütfen diğer katılımcılara saygılı olunuz. Herkesin fikrini özgürce ifade etmesine izin verin.
- Bu oturum yaklaşık 45-60 dakika sürecektir. Lütfen belirtilen süre boyunca bizimle kalın.
- Görüşmeyi değerlendirebilmemiz için not ve ses kaydı alınacaktır, ancak bu kayıtlar sadece genel içerik hakkında olacaktır ve özel bilgiler paylaşılmayacaktır.

Oturum başlamadan herhangi bir sorunuz varsa lütfen bize bildirin. Katkılarınız için teşekkür ederiz!

Saygılarımla

Büşra Emeti CENGİZ

DEU Eğitim Bilimleri Enstitüsü

Kimya Öğretmenliği Programı Yüksek Lisans Öğrencisi

Görüşme Soruları

Kavramsal anlama hakkındaki sorular:

1. Eğitim süreci boyunca tasarladığınız molekül modellerinin, hibritleşme, hibrit orbitaller ve molekül geometrileri konularını kavramsal olarak anlamaya nasıl bir katkısı olduğunu düşünüyorsunuz?
2. 3D yazıcılar ile üretilen molekül modelleri, konuları anlamaya nasıl etkiledi?
3. Molekül geometrileri konusunda önceki bilgileriniz ile bu eğitimden sonra edindiğiniz bilgiler arasında ne gibi farklar olduğunu düşünüyorsunuz?
4. Geleneksel 2D çizimlerle 3D modelleme arasında kavramsal anlamada yaşadığınız en büyük fark nedir?
5. 3D modelleme aktiviteleri sırasında, en zorlandığınız ve en rahat ettiğiniz özgün molekül yapıları hangileriydi ve neden?
6. 3D modelleme aktiviteleri sırasında, hangi özel anlar sizin için bir fark (çarpıcılık) yarattı?

Uzamsal yetenek hakkındaki sorular:

1. 3D molekül modelleme etkinlikleri, uzamsal yeteneklerinizin gelişimine nasıl bir katkı sağladığını düşünüyorsunuz?
2. Uzamsal yeteneklerinizin gelişiminde, 3D yazılım programları ve yazıcıların rolü hakkında neler düşünüyorsunuz?
3. 3D molekül modelleri üzerinden hibritleşme, hibrit orbitaller ve molekül geometrileri konularını kavrama sürecinizde uzamsal yeteneklerinizin katkısını nasıl değerlendiriyorsunuz?
4. Uzamsal yeteneklerinizi kimya eğitiminde daha etkili nasıl kullanabileceğinizi düşünüyorsunuz?
5. Teknoloji destekli molekül modelleme etkinliklerinin uzamsal yetenekleriniz üzerindeki etkisi hakkında neler söyleyebilirsiniz?
6. 3D modellemenin, uzamsal yeteneklerinizi kimya konularını öğretme bağlamında nasıl etkilediğini düşünüyorsunuz?
7. Uzamsal yeteneklerinizi geliştirmede 3D modellemenin dışında hangi yöntem veya araçları etkili buluyorsunuz?

Mesleki yeterlilik hakkındaki sorular:

1. Kimya öğretiminde teknoloji destekli görsel araçların kullanılmasının avantajları ve dezavantajları nelerdir?
2. 3D yazılım programları hakkında daha önce ne kadar bilgiye sahiptiniz ve bu eğitim süreci boyunca bu bilginizde nasıl bir değişiklik yaşadınız?
3. Üç boyutlu (3D) yazıcılar ve molekül modellemesi hakkında ne düşünüyorsunuz? Bu araçlar kimya öğretiminde nasıl bir rol oynayabilir?
4. 3D yazılım programlarını ve 3D yazıcıları kullanmanın öğretmenlik pratiğinizde size ne gibi faydalar sağlayacağını düşünüyorsunuz?
5. Teknoloji destekli öğretim materyallerinin öğrencilere kimya konularını anlatırken size nasıl bir avantaj sağlayacağını düşünüyorsunuz?

6. Öğrencilere kimya öğretiminde 3D modelleme ve 3D yazıcıları kullanma konusunda ne gibi zorluklar yaşanabileceğini öngörüyorsunuz?
7. 3D molekül modellemesi konusunda hangi konularda daha fazla bilgi veya pratiğe ihtiyaç duyduğunuzu düşünüyorsunuz?
8. Kendi tasarladığınız 3D molekül modelinin bir öğrenciye anlatırken karşılaşılabileceğiniz en spesifik zorluk nedir?
9. Eğer bir molekülü sadece 3D modelleme araçlarıyla öğrencilere öğretme şansınız olsaydı, hangi molekülü seçerdiniz ve neden?

EK 8. BİLGİLENDİRİLMİŞ ONAM FORMU

Tarih:.....

DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ EĞİTİM BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ ETİK KURULU

BİLGİLENDİRİLMİŞ ONAM FORMU

Bu formun amacı katılmanız rica edilen araştırma ile ilgili olarak sizi bilgilendirmek ve katılmanız ile ilgili izin almaktır.

Bu kapsamda "Kimya Öğretmen Adaylarının Teknoloji Destekli Üç Boyutlu Molekül Modellemelerinin Kavramsal Anlamaları ve Uzamsal Yetenekleri Bağlamında İncelenmesi: Bir Karma Yöntem Araştırması" başlıklı araştırma "Büşra Emeti CENGİZ" tarafından gönüllü katılımcılarla yürütülmektedir. Araştırma sırasında sizden alınacak bilgiler gizli tutulacak ve sadece araştırma amaçlı kullanılacaktır. Araştırma sürecinde konu ile ilgili her türlü soru ve görüşleriniz için aşağıda iletişim bilgisi bulunan araştırmacıyla görüşebilirsiniz. Bu araştırmaya katılmama hakkınız bulunmaktadır. Aynı zamanda çalışmaya katıldıktan sonra çalışmadan çıkabilirsiniz. Bu formu onaylamanız, araştırmaya katılım için onam verdiğiniz anlamına gelecektir.

Araştırmayla İlgili Bilgiler:

Araştırmanın Amacı: Bu araştırmada, Kimya Öğretmenliği lisans programında öğrenim gören öğretmen adaylarının kimya alanında üç boyutlu (3D) bir yazılım programını kullanarak yürütülen öğretim sürecinde üç boyutlu (3D) yazıcılar ile kendi tasarladıkları molekül modelleri üzerinden hibritleşme, hibrit orbitaller, molekül geometrileri konularındaki kavramsal anlamalarının ve uzamsal yeteneklerinin değerlendirilmesi amaçlanmaktadır.

Araştırmanın Nedeni: Bu çalışma, eğitim teknolojisinin etkin kullanımının önemini vurgulamakta ve soyut kimya kavramlarının somutlaştırılmasını hedeflemektedir. Ayrıca, öğretmen adaylarının kavramsal anlamalarını derinleştirmeyi ve uzamsal yeteneklerini geliştirmeyi amaçlamaktadır. Bu proje ile öğretmen adaylarının mesleki gelişimi desteklenerek yenilikçi eğitim yöntemlerine adapte olmaları sağlanacaktır.

Süresi: 2 Yıl

Araştırmanın Yürütüleceği Yer: Dokuz Eylül Üniversitesi Buca Eğitim Fakültesi

Çalışmaya Katılım Onayı:

Katılmam beklenen çalışmanın amacını, nedenini, katılmam gereken süreyi ve yeri ile ilgili bilgileri okudum ve gönüllü olarak çalışma süresince üzerime düşen sorumlulukları anladım. Çalışma ile ilgili ayrıntılı açıklamalar sözlü olarak araştırmacı tarafından yapıldı. Bu çalışma ile ilgili faydalar ve riskler ile ilgili bilgilendirildim.

Bu araştırmaya kendi isteğimle, hiçbir baskı ve zorlama olmaksızın katılmayı kabul ediyorum.

Katılımcının (Islak imzası ile)

Adı-Soyadı:

İmzası:

Araştırmacının

Adı-Soyadı: Büşra Emeti CENGİZ