



HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ
EĞİTİM BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Matematik ve Fen Bilimleri Eğitimi Ana Bilim Dalı

ORTAÖĞRETİM ÖĞRENCİLERİNİN KUANTUM FİZİĞİNE GİRİŞ KONULARINDA
KAVRAMSAL ANLAMA GÜÇLÜKLERİNİN BELİRLENMESİ VE GİDERİLMESİ

Ömer ENSARİ

Doktora Tezi

Ankara, 2023

Liderlik, araştırma, inovasyon, kaliteli eğitim ve değişim ile

Daha ileriye... En İyiyeye...



Matematik ve Fen Bilimleri Eğitimi Ana Bilim Dalı

ORTAÖĞRETİM ÖĞRENCİLERİNİN KUANTUM FİZİĞİNE GİRİŞ KONULARINDA
KAVRAMSAL ANLAMA GÜÇLÜKLERİNİN BELİRLENMESİ VE GİDERİLMESİ

DETERMINING AND REMEDYING OF SECONDARY SCHOOL STUDENTS
CONCEPTUAL DIFFICULTIES ON INTRODUCTORY QUANTUM PHYSICS CONCEPTS

Ömer ENSARİ

Doktora tezi

Ankara, 2023

Kabul ve Onay

Eğitim Bilimleri Enstitüsü M¼d¼rl¼đ¼ne,

Ömer ENSARİ'nin hazırladığı “Ortaöğretim ğrencilerinin Kuantum Fiziğine Giriş Konularında Kavramsal Anlama G¼çl¼klerinin Belirlenmesi ve Giderilmesi” başlıklı bu çalışma j¼rimiz tarafından **Matematik ve Fen Bilimleri Eğitimi Ana Bilim Dalında Doktora Tezi** olarak kabul edilmiştir.

J¼ri Başkanı	Prof. Dr. Mustafa KARADAğ	İmza
J¼ri Üyesi (Danışman)	Prof. Dr. Celal BAYRAK	İmza
J¼ri Üyesi	Prof. Dr. şebnem KANDİL İNGEÇ	İmza
J¼ri Üyesi	Prof. Dr. Pervin ÜNLÜ YAVAş	İmza
J¼ri Üyesi	Doç. Dr. Işıl Aykutlu	İmza

Bu tez Hacettepe Üniversitesi Lisans¼st¼ Eğitim, ğretim ve Sınav Yönetmeliği'nin ilgili maddeleri uyarınca yukarıdaki j¼ri ¼yeleri tarafından 29 / 05 / 2023 tarihinde uygun gr¼lm¼ř ve Enstit¼ Yönetim Kurulunca / / tarihi itibarıyla kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Selahattin GELBAL
Eğitim Bilimleri Enstit¼s¼ M¼d¼r¼

Öz

Araştırmada ortaöğretim öğrencilerinin kuantum fiziğine giriş konularında yaşadıkları güçlüklerin nedeni araştırmak ve Tahmin-Gözlem-Açıklama (TGA), simülasyon ve çizgi roman destekli 5E öğrenme modelinin öğrencilerin akademik başarı ile kavramsal anlamalarına etkisini incelemek amaçlanmıştır. Kuantum fiziğine giriş konuları olarak siyah cisim ışıması, fotoelektrik olay, Compton saçılması, ışığın ikili doğası ve madde dalgaları (de Broglie) konuları belirlenmiştir. Bu konular kuantum başlangıcı, ışığın kuantum teorisi ve madde dalgaları başlıkları altında toplanmıştır. Çalışmada kullanılmak üzere dört aşamalı Kuantum Fiziği Kavramsal Anlama Testi (KuFKAT) geliştirilmiş ve geçerlik ile güvenirlik çalışmaları yapılmıştır. Ardından Van il merkezinde bulunan bir Anadolu lisesi son sınıfta okuyan ve seçmeli fizik 12 dersini seçen 45 öğrenci deney grubu ve başka bir Anadolu lisesi son sınıfta okuyan 40 kişi kontrol grubu seçilerek uygulama yapılmıştır. Deney grubunda TGA, simülasyon ve çizgi roman destekli 5E öğrenme modeli uygulanmıştır. Çizgi romanlar araştırmacı tarafından geliştirilmiştir. Uygulamaya katılan kontrol ve deney grubu öğrencilerinin kuantum fiziği konularındaki kavramsal anlama düzeyleri, anlamakta yaşadıkları güçlükler ve bu güçlüklerin nedenleri araştırılmıştır. Araştırmada KuFKAT'ın yanı sıra deney grubu öğrencileri ile görüşmeler de yapılmıştır. Çalışma sonunda kontrol grubu öğrencilerinin kuantum fiziği kavramsal anlama düzeyi düşük ve deney grubunun orta bulunmuştur. Öğrencilerin kuantum fiziğini kavramada yaşadıkları güçlüklerin klasik fizik konularındaki bilgi eksikliği ve kavram yanılgılarından kaynaklandığı belirlenmiştir. Ayrıca deney grubuna uygulanan öğretim modelinin hem akademik başarıyı hem de kavramsal anlamayı anlamlı bir şekilde arttırdığı tespit edilmiştir. Elde edilen bulgulara göre bazı önerilerde bulunulmuştur.

Anahtar sözcükler: kuantum fiziği, TGA, simülasyon, çizgi roman, 5E öğrenme modeli, ortaöğretim öğrencileri

Abstract

In the study, it was aimed to investigate the reasons for the difficulties experienced by secondary education students in quantum physics introductory subjects, and to examine the effects of Predict-Observe-Explain (POE), simulation, and a comic book-supported 5E learning model on students' academic success and conceptual understanding. Black body radiation, photoelectric effect, Compton scattering, dual nature of light, and matter waves were determined to be introductory quantum physics topics. These topics are gathered under the titles of quantum beginning, quantum theory of light, and matter waves. A four-stage Quantum Physics Conceptual Understanding Test (QPCUT) was developed, and validity and reliability studies were conducted. The experimental group of 45 senior students from an Anatolian high school and the control group of 40 senior students from another school in the Van were selected. The POE, simulation, and comic book-supported 5E learning model was applied in the experimental group. The comics were developed by the researcher. In addition to QPCUT, interviews were conducted with students in the experimental group. At the conclusion, the students in the control group had a low level of conceptual understanding of quantum physics, whereas the experimental group had a moderate level. It has been determined that the difficulties experienced by the students in understanding quantum physics stem from a lack of knowledge and misconceptions in classical physics. It was determined that the teaching model applied to the experimental group significantly increased both academic achievement and conceptual understanding compared to the control group. Suggestions were made considering the findings obtained.

Keywords: quantum physics, POE, simulation, comic book, 5E learning model, secondary education students

Teşekkür

Doktora eğitimime başladığım andan itibaren beni her konuda destekleyen ve ufkumu genişleten değerli danışmanım Prof. Dr. Celal BAYRAK'a,

Hem tez çalışmamda hem de diğer akademik konularda danışman hocam kadar bana emek ve zaman ayıran, değerli görüş ve önerileriyle beni hep destekleyen değerli hocam Doç. Dr. Işıl AYKUTLU'ya,

Tez izleme komitesinde yer alan Prof. Dr. Şebnem KANDİL İNGEÇ ve Prof. Dr. Pervin ÜNLÜ YAVAŞ ile jüri üyesi Prof. Dr. Mustafa KARADAĞ'a değerli görüşleriyle çalışmama yapmış oldukları katkılardan dolayı çok teşekkür ederim.

Tez süreci boyunca bana yardımcı olan ve desteklerini esirgemeyen değerli arkadaşlarım Cumali POLAT ve Taner SOPAR'a teşekkürlerimi sunuyorum.

Doktora eğitimimde ve tez sürecinde sık sık ihmal etmek zorunda kaldığım değerli eşim Mehtap PAYCU ENSARİ'ye anlayışından ve sürekli desteklerinden dolayı büyük bir teşekkürü borç bilirim.

Oğlum Arel'e

İçindekiler

Kabul ve Onay	ii
Öz	iii
Abstract.....	iv
Teşekkür.....	v
Tablolar Dizini.....	x
Şekiller Dizini	xii
Simgeler ve Kısaltmalar Dizini	xiii
Bölüm 1 Giriş	14
Problem Durumu	17
Araştırmanın Amacı ve Önemi	18
Araştırma Problemi	18
Sayıtlılar	19
Sınırlılıklar.....	19
Tanımlar.....	19
Bölüm 2 Araştırmanın Kuramsal Temeli ve İlgili Araştırmalar	21
Fizik Öğretim Programlarında Modern Fizik ve Kuantum Fiziği Konuları	21
Kuantum Fiziği ile İlgili Çalışmalar.....	24
Fizik Eğitiminde 5E Öğrenme Modeli ile İlgili Çalışmalar.....	30
Fizik Eğitiminde Tahmin Gözlem Açıklama (TGA) Destekli Çalışmalar	32
Fizik Eğitiminde Simülasyon Destekli Çalışmalar	34
Fizik Eğitiminde Çizgi Roman ile İlgili Çalışmalar	36
Bölüm 3 Yöntem.....	40
Araştırmanın Modeli.....	40
Araştırmanın Çalışma Grubu.....	41
Veri Toplama Süreci	42
Veri Toplama Araçları	45

Verilerin Analizi	61
Çalışmanın Geçerlik ve Güvenirliği	64
Uygulamanın Tasarlanması	65
Bölüm 4 Bulgular ve Yorumlar	79
Ortaöğretim Öğrencilerinin Kuantum Fiziği Konularında Kavramsal Anlama Düzeyleri.....	79
Ortaöğretim Öğrencilerinin Kuantum Fiziği Konularında Kavramsal Anlamada Karşılaştıkları Güçlükler	83
Öğrencilerin Madde Dalgaları Konusunda Karşılaştıkları Güçlükler.....	92
Öğrencilerin Kuantum Fiziği Konularında Zorlanma Nedenleri.....	93
TGA, Simülasyon ve Çizgi-Roman Destekli 5E Öğretim Modelinin Ortaöğretim Öğrencilerinin Kuantum Fiziği Konularında Akademik Başarıya Etkisi	94
TGA, Simülasyon ve Çizgi-Roman Destekli 5E Öğretim Modelinin Ortaöğretim Öğrencilerinin Kuantum Fiziği Konularında Kavramsal Anlamaya Etkisi	100
Uygulama Öncesi Deney Grubu Öğrencilerinin Fizik ve Kuantum Fiziğine Yönelik Görüşleri	104
Deney Grubu Öğrencilerinin Uygulama Sonrası Kuantum Fiziğini Anlamakta Zorlanma Nedenleri	108
Deney Grubu Öğrencilerinin TGA, Simülasyon ve Çizgi Roman Destekli Uygulamaya Yönelik Görüşleri.....	111
Bölüm 5 Sonuç, Tartışma ve Öneriler.....	115
Kuantum Başlangıcı	115
Işığın Kuantum Teorisi.....	117
Madde Dalgaları	120
Kuantum Fiziği Giriş Konularında Zorlanma Gerekçeleri.....	121
TGA, Simülasyon ve Çizgi Roman Destekli 5E Öğretim Modeli.....	123
Öneriler	125
Kaynaklar.....	127
EK-A: Çocuk/Ergen Bilgilendirme Formu	cxliii

EK-B: Veli İzin Formu	cxlv
EK-C: Uygulama Öncesi Mülakat Soruları.....	cxlvii
EK-D: Uygulama Sonrası Mülakat Soruları	cxlviii
EK-E: Siyah Cisim Işıması TGA Destekli Simülasyon Etkinliği	cxlix
EK-F: Fotoelektrik Olayı TGA Destekli Simülasyon Etkinliği.....	cli
EK-G: Compton Saçılması TGA Destekli Simülasyon Etkinliği	clvi
EK-H: Madde Dalgaları TGA Destekli Simülasyon Etkinliği.....	clix
EK-I: Siyah Cisim Işıması Çizgi Roman Etkinliği	clxii
EK-İ: Fotoelektrik Olayı Çizgi Roman Etkinliği	clxv
EK-J: Compton Saçılması Çizgi Roman Etkinliği.....	clxviii
EK-K: Madde Dalgaları Çizgi Roman Etkinliği.....	clxx
EK-L: Fizik Öğretim Programlarında Modern Fizik ve Kuantum Fiziği Konuları	clxxii
EK-M: Kuantum Fiziği Konularına Ait 12. Sınıf Kazanımları	clxxv
EK-N: Yenilenmiş Bloom Taksonomisinde Bilgi Boyutu Temel ve Alt Türleri ...	clxxvi
EK-O: Yenilenmiş Bloom Taksonomisinde Bilgi Boyutu Temel ve Alt Türleri ..	clxxvii
EK-Ö: İki Aşamalı KuFKAT Sorularının Değerlendirilmesinde Kullanılan Kriterler	clxxviii
EK-P: Etik Komisyonu Onay Bildirimi	clxxix
EK-R: Milli Eğitim Bakanlığı Araştırma İzni.....	clxxx
EK-S: Doktora Tez Çalışması Orijinallik Raporu.....	clxxxi
EK-Ş: Dissertation Originality Report.....	clxxxii
EK-T: Yayımlama ve Fikrî Mülkiyet Hakları Beyanı.....	clxxxiii

Tablolar Dizini

Tablo 1 <i>Katılımcıların Cinsiyet Dağılımları</i>	41
Tablo 2 <i>Öntest Ortalama Puanları</i>	42
Tablo 3 <i>Öntest Bağımsız Gruplar t-Testi Sonuçları</i>	42
Tablo 4 <i>Çalışmanın Yapıldığı Zaman Aralıkları</i>	43
Tablo 5 <i>KuFKAT Maddelerinin Kazanımlara Göre Dağılımları</i>	46
Tablo 6 <i>Katılımcıların Cinsiyet ve Okul Türlerine Göre Dağılımları</i>	48
Tablo 7 <i>KuFKAT Maddeleri İçin Hesaplanan Madde Güçlük İndeksleri ile Düzeltilmiş Madde-Toplam Korelasyonu Değerleri</i>	50
Tablo 8 <i>KuFKAT Maddeleri İçin Hesaplanan Madde Konum ve Madde Uyumluluk İndeks Değerleri</i>	52
Tablo 9 <i>KuFKAT Toplam Varyans Değerleri</i>	53
Tablo 10 <i>KuFKAT İçin Temel Bileşenler Analizine Dayalı Paralel Analiz Sonuçları</i>	55
Tablo 11 <i>KuFKAT Maddelerine Ait Döndürülmemiş Faktör Yük Değerleri</i>	56
Tablo 12 <i>KuFKAT Maddelerine Ait Döndürülmüş Faktör Yük Değerleri</i>	57
Tablo 13 <i>KuFKAT Faktörlerine Ait Faktörler Arası Korelasyon Matrisi</i>	58
Tablo 14 <i>KuFKAT Faktörlerinin İsimleri ve İçerdikleri Maddeler</i>	58
Tablo 15 <i>KuFKAT ve Faktörlerinin KR-20 Güvenirlik Katsayıları</i>	59
Tablo 16 <i>KuFKAT Sorularının Yenilenmiş Bloom Taksonomisine Göre Sınıflandırılması</i>	60
Tablo 17 <i>Siyah Cisim Işıması Etkinlik Kazanımları</i>	67
Tablo 18 <i>Siyah Cisim Işıması Etkinlik İçeriği</i>	67
Tablo 19 <i>Fotoelektrik Olayı Etkinlik Kazanımları</i>	70
Tablo 20 <i>Fotoelektrik Olayı Etkinlik İçeriği</i>	70
Tablo 21 <i>Compton Saçılması Etkinlik Kazanımları</i>	72
Tablo 22 <i>Compton Saçılması Etkinlik İçeriği</i>	73
Tablo 23 <i>Madde Dalgaları Etkinlik Kazanımları</i>	75
Tablo 24 <i>Madde Dalgaları Etkinlik İçeriği</i>	76
Tablo 25 <i>Kuantum Başlangıcı Konusunda Kavramsal Anlama Ortalama Puanları</i>	79
Tablo 26 <i>Işığın Kuantum Teorisi Kavramsal Anlama Ortalama Puanları</i>	80
Tablo 27 <i>Madde Dalgaları Kavramsal Anlama Ortalama Puanları</i>	81

Tablo 28 <i>Kuantum Fiziği Kavramsal Anlama Ortalama Puanları</i>	82
Tablo 29 <i>Kuantum Başlangıcı Yanlış Gerekçeler ve Frekansları</i>	84
Tablo 30 <i>Işığın Kuantum Teorisi Yanlış Gerekçeler ve Frekansları</i>	86
Tablo 31 <i>Madde Dalgaları Yanlış Gerekçeler ve Frekansları</i>	92
Tablo 32 <i>Kuantum Fiziği Öne Çıkan Zorlanma Nedenleri</i>	93
Tablo 33 <i>KuFKAT Başarı Testi İçin Wilcoxon İşaretli Sıralar Testi Sonuçları</i>	94
Tablo 34 <i>KuFKAT Başarı Testi İçin Mann-Whitney U Testi Sonuçları</i>	95
Tablo 35 <i>KuFKAT Kavramsal Anlama Testi İçin Mann-Whitney U Testi Sonuçları</i>	100
Tablo 36 <i>Deney Grubu Öğrencilerinin Fizik Dersine Yönelik Görüşleri</i>	105
Tablo 37 <i>Deney Grubu Öğrencilerinin Kuantum Fiziğine Yönelik Görüşleri</i>	107

Şekiller Dizini

Şekil 1 Çalışmanın Akış Şeması.....	44
Şekil 2 KuFKAT İçin Yamaç-Birikinti Grafiği	54
Şekil 3 Siyah Cisim Işıması Etkinlik Örnekleri	68
Şekil 4 Fotoelektrik Olayı Etkinlik Örnekleri	71
Şekil 5 Compton Saçılması Etkinlik Örnekleri.....	74
Şekil 6 Madde Dalgaları Etkinlik Örnekleri	77
Şekil 7 Kuantum Başlangıcı Kavramsal Anlama Düzey Frekansları	80
Şekil 8 Işığın Kuantum Teorisi Anlama Düzey Frekansları	81
Şekil 9 Madde Dalgaları Kavramsal Anlama Düzey Frekansları.....	82
Şekil 10 Kuantum Fiziği Kavramsal Anlama Düzey Frekansları.....	83
Şekil 11 KuFKAT Başarı Testi İçin Wilcoxon İşaretili Sıralar Testi Frekans Dağılımları.....	95
Şekil 12 Kuantum Başlangıcı Konusunda Mann-Whitney U Testi Frekans Dağılımları.....	96
Şekil 13 Işığın Kuantum Teorisi Konusunda Mann-Whitney U Testi Frekans Dağılımları.....	97
Şekil 14 Madde Dalgaları Konusunda Mann-Whitney U Testi Frekans Dağılımları	98
Şekil 15 Kuantum Fiziği Konularında Mann-Whitney U Testi Frekans Dağılımları	99
Şekil 16 Kuantum Başlangıcı Kavramsal Anlama İçin Mann-Whitney U Testi Frekans Dağılımları	101
Şekil 17 Işığın Kuantum Teorisi Kavramsal Anlama İçin Mann-Whitney U Testi Frekans Dağılımları	102
Şekil 18 Madde Dalgaları Kavramsal Anlama İçin Mann-Whitney U Testi Frekans Dağılımları.....	103
Şekil 19 Kuantum Fiziği Kavramsal Anlama İçin Mann-Whitney U Testi Frekans Dağılımları.....	104

Simgeler ve Kısaltmalar Dizini

FÖP: Fizik Öğretim Programı

KuFKAT: Kuantum Fiziği Kavramsal Anlama Testi

MEB: Milli Eğitim Bakanlığı

ÖSYM: Ölçme, Seçme ve Yerleştirme Merkezi

Bölüm 1

Giriş

Çağımızda büyük bir ivme yakalayan teknolojinin temelini kuantum fiziği oluşturmaktadır. Kuantum fiziği ise görelilik teorisi ile modern fiziğin temelini oluşturmaktadır (Bouchée ve diğerleri, 2021). Ancak modern fizik ve kuantum fiziği ile ilgili alan yazın tarandığında oldukça geniş bir alanın tartışıldığı ve aynı isim altında farklı konulardan bahsedildiği görülmektedir. Bu karışıklığı gidermek için başta Avrupa ve Amerika olmak üzere birçok ülkede lise öğretim programlarına kuantum fiziği adıyla yeni bir ünite eklenmektedir (Krijtenburg-Lewerissa ve diğerleri, 2017; Stadermann ve diğerleri, 2019). Türkiye’de ise ortaöğretim on ikinci sınıf fizik öğretim programında modern fizik ünitesi altında özel görelilik, kuantum fiziğine giriş, fotoelektrik olayı, Compton saçılması ve de Broglie dalga boyu konu başlıkları yer almaktadır (Milli Eğitim Bakanlığı [MEB], 2018). Ancak ilkokuldan itibaren klasik fizikle iç içe olan öğrenciler, alıştıkları klasik dünya görüşüyle çelişen kuantum fiziğini ilk defa gördüklerinde anlamakta zorlanmaktadırlar (Krijtenburg-Lewerissa ve diğerleri, 2017). Araştırmalar hem lise (Bouchée ve diğerleri, 2021; Dokuzfidan, 2019; Henriksen ve diğerleri, 2018; Taşlıdere, 2016) hem de üniversite öğrencilerinin (Akarsu ve diğerleri, 2011; Asikainen & Hirvonen, 2009; Ayene ve diğerleri, 2019; Kızılcık & Ünlü Yavaş, 2017) bu giriş niteliğindeki kuantum fiziği konularını anlamakta zorlandıklarını göstermektedir.

Yarı-iletken, lazer, şifreleme, kuantum bilgisayarlar vb. çağdaş teknolojinin temelini oluşturan gelişmelerin temeli olan kuantum fiziğini öğretmek büyük önem taşımaktadır. Bu öneme rağmen fizik eğitimi ile ilgili araştırmaların sadece %1’i modern fizik (izafiyet ve kuantum fiziği) ile ilgilidir (Özcan, 2009). Türkiye’de 2000 ile 2017 arasında fizik eğitiminde çalışılan tezlerde dinamik, termodinamik, ışık ve ses, elektrik, iş-güç-enerji ve astronomi konularına daha çok yer verilirken kuantum fiziğine (%1,3) çok az yer verilmiştir (Yılmaz, 2019). Bunların yanı sıra Türkiye’de modern fizik (görelilik ve kuantum fiziği) öğretimine yönelik araştırmaların son yıllarda geneli üniversite seviyesinde olmak üzere arttığı

gözlenmektedir (Akarsu ve diğeri, 2011; Çoban, 2018; Didiş ve diğeri, 2008; Dokuzfidan, 2019; Görecek, 2013; Kotluk & Yayla, 2016; Özcan & Gerçek, 2015).

Kuantum fiziği günümüzde fizik öğretiminde önemli bir yere sahip olmakla birlikte bu konuda yeterince çalışmanın olmaması kuantum fiziğinin öğretimini olumsuz etkilemektedir (Kızılıcık & Ünlü Yavaş, 2017). Öğrencilerin kuantum fiziği konularını kavramakta güçlük çektikleri, kavram yanılgılarına sahip oldukları ve önyargı, endişe ve yabancılaşmaya benzer inançlara sahip oldukları belirlenmiştir (Aksakallı ve diğeri, 2016). Bu duruma öğrencilerin sınav, not kaygısı ve dersin kolay olmadığına ilişkin önyargıları (Kızılıcık & Ünlü Yavaş, 2017) da eklenince, kuantum fiziği konularının öğrenilmesi daha da güç hale gelmektedir.

Eğitim sürecinde öğrencilerin bilgi, beceri ve tutumlarında amaçlanan değişim ve ilerlemelerin gerçekleşip gerçekleşmediğini belirlemek amacıyla ölçme ve değerlendirme faaliyetlerine gereksinim duyulur (Tan, 2004). Eğitimde ölçüt olarak başarı alındığında ölçme ve değerlendirme faaliyetlerinde başarı testleri kullanılır (Turgut & Baykul, 2012). Geçerlik ve güvenirlik kanıtları toplanmış başarı testleri referans alınabileceğinden faydalı oldukları söylenebilir. Alan yazına bakıldığında; Wuttiptom vd. (2009) tarafından üniversite öğrencilerine yönelik bir test geliştirildiği ve üniversite öğrencilerine uygulandığı görülmektedir. Bu test, fotoelektrik olay, dalga ve parçacık ikiliği, de Broglie dalga boyu, çift yarıta girişim ve belirsizlik ilkesi konularından oluşan 25 soruluk bir tarama testidir. Bu testin üniversite öğrencileri için geliştirildiğinden ve Compton saçılmasını içermediğinden ortaöğretim öğrencilerine ve Türkiye'deki lise fizik müfredatına uygun olmadığı düşünülmüştür. Kotluk ve Yayla (2016) lise öğrencilerine yönelik modern fiziğin doğuşu ve görelilik konularını içeren 25 sorudan oluşan bir modern fizik başarı testi geliştirmişlerdir. Uygulama yılından başarı testinin 2008-2009 fizik müfredatına yönelik olduğu anlaşılmaktadır. Demir ve Akarsu (2014) ise özel görelilik, kuantum teorisi ve nükleer fizik konularından oluşan modern fizik kavram testi geliştirmişlerdir. Benzer şekilde uygulama yılından testin 2008-2009 fizik müfredatına göre geliştirildiği anlaşılmaktadır. Bu

araştırmalar dışında literatürde kuantum fiziği konularına yönelik geliştirilmiş herhangi bir test çalışmasına rastlanmamıştır. Geliştirilmiş bu testlerin kapsadığı konuların birbirinden farklı olması günümüz ortaöğretim programına uygunluğunun sorgulanmasına neden olmaktadır. Lise öğrencileri için kuantum fiziğinin içerdigi konulara yönelik bir standart bulunmadığından, Stadermann vd. (2019) on beş farklı ülkenin lise fizik müfredatlarını karşılaştırarak kuantum fiziğine giriş için ana konuları belirlemeye çalışmıştır. Bu araştırmada on ve üzeri ülkenin müfredatında yer alan siyah cisim ışması, Bohr atom modeli, enerji seviyeleri, ışık madde etkileşimi, dalga-parçacık ikiliği, madde dalgaları ve teknik uygulamalar konularının kuantum fiziğinin ortak konuları olabileceği belirtilmiştir (Stadermann ve diğerleri, 2019).

Türkiye'de farklı ihtiyaçlar çerçevesinde fizik öğretim programında güncellenme ve sadeleştirilmeler yapıldığı görölmektedir (MEB, 2007, 2013, 2018). Bu güncellemelerin sonucusu 2018 yılında yapılmış ve fizik müfredatının modern fizik ünitesinde özel görelilik ve kuantum fiziğine giriş başlığı altında siyah cisim ışması, fotoelektrik olay, Compton olayı ve de Broglie bağıntısı adlı konu başlıkları yer almıştır (MEB, 2018). Diğer ölkelerin müfredatlarında yer verilen kuantum fiziği konuları (Stadermann ve diğerleri, 2019) ile MEB müfredatında (MEB, 2018) yer verilen konular karşılaştırıldığında, siyah cisim ışması, fotoelektrik olay, Compton olayı, ışığın ikili doğası ve madde dalgaları başlıkları kuantum fiziği giriş konuları olarak kabul edilebilir. Alan yazın tarandığında lise öğrencileri için güncel müfredata uygun kuantum fiziği giriş konularını kapsayan ulusal ya da uluslararası başarı veya kavramsal anlamayı ölçecek herhangi bir test olmadığı görölmüştür. Fizik öğretim programında (MEB, 2018) kuantum fiziği başlığı altında siyah cisim ışması, fotoelektrik olay, Compton olayı ve de Broglie bağıntısı konuları ve bu konuların alt başlıklarında ışığın ikili doğası yer aldığından bu çalışmada da kuantum fiziği giriş konularını içeren bir Kuantum Fiziği Kavramsal Anlama Testi (KuFKAT) geliştirilmiş ve öğrencilerin kavramsal anlama düzeylerini ile başarılarını ölçmekte kullanılmıştır.

Problem Durumu

Kuantum fiziğinin temelini oluşturan siyah cisim ışıması, madde ışık etkileşimi ve ikililik konuları kuantum fiziği giriş konuları olduğundan daha sonraki öğretimler için bu konuların anlaşılması önem arz etmektedir. Kuantum fiziğinin daha anlaşılır bir şekilde öğretilmesi için öğrencilerin sahip olduğu alternatif kavramların ve anlamakta karşılaştıkları güçlüklerin tam olarak belirlenmesi gerekmektedir. Bunları belirlemek için yapılan çalışmalara bakıldığında hem modern fiziğe yönelik kavramsal anlamayı test eden soruların hem de zorlanan öğrenciler ile görüşmeler yapılarak karşılaştıkları güçlükleri derinlemesine inceleyen araştırmaların birlikte kullanıldığı çalışmaya rastlanmamıştır. Ayrıca alan yazında kuantum fiziği giriş konularını ayrı ayrı ele alan çalışmalar olmasına rağmen bütüncül olarak ele alan çalışmalara rastlanmamıştır. Bunun yanı sıra kuantum fiziği konularında öğrencilerin zorlandığı birçok kaynakta belirtilmesine rağmen zorlukların kaynaklarını irdeleyen çalışmalar bulunmamaktadır.

Son yıllarda fizik eğitiminde yapılandırmacı öğretim modellerinin kullanımı artmasına ve Türkiye’de öğretim programı yapılandırmacı öğretimi esas alarak düzenlenmesine rağmen bu öğretim modellerinin kuantum fiziğinde pek uygulanmadığı görülmüştür. Öğrencilerin kavramsal anlamalarını arttırarak anlamlı ve kalıcı öğrenmeleri için 5E öğrenme modeli, simülasyonla öğretim ve Tahmin-Gözlem-Açıklama (TGA) yöntemi sıklıkla kullanılan yöntemlerdendir. Ancak TGA yöntemi 5E modeline kolaylıkla entegre edilebilmesine rağmen ikisi birlikte pek kullanılmamıştır. Ayrıca akademik başarıyı arttırmasına rağmen Türkiye’de TGA yöntemi çoğunlukla kimya ve biyoloji alanlarında kullanılmıştır (Yıldız, 2021). Bu yöntemlerin dışında özellikle uluslararası alanda fizik eğitiminde çizgi roman kullanımı artmakta ve önerilmektedir (Fitri ve diğerleri, 2021). Bu bağlamda öğrencilerin karşılaştığı zorlukları etkili bir şekilde belirleyebilmek ve öğrencilerin kavramsal anlamada yaşadıkları zorlukları giderebilmek için öğretim modellerinin geliştirilmesi için bu çalışma gerekli görülmektedir. Fizikte önemli bir yeri olan kuantum fiziği konularına yönelik fizik

eğitimi alan yazınında diğer konulara gore çok az çalışmanın olması bu çalışmayı önemli kılmaktadır.

Araştırmanın Amacı ve nemi

Bu çalışmanın amacı, seçmeli fizik dersini alan ortaöğretim 12. sınıf ğrencilerinin kuantum fiziği giriş konularında kavramsal anlama düzeylerinin ve karşılaştıkları güçlüklerin belirlenmesi ve geliştirilen ğretim modelinin kavramsal güçlükleri gidermedeki etkisini incelemektir. Bu amaçla öğrencilerin kuantum fiziği giriş konularındaki akademik başarı ve kavramsal anlamalarını ölçen bir test geliştirilmiş ve pilot çalışması yapılarak testten alınan puanların geçerlik ve güvenirliği belirlenmiştir. Ardından deney ve kontrol gruplarına simülasyon, TGA ve çizgi roman destekli bir ğretim modeli tasarlanmış ve modelin etkisi incelenmiştir. Öğrencilerin kuantum fiziği konularında kavramsal anlamada yaşadıkları güçlükler hem nicel hem de nitel veri toplama araçlarıyla belirlenmiştir.

Araştırma Problemi

Ortaöğretim 12. sınıf ğrencilerinin kuantum fiziğinin temellerini oluşturan konularda kavramsal anlama düzeyleri ve anlamada karşılaştıkları güçlükler nelerdir? Simülasyon, TGA ve çizgi roman destekli 5E ğretim modelinin ortaöğretim ğrencilerinin kuantum fiziğinin temellerini oluşturan konularda kavramsal anlama düzeylerine ve kavramsal güçlüklerini gidermede etkisi nedir?

Alt Problemler

- Ortaöğretim ğrencilerinin kuantum fiziği konularında kavramsal anlama düzeyleri nedir?
- Ortaöğretim ğrencilerinin kuantum fiziği konularında kavramsal anlamada karşılaştıkları güçlükler nelerdir?
- Geliştirilen ğretim modeli ortaöğretim ğrencilerinin kuantum fiziği konularında akademik başarıya etkisi nedir?

- Geliştirilen öğretim modeli ortaöğretim öğrencilerinin kuantum fiziği konularında kavramsal anlamaya etkisi nedir?
- Ortaöğretim öğrencilerinin geliştirilen öğretim modeline yönelik görüşleri nelerdir?

Sayıtlılar

- Araştırmada geliştirilen veri toplama araçları için uzman görüşü bildirenlerin tarafsız bir şekilde görüşlerini ifade ettikleri varsayılmıştır.
- Ortaöğretim öğrencilerinin veri toplama araçlarına cevap verirken samimi olduğu ve gerçek bilgilerini yansıttıkları varsayılmıştır.

Sınırlılıklar

- Araştırma, Siyah Cisim Işınması, Fotoelektrik Olay, Compton Olayı ve Madde Dalgaları (de Broglie Dalga Boyu) konuları ile sınırlıdır.
- Van ilinde ortaöğretim 12. sınıfta öğrenim gören 85 öğrencileri ile sınırlıdır.
- Öğretim modeli simülasyon, TGA ve çizgi roman destekli 5E öğrenme modeli ile sınırlıdır.

Tanımlar

Yapılandırmacılık: Öğrencinin bilgiyi yaparak ve yaşayarak yapılandırmasıdır (Perkins, 1999).

TGA Yöntemi: Tahmin-Gözlem-Açıklama aşamalarının kısaltması olup öğrencilerin kavramsal gelişimini desteklemek amacıyla önce ilgili konuda tahminlerde bulunma, deney vb. etkinliklerle değişkenler arasındaki ilişkiyi gözleme ve ulaşılan sonuçları tahminleriyle karşılaştırarak farklılıkların nedenini açıklama aşamalarından oluşan yöntemdir (White & Gunstone, 1992).

Simülasyon: Öğrencilerin bilgisayar veya sanal ortamda değişkenleri değiştirerek deneyler yaptıkları programlardır (Chen ve diğerleri, 2014).

Çizgi roman: Görüntüleri, yazılı metni ve diyalogu birleştiren resimli hikayeler olup bilgi işaret, imge ve semboller aracılığıyla konuşma balonları içinde iletilir (Arroio, 2011).

5E Öğrenme Modeli: Yapılandırmacı öğrenme yöntemlerinden olan 5E, ilgi uyandırma, keşfetme, açıklama, derinleştirme ve değerlendirme aşamalarından oluşan bir öğrenme halkası olup öğrencilerin konuya dikkatlerinin artmasını, bilgilerini keşfederek organize etmelerini, farklı koşullara uyarlamalarını ve anlamlandırmalarını içermektedir (Bybee, 1997).

Bölüm 2

Araştırmanın Kuramsal Temeli ve İlgili Araştırmalar

Fizik Öğretim Programlarında Modern Fizik ve Kuantum Fiziği Konuları

Türk eğitim sisteminde son otuz yılda çağın gerekliliklerine uymak ve ihtiyaçlara cevap vermek için ortaöğretim yapısı ve buna bağlı olarak öğretim programları sürekli güncellenmiştir. Güncellenen öğretim programlarında modern fizik ve kuantum fiziği konularının kapsamı bu bölümde incelenmiştir.

Kredili ders geçme sistemi ile 01.05.1992 tarih ve 128 karar numaralı Lise 1, 2, 3. Sınıf Fizik dersi öğretim programı ve 22.06.1992 tarih ve 181 karar numaralı İleri Fizik 1 – 2 öğretim programları 1992-1993 öğretim yılından itibaren uygulanmaya başlanmıştır (MEB, 1992a, 1992b). Uygulanan 1992 Fizik öğretim programı (FÖP) incelendiğinde, sadece her sınıf düzeyi için ünite başlıkları ve üniteye yer alacak konu başlıklarının yer aldığı görülmektedir. Ancak İleri Fizik 1- 2 FÖP'te konular ile ilgili kısa açıklamalara yer verildikten sonra konu başlıkları verilmiştir. Kredili ders geçme sistemi için uygulamaya konulan 1992 FÖP, 1997'de kredili sistemin kaldırılması ve 2005-2006 öğretim yılında lise dört yıla çıkarılması gibi büyük değişikliklere rağmen uygulanmaya devam edilmiştir. Uygulanan bu öğretim programlarından 1992 FÖP'te kuantum veya modern fizik bölüm adları yer almazken 1992 İleri Fizik 1-2 öğretim programında 'Görelilik (İzafiyet)' ve 'Modern (Çağdaş) Fiziğe Giriş' adıyla iki bölüm yer almıştır.

Yapılandırmacı öğrenme kuramlarını temel alarak 11.10.2007 tarihinde 9. sınıflar için 168 karar numaralı, 03.06.2008 tarihli ve 135 karar numaralı 10. sınıf, 26.12.2008 tarih ve 288 karar numaralı 11. sınıf ve 11.09.2009 tarih ve 152 karar numarası ile 12. sınıflar için fizik öğretim programları hazırlanmıştır (MEB, 2007, 2008a, 2008b, 2009). Önceki programlardan farklı olarak bu öğretim programlarında kazanımlar, kazanım açıklamaları, ilgili konudaki kavram yanılgıları ve bağlam temelli öğretim yöntemine uygun etkinlik örneklerine yer verilmiştir. Sarmal yapıyı esas alan bu öğretim programlarında 10, 11 ve 12.

sınıfta 'Modern Fizik' ünitesine ve her sınıf düzeyinde farklı alt konulara yer verilmiştir. Ortaöğretimde alanların kaldırılmasıyla farklı okul türleri için haftalık ders saatleri değiştiği için 2007, 2008 ve 2009 öğretim programları farklı ders saatlerine göre içerik değiştirilmeden düzenlenerek 26.08.2011 tarih ve 130 karar numarası ile uygulanmaya devam edilmiştir.

Fizik öğretim programı 9 ve 10. sınıflarda bilimsel okuryazarlığının geliştirilmesi amacıyla sadeleştirilmesi, 11 ve 12. sınıflarda ise üniversite eğitiminde ihtiyaç duyulan bilgi ve becerilerin kazandırılması amacıyla 01.02.2013 tarih ve 10 karar numarasıyla 2013 FÖP uygulanmaya konulmuştur (MEB, 2013). Bu yeni öğretim programı ile sarmal yapıdan vazgeçilmiş ve 12. sınıfta 'Atom Fizikine Giriş ve Radyoaktivite', 'Modern Fizik' ve 'Modern Fizik'in Teknolojideki Uygulamaları' adlı ünitelere yer verilmiştir.

Uygulamada olan 2013 FÖP'te yer alan kazanımların dili sadeleştirilerek ve matematiksel hesaplamalar azaltılarak 19.01.2018 tarih ve 28 karar numarası ile Fizik ve 29 karar numarası ile Fen Lisesi Fizik öğretim programları uygulanmaya başlanmıştır (MEB, 2018). Fizik ile Fen Lisesi Fizik öğretim programları arasında kazanım olarak fark bulunmazken Fen Lisesi öğretim programında alt kazanımlar ile konular daha detaylı verilmekte ve matematiksel hesaplamaların yapılması istenmektedir. MEB 1992 ve 2018 yılları arası yayınladığı fizik öğretim programlarında yer alan modern fizik ve kuantum fiziği ile ilgili konular EK-L'de yer almaktadır.

MEB tarafında yayınlanan EK-L'de verilen kazanımlar incelendiğinde yıllar içinde güncellenen öğretim programlarında modern fizik konularının ünitelere göre sınıflandırılmasında farklılık olduğu görülmektedir. Uzun yıllar uygulamada kalan 1992 FÖP'te 'Işık teorileri' ve 'Atom teorileri' adıyla kuantum fiziği giriş konuları ele alınırken genellikle Fen liselerinde okutulan seçmeli ileri fizik dersinde ise 'Görelilik' ve 'Modern fiziğe giriş' üniteleri ile özel görelilik, kuantum fiziğine giriş konuları ve teknolojideki uygulamaları ele alınmıştır. Bu ünitelerde sadece konu başlıkları verildiği için genellikle konular yoğun matematiksel hesaplamalar içerecek şekilde işlenmiştir. Daha sonra ilk önemli güncelleme

ile uygulanmaya başlanan 2008 ve 2009 FÖP'lerde konu başlıklarının yanı sıra kazanımlar ve kazanımlar ile ilgili açıklamalara yer verilmiştir. Bu programlarda özel görelilik, kuantum fiziği ve teknolojiadaki uygulamaları 'Modern Fizik' ünite adıyla yer almıştır. Bu programda da kuantum sayıları ve modern atom teorisi hariç genellikle matematiksel hesaplamalara yer verilmiştir. Daha sonra güncellenerek uygulamaya konulan 2013 FÖP'te matematiksel hesaplamalar azaltılarak konular atom fiziği ve radyoaktivite, modern fizik ve modern fiziğin teknolojiadaki uygulamaları adlarıyla üç üniteye bölünmüştür. Özel görelilik ve kuantum fiziği giriş konuları Modern Fizik ünitesinde birleştirilmiştir. En son güncelleme ile kazanım dilleri sadeleştirilip matematiksel hesaplamalar biraz daha azaltılarak uygulamaya konulan 2018 FÖP'te ünite isimleri değiştirilmemiştir. Ancak gezegen, yıldız ve gökadalardan oluşumu ile X-ışınları konuları yeni öğretim programından çıkarılmıştır. Ayrıca sadece 2009 FÖP'te ilk defa yer verilen belirsizlik ilkesi konusuna 2013 FÖP'te yer verilmezken 2018 FÖP'te modern atom teorisi kazanımında sadece değinilmesi gerektiği belirtilmiştir. Yıllar içinde uygulanmaya konulan programlarda kuantum fiziği adıyla ünite ismine yer verilmediği ve modern fizik ünite kapsamındaki farklılıklardan dolayı ülkemizde alan yazında aynı isimle çok farklı konuların ele alındığı belirlenmiştir. Son güncellemelerden sonra uygulamada olan öğretim programı göz önünde bulundurulduğunda modern fiziğin, özel görelilik ve kuantum fiziği giriş konularından oluştuğu gözlenmektedir.

Türkiye'de olduğu gibi diğer ülkelerde de kuantum fiziği kapsamı öğretim programlarında tam olarak belirlenmemiştir. Stadermann vd. (2019) on beş ülkenin lise müfredatlarında kuantum fiziği konularını karşılaştırdıkları çalışmada ülkeler bazında oldukça farklı yaklaşımların olduğunu belirlemişlerdir. Aynı çalışmada bu on beş ülkenin öğretim programlarında en çok ortak olan konular belirlenerek kuantum fiziği için ana konular tespit edilmiştir. Bunlar: Siyah cisim ışıması, Atomik enerji seviyeleri (Bohr atom modeli ve çizgi spektrumu), ışık madde etkileşimi, dalga-parçacık ikilemi, de Broglie dalga boyu, teknolojik uygulamalar, Heisenberg belirsizlik ilkesi ve kuantum fiziğinin olasılık doğasıdır.

Kuantum Fiziği ile İlgili Çalışmalar

Modern fizik, kuantum ve kuantum fiziğine yönelik alan yazın tarandığında oldukça geniş bir alanda aynı isim altında farklı konuların araştırıldığı belirlenmiştir. Bir önceki bölümde belirtildiği gibi öğretim programlarında da modern fizik özel görelilik ve kuantum fiziği konularından oluşmaktadır. Bundan dolayı bu bölümde sadece araştırma konusu olan kuantum fiziği giriş konuları ile ilgili alan yazına yer verilmiştir. Özel görelilik ve kuantum mekaniği ile ilgili çalışmalara yer verilmemiştir.

McKagan vd. (2009) yaptıkları çalışmada simülasyon kullanılarak yapılan araştırma tabanlı öğretimde üniversite öğrencilerinin fotoelektrik olayını daha iyi anladıklarını ve deney değişkenlerini değiştirdiklerinde olası sonuçları tahmin ettikleri sonucuna ulaşmışlardır. Ancak öğrencilerin gözlemlerden yapılacak çıkarımları başarılı bir şekilde doğru ifade etmelerine rağmen gözlemler ile çıkarımlar arasında net mantıksal bir ilişki kurmada daha az başarılı olmuşlardır.

Wuttiptom vd. (2009), Kuantum Fiziği Kavrama Testi geliştirmiş ve üniversite öğrencilerine uygulayarak geçerlik ve güvenilirliğini sağlamışlardır. Bu test Fotoelektrik olay, Dalga ve parçacıklar, de Broglie dalga boyu, Çiftyarıkta girişim ve Belirsizlik ilkesi konularını kapsayan 25 soruluk bir tarama testidir. Üniversite öğrencileri için kuantum fiziği yorumu gerektiren soruların daha zorlayıcı olduğu belirtilmiştir.

Yıldız (2009) doktora tez çalışmasında, fen bilgisi öğretmen adaylarının kuantum fiziği konularındaki anlama seviyeleri ile yazma etkinliğinin başarılarına etkisini araştırmıştır. Çalışma, fotoelektrik olay, Compton olayı ve Heisenberg belirsizlik ilkesi konuları ile sınırlandırılmış ve veriler açık uçlu sorular ile toplanmıştır. Kontrol gruplu yürütülen bu yarı deneysel çalışmada Fen Bilgisi öğretmen adaylarının kuantum fiziği konularını anlama seviyelerinin düşük olduğu belirlenmiştir. Deney grubundaki katılımcıların lise öğrencilerine kuantum fiziği konularını bir mektup yazarak anlattığı bu çalışma sonunda yazma

etkinliğinin akademik başarıyı arttırdığı sonucuna varılmıştır. Ayrıca öğretmen adayları mektup yazma etkinliğinin öğrenmelerine yardımcı olduğunu ifade etmişlerdir.

Kurt (2010) yüksek lisans tez çalışmasında kuantum fiziğinde kullanılan metaforların fizik öğretmen adaylarının fizik algılarını nasıl etkilediğini araştırmıştır. Açık uçlu sorulara verilen cevapların nitel analizi sonucunda kuantum fiziğinde kullanılan metaforlardan bazılarının soyut kavramları somutlaştırdığı için yararlı olduğu belirtilmiştir.

Akarsu vd. (2011) üniversite öğrencileri ile yaptıkları çalışmalarında, öğrencilerin kuantum fiziği konularındaki kavramsal anlamalarını araştırmışlardır. Bu çalışmada daha önce geliştirilen (Wutti-prom ve diğerleri, 2009) Kuantum Fiziği Kavrama Testi Türkçeye uyarlanarak geçerlilik çalışması yapılmış ve öğrencilere uygulanmıştır. Bu uygulama sonucunda öğrencilerin kuantum konularını anlamada güçlük çektikleri belirlenmiştir. Ayrıca çalışma sonunda öğrencilerin kuantum fiziği ile ilgili deneyimleri arttıkça kavramsal anlamalarının kolaylaştığı vurgulanmıştır.

Deslauriers ve Wieman (2011) üniversite öğrencilerinin kuantum fiziği kavramsal anlamalarını ve unutma durumlarını araştırdıkları çalışmada, simülasyon, kavram haritaları, grup tartışma ve grup çalışmalarını içeren interaktif öğretimin öğrencilerin kavramsal anlamalarını pozitif etkilediğini bulmuşlardır. Ancak interaktif öğrenme modeli ile öğretimin yapıldığı gruptaki öğrencilerin öğrendiklerini daha çabuk unuttukları sonucuna da varılmıştır. Daha gerçekçi materyallerin daha hızlı unutulmaya neden olup olmadığının araştırılması önerilmiştir.

Görece (2013) doktora tez çalışmasında fen bilgisi öğretmen adaylarının kuantum fiziği giriş konularındaki kavramsal anlama seviyelerini belirlemiş ve 7E öğretim modelinin anlamaya etkisini incelemiştir. Çalışma kapsamında kuantum fiziğine giriş, siyah cisim ışınması, fotoelektrik olay, atomun yapısı, madde dalgaları ve Heisenberg belirsizlik ilkesi konuları ele alınmıştır. Bu konular ile ilgili araştırmacının oluşturduğu ve başka kaynaklardan derlenen sorulardan oluşan 14 soruluk bir kavram testi geliştirilmiştir. Çalışma sonunda, uygulanan öğretim yönteminin kavramsal anlamayı arttırdığı belirlenmiş ancak

öğretim öncesinde öğrencilerde tespit edilen alternatif kavramlardan bazılarının giderilemediği belirlenmiştir. Öğretmen adaylarının kuantum fiziğini modern fizik dersinde öğrendikleri için görelilik ile karıştırdıkları vurgulanmıştır.

Eryılmaz (2014) doktora tez çalışmasında, lise öğrencilerinin iki farklı öğretim programına göre kuantum fiziği konularını öğrenme durumlarını karşılaştırmıştır. Çalışma kapsamında 2005 ve 2011 ortaöğretim fizik dersi öğretim programlarına göre ders gören lise öğrencilerinin başarı, algı ve tutumlarını incelemiştir. Ayrıca ders kitaplarının modern fizik konularını içeren bölümleri de değerlendirilmiştir. Araştırma, siyah cisim ışınması, fotoelektrik olay, Compton olayı, madde dalgaları, atom yapısı ve atom modelleri ile enerji seviyeleri konularını içermiştir. Çalışma sonunda 2011 öğretim programı ile yapılan eğitimde başarı ve problem çözme becerilerinin 2005 programı ile yapılan eğitimden daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

Yalçın (2014) yüksek lisans tez çalışmasında lise 11. sınıf öğrencilerinin modern fizik konularının günlük yaşama transfer düzeylerine bakmıştır. Çalışma kapsamında 11. sınıf ders kitabındaki modern fizik ünitesinde yer alan siyah cisim ışınması, fotoelektrik olay, Compton olayı, Lazer ışınları, atom spektrumu, madde dalgaları, X-ışınları, Pauli dışarlama ilkesi, atom modelleri ve enerji seviyeleri ile görelilik kuramı konuları ele alınmıştır. Veri toplama aracı olarak üniversite sınavına hazırlık kitaplarından derlenen çoktan seçmeli 25 soruluk bir başarı testi ve 11 soruluk iki aşamalı transfer testi kullanılmıştır. Çalışmada ele alınan konuların ve derlenen soruların hangi öğretim programına göre seçildiği belirtilmemiştir. Çalışma sonunda öğrencilerin başarı testi puanları ile transfer seviyeleri arasında pozitif yönde anlamlı ve zayıf korelasyon tespit edilmiştir. Ortaöğretim öğrencilerinin modern fiziği günlük yaşama aktarma düzeylerinin yetersiz olduğu belirlenmiştir. Ayrıca öğrencilerin fotoelektrik olay ve siyah cisim ışınmasında transfer seviyelerinin en fazla, madde dalgaları ve dışarlama ilkesi konularının en az olduğu belirlenmiştir.

Paliç Şadoğlu (2014) araştırmasında on birinci sınıf öğrencileri için 7E öğrenme modeline göre geliştirdiği modern fizik konularına ait materyallerin etkisini incelemiştir. Çalışmada 2009 fizik öğretim programında yer alan siyah cisim ışıması, fotoelektrik olay ve Compton olayı kazanımlarına uygun öğrenci ve öğretmenler için 7E öğretim modeline uygun ders materyalleri geliştirilmiştir. Çalışma sonunda 7E öğretim modeline uygun geliştirilen ders materyallerinin öğrenci başarisını arttırdığı sonucuna varılmıştır.

Kural (2015) ortaöğretim 11. sınıf öğrencileri ile yürüttüğü doktora tez çalışmasında modern fizik konularında sıcak kavramsal değişim yönteminin etkisini incelemiştir. Çalışmada 2009 FÖP'te 11. sınıf modern fizik ünitesinde yer alan ışın tanecik modeli, parçacıkların dalga özelliği ve atomun yapısı konuları ele alınmıştır. Çalışma sonunda, uygulanan yöntemin öğrencilerin modern fizik konularında kavramsal değişimlerine olumlu katkıda bulunduğu belirlenmiştir.

Özcan ve Gerçek (2015) fizik öğretmen adayları ile yaptıkları çalışmada, katılımcıların Compton Olayını açıklamak için kullandıkları ışık ile ilgili zihinsel modellerini araştırmıştır. Çalışma sonunda hibrit, ışın ve parçacık olmak üzere üç zihinsel modelin kullanıldığı belirlenmiştir.

Balta (2018) lise fizik öğretmenleri ile yaptığı çalışmada, öğretmenlerin siyah cisim ışımasını anlama düzeylerini araştırmıştır. Çalışma sonunda, lise fizik öğretmenlerinin siyah cisim ışıması hakkında yeterli bilgilerinin olmadığı ve sahip oldukları bilginin bilimsel olarak kabul edilenden çok farklı olduğu tespit edilmiştir. Bu sonuçlar ile öğretmenlerin siyah cisim ışıması konusunu öğrencilere öğretmede yetersiz oldukları ima edilmiştir.

Taşlıdere (2016) çalışmasında, lise öğrencilerinin fotoelektrik olay ile ilgili kavram yanılgılarını belirlemek için üç aşamalı çoktan seçmeli bir test geliştirerek geçerlilik ve güvenilirliğini sağlamıştır. Lise 11. sınıf öğrencileri ile yürütölen çalışma sonucunda alan yazında yer alan üç ve yeni iki tane kavram yanılgısı tespit edilmiştir. Bu kavram yanılgıları; fotonun enerjisi ışık şiddetine bağlıdır, fotoelektronların sayısı foton enerjisi ile doğru orantılıdır, foton ışın rengi bağlı olan kinetik enerjiye sahiptir, fotoelektrik olayı ışıkla

etkileşen atomun iyonize olmasıdır ve eşik enerjisinden küçük enerjili fotonlar fotoelektrik devresine bağlı gerilim kaynağı yardımıyla elektronlar kopabilir.

Kızılcık ve Ünlü Yavaş (2017) fizik öğretmen adayları ile yaptıkları çalışmada, katılımcıların kuantum fiziği giriş konularında yaşadıkları zorlukları görüşme yöntemi ile belirlemişlerdir. Öğretmen adaylarının en fazla Siyah Cisim Işınması, Işığın Dalga ve Parçacık Özelliği ve Belirsizlik ilkesi konularında zorlandıkları ve bu yüzden klasik fizikten kuantum fiziğine geçişte güçlük çektikleri belirlemişlerdir. Bunun yanında katılımcıların matematiksel işlemlerde güçlük yaşamadığı, öğrenme yöntemlerinde görselleştirme, animasyon ve deneylerin kullanılmasının anlamayı kolaylaştırdığı vurgulanmıştır.

Krijtenburg-Lewerissa vd. (2017) yaptıkları çalışmada kuantum fiziği ile ilgili lise ve üniversite öğrencilerinin sahip olduğu kavram yanlışlarını derlemiş ve öğretim için önerilerde bulunmuştur. Foton ve elektronlarla ilgili derlenen kavram yanlışları: Elektronlar parçacık ve fotonlar parlak küresel toplar olup belirli konuma veya yörüngeye sahiptirler; elektronlar onları sinüzoidal dalgalarda hareket etmeye zorlayan pilot dalgalara sahiptir; fotonlar sinüzoidal dalgalı şekilde hareket ederler. Çift yarık deneyi ile ilgili; bazı lise öğrencileri fotonların yarıktan saptırılarak doğrusal bir yol izleyerek ekrana ulaştığını düşünmekte, lise öğrencileri de Broglie dalga boyunu tam anlayamamakta ve hız ile kütleli dalga boyuna etkisini ve dalga boyunun girişim desenindeki etkisini anlayamamaktadır. Fotoelektrik olayı ile ilgili; bazı öğrenciler fotoelektrik olayı atomun iyonize olması ile karıştırmakta, öğrenciler ışık ve elektron etkileşimini tam anlayamadıkları için eşik enerjisi, kinetik enerji ve kesme potansiyeli kavramlarını birbirine karıştırmakta veya birlikte fotoelektrik olayını nasıl oluşturduğunu anlamamakta, bazı üniversite öğrencileri ışık şiddeti ile fotonun enerjisinin doğru orantılı olduğunu düşünmektedir. Çalışma sonunda kuantum fiziği kavramsal anlama ve kuantum fiziği öğretimi ile ilgili yetersiz sayıda çalışma olduğu belirtilmiş ve öğrencinin yaşadığı zorluklar, öğretim stratejileri ve etkinlikleri ile ilgili çalışmaların yapılması gerektiği vurgulanmıştır.

Ünlü Yavaş ve Kızılıçık (2018) öğretmen adaylarının kuantum fiziğine giriş konularındaki güçlüklerin nedenlerini araştırdıkları çalışmalarında, önceden yaptıkları çalışmada tespit ettikleri zorlanma nedenlerini Likert tipi bir ölçeğe dönüştürerek bu nedenlerin sıklığını belirlemişlerdir. Çalışma sonunda, kuantum konuları ile günlük yaşamda karşılaşmama düşüncesinin en sık karşılaşılan zorlanma nedeni olduğu belirlenmiştir. Tespit edilen diğer bir zorlanma nedeninin ise klasik fizik konularındaki eksikliklerin kuantum konularının anlaşılmasını etkilediği fikri olmuştur. Ayrıca öğrencilerin kuantum fiziğini genelleştirmeden belli durumlar için sınırlayan bir anlayışla kabullendikleri belirtilmiştir. Ancak öğrencilerin kuantum konuları ile ilgilendikleri ve önemsedikleri, konuyu daha iyi anlamak için animasyon, modelleme ve görsellerin kullanılmasını istedikleri sonucuna da varılmıştır.

Çoban (2018) Fen Bilgisi öğretmen adayları ile yürüttüğü çalışmasında Siyah Cisim Işınması, Fotoelektrik Olay ve Compton Saçılması konularında Probleme Dayalı Öğretim yönteminin kavramsal anlamaya ve eleştirel düşünmeye etkilerini araştırmıştır. Çalışma sonunda, uygulanan öğretim yönteminin kavramsal anlamaya etkisinin geleneksel yöntemle göre daha fazla olduğunu ancak eleştirel düşünmeye etkisinin olmadığı belirlenmiştir.

Dokuzfidan (2019) lise öğrencilerinin fotoelektrik ve Compton olaylarına ilişkin fikirlerini belirlemek için yaptığı çalışmada araştırma öncesi ve sonrası öğrencilerin büyük çoğunluğunun alternatif kavramlara sahip olduğu sonucuna varmıştır. Alternatif kavramların devam etmesinin nedeni olarak öğretim programının alternatif kavramları dikkate almadığını ve öğretim için yeterli zaman ayrılmadığını iddia etmiştir.

Bezen vd. (2021) öğretmen adaylarının siyah cisim ışınması konusunda kavramsal anlamalarını incelemiştir. Çalışmada öğretmen adaylarının her ne kadar doğru kavramsal yapılarla sahip olsalar da bazı spesifik açılara sahip oldukları görülmüş. Öğretmen adaylarının özellikle Wien yasası ve siyah cisim ışınmasının elektromanyetik ışınmanın yerini almasını anlamakta güçlük çektikleri tespit edilmiştir.

Fizik Eğitiminde 5E Öğrenme Modeli ile İlgili Çalışmalar

Yapılandırmacı öğrenme yöntemlerinden olan 5E öğrenme modeli beş aşamadan oluşan bir öğrenme halkası olup öğrencilerin konuya dikkatlerinin artmasını, bilgilerini keşfederek organize etmelerini, farklı koşullara uyarlamalarını ve anlamlandırmalarını içermektedir (Bybee, 1997). 5E öğrenme modeli her biri İngilizce E harfi ile başlayan beş adımın kısaltması olup bunlar Excite (ilgi uyandırma), Explore (keşfetme), Explain (açıklama), Elaborate (derinleştirme) ve Evaluate (değerlendirme) adımlarıdır (Wilder & Shuttleworth, 2005). İlk aşama olan ilgi uyandırma aşamasında öğrencilerin konuya ilgi ve dikkatlerinin çekilmesi kısa uygulama veya tartışma ortamı oluşturulur ve öğrencinin ön bilgilerini hatırlaması sağlanır. Bu aşamada varsa kavram yanılgıları ortaya çıkarılabilir ve ona göre öğretim yapılabilir. İkinci aşama olan keşfetmede öğrenciler deney veya simülasyon vb. yardımıyla gözlem yapıp elde ettikleri verileri kaydederek hipotez oluştururlar. Üçüncü aşama olan açıklama bölümünde öğrenciler konuya dair açıklamalarını kendi kelimeleri ile ifade ederler, varsa yeni kavramlar öğretmen rehberliğinde öğrenirler ve ulaştıkları sonuçları genellerler. Dördüncü adım olan derinleştirme aşamasında öğrenciler öğrendiklerini yeni veya farklı koşullara uyarlamaya çalışırlar. Son adım olan değerlendirme aşamasında öğrenilen kavramların anlaşılıp anlaşılmadığı ve ne kadarının öğrenildiği belirlenir. Fizik eğitiminde 5E öğrenme modelini içeren çalışmalardan bazıları aşağıda verilmiştir.

Dinçer (2009) 5E öğretim modeline göre yürüttüğü uygulamalarda fen bilgisi öğretmen adaylarının kütle çekimi, ağırlık ve serbest düşme hareketi konularında kavram yanılgılarının giderildiği ve öğrenme düzeylerinin arttığı sonucuna ulaşmıştır.

Ergin (2009) eğik atış hareketi konusunda 5E modeline göre yapılan öğretimin etkisini incelemiştir. Ortaöğretim öğrencileri ile yürütülen çalışmada 5E modelinin öğrencilerin akademik başarı ve hatırlama düzeyi açısından olumlu etkisi olduğu sonucuna varılmıştır.

Anıl (2010) lise öğrencilerinin aynalar konusundaki kavramsal değişimlerine 5E öğretim modelinin etkisini incelemiştir. Çalışma sonunda öğrencilerin anlamlı ve kalıcı öğrenmeler edindikleri tespit edilmiştir.

Açışlı vd. (2011) hareket ve kuvvet konusunda 5E modeline uygun deneylerin akademik başarıya etkisini incelemiştir. Fen bilgisi öğretmenliği birinci sınıf öğrencileri ile genel fizik laboratuvar dersinde yürütülen çalışma sonunda 5E öğrenme modelinin öğrencilerin akademik başarısını arttırdığı tespit edilmiştir.

Hırça vd. (2011) iş, güç ve enerji konusu için 5E modeline uygun geliştirilen materyallerin kavramsal değişime ve fiziğe karşı tutuma etkisini incelemiştir. Çalışma sonunda ortaöğretim öğrencilerinin başarılarının arttığı ve 5E modelinin öğrencilerin fiziğe karşı tutumlarında olumlu etkisinin olduğu tespit edilmiştir.

Ayvacı ve Yıldız (2013) ışığın kırılması konusunda 5E öğretim modeline uygun geliştirilen fizik dersi laboratuvar materyalinin etkililiğini araştırmıştır. Fen bilgisi öğretmen adaylarıyla yürütülen çalışmada geliştirilen materyalin akademik başarı ve fizik laboratuvarına olan tutumlarını arttırdığı tespit edilmiştir.

Taşlıdere (2015) 5E ve simülasyon destekli öğretimin fotoelektrik konusundaki etkisini incelemiştir. Fen bilgisi öğretmen adayları ile yürütülen çalışma sonunda gerçekleştirilen öğretim modelinin öğrencilerin başarısını anlamlı bir şekilde arttığı tespit edilmiştir.

Bezen (2019) sorgulamaya dayalı 5E modelinin dalgalar konusundaki etkisini incelemiştir. Çalışmada ortaöğretim öğrencilerinin dalgalar konusunda kavramsal anlamalarında değişim olduğu ve tutumlarının değiştiği tespit edilmiştir.

Yuliana vd. (2020) formatif e-değerlendirme destekli 5E öğrenme modelinin lise öğrencilerinin ısı ve sıcaklık konusundaki problem çözme becerilerine etkisini incelemiştir. Çalışma sonunda öğrencilerin problem çözme becerileri düşük kategorisinde olmasına rağmen artmıştır.

Ong vd. (2021) sorgulamaya dayalı 5E öğrenme modelinin öğrencilerin elektrik konusundaki başarılarına etkisini incelemiştir. Çalışma sonunda düşük veya orta başarı düzeyindeki öğrencilerin fen başarılarının arttığı tespit edilmiştir.

Fizik Eğitiminde Tahmin Gözlem Açıklama (TGA) Destekli Çalışmalar

İngilizce Predict – Observe – Explain olan yöntem Tahmin – Gözlem – Açıklama (TGA) şeklinde Türkçeleştirilmiştir. TGA yöntemi White ve Gunstone (1992) tarafından kavramsal gelişimi desteklemek amacıyla geliştirilmiştir. TGA yönteminde öğrenciler önce konu ile ilgili tahminlerde bulunur ve deney veya gösteride değişkenlerden elde edilen verileri veya gözlem sonuçlarını yazar, ardından sonuçlar ile tahminlerini karşılaştırıp farklılıkların nedenlerini tartışır (White & Gunstone, 1992). TGA yönteminin Tahmin olan ilk aşamasında öğrenciler kendilerine sunulan durumla ilgili tahminde bulunmaları ve tahminin nedenini açıklamaları istenir. Öğrenciler tahminleri yazdıktan sonra arkadaşlarıyla tartışabilir. Tahminlerin doğruluk veya yanlışlığı ile ilgili öğretmen tarafından herhangi bir açıklama yapılmamalıdır. Gözlem olan ikinci aşamada öğrencilere deney veya olayın açıklaması sunulur. Öğrenciler deney veya sunulan olayı dikkatli bir şekilde gözlemleyerek yazar ve varsa elde edilen verileri kaydederler. Öğrencilerin mutlaka gözlem veya deney sonuçlarını unutmamak veya akranlarından etkilenmemek için yazmaları gerekir. Açıklama olan son aşamada öğrencilerin gözlem veya deney sonucu ulaştıkları sonuçları açıklamaları ve ilk yaptıkları tahminleri ile karşılaştırıp tartışmaları gerekmektedir (White & Gunstone, 1992). Türkiye’de 2005 – 2020 yılları arasında TGA ile ilgi yapılan çalışmaların genellikle biyoloji ve kimya eğitimi alanında yoğunlaştığı, fizik eğitiminde çok az sayıda çalışmanın olduğu ve TGA yönteminin akademik başarıyı arttırdığı tespit edilmiştir (Yıldız, 2021). Alan yazın incelendiğinde son yıllarda TGA ile ilgili çalışmalar artmasına rağmen halen biyoloji ve kimya eğitiminde ağırlıklı olduğu görülmektedir. Türkiye ve uluslararası alan yazında fizik eğitiminde TGA yöntemini kullanan çalışmalardan bir kısmına aşağıda yer verilmiştir.

Mısır (2009) elektrostatik ve elektrik akımı konularında geliştirilen TGA destekli etkinliklerin etkililiğini incelemiştir. Çalışma sonunda ortaöğretim öğrencilerinin akademik başarılarının arttığı ve kavram yanlışlarının giderildiği belirlenmiştir.

Akkılık (2016) öğrenme günlüğü ile birleştirilmiş TGA yönteminin elektrik ve manyetizma konusunun öğretimindeki etkisini araştırmıştır. Çalışma sonunda onuncu sınıf öğrencilerinin kavramsal anlamalarının ve fiziğe karşı motivasyonlarının arttığı tespit edilmiştir.

Tiftikçi vd. (2017) TGA destekli laboratuvar etkinliklerinin elektrik akımı konusundaki kavram yanlışlarının gidermede etkisini incelemiştir. Çalışma sonunda fen bilgisi öğretmen adaylarının kavram yanlışlarını gidermede ve akademik başarılarının arttırmada TGA yönteminin etkili olduğu tespit edilmiştir.

Furqani vd. (2018) titreşim ve dalgalar konusunun öğretiminde TGA stratejisinin kavramsal anlama ve eleştirel düşünmeye etkisini araştırmıştır. Çalışma sonunda lise öğrencilerinin kavramsal anlama ve eleştirel düşünme becerilerinin arttığı sonucuna varılmıştır.

Tereci vd. (2018) manyetizma konusu için geliştirilen TGA destekli deney etkinlik ile ilgili öğretmenlerin görüşleri incelenmiştir. Çalışma sonunda öğretmenlere göre deney etkinliğinin uygulanabilir, ilgi çekici ve öğretimde kullanılabilir olduğu belirlenmiştir.

Latifah vd. (2019) TGA yönteminin ısı ve sıcaklık konusunda öğrencilerin kavram yanlışlarını gidermedeki etkisini incelemiştir. Çalışma sonunda TGA yönteminin on birinci sınıf öğrencilerinin kavram yanlışlarını giderdiği belirlenmiştir.

Vaara ve Sasaki (2019) TGA yöntemi ile mühendislik öğrencilerinin hareket grafikleri konusundaki önyargılarını ve öğrenmelerini incelemiştir. Çalışma sonunda öğrencilerin hareket grafiklerini çizme ve yorumlamada ciddi zorluklar yaşadığını tespit etmiştir. Öğrencilerin TGA yöntemi ile grafik yorumlama, hız ve ivme kavramlarını anlama düzeyleri artmasına rağmen önyargılarının direndiği belirlenmiştir.

Yaşar (2019) oyunlarla desteklenmiş TGA yönteminin basınç ve kaldırma kuvveti konusunda ortaöğretim öğrencilerinin başarısına ve fiziğe yönelik algılarına etkisini araştırmıştır. Çalışma sonunda onuncu sınıf öğrencilerinin akademik başarılarının arttığı ve fiziğe yönelik tutumlarının olumsuzdan olumluya değiştiği belirlenmiştir.

Ojo ve Owolabi (2021) TGA yönteminin ortaöğretim öğrencilerinin fizik öğrenmelerine etkisini incelemiştir. Çalışma sonunda öğrencilerin başarılarının ve fiziğe karşı olumlu tutumlarının arttığı tespit edilmiştir.

Fizik Eğitiminde Simülasyon Destekli Çalışmalar

Simülasyonlar, öğrencilerin bilgisayar veya sanal ortamda değişkenleri değiştirerek deneyler yapabildikleri programlardır (Chen ve diğerleri, 2014). Simülasyonlar güvenlik, maliyet, temizlik, zaman vb. bakımından fiziksel laboratuvarlardan daha avantajlıdır (Papadouris & Constantinou, 2009). Fizik alanında birçok simülasyon geliştirilmiş olup bunlardan en çok tercih edilenleri Colorado Boulder Üniversitesi tarafından Fizik Eğitim Teknolojileri (PhET) adıyla 2002 yılından beri ücretsiz sunulmakta ve sürekli geliştirilmektedir (Perkins ve diğerleri, 2006). Günümüzde www.phet.colorado.edu/ adresinde fizik, kimya, matematik, yer bilimi ve biyoloji alanlarından 150'den fazla ödüllü simülasyon yer almakta ve bu simülasyonlar birçok dile çevrilmektedir (Perkins, 2020). Ma ve Nickerson yaptıkları inceleme çalışmasında sanal laboratuvar etkinliklerinde öğrencilerin kavramsal anlamalarının ön plana çıktığını belirtirken, Banda ve Nzabahimana inceleme çalışmasında PhET simülasyonları ile yapılan öğretimin fizikte kavramsal anlamayı arttırdığını tespit etmiştir. Türkiye'de ve uluslararası alan yazında fizik eğitiminde simülasyon kullanımının artmakta olduğu gözlenmiş ve fizik eğitiminde simülasyon destekli çalışmalardan bazılarına aşağıda yer verilmiştir.

Güvercin (2010) simülasyon destekli öğretimin lise öğrencilerinin akademik başarı, kalıcılık ve tutumlarına etkisini araştırmıştır. Çalışmada simülasyonla yapılan öğretimin

öğrencilerin akademik başarılarını arttırdığı ve kalıcılığı olumlu etkilediği belirlenirken fiziğe karşı tutumlarını etkilemediği belirlenmiştir.

Köklü (2015) simülasyon, animasyon ve analogik modellere dayalı laboratuvar etkinliklerinin akademik başarı ile kalıcılığa etkisini araştırmıştır. Öğretmen adaylarıyla genel fizik laboratuvarı dersinde yürütülen çalışma sonunda yapılan etkinliklerin akademik başarıya anlamlı bir etkisi gözlenmezken kalıcılığı olumlu yönde etkilediği sonucuna varılmıştır.

Abou Faour ve Ayoubi (2017) PhET simülasyonlarının onuncu sınıf öğrencilerinin kavramsal anlama ve fiziğe karşı tutumlarına etkisini araştırmıştır. Doğru akım elektrik devreleri konusunda yapılan çalışma sonunda öğrencilerin kavramsal anlamalarında kontrol grubuna göre anlamlı bir artış olduğu ancak fiziğe karşı tutumlarının kontrol grubu ile aynı olduğu belirlenmiştir.

Çetin (2018) simülasyon destekli işbirlikçi öğretimin öğrencilerin fizik başarısına ve diğer değişkenlere etkisini araştırmıştır. Çalışma sonunda öğrencilerin fizik başarılarının arttığı ancak fiziğe ve akıllı tahtaya karşı tutumları ile bilimsel süreç becerilerinin kontrol grubu ile aynı olduğu sonucuna varılmıştır.

Maulidah ve Prima (2018) dalgalar ve ses konusunda PhET simülasyonlarının öğrenmeye etkisini incelemiştir. Çalışmada simülasyonların hem bilişsel hem de laboratuvar ortamına yönelik öğrenmelerinin olumlu etkilendiği tespit edilmiştir.

Park (2019) simülasyon tabanlı biçimlendirici değerlendirmenin üniversite öğrencilerinin fizik kavramalarına etkisini araştırmıştır. İki boyutta hareket ve enerji korunumu konularında yapılan çalışma sonunda simülasyon kullanan öğrencilerin olguları daha bilimsel fikirlerle tahmin edip açıkladıkları belirlenmiştir. Ancak öğrencilerin normatif olmayan fikirlerinin soyut kavramlarda değişmediği belirlenmiştir.

Şenyiğit vd. (2021) simülasyon destekli sorgulama tabanlı öğrenme yaklaşımının öğretmen adaylarının sığaç konusundaki kavramsal anlamalarına etkisini araştırmıştır. Çalışma sonunda yapılan öğretimin etkili olduğu belirlenmiştir.

Saudelli vd. (2021) üniversitede PhET simülasyonlarını kullanarak pratikte yapılandırmacı öğrenme teorisini test etmiştir. Çalışmada PhET simülasyonlarının üniversite eğitiminde sınıf ve laboratuvar deneyimleri arasında önemli bir köprü olduğu ve öğrencilerin fizik kavramlarına ilişkin zihinsel modelleri geliştirmede yardımcı olduğu sonucuna varılmıştır.

Taibu vd. (2021) PhET simülasyonlarının kullanımının üniversite öğrencilerinin bilimsel becerilerine ve fiziğe karşı tutumlarına etkisini incelemiştir. Çalışma sonunda öğrencilerin bilimsel becerilerinin geliştiği ve fiziğe karşı olumlu tutumlarında artma olduğu tespit edilmiştir.

Uwamahoro vd. (2021) lise öğrencilerinin geometrik optik konusundaki kavramsal anlamalarını farklı etkinliklerle incelemiştir. Çalışmada PhET simülasyonları ile videoların birlikte kullanımının öğrencilerin öğrenmelerini geliştirdikleri sonucuna varılmıştır.

Fizik Eğitiminde Çizgi Roman ile İlgili Çalışmalar

Çizgi roman, görüntüleri, yazılı metni ve diyalogu birleştiren resimli hikayelerin sunulma biçimidir. Çizgi romanlarda işaret, imge ve semboller aracılığıyla konuşma balonları içinde bilgi iletilir (Arroio, 2011). Böylece çizgi roman, anlamı derinden ve doğrudan iletmede geleneksel metinlerin sağlayamadığı güçlü bir görsel ileti sağlar (Park ve diğerleri, 2011). Çizgi romanlar, anlatı ve görsel imgelerle mizahı içerdikleri için gençler arasında popüler olmakta ve bu ilgi çekici yönünden dolayı eğitimde özellikle fen bilimlerinde bilim dili basitleştirilerek kullanılmaktadır (Lin ve diğerleri, 2015). Ancak çizgi romandaki hikaye, mesajı net ve doğru bir şekilde iletmek için iyi bir olay örgüsüne, güçlü bir gelişim karakterine ve yazım tekniklerine sahip olmalıdır (Sari ve diğerleri, 2019). Eğitimin her kademesinde ve fen bilimlerinde kullanılmaya başlanan çizgi romanlar

öğrenciler için ilgi çekici olmakta ve öğrenciler fizik kitabı yerine fizik çizgi romanlarını okumayı tercih etmektedir (Lin ve diğerleri, 2015). Ayrıca çizgi romanlar öğrencilerin öğrenme motivasyonlarını arttırdığı için fizik eğitiminde kullanımı önerilmektedir (Fitri ve diğerleri, 2021). Fizik eğitimi alanında çizgi roman ile ilgili yapılan çalışmalardan bazıları aşağıda görülebilir.

Orçan ve Kandil İngeç (2016) çizgi roman tekniğine dayalı bilimkurgu öykülerinin öğrencilerin yaratıcı düşünme becerilerine etkisini incelemiştir. Çalışma sonunda on birinci sınıf öğrencilerinin esneklik ve orijinallik becerilerinin arttığı tespit edilmiş ve geliştirilen materyalin yaratıcı düşünme becerisini geliştirmede kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

Özdemir (2017) siyah cisim ışması konusunda yarı tarihi yolla geliştirilen çizgi romanlardan üniversite öğrencilerinin ne öğrendiğini ve çizgi roman kullanılması hakkındaki görüşlerini incelemiştir. Öğrencilerin çizgi roman etkinliğinden sonra yanlış cevap oranının azaldığı ve öğrencilerin çizgi romanı eğlenceli bulduğu belirlenmiştir. Ancak öğrenciler yarı tarihsel içerikle ilgili görüş belirtmediğinden çizgi roman yapısının içeriği domine ettiği sonucuna varılmıştır.

Haroky vd. (2019) çizgi romanların ağırlık konusunda kavramsal anlamaya etkisini araştırmıştır. Çizgi roman destekli öğretimin sonunda ortaöğretim onuncu sınıf öğrencilerinin ağırlık konusunda kavramsal anlamalarının iyi düzeyde olduğu tespit edilmiştir.

Sari vd. (2019) termodinamik deneyi için geliştirilen çizgi roman materyalinin lise öğrencilerinin bilimsel süreç becerilerine etkisini incelemiştir. Çalışma sonunda materyalin öğrencilerin bilimsel süreç becerilerini geliştirebildiği belirlenmiştir.

Khaira vd. (2020) titreşim, dalga ve ses konularında geliştirilen çizgi roman çalışma yapraklarının öğrencilerin öğrenme ve motivasyonlarına etkisini araştırmıştır. Çalışma sonunda çizgi romanların kullanışlı olduğu, öğrencilerin öğrenmelerini geliştirdiği ve öğrenme motivasyonlarını arttırdığı tespit edilmiştir.

Maghfiroh vd. (2020) optik araçlarla ilgili Android tabanlı çizgi roman geliştirmiştir. Çalışma sonunda geliştirilen materyalin uzman ve öğrenci görüşleri ile çok kullanışlı ve pratik olduğu ve fizik öğrenmede kullanılabilir olduğu belirtilmiştir.

Chercules vd. (2021) dalgalar konusunda yerel bilgiye dayalı çizgi romanlar geliştirmiş ve uzman görüşü ile öğrenci görüşlerini değerlendirmiştir. Çalışmada geliştirilen çizgi romanlar uzmanlar tarafından uygulanabilir olduğu ve öğrenciler tarafından kullanışlı olduğu belirtilmiştir. Ancak çalışmaya ilişkin uygulama ve değerlendirme aşamalarının eksik olduğu belirtilmiştir.

Fitri vd. (2021) Newton yasaları ile ilgili geliştirilen karakter eğitimi temelli dijital çizgi romanlar hakkında öğrenci ve öğretmen görüşlerini incelemiştir. Çalışma sonunda öğrenci ve öğretmenlerin ortaokullarda fizik öğrenimi için çizgi romanların gerekli olduğunu düşündükleri belirlenmiştir.

Hesti (2021) elektrik devreleri malzemeleri için analogi tabanlı çizgi romanların kavram yanlışlarını gidermedeki etkisini incelemiştir. Çalışma sonunda lise öğrencilerinin kavram yanlışlarının farkına vararak bilgilerini bilimsel bilgilerle değiştirdikleri tespit edilmiştir.

Badeo ve Koc (2022) fizik eğitiminde kullanılmak üzere çizgi roman tabanlı öğrenme modülü geliştirmiş ve doğrulama çalışmasını yapmıştır. Çalışmada geliştirilen modüller uzmanlar tarafından yüksek düzeyde uygulanabilir şeklinde değerlendirilmiştir. Lise öğrencileriyle yapılan iki haftalık çalışmanın ardından öğrenciler modülü çok kullanışlı bulmuşlardır.

Maghfiroh ve Kuswanto (2022) iki boyutta ivmeli hareket (atışlar) konusunda geliştirilen çizgi romanların vektörel gösterimi ve eleştirel düşünme becerisine etkisini incelemiştir. Lise öğrencileri ile yürütülen çalışma sonunda çizgi romanların vektörel gösterim ve eleştirel düşünme becerisini geliştirdiği sonucuna ulaşılmıştır.

Safitri vd. (2022) ısı ve ısı iletimi konusunda problem tabanlı öğrenmeye dayalı çizgi roman geliştirmiştir. Ortaokul öğrencilerine uygulanan materyalin ısı ve ısı iletimi konusunda öğrencilerin öğrenmelerini geliştirdiği belirlenmiştir.

Alan yazın taraması sonucu genel olarak kuantum fiziğine giriş konularında yapılan çalışmaların yetersiz olduğu ve bu konuda hem kavramsal anlamada yaşanan zorlukların hem de bunları gidermek için öğretim yöntemlerinin geliştirilmesi gerektiği açıktır. Yukarıda değinilen çalışmalarda fizik dersinde kullanılan 5E öğrenme modelinin öğrencilerin akademik başarılarını arttırdığı, kavramsal değişime neden olduğu, hatırlama düzeyini olumlu etkileyerek anlamlı ve kalıcı öğrenmelere neden olduğu, problem çözme becerisini arttırdığı ve fiziğe karşı olumlu tutum gelişmesine neden olduğu belirlenmiştir. Ayrıca son yıllarda fizikte kullanılan ve kullanımı önerilen çizgi romanların yaratıcı ve eleştirel düşünme becerisini geliştirdiği ve öğrenmeye yardımcı olarak kavram yanlışlarını giderdiği görülmektedir.

Bölüm 3

Yöntem

Bu araştırmada kuantum fiziği konularını anlamada karşılaşılan güçlüklerin belirlenmesi ve çalışma kapsamında geliştirilen Tahmin-Gözlem-Açıklama (TGA), simülasyon ve çizgi roman destekli 5E öğretim modelinin bu güçlükleri gidermedeki etkisi araştırılmıştır. Bu yüzden çalışma kavramsal anlamada yaşanan güçlüklerin belirlenmesi ve bu güçlüklerin giderilmesinde uygulanan öğretim modelinin etkisinin araştırılması olmak üzere iki kısımdan oluşmaktadır.

Araştırmanın Modeli

Çalışmanın ilk kısmında ortaöğretim öğrencilerinin karşılaştığı kavramsal anlama güçlüklerini belirlemek amacıyla karma yöntemlerden üçgenleme deseni kullanılmıştır. Bu desende nitel ve nicel bulgular aynı ağırlıkta olup eşzamanlı olarak toplanır ve birlikte ya da ayrı ayrı analiz edilir (Fraenkel ve ark., 2012). Nicel ve nitel analiz bulguları birleştirilerek benzerlik ve farklılıklar karşılaştırılarak yorumlanır. Bu desenin önemi, nitel ve nicel verilerden elde edilen farklı bilgilerden (nitelden öğrenci görüşleri ve nicelden ölçek puanları gibi) benzer sonuçların çıkmasıdır (Creswell & Creswell, 2017). Sonuçlar arasında farklılık varsa nedenleri tartışılmalıdır (Fraenkel ve ark., 2012).

Çalışmanın ikinci kısmında ise TGA, simülasyon ve çizgi roman destekli 5E öğretim modelinin belirlenen güçlükleri gidermesindeki etkisini araştırmak için yarı-deneysel yöntem tercih edilmiştir. Araştırmada kullanılacak grupların deney ve kontrol olarak rastgele seçilemediği durumlarda yarı-deneysel yöntem kullanılabilir ancak her iki grup benzer özelliklere sahip olmalıdır (Fraenkel ve ark., 2012). Çalışmada bir Anadolu lisesinde 12. sınıf seçmeli fizik dersi alan tüm öğrenciler deney grubuna dahil edilmiş ve bu öğrencilerin derslerine kendi öğretmenleri olan araştırmacı girmiş ve belirlenen öğretim modelini uygulamıştır. Benzer demografik özelliklere sahip ve akademik olarak denk olan başka bir

Anadolu lisesinde 12. sınıf seçmeli fizik dersi alan öğrenciler ise kontrol grubu olarak seçilmiş ve derslerine okulun fizik öğretmeni girmiştir.

Araştırmanın Çalışma Grubu

Araştırmaya Van iline bağlı iki farklı Anadolu lisesinde 12. sınıfta okuyan ve seçmeli fizik dersini seçen 85 öğrenci dahil edilmiştir. Çalışmaya katılan tüm öğrenciler gönüllü olarak katılım sağlamış, çalışma öncesi katılımcılara çocuk/ergen bilgilendirme formu (EK-A) verilmiş ve velilerinden imzalı veli onay formu alınmıştır (EK-B). Araştırma için hazırda bulunan gruplar çalışmaya dahil edildiği için kolay örnekleme yöntemi kullanılmıştır (Fraenkel ve ark., 2012). Deney grubuna araştırmacının girmesi gerektiğinden kolay örnekleme yoluyla araştırmacının öğretmen olduğu okulun öğrencileri deney grubu seçilirken bu okula denk ve aynı demografik özelliklere sahip bir Anadolu lisesi öğrencileri de kontrol grubu olarak seçilmiştir. Ayrıca asıl uygulamadan altı hafta önce deney grubuna öğretim modeli uygulanmaya başlanmıştır. Çalışma grubuna ait cinsiyet dağılımı Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1

Katılımcıların Cinsiyet Dağılımları

Grup	Cinsiyet	Frekans	Yüzde
Deney	Kız	25	55.56
	Erkek	20	44.44
Kontrol	Kız	19	47.50
	Erkek	21	52.50

Tablo 1’e bakıldığında katılımcıların hem grup içi hem de gruplar arası cinsiyet dağılımların birbirine yakın olduğu anlaşılmaktadır. Gruplardan elde edilen puanlar parametrik testler için gerekli varsayımları karşıladığından grupların akademik olarak denk olup olmadığına bağımsız gruplar t-testi ile bakılmıştır. Öntest ortalama puanları Tablo 2’de ve t-testi sonuçları Tablo 3’te verilmiştir.

Tablo 2*Öntest Ortalama Puanları*

Grup	N	Ortalama	SS
Deney	45	5,00	1,81
Kontrol	40	4,97	1,72

Tablo 3*Öntest Bağımsız Gruplar t-Testi Sonuçları*

Grup	F	t	p
Öntest toplam puanları	,038	,065	,948

Tablo 2 ve Tablo 3 değerlerine bakıldığında, her iki gruptaki öğrencilerin öntestte benzer ortalamalara sahip olduğu ve gruplar arasında anlamlı bir farklılık olmadığı görülmektedir ($p > .05$). Böylece deney ve kontrol grubu öğrencilerinin uygulama öncesinde akademik olarak denk oldukları anlaşılmaktadır.

Veri Toplama Süreci

Araştırma kapsamında geliştirilen dört aşamalı Kuantum Fiziği Kavramsal Anlama Testi için önce Hacettepe Üniversitesi Etik Komisyonu'ndan izin alınmıştır (EK-P). Etik izini ile Van İl Milli Eğitim Müdürlüğü'nden veri toplama izni alınmıştır (EK-R). KuFKAT'ın çoktan seçmeli aşamasının pilot çalışmaları için veriler 2020-2021 eğitim öğretim yılında yüz yüze toplanmıştır. İzinler alındıktan sonra beş tane yerel yerleştirme ile öğrenci alan Anadolu lisesi, iki tane sınavla öğrenci alan Anadolu lisesi ve üç tane sınavla öğrenci alan fen lisesinde görevli fizik öğretmenlerine ulaşılmış ve test kapsamındaki konuların işlenmesinin ardından belirlenen zamanda öğrencinin okuduğu kurumda derslerin bitiminden sonra toplam 160 gönüllü öğrenciye kırk dakikalık süre tanınarak yüz yüze test uygulanmıştır. Verilerin toplanması iki hafta sürmüştür. Araştırmaya katılan tüm katılımcıların velilerinden onay alınmıştır.

Araştırmada pilot çalışma sonrası son hali verilen KuFKAT'ın çoktan seçmeli bölümü tüm gruplara öntest olarak uygulanmıştır. Aynı hafta deney grubu öğrencileri ile uygulama öncesi mülakat yapılmıştır. Öntest uygulandıktan bir hafta sonra deney gruplarında TGA ve çizgi roman destekli 5E öğretim modeline göre uygulamalar yapılmıştır. Uygulama bittikten bir hafta sonra her iki gruba da dört aşamalı KuFKAT sontest olarak uygulanmıştır. Sontest uygulandıktan sonra deney grubu öğrencilerinden bazılarıyla uygulama sonrası mülakat yapılmıştır. Çalışma takvimi Tablo 4'te ve çalışmanın akış şeması Şekil 1'de verilmiştir.

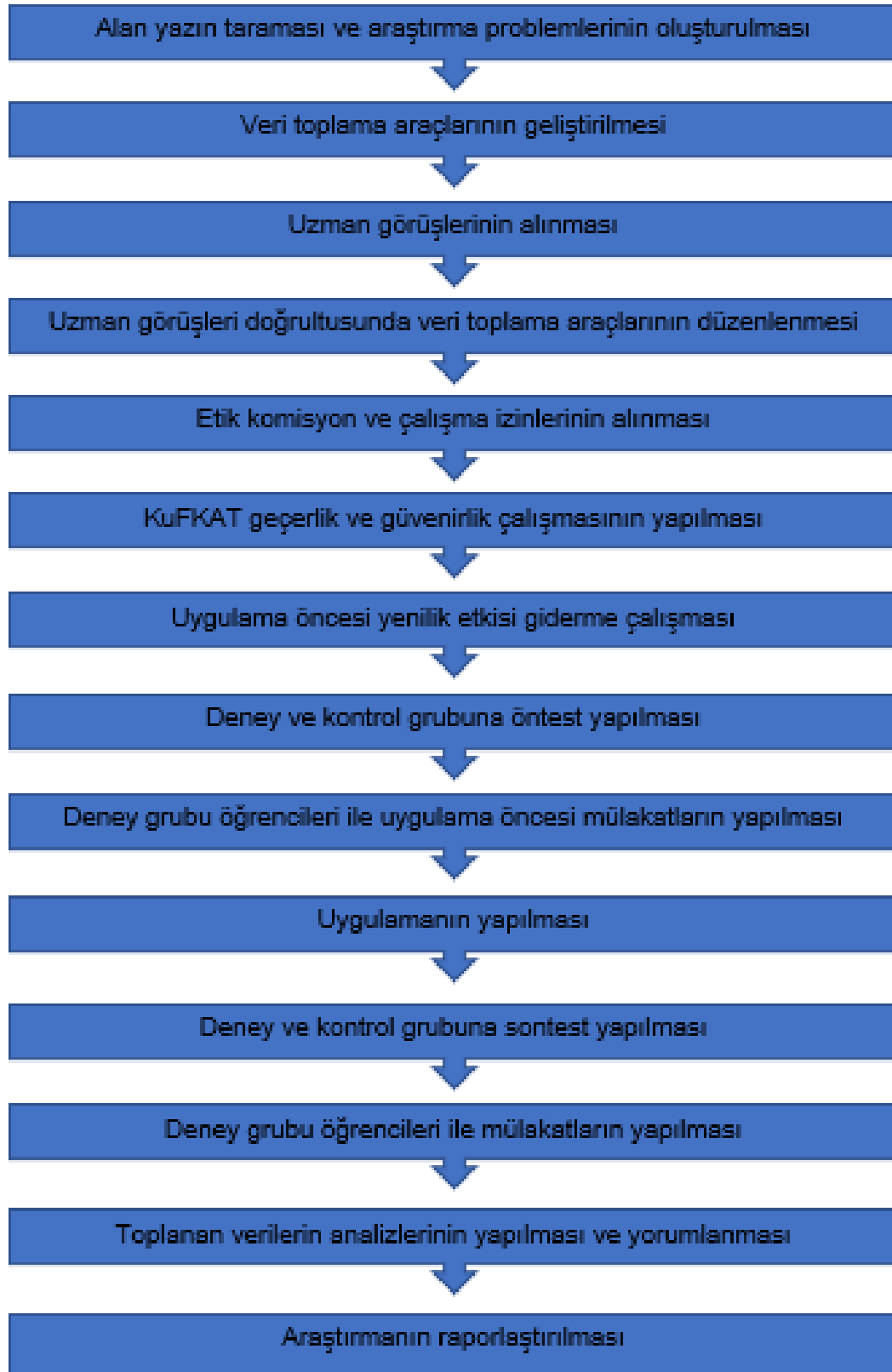
Tablo 4

Çalışmanın Yapıldığı Zaman Aralıkları

Yapılan çalışma	Tarih
Öntest	15 Şubat 2022
Uygulama öncesi mülakat	21- 25 Şubat 2022
Siyah cisim ışıması uygulaması	7-11 Mart 2022
Fotoelektrik olayı uygulaması	14-25 Mart 2022
Compton saçılması uygulaması	28 Mart-1 Nisan 2022
Madde dalgaları uygulaması	4-8 Nisan 2022
Sontest	21 Nisan 2022
Uygulama sonrası mülakat	25 Nisan-6 Mayıs 2022

Şekil 1

Çalışmanın Akış Şeması



Veri Toplama Araçları

Araştırmanın yöntemi karma olduğundan çalışmada hem nicel hem de nitel veriler için dört aşamalı Kuantum Fiziği Kavramsal Anlama Testi (KuFKAT) geliştirilerek kullanılmıştır. KuFKAT'ın ilk aşaması beş seçeneğin bulunduğu çoktan seçmeli bölümden, ikinci aşaması öğrencinin ilk aşamada seçtiği seçeneğin gerekçesini açıkladığı bölümden oluşmaktadır. İlk iki aşama beraber değerlendirilerek nicel veriler elde edilmiştir. KuFKAT'ın ilk aşaması olan çoktan seçmeli bölümü öntest ve sontest olarak kullanılmıştır. Öğrencilerin kavramsal anlama düzeylerini anlamak için ise çoktan seçmeli bölüm ile açıklama bölümü birlikte değerlendirilmiştir. KuFKAT'ın üçüncü aşaması öğrencinin cevabını gerekçelendirirken 'Hiç zorlanmadım', 'Zorlanmadım', 'Kararsızım', 'Zorlandım' ve 'Çok zorlandım' seçeneklerini işaretleyeceği bölüm, dördüncü aşama ise öğrencinin zorlanma nedenini açıklayacağı bölümdür. Öğrencilerin işaretledikleri seçenek, yaptıkları açıklamalar ve son iki aşama beraber değerlendirilerek öğrencilerin zorlanma nedenleri ile ilgili nitel veriler elde edilmiştir. Ayrıca nitel veri çeşitliliğini arttırmak amacıyla öğrenciler ile uygulama öncesi ve sonrası mülakatlar yapılmış ve analiz edilmiştir.

Kuantum Fiziği Kavramsal Anlama Testi (KuFKAT)

Ortaöğretim öğrencilerinin kuantum fiziğine giriş konularındaki kavramsal anlamalarını belirlemek amacıyla geliştirilen Kuantum Fiziği Kavramsal Anlama Testi (KuFKAT) kullanılmıştır. KuFKAT'ın geliştirilmesine belirtke tablosu hazırlanarak başlanmış ve bu tabloya göre çoktan seçmeli 24 soruluk bir test hazırlanmıştır. Pilot çalışmanın ardından testteki maddeler yenilenmiş Bloom taksonomisine göre sınıflandırılmıştır. KuFKAT için Kuantum Fiziği giriş konuları olan ve 12. Sınıf öğretim programında yer alan siyah cisim ışınması, fotoelektrik olay, Compton saçılması ve madde dalgaları kazanımları belirlenmiştir. MEB 2018 FÖP'teki kazanımlar EK-M'de görülebilir.

MEB 2018 Fizik Öğretim Programında kuantum fiziği giriş konularının kuantum fiziğine giriş, fotoelektrik olayı, Compton saçılması ve de Broglie dalga boyu adları ile üç

ana başlıkta verilmiştir (EK-M). Bu kazanımlara bakıldığında ilgili konuların siyah cisim ışınması, fotoelektrik olayı, Compton saçılması, ışığın ikili doğası ve madde dalgaları (de Broglie dalga boyu) olarak beş konudan oluştuğu belirlenmiştir. Bu beş konuya ait 10 adet kazanım ve bu kazanımlara ait açıklamalar ve alt kazanımlar dikkate alınarak siyah cisim ışınması konusundan 3, fotoelektrik olay konusundan 11, Compton saçılması konusundan 5, ışığın ikili doğası konusundan 2 ve madde dalgaları konusundan 3 sorunun yer aldığı 24 soruluk bir test hazırlanmıştır. Kazanım açıklamaları incelendiğinde, sadece fotoelektrik olay ile ilgili matematiksel hesaplamalara izin verildiği ancak diğer konularda “Matematiksel hesaplamalara girilmez” denilerek hesaplamalara izin verilmediği anlaşılmaktadır. Test hazırlanırken Fizik 12 Ders Kitabı (Alpegemen, 2019), MEB Ortaöğretim Genel Müdürlüğü tarafından sunulan www.ogmmateryal.eba.gov.tr ve Eğitim Bilişim Ağı (EBA) platformunda yer alan sorular incelenmiş ve öğretim programına uygun özgün sorular yazılmıştır. Maddelere ait çeldiriciler yazılırken özellikle alan yazında yer alan ve Güneş (2017) tarafından derlenen kavram yanlışlarına yer verilmiştir. Bu kavram yanlışları; ‘Siyah cisimler sadece siyah olan cisimlerdir’, ‘Fotoelektrik olay sadece metal yüzeylerde gerçekleşir’, ‘Fotonların enerjisi, elektrotlar arasındaki potansiyel farkı ile ölçülür’, ‘Compton saçılması, elektronların hareket yönüne doğru saçılma anlamına gelir’, ‘Işığın dalga boyu ve frekansı arasında bir ilişki yoktur’, ‘Madde dalgaları elektromanyetik dalgadır’ (Güneş, 2017). Konulara ait kazanımların öğretim programındaki kazanımlar içindeki yüzdeleri ile KuFKAT’ta yer alan yüzdeleri Tablo 5’te verilmiştir.

Tablo 5

KuFKAT Maddelerinin Kazanımlara Göre Dağılımları

Konu Adı	FÖP Kazanım Yüzdesi	KuFKAT Kazanım Yüzdesi
Siyah Cisim Işınması	10	12,50
Fotoelektrik Olay	50	45,83

Compton Olayı	20	20,83
Işığın İkili Doğası	10	8,33
Madde Dalgaları	10	12,50

Tablo 5'te görüldüğü üzere konuya ait kazanım yüzdesi ile KuFKAT'ta yer alan maddelere arasında dengeli bir dağılım yapılmıştır. Dört aşamalı olarak hazırlanan KuFKAT için fizik eğitimi anabilim dalında öğretim üyesi olan 4 profesörden ve MEB'e bağlı okullarda fizik öğretmenliği yapan bir öğretmenden kapsam geçerliği için uzman görüşüne başvurulmuştur. Alınan görüşlere göre KuFKAT'ta gerekli değişiklikler yapıldıktan sonra MEB'e bağlı kurumlarda edebiyat öğretmeni olarak on yıldan fazla çalışan bir öğretmen, KuFKAT'ı dil açısından incelemiştir. Uzmanların görüşleri doğrultusunda KuFKAT'taki sorularının bazılarında düzeltme yapılarak kullanıma hazır hale getirilmiştir. KuFKAT, son halini aldıktan sonra 10 öğrenci ile pilot çalışma yapılarak tüm soruların anlaşılır olduğuna ve test için 40 dakikalık bir ders süresinde testin uygulanabilir olduğuna karar verilmiştir.

KuFKAT'ın pilot çalışması için Van merkez ilçelerinden İpekyolu ve Tuşba'da bulunan 10 farklı okulda, 12. sınıfta öğrenim gören ve seçmeli fizik dersini alan 160 öğrenciye uygulanmıştır. Testi boş veren veya yarıda bırakanlar çıkarıldıktan sonra 148 öğrenciden alınan veriler analize dahil edilmiştir. Araştırmanın yapıldığı zaman aralıklarında pandemi ilan edildiğinden öğrencilerin devam zorunluluğu bulunmamaktaydı. Bundan dolayı testteki soru sayısının beş katı örneklem büyüklüğünün ($24 \times 5 = 120$) açılımlayıcı faktör analizleri için uygun olduğuna karar verilmiştir (Child, 2006). Araştırma için hem sınav puanı ile öğrenci kabul eden fen liseleri ile nitelikli Anadolu liseleri hem de sınavsız yerel yerleştirmeye dayalı Anadolu liseleri seçilmiştir. Mesleki program uygulayan liselerde seçmeli fizik-12 dersi tercih edilmediğinden bu okullar çalışmaya dahil edilmemiştir. Uygulamadan önce araştırmaya dahil edilen tüm liselerde modern fizik ünitesi işlenmiştir. Uygulama iki hafta sürmüştür. Uygulama sonunda analizlere dahil edilen öğrencilere ait cinsiyet ve okul türleri Tablo 6'da yer almaktadır.

Tablo 6*Katılımcıların Cinsiyet ve Okul Türlerine Göre Dağılımları*

	Değişken	Frekans	Yüzde
Okul türü	Fen lisesi	45	30,41
	Anadolu lisesi (sınavlı)	30	20,27
	Anadolu lisesi (yerel yerleştirme)	73	49,32
Cinsiyet	Kız	71	47,97
	Erkek	77	52,03

Tablo 6'da görüldüğü üzere KuFKAT için geçerlik ve güvenirlik çalışmasında katılımcıların %47.97'si (71) kız, %52.03'ü (77) erkek öğrencilerden oluşmaktadır. Ayrıca katılımcıların %30,41'i (45) Fen lisesi, %20,27'si (30) sınavlı Anadolu lisesi ve %49,32'si (73) sınavsız Anadolu lisesinde okumaktadır. Fen liseleri ve sınavlı Anadolu liseleri aynı merkezi sınavla öğrenci seçtiklerinden, çalışmaya katılan öğrencilerin yaklaşık yarısı merkezi sınavla öğrenci alan okullarda öğrenim görmektedirler. Bu bağlamda, öğrencilerin cinsiyet ve okul türleri dağılımının dengeli olduğu görülmektedir.

Araştırma kapsamında geliştirilen KuFKAT'tan alınan puanların geçerlik ve güvenirlik çalışması için elde edilen verilerin analizleri SPSS 26 programı ve FACTOR yazılımı kullanılarak yapılmıştır. Testte öğrencilerin doğru cevapladığı maddelere "1", yanlış cevapladığı veya boş bıraktığı maddelere "0" puan verilerek programa girilmiştir. Bir öğrenci testten en çok 24 puan alabilirken, en az 0 alabilmektedir. Kapsam geçerliği çalışmaları için fizik eğitimi anabilim dalında öğretim üyesi olan dört profesörden ve MEB'e bağlı okullarda fizik öğretmeni olarak çalışan bir öğretmenden uzman görüşü alınmıştır. Uzman görüşleri doğrultusunda KuFKAT'ta gerekli değişiklikler yapıldıktan sonra MEB'e bağlı okullarda 10 yılı aşkın süre edebiyat öğretmeni olarak çalışan bir öğretmen tarafından KuFKAT Türkçe anlam ve dil bilgisi açısından incelemiştir. Uzmanların görüşleri doğrultusunda KuFKAT'taki soruların bazılarında düzeltme yapılarak kullanıma hazır hale getirilmiştir. KuFKAT tamamlandıktan sonra 10 öğrenciye uygulanmış ve tüm soruların anlaşılır olduğuna ve testin uygulanması için 40 dakikalık bir ders süresinin yeterli olduğuna karar verilmiştir.

Örnekleme büyüklüğü göz önünde bulundurularak tüm veriler kullanılarak ayırt edicilik indeksi için nokta çift-serili korelasyon katsayısı ve güçlük için madde güçlüğü indeksi hesaplanmıştır. Yapı geçerliğine dair kanıt toplamak amacıyla da açımlayıcı faktör analizi (AFA) yapılmıştır. AFA yapılmadan önce SPSS ile tüm veri üzerinde çok değişkenli uç değer olup olmadığına bakmak için Mahalanobis uzaklığı hesaplanmıştır. Hesaplanan uzaklık değerleri ki-kare dağılımı ile karşılaştırılarak 0,001 değerinin altında kalan değerler uç değer olarak kabul edilmiş ve herhangi bir uç değere rastlanmamıştır. Verinin faktör analizine uygunluğuna yönelik olarak Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) değeri incelenmiş ve Bartlett küresellik testi yapılmıştır (Awang, 2015). KMO değerinin 0,6 üzeri olması faktör çıkarmak için örneklemin yeterli büyüklükte olduğu anlamına gelmektedir. KuFKAT için yapılan analizde KMO değeri 0,890 çıktığı için örneklemin analiz için uygun büyüklükte olduğuna kanaat getirilmiştir. Ayrıca ki-kare istatistik değerinin anlamlılığına Bartlett küresellik testi ile bakılmış, anlamlılık değerinin 0,05'in altında olduğu belirlenmiştir ($X^2(276)=1590,7$; $p<,05$) (Awang, 2015; Hair ve diğerleri, 2014). Bu bağlamda KuFKAT verileri için faktör analizinin yapılması uygun bulunmuştur. Veriler 1 ve 0 şeklinde kategorik olarak kodlandığından tetrakorik korelasyon matrisi üzerinden AFA yapılması daha uygundur. Ancak tetrakorik analizlerin yapılabilmesi için verilerin ya asimetrik dağılıma sahip olması ya da baskınlığın fazla olması gerekmektedir (Muthen & Kaplan, 1992). KuFKAT maddeleri için baskınlık katsayısı 670,642 ($df=2600$ ve $p<,05$) olduğundan tetrakorik analizlerin yapılması uygun bulunmuştur. Tetrakorik korelasyon matrisi üzerinden AFA, FACTOR adlı yazılım ile gerçekleştirilmiştir. Güvenirlik çalışması için hem KuFKAT hem de alt boyutları için KR-20 güvenirlik katsayısı hesaplanmıştır.

Madde güçlük indeksi (p_j) hesaplanırken her madde için o maddeye doğru cevap veren tüm öğrenciler toplanmış ve elde edilen değer tüm katılımcıların sayısına (148 kişi) bölünmüştür. Madde ayırt ediciliği (r_{pb}) için nokta-çift serili korelasyon katsayısına başvurulmuştur. Hesaplanan madde güçlük indeksleri (p_j) ile nokta-çift serili korelasyon katsayı değerleri (r_{pb}) Tablo 7'de verilmiştir.

Tablo 7

*KuFKAT Maddeleri İçin Hesaplanan Madde Güçlük İndeksleri ile Düzeltilmiş Madde-
Toplam Korelasyonu Değerleri*

Madde	p_j	r_{pb}
M1	0.32	0.34
M2	0.46	0.44
M3	0.53	0.49
M4	0.55	0.69
M5	0.61	0.69
M6	0.56	0.61
M7	0.53	0.66
M8	0.51	0.81
M9	0.60	0.74
M10	0.51	0.72
M11	0.68	0.61
M12	0.61	0.65
M13	0.36	0.71
M14	0.59	0.66
M15	0.40	0.64
M16	0.51	0.74
M17	0.51	0.69
M18	0.45	0.73
M19	0.41	0.66
M20	0.53	0.69
M21	0.56	0.63
M22	0.29	0.50
M23	0.21	0.50
M24	0.27	0.48
TOPLAM	0.48	0.63

Madde güçlük indeksi testin öğrenciler için kolay ya da zor olduğunu göstermektedir. Madde güçlük indeksinin değeri 0 ile 1 aralığında olabilir, değeri 0'a yakın olan maddeler zor, 1'e yakın olan maddeler ise kolay kabul edilir. Testin güçlük indeksinin genellikle 0,50 olması istenir ancak bu, tüm maddelerin bu düzeyde olması gerektiği anlamına gelmez. Madde güçlük indeksinin 0,30 ile 0,70 arasında olması istenen bir durumdur (Büyüköztürk, 2013; Yiğit, 2008). KuFKAT'ın ortalama güçlüğü 0,48 olduğu için orta güçlükte bir test olduğu söylenebilir.

Madde ayırt edicilik indeksi başarı seviyesi yüksek yani bilen öğrencilerle başarı seviyesi düşük yani bilmeyen öğrencileri ayırt etme derecesini göstermektedir. Ayırt edicilik indeksinin değeri -1 ile 1 aralığında olabilir. Eğer indeks değeri 1'e yakın ise maddenin ayırt ediciliği yüksek demektir, eğer değer negatif ise alt gruptakiler maddeyi doğru yanıtlarken üst gruptakiler yanlış yanıtlamış demektir. Negatif değerli madde, olası hatalar tespit edildikten sonra testten çıkarılır. Ayırtıcılık değeri 0,20 ve altında olan maddeler testten mutlaka çıkarılmalı, 0,30 altında olan maddelerin ise düzeltilmesi veya çıkarılması yoluna gidilmelidir. Ayırtıcılığı 0,30 ve üzerinde olanların maddelerin ise ayırt ediciliği iyidir (Büyüköztürk, 2013; Yiğit, 2008). Tablo 10'da görüldüğü üzere testte yer alan tüm maddelerin toplam puan ile pozitif korelasyon gösterdiği ve elde edilen değerlerin 0,30 ve üzerinde olduğu bulunmuştur. Bu bağlamda KuFKAT'ın ayırt ediciliği yüksek ideal bir test olduğu sonucuna varılmıştır. Tablo 9'da görüldüğü üzere testte yer alan tüm maddelerin ayırt ediciliği 0,30 ve üzeri olup testin ortalama ayırt ediciliği 0,63'tür. Bu bağlamda KuFKAT'ın ayırt ediciliği yüksek ideal bir test olduğu sonucuna varılmıştır.

Ayrıca veriler 1 ve 0 şeklinde kategorik olarak kodlandığından tetrakorik korelasyon matrisi üzerinden madde konum ve madde uyumluluk indeksleri hesaplanmış ve Tablo 8'de verilmiştir.

Tablo 8*KuFKAT Maddeleri İçin Hesaplanan Madde Konum ve Madde Uyumluluk İndeks Değerleri*

Madde	QIM	RDI	Normlu MSA
M23	2	0,21	0,75
M24	2	0,27	0,79
M22	2	0,29	0,82
M1	2	0,32	0,84
M13	2	0,36	0,97
M15	2	0,40	0,86
M19	2	0,41	0,88
M18	2	0,45	0,93
M2	3	0,46	0,76
M8	3	0,51	0,92
M16	3	0,51	0,95
M10	3	0,51	0,90
M17	3	0,51	0,91
M3	3	0,53	0,78
M7	3	0,53	0,94
M20	3	0,53	0,88
M4	3	0,55	0,90
M6	3	0,56	0,88
M21	3	0,56	0,89
M14	3	0,58	0,89
M9	3	0,60	0,91
M12	3	0,61	0,89
M5	3	0,61	0,91
M11	3	0,68	0,93

Tablo 8'de verilen QIM değeri, her katılımcı için kaydedilen değerlerin ortalamasının normal dağılıma yerleştiğinde hangi çeyreklikte yer aldığını göstermekte, 1 değeri sorunun

çok zor olduğunu, 4 değeri ise sorunun çok kolay olduğunu belirttiğinden maddelerin çoğunluğunun merkezi çeyreklere yerleşmesi beklenmektedir (Lorenzo-Seva & Ferrando, 2021). KuFKAT'ta tüm maddelerin merkezi çeyreklikte olduğu 1 ve 4 olan uç çeyrekliklerde herhangi bir maddenin olmadığı görülmektedir. RDI değeri ise madde konumu değeri olup normal aralıklı bir test için madde havuzundaki soruların yaklaşık %75'inin RDI değerinin 0,40 ile 0,60 arasında olması geriye kalanların her iki uca dağılması gerekmektedir (Lorenzo-Seva & Ferrando, 2021). KuFKAT'ta maddelerden beşi alt uçta iken üçü üst uçta yer almış geriye kalan tüm maddelerin arada konumlandığı görülmektedir. Normlu MSA değeri ise maddenin diğer maddeler ile aynı etki alanını ölçüp ölçmediğini gösterir ve değeri 0,50'nin altında olanlar aynı etki alanını ölçmediğinden testten çıkarılması gerekir (Lorenzo-Seva & Ferrando, 2021). KuFKAT'ta tüm maddelerin MSA değerlerinin 0,50'nin üzerinde olduğu görülmüştür. Böylece testte yer alan tüm maddelerin geliştirilen teste yönelik olduğu söylenebilir.

Testi oluşturan maddelerin kendi aralarında sahip oldukları yüksek ilişki, faktörleri oluşturur. Faktörlerin belirlenmesinde özdeğer, açıklanan varyans oranı ve yamaç birikinti grafiğine bakılmaktadır (Hair ve diğerleri, 2014). Özdeğer, faktörün toplam varyans içindeki miktarını açıklar ve 1'den büyük olmalı ve toplam varyans en az %60 olmalıdır (Hair ve diğerleri, 2014). KuFKAT'a ait ilk on toplam varyans değerleri Tablo 9'da ve yatay ekseninde faktör numarasının ve dikey ekseninde özdeğerlerin yer aldığı yamaç-birikinti grafiği Şekil 2'de yer almaktadır.

Tablo 9

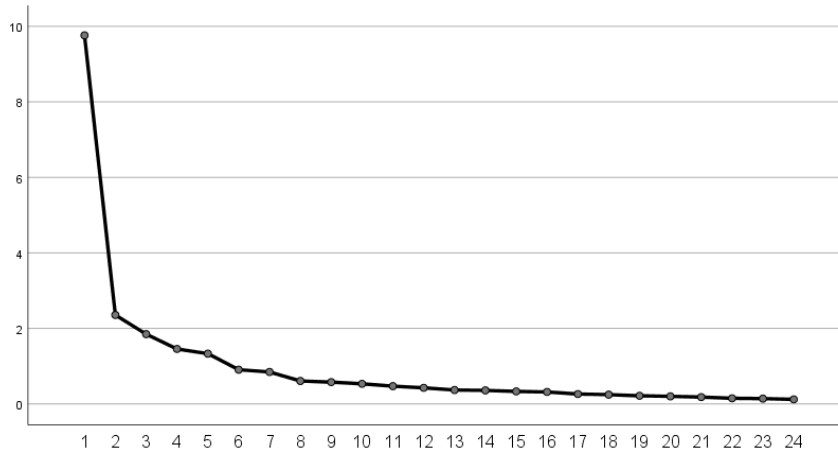
KuFKAT Toplam Varyans Değerleri

Faktör	Özdeğer	Varyans Yüzdesi	Birikimli Varyans Yüzdesi
1	12,23239	50,968	50,968
2	2,54845	10,619	61,587
3	1,74250	7,260	68,847
4	1,30312	5,430	74,277

5	1,07331	4,472	78,749
6	0,76370	3,182	81,931
7	0,69555	2,898	84,829
8	0,49416	2,059	86,888
9	0,47289	1,970	88,858
10	0,42428	1,768	90,626

Şekil 2

KuFKAT İçin Yamaç-Birikinti Grafiği



Tablo 9'da görüldüğü gibi beş faktörün özdeğeri 1'den büyük olup toplam varyansın %78,75'ini açıklamaktadır. Ayrıca Şekil 2 incelendiğinde, beşinci faktörden sonra eğimin düzleştiği ama beşten az faktör çıkabileceği yorumu da yapılabilir. Ancak faktör belirlemek için sadece özdeğer sayısına ve bakış açısına göre değişebilen subjektif bir yöntem olan yamaç birikinti grafiğine bakılması yanlış yorumlara yol açabilmektedir (Koçak ve diğerleri, 2016). Özdeğerler ve yamaç grafiği birlikte değerlendirildiğinde beşten daha az faktör çıkabileceği tahmin edildiğinden, gözlenen toplam varyansın olabildiğince korunarak daha az sayıda faktör çıkarmaya uygun olan temel bileşenler analizi faktör çıkarma yöntemi olarak kullanılmıştır (Akbaş ve diğerleri, 2019). Faktör sayısı ölçütü için ise faktör çıkarmakta daha doğru sonuçlar veren paralel analizler kullanılmıştır. Temel bileşenler analizine dayalı paralel analizler ile rastgele özdeğerlerin ortalaması ve rastgele

özdeğerlerin %95'ine bakılmıştır (Timmerman & Lorenzo-Seva, 2011). Paralel analizler sonucu ulaşılan değerler Tablo 10'da yer almaktadır.

Tablo 10

KuFKAT İçin Temel Bileşenler Analizine Dayalı Paralel Analiz Sonuçları

Faktör	Gerçek Veri Özdeğerleri	Rastgele Özdeğerlerin Ortalaması	Rastgele Özdeğerlerin %95'i
1	12,23239	1,81933	1,96361
2	2,54845	1,67584	1,78270
3	1,74250	1,57110	1,64640
4	1,30312	1,48155	1,55020
5	1,07331	1,39852	1,46387
6	0,76370	1,32939	1,38953
7	0,69555	1,26203	1,31429
8	0,49416	1,20136	1,25104
9	0,47289	1,14287	1,19142
10	0,42428	1,08790	1,13627

Tablo 10 incelendiğinde hem rastgele özdeğerin ortalaması hem de rastgele özdeğerin %95'i değerlerinin gerçek özdeğerden küçük olduğu üç faktör vardır (Timmerman & Lorenzo-Seva, 2011). Dolayısıyla paralel analizler sonucu KuFKAT'ın üç faktörden oluştuğu görülmektedir. Böylece testi oluşturan üç faktörün Tablo 11'de görüldüğü üzere toplam varyansın %68,85'ini oluşturduğu anlaşılmaktadır.

Aynı konulara ait maddelerin aynı faktör altında toplanıp toplanmadığını incelemek için maddelerin faktör yük değerlerine bakılmıştır. Maddenin bir faktörde faktör yük değerinin yüksek iken diğer faktörler için düşük olması ve faktör yük değerinin 0,30'dan büyük olması gerekir (Tabachnick & Fidell, 2013). KuFKAT maddelerinin döndürülmemiş faktör yük değerleri Tablo 11'de verilmiştir.

Tablo 11*KuFKAT Maddelerine Ait Döndürülmemiş Faktör Yük Değerleri*

Madde	Faktör 1	Faktör 2	Faktör 3
M1	-0,329	-0,728	0,373
M2	-0,446	-0,691	0,302
M3	-0,498	-0,701	0,283
M4	-0,763	0,059	-0,371
M5	-0,784	0,017	0,215
M6	-0,685	-0,231	0,094
M7	-0,729	-0,204	0,023
M8	-0,875	-0,131	0,056
M9	-0,825	-0,106	-0,151
M10	-0,803	-0,015	-0,116
M11	-0,734	0,159	0,095
M12	-0,733	-0,143	-0,287
M13	-0,809	-0,085	-0,026
M14	-0,733	-0,170	-0,258
M15	-0,717	0,118	-0,056
M16	-0,822	0,288	0,008
M17	-0,775	0,289	-0,021
M18	-0,803	0,111	-0,027
M19	-0,742	0,299	-0,020
M20	-0,754	-0,039	-0,418
M21	-0,693	-0,076	-0,415
M22	-0,602	0,489	0,334
M23	-0,623	0,437	0,520
M24	-0,576	0,346	0,554

Faktör yüklerinin varyansını en üste çıkarmak için döndürme işlemi yapılır (Tabachnick & Fidell, 2013). Faktörlerin tümü kuantum fiziği giriş konularına yönelik ve

aralarında korelasyon olduğundan Direct Oblimin döndürme işlemi yapılmış ve elde edilen faktör yükleri Tablo 12'de yer almaktadır.

Tablo 12

KuFKAT Maddelerine Ait Döndürülmüş Faktör Yük Değerleri

Madde	Faktör 1	Faktör 2	Faktör 3
M1	-0,014	0,912	-0,105
M2	-0,016	0,863	0,046
M3	-0,020	0,817	0,101
M4	-0,039	-0,111	0,899
M5	0,262	0,249	0,460
M6	0,166	0,385	0,408
M7	0,136	0,331	0,506
M8	0,259	0,311	0,578
M9	0,074	0,168	0,738
M10	0,155	0,102	0,687
M11	0,428	0,048	0,436
M12	-0,101	0,109	0,801
M13	0,193	0,214	0,608
M14	-0,092	0,148	0,774
M15	0,263	-0,001	0,567
M16	0,460	-0,097	0,580
M17	0,420	-0,123	0,573
M18	0,313	0,038	0,602
M19	0,416	-0,137	0,548
M20	-0,146	-0,051	0,938
M21	-0,186	-0,028	0,892
M22	0,803	-0,140	0,110
M23	0,943	0,012	-0,050
M24	0,900	0,012	-0,114

Tablo 12'deki faktör yükleri incelendiğinde Faktör 1'de yer alan üç maddenin madde dalgaları (de Broglie), Faktör 2 altında toplanan maddelerin siyah cisim ışıması ve Faktör 3 altında toplanan maddelerin fotoelektrik olay, Compton saçılması ve ışığın ikili doğası kazanımlarına ait olduğu tespit edilmiştir. Fotoelektrik olayı ve Compton saçılmasında foton ve elektron etkileşimi olduğundan ve test içinde fotoelektrik olayı ve Compton saçılmasını karşılaştıran maddeler yer aldığından aynı faktör altında birleşmeleri beklenen bir durumdur. Faktörler arası korelasyon matrisi Tablo 13'te ve faktörlere verilen isimler ile içerdikleri maddeler Tablo 14'te verilmiştir.

Tablo 13

KuFKAT Faktörlerine Ait Faktörler Arası Korelasyon Matrisi

Bileşen	Faktör 1	Faktör 2	Faktör 3
Faktör 1	1,000		
Faktör 2	0,163	1,000	
Faktör 3	0,475	0,330	1,000

Tablo 14

KuFKAT Faktörlerinin İsimleri ve İçerdikleri Maddeler

Faktör No	Faktör Adı	Maddeler
1	Madde dalgaları	22, 23, 24
2	Kuantum başlangıcı	1, 2, 3
3	Işığın kuantum teorisi	5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21

KuFKAT'ın güvenilirlik düzeyi KR-20 güvenilirlik katsayısı ile belirlenmiştir. Maddelerin birbiriyle arasındaki ilişkiyi gösteren KR-20 katsayı değerinin yüksek olması beklenir. Yüksek KR-20 katsayısı testteki maddeler arasında uyum olduğunu ve testin aynı özelliğin bileşenlerini ölçen soruları içerdiğini belirtir (Taber, 2018). KR-20 güvenilirlik katsayısı 0,60-0,70 aralığında ise yeterli, 0,70-0,90 aralığında ise yüksek, 0,90 ve üzeri ise çok yüksek

güvenirlik olarak değerlendirilmektedir (Taber, 2018). Hem tüm test için hem de her faktör için hesaplanan KR-20 güvenirlik katsayıları Tablo 15'te yer almaktadır.

Tablo 15

KuFKAT ve Faktörlerinin KR-20 Güvenirlik Katsayıları

Faktör	Katsayı	Değerlendirme
Madde dalgaları	0.869	Yüksek
Kuantum başlangıcı	0.843	Yüksek
Işığın kuantum teorisi	0.938	Çok Yüksek
KuFKAT	0.933	Çok Yüksek

Tablo 15'te verilen KR-20 güvenirlik katsayılarına bakıldığında ilk iki faktör için yüksek iken üçüncü faktör ve KuFKAT için çok yüksek olduğu görülmektedir. Bu bağlamda KuFKAT'ın iç tutarlılığının yüksek olduğu ve testten elde edilen puanların güvenilir olduğu belirtilebilir.

Belirtke tablosu doğrultusunda kazanımlara uygun hazırlanan ve pilot çalışma sonunda testte kullanılan sorular yenilenmiş Bloom taksonomisine göre sınıflandırılmıştır. Öğretim sonunda öğrencilerden beklenen durumların aşamalı ve iki boyutlu sınıflanmasına olanak tanıyan iskelet olarak tanımlanan taksonomiye Bloom taksonomisi denilmektedir (Krathwohl, 2002). Günümüzde yenilenerek son hali verilen yenilenmiş Bloom taksonomisi öğretme-öğrenme süreçlerinde kullanılmaktadır. Bu taksonominin dikey boyutunu Olgusal, Kavramsal, İşlemsel ve Üstbilişsel bilgilerden oluşan Bilgi boyutu oluştururken, yatay boyutunu Hatırlama, Anlama, Uygulama, Çözümleme, Değerlendirme ve Yaratma adlı Bilişsel Süreç boyutu oluşturmaktadır (Krathwohl, 2002). Yenilenmiş Bloom Taksonomisinde Bilgi boyutu ile ilgili tanımlar EK-N'de ve Bilişsel Süreç boyutu ile ilgili tanımlamalar EK-O'da yer almaktadır.

KuFKAT'ta yer alan maddeler, bilgi ve bilişsel süreç tanımları dikkate alınarak Yenilenmiş Bloom Taksonomisine göre sınıflandırılmıştır. Bu sınıflandırmaya ait taksonomi tablosu Tablo 16'da yer almaktadır.

Tablo 16*KuFKAT Sorularının Yenilenmiş Bloom Taksonomisine Göre Sınıflandırılması*

Kazanım No	Bilgi-Bilişsel Süreç					
	Olgusal- Anlama	Kavramsal- Anlama	İşlemsel- Uygulama	Kavramsal- Çözümleme	İşlemsel- Çözümleme	
12.5.2.1		M2, M3		M1		
12.5.3.1	M4					
12.5.3.2		M6,	M7	M8		M5
12.5.3.3			M9			M10
12.5.3.4		M12	M11			
12.5.3.5		M14		M13		
12.5.4.1		M16, M19		M15		
12.5.4.2		M17, M18				
12.5.4.3		M20, M21				
12.5.4.4	M23			M24		M22

Tablo 16 incelendiğinde, KuFKAT'ta yer alan 24 sorudan 2 tanesinin Olgusal Bilgi, 16 tanesinin Kavramsal Bilgi ve 6 tanesinin İşlemsel Bilgi basamaklarında yer aldığı ve Üstbilişsel Bilgi basamağında herhangi bir sorunun yer almadığı görülmektedir. Bilişsel Süreç boyutuna bakıldığında ise, 13 sorunun Anlama, 3 sorunun Uygulama ve 8 sorunun Çözümleme basamağında yer aldığı; Hatırlama, Değerlendirme ve Yaratma basamaklarında herhangi bir sorunun yer almadığı anlaşılmaktadır. Bu sınıflandırma, EK-M'de yer alan kazanım açıklamaları ile değerlendirildiğinde KuFKAT'ta yer alan soruların kazanımlara uygun olduğu söylenebilir.

Pilot çalışma sonucunda KuFKAT için hazırlanan 24 maddeden herhangi bir maddenin çıkarılmasına gerek duyulmamış ve böylece öğretim programında yer alan kuantum fiziği giriş konularına ait tüm kazanımlara öğretim programına uygun kapsamda yer verildiği görülmüştür. Son halini alan KuFKAT'ın çoktan seçmeli bölümü öntest olarak uygulanırken dört aşamadan oluşan tüm bölümleri sontest olarak uygulanmıştır.

Uygulama Öncesi Mülakat Formu

Ortaöğretim öğrencilerinin fizik dersine ve uygulanan öğretim yöntemlerine dair görüşlerini belirlemek için deney grubu öğrencileri ile yarı yapılandırılmış görüşme formları kullanılmıştır. Yarı yapılandırılmış formlar, yanıtlayanlardan belirli yanıtlar almak için bir dizi açık uçlu sorudan oluşur ve genellikle daha sonra karşılaştırmak veya yapılandırmak üzere bilgiler elde edilir (Fraenkel ve diğerleri, 2012). Görüşme öncesi öğrencilerin konu ile ilgili ön bilgilerini ve fizik dersinde kullanılan öğretim yöntem ve teknikler ile uygulanmasını istedikleri teknikleri belirlemek amacıyla uygulanan yarı yapılandırılmış görüşme formu EK-C'de verilmiştir. Yedi sorudan oluşan mülakat formunun ilk dört sorusu fizik dersinde yaşanan zorluklar ve derste uygulanan öğretim yöntemleri ile ilgili iken son üç soru kuantum fiziği ile ilgilidir. Soruların tamamı açık uçlu olup öğrenciler soruları yazılı olarak cevaplamıştır. Yapılandırılmış görüşme formu için iki uzmandan görüş alınmış ve uygulanabilir olduğuna karar verilmiştir. Deney grubunda bulunan 45 öğrencinin tamamına görüşme formu uygulanmıştır.

Uygulama Sonrası Mülakat Formu

Deney grubu öğrencilerinin konuyu anlamakta zorlanma nedenlerini ve uygulanan öğretim yöntemi hakkında fikirlerini tespit etmek için geliştirilen yarı yapılandırılmış görüşme formu EK-D'de verilmiştir. Uygulama bittikten sonra deney grubu öğrencileriyle yüz yüze mülakat yapılmış ve görüşmeler kaydedilmiştir. Formda 12 tane açık uçlu soru yer almış ancak öğrencilere verdiği cevaplara göre ilişkili farklı sorular da sorulmuştur. Yarı yapılandırılmış görüşme formu için iki uzmandan görüş alınmış ve uygulanabilir olduğuna karar verilmiştir. Uygulama bittikten sonra öğrencilerden on beşi okula devam etmediğinden 30 öğrenci ile mülakat yapılmıştır.

Verilerin Analizi

Çalışmada karma yöntemlerden üçgenleme deseni tercih edildiğinden nicel ve nitel veriler ayrı analiz edilmiş ve birlikte yorumlanmıştır. KuFKAT öntest ve sontest olarak

uygulandığı kısımda başarı testi olarak ele alınmış olup deney ve kontrol gruplarının karşılaştırılmasında kullanılmıştır. Ancak KuFKAT'ın kavramsal anlama düzeyi olarak kullanıldığı kısım nicel olarak analiz edilmiş ardından mülakat ve çalışma yaprakları içerik analizi yöntemi ile analiz edilmiş ve sonuçlar beraber değerlendirilmiştir.

Başarı Testi Olarak KuFKAT Analizi

Deney ve kontrol grubu öğrencilerine uygulanan KuFKAT'ın çoktan seçmeli bölümü başarı testi olarak kullanılmıştır. Verilerin analizi için SPSS 26 programı kullanılmıştır. Veriler programa işlenirken her soru için doğru yanıtlara "1", yanlış yanıtlara veya boş bırakılan sorulara "0" verilmiştir. Böylece bir öğrencinin testten alabileceği en yüksek puan 24 iken en düşük puan 0 olmuştur. Parametrik testlerin kullanılabilmesi için örneklemelerin normal dağılım gösteren bir popülasyondan rastgele çekilmiş olması, bağımsız gözlemlerden ve bir aralıktaki değerlerden oluşması, yaklaşık olarak eşit varyanslara sahip olması ve yeterli büyüklükte olması ($N > 30$) gerekmekte ve bu varsayımlardan biri ihlal edilirse parametrik testler kullanılamamaktadır (Corder & Foreman, 2014). Grupların puanları normal dağılım göstermediği ve varyanslar eşit olmadığı için parametrik olmayan analizler tercih edilmiştir. İki bağımsız veya ilişkisiz örneklemin karşılaştırılması için parametrik olmayan testlerden Mann Whitney U-Testi ve ilişkisiz örneklemin karşılaştırılması için Kruskal Wallis H-testi kullanılmıştır (Corder & Foreman, 2014).

Kavramsal Anlama Düzeyi Testi Olarak KuFKAT Analizi

Öğrencilerin kavramsal anlama düzeylerini belirlemek amacıyla çoktan seçmeli aşama ile açıklama aşaması birlikte puanlanarak değerlendirilmiştir. Puanlama yapılırken Abraham vd. (1992) tarafından geliştirilen ve EK-Ö'de yer alan kriterler kullanılmıştır. Bu kriterleri uygulamak için çoktan seçmeli bölüm 'doğru' ve 'yanlış' olarak işaretlenmiş ardından açıklama kısmı 'doğru gerekçe', 'kısmen doğru gerekçe' ve 'yanlış gerekçe' olarak işaretlenmiştir. Her iki aşama birlikte değerlendirilerek kriterlere uygun olarak puanlanmıştır. İlk aşama çoktan seçmeli olduğundan bilgi sahibi olmadan da doğru cevap işaretlenebileceğinden YC-DG iki puan iken DC-YG bir puandır. Puanlama yapıldıktan

sonra toplam puanlar SPSS programına işlenmiş ve ortalama puanlar dikkate alınarak kavramsal anlama düzeyleri belirlenmiştir. Kavramsal anlama düzeyi için ortalama puanı 0-1,33 arası olanlar 'Düşük', 1,34-2,66 arası 'Orta' ve 2,67-4,0 arası 'Yüksek' olarak değerlendirilmiştir. Kavramsal anlama düzeyi için gruplar arasındaki karşılaştırmaya parametrik testler için gerekli varsayımlar karşılanmadığı için parametrik olmayan testlerden Mann-Whitney U testi ile bakılmıştır.

Nitel Verilerin Analizi

Araştırmada nitel verilere KuFKAT'ın dördüncü aşaması olan zorlanma nedeninin açıklanması, uygulama öncesi mülakat ve uygulama sonrası mülakattan ulaşılmıştır. Ulaşılan verilerin analizinde içerik analizi yöntemi kullanılmıştır. İçerik analizi, araştırmacıların insan davranışlarını iletişimlerinin çözümlenmesiyle dolaylı olarak analiz etmelerini sağlayan yöntemdir (Fraenkel ve diğerleri, 2012). Sahip olunan inanç, tavır, değer ve düşünceler çoğunlukla iletişimlerinde ortaya çıktığından bu teknikte genellikle yazılı olan kitap, makale, resim, görüşme notları, çalışma yaprakları vb. her türlü iletişim araçları analiz edilebilir (Fraenkel ve diğerleri, 2012). Analiz edilirken önce ham verinin transkripti yapılır ve okunur. Daha sonra verilerden kodlar oluşturulur, bir araya getirilen kodlardan temalar oluşturulur ve oluşturulan temalar yorumlanır (Creswell & Creswell, 2017). Araştırmada karma yöntem kullanıldığından nitel veriler ile nicel veriler birlikte yorumlanmıştır.

Deney ve kontrol grubu öğrencilerinin cevapladığı KuFKAT'ın üçüncü ve dördüncü aşamaları birlikte değerlendirilerek ortaöğretim öğrencilerinin kuantum fiziği konularında karşılaştıkları güçlükler belirlenmiştir. Öğrencilerin dördüncü aşamada açıkladıkları zorlanma nedenleri içerik analizi yöntemi ile analiz edilmiştir.

Zorlanma gerekçeleri kavramsal anlama düzeyleri birlikte yorumlanmıştır. Uygulama öncesi ve sonrası mülakatlar içerik analizi ile incelenmiş ve oluşturulan kod ve temalar ayrı ayrı yorumlanmıştır.

Çalışmanın Geçerlik ve Güvenirliği

Çalışma yarı deneysel bir araştırma olduğundan deney ve kontrol gruplarının aynı okullardan seçilmesi çalışmanın iç geçerliliğini tehdit eden unsurlara sahiptir. Bu tehditlerden biri olan Hawthorne etkisi olarak bilinen duruma göre farklı ders işleme yöntemi, farklı öğretmen gibi değişiklikler öğrencilerin başarılarında geçici bir artışa neden olabilir (Fraenkel ve diğerleri, 2012; Kocakaya, 2011). Diğer bir tehdit olan Henry etkisine göre deney grubunda yer alan öğrenciler kendileri ile ilgilenildiğini fark ettiğinde daha fazla çaba göstererek uygulanan modelin gerçek etkisini gölgeleyebilir (Fraenkel ve diğerleri, 2012; Kocakaya, 2011). Kontrol grubundaki öğrenciler de denek olduklarını fark ettiklerinde deney grubu öğrencileri ile rekabete girerek daha fazla çaba gösterip başarılarını arttırabilir veya diğer gruba yeni bir model uygulandığını fark eden kontrol grubu öğrencileri demoralize olup daha düşük başarı gösterebilir (Fraenkel ve diğerleri, 2012; Kocakaya, 2011). Bu durumun önüne geçmek için farklı önlemler alınabilir. Bu önlemlerden bazıları; öğrencilere denek olduklarını fark ettirmemek, farklı bir okuldan kontrol grubu seçmek, uygulama sonrası sonrestten bir veya iki ay sonra kalıcılık testi yapmak ve asıl uygulamadan en az dört ile altı hafta önceden çalışma konusundan önceki ünitelerde uygulanacak öğretim modelini kullanmaktır (Fraenkel ve diğerleri, 2012; Kocakaya, 2011). Araştırmada iç geçerliliği etkilememesi için deney ve kontrol grupları farklı okullardan seçilmiştir. Deney grubu için araştırmacının öğretmen olduğu okulun öğrencileri seçilirken kontrol grubu için bu okula denk ve aynı demografik özelliklere sahip başka bir Anadolu lisesi öğrencileri seçilmiştir. Kontrol grubu öğrencileri kendi öğretmenleri ile ders işlemiştir.

Uygulama sonunda elde edilen nicel verilerin güvenilirlik düzeyi için KR-20 güvenilirlik katsayılarına bakılmıştır. Deney ve kontrol grubuna başarı testi olarak uygulanan KuFKAT için KR-20 güvenilirlik katsayısı 0,816 olarak hesaplanmış ve bu değer 0,70-0,90 aralığında yer aldığından testin güvenilirliği yüksek olarak kabul edilmiştir (Taber, 2018). Öğrencilerin kavramsal anlama düzeylerini belirlemek için iki aşamalı olarak uygulanan KuFKAT için ise

KR-20 güvenilirlik katsayısı 0,911 olarak hesaplanmış ve bu değer 0,90 üzeri olduğu için iki aşamalı testin güvenilirliği çok yüksek olarak kabul edilmiştir (Taber, 2018).

Çalışmada hem nitel hem de nicel verilerin çeşitliliği birbirini tamamlayacak şekilde olduğundan araştırmanın iç geçerliği sağlanmıştır (Başkale, 2016). Çalışmada iki aşamalı olarak kullanılan KuFKAT'ın ikinci aşaması nitel olduğundan bu testten elde edilen nitel ve nicel verilerin güvenilirliği için kontrol grubu öğretmeni de verilerin analizinde yer almış ve araştırmacılar arasında yüksek düzeyde uyum olduğu belirlenmiştir (Başkale, 2016). Ayrıca araştırmanın bulgular kısmında öğrenci ifadelerine ve anlatımlarına yer verilmiştir.

Uygulamanın Tasarlanması

Araştırmada simülasyon, Tahmin-Gözlem-Açıklama (TGA) ve çizgi roman destekli 5E öğretim modeli deney grubuna uygulanmıştır. Yapılandırmacı öğretim yöntemlerinden olan 5E, İlgi uyandırma (Excite), Keşfetme (Explore), Açıklama (Explain), Derinleştirme (Elaborate) ve Değerlendirme (Evaluate) aşamalarından oluşmaktadır.

İlk aşama olan ilgi uyandırma aşamasında konun özelliğine göre öğrencilerin hazır bulunuşluklarını ortaya çıkarmak ve merak etmelerini sağlayarak konuya dikkatlerini çekmek için çeşitli sorular sorarak, video ve fotoğraflar göstererek öğrencilerin sınıf ortamında tartışmaları sağlanmıştır. Bu bölümde önceki konulardan (dalgalarda ve atom modelleri vb.) gerekli hatırlatmalar da yapılmıştır.

Keşfetme aşamasında, öğrencilerin yeni konuyu kendi başlarına öğrenmeleri için simülasyonlar kullanmıştır. Bu aşamada kullanılmak üzere Siyah Cisim Işması, Fotoelektrik Olayı, Compton Olayı ve Madde Dalgaları konuları için simülasyonlar belirlenmiştir. Simülasyonların üçü Colorado Üniversitesi tarafından geliştirilen ve <https://phet.colorado.edu/tr/> adresinde yer alan interaktif simülasyonlar iken diğeri King Bilimde Görselleştirme Merkezi-KCVS tarafından geliştirilen ve <https://kcv.ca/index.html> adresinde yer alan simülasyondur. Her öğrencinin bireysel olarak yapacağı simülasyon etkinlikleri için yönergeler ve TGA yöntemine uygun çalışma yaprakları geliştirilmiştir. Bu

yapraklarda, öğrenci simülasyona başlamadan önce öğrencinin önbilgilerini kullanarak tahminde bulunmasını sağlayan sorular yer almıştır. Ardından gözlem kısmını oluşturan uygulama bölümünde simülasyonu kullanan öğrenciler gözlemlerine göre elde ettikleri verileri ilgili tablolara doldurmuş ve gözlemlerini not almıştır. Çalışma kağıdında öğrencinin ilgili bağlantıya kolaylıkla gidebilmesi için bağlantı adresinin yer aldığı karekodlara yer verilmiştir.

Açıklama aşamasında öğrenciler simülasyon etkinliklerinde yer alan sonuç bölümünde konuyu kendi cümleleri ile açıklamıştır. Öğrenciler kendi açıklamalarını birlikte tartışmış ardından ders öğretmeni tarafından eksik kalan kısımlar açıklanmıştır. Konu daha iyi anlaşılması ve ulaştıkları sonuçlarla ilişkilendirmeleri amacıyla araştırmacı tarafından geliştirilen çizgi roman yaprakları dağıtılmıştır. Çizgi romanlar konunun tarihsel gelişimini de içerecek şekilde konuyu özetleyen karikatürlerdir. Çizgi romanlar <https://www.storyboardthat.com/> adresinden hazır bulunan şablonlar kullanılarak tasarlanmış ve konuşma balon ve içerikleri araştırmacı tarafından düzenlenmiştir. Konuşma balonlarındaki içerikler hazırlanırken 12. sınıf fizik ders kitabı (Alpegemen, 2019), McEvoy ve Zarate (2019)'nin karikatürler içeren kitabı ve Serway ve Jewett (2018) fizik kitabından yararlanılmıştır. Öğrenciler çizgi romanları okuduktan sonra sınıf ortamında konu tartışılmıştır.

Derinleştirme aşaması için öğrencilere konu ile ilgili kullanım alanları ve konunun kuantum fiziğine katkıları ile ilgili araştırma ödevi verilmiştir. Öğrenciler araştırma sonuçlarını ve konunun günlük yaşamdaki örneklerini ders sırasında tartışmışlardır.

Son aşama olan değerlendirme aşamasında ise çizgi romanların son kompozisyonlarında yer alan sorular cevaplanmıştır. Ayrıca ders kitabında yer alan konu değerlendirme soruları ile MEB Ortaöğretim Genel Müdürlüğü tarafından geliştirilen ve <https://ogmmateryal.eba.gov.tr/> adresinden sunulan sorular çözülmüştür.

Kuantum giriş konuları siyah cisim ışıması, fotoelektrik olayı, Compton saçılması ve de Broglie dalgaları ana başlıklarından oluştuğundan her ana başlık için bir etkinlik

geliştirilmiştir. Uygulama sırasında siyah cisim ışıması için geliştirilen etkinlik açıklama ve kazanımları Tablo 17’de verilmiştir.

Tablo 17

Siyah Cisim Işıması Etkinlik Kazanımları

Etkinlik	Açıklama
Öğretim yöntemi	TGA, simülasyon ve çizgi roman destekli 5E öğrenme modeli
Öğretim teknikleri	Soru-cevap, Simülasyon, Tartışma, Video gösterimi, Çalışma yaprağı
Konu	Siyah cisim ışıması
Süre	160 Dakika (4 ders saati)
Kazanımlar	12.5.2.1

Siyah cisim ışıması kazanımları için geliştirilen etkinliğin içeriği Tablo 18’de verilmiştir.

Tablo 18

Siyah Cisim Işıması Etkinlik İçeriği

5E Modeli	Yapılan etkinlikler
İlgi uyandırma	Pandemi süreci ile hayatımızda çok sık kullanmaya başlanan kızılötesi termometre ve termal kameralar hakkında öğrencilerin tartışmaları sağlanır. Öğrencilerin ateşi kızılötesi termometre ile ölçülür ve öğrencilerin bu termometrenin çalışma ilkesi hakkında tartışmaları sağlanır. Daha sonra pandemi başında özellikle havaalanları termal kamera kullanımı ile ilgili haber videoları izletilir ve termal kameranın çalışma ilkesi hakkında tartışmaları sağlanır. En son Güneş ve yıldızların gerçek renkleri hakkında tahminleri alınır. Öğrenciler EK-E’de yer alan çalışma yaprağı dağıtılır ve sorulan sorulara tahminlerini yazmaları istenir.
Keşfetme	Öğrenciler EK-E’de yer alan çalışma yaprağındaki yönergelere uyarak siyah cisim ışıması simülasyonunu çalıştırır. Uygulamada sıcaklığı değiştirip dalga boyu, renk ve ışık şiddetindeki değişimleri gözlemler ve elindeki çalışma yaprağına işler. Böylece sıcaklık değişimi ile ışığın dalga boyu ve şiddeti arasındaki ilişkiyi inceler.
Açıklama	Öğrenciler simülasyondan elde ettikleri verileri kullanarak siyah cisim ışımasını açıklamaya çalışır. Öğrenciler vardıkları sonuçları ilk tahminleri ile karşılaştırır. Öğretmen konu ile ilgili EK-l’da yer alan çizgi romanı öğrencilere okumaları için dağıtır.

Öğrenciler öğretmen rehberliğinde Planck ve Wien yasalarını öğrenirler.

Derinleştirme

Öğrenciler Güneş ve yıldızların renkleri için spektral yıldız tablosunu incelerler. Bu tabloda yıldızın yüzey sıcaklığı ile rengi yer aldığından öğrenciler ikisini ilişkilendirir. Öğrenciler daha önceden araştırdıkları termal kameraların ve kızılötesi termometrelerin çalışma ilkelerini tartışır.

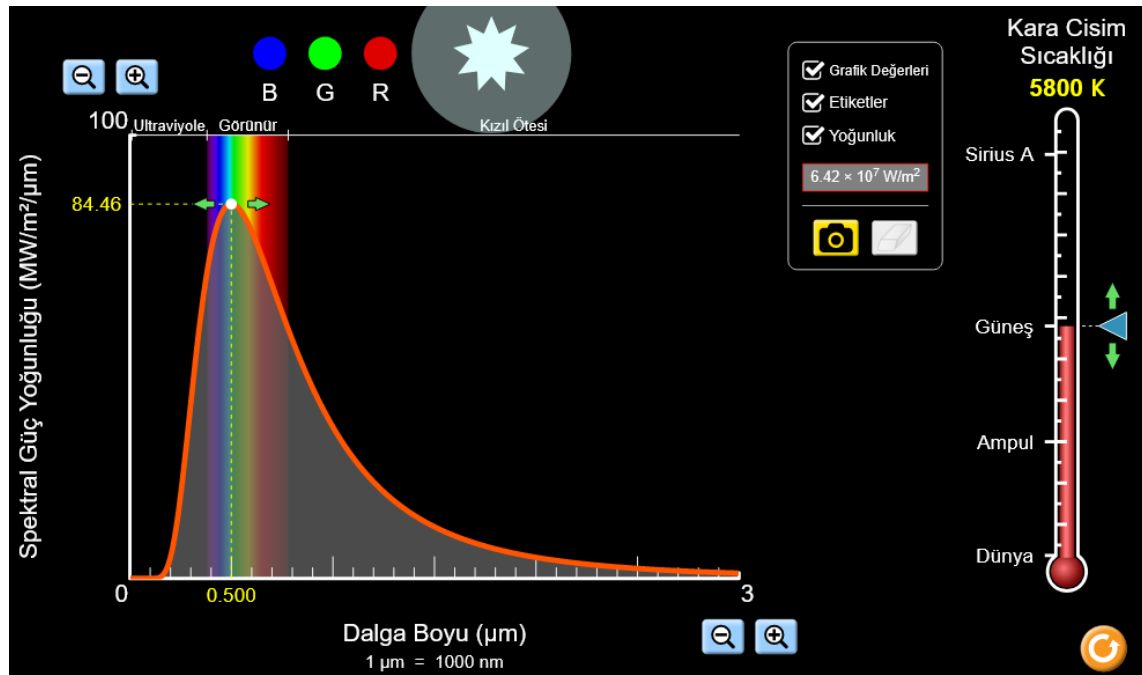
Değerlendirme

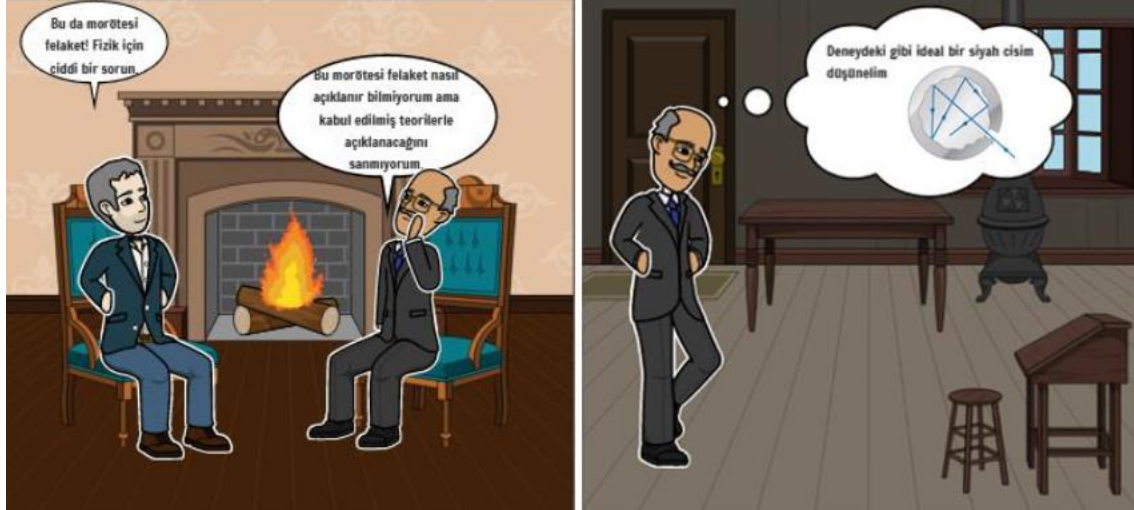
Öğrenciler çizgi romanın sonunda yer alan soruları cevaplar. Ardından ders kitabı ve <https://ogmmateryal.eba.gov.tr/> adresinde yer alan ilgili soruları çözerler.

Siyah cisim ışıması etkinliğine ait simülasyon, çizgi roman ve öğrenci çalışma yaprağından örnekler Şekil 3'te verilmiştir.

Şekil 3

Siyah Cisim Işıması Etkinlik Örnekleri





Tahmin: Cismin sıcaklığı ile ışığın rengi (dalga boyu) arasında bir ilişki olduğunu önceki deneyde gözlemledik. Yıldızların rengine bakılarak yüzey sıcaklıkları hakkında bilgi sahibi olabiliyoruz. Buna göre,

1- Kızılötesi ile kırmızı renk arasında bir ışık yayan bir yıldızın yüzey sıcaklığı kaç Kelvin olabilir?

2000

2- Morötesi ile mor renk arasında bir ışık yayan bir yıldızın yüzey sıcaklığı kaç Kelvin olabilir?

1000

3- Güneş'in yüzey sıcaklığının yaklaşık 5800 Kelvin olduğu bilindiğine göre Güneş hangi renktedir?

Sarı

Uygulama:

- https://phet.colorado.edu/sims/html/blackbody-spectrum/latest/blackbody-spectrum_tr.html



adresindeki simülasyonu akıllı telefon ya da tableten çalıştırınız.

- Grafik değerleri ve yoğunluğu seçili hale getiriniz.

- Sağ tarafta yer alan sıcaklık değerlerini tabloda verilen değerlere ayarlayarak tabloyu doldurunuz.

Sıcaklık (K)	2000	4000	6000	8000	10000
Dalga Boyu (μm)	7,400	0,835	0,483	0,362	0,290
Yoğunluk W/m^2	0,41	0,70	100,05	412,65	128678
Işık Rengi	Kızılötesi	Kızılötesi	Beyaz	Mavi	Mavi

Fotoelektrik olayı için geliştirilen etkinliğe ait açıklama ve kazanımlar Tablo 19'da yer almaktadır.

Tablo 19*Fotoelektrik Olayı Etkinlik Kazanımları*

Etkinlik	Açıklama
Öğretim yöntemi	TGA, simülasyon ve çizgi roman destekli 5E öğrenme modeli
Öğretim teknikleri	Soru-cevap, Simülasyon, Tartışma, Video gösterimi, Çalışma yaprağı
Konu	Fotoelektrik Olayı
Süre	320 Dakika (8 ders saati)
Kazanımlar	12.5.3.1, 12.5.3.2, 12.5.3.3, 12.5.3.4, 12.5.3.5, 12.5.3.6.

Fotoelektrik olayı kazanımları için geliştirilen etkinliğin içeriği Tablo 20'de verilmiştir.

Tablo 20*Fotoelektrik Olayı Etkinlik İçeriği*

5E Modeli	Yapılan etkinlikler
İlgi uyandırma	Derse başlarken öğrencilere elektroskop hatırlatılır ve elektroskop ile ilgili hatırladıkları tartışılır. Ardından öğrencilere bir video izletilir (https://www.youtube.com/watch?v=jtvBJHQY0_U) ve elektroskopun yapraklarındaki değişimin nedeni tartışılır. Farklı renklerde ışık ile elektroskop etkileşimi için başka bir video izletilir (https://www.youtube.com/watch?v=f631xkfm890) ve tartışma devam ettirilir. Öğrencilere meraklarını gidermek için çalışma yaprakları dağıtılır ve sorulan sorulara tahminlerini yazmaları istenir.
Keşfetme	Öğrenciler EK-F'de yer alan çalışma yaprağındaki yönergelere uyarak fotoelektrik olayı simülasyonunu çalıştırır. Uygulamada belirtilen değişkenleri değiştirerek tabloları doldurur. Yapmaları gereken hesaplamaları yaparak istenen grafikleri çizmeye çalışır. Bu şekilde foton enerjisi ile eşik frekansı arasındaki ilişkiyi, akım ile ışık şiddeti ve foton enerjisi arasındaki ilişkiyi ve pilin devredeki kullanım nedenini keşfeder.
Açıklama	Öğrenciler simülasyondan elde ettikleri verileri kullanarak fotoelektrik olayını açıklamaya çalışır. Öğrenciler vardıkları sonuçları ilk tahminleri ile karşılaştırır. Öğretmen konu ile ilgili EK-I'de yer alan çizgi romanı öğrencilere okumaları için dağıtır. Öğrencilere konu ile ilgili bağlantılar ve grafikler simülasyonda elde ettikleri veriler ile ilişkilendirilerek verilir. İlk izlenen videolar tekrar izlenerek fotoelektrik olayı kapsamlı olarak açıklanır.
Derinleştirme	Öğrenciler günlük yaşamda fotoelektrik olayın örneklerini araştırır ve araştırma sonuçlarını sınıfta tartışır.

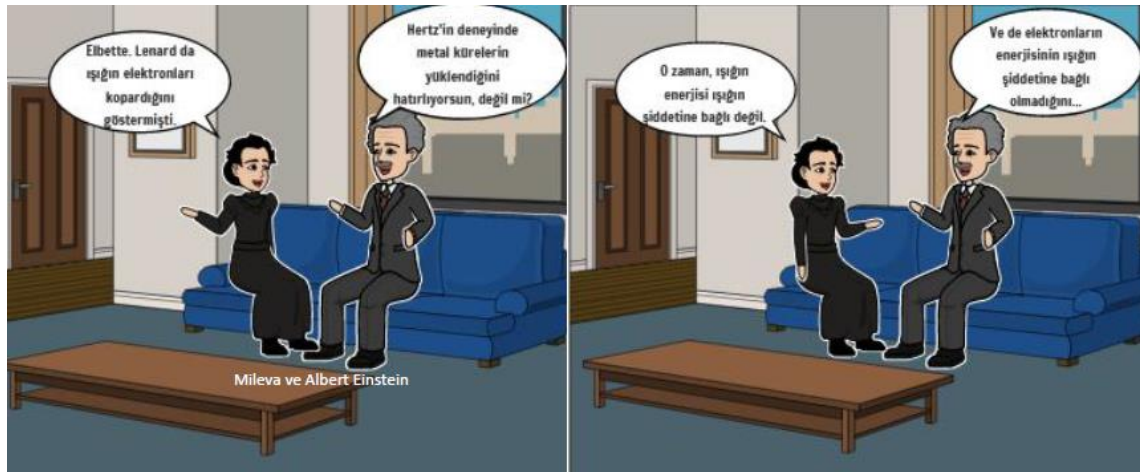
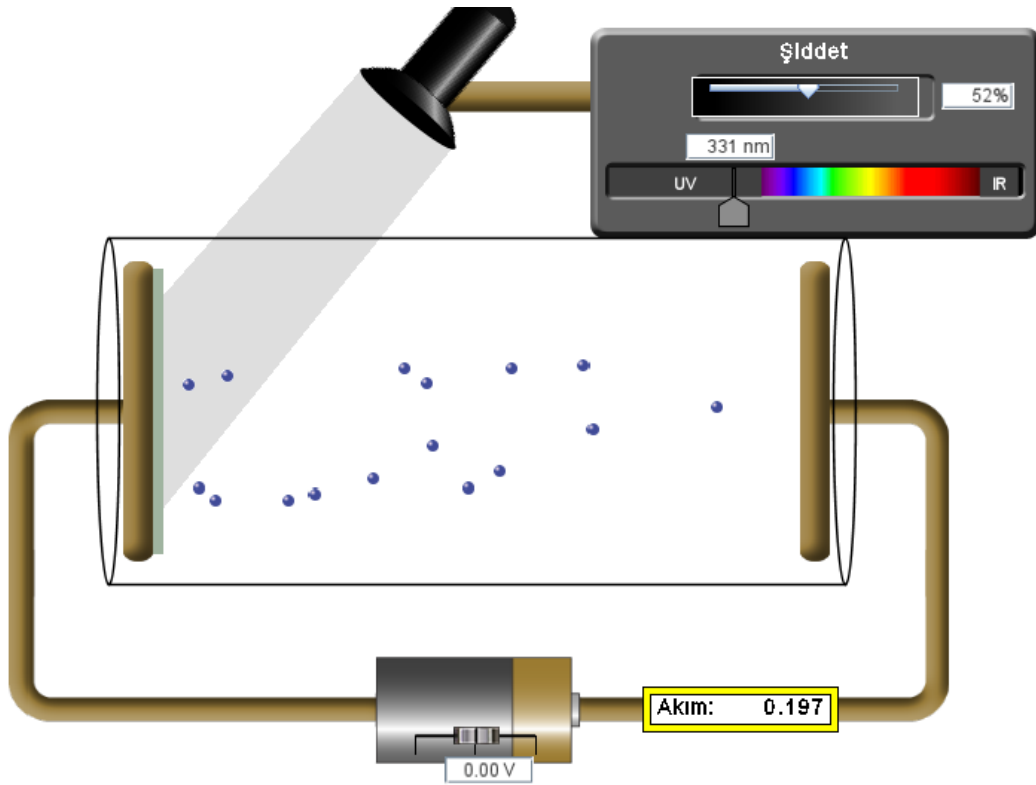
Değerlendirme

Öğrenciler çizgi romanın sonunda yer alan soruları cevaplar. Ardından ders kitabı ve <https://ogmmateryal.eba.gov.tr/> adresinde yer alan ilgili soruları çözerler.

Fotoelektrik olayı etkinliğine ait simülasyon, çizgi roman ve öğrenci çalışma yaprağından örnekler Şekil 4'te verilmiştir.

Şekil 4

Fotoelektrik Olayı Etkinlik Örnekleri



5- Dalga boyunu 150 nm ve ışık şiddetini %100 olarak ayarlayınız. Hedef metali değiştirerek ampermetrenin gösterdiği değerleri Tablo 4'e kaydediniz.

Tablo 4.			
Metal	Akım	Metal	Akım
Sodyum	1,56	Platin	0
Çinko	0,33	Kalsiyum	1,1
Bakır	0,19	Magnezyum	0,6

6- Hedef metali Sodyum ve ışık şiddetini %100 olarak ayarlayınız. Dalga boyunu tablodaki değerlere ayarlayarak gerilimi ters uygulayın ve elektronların durduğu (anota ulaşamadığı) değerleri Tablo 5'e yazınız.

Tablo 5.			
Dalga boyu (nm)	Durdurma Gerilimi (V)	Dalga boyu (nm)	Durdurma Gerilimi (V)
450	1,20	300	1,80
400	0,80	250	2,80
350	1,50	200	3,80

Sonuç:

1- İlk yaptığımız uygulamayı göz önünde bulundurarak ışık şiddeti ile elektron koparma arasında nasıl bir ilişki olduğunu kısaca açıklayınız. Ulaştığınız sonucu tahminlerinizle karşılaştırınız.

ışığın şiddeti elektron koparılmadı.
Tahminim tutmadı.

Compton saçılması için geliştirilen etkinliğe ait açıklama ve kazanımlar Tablo 21'de yer almaktadır.

Tablo 21

Compton Saçılması Etkinlik Kazanımları

Etkinlik	Açıklama
Öğretim yöntemi	TGA, simülasyon ve çizgi roman destekli 5E öğrenme modeli
Öğretim teknikleri	Soru-cevap, Simülasyon, Tartışma, Çalışma yaprağı
Konu	Compton Saçılması
Süre	160 Dakika (4 ders saati)
Kazanımlar	12.5.4.1, 12.5.4.2, 12.5.4.3.

Compton saçılması kazanımları için geliştirilen etkinliğin içeriği Tablo 22'de verilmiştir.

Tablo 22

Compton Saçılması Etkinlik İçeriği

5E Modeli	Yapılan etkinlikler
İlgi uyandırma	Öğrenciler fotonun herhangi bir parçacık ile etkileşimi tartışılır ve öğrencilere uzay teleskoplarının neden gerekli olduğu sorulur ve tartışmaları sağlanır. Öğrencilere EK-G'de yer alan çalışma yaprağı dağıtılır ve tahminlerini yazmaları istenir.
Keşfetme	Öğrenciler EK-G'de yer alan çalışma yaprağındaki yönergelere uyarak Compton saçılması simülasyonunu çalıştırır. Uygulamada belirtilen değişkenleri değiştirerek ve gerekli hesaplamaları yaparak tabloları doldurur. Böylece saçılma açısı ile gelen fotonun dalga boyu ve saçılan fotonun dalga boyundaki değişim arasındaki ilişkiyi keşfeder.
Açıklama	Öğrenciler deney ve simülasyondan elde ettikleri verileri kullanarak fotoelektrik olayını açıklamaya çalışır. Öğrenciler vardıkları sonuçları ilk tahminleri ile karşılaştırır. Öğretmen konu ile ilgili EK-J'de yer alan çizgi romanı öğrencilere okumaları için dağıtır. Öğrencilere konu ile ilgili bağlantılar verilir.
Derinleştirme	Compton saçılması ile fotoelektrik olayın benzer ve farklı yönleri tartışılır. Konu başında yapılan tartışmalara açıklık getirilir. Işığın ikili doğası tartışılarak tanecik ve dalga yapısını açıklamada kullanılan olaylar incelenir.
Değerlendirme	Öğrenciler çizgi romanın sonunda yer alan soruları cevaplar. Ardından ders kitabı ve https://ogmmateryal.eba.gov.tr/ adresinde yer alan ilgili soruları çözerler.

Compton saçılması etkinliğine ait simülasyon, çizgi roman ve öğrenci çalışma yaprağından örnekler Şekil 5'te verilmiştir.

Şekil 5

Compton Saçılması Etkinlik Örnekleri

Options Resources Help 🔄

Data	
Photon Angle (°):	45
Electron Angle (°):	-35.18
Final Wavelength (m):	1.71e-12
Electron Velocity (v/c):	0.87
Electron Momentum (Ns):	4.75e-22

▶ Start

Photon Scattering Angle 45

Wavelength (pm) 1.0000

📏 Measure

1 359

0.1 100

Saçılma Açısı	Son Dalga Boyu (pm)	Değişim Miktarı (pm)
30	3,32	0,32
60	4,21	1,21
90	5,42	2,42
120	6,64	3,64
150	7,52	4,52
180	7,85	4,85

3- Fotonun saçılma açısını 60° seçiniz ve dalga boyunu Tablo 2'deki değerlere göre ayarlayarak Veri kısmında okunan son dalga boyu değerini tabloya kaydediniz. Son dalga boyundan ilk dalga boyundan çıkararak dalga boyundaki miktarını tabloya kaydediniz.

Dalga boyu (pm)	Son Dalga Boyu (pm)	Değişim Miktarı (pm)
1.00	2,21	1,21
2.00	3,21	1,21
3.00	4,21	1,21
4.00	5,21	1,21
5.00	6,21	1,21

Sonuç:

1- İlk yaptığımız uygulamayı göz önünde bulundurarak fotonun saçılma sonrasında hızında nasıl bir değişim meydana geldi? Ulaştığınız sonucu tahminlerinizle karşılaştırınız.

Hiçbirde bir değişim olmadı. Ben de öyle düşünmüştüm çünkü ışık hızı değişmez.

2- Tablo 1'e kaydettiğiniz verileri inceleyiniz. Fotonun saçılma açısı ile dalga boyundaki değişim arasında nasıl bir ilişki olduğunu açıklayınız ve ulaştığınız sonucu tahmininiz ile karşılaştırınız.

Açı arttıkça değişim miktarı artmış. Tahminimle uyumadı.

Madde dalgaları için geliştirilen etkinliğe ait açıklama ve kazanımlar Tablo 23'te yer almaktadır.

Tablo 23

Madde Dalgaları Etkinlik Kazanımları

Etkinlik	Açıklama
Öğretim yöntemi	TGA, simülasyon ve çizgi roman destekli 5E öğrenme modeli
Öğretim teknikleri	Soru-cevap, Simülasyon, Tartışma, Video gösterimi, Çalışma yaprağı

Konu	Madde dalgaları
Süre	160 Dakika (4 ders saati)
Kazanımlar	12.5.4.4.

Madde dalgaları kazanımları için geliştirilen etkinliğin içeriği Tablo 24'te verilmiştir.

Tablo 24

Madde Dalgaları Etkinlik İçeriği

5E Modeli	Yapılan etkinlikler
İlgi uyandırma	Derse başlarken öğrencilere elektron mikroskobu ile ilgili sorular sorulur. Ardından öğrencilere elektron mikroskobu kullanılarak elde edilmiş görüntüler gösterilir ve görüntünün nasıl elde edilmiş olacağı ile ilgili tartışma yapılır. Daha sonra öğrencilere sorular sorularak daha önce işlenmiş olan girişim konusu hatırlatılır. Öğrencilere EK-H'deki çalışma yaprakları dağıtılır ve sorulan sorulara tahminlerini yazmaları istenir.
Keşfetme	Öğrenciler EK-H'de yer alan çalışma yaprağındaki yönergelerle uyarak simülasyonu çalıştırır. Öğrenciler hem ışıkta girişim hem de elektronda girişim için belli değerleri değiştirerek saçak oluşumunu ve saçak genişliğinin bağlı olduğu değişkenleri inceler.
Açıklama	Öğrenciler simülasyondan elde ettikleri verileri kullanarak madde dalgalarını açıklamaya çalışır. Öğrenciler vardıkları sonuçları ilk tahminleri ile karşılaştırır. Öğretmen konu ile ilgili EK-K'de yer alan çizgi romanı öğrencilere okumaları için dağıtır. Öğrencilere konu ile ilgili bağlantılar ve grafikler simülasyonda elde ettikleri veriler ile ilişkilendirilerek verilir.
Derinleştirme	Öğrenciler elektron mikroskobunu araştırır ve araştırma sonuçlarını sınıfta tartışır.
Değerlendirme	Öğrenciler çizgi romanın sonunda yer alan soruları cevaplar. Ardından ders kitabı ve https://ogmmateryal.eba.gov.tr/ adresinde yer alan ilgili soruları çözerler.

Madde dalgaları etkinliğine ait simülasyon, çizgi roman ve öğrenci çalışma yaprağından örnekler Şekil 6'da verilmiştir.

Şekil 6

Madde Dalgaları Etkinlik Örnekleri

Kuantum Dalga Girişimi (1.11)

Dosya Seçenekler Yardım

Yoğunluk Yüksekliği Tek Atımlık Parçacıklar 2 lazer

Ekran

Karartma Temizle Ekran Kopyası

Ekran Parlaklığı

0.0 0.5 1.0

Görünüm

Ortalama Yoğunluk İsbet

elektronlar

Ateşleyici Kontrolü

Hız

700 km/s 1500 km/s

Cetvel

Kilometre

Sıfırlama

Dalgaların Fonksiyonel Gösterimi

Büyüklük

Gerçek kısım

Hayali kısım

Faz renk

Çift Yarıklı kaldır<<

Bariyer Emici

Yanık Genişliği

Yanık Ayrıklığı

Dikey Konum

Sol Yarıklı Algıla

Sağ Yarıklı Algıla

Hepsini Algıla

Potansiyel Engelleme>>

Kütlesi olan elektron gibi parçacıklara kılavuzluk eden bir dalga vardır.

Dalga boyu ise parçacığın momentumu ile ters orantılıdır.

Kuantum Teorisi Üzerine Araştırmalar

Louis V. de Broglie

$$E = h \cdot f \quad E = m \cdot c^2$$

$$m = m_0 \cdot \gamma \quad f = \frac{c}{\lambda}$$

ya da

$$h \cdot \frac{c}{\lambda} = m \cdot c^2 \Rightarrow \lambda = \frac{h}{m \cdot c} \quad \lambda = \frac{h}{m \cdot v}$$

Ölabilir mi acaba? Kafam çok karıştı

Parçacığın gösterdiği bu dalga mekanik veya elektromanyetik değildir. Yeni bir dalga türüdür.

X-ışınlarıyla yapılacak kristal kırınım deneyinde gözlemlenebileceğini düşünüyorum.

Peki bu yeni dalga türünü bir gün gözlemleyebilecek miyiz?

Sonuç:

1- Elektronlarla yapılan deney ile fotonlarla yapılan deneyi karşılaştırınız. Elektronlarla yapılan deneyde neden saçaklar oluşmuş olabilir? Saçak oluşmasını tahmin etmiş miydiniz?

Saçak oluşumunu tahmin etmiştim. Ters orantılı olduğu halde saçak genişliği oluşur çünkü elektron dalgalar halinde yayılır.

2- Elektronların hızı arttıkça saçak genişliği nasıl değişti? Işığa girişim olayı ile arasında nasıl bir benzerlik gözlemlediniz? Saçak genişliğinin hızla bağlı olabileceğini tahmin etmiş miydiniz?

⇒ Saçak oluşur ama saçak genişliği azalır. Hız ile saçak genişliği ters orantılı oldu. Dalga boyu da ters orantılı olduğunu gösteriyor.

3- Yarıklar arası mesafe değiştikçe saçak genişliği nasıl değişti? Işığa girişim olayı ile arasında nasıl bir benzerlik gözlemlediniz? Saçak genişliğinin yarıklar arası mesafeye bağlı olabileceğini tahmin etmiş miydiniz?

⇒ Yarıklar arası mesafe arttıkça saçak genişliği artar ters orantılı.

Hayır tahmin etmemiştim.
4- Işığa girişimin nedeninin ışığın dalga yapısından kaynaklı olduğunu öğrenmiştiniz. Bu simülasyonda ulaştığımız sonuçları göz önünde bulunduğunuzda elektronların dalga davranışı gösterdiğini söyleyebilir misiniz? Dalga özelliği gösteriyorsa dalga boyunu elektronların hızı ile nasıl ilişkilendirirsiniz?

⇒ Dalga boyu, elektron hızı ile ters orantılı sadece elektronlar dalgalar halinde yayılıyor.

Bölüm 4

Bulgular ve Yorumlar

Araştırmada ortaöğretim öğrencilerinin kuantum fiziği konularında kavramsal anlama düzeyleri, kavramada yaşadıkları zorluklar ile TGA, simülasyon ve çizgi-roman destekli 5E öğretim modelinin kavramsal anlamadaki etkisi araştırılmıştır. Bu bölümde bu problem durumlarına yönelik bulgular üç ana başlık altında sunulmuştur. Kuantum fiziğine giriş konuları olarak siyah cisim ışınması, fotoelektrik olayı, Compton saçılması, ışığın ikili doğası ve madde dalgaları olarak belirlenmişti. Ancak bu konular KuFKAT'ta Kuantum Başlangıcı, Işığın Kuantum teorisi ve Madde Dalgaları adlarıyla üç faktör altında toplandığından her ana başlık altında önce her alt faktör için bulgular verilmiş ardından kuantum fiziği konuları olarak genel bulgular sunulmuştur.

Ortaöğretim Öğrencilerinin Kuantum Fiziği Konularında Kavramsal Anlama Düzeyleri

Öğrencilerin Kuantum Başlangıcı Konusunda Kavramsal Anlama Düzeyleri

KuFKAT'ta yer alan ilk üç soru kuantum başlangıcı faktörüne ait olduğundan bu üç sorunun ortalamasına göre öğrencilerin kavramsal anlama düzeylerine bakılmıştır. Öğrencilerin kuantum başlangıcı konusunda kavramsal anlama ortalama puanları Tablo 25'te verilmiştir.

Tablo 25

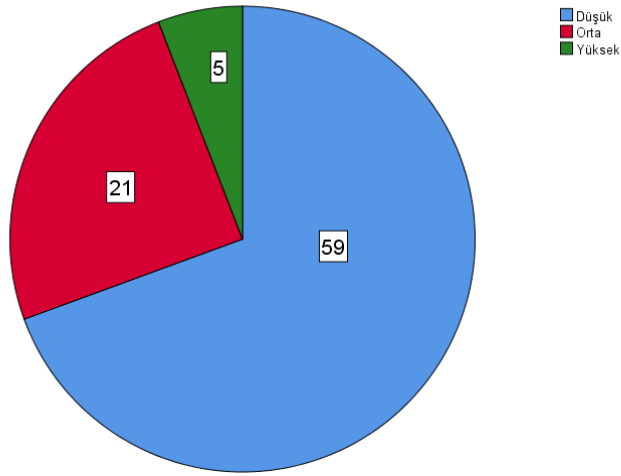
Kuantum Başlangıcı Konusunda Kavramsal Anlama Ortalama Puanları

	N	Min.	Max.	\bar{x}	SS
Kuantum başlangıcı	85	.00	3.46	.945	.794

Tablo 25'teki verilere bakıldığında öğrencilerin kuantum fiziğinin başlangıcı olan siyah cisim ışınması konusunda kavramsal anlama düzeylerinin 0,945 ile 0-1,33 aralığı olan düşük kategoride yer aldığı görülmektedir. Öğrencilerin kavramsal anlama düzeylerinin frekans dağılımı Şekil 7'de verilmiştir.

Şekil 7

Kuantum Başlangıcı Kavramsal Anlama Düzey Frekansları



Şekil 7 incelendiğinde öğrencilerin 59 (%69,4)'ünün düşük, 21 (%24,7)'inin orta ve sadece 5 (%5,9)'inin yüksek düzeyde kavramsal anlamaya sahip olduğu anlaşılmaktadır. Böylece öğrencilerin kuantum başlangıcı konusunda genel olarak kavramsal anlamalarının düşük olduğu söylenebilir.

Öğrencilerin Işığın Kuantum Teorisi Konusunda Kavramsal Anlama Düzeyleri

KuFKAT'ta fotoelektrik olayı, Compton saçılması ve ışığın ikili doğası ile ilgili olan ve ışığın kuantum teorisi faktörü altında toplanan 18 soruya göre öğrencilerin ortalama puanları Tablo 26'da yer almaktadır.

Tablo 26

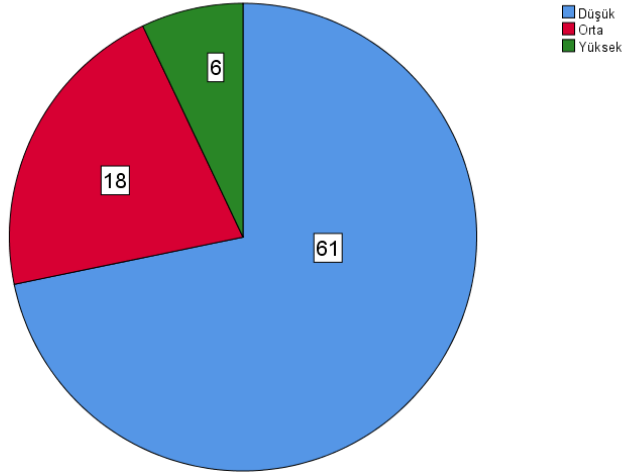
Işığın Kuantum Teorisi Kavramsal Anlama Ortalama Puanları

	N	Min.	Max.	\bar{x}	SS
Işığın kuantum teorisi	85	.00	3.70	1.089	.932

Tablo 26'da görüldüğü üzere öğrencilerin ışığın kuantum teorisi konusunda kavramsal anlama düzeyleri 1,089 ile düşük düzeydedir. Öğrencilerin anlama düzeylerine göre frekans dağılımları Şekil 8'de görülmektedir.

Şekil 8

Işığın Kuantum Teorisi Anlama Düzey Frekansları



Şekil 8'e bakıldığında öğrencilerden 61 (%71,8)'inin ışığın kuantum teorisi konusunda kavramsal anlamalarının düşük düzeyde olduğu görülmektedir. Öğrencilerden sadece 18 (%21,2)'i orta düzeyde anlamaya sahip iken 6 (%7,1)'si yüksek düzeyde anlamaya sahiptir. Bu bağlamda öğrencilerin ışığın kuantum teorisi konusunda düşük düzeyde kavramsal anlamaya sahip oldukları söylenebilir.

Öğrencilerin Madde Dalgaları Konusunda Kavramsal Anlama Düzeyi

KuFKAT'ta madde dalgaları (de Broglie) konusundan üç soru yer almakta ve bu soruların ortalama puanları Tablo 27'de verilmiştir.

Tablo 27

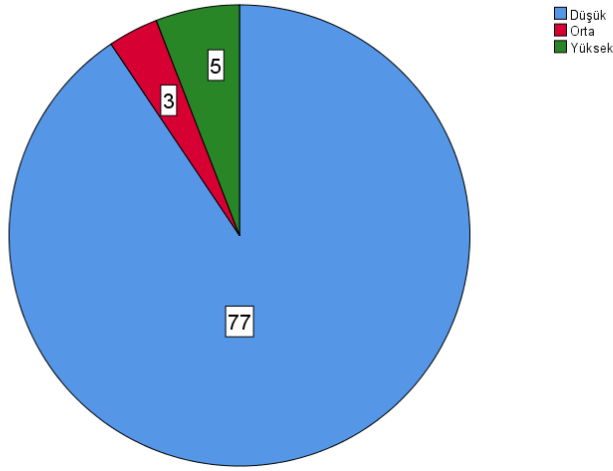
Madde Dalgaları Kavramsal Anlama Ortalama Puanları

	N	Min.	Max.	\bar{X}	SS
Madde dalgaları	85	.00	4.00	.514	.814

Tablo 27 incelendiğinde öğrencilerin madde dalgaları konusunda kavramsal anlama düzeylerinin 0,514 ile düşük düzeyde olduğu görülmektedir. Öğrencilerin kavramsal anlama düzeylerine göre dağılımları Şekil 9'da verilmiştir.

Şekil 9

Madde Dalgaları Kavramsal Anlama Düzey Frekansları



Şekil 9'a bakıldığında öğrencilerin 77 (%90,6)'si düşük düzeyde kavramsal anlamaya sahip olduğu görülmektedir. Bu da öğrencilerin neredeyse tamamının madde dalgaları konusunda kavramsal anlamaya sahip olmadığını gösterebilir.

Öğrencilerin Kuantum Fiziği Konularında Kavramsal Anlama Düzeyi

Öğrencilerin KuFKAT'ta yer alan 24 soruya göre ortalama puanları Tablo 28'de verilmiştir.

Tablo 28

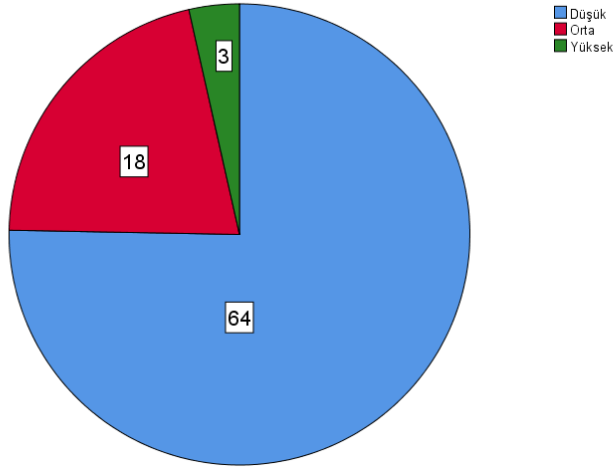
Kuantum Fiziği Kavramsal Anlama Ortalama Puanları

	N	Min	Max	\bar{x}	SS
Kuantum Fiziği	85	.00	3.46	.945	.794

Tablo 28'de görüldüğü üzere öğrencilerin kuantum fiziği giriş konularında kavramsal anlama düzeylerinin 0,945 ile düşük düzeyde olduğu görülmektedir. Öğrencilerin kavramsal anlama düzeylerine göre dağılımları Şekil 10'da görülmektedir.

Şekil 10

Kuantum Fiziği Kavramsal Anlama Düzey Frekansları



Şekil 10'da verilen frekanslara bakıldığında öğrencilerin 64 (%75,3)'ünün düşük, 18 (%21,2)'nin orta ve 3 (%3,5)'ünün yüksek düzeyde kavramsal anlama sahip olduğu anlaşılmaktadır. Öğrencilerin %75,3'ü gibi yüksek bir oranda düşük kavramsal anlamaya sahip olmaları ortaöğretim öğrencilerinin kuantum fiziği giriş konularında kavramsal anlamada güçlük yaşadığını göstermektedir.

Ortaöğretim Öğrencilerinin Kuantum Fiziği Konularında Kavramsal Anlamada Karşılaştıkları Güçlükler

Öğrencilerin karşılaştıkları güçlüklerin belirlenmesi için KuFKAT'ın yanıt gerekçesi, zorlanma derecesi ve zorlanma gerekçeleri birlikte değerlendirilmiştir. Öğrencilerde var olan kavram yanılgıları için yanlış yanıt verip “Hiç zorlanmadım” ve “Zorlanmadım” diyen öğrencilerin gerekçeleri incelenmiştir. Yanlış yanıt veren öğrencilerden “Zorlandım” ve “Çok zorlandım” diyenlerin gerekçeleri zorlanma nedeni olarak değerlendirilmiştir. Öğrencilerin cevap kağıtları incelendiğinde “Kararsızım” diyen veya zorlanma derecesi seçmeyen öğrencilerin cevaplarının doğruluğuna bakılmaksızın yazdıkları gerekçeleri ayrı bir tabloda değerlendirilmiştir. Kuantum fiziği giriş konuları üç ayrı başlıkta ele alınmıştır. Öğrencilerin karşılaştıkları güçlükler incelenirken deney ve kontrol grubu öğrencileri beraber

değerlendirilmiştir. Ancak kontrol grubu öğrencilerinin uygulama sırasında kullandıkları çalışma yaprakları bu bölümün sonunda ayrı bir başlık altında genel olarak ele alınmıştır.

Öğrencilerin Kuantum Başlangıcı Konusunda Karşılaştıkları Güçlükler

KuFKAT'ta yer alan ilk üç soru kuantum başlangıcı olan siyah cisim ışıması ile ilgili olduğundan bu üç sorunun yanıtları analiz edilmiştir. Siyah cisim ışıması ile ilgili sorularda yanlış yanıt verenlerden soruyu cevaplarken “Hiç zorlanmadım” ve “Zorlanmadım” seçeneği seçenler incelenmiş ve yanlış yanıtlardan elde edilen bulgular Tablo 29’da verilmiştir.

Tablo 29

Kuantum Başlangıcı Yanlış Gerekçeler ve Frekansları

Yanlış Gerekçeler	f
Grafik okuma/yorumlamada yapılan hatalar	18
Sıcaklık ile ışığın dalga boyu doğru orantılıdır.	18
0 °C altında sıcaklık yoktur.	8
Sıcaklık ile yayılan ışığın şiddeti doğru orantılıdır.	6
Sadece siyah cisimler ışımaya yapar	5

Tablo 29’a bakıldığında öğrencilerden 18’inin seçtiği seçenek ve açıklama analizlerine göre grafik okuma veya yorumlamada zorlandıkları görülmüştür. Örneğin öğrencilerden Ö65 “*Eksen boyunca ışık şiddeti azalmış ama sıfır olmamış*” ve Ö75 “*Grafikte sıfır olan bir yer göremedim.*” açıklamalarıyla soruda verilen grafikleri okumada zorlandıkları anlaşılmaktadır.

Öğrencilerden 18’inin sıcaklık ile dalga boyunun doğru orantılı olduğu kavram yanlışlığına sahip olduğu görülmektedir. Bu öğrencilerden Ö36 “*Cismin sıcaklığı arttıkça enerjisi daha fazla olur ve daha fazla ışık yayar.*”, Ö19 “*Sıcaklık arttıkça enerjisi artar ve daha büyük dalga boyunda ışık yayar.*” ve Ö58 “*Çünkü sıcaklık ile dalga boyu doğru orantılıdır.*” açıklamalarıyla sıcaklık ile dalga boyunun doğru orantılı olduğu sonucuna hatalı bir çıkarımdan vardıkları anlaşılmaktadır. Bu öğrenciler ışık dalgaları için dalga boyu ile

enerjinin doğru orantılı olduğunu düşündükleri için sıcaklık artışının enerji artışına bunun da dalga boyunda artışa neden olacağı çıkarımında bulunmuşlardır.

Benzer şekilde altı öğrenci ise sıcaklık ile ışık şiddetini birbiri ile ilişkilendirerek sıcaklık ile ışık şiddetinin doğru orantılı olduğunu belirtmiştir. Öğrencilerden Ö17 “*Çünkü sıcaklık azaldıkça ışık şiddeti azalır.*” ve Ö43 “*Çünkü sıcaklık arttıkça enerjisi ve ışık şiddeti artar.*” şeklinde yaptıkları açıklamalarla ışık şiddeti ile sıcaklık arasında doğrusal bir ilişki kurmuşlardır. Bu yanılgıya sahip olan öğrencilerin sayısının sıcaklık ile dalga boyunun doğru orantılı düşünen öğrenci sayısının üçte biri olmasının nedenlerinden biri hem ders esnasında hem de ders kitaplarında konu başında anlatılan morötesi felaket kavramının etkisi olabileceği düşünülebilir.

Öğrencilerden sekizi 0 °C'nin altında sıcaklık olmadığını belirtmiştir. Örneğin öğrencilerden Ö81 “*Sıfırın altında sıcaklık yoktur, bu yüzden ışıma yapmaz.*” açıklaması yapmıştır. Bu açıklamadan anlaşıldığı üzere böyle düşünen öğrenciler, Celsius termometresindeki sıfır değerini mutlak sıfır olarak anlamakta veya 0 °C'nin altındaki değerleri soğuk olarak düşünmektedirler.

Öğrencilerden beşi siyah cisim ışımalarını konu adı ile özdeşleştirip sadece siyah cisimlerin ışıma yaptığını belirtmiştir. Bu öğrencilerden Ö54 “*Siyah cisimlerin sıcaklığı daha fazla olduğu için onlar daha çok ışıma yapar.*” ve Ö69 “*Siyah cismin sıcaklığı daha çok olduğundan dalga boyu daha büyük olur.*” açıklamalarıyla siyah cismin daha sıcak olduğu kavram yanılgısından yola çıktıkları anlaşılmaktadır. Bu da siyah cisimler daha sıcaktır kavram yanılgısına sahip olan öğrencilerin konu adından yola çıkarak hatalı kavramsal çıkarımda bulunmalarının daha kolay olduğunu göstermektedir.

Öğrencilerin Işığın Kuantum Teorisi Konusunda Karşılaştıkları Güçlükler

KuFKAT'ta yer alan 18 soru fotoelektrik olayı, Compton saçılması, fotoelektrik ile Compton olaylarının karşılaştırılması ve ışığın ikili doğası ile ilgilidir. Bu konular foton ile

elektron arasındaki etkileşime dayanmakta ve ışığın tanecik yapısına delil sunarak ışığın kuantum teorisinin temellerini oluşturmaktadır. Doğal olarak KuFKAT'ın pilot çalışmasında bu sorular aynı faktör altında toplandığından ışığın kuantum teorisi konusu olarak ele alınmıştır. Bu konu ile ilgili soruları yanıtlarken zorlanmadığını veya hiç zorlanmadığını ifade eden öğrencilerin seçtikleri seçenek ve açıklamaları incelenmiş ve elde edilen bulgular Tablo 30'da verilmiştir.

Tablo 30

Işığın Kuantum Teorisi Yanlış Gerekçeler ve Frekansları

Soru	Yanlış Gerekçe	f
4	Foton, ışığın metal yüzeyden kopardığı elektrondur.	12
	Foton, ışığın dalgalar halinde yayılmasını sağlayan ortamdır.	7
5	Eşik frekansı büyüdükçe elektronun koparılması daha kolaydır.	7
6	Dalga boyu büyük olanın enerjisi daha büyüktür.	10
7	$E_f = E_o + E_k$ bağıntısı verilmiş ancak değerler doğru yerlere yazılmamıştır.	9
8	Küçük katot yüzeyinden daha kolay elektron koparılır.	4
	Dalga boyu ile enerji doğru orantılıdır.	5
	Anot ile katot arasındaki mesafe arttığında daha çok elektron olur ve akım artar.	5
	Eşik frekansı büyüdükçe elektronun koparılması daha kolaydır.	6
9	Eşik enerjisi ile gelen fotonun enerjisi birbiri ile karıştırılmıştır.	6
	Elektronun kinetik enerjisi ile fotonun enerjisi birbiri ile karıştırılmıştır.	6
10	Eğimler eşit olduğundan eşik frekansları eşittir.	6
	Eşik frekansı büyüdükçe elektronun koparılması daha kolaydır.	8
11	Kesme potansiyeli eşik enerjisine eşittir.	3
	Kesme potansiyeli foton enerjisine eşittir.	4
	Kesme potansiyeli eşik enerjisi ile foton enerjisinin toplamına eşittir.	6
12	Fotoselli lambalar kısa süreli olaylar olduğundan Compton olayı ile açıklanır.	7
	Fotoselli lambalar sıcaklığa duyarlı olduğundan siyah cisim ışıması ile açıklanır.	6
13	Akım-Gerilim grafiğinde akım değerleri farklı ise fotonların frekansları farklıdır.	7

	Akım-Gerilim grafiğinde akım değerleri farklı ise fotonların enerjileri farklıdır.	15
	Akım-Gerilim grafiğinde kesme potansiyelleri eşit ise ışık şiddetleri eşittir.	5
14	Fotoselli otomatik kapıların çalışma ilkesinin ışık ile ilgisi yoktur.	6
	Fotoselli otomatik kapıların fotoelektrik olayı ile ilgisi yoktur.	9
15	Compton olayında foton soğrulabilir.	6
	Fotonun iç yörüngedeki bir elektronla etkileşimi Compton olayıdır.	13
16	Enerji ve momentum korunumunda toplam değerlere bakılmamıştır.	8
	Fotonun dalga boyu ile enerjisi doğru orantılıdır.	9
	Compton olayında saçılan fotonun hızı gelen fotonun hızından daha büyüktür.	8
	Compton olayında saçılan fotonun hızı gelen fotonun hızından daha küçüktür.	7
17	Compton olayında foton soğrulur.	3
18	Fotoelektrik olayında foton saçılabilir.	3
19	Işınların yer yüzeyine ulaşamamasının nedeni siyah cisim ışımasıdır.	2
20	Compton saçılması, ışığın dalga boyundaki değişim olduğundan sadece ışığın dalga özelliği ile açıklanabilir.	4
21	Compton saçılması, ışığın dalga boyundaki değişim olduğundan sadece ışığın dalga özelliği ile açıklanabilir.	3
	Gölge ve yarı gölge oluşumu girişim sonucu olduğundan sadece ışığın dalga özelliği ile açıklanabilir.	2

Tablo 30'daki gerekçeler incelendiğinde öğrencilerden on ikisinin fotonu ışığın metalden kopardığı elektron olarak tanımlamıştır. Bu öğrencilerden Ö36 "*Işık elektron koparır ve elektrik akımını oluşturur. Akım oluşturan elektronlara foton denir.*" açıklamasıyla foton kavramını fotoelektrik olayı konusu ile özdeşleştirdiği görülmektedir. Ö31 ise aynı özdeşleştirmeyi yapıp "*Foto yani ışık ve elektron birleşince kısaca foton olur.*" demiştir. Bu da bu özdeşleştirmenin kaynağının ders anlatımında ve bazı sorularda kullanılan fotoelektron teriminin olabileceğini göstermektedir. Ayrıca öğrencilerden yedisi foton için ışığın dalgalı gitmesini sağlayan ortam tanımını yapmıştır. Bu öğrencilerden Ö11'in "*Fotonlar ışığın dalgalı gitmesini sağlar.*" açıklaması ile aslında ışığın ikili doğasını anlamadığını, ışığın sadece dalga yapısında olduğunu ve ışığın yayılması için ortam gerektiğini belirtmektedir. Benzer durum Compton saçılmasında da görülmektedir. Testteki 20 ve 21.

sorularda aynı öğrenciler, ışığın tanecik yapısını ispat etmesine rağmen saçılma sonrası dalga boyunun değişiminden yola çıkmış ve Compton saçılmasının sadece ışığın dalga özelliği ile açıklanabileceğini savunmuşlardır. Bu öğrencilerden Ö16'nın "*Compton olayında dalga boyu değişiyor. Bu da sadece dalga yapısıyla açıklanabilir.*" şeklinde sunduğu gerekçe bu öğrencilerin sadece ışığın dalga boyuna odaklandıklarını göstermektedir. İki öğrenci ise gölge oluşumunu girişim olayı ile açıklamaya çalışmış ancak girişim olayındaki saçak oluşumunu ya göz ardı etmiş ya da eksik öğrenmiştir. Bu öğrencilerden Ö15 "*Dalgalı giden ışık girişim yaparak gölge ve yarı gölgeyi oluşturur.*" açıklamasıyla yine ışığın dalgalı yapısına vurgu yaptığı görülmektedir. Böylece öğrencilerin ışığın tanecikli yapısını kabullenmekte zorlandıkları söylenebilir.

Fizik öğretim programında kuantum fiziği giriş konularından sadece fotoelektrik olayı konusunda matematiksel hesaplamalar yapılabileceği belirtilmektedir. Testte yer alan hesaplama gerektiren sorularda öğrencilerin genellikle doğru yaptıkları ancak yine de işlem hatası ve formüldeki sembollerin hangi niceliklere ait olduğunun karıştırılması gibi sorunlarla karşılaşmıştır. Formülleri doğru yazan öğrencilerden bazılarının gelen fotonun enerjisi, eşik enerjisi ve elektronun maksimum kinetik enerjisinin değerlerini birbirlerinin yerine yazdıkları tespit edilmiştir. Grafik içeren sorularda da soruyu genellikle emin olarak cevaplayan bazı öğrencilerin grafik okuma becerilerinin zayıf olduğu için grafikte yer alan değerleri yanlış okudukları ve hatalı hesaplamalar yaptıkları anlaşılmıştır. Ayrıca hem grafik sorularında hem de diğer sorularda öğrencilerin eşik frekansı/enerjisi kavramlarını ışığın frekansı/enerjisi ile karıştırdıkları belirlenmiştir. Tablo 35'te görüldüğü üzere eşik frekansı/enerjisi arttıkça elektron koparmanın daha kolay olduğunu düşünen öğrenciler bu hatalarını farklı sorularda tekrar ettirmişlerdir. Bu öğrencilerden Ö41 bir soruda "*Eşik frekansı artınca elektron daha kolay kopar.*" derken başka bir soruda "*Eşik enerjisi büyük olduğunda elektron daha çok kopar ve akım artar.*" demiştir. Bu da öğrencinin frekans ile enerjinin doğru orantılı olduğunu bilmesine rağmen eşik frekansını gelen fotonun frekansı ile karıştırdığını göstermektedir.

Bazı öğrenciler fotonun frekansı ile enerjisini ilişkilendiremezken bazıları fotonun dalga boyu ile enerjisinin doğru orantılı olduğunu düşünmektedir. Bu da frekans ile dalga boyu arasındaki ilişkiyi bilmediklerini göstermektedir. Öğrencilerden Ö6, “*V_d eşit olduğuna göre frekanslar eşit, enerjiler değil.*” açıklamasıyla enerji ile frekansı ilişkilendirmediğini göstermiştir. Ö85 ise “*Turuncudan daha büyük dalga boyu olan kırmızının enerjisi [daha] büyük olduğu için akım oluşur.*” açıklamasıyla ışığın enerjisinin dalga boyuyla doğru orantılı olduğunu belirtmiştir. Aslında bu öğrencinin fotoelektrik olayında elektron koparmak için gelen fotonun enerjisinin önemli olduğunu bilmekte ancak elektromanyetik dalgaların yapısı hakkında eksik veya yanlış bilgiye sahip olduğu anlaşılmaktadır.

Fotoelektrik devresi ile ilgili önemli üç yanılı ortaya çıkmıştır. Öğrencilerden dördü küçük katot yüzeyinden elektronların daha kolay koparılacağını belirtmiştir. Öğrencilerden Ö74 “*Katot küçüldükçe daha çok ışık düşer ve elektron daha kolay kopar. Böylece akım fazla olur.*” açıklamasıyla katot yüzey alanını ışık akısıyla ilişkilendirdiği anlaşılmaktadır. Öğrencilerden beşi ise anot ile katot arasındaki mesafe artışının akım artışına neden olacağını belirtmiştir. Bu öğrencilerden Ö37 “*Anot-katot mesafesi fazla olmalı ki arada elektron fazla olsun, akım artsın.*” açıklamasıyla elektrik akımını elektronların hareketinden ziyade tüpte bulunan elektron sayısı ile ilişkilendirmiştir. Bu da öğrencinin elektrik akımına ait kavramsal anlamasının yeterli olmadığını göstermektedir. Öğrencilerden on üçü fotoelektrik devresine ters bağlanan pilin işlevini bilmedikleri görülmüştür. Bu öğrenciler kesme potansiyelini foton enerjisi, eşik enerjisi veya ikisinin toplamına eşit olduğunu savunmuşlardır. Öğrencilerden Ö57 “*Foton enerjisine eşit bir pil bağlanmalı.*” derken Ö7 “*Pil potansiyeli fotonla eşik enerjisinin toplamı kadar olmalı.*” demiştir. Akım-Gerilim grafiğinin yer aldığı 13. sorunun gerekçeleri incelendiğinde bazı öğrencilerin maksimum akım şiddetinin büyüklüğünü fotonun enerjisi veya frekansı ile ilişkilendirdikleri anlaşılmıştır. Bu da öğrencilerin kesme potansiyelini elektronların kinetik enerjisi ile ilişkilendiremediklerini göstermektedir. Bazı öğrenciler ise kesme potansiyelini ışığın şiddeti ile ilişkilendirmiştir. Bu öğrencilerden Ö18, “*V_d eşitse elektronların enerjisi eşittir, o zaman ışık şiddetleri eşittir.*”

gerekçesini sunarak ışık şiddetinin elektron koparmak için yeterli olduğunu düşündüğünü göstermektedir. Bu da öğrencilerin fotoelektrik akımın oluşum şartlarını tam olarak kavramadıklarını göstermektedir.

Fotoelektrik olayı günlük yaşamda kullanılan birçok teknolojik alette fotoselli devreler ile yer almaktadır. Öğrencilerden on beşinin direkt ışık ile ilgisi olmadığından kendilerinden emin bir şekilde fotoselli otomatik kapıları fotoelektrik olay ile ilişkilendirmemiştir. Bu öğrencilerden Ö17 "*Fotoelektrik akım ışık olduğunda olur, otomatik kapının ışıkla alakası yok.*" açıklamasıyla fotoselli devrelerin çalışma ilkesini tam anlamadığını göstermektedir.

Compton saçılması ile ilgili sorular cevaplanırken belirtilen gerekçeler incelendiğinde, öğrencilerden altısının Compton olayında fotonun soğrulacağını düşündükleri belirlenmiştir. On altı öğrencinin ise her tür foton ve elektron etkileşiminin Compton olayı olduğunu düşündükleri belirlenmiştir. Öğrencilerden Ö59 "*Foton elektrona çarptığı için [elektronun atomun iç yörüngesindeki elektronla etkileşimi] Compton olayıdır. Compton'da foton soğrulmaz.*" gerekçesinden foton ile elektron etkileşimini doğrudan Compton olayı olarak anladığı anlaşılmaktadır. Yapılan incelemelerde öğrencilerin Compton olayında fotonun soğrulmadığını bildikleri ancak olayın gerçekleşmesi için yüksek enerjili fotonların serbest sayılan elektronlar ile etkileşimde bulunması gerektiğini anlamadıkları anlaşılmıştır. Benzer şekilde üç öğrenci fotoelektrik olayında fotonun saçılabileceğini düşündükleri belirlenmiştir. Bu öğrencilerden Ö39 "*Compton ve fotoelektrik olayında foton saçılır.*" açıklamasıyla her iki olayda da fotonun saçıldığını belirtmiştir. Oysaki her iki olay arasındaki temel farklardan birinin fotonun soğrulmasıdır. Compton saçılmasında fotonun soğrulması momentum korunumu gereği mümkün değil iken fotoelektrik olayında fotonun tüm enerjisini elektron soğurmaktadır. Bu bağlamda, bu öğrencilerin her iki olay arasındaki benzer ve farklı yönleri tam kavrayamadığı açıktır.

On altıncı soruda sekiz öğrencinin enerji ve momentum korunumunda ilk ve son durumlardaki toplamları dikkate almak yerine sadece fotonun ilk ve son enerji ve momentumlarını dikkate aldıkları görülmektedir. Öğrencilerden Ö43 “*Fotonun enerjisi değişir, bu yüzden enerji korunmamıştır.*” ve Ö9 “*Işığın yönü değişmiş o yüzden momentum korunmaz.*” şeklindeki açıklamaları, bu öğrencilerin korunum yasalarını tam anlamadıklarını, sistem yerine sistemdeki her bir objeyi birbirinden ayrı düşündüklerini göstermektedir. Yine önceki konularda olduğu gibi dokuz öğrenci, foton enerjisi ile dalga boyunun doğru orantılı olduğunu düşündükleri belirlenmiştir. Bunların yanı sıra on beş öğrenci foton ile elektron çarpışmasından sonra fotonun hızının ya artacağını ya da azalacağını düşünmüştür. Bu öğrenciler arasında soruyu doğru yanıtlayan öğrenciler de olmuştur. Örneğin soruyu doğru yanıtlayan Ö30 “*Çarpışmadan dolayı [fotonun] hızı artar, azalmaz.*” açıklamasıyla saçılma sonrası fotonun hızının artması gerektiği yanılığına sahip olduğunu göstermiştir.

Teleskopların atmosfer dışına kurulma nedeninin Compton saçılması olduğunu öğrencilerin çoğu bilirken iki öğrenci emin olarak siyah cisim ışması olduğunu öne sürmüştür. Bu öğrencilerin ikisi de “*Atmosfer dışındaki her şey siyah cisim ışmasıyla ilgilidir.*” şeklinde açıklama yapmış ve atmosfer dışındaki karanlığı siyah cisim ile özdeşleştirmişlerdir. Her iki öğrencinin de siyah cisim ışmasını sadece siyah cismin yaptığı ışımaya olarak düşündükleri tespit edilmiştir.

Işığın ikili doğası ile ilgili olarak öğrencilerin çoğunluğu doğru yanıtlar verirken dört öğrenci Compton olayının sadece ışığın dalga yapısı ile açıklanabilen bir olay olduğunu belirtmiştir. Bu öğrencilerden Ö16 “*Compton olayında dalga boyu değişiyor. Bu da sadece dalga yapısıyla açıklanabilir.*” gerekçesiyle saçılan fotonun enerjisindeki değişimden dolayı artan dalga boyunu ışığın dalga özelliği ile ilişkilendirmiş ve tanecik yapısını göz ardı etmiştir. Önceki öğretimlerden ışığın enerjisi ile dalga boyu arasındaki ilişkiyi tam kavramayan öğrencilerin dalga boyundaki değişime yoğunlaştığı anlaşılmıştır.

Öğrencilerin Madde Dalgaları Konusunda Karşılaştıkları Güçlükler

KuFKAT'ta yer alan son üç soru madde dalgaları ile ilgidir. Bu sorularda yanlış yanıt vermesine rağmen zorlanmadıklarını belirten öğrencilerin seçtikleri seçenek ve açıklamaları incelenmiş ve elde edilen bulgular Tablo 31'de sergilenmiştir.

Tablo 31

Madde Dalgaları Yanlış Gerekçeler ve Frekansları

Soru	Yanlış Gerekçe ve Frekansları	f
22	Fotonun momentumu yoktur.	3
	Momentum korunduğu için foton ve elektronun momentumları karşılaştırılmaz.	3
23	Dalga boyu sürat ile doğru orantılıdır.	8
	Dalga boyu momentum ile doğru orantılıdır.	3
24	Hız ile dalga boyu arasında bir ilişki yoktur.	6
	Elektron hızlandıkça dalga boyu artar.	4
	Paralel levhalar arasında olduğu için elektronun dalga boyu önce artar sonra azalır.	11

Tablo 31 incelendiğinde üç öğrenci ışığın momentumu olmadığını belirtmiştir. Compton saçılması konusunda fotonun momentumunun olduğu ispat edilmesine rağmen bu öğrenciler fotonun momentumu yoktur demiştir. Üç öğrencinin de momentum korunumunu tam bilmedikleri için foton ve elektronun momentumlarının karşılaştırılmayacağını belirttikleri görülmüştür. Bu öğrencilerden Ö47 "*Momentumları karşılaştırılmaz çünkü momentum korunur.*" açıklaması yapmış, bu da öğrencinin önceki konularda olduğu gibi momentum korunumu yasasında eksik/yanlış öğrenmelere sahip olduğunu göstermektedir. Ayrıca sekiz öğrencinin dalga boyu ile süratin/hızın doğru orantılı olduğunu düşündükleri tespit edilmiştir. Öğrencilerden Ö73'ün "*Elektronun sürati ile dalga boyu doğru orantılıdır.*" gerekçesi, Ö27'nin "*Elektron hızı arttıkça dalga boyu artar.*" gerekçesi ve Ö35'in "*Dalga boyu artınca momentum artar.*" gerekçesi bu öğrencilerin elektronun dalga yapısını anladıkları ama hız ile yanlış bir şekilde ilişkilendirdiklerini

göstermektedir. Öğrencilerden altısı dalga boyunun hep sabit olduğunu belirterek hız ile dalga boyunun bir ilişkisi olmadığını öne sürmüştür. Bu öğrenciler, Compton saçılmasında ışık hızının değişmediğini bildiklerinden bu konu ile ilişkilendirerek böyle düşünmüş olabilirler. Çünkü diğer bir soruya verdikleri yanıt incelendiğinde madde dalgalarını elektromanyetik dalga çeşidi olduğunu belirttikleri ancak elektromanyetik spektrumda bu isimle karşılaşmadıkları için yanıtlarından emin olmadıkları tespit edilmiştir. Öğrencilerden on birinin paralel levhalardan dolayı dalga boyunun önce artacağını ardından azalacağını düşündüğü belirlenmiştir. Bu öğrencilerin tümünün paralel levhalarda elektronun ivmeli hareket ettiğinden Ö41 gibi “İvmeli gittiğinden hızlanıp yavaşlar ve dalga boyu önce artar sonra azalır.” demiştir. Bu da öğrencilerin ivmeli hareketi hızlanma ve yavaşlamanın art arda olduğu yanlış bilgisine sahip olduklarını gösterir. Soru kökünde “hızlandırılan” ibaresi olmasına rağmen bu öğrenciler paralel levhaya odaklanmış ve yanlış önbilgileri ile soruyu yanlış cevaplamışlardır.

Öğrencilerin Kuantum Fiziği Konularında Zorlanma Nedenleri

KuFKAT'ta soruları yanıtlarken kararsız veya zorlandıklarını belirten öğrencilerin sayısının testteki son sorulara doğru gittikçe arttığı gözlenmiştir. Benzer şekilde, zorlanma nedeni için de son sorulara doğru daha az sayıda gerekçe belirtilmiştir. Fazla sayıda öne çıkan zorlanma nedenleri Tablo 32'de verilmiş ancak her soru için sayıları farklı olduğundan frekansları belirtilmemiştir. Ancak en çok tekrarlanan gerekçeden en aza doğru bir sıralama ile verilmiştir.

Tablo 32

Kuantum Fiziği Öne Çıkan Zorlanma Nedenleri

Zorlanma nedeni

Konuyu unuttum/Hatırlamıyorum/Bilgi eksikim var.

Konu işlendiğinde derste/okulda yoktum.

Grafik sorularını sevmiyorum/yapamıyorum.

Konuyu tam anlayamadım.

Formülü hatırlamıyorum.

Tablo 32'de görüldüğü üzere en sık tekrarlanan zorlanma nedeni olarak *konuyu unuttum/hatırlamıyorum veya bilgi eksikliği var* olmuştur. İkinci sırada öne çıkan "*Konu işlendiğinde derste/okulda yoktum.*" gerekçesi olmuştur. Diğer bir zorlanma nedeni olarak *grafik sorularını yapamıyorum/sevmiyorum* şeklindeki gerekçedir. Zorlanmadığını belirten öğrenciler gibi bu öğrencilerin de grafik okuma/yorumlama becerilerinin zayıf olması konu başlığından bağımsız grafik içeren sorularda zorlandıklarını göstermektedir. Diğer zorlanma nedenlerine göre daha az sayıda öne çıkan gerekçeler ise *konuyu tam anlamadım ve formülü hatırlamıyorum* olmuştur. Konuyu tam anlamadım diyenlerin neden konuyu anlamakta zorlandıklarına dair açıklama yapmaktan kaçındıkları belirlenmiştir. Ancak hesaplama gerektiren sorularda formülü hatırlamadığını belirten öğrencilerin çoğunun diğer sorularda okulda/derste yoktum açıklaması yaptıkları tespit edilmiştir.

TGA, Simülasyon ve Çizgi-Roman Destekli 5E Öğretim Modelinin Ortaöğretim Öğrencilerinin Kuantum Fiziği Konularında Akademik Başarıya Etkisi

Deney kontrol grubu öğrencilerinin öğretim sonunda kuantum fiziği konularını öğrenme durumları için başarı testi olarak uygulanan KuFKAT öntest ve sontest toplam puanları karşılaştırılmıştır. Sontest puanları her iki grupta da parametrik testler için gerekli tüm varsayımları karşılamadığından parametrik olmayan testlerden Wilcoxon işaretli sıralar testi uygulanmıştır. Test sonuçları Tablo 33 ve Şekil 11'de verilmiştir.

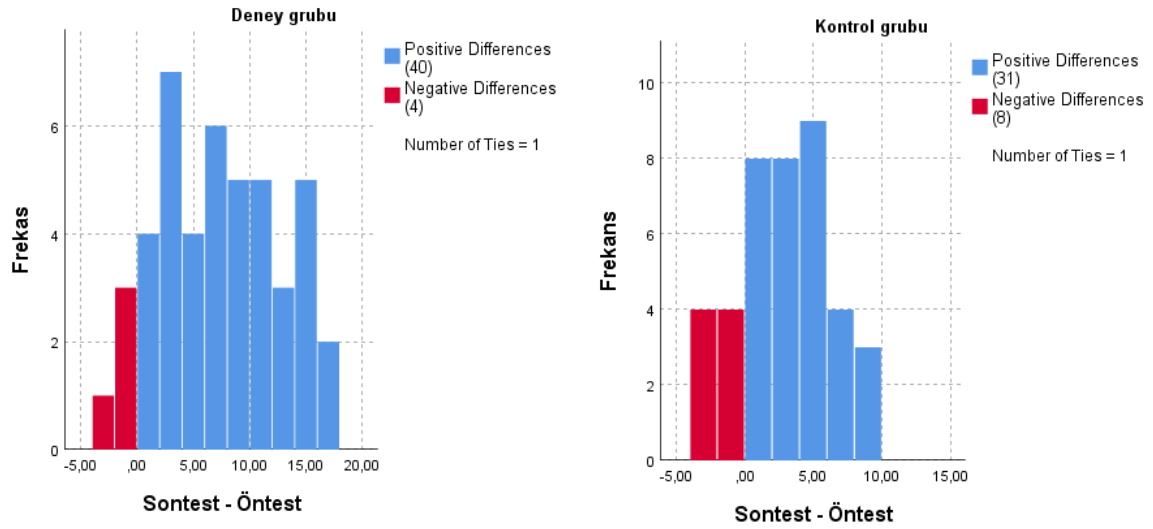
Tablo 33

KuFKAT Başarı Testi İçin Wilcoxon İşaretli Sıralar Testi Sonuçları

Hipotez	p	Karar
Deney grubu öntest ve sontest toplam puanları arasındaki farkların medyanı sıfırdır.	0,000	Hipotez reddedildi.
Kontrol grubu öntest ve sontest toplam puanları arasındaki farkların medyanı sıfırdır.	0,000	Hipotez reddedildi.

Şekil 11

KuFKAT Başarı Testi İçin Wilcoxon İşaretili Sıralar Testi Frekans Dağılımları



Tablo 38 ve Şekil 11’de görüldüğü üzere hem deney hem de kontrol grubunda öğretim sonunda öğrencilerin kuantum fiziği giriş konularında başarılarının arttığı anlaşılmaktadır.

Uygulanan öğretim modelinin akademik başarıya etkisini incelemek için Kontrol ve Deney grubu öğrencilerinin KuFKAT sontestten aldıkları toplam puanlar karşılaştırılmıştır. Sontest puanları parametrik testler için gerekli tüm varsayımları sağlamadığından parametrik olmayan testlerden Mann-Whitney U testi kullanılmıştır ve testin sonuçları Tablo 34’te verilmiştir.

Tablo 34

KuFKAT Başarı Testi İçin Mann-Whitney U Testi Sonuçları

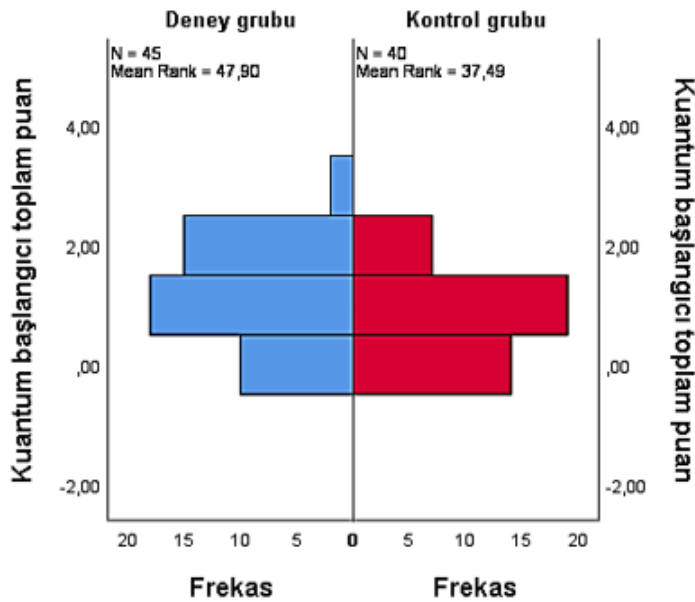
Hipotez	p	U	Karar
Kuantum başlangıcı konusunda alınan puanların gruplar arasında dağılımı ayındır.	0,038	679,500	Hipotez reddedildi.
Işığın kuantum teorisi konusunda alınan puanların gruplar arasında dağılımı ayındır.	0,000	494,500	Hipotez reddedildi.
Madde dalgaları konusunda alınan puanların gruplar arasında dağılımı ayındır.	0,027	663,500	Hipotez reddedildi.

KuFKAT sontest puanlarının gruplar arasında 0,000 464,500 Hipotez reddedildi. dağılımı ayındır.

Tablo 34'te görüldüğü üzere hem KuFKAT sontest puanlarında hem de tüm alt konularda uygulama sonunda gruplar arasındaki dağılımın anlamlı düzeyde farklı olduğu görülmektedir. Bu farklılığın hangi grup lehine olduğunu belirlemek için dağılım grafiğine ve sıra ortalamalarına bakılmalıdır. Kuantum başlangıcı konusuna ait dağılım grafiği Şekil 12'de yer almaktadır.

Şekil 12

Kuantum Başlangıcı Konusunda Mann-Whitney U Testi Frekans Dağılımları

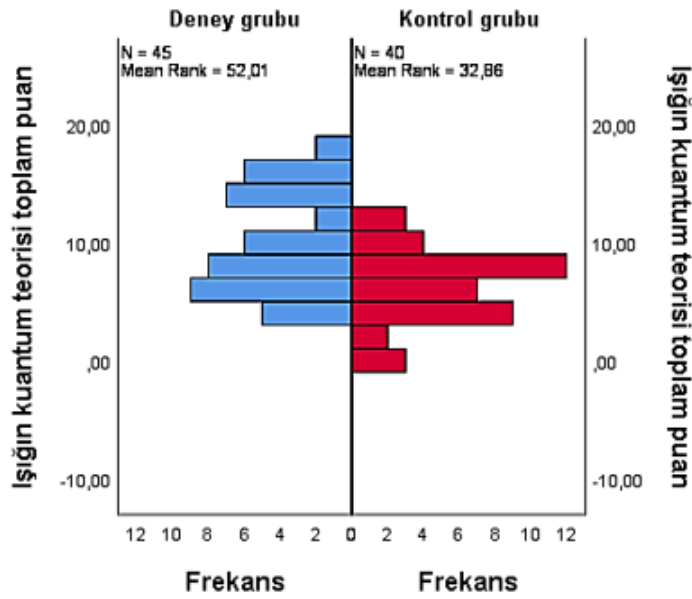


Şekil 12'de görüldüğü üzere deney grubunun dağılımı kontrol grubuna göre daha yüksek puanlarda ve sıra ortalaması 47,90 ile kontrol grubunun 37,49 sıra ortalamasından daha yüksektir. Bu sonuçlar da öğretim sonunda deney grubu öğrencilerinin kontrol grubu öğrencilerine göre akademik başarılarının daha fazla arttığını göstermektedir (U=679,5 ve $p<0,05$).

Işğın kuantum teorisi konusunda öğrencilerin toplam puan dağılımları Şekil 13'te verilmiştir.

Şekil 13

Işığın Kuantum Teorisi Konusunda Mann-Whitney U Testi Frekans Dağılımları

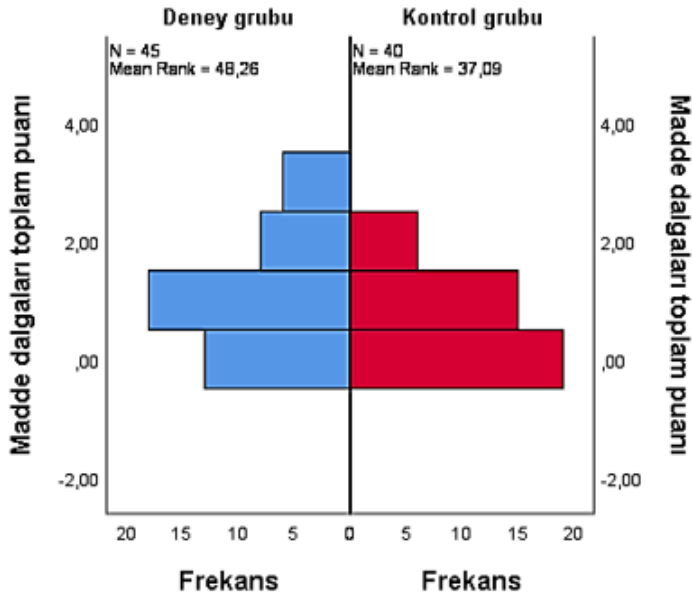


Şekil 13'e bakıldığında deney grubu öğrencilerinin toplam puanlarının sıra ortalaması 52,01 iken kontrol grubunun 32,86 olduğu ve deney grubu toplam puanlarının daha yüksek puanlara dağıldığı görülmektedir. Bu sonuçlara göre deney grubu öğrencilerinin öğretim sonunda akademik başarılarını kontrol grubu öğrencilerinden daha fazla arttığı anlaşılmaktadır ($U=494,5$ ve $p<0,05$).

Deney ve kontrol grubu öğrencilerinin madde dalgaları toplam puanlarına ait dağılım grafikleri Şekil 14'te yer almaktadır.

Şekil 14

Madde Dalgaları Konusunda Mann-Whitney U Testi Frekans Dağılımları

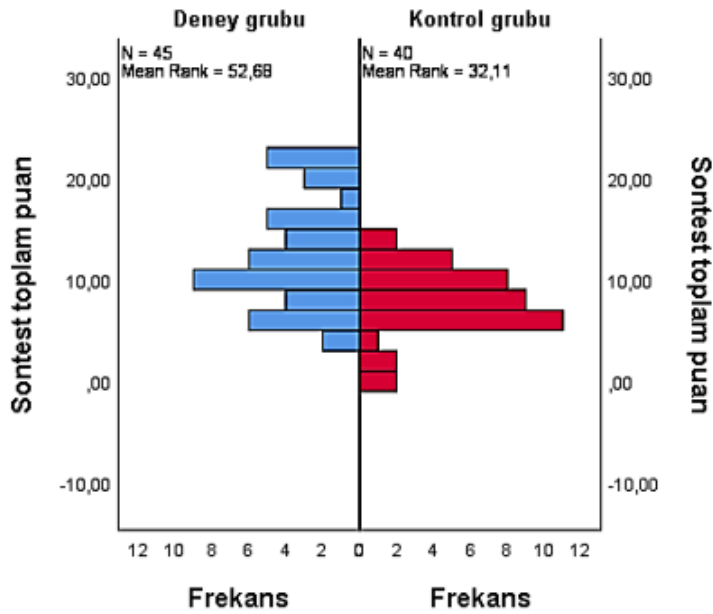


Şekil 14'e bakıldığında deney grubu öğrencilerinin aldığı toplam puanların daha yüksek puanlara dağıldığı ve deney grubu toplam puanlarının sıra ortalaması 48,26 iken kontrol grubu toplam puanlarının sıra ortalaması 37,09 olduğu görülmektedir. Bu sonuçlara göre deney grubu öğrencilerinin kontrol grubu öğrencilerine göre akademik başarılarının daha fazla arttığı görülmektedir ($U=663,5$ ve $p<0,05$).

KuFKAT toplam puanına göre deney ve kontrol grubu öğrencilerinin frekans dağılımları Şekil 15'te verilmiştir.

Şekil 15

Kuantum Fiziği Konularında Mann-Whitney U Testi Frekans Dağılımları



Şekil 15'te verilen grafik incelendiğinde, kuantum fiziği giriş konularına bütün olarak ele alan KuFKAT sontest toplam puan dağılımlarında deney grubu öğrencilerinin yüksek puanlardaki dağılımının daha fazla olduğu anlaşılmaktadır. Ayrıca deney grubu öğrencilerinin toplam puanlarının sıra ortalaması 52,68 iken kontrol grubunun 32,11 olduğu görülmektedir. Bu bağlamda istatistiksel olarak anlamlı farklılığın deney grubu öğrencilerinin lehine olduğu ve öğretim sonunda deney grubu öğrencilerinin kuantum fiziği giriş konularında akademik başarılarının daha fazla arttığı anlaşılmaktadır ($U=464,5$ ve $p<0,05$).

Sonuç olarak hem her faktörde hem de KuFKAT toplam puanlarında deney grubu öğrencilerinin lehine olan sonuçlar uygulanan TGA, simülasyon ve çizgi roman destekli 5E öğretim modelinin öğrencilerin akademik başarısını diğer uygulamalara göre daha fazla arttırdığını göstermektedir.

TGA, Simülasyon ve Çizgi-Roman Destekli 5E Öğretim Modelinin Ortaöğretim Öğrencilerinin Kuantum Fiziği Konularında Kavramsal Anlamaya Etkisi

Uygulanan öğretim modelinin öğrencilerin kavramsal anlamalarına etkisini incelemek için Kontrol ve Deney grubu öğrencilerinin KuFKAT'ın çoktan seçmeli ve gerekçe kısımlarının birlikte puanlanarak elde edilen kavramsal anlama puanları karşılaştırılmıştır. Kavramsal anlama puanları her iki grupta da normal dağılım göstermediğinden parametrik testler için gerekli tüm varsayımlar sağlanamamıştır. Bu yüzden parametrik olmayan testlerden Mann-Whitney U testi kullanılmıştır ve testin sonuçları Tablo 35'te verilmiştir.

Tablo 35

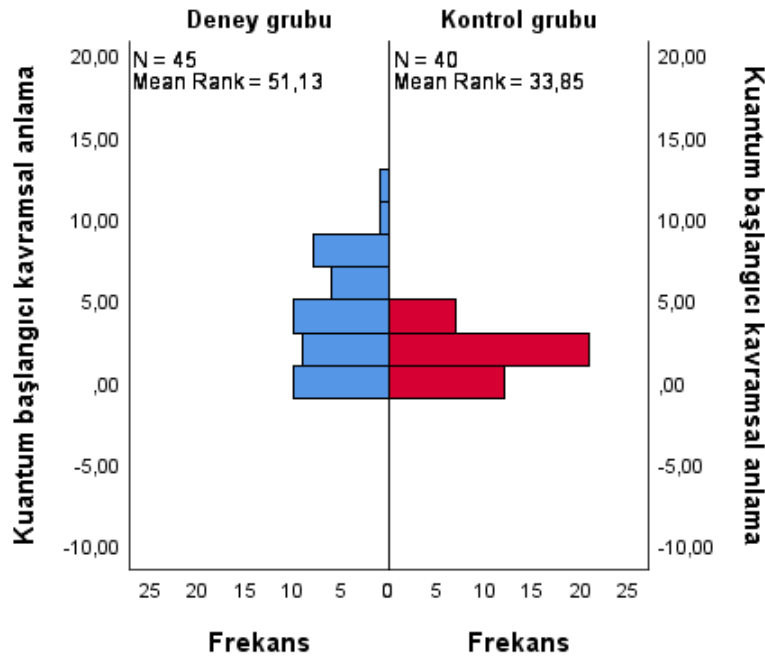
KuFKAT Kavramsal Anlama Testi İçin Mann-Whitney U Testi Sonuçları

Hipotez	p	U	Karar
Kuantum başlangıcı konusunda kavramsal anlama puanlarının gruplar arasında dağılımı ayndır.	0.001	534.000	Hipotez reddedildi.
Işığın kuantum teorisi konusunda kavramsal anlama puanlarının gruplar arasında dağılımı ayndır.	0.000	267.500	Hipotez reddedildi.
Madde dalgaları konusunda kavramsal anlama puanlarının gruplar arasında dağılımı ayndır.	0.046	684.500	Hipotez reddedildi.
KuFKAT kavramsal anlama puanlarının gruplar arasında dağılımı ayndır.	0.000	241.500	Hipotez reddedildi.

Tablo 35 incelendiğinde hem KuFKAT hem de tüm faktörlerde kavramsal anlama puanlarının dağılımlarının gruplar arasında istatistiksel olarak farklı olduğu anlaşılmaktadır. Bu farklılığın hangi grup lehine olduğunu belirlemek için sıra ortalamalarına bakılmalıdır. Deney ve kontrol grubu öğrencilerinin kuantum başlangıcı konusundaki kavramsal anlama puanlarının dağılımları Şekil 16'da verilmiştir.

Şekil 16

Kuantum Başlangıcı Kavramsal Anlama İçin Mann-Whitney U Testi Frekans Dağılımları

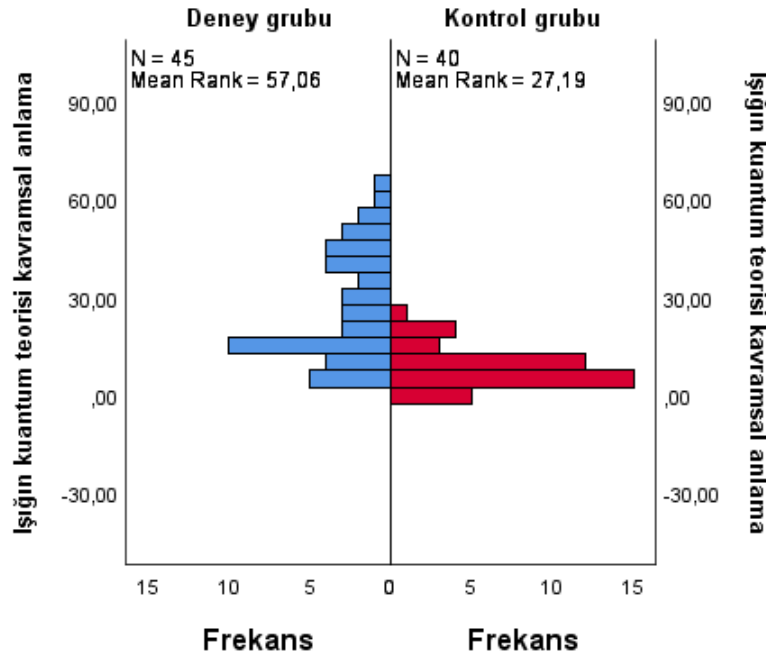


Şekil 16'da görüldüğü üzere deney grubu öğrencilerinin kavramsal anlama puanları daha yüksek değerlere dağılırken kontrol grubu öğrencilerinin puanlarının sıklığı daha düşük değerlere sıkışmıştır. Deney grubu puanlarının sıra ortalaması 51,13 ile kontrol grubunun 33,85 olan sıra ortalamasından yüksek olması deney grubu öğrencilerinin daha kuantum başlangıcı konusundaki kavramsal anlamalarının daha iyi olduğunu göstermektedir (U=534,0 ve p<0,05).

Öğrencilerin ışığın kuantum teorisi konusundaki kavramsal anlama puanlarının dağılımları Şekil 17'de verilmiştir.

Şekil 17

Işığın Kuantum Teorisi Kavramsal Anlama İçin Mann-Whitney U Testi Frekans Dağılımları

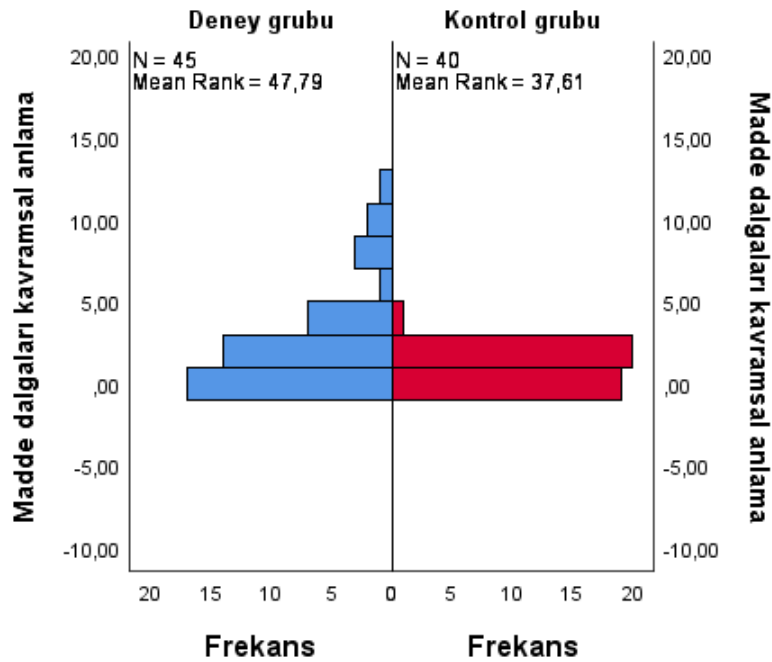


Şekil 17 incelendiğinde deney grubu öğrencilerinin puan dağılımlarının üst değerlere doğru gittiği ve sıra ortalamasının 57,06 olduğu görülmektedir. Buna karşın kontrol grubu öğrencilerinin puan dağılımlarının düşük değerlerde toplandığı ve sıra ortalamasının 27,19 ile deney grubundan düşük olduğu görülmektedir. Bu bağlamda deney grubu öğrencilerinin ışığın kuantum teorisi konusunda kontrol grubuna göre daha iyi bir kavramsal anlamaya sahip olduğu anlaşılmaktadır ($U=267,5$ ve $p<0,05$).

Öğrencilerin madde dalgaları konusundaki kavramsal anlama puanlarının dağılımları Şekil 18'de yer almaktadır.

Şekil 18

Madde Dalgaları Kavramsal Anlama İçin Mann-Whitney U Testi Frekans Dağılımları

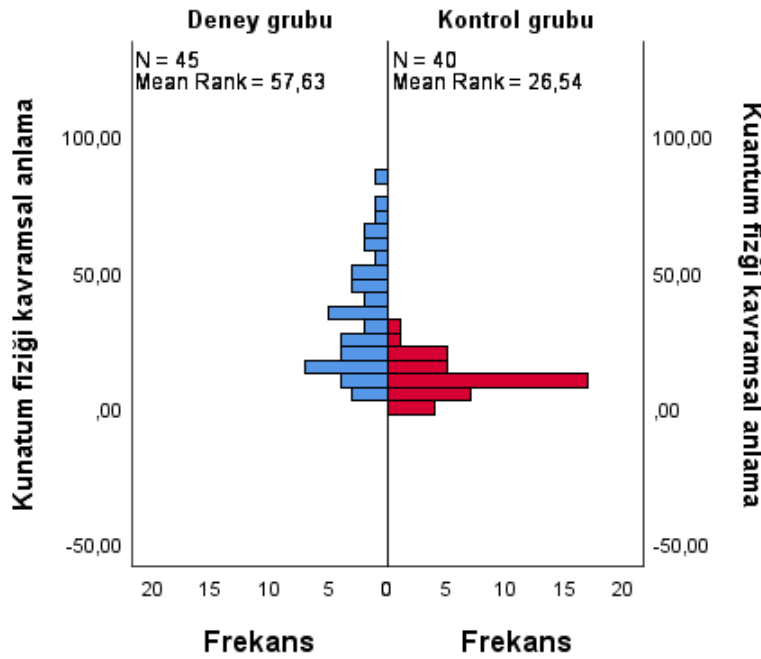


Şekil 18 incelendiğinde deney ve kontrol grubu öğrencilerinin çoğunluğunun düşük değerlerde toplandığı ancak deney grubunda kontrol grubuna göre üst puanlara dağılımın olduğu anlaşılmaktadır. Deney grubu öğrencilerinin sıra ortalaması 47,79 ve kontrol grubunun 37,61 olduğu dikkate alındığında gruplar arasında deney grubu lehine anlamlı bir farklılık olduğu görülmektedir. Bu da deney grubu öğrencilerinin kontrol grubu öğrencilerine göre madde dalgaları konusunda daha iyi bir kavramsal anlamaya sahip olduklarını göstermektedir (U=684,5 ve $p<0,05$).

Tüm sorular üzerinden öğrencilerin kuantum fiziği kavramsal anlama puanlarının dağılımları Şekil 19'da görülmektedir.

Şekil 19

Kuantum Fiziği Kavramsal Anlama İçin Mann-Whitney U Testi Frekans Dağılımları



Şekil 19'a bakıldığında deney grubu öğrencilerinin kavramsal anlama puanlarının düşük puanlardan başlayarak yüksek puanlara doğru dağılırken kontrol grubu öğrencilerinin dağılımlarının düşük puanlarda toplandığı görülmektedir. Sıra ortalamaları dikkate alındığında (deney grubu için 57,63 ve kontrol grubu için 26,54) deney grubu lehine anlamlı bir farklılık olduğu anlaşılmaktadır. Böylece deney grubu öğrencilerinin kuantum fiziği kavramsal anlamalarının kontrol grubu öğrencilerine göre daha iyi olduğu görülmektedir (U=241,5 ve $p<0,05$).

Uygulama Öncesi Deney Grubu Öğrencilerinin Fizik ve Kuantum Fiziğine Yönelik Görüşleri

Uygulama yapılmadan önce deney grubunda yer alan 45 öğrenciye yarı yapılandırılmış görüşme formları ile yazılı görüşleri alınmıştır. Görüşme formunda öğrencilere fizik öğretimi, fizik ve kuantum fiziği ile ilgili açık uçlu sorular yöneltilmiştir. Öğrencilerin fizik dersine verdikleri cevaplarından elde edilen tema ve kodlar Tablo 36'da verilmiştir.

Tablo 36*Deney Grubu Öğrencilerinin Fizik Dersine Yönelik Görüşleri*

Tema	Kategori	Frekans
Gerçekleşen öğretim	Soru çözme	32
	Simülasyon	19
	Tartışma	19
	Günlük yaşam örnekleri	12
	Düz anlatım	11
İstenilen öğretim	Deney	17
	Soru çözme	12
	Simülasyon	9
	Yapılanlar yeterli	7
	Tartışma	6
	Etkili anlatım	6
Fizik dersine çalışma	Günlük yaşam örnekleri	3
	Video izleme	13
	Çalışmıyorum	11
	Kitaptan çalışma	9
	Defterden tekrar yapma	8
Fizik dersini anlama	İnternette araştırma yapma	3
	Anlamakta zorlanıyorum	28
	Anlamakta zorlanmıyorum	12
	Tüm konularda zorlanıyorum	6
	Formüllerde zorlanıyorum	6

Tablo 36 incelendiğinde, deney grubunda uygulama öncesinde gerçekleşen etkinlikler sırasıyla soru çözümü (32), simülasyon (19), tartışma (19), günlük yaşam örnekleri (12) ve düz anlatım (11) olduğu görülmektedir. Öğrenciler son sınıfta okuduğu ve üniversite giriş sınavına hazırlandıkları için konu işlenirken ve konu bitiminde değerlendirme amacıyla yapılan soru çözümleri ve tartışma ön plana çıkmaktadır. Ayrıca uygulama öncesi

yenilik etkisinin giderilmesi amacıyla hem ders içi hem de ödev olarak verilen simülasyon etkinlikleri de en çok kullanılan yöntem olarak öne çıkmıştır.

İstenilen öğretim için ise en çok deney (17) ve soru çözümü (12) tercih edilmiştir. Öğrencilerin sınava hazırlandıkları düşünüldüğünde en çok yapılan etkinlik olan soru çözümü olmasına rağmen yine de soru çözümünü vurgulaması doğal karşılanabilir. Ancak okulda laboratuvar olmamasına rağmen deney yapmanın en çok istenilen öğretim olması dikkat çekmekte ve öğrencilerin deney yapmaya meraklı ve istekli olduklarını göstermektedir. Yedi öğrenci yapılanların yeterli olduğunu belirtmesine karşın simülasyon (9), etkili anlatım (6) ve tartışma (6) istenilen öğretimler olmuştur.

Fizik dersine nasıl çalıştıklarını veya derse gelmeden konuya nasıl hazırlık yaptıklarına dair öğrencilerden on üçü video izlediğini, dokuzunun ders kitabından çalıştığını, sekizinin defterden tekrar yaptığını ve üçünün internetten araştırma yaptığını belirtmesine rağmen on bir öğrenci fizik dersine çalışmadığını belirtmiştir. Ancak on bir öğrencinin fizik dersine çalışmaması bir öğrencinin yaptığı "*Sadece TYT'ye çalıştığım için AYT [konuları] olan son sınıf konularına çalışmıyorum.*" açıklaması dikkate alındığında ön lisans veya yetenekle öğrenci alan lisans bölümleri için dokuz ve onuncu sınıf kazanımlarını içeren Temel Yeterlilik Testi (TYT) yeterli olduğundan bu öğrencilerin neden çalışmadığı anlaşılabilir.

Fizik dersini anlama kategorisinde 28 öğrenci fiziği ve altı öğrenci tüm fizik konularını anlamakta zorlandığını belirtirken sadece on iki öğrenci fizik konularını anlamakta zorlanmadığını belirtmiştir. Ayrıca altı öğrenci formülleri ezberleme veya uygulamakta zorlandığını belirtmiştir.

Deney grubu öğrencilerinin uygulama öncesinde kuantum fiziğine yönelik görüşleri Tablo 37'de verilmiştir.

Tablo 37*Deney Grubu Öğrencilerinin Kuantum Fiziğine Yönelik Görüşleri*

	Bilmiyorum/Duymadım	32
Kuantum fiziği	Atom altı parçacıklarla ilgili	5
	Çok duydum ama bilmiyorum	4
	Ayrı bir mekaniktir	4
Kuantum konuları	Bilmiyorum/Fikrim yok	32
	Atom modelleri/Parçacıklar	7
	Işık ve madde etkileşimi	3
	Doğaüstü olaylar	3
Kuantum fiziğini anlama	Zorlanacağımı düşünmüyorum	12
	Zorlanacağımı düşünüyorum	8
	Bilmiyorum/Fikrim yok	25

Tablo 37 incelendiğinde öğrencilerden 32'si gibi yüksek sayıda bir grup, kuantum veya kuantum fiziğini bilmediğini veya duymadığını, dört öğrenci çok duyduğunu ama ne olduğunu bilmediğini belirtirken beş öğrenci atom altı parçacıklarla ilgili olduğunu dört öğrenci ise ayrı bir mekanik olduğunu belirtmiştir. Bu öğrenciler aslında 11. sınıf kimya dersinin ilk ünitesinde atomun kuantum modeli adlı konuda kuantum sayısı ve baş kuantum sayısı gibi kavramları öğrenmekte ve modern atom teorisinde detaylarını görmektedirler. Ancak bu kadar çok sayıda öğrencinin bilmediğini veya duymadığını belirtmesi kimya dersi ile fizik dersini birbiri ile ilişkilendirmediklerini göstermektedir.

Kuantum fiziği konuları için yine öğrencilerden 32'si herhangi bir fikri olmadığını belirtirken yedisi atom modelleri veya atom altı parçacıkların, üç kişi ışık ve madde etkileşiminin ve üç kişi doğa üstü olayların kuantum fiziği konularını oluşturacağını düşünmüştür. Kuantum fiziğini duymadıklarını belirtenlerin tamamı kuantum fiziği konuları için herhangi bir tahminde bulunmamıştır. Ancak yedi öğrenci kısmen de olsa modern atom teorisinde öğrendiklerinin etkisi ile kuantum fiziğinde atom modelleri veya parçacık fiziği ile ilgili olacağını belirtmiştir. Kuantum fiziğinin ayrı bir mekanik olduğunu düşünen üç öğrenci

ışık ve madde etkileşimi ile konuyla ilgili olduklarını göstermiştir. Ancak üç öğrenci doğa üstü olayların kuantum fiziği konusu olacağını söylemiştir.

Son olarak kuantum fiziği konusunu öğrenmekte zorlanacağını düşünenlerin sayısı sekiz iken zorlanmayacağını düşünenlerin sayısı on iki olmuştur. Zorlanıp zorlanmayacağı ile ilgili fikri olmadığını belirtenlerin sayısı ise 25 olmuştur. Fizik dersinde zorlanmadığını belirtenlerin kuantum fiziği konularında da zorlanmayacaklarını düşündükleri anlaşılırken tüm fizik konularında zorlandığını belirtenler kuantum fiziği konularını anlamakta zorluk çekeceklerini belirtmişlerdir.

Deney Grubu Öğrencilerinin Uygulama Sonrası Kuantum Fiziğini Anlamakta Zorlanma Nedenleri

Deney grubunda bulunan 45 öğrenciden on beşi uygulamadan sonra yazılı sınavlar bittiği için okula devam etmemiştir. Okula gelmedikleri için bu öğrenciler ile görüşmeler yapılamamıştır. Geriye kalan 30 öğrenci ile yapılan mülakatlar ses kayıt cihazı ile kayıt altına alınmış ve transkriptleri yapılmıştır. Bu bölümde deney grubu öğrencilerinin kuantum fiziği konularında zorlanma nedenlerine yönelik görüşleri incelenmiştir. Öğrencilerin önceki bölümde verilen öğrencilerle ile karıştırılmaması için DÖ1 (deney grubu öğrencisi 1), DÖ2 vb. şeklinde kodlanmıştır.

Öğrencilerin geneli ders işlenirken kuantum fiziği konularını anlamakta zorlanmadıklarını belirtmişlerdir. Ancak deney grubu öğrencilerinin kuantum başlangıcı kavramsal anlama düzeyleri 1,19 ile düşük seviyede kalmıştır. Bunun nedeni olarak DÖ16 “*Derste çok iyi anladığımı düşünüyorum ama evde soru çözerken yapamıyorum.*” ve DÖ21’in “*Konuyu çok iyi anladım ama bazen soruda ne istediğini anlamıyorum.*” şeklindeki açıklamaları aslında soruları çözerken okuduklarını anlamakta zorlandıklarını göstermektedir. Ayrıca siyah cisim ışıması ile ilgili üç sorudan ikisinin grafik içermesi ve önceki bulgulardan öğrencilerin grafik okuma ve yorumlama becerilerinin yetersiz olduğu göz önünde bulundurulduğunda kavramsal anlama düzeylerinin düşük çıkması anlaşılabilir.

Siyah cisim ışımasının kuantum fiziğine katkısı olarak on öğrenci enerjinin kesikli yapısı olduğunu belirtmiştir. Bu öğrenciler enerjinin kesikli yapıda olmasını anlamakta zorlanmadıklarını söylemiştir. Ancak DÖ6, DÖ19 ve DÖ29 kodlu üç öğrenci “*Kesikli yapıyı anlamakta zorlandım.*” şeklinde açıklama yapmış ama bunun kuantum fiziğine katkısına değinmemiştir. Nitekim öğrencilerin KuFKAT’taki gerekçelerinin incelenmesi sonucunda da öğrencilerin kesikli yapıda zorlanmadıkları ancak önceki konulardaki bilgi eksikliklerinin ve grafik okuma/yorumlama becerilerinin zayıf olmasının kavramsal anlama seviyelerinin düşük olmasına neden olduğu sonucu çıkmıştı. Öğrencilerden DÖ15 ise “*Tüm cisimlerin ışıma yaptığını öğrenmek çok ilgimi çekti. Sıcaklıkla ışımanın değişmesi ve bundan faydalanarak teknolojik aletlerin yapılması çok ilginç geldi.*” şeklinde açıklamada bulunarak siyah cisim ışımasının teknolojik aletlerde kullanılmasına değinmiş ve bunu ilgi çekici bulmuştur.

Işığın kuantum teorisi konusunda deney grubu öğrencilerinin kavramsal anlama seviyeleri 1,52 ile orta düzeyde çıkmıştır. Bu da gerçekleştirilen TGA, simülasyon ve çizgi roman destekli 5E öğretim modeli uygulamanın deney grubu öğrencileri üzerinde etkili olduğunu göstermektedir. Öğrenciler genel olarak ders işlenirken konuyu anlamakta zorlanmadıklarını belirtmişlerdir. Ancak altı öğrenci eşik frekansı/enerjisi kavramını anlamakta zorlandığını belirtmiştir. Bu öğrencilerden DÖ23 “*Eşik enerjisini tam anlamadım. Sorularda bazen foton enerjisi bazen kinetik enerji bazen de akım için bunu kullanıyorduk. O yüzden kafam karışıyordu*” açıklamasıyla eşik enerjisinin koparılan elektronun bağlanma enerjisi olduğunu anlamadığını belli etmektedir. Benzer şekilde kafa karışıklığı yaşayan DÖ21 “*Eşik frekansı metal cinsine bağlıydı ama foton frekansını ve kopan elektronun enerjisini hep kullanıyorduk. Nedenini anlamadım.*” açıklaması yapmıştır. Böylece fotoelektrik olayının özünü anlamayanların eşik enerjisi/frekansı kavramının ne için kullanıldığını anlamadıklarını göstermektedir. KuFKAT seçenek ve gerekçelerinin incelenmesinde de eşik frekansı/enerjisi değerini formülde yanlış yerde kullanımın olduğu belirlenmişti. Öne çıkan diğer bir zorlanma gerekçesi ise fotoelektrik ve Compton

olaylarındaki fotonun soğrulması ve saçılması durumlarının birbirine karıştırılması olmuştur. Öğrencilerden DÖ1 “*Sorularda genellikle fotoelektrik ile Compton’ı karıştırıyorum. Hangisinde foton soğruluyor hangisinde saçılıyor anlamıyorum.*” açıklamasında bulunurken DÖ27 “*Neden bazen foton saçılıyor bazen yok oluyor anlamıyorum.*” açıklamasında bulunmuştur. Böylece, Compton olayında fotonun soğrulması momentum korunumuna aykırı olduğundan enerji ve momentum korunumu ilkelerini anlamayan öğrencilerin fotonun hangi olayda soğurulduğunu anlamadığı anlaşılmaktadır. Beş öğrenci ise fotoelektrik olayında ışık şiddeti ile akım arasındaki ilişkiyi anlamadığını belirtmiştir. Bu öğrencilerden DÖ13 “*Işık şiddeti akımı bazen etkiliyordu bazen etkilemiyordu, en çok onda zorlandım.*” diyerek aslında eşik frekansı/enerjisini ve akım oluşmadan ışık şiddetinin bir etkisi olmayacağını anlamadığını göstermektedir.

Madde dalgaları konusunda deney grubu öğrencilerinin kavramsal anlama seviyelerinin 0,75 ile düşük düzeyde kalmıştır. Altı öğrenci elektronun dalga yapısını anlamakta zorlandığını belirtirken öğrenciler genellikle bu konuda anlamalarına yönelik fikir beyan etmekte çekinmiş ve açıklama yapmaktan çekinmiştir. Öğrencilerden DÖ2 “*Elektronun dalga ve parçacık ikililiğinde kafam biraz karıştı ama anladığımı düşünüyorum.*” derken DÖ11 “*Elektron dalga yapısı kafamı karıştırdı ama sonra anladım.*” ve DÖ15 “*Elektronların ikili yapısı ilk başta zor geldi ancak momentum ve dalga boyu ilişkisi anlamamı kolaylaştırdı.*” açıklamalarını yapmıştır. Öğrencilerin fotonun dalga parçacık ikililiğinde kafa karışıklığı yaşamayıp elektron için yaşamaları elektronu fotona göre daha çok somutlaştırıp parçacık olarak düşünmelerinden kaynaklanıyor olabilir. Ancak yapılan uygulamalarda elektronların çift yarıқта girişimi ile ışığın çift yarıқта girişiminin benzetilmesi ve oluşan saçakların elektron hızı ve dalga boyu ile ilişkilendirilmesi, elektronun dalga yapısının anlaşılmasında etkili olduğu düşünülebilir.

Kuantum fiziği konuları bütün olarak ele alındığında deney grubu öğrencilerinin kavramsal anlamalarının 1,38 ile orta düzeyde olduğu tespit edilmiştir. Zaten genel olarak mülakata katılan öğrencilerin çoğunluğu konular işlenirken anlamakta zorluk çekmediklerini

belirtmiş ancak soru çözerken diğer fizik konularında olduğu gibi zorlandıklarını belirtmişlerdir. Tüm bulgular birlikte değerlendirildiğinde genel olarak temel fizik konu ve kavramlarını tam öğrenmeyen veya anlamayan öğrencilerin bundan kaynaklı bilgi eksikliğinden kuantum fiziği konularını anlamakta zorlandıkları anlaşılmıştır.

Deney Grubu Öğrencilerinin TGA, Simülasyon ve Çizgi Roman Destekli Uygulamaya Yönelik Görüşleri

Öğrencilerle yapılan mülakatlarda tüm öğrenciler simülasyonla yapılan etkinlikleri çok sevdiğini ve anlamalarına yardımcı olduğunu belirtmişlerdir. Öğrencilerden on ikisi simülasyonların görsel yanına vurgu yaparak konuyu hatırlamalarına yardımcı olduğunu belirtmiştir. Bu öğrencilerden DÖ3, "*Soru çözerken simülasyonlar gözümde canlanıyor ve hatırlamama yardımcı oluyor.*" derken DÖ28 "*Simülasyonlar konuları anlamamda yardımcı oldu. Simülasyondaki görseller daha çabuk hatırlamama yardımcı oluyor ve kalıcı oluyor.*" demiştir. Bu öğrenciler ve bunlara benzer ifadeler kullanan öğrenciler simülasyon ile gözlemledikleri durumları daha sonra gözlerinde canlandırdıkları için öğrendiklerinin daha kalıcı olduğunu düşünmektedirler. Bu da öğrencilerin fizik dersinde öğrendiklerinin somut bir şekilde görülmesini istediğini göstermektedir. Benzer şekilde simülasyonların görselliğinin yanı sıra altı öğrenci sanal ortamda deney yapmanın öğrenmelerine yardımcı olduğunu belirtirken sekiz öğrenci daha çok kendilerinin sanal ortamda deney yapmalarının önemini belirtmiştir. Hem görsel hem de deney yönünden bahseden DÖ5 "*Simülasyonlar daha çok deney gibi olduğundan anlamama yardımcı oldu. Soru çözerken gözümde canlandırabiliyorum.*" ve DÖ8 "*Simülasyonlar çok iyi oluyordu, çünkü görsel olarak görmek ve kendimizin deneyi yapması çok faydalı oldu.*" açıklamalarıyla simülasyon etkinliğinde kendilerinin değişkenleri değiştirip sonuçları inceledikleri için deney yaptıklarını ve gözlemlediklerinin daha somutlaşmış olduğundan anlamalarına ve hatırlamalarına yardımcı olduğunu belirtmişlerdir. Simülasyonları kendi başlarına deney yaptıkları sanal ortam olarak nitelendiren öğrencilerden DÖ10 "*Deneyi sanal ortamda yaptığımız için daha kalıcı oluyor.*", DÖ12 "*Simülasyonları kendimiz yaptığımız için daha iyi anladım.*" ve DÖ25

“Simülasyonlarda kendim deney yapıp gözlediğim için daha iyi anlamamı sağladı.” açıklamalarını yapmışlardır. Bu açıklamalardan, öğrencilerin deneyleri kendi başlarına yaparak daha iyi öğrendikleri ve anladıkları anlaşılmaktadır. Bu da yapılandırmacı öğrenme yöntemlerinin öğrenciler tarafından tercih edildiğini göstermektedir.

Simülasyon etkinliği ile kullanılan TGA yöntemi için öğrencilerin tamamı olumlu düşündüklerini ve tahminleri ile sonuçlarını karşılaştırmanın anlamalarına yardımcı olduğunu belirtmiştir. Öğrencilerden DÖ2 *“Tahminleri sonuçlarla karşılaştırdığımda daha iyi anladım.”*, DÖ5 *“Önceden neleri yanlış yaptığımı bilmiyordum. Tahmin ve sonuçları karşılaştırarak neyi yanlış bildiğimi ölçerek hatalarımı düzeltebildim.”* DÖ6 *“Bazen çok saçma tahminlerim oldu ama deney sonuçlarını daha iyi anlamamı sağladı bu.”*, DÖ17 *“Önce tahmin etmek ardından sonuçları bulup yorumlamak ve tahminlerimizle karşılaştırmak çok verimliydi.”* ve DÖ24 *“Tahmin ve sonra gerçekleri görmek çok iyi oldu.”* açıklamalarıyla tahmin ve sonuçları karşılaştırmanın önemini vurgulamışlardır. Bu öğrencilere göre yanlış tahminlerde bulunmak doğru sonuçların zihinlerinde yeniden şekillenmesine bunun sonucunda konuyu daha iyi anlamalarına yardımcı olmaktadır. Öğrencilerden bazıları ise tahminde bulunmanın deney sırasında hangi değişkenler arasındaki ilişkiye dikkat edeceklerine yönelik ipucu verdiğini belirtmiştir. Bu öğrencilerden DÖ8 *“Tahminler çok iyi oluyordu, zihnimizde önce bir şeyler belirliyordu böylece deneyi yaparken daha iyi anlıyorduk.”*, DÖ13 *“Tahmin yaptığımız için uygulama sırasında ve sonunda nelere dikkat etmemiz gerektiğini gördüm.”* ve DÖ22 *“Tahmin yapmak neye dikkat edeceğimi gösterdi.”* Şeklinde açıklamalar yapmıştır. Bu açıklamalar, öğrencilerin tahminleri alınan konuda hangi değişkenler arasında nasıl bir ilişki olduğuna yoğunlaşmalarını sağladığını göstermektedir. Bu öğrenciler deney sırasında özellikle bu değişkenler arasındaki ilişkiye dikkat edip sonuca ulaştıklarında daha iyi anladıklarını belirtmişlerdir. Bazı öğrenciler ise tahminleri ile sonuçlarının uyuşmaması onları tüm verileri tekrar gözden geçirmelerini sağladığı için konuyu daha iyi anladıklarını belirtmiştir. Bu öğrencilerden DÖ15 *“Tahminlerimin tutmaması konuya tekrar bakmamı ve daha iyi anlamamı sağladı.”*, DÖ21

“Tahmin ile sonuç arasındaki farkın fazla olması konuya bir daha bakmamı sağladığı için daha iyi oldu.”, DÖ19 *“Kendi tahminim ile doğruyu karşılaştırınca ne kadar uzak bir tahmin yaptığımı gördüm. Bu da işe yaradı.”* ve DÖ26 *“Önceden bildiklerimin yanlış olduğunu simülasyonda görmek doğrusuna tekrar bakmamı ve daha çok aklımda kalmasını sağladı.”* açıklamaları öğrencilerin tahminlerinde ısrarcı olmadıklarını aksine doğrusunu öğrenmeye istekli olduklarını göstermektedir. Bu da öğrenmeye istekli öğrenciler için TGA yönteminin ilgisini çekici olduğu ve bilgiyi kendileri yeniden inşa ettiklerinden öğrenmelerine yardımcı olduğunu göstermektedir. Bu bağlamda TGA yönteminin simülasyonlarla kullanılmasının öğrencilerin öğrenme ve anlamalarına yardımcı olduğu söylenebilir.

Öğrencilerden ikisi çizgi romanlar hakkında olumsuz görüş bildirirken diğerlerinin tümü olumlu görüşler bildirmiştir. Olumsuz görüş bildiren öğrencilerden DÖ3 *“Çizgi romanlar bende pek etkili olmadı. Metinleri okurken anlamadım. Daha çok bilgi verilse daha iyi olurdu.”* ve DÖ30 *“Çizgi roman okurken pek anlamadım. Bana pek faydası olmadı.”* açıklamaları ile karikatürde geçen metinleri anlamakta zorlandıklarını belirtmişlerdir. Karikatürlerde genellikle konunun bilim tarihi içindeki yeri ve bilim insanlarının sonuca nasıl ulaştığını anlatılmakta ve ardından bilim insanının kendi ağızlarından konunun özeti verilmektedir. Bu öğrenciler daha çok konunun açıklamasını istedikleri veya bilim tarihi ilgilerini çekmediği için çizgi romanların kendileri için faydalı olmadığını düşünmüşlerdir. Öğrencilerden bazıları çizgi romanların görsel yanına vurgu yaparken bazıları hikaye kısmına vurgu yapmıştır. Her ikisini birden vurgulayanların yanı sıra bilim tarihi kısmına vurgu yapanlar da olmuştur. Görselliği vurgulayan öğrencilerden DÖ5 *“Görsel olarak hafızam iyi olduğu için çizgi romanlar hatırlamama yardımcı oldu.”*, DÖ9 *“Çizgi romanlar görsel zekama hitap etti. Çizimleri başka yerde görsem hatırlamama yardımcı olur.”* ve DÖ23 *“Okumak zevk veriyordu ve karikatür olduğu için daha çok akılda kalıcı oluyordu, anlamama yardımcı oldu. Soru çözerken çizgi romanlar gözümde canlanıyor ve konuyu hatırlıyorum.”* şeklinde açıklamalar yaparak karikatürlerin görsel zekaya hitap etmesinin ve olayın canlandırılmasının anlama ve hatırlamalarına yardımcı olduğunu belirtmişlerdir.

Öğrencilerden DÖ6 “*Konunun hikayeleştirilmesi anlamamıza büyük katkıda bulundu. Derste anlatsaydınız bu kadar kolay anlamayacaktık.*”, DÖ17 “*Çizgi romanlar [konuyu] bir olay gibi açıklıyordu, bu yüzden daha iyi anladım.*” ve DÖ28 “*Çizgi romanları normal hikaye okuyormuş gibi okuyordum ve görseller zihnimde kalıyordu.*” şeklinde açıklama yaparak konunun hikaye şeklinde anlatılmasının anlamalarına yardımcı olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca görselliğe yapılan vurgu ile çizgi romanların bu öğrenciler için iyi bir öğretim aracı olduğunu göstermektedir. Bilim tarihine vurgu yapan öğrencilerden DÖ8 “*Bilim insanlarının nasıl konuyu açıkladıkları ve bilim tarihini bilmek çok iyi oldu. Böylece konuyu daha iyi anladım.*” ve DÖ15 “*Konunun ortaya çıkışını anlattığı için hem ilgi çekiciydi hem de görsellerle hatırlamamı sağladı.*” açıklamalarını yaparak konunun ortaya çıkış hikayesinin ve bilim tarihinin ilgi çektiği için konuya odaklandıklarını ve böylece konuyu daha iyi anladıklarını belirtmişlerdir. Bu bağlamda karikatürlerin görselliği, konunun hikaye üzerinden anlatımı ve bilim tarihi unsurlarını içermesi çizgi romanların öğrenciler için ilgi çekici, anlamalarına yardımcı ve hatırlatıcı olduğunu bu yüzden derslerde öğretim materyali olarak kullanılmasının önemli olduğu söylenebilir.

Bölüm 5

Sonuç, Tartışma ve Öneriler

Araştırmada ortaöğretim öğrencilerinin kuantum fiziği giriş konularında kavramsal anlama düzeyleri, kavramsal anlamada karşılaştıkları güçlükler ile TGA, simülasyon ve çizgi roman destekli 5E öğrenme modelinin öğrencilerin kavramsal anlamalarına etkisi araştırılmıştır. Araştırmada nicel ve nitel verilerden elde edilen bulgulardan ulaşılan sonuçlar bu bölümde birlikte değerlendirilmiştir. Araştırmada kuantum fiziği giriş konuları kuantum başlangıcı, ışığın kuantum teorisi ve madde dalgaları olmak üzere üç boyut altında toplanmıştır. Bu bölümde her boyut ayrı başlıklar altında ele alınacaktır.

Kuantum Başlangıcı

Araştırmada elde edilen bulgulara göre ortaöğretim öğrencilerinin kuantum başlangıcı sayılan siyah cisim ışıması konusunda kavramsal anlama düzeylerinin düşük olduğu tespit edilmiştir. Alan yazında sayılan siyah cisim ışıması konusunda lise öğrencilerinin (Kural, 2015; Paliç Şadoğlu, 2014; Yalçın, 2014) ve öğretmen adaylarının (Bezen ve diğerleri, 2021; Çoban, 2018; Emigh ve diğerleri, 2013; Görecek, 2013) kavramsal anlamalarının düşük olduğu ve kavram yanlışlarına sahip oldukları belirlenmiştir. Balta (2018) ise fizik öğretmenlerinin siyah cisim konusunda eksik hatta yanlış bilgilere sahip olduklarını ve konuyu tam açıklayamadıklarını belirtmiştir.

Çalışmada ortaöğretim öğrencilerinin siyah cisim ışıması konusunda kavramsal anlamalarının düşük olmasının nedeninin sahip oldukları kavram yanlışlarının gerçekleştirilen öğretim sonunda devam etmesi olduğu görülmüştür. Araştırmada siyah cisim konusunda en çok (18 öğrenci) grafik okuma ve yorumlamadan kaynaklı zorlanma gözlenmiştir. Aynı şekilde farklı çalışmalarda da öğrencilerin siyah cisim ışımasına ait grafiklerde zorlandıkları belirlenmiştir (Kural, 2015). En fazla sayıda öğrencinin (18) sahip olduğu “sıcaklık ile dalga boyu doğru orantılıdır” kavram yanlışlığı da Kural (2015)’in çalışmasında tespit edilmiştir. Öğrenciler sıcaklık artışıyla beraber enerjinin arttığını

düşünmekte ancak enerji ile dalga boyunu yanlış bir şekilde ilişkilendirmektedirler. Oysaki on ikinci sınıfta kuantum fiziği ünitesinden önceki iki ünite de enerji ile dalga boyunun ters orantılı olduğu işlenmektedir. Bu da önceki konularda yeterli kavramsal anlamaya sahip olmayan öğrencilerin yeni konuları bilimsel olarak yanlış bir şekilde yapılandırdıklarını göstermektedir.

Siyah cisim ışımasında ışık şiddeti ile enerjinin doğru orantılı olduğunu düşünen altı ve konuyu siyah renkle ilişkilendiren beş öğrenci olmuştur. Paliç Şadoğlu (2014) çalışmasında da siyah cisim ışımasını siyah olan cisimlerle ilişkilendiren öğrencilerin olduğu tespit edilmiştir. Öğrencilerin ışık şiddeti ile ışığın enerji veya frekansını karıştırdığı alan yazında yer almaktadır (Kural, 2015; McKagan ve diğerleri, 2009; Steinberg & Oberem, 2000; Taşlıdere, 2016). Işık şiddetinin enerji ile doğru orantılı olduğunu düşünen öğrencilerin olması önceki yıllarda yapılan yanlış öğretimden kaynaklanabilir. Çalışmaya katılan öğrencilere önceki yıllarda okutulan ortaöğretim onuncu sınıf fizik ders kitabında (Aydoğdu & Dedeoğlu, 2015) “Bir kaynağın birim zamanda yaydığı ışık enerjisine ışık şiddeti denir.” şeklinde yapılan tanımdan dolayı öğrenciler ışık şiddetinin toplam enerji mi yoksa fotonun enerjisi mi kastedildiğini anlayamamaktadır. Aynı tanıma üniversiteye hazırlık adıyla basılan birçok kitapta da rastlanmaktadır. Dolayısıyla son sınıfta çoğunlukla hazırlık kitaplarını kullanan öğrenciler kaynak kitaplardan yanlış öğrenmeler edinebilmektedirler. Son zamanlarda ders kitaplarında ışık şiddeti tanımı yapılırken “birim zamanda yayılan enerjinin ölçüsü” ibaresi kullanılmaya başlanmış ve 2022-2023 öğretim yılında okutulan ders kitaplarında ışığın tanecik yapısına değinilmekte ve ışık şiddeti birim zamanda yayılan tanecik sayısı ile ilişkilendirilmiştir (Tunç & Bağcı, 2021). Özcan (2015) ders kitapları ile öğrencilerin zihinsel modelleri arasında güçlü bir ilişki olduğunu belirtmiştir. Steinberg vd. (1996) de derslerde ve ders kitaplarında ışık şiddeti ile enerji arasındaki ilişkinin anlaşılması için yeterli destek sağlanmadığını belirtmiştir. Bu bağlamda gerek ders kitaplarının gerek yardımcı kaynak olarak anılan üniversiteye hazırlık kitaplarının içeriklerinin bilimsel uygunluğu sık sık denetlenmesi gerektiği aşikardır.

Sonuç olarak öğrencilerin kuantum başlangıcı konusunda enerjinin kesikli yapısının anlaşılmasında zorlanmaları beklenirken ilginç bir şekilde bu araştırmada daha önceki konulardaki bilgi eksikliği ve bunlarla ilgili sahip oldukları kavram yanlışlarından kaynaklandığı ortaya çıkmıştır. Örneğin grafik okuma/yorumlama becerisi, ışığın şiddeti ve enerjisi ile dalga boyu ve sıcaklık konularında iyi bir alt yapıya sahip olmayan öğrencilerin kuantum başlangıcı konusunda zorlanacakları açıktır. Zorlanmadığını belirtip doğru yanıt veren öğrencilerin genellikle enerjinin kesikli yapısında zorlanmadıkları görülmüştür. Bunun nedeni kuantum fiziği konularından önce Bohr atom teorisi ile enerji seviyeleri konularının işlenmiş olması ve ayrıca kimya dersinde 9. sınıftan itibaren Bohr atom modeli ve elektron katmanlarının belirli enerji seviyeleri olduğunun öğretilmesi olabilir.

Işığın Kuantum Teorisi

Çalışmada ışığın kuantum teorisini oluşturan fotoelektrik olayı, Compton saçılması ve ışığın ikili doğası konularında ortaöğretim öğrencilerinin kavramsal anlama düzeyleri düşük olduğu sonucu çıkmıştır. Bu sonuç, alan yazında öğrencilerin ışığın kuantum teorisini oluşturan konuları kavramakta zorlandıklarını gösteren çalışmalar (Çoban, 2018; Dokuzfidan, 2019; Görecek, 2013; McKagan ve diğerleri, 2009; Taşlıdere, 2016; Yalçın, 2014; Yıldız, 2009) ile paralellik göstermektedir. Bu çalışmadaki öğrencilerden on dokuzu fotonu fotoelektron ve ışığın yayıldığı ortam şeklinde anlamışlardır. Steinberg ve Oberem (2000) öğrencilerde fotonun sinüzoidal dalga şeklinde yayılan noktasal bir parçacık olduğuna dair bir kavram yanlışlığı olduğunu belirlemiştir. Ayrıca Steinberg vd. (1996) birçok öğrencinin foton modelini anlamadıkları için fotoelektrik olayını açıklayamadıklarını belirtmiştir.

Fotoelektrik konusunda öğrencilerin çoğunluğu matematiksel hesaplama gerektiren sorularda zorlanmazken genellikle hesaplama hataları yapıldığı görülmüştür. Kızılıcık ve Ünlü Yavaş (2017) fizik öğretmen adaylarının çoğunlukla kuantum fiziğinde matematik

kullanımı ile ilgili olumlu düşüncelere sahip olduklarını ama yine de önemli sayıda kişinin olumsuz düşüncelere sahip olduğunu belirtmiştir.

Çalışmada öğrencilerin fotoelektrik olayına ilişkin grafik okuma ve yorumlama becerilerinin zayıf olmasından kaynaklı konunun anlaşılmasında zorluk yaşandığı tespit edilmiştir. Alan yazında benzer şekilde öğrencilerin fotoelektrik grafiklerinde zorlandıkları yer almaktadır (Steinberg & Oberem 2000; Steinberg ve diğerleri, 1996).

Fotoelektrik devresinde öğrencilerin genellikle foton enerjisi ve frekansını ışığın şiddeti, dalga boyu ve fotoelektronların kinetik enerjisi ile hatalı bir şekilde ilişkilendirdiği tespit edilmiştir. Benzer şekilde devrede gerilim veya ters gerilim olduğunda öğrenciler elektrik konusundaki bilgi eksikliğinden fotoelektronların kinetik enerjisi ve kesme potansiyelini tam kavramadıkları belirlenmiştir. Buna rağmen öğrencilerin fotoelektrik olayında foton enerjisinin önemini kavradığı ancak ışığın yapısını kavrayamamaktan kaynaklı konuyu anlamakta zorlandıkları belirlenmiştir. Leone ve Oberem (2004) benzer şekilde elektrik devreleri, dalgalar ve elektromanyetik dalgalar konularındaki bilgilerinin fotoelektrik olayını kavramalarını etkilediğini belirtmiştir. Ayrıca katot yüzey büyüklüğü ile anot ve katot arası mesafenin fotoelektrik akım ile ilişkilendirildiği görülmüştür. Eşik frekansının da sık sık başka değerlerle karıştırıldığı gözlemlendiğinden öğrencilerin daha önce tespit edildiği üzere hangi materyallerin fotoelektrik etkiye maruz kaldığını belirleyemediklerini göstermektedir (Asikainen & Hirvonen, 2009).

Fotoselli devrelerin kullanım alanlarının çoğunlukla öğrenciler tarafından anlaşıldığı ancak on beş öğrencinin fotoselli devrenin çalışma ilkesini tam kavrayamadıkları tespit edilmiştir. Bu yüzden öğrencilerin fotoselli devreleri fotoelektrik olay ile ilişkilendiremedikleri belirlenmiştir. Paliç Şadoğlu (2014) öğretim sonunda da öğrencilerin çoğunun fotoselli devreyi açıklamada zorlandıklarını ancak bu zorluğun devreye bağlı pilden kaynaklandığını belirtmiştir.

Compton saçılması ile ilgili yaşanan zorluklardan biri yine fotonun dalga boyu ile enerjisinin doğru orantılı olduğunun düşünülmesidir. Bunun yanı sıra Compton

saçılmasında fotonun soğrulduğu, foton ile iç yörüngedeki elektron etkileşimi olduğu ve saçılma sonrası fotonun hızının değiştiği kavram yanlışları tespit edilmiştir. Benzer kavram yanlışları Kural (2015) de tespit etmiş ve bu kavram yanlışlarını öğrencilerin atomun uyarılmasını tam anlamamaları ile ilişkilendirmiştir. Ayrıca saçılma sonrası fotonun dalga boyundaki değişimden dolayı bazı öğrencilerin Compton saçılmasının ışığın dalga yapısı ile açıklandığını düşünmelerine neden olduğu belirlenmiştir. Benzer şekilde Yıldız ve Büyükkasap (2011) çalışmasında da öğrencilerin Compton olayının ışığın dalga özelliğini kanıtladıklarını düşündükleri tespit edilmiştir.

Compton saçılmasında fotonun soğrulduğu düşünülmesi gibi fotoelektrik olayında fotonun saçılacağını düşünen öğrenciler olmuştur. Bu da bazı öğrencilerin her iki olayın benzer ve farklı yönlerini tam anlamadıklarını göstermektedir. Ayrıca her iki olayda da konuyu tam olarak kavrayamamalarının nedeninin enerji ve momentum korunumu yasalarını tam bilmemelerinden kaynaklandığı tespit edilmiştir. Asikainen ve Hirvonen (2009) da çalışmaları sonucunda enerji korunumunu tam öğrenmemiş öğrencilerin fotoelektrik olayını kavramakta zorlandıklarını belirlemiştir.

Sonuç olarak ortaöğretim öğrencilerinin ışığın kuantum teorisi konusunda kavramsal anlamada karşılaştıkları güçlüklerin temel olarak önceki konulardaki eksik veya yanlış öğrenmelerden kaynaklandığı görülmüştür. Özellikle grafik okuma ve yorumlama becerisinin zayıf olması fotoelektrik olayı ile ilgili grafiklerin yanlış anlaşılmasına neden olmaktadır. Alan yazında kuantum fiziği konularında kavramsal anlamaya sahip olmasa bile öğrencilerin hesaplama gerektiren soruları yapabildikleri görülmesine benzer şekilde hesaplama sorularının yapıldığı ancak işlem hatalarından dolayı veya kavramlara ait sembollerin bilinmemesinden kaynaklı sorunlara rastlanmıştır. Ayrıca fotoelektrik konusunda kavram isimleri birbirine karıştırılmış ve genellikle eşik kelimesi genellikle foton ile ilişkilendirilmiştir. Işığın enerjisinin frekans ve dalga boyu ile yanlış ilişkilendirilmesi mekanik dalgalardaki yanlış kavram yapılandırılmasından kaynaklanmış olabilir. Benzer şekilde momentum ve enerji korunumu konusunu anlamayan ya da bu konularda sistem

kavramını bilmeyen öğrencilerin Compton saçılmasında yanlış kavramsal anlamalar geliştirebildikleri belirlenmiştir. Fotoelektrik ve Compton olaylarının benzer ve farklı yönlerinde az sayıda da olsa bazı öğrencilerin fotonun soğrulması veya saçılması olayını anlamakta zorlandıkları görülmüştür. Genel olarak öne çıkan diğer güçlüklerin kavram adından yola çıkılarak hatalı çıkarımlar ve önceki konularda hatalı yapılandırılan bilgilerin yeni konuyu hatalı öğrenmelerine neden olması olarak tespit edilmiştir.

Madde Dalgaları

Araştırmada ortaöğretim öğrencilerinin madde dalgaları konusunda kavramsal anlama düzeylerinin düşük olduğu tespit edilmiştir. Madde dalgaları ile ilgili sorularda çok az öğrenci zorlanmadığını belirttiğinden öğrencilerin kavramsal anlamalarını çözümlenecek çok az veriye ulaşılmıştır. Alan yazında bu konu ile ilgili çok az çalışma olduğundan sadece madde dalgalarının elektromanyetik dalga olduğu kavram yanılgısı tespit edilmiştir (Güneş, 2017). Bu çalışmada ise madde dalgaları ile ilgili yaşanan zorlukların momentum konusunun ve elektronun yüklü ortamda hareketinin tam bilinmemesinden yani önceki konulardaki kavram yanılgıları veya bilgi eksikliğinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Sonuç olarak on iki öğrencinin madde dalgaları konusunda zorlanmadığını belirttiği için elektronun dalga yapısının anlaşılıp anlaşılmadığı tespit edilememiştir. Ancak zorlanmadığını beyan eden öğrencilerin elektronun dalga yapısını yadırgamadıkları ama önceki konularda hatalı yapılandıkları kavramlardan dolayı yanlış cevap verdikleri belirlenmiştir. Ayrıca bazı öğrencilerin elektron hızının dalga boyuna etkisini anlamadıkları belirlenmiştir. Krijtenburg-Lewerissa vd. (2017) de öğrencilerin madde dalgalarını anlamadıklarını, hız ve kütlenin dalga boyuna etkisini kavrayamadıklarını belirlemiştir. Öğrencilerin kavramsal anlamalarının en düşük olduğu bölüm olmasına rağmen alan yazında bulunan madde dalgalarının elektromanyetik dalga olduğu kavram yanılgısına bu çalışmada çok az rastlanmıştır. Bunun nedeni elektromanyetik spektrum ve elektromanyetik dalgaların özelliklerinin yakın zamanda öğrenilmiş olması olabilir.

Kuantum Fiziği Giriş Konularında Zorlanma Gerekçeleri

Ortaöğretim öğrencilerinin kuantum fiziği giriş konularında zorlanma nedenlerinde en çok tekrarlanandan en aza doğru öne çıkan gerekçeler; konuyu unuttum/bilgi eksikliği var, konu işlendiğinde derste/okulda yoktum, grafik sorularını yapamıyorum, konuyu tam anlayamadım ve formülü hatırlamıyorum şeklinde olmuştur. Konuyu unutma veya hatırlamamanın nedeni, öğrenciler üniversite giriş sınavına da hazırlandığından sınava yakın dönemde işlenen son konuları artık tekrar etmedikleri veya sınavda çıkma ihtimaline göre konulara önem verdikleri için kuantum fiziği konularına önem vermiyor olabilirler. Nitekim Dicle Erdamar (2019) lise son sınıf öğrencilerinin üniversiteye giriş sınavına hazırlandıkları için 12. sınıf öğretim programında yer alan konulara sınavda sorulma ihtimaline göre önem verdiklerini belirtmektedir. Ölçme, Seçme ve Yerleştirme Merkezi (ÖSYM) tarafından yayınlanan Alan Yeterlilik Testi (AYT) sorularına bakıldığında 2018, 2019 ve 2021 AYT'de fotoelektrik olay ile ilgili birer soru varken diğer konulardan soru yer almadığı görülmektedir (ÖSYM, 2018; 2019; 2021). Ancak çalışma bittikten sonraki 2022 AYT'de Compton olayından bir soru yer almıştır (ÖSYM, 2022). Bundan dolayı öğrenciler sınavda çıkma ihtimali düşük olan kuantum fiziği giriş konularını önemsemedikleri söylenebilir. Ayrıca deney grubu öğrencilerinin yaklaşık dörtte biri fizik dersine çalışmadığını belirtmesi ve soruları çözerken zorlanmadığını belirten öğrencilerin yanlış cevaplarının çoğunlukla enerji ve momentum, ışık şiddeti, elektrik, grafik okuma ve yorumlama gibi önceki konulardan kaynaklı bilgi eksikliğinden kaynaklanması öğrencilerin konuyu tam anlamamasına ve kısa sürede unutmasına neden olmuş olabilir. Ünlü Yavaş ve Kızılcık (2018) fizik öğretmen adaylarının klasik fizik konularındaki genel bilgi eksikliklerinin kuantum konularını anlamayı zorlaştırdığı düşüncesinde olduklarını tespit etmiştir. Bu bağlamda kuantum fiziğinin tam anlaşılması için önceki fizik konularının iyi bir şekilde anlaşılması gerekmektedir. Buna rağmen deney grubu öğrencilerinin yaklaşık üçte ikisinin fizik dersinde zorlandığını belirtmesi klasik fizik konularını anlamakta zorlandıklarını göstermektedir. Fen bilimleri derslerinin 11 ve 12. sınıflarda seçmeli olduğu göz önünde

bulundurulduğunda bu öğrencilerin anlamakta zorlandıkları seçmeli dersi neden seçtikleri çelişkili bir durum gibi gözükse de aslında fen bilimleri derslerinin olduğu sayısal puan ile öğrenci alan lisans bölümlerinin çok fazla kontenjana sahip olması öğrencileri fen derslerini almaya yönlendirmektedir. Üniversite giriş sınavında baraj puan uygulaması kalktığından YÖK istatistiklerinde eksi netlerle sayısal alandan öğrencilerin yerleştiği bölümlerin olduğu görüldüğünden (YÖK, 2022) sadece herhangi bir bölüme yerleşme kaygısı olan öğrenciler fen derslerini seçmeye devam edeceklerdir.

Öğrencilerin en çok öne sürdüğü diğer bir gerekçe ‘konu işlendiğinde derste/okulda yoktum’ olmuştur. Ortaöğretim son sınıf öğrencilerinin üniversite giriş sınavına hazırlanmalarını belirterek devamsızlık yaptıkları alan yazında yer almaktadır (Gül ve diğerleri, 2015; Şanlı ve diğerleri, 2015). Ne yazık ki Haziran 2003’te ilk kez lise son sınıfta okuyan öğrenciler için getirilen devamsızlık affı düzenli olarak her sene getirildiğinden son sınıf öğrencileri devamsızlık yapmayı normalleştirmiştir. Araştırmanın yapıldığı 2022 yılında da öğrenciler arasında devamsızlık affı olacağına ilişkin büyük bir beklenti olduğu gözlenmiştir. Nitekim Haziran 2022 yılında MEB, ortaöğretim son sınıfta okuyan tüm öğrencilere devamsızlık affını getirmiş ve ilgili yıl için hem devamsızlıktan sınıfta kalmayı kaldırmış hem de derslerinde başarısız olanlar için sorumluluk sınavlarını getirmiştir (MEB, 2022). Her yıl düzenli olarak getirilen devamsızlık affı öğrenciler için bir fırsata dönüşmekte ve öğrenciler son sınıfta okula ve derslere düzenli şekilde devam etmemekteler. Gül vd. (2015) yirmi gün olan özürsüz devamsızlık süresinin 2013 yılında on güne düşürülmesinin ardından devamsızlıktan sınıf tekrarına kalan öğrenci sayısında azalma olduğunu tespit etmiş ve özürsüz devamsızlık süresinin tamamen kaldırılmasını önermiştir. Ancak devamsızlık afflarından dolayı işlevini yitirmek üzere olan ortaöğretim son sınıflarda öğretimin yapılabilmesi için artık hiçbir koşulda devamsızlık affı getirilmemeli ve özürsüz devamsızlık yapan öğrencilerin sınıf tekrarına kalmaları sağlanmalıdır. Düzenli derse katılmayan öğrencilerin konuyu öğrenmekte ve anlamakta zorluk çekecekleri aşikardır. Ayrıca derslere düzenli devam etmeyen öğrencilerin fizik dersine video izleyerek

çalıştıklarını belirttikleri görülmüştür. Son yıllarda sosyal medya platformlarında yayın yapan ve ders anlatım videolarını paylaşan kanallar ve EBA üzerinde yayınlanan ders ve soru çözümü videolarının öğrencilerin ilgisini çektiği ve bunları izleyerek ders çalışmanın yaygınlaşmaya başladığı görülmektedir. Özellikle pandemi döneminde yaygınlaşmaya başlayan ders videoları gittikçe öğrenciler arasında ilgi çekmeye devam etmektedir. Bu ilgiye rağmen derslere devam etmeden video izleyerek çalışmanın öğrencilerin konuyu anlamalarında etkili olmadığı kavramsal anlamalarının düşük olmasından anlaşılmaktadır.

Diğer bir zorlanma nedeni olarak 'grafik sorularını yapamıyorum/sevmiyorum' şeklindeki gerekçedir. Çalışmada soruları yanıtlarken zorlanmadığını belirten öğrencilerin de genellikle grafik okuma ve yorumlama becerilerinin zayıf olmasından kaynaklı soruları yanlış cevapladıkları tespit edilmiştir. Alan yazında öğrencilerinin grafik okuma ve yorumlama becerilerinin düşük olduğunu belirleyen çalışmalar mevcuttur (Aydın & Tarakçı, 2018; Eryılmaz-Toksoy, 2020; Gültekin, 2014; Yeltekin, 2020). Ayrıca öğrencilerin grafik içeren konulardan hoşlanmadıkları ve bu yüzden konuyu zor buldukları tespit edilmiştir (Aydın & Tarakçı, 2018). Bu bağlamda siyah cisim ışması ve fotoelektrik olayı konuları grafik içerdiğinden ortaöğretim öğrencilerinin bu konularda zorlandıkları ve bu yüzden kavramsal anlamalarının düşük kaldığı söylenebilir.

TGA, Simülasyon ve Çizgi Roman Destekli 5E Öğretim Modeli

Araştırmada ortaöğretim öğrencilerinin kuantum fiziği giriş konularında yaşadıkları zorlukları aşmada, akademik başarı ve kavramsal anlamalarını arttırmada TGA, simülasyon ve çizgi roman destekli 5E öğrenme modelinin etkisi de araştırılmıştır. Araştırma sonucunda uygulanan öğretim modelinin kuantum fiziği giriş konularında hem akademik başarıyı hem de kavramsal anlamayı arttırdığı tespit edilmiştir. Çalışma sonunda kontrol grubu öğrencilerinin kavramsal anlama düzeyi düşük iken deney grubu öğrencilerinin kavramsal anlamalarının orta düzeyde olduğu belirlenmiştir. Benzer şekilde alan yazında fizik öğretiminde 5E öğretim modelinin başarıyı ve kavramsal anlamayı arttırdığını belirleyen

çalışmalara rastlanmaktadır (Anıl, 2010; Bezen, 2019; Hırça ve diğerleri, 2011; Yuliana ve diğerleri, 2020). Taşlıdere (2015) ise kuantum fiziği giriş konularından olan fotoelektrik olayında 5E ve simülasyon destekli öğretimin akademik başarıyı arttırdığını belirlemiştir. Ancak kuantum fiziği konularının öğretiminde genellikle 7E öğretim modeli kullanılmış ve kullanılan modelin başarıyı arttırdığı tespit edilmiştir (Baybars & Küçüközer, 2014; Görecek, 2013; Paliç Şadoğlu, 2014).

Çalışmada ağırlıklı olarak PhET simülasyonları kullanılmış ve öğrenciler öğretim yöntemi olarak simülasyonları tercih ettiklerini ve simülasyonların öğrenmelerine çok yardımcı olduğunu belirtmiştir. Banda ve Nzabahimana (2021) yaptıkları derleme çalışmasında fizik eğitiminde çoğunlukla PhET simülasyonlarının tercih edildiğini ve bu simülasyonların öğrencilerin kavramsal anlamalarını arttırdığını ve birçok öğretim modeli ile kullanılabileceğini belirtmiştir. Simülasyon etkinliği ile kullanılan TGA yönteminin de genellikle deney veya simülasyonlarla kullanıldığı ve fizik konularında kavramsal anlamayı arttığı görülmektedir (Akkılık, 2016; Tereci ve diğerleri, 2018; Tiftikçi ve diğerleri, 2017; Yaşar, 2019). Yapılan çalışmada deney grubu öğrencileri uygulamadan önce derslerde simülasyonların kullanılmasını istediği ve uygulamadan sonra da simülasyonların öğrenmelerine katkıda bulunduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca öğrenciler uygulama öncesi derslerde deneylerin de yapılmasını istemişlerdir. Ancak okulun fiziki şartları yeterli olmadığından deneyler yapılamamıştır. Buna rağmen çalışmadan sonra simülasyonların sanal deneyler olduğunu belirten öğrenciler simülasyonlardan memnun kalmışlardır. Bu bağlamda kuantum fiziği giriş konularında PhET simülasyonlarının yeterli olduğu ve öğretimde kullanılmasının önemli olduğu söylenebilir.

Öğrenciler görsel olması, konunun hikaye üzerinden anlatımı ve bilim tarihi unsurlarını içermesi özelliklerinden dolayı çizgi romanların ilgi çekici, anlamalarına yardımcı ve hatırlatıcı olduğunu belirtmiştir. Çizgi romanlar uygulama sonrası öğrencilerin kavramsal anlamalarının kontrol grubuna göre daha fazla artmasında etkili olduğu görülmüştür. Çalışmada geliştirilen çizgi romanlar kuantum fiziği giriş konularını tarihsel süreci içinde ele

aldığından öğrencilerin anlamalarını olumlu yönde etkilemiştir. Levrini ve Fantini (2013) tarihsel süreci içerecek şekilde yapılan öğretimde öğrencilerin daha kolay bir şekilde klasik fizikten kuantum fiziğine geçeceklerini belirtmiştir. Zaten çalışmada kuantum fiziğine geçişten ziyade genel fizik konularındaki bilgi eksikliğinden kaynaklı zorluklar öne çıkmıştır. Ayrıca son zamanlarda fizik eğitiminde kullanımı artan çizgi romanların öğrencilerin kavramsal anlamalarını arttırdığını göstermektedir (Haroky ve diğerleri, 2019; Hesti, 2021; Khaira ve diğerleri, 2020; Maghfiroh & Kuswanto, 2022; Özdemir, 2017; Safitri ve diğerleri, 2022).

Öneriler

Türkiye’de kuantum fiziği konularında kavram yanlışlarına yönelik çok az çalışmanın olduğu ve bu alanda yeni çalışmaların yapılması gerektiği aşikardır (Yeltekin-Atar ve diğerleri, 2021). Bu çalışmada ortaöğretim öğrencilerinin kuantum fiziği konularında zorlanma nedenleri araştırılırken alan yazındaki kavram yanlışlarını içerecek şekilde geliştirilen KuFKAT kullanılmış ve öğrencilerle görüşmeler yapılmıştır. Böylece çalışma sonunda öğrencilerin sahip oldukları kavram yanlışları tespit edilmiş ve bu yanlışların konuyu kavramakta önemli bir zorlanma nedeni olduğu ortaya çıkmıştır. Ancak madde dalgaları konusunda ortaöğretim öğrencilerinden yeterli veri alınamadığından farklı yöntemlerle bu konudaki kavram yanlışlarının araştırılması önerilmektedir.

Araştırmada ortaöğretim öğrencilerinin kavramsal anlamada zorluk yaşamalarının en önemli sebeplerinden biri klasik fizik konularındaki bilgi eksikliği ve düşük kavramsal anlama olduğu belirlenmiştir. Özellikle fizik dersini anlamadığını ve derse çalışmadığını belirten öğrencilerin seçmeli fizik dersini seçmelerinin nedenleri araştırılmalı ve elde edilen bulgular doğrultusunda önlemler alınmalıdır.

Öğrencilerin kavramsal anlamalarının düşük olmasının bir diğer önemli sebebi derse/okula düzenli devam etmeme sorunu olduğu belirlenmiştir. Özellikle ortaöğretim son sınıf öğrencilerinin devamsızlık problemlerine yönelik önlemler alınmalıdır. Bunun için

merkezi sınavlarda kuantum fiziğine giriş konularına ait kazanımlardan daha fazla soru sorulabilir.

Çalışmada TGA, simülasyon ve çizgi roman destekli 5E öğrenme modeli uygulanmıştır. Böylece 5E öğrenme modelinin rahatlıkla farklı öğretim yöntem ve materyaller ile zenginleştirilip uygulanabildiği ortaya çıkmıştır. Bu bağlamda TGA, simülasyon ve çizgi roman destekli 5E öğrenme modeli fiziğin farklı konularında uygulanabilir.

Hem kuantum fiziği konularında hem de diğer fizik konularında kullanılacak çizgi romanlar geliştirilerek kullanımı yaygınlaştırılabilir.

Özellikle PhET simülasyonları ile kullanılacak TGA destekli çalışma yaprakları geliştirilerek simülasyonların yer aldığı web sitesine yüklenip öğretmenlerin kullanımına sunulabilir. Böylece hem simülasyonların hem de fizikte TGA yönteminin kullanımı yaygınlaştırılabilir.

Kaynaklar

- Abraham, M.R., Grzybowski, E.B., Renner, J. W. & Marek, E.A. (1992). Understandings and misunderstandings of eighth graders of five chemistry concepts found in textbooks. *Journal of Research in Science Teaching*, 29 (2), 105-120.
- Abou Faour, M., & Ayoubi, Z. (2017). The effect of using virtual laboratory on grade 10 students' conceptual understanding and their attitudes towards physics. *Journal of Education in Science Environment and Health*, 4(1), 54-68.
- Açışlı, S., Yalçın, S. A., & Turgut, Ü. (2011). Effects of the 5E learning model on students' academic achievements in movement and force issues. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 15, 2459-2462.
- Akarsu, B., Coşkun, H., & Kariper, İ. A. (2011). An investigation on college students' conceptual understanding of quantum physics topics. *Mustafa Kemal Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 8(15), 349-362.
- Akbaş, U., Karabay, E., Yıldırım-Seheryeli, M., Ayaz, A., & Demir, Ö. O. (2019). Türkiye ölçme araçları dizininde yer alan açımlayıcı faktör analizi çalışmalarının paralel analiz sonuçları ile karşılaştırılması. *Journal of Theoretical Educational Science*, 12(3), 1095-1123.
- Akkılık, E. (2016). *The predict-observe-explain instruction coupled with reflective journal writing for teaching electricity and magnetism: a quasi-experimental study with grade 10 students* (Yayınlanmamış yüksek lisans tezi). Boğaziçi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Aksakallı, A., Turgut, Ü., & Salar, R. (2016). Modern fiziğe karşı negatif algılar ve yabancılaşma algısının nedenleri: Lisans öğrencileri üzerine nitel bir araştırma. *Erzincan Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 18(2), 771-794.
- Alpegemen, S. (2019). *Ortaöğretim fizik 12: Ders kitabı*. Başak Matbaacılık, Ankara.

- Anıl, Ö. (2010). *Öğrenme sarmalına göre tasarılanan 5E öğretim modeli uygulamaları ile dokuzuncu sınıf öğrencilerinin aynalar konusundaki kavramsal değişimlerinin incelenmesi* (Yayınlanmamış doktora tezi). Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir.
- Arroio, A. (2011). Comics as a narrative in natural science education. [Special issue]. *Western Anatolia Journal of Educational Sciences*, 93-98.
- Asikainen, M. A., & Hirvonen, P. E. (2009). A study of pre- and in-service physics teachers' understanding of photoelectric phenomenon as part of the development of a research-based quantum physics course. *American Journal of Physics*, 77(7), 658–666.
- Awang, P. (2015). *SEM made simple: A gentle approach to learning Structural Equation Modeling*. MPWS Rich Publication, Bangi.
- Aydın, A., & Tarakçı F. (2018). Fen bilimleri öğretmen adaylarının grafikleri okuma, yorumlama ve hazırlama becerilerinin incelenmesi. *İlköğretim Online*, 17(1), 469-488.
- Aydoğdu, Y., & Dedeoğlu, E. (2015). *Ortaöğretim fizik 10: Ders kitabı*. Ada Matbaacılık, Ankara.
- Ayene, M., Krick, J., Damitie, B., Ingerman, A., & Thacker, B. (2019). A holistic Picture of physics student conceptions of energy quantization, the photon concept, and light quanta interference. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 17(6), 1049–1070. <https://doi.org/10.1007/s10763-018-9906-y>
- Ayvacı, H. Ş., & Yıldız, M. (2013). 5E modeline uygun olarak tasarlanan laboratuvar materyaliyle gerçekleştirilen öğretim sürecinin etkililiğinin değerlendirilmesi: Işığın kırılması. *Bayburt Eğitim Fakültesi Dergisi*, 8(1), 1-20.

- Badeo, J. M., & Koc, B. C. O. K. (2022). Development and Validation of Comic-based Learning Module in Physics. *International Journal of Theory and Application in Elementary and Secondary School Education*, 4(2), 1-11.
- Balta, N. (2018). High school teachers' understanding of blackbody radiation. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 16(1), 23-43.
- Banda, H. J., & Nzabahimana, J. (2021). Effect of integrating physics education technology simulations on students' conceptual understanding in physics: A review of literature. *Physical Review Physics Education Research*, 17(2), 023108.
- Başkale, H. (2016). Nitel araştırmalarda geçerlik, güvenirlik ve örneklem büyüklüğünün belirlenmesi. *Dokuz Eylül Üniversitesi Hemşirelik Fakültesi Elektronik Dergisi*, 9(1), 23-28.
- Bezen, S. (2019). *Dalgalar konusunun sorgulamaya dayalı öğrenme yaklaşımı ile desteklenen 5E ğrenme modeline göre işlenmesi: bir eylem araştırması* (Yayınlanmamış doktora tezi). Hacettepe Üniversitesi Eğitim Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Bezen, S., Aykutlu, I., & Bayrak, C. (2021). What Does Black-body Radiation Mean for Pre-Service Physics Teachers? Research Article. *Journal of Turkish Science Education*, 18(4), 691-706.
- Boopathiraj, C., & Chellamani, K. (2013). Analysis of test items on difficulty level and discrimination index in the test for research in education. *International journal of social science & interdisciplinary research*, 2(2), 189-193.
- Bouchée, T., de Putter-Smits, L., Thurlings, M., & Pepin, B. (2021). Towards a better understanding of conceptual difficulties in introductory quantum physics courses. *Studies in Science Education*, 1-20.
- Büyüköztürk, ř. (2013). *Sosyal bilimler için veri analizi el kitabı*. 8. Baskı. Ankara: Pegem Akademi.

- Bybee, R. (1997). *Achieving scientific literacy: from purposes to practices*. Portsmouth: UK, Heinemann.
- Chen, S., Chang, W. H., Lai, C. H., & Tsai, C. Y. (2014). A comparison of students' approaches to inquiry, conceptual learning, and attitudes in simulation-based and microcomputer-based laboratories. *Science Education*, 98(5), 905–935.
- Chercules, Hakim, L., & Lefudin. (2021). Development of teaching materials in the form of comics based on local wisdom wave material. *Berkala Ilmiah Pendidikan Fisika*, 9(3), 349-359.
- Child, D. (2006). *The essentials of factor analysis*, (3. Baskı). London: Continuum.
- Corder, G. W., & Foreman, D. I. (2014). *Nonparametric statistics: A step-by-step approach*. John Wiley & Sons.
- Creswell, J. W., & Creswell, J. D. (2017). *Research design: Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches*. Sage publications.
- Çetin, A. (2018). Simulasyon destekli işbirliğine dayalı öğrenme yönteminin fizik başarısına, bilimsel süreç becerilerine, fizik ve akıllı tahta kullanımına yönelik tutumlara etkileri. *Kastamonu Üniversitesi Kastamonu Eğitim Dergisi*, 26(1), 57-65.
- Çoban, A. (2018). *Probleme Dayalı Öğretim (PDÖ) yönteminin kuantum fiziği 'klasik fiziğin yetersizlikleri' konusunun öğretimi üzerine etkilerinin araştırılması* (Yayınlanmamış yüksek lisans tezi). Dokuz Eylül Üniversitesi Eğitim Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Çokluk, Ö., Şekercioğlu, G. & Büyüköztürk, Ş. (2014). *Sosyal bilimler için çok değişkenli istatistik SPSS ve Lisrel uygulamaları*. Ankara: Pegem Akademi.
- Demir, N. (2014). *Lise düzeyinde modern fizik konuları ile ilgili kavram testi geliştirilmesi Modern Fizik Kavram Testi (MKFT)* (Yayınlanmamış yüksek lisans tezi). Erciyes Üniversitesi Eğitim Bilimleri Enstitüsü, Kayseri.

- Demir, N., & Akarsu, B. (2014). Modern fizik konuları ile ilgili kavram testi geliştirilmesi ve uygulanması: Modern fizik kavram testi (MKFT). *Journal of European Education*, 4(2), 39-51.
- Deslauriers, L., & Wieman, C. (2011). Learning and retention of quantum concepts with different teaching methods. *Physical review special topics-physics education research*, 7(1), 010101.
- Dicle Erdamar, I. Y. (2019). Lise fizik dersi öğretim programının program geliştirme bağlamında analizi. *Harran Maarif Dergisi*, 4 (2), 29-44.
- Didiş, N., Özcan, Ö., & Abak, M. (2008). Öğrencilerin bakış açısıyla kuantum fiziği: Nitel çalışma. *Hacettepe Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 34(34), 86-94.
- Dinçer, T. G. (2009). *Kütle çekimi, serbest düşme hareketi ve ağırlık konularının öğrenilmesinde 5E öğretim modelinin etkisi* (Yayımlanmamış doktora tezi). Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Dokuzfidan, G. (2019). *Lise öğrencilerinin fotoelektrik ve Compton olaylarına ilişkin fikirleri* (Yayımlanmamış yüksek lisans tezi). Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir.
- Emigh, P. J., Passante, G., & Shaffer, P. S. (2013). Student understanding of blackbody radiation and its application to everyday objects. In *2013 Physics Education Research Conference, Portland*.
- Ergin, İ. (2009). 5E modelinin öğrencilerin akademik başarısına ve hatırlama düzeyine etkisi: "eğik atış hareketi" örneği. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi*, (18), 11-26.
- Eryılmaz, Ö. (2014). *Lise modern fizik konularının iki farklı öğretim programına göre öğrenilme durumlarının karşılaştırılması* (Yayımlanmamış doktora tezi). Hacettepe Üniversitesi Eğitim Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

- Eryılmaz-Toksoy, S. (2020). 11. Sınıf öğrencilerinin hareket türlerini açıklama ve ilgili grafikleri çizme, yorumlama bilgilerinin incelenmesi. *Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 20(3), 1423-1441.
- Fitri, M. R., Latifah, S., Saregar, A., Anugrah, A., & Susilowati, N. E. (2021, Şubat). Character education-based digital physics comic on newton's law: Students and teachers' perceptions. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1796, No. 1, p. 012007). IOP Publishing.
- Fraenkel, J. R., Wallen, N. E., & Hyun, H. H. (2012). *How to design and evaluate research in education* (Vol. 7, p. 429). New York: McGraw-hill.
- Furqani, D., Feranie, S., & Winarno, N. (2018). The effect of predict-observe-explain (POE) strategy on students' conceptual mastery and critical thinking in learning vibration and wave. *Journal of science learning*, 2(1), 1-8.
- Görecek, M. (2013). *Fen Bilgisi öğretmen adaylarının kuantum fiziği temel kavramlarını anlama düzeylerine 7E öğretim modelinin etkisi* (Yayınlanmamış doktora tezi). Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir.
- Gül, S., Kıran, Ö., & Nasırsı, H. (2016). Ortaöğretim (lise) öğrencilerinin devamsızlık nedenleri ve yeni ortaöğretim kurumları yönetmeliğinin öğrenci devamsızlıkları üzerindeki etkileri (Atakum ilçesi örneği). *Uluslararası Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 9(44), 925-933.
- Gültekin, C. (2014). *Ortaöğretim öğrencileri ile üniversite öğrencilerinin hal değişimi, çözeltiler ve çözünürlük konuları ile ilgili grafik çizme okuma ve yorumlama becerilerinin karşılaştırılması* (Yayınlanmamış doktora tezi). Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Balıkesir.
- Güneş, B. (2017). *Doğru bilinen yanlışlardan, yanlış bilinen doğrulara: Fizikte kavram yanlışları*. Bilal Güneş (Ed.). Ankara: Palme Yayıncılık.

- Güvercin, Z. (2010). *Fizik dersinde simülasyon destekli yazılımın öğrencilerin akademik başarısına, tutumlarına ve kalıcılığa etkisi* (Yayınlanmamış yüksek lisans tezi). Çukurova Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Adana.
- Hair, J., Black, W., Babin, B., & Anderson, R. (2014). *Multivariate data analysis*. Pearson Prentice Hall, Uppersaddle River.
- Haroky, F., Nikmah, S., Wilujeng, I., & Kuswanto, H. (2019, Haziran). Android-assisted physics comic learning to train students' conceptual understanding of Newton's gravity. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1233, No. 1, p. 012045). IOP Publishing.
- Hassan Zadeh Barani, G. (2014). *Bilgisayar destekli animasyonla öğretim yönteminin fen bilgisi öğretmenliği fizik 4 (modern fizik) dersi ile ortaöğretim 11. sınıf modern fizik dersindeki akademik başarıya etkisi* (Yayınlanmamış yüksek lisans tezi). Çukurova Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Adana.
- Henriksen, E. K., Angell, C., Vistnes, A. I., & Bungum, B. (2018). What is light?: Students' reflections on the wave-particle duality of light and the nature of physics. *Science & Education*, 27(1-2), 81-111.
- Hesti, R. (2021, Temmuz). Analogy educational comics to overcome students' misconception on simple electricity circuit material. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1957, No. 1, p. 012036). IOP Publishing.
- Hırça, N., Çalık, M., & Seven, S. (2011). 5E Modeline göre geliştirilen materyallerin öğrencilerin kavramsal değişimine ve fizik dersine karşı tutumlarına etkisi: "iş, güç ve enerji" ünitesi örneği. *Journal of Turkish Science Education*, 8(1), 139-152.
- Khaira, N., Yusrizal, Gani, A., Syukri, M., Elisa & Evendi (2020). Development of student worksheets based on comics to improve students' motivation and learning outcomes on material vibration, waves, and sound. *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA(JPPIPA)*. 6(2), 143-151.

- Kızılcık, H. Ş., & Ünlü Yavaş, P. (2017). Pre-service physics teachers' opinions about the difficulties in understanding introductory quantum physics topics. *Journal of Education and Training Studies*, 5(1), 101-109.
- Kocakaya, S. (2011). An educational dilemma: Are educational experiments working? *Educational Research and Reviews*, 6(1), 110-123.
- Koçak, D., Çokluk, Ö., & Kayri, M. (2016). Faktör sayısının belirlenmesinde MAP testi, paralel analiz, K1 ve yamaç birikinti grafiği yöntemlerinin karşılaştırılması. *Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 13(1), 330-359.
- Kotluk, N., & Yayla, A. (2016). Yenilenmiş Bloom taksonomisine göre modern fizik başarı testinin geliştirilmesi: Geçerlik ve güvenirlik çalışması. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 13(1), 213-231.
- Köklü, N. (2015). *Genel fizik laboratuvarında başarı ve akılda kalıcılık etkilerinin artırılmasına yönelik animasyon, simülasyon ve analogik modellerin geliştirilmesi* (Yayınlanmamış doktora tezi). Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Krathwohl, D. R. (2002). A revision of Bloom's taxonomy: An overview. *Theory into practice*, 41(4), 212-218.
- Krijtenburg-Lewerissa, K., Pol, H. J., Brinkman, A., & Van Joolingen, W. R. (2017). Insights into teaching quantum mechanics in secondary and lower undergraduate education. *Physical review physics education research*, 13(1), 010109.
- Kural, M. (2015). *Sıcak kavramsal değişim için öğretim: 11. sınıf modern fizik örneği* (Yayınlanmamış doktora tezi). Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir.
- Kurt, H. S. (2010). *Kuantum fiziğinde kullanılan metaforların öğrencilerin fizik algısı üzerine etkisi* (Yayınlanmamış yüksek lisans tezi). Gazi Üniversitesi Eğitim Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

- Latifah, S., Irwandani, I., Saregar, A., Diani, R., Fiani, O., Widayanti, W., & Deta, U. A. (2019, February). How the Predict-Observe-Explain (POE) learning strategy remediates students' misconception on temperature and heat materials?. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1171, No. 1, p. 012051). IOP Publishing.
- Levrini, O. & Fantini, P. (2013). Encountering productive forms of complexity in learning modern physics. *Science & Education*, 22, 1895-1910.
- Lin, S., Lin, H., Lee, L., Yore, L. D., Lin, H., Lee, L., & Are, L. D. Y. (2015). Are science comics a good medium for science communication? The case for public learning of nanotechnology. *International Journal of Science Education Part B*, 5(3). 5, no. 3, pp. 1–19.
- Lorenzo-Seva, U., & Ferrando, P.J. (2022). *A simulation-based scaled test statistic for assessing model-data fit in least-squares unrestricted factor-analysis solutions*. Technical report, Universitat Rovira i Virgili.
- Ma, J., & Nickerson, J. V. (2006). Hands-on, simulated and remote laboratories: a comparative literature review. *ACM Computing Surveys* 38 (3): 1–24.
- Maghfiroh, A., & Kuswanto, H. (2022). Benthic android physics comic effectiveness for vector representation and critical thinking students' improvement. *International Journal of Instruction*, 15(2), 623-640.
- Maghfiroh, A., Kuswanto, H., & Susetyo, B. (2020). The development of android-based physics comic on optical devices for high school students. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1440, No. 1, p. 012023). IOP Publishing.
- Maulidah, S. S., & Prima, E. C. (2018). Using physics education technology as virtual laboratory in learning waves and sounds. *Journal of Science Learning*, 1(3), 116-121.
- McEvoy, J. P., & Zarate, O. (2019). *Kuantum teorisi* (Çeviren: Nedim Çatlı). Say Yayınları. İstanbul.

- McKagan, S. B., Handley, W., Perkins, K. K., & Wieman, C. E. (2009). A research-based curriculum for teaching the photoelectric effect. *American Journal of Physics*, 77(1), 87-94.
- MEB (Milli Eğitim Bakanlığı). (1992a). *Lise 1, 2, 3. sınıf Fizik dersi öğretim programı*. Ankara: MEB Talim ve Terbiye Kurulu Başkanlığı.
- MEB (Milli Eğitim Bakanlığı). (1992b). *İleri Fizik 1 – 2 öğretim programı*. Ankara: MEB Talim ve Terbiye Kurulu Başkanlığı.
- MEB (Milli Eğitim Bakanlığı). (2007). *Ortaöğretim 9. sınıf fizik dersi öğretim programı*. Ankara: MEB Talim ve Terbiye Kurulu Başkanlığı.
- MEB (Milli Eğitim Bakanlığı). (2008a). *Ortaöğretim 10. sınıf fizik dersi öğretim programı*. Ankara: MEB Talim ve Terbiye Kurulu Başkanlığı.
- MEB (Milli Eğitim Bakanlığı). (2008b). *Ortaöğretim 11. sınıf fizik dersi öğretim programı*. Ankara: MEB Talim ve Terbiye Kurulu Başkanlığı.
- MEB (Milli Eğitim Bakanlığı). (2009). *Ortaöğretim 12. sınıf fizik dersi öğretim programı*. Ankara: MEB Talim ve Terbiye Kurulu Başkanlığı.
- MEB (Milli Eğitim Bakanlığı). (2013). *Ortaöğretim 9, 10, 11 ve 12. sınıflar fizik dersi öğretim programı*. Ankara: MEB Talim ve Terbiye Kurulu Başkanlığı.
- MEB (Milli Eğitim Bakanlığı). (2018). *Ortaöğretim 9, 10, 11 ve 12. sınıflar fizik dersi öğretim programı*. Ankara: MEB Talim ve Terbiye Kurulu Başkanlığı.
- MEB (Milli Eğitim Bakanlığı). (2022). *Haberler*. <https://www.meb.gov.tr/lise-ogrencilerine-devamsizlik-ve-sorumluluk-sinavi-konusunda-yeni-imkn/haber/26550/tr>.
- Mısır, N. (2009). *Elektrostatik ve elektrik akımı ünitelerinde TGA yöntemine dayalı olarak geliştirilen etkinliklerin uygulanması ve etkililiğinin incelenmesi* (Yayınlanmamış yüksek lisans tezi). Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.

- Muthen, B., & Kaplan, D. (1992). A comparison of some methodologies for the factor analysis of non-normal Likert variables: A note on the size of the model. *British journal of mathematical and statistical psychology*, 45(1), 19-30.
- Ojo, O. M., & Owolabi, O. T. (2021). Effects of predict-observe-explain instructional strategy on students' learning outcomes in physics practical in secondary schools. *European Journal of Education Studies*, 8(2).
- Orçan, A., & Kandil İnceç, Ş. (2016). Fizik öğretiminde çizgi-roman tekniği ile geliştirilen bilim-kurgu hikâyelerinin yaratıcı düşünme becerilerine etkisi. *Hacettepe Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 31(4), 628-643.
- Ong, E., Govindasamy, D., Swaran Singh, C., Ibrahim, M., Abdul Wahab, N., Borhan, M., & Tho, S. (2021). The 5E inquiry learning model: Its effect on the learning of electricity among Malaysian students. *Cakrawala Pendidikan*, 40(1), 170-182.
- ÖSYM (2018). *AYT soru ve cevapları*.
https://dokuman.osym.gov.tr/pdfdokuman/2018/YKS/AYT_01072018.pdf
- ÖSYM (2019). *AYT soru ve cevapları*.
https://dokuman.osym.gov.tr/pdfdokuman/2019/YKS/TSK/ayt_yks_2019_web.pdf
- ÖSYM (2021). *AYT soru ve cevapları*.
https://dokuman.osym.gov.tr/pdfdokuman/2021/YKS/TSK/ayt_yks_2021.pdf
- ÖSYM (2022). *AYT soru ve cevapları*.
https://dokuman.osym.gov.tr/pdfdokuman/2022/YKS/TSK/yks_2022_ayt.pdf
- Özcan, Ö. (2009). *Kuantum mekaniği ve görelilik öğreniminde karşılaşılan kavramsal ve matematiksel zorlukların araştırılması* (Yayınlanmamış doktora tezi). Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Özcan, Ö. (2015). Investigating students' mental models about the nature of light in different contexts. *European Journal of Physics*, 36(6), 065042.

- Özcan, Ö., & Gerçek, C. (2015). Students' mental models of light to explain the Compton Effect. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 191, 2195-2197.
- Özdemir, E. (2017). Comics in modern physics: Learning blackbody radiation through quasi-history of physics. *Studies in Educational Research and Development*, 1(1), 41-59.
- Paliç Şadoğlu, G. (2014). *Lise modern fizik ünitesine yönelik 7e öğretim modeline uygun tasarlanan materyalin etkisinin incelenmesi* (Yayınlanmamış doktora tezi). Karadeniz Teknik Üniversitesi Eğitim Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Papadouris, N., & Constantinou, C. P. (2009). A methodology for integrating computer-based learning tools in science curricula. *Journal of Curriculum Studies*, 41(April 2015), 521–538.
- Park, M. (2019). Effects of simulation-based formative assessments on students' conceptions in physics. *EURASIA Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 15(7), em1722.
- Park, J. S., Kim, D. H., & Chung, M. S. (2011). Anatomy comic strips. *Anatomical Sciences Education*, 4(5), 275-279.
- Perkins, D. N. (1999). The many faces of constructivism. *Educational Leadership*, 57(3), 6-11.
- Perkins, K. (2020). Transforming STEM Learning at scale: PhET interactive simulations. *Childhood Education*, 96:4, 42-49.
- Perkins, K., Adam, W., Dubson, M., Finkeilstein, N., Reid, S., Wieman, C. & Lemaster, R. (2006). Phet: interactive simulations for teaching and learning physics. *The Physics Teacher*, 44, 18-23.
- Safitri, I. D., Setiawan, B., & Mahdiannur, M. A. (2022). Comics Problem-based Learning Model Implementation to Improve Students' Learning Outcomes on Heat and Its Transmission. *JPPS (Jurnal Penelitian Pendidikan Sains)*, 166-179.

- Sari, F. P., Ratnaningtyas, L., Wilujeng, I., & Kuswanto, H. (2019, Haziran). Development of android comics media on thermodynamic experiment to map the science process skill for senior high school. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1233, No. 1, p. 012052). IOP Publishing.
- Saudelli, M. G., Kleiv, R., Davies, J., Jungmark, M., & Mueller, R. (2021). PhET simulations in undergraduate physics: constructivist learning theory in practice. *Brock Education Journal*, 31(1).
- Serway, R.A., & Jewett, J.W. (2018). *Physics for scientists and engineers*. Cengage Learning: Boston, MA, USA.
- Stadermann, H. K. E., van den Berg, E., & Goedhart, M. J. (2019). Analysis of secondary school quantum physics curricula of 15 different countries: Different perspectives on a challenging topic. *Physical Review Physics Education Research*, 15(1), 010130.
- Steinberg, R. N., & G. E. Oberem. 2000. Research-based instructional software in modern physics. *Journal of Computers in Mathematics and Science Teaching* 19: 115–136.
- Steinberg, R. N., G. E. Oberem, & L. C. McDermott. 1996. Development of a computer-based tutorial on the photo-electric effect. *American Journal of Physics* 64: 1370–1379.
- Şanlı, Ö., Altun, M. & Tan, Ç. (2015). Okula devamsızlık yapan öğrencilerin devamsızlık sebeplerinin öğrenci görüşlerine göre değerlendirilmesi. *Elektronik Sosyal Bilimler Dergisi*, 14(55), 161-177.
- Şenyigit, Ç., Önder, F., & Sılay, I. (2021). An inquiry-based learning approach for effective concept teaching. *ie: inquiry in education*, 13(1), 10.
- Tabachnick, B.G. & Fidell, L.S. (2013). *Çok değişkenli istatistiklerin kullanımı*. 6. Baskıdan Çeviri Editörü: Mustafa Baloğlu. Ankara: Nobel Akademik Yayıncılık.
- Taber, K. S. (2018). The use of Cronbach's alpha when developing and reporting research instruments in science education. *Research in science education*, 48(6), 1273-1296.

- Taibu, R., Mataka, L., & Shekoyan, V. (2021). Using PhET simulations to improve scientific skills and attitudes of community college students. *International Journal of Education in Mathematics, Science, and Technology (IJEMST)*, 9(3), 353-370.
- Tan, Ş. (2004). *Öğretimi planlama ve değerlendirme*. Ankara: Pegem Akademi Yayınları.
- Taşlıdere, E. (2015). A study investigating the effect of treatment developed by integrating the 5E and simulation on pre-service science teachers' achievement in photoelectric effect. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 11(4), 777-792.
- Taşlıdere, E. (2016). Development and use of a three-tier diagnostic test to assess high school students' misconceptions about the photoelectric effect. *Research in Science & Technological Education*, 34(2), 164-186.
- Tereci, H., Karamustafaoğlu, O., & Sontay, G. (2018). Manyetizma konusunda tahmin-gözlem-açıklama stratejisine dayalı alternatif bir deney etkinliği ve fizik öğretmenlerinin görüşleri. *Gazi Eğitim Bilimleri Dergisi*, 4(1), 1-20.
- Tiftikçi, H. İ., Yüksel, İ., Koç, A., & ÇIBIK, A. S. (2017). Tahmin gözlem açıklama yöntemine dayalı laboratuvar uygulamalarının elektrik akımı konusundaki kavram yanlışlarının giderilmesine ve başarıya etkisi. *Ahi Evran Üniversitesi Kırşehir Eğitim Fakültesi Dergisi*, 18, 19-29.
- Timmerman, M. E., & Lorenzo-Seva, U. (2011). Dimensionality assessment of ordered polytomous items with parallel analysis. *Psychological methods*, 16(2), 209.
- Tunç, T., & Bağcı, N. (2021). *Ortaöğretim fizik 10. sınıf ders kitabı*. Ada Matbaacılık, Ankara.
- Turgut, M.F., & Baykul, Y. (2012). *Eğitimde ölçme ve değerlendirme*. Ankara: Pegem Akademi Yayınları.
- Uwamahoro, J., Ndiokubwayo, K., Ralph, M., & Ndayambaje, I. (2021). Physics students' conceptual understanding of geometric optics: Revisited analysis. *Journal of Science Education and Technology*, 30(5), 706-718.

- Ünlü Yavaş, P., & Kızılcık, H. Ş. (2018). Öğrencilerin kuantum fiziğine giriş konularında zorlanma nedenlerinin araştırılması. *Gazi Üniversitesi Gazi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 38(1), 35-73.
- Vaara, R. L., & Sasaki, D. G. G. (2019). Teaching kinematic graphs in an undergraduate course using an active methodology mediated by video analysis. *LUMAT: International Journal on Math, Science and Technology Education*, 7(1), 1-26.
- White, R., & Gunstone, R. (1992). *Probing understanding*. London: The Falmer Press.
- Wilder, M., & Shuttleworth, P. (2005). Cell inquiry: A 5E learning cycle lesson. *Science Activities*, 41(4), 37-43.
- Wuttiptom, S., Sharma, M. D., Johnston, I. D., Chitaree, R., & Soankwan, C. (2009). Development and use of a conceptual survey in introductory quantum physics. *International Journal of Science Education*, 31(5), 631-654.
- Yalçın, O. (2014). *Ortaöğretim öğrencilerinin modern fizik konularını günlük hayata transfer düzeylerinin incelenmesi* (Yayınlanmamış yüksek lisans tezi). Çukurova Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Adana.
- Yaşar, Ş. (2019). *Oyunlarla desteklenmiş TGA (tahmin et-gözle -açıkla) yöntemine dayalı etkinliklerin 10.sınıf öğrencilerinin fizik (basınç ve kaldırma kuvveti ünitesi) başarısına ve fiziğe yönelik metaforik algılarına etkisi* (Yayınlanmamış yüksek lisans tezi). Dicle Üniversitesi Eğitim Bilimleri Enstitüsü, Diyarbakır.
- Yeltekin, B. Ş. (2020). *Ortaöğretim öğrencilerinin kuvvet ve hareket konusuna yönelik grafik kullanma becerilerinin incelenmesi* (Yayınlanmamış yüksek lisans tezi). Hacettepe Üniversitesi Eğitim Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Yeltekin Atar, B. Ş., Aykutlu, I., & Bayrak, C. (2021). Türkiye'de son 10 yılda fizik eğitiminde kavram yanılgılarıyla ilgili yapılan çalışmaların değerlendirilmesi. *Atatürk Üniversitesi Kazım Karabekir Eğitim Fakültesi Dergisi*, (42), 304-323.

- Yıldız, A. (2009). *Üniversite öğrencilerinin kuantum fiziği konularını anlama düzeyleri ve öğrenme amaçlı yazma aktivitelerinin akademik başarıya etkisi* (Yayınlanmamış doktora tezi). Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- Yıldız, T. (2021). *Türkiye’de fen bilimleri eğitiminde TGA yöntemi kullanılarak yapılan lisansüstü tezlerin içerik analizi* (Yayınlanmamış yüksek lisans tezi). Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Rize.
- Yılmaz, Z. A. (2019). 2000-2017 yılları arasında Türkiye’de fizik eğitimi ile ilgili yapılan tezlerin içerik analizi. *Journal of Social Sciences/Sosyal Bilimler Dergisi* (2146-4561), 9(17).
- Yiğit, N. (2008). Test geliştirme. G.Başol (Ed.) *Eğitimde ölçme değerlendirme içinde* (153-171). İstanbul: Lisans Yayıncılık.
- YÖK (2022). *YÖK Atlas*. <https://yokatlas.yok.gov.tr/netler.php>
- Yuliana, I., Kusairi, S., Taufiq, A., Priyadi, R., & Rosyidah, N. D. (2020, April). The analysis of students' problem-solving ability in the 5E learning cycle with formative e-assessment. *AIP Conference Proceedings* (Vol. 2215, No. 1, p. 050015). AIP Publishing LLC.

EK-A: Çocuk/Ergen Bilgilendirme Formu

“Ortaöğretim Öğrencilerinin Kuantum Fiziği Konularında Kavramsal Anlama Güçlüklerinin Belirlenmesi ve Giderilmesi” isimli araştırmada, 12. Sınıf öğrencilerine kuantum fiziği giriş konuları ile ilgili öğrencilerin kavramsal anlama düzeylerini ve karşılaştıkları güçlükleri belirlemek amaçlanmaktadır. Bu kapsamda Kuantum Fiziği Kavramsal Anlama Testi ve yarı yapılandırılmış soruları cevaplamanız sizden istenecektir. Araştırmada, siz soruları cevaplandırırken ses kayıt cihazı ile (verilerin çözümlenmesi esnasında yardımcı olması amacıyla) kayıt altına alınacaktır.

Bu çalışmada sizin katılımınız tamamen gönüllülük ilkesine dayanmaktadır. İstedığınız takdirde katılımınızı herhangi bir neden olmaksızın reddedebilir veya çalışmanın herhangi bir aşamasında çalışmayı yarıda bırakabilirsiniz. Eğer çalışma veri toplama işlemi bitiminden önce bırakılırsa istenildiği takdirde ses kayıtları size teslim edilir veya imha edilir. Sorulara vereceğiniz cevaplar tamamen gizli kalacak ve cevaplardan elde edilen sonuçlar kesinlikle sizi işaret etmeyecektir.

Bu çalışma sizin için maddi-manevi herhangi bir risk unsuru oluşturmayacaktır. Çalışmanın bilgileri kesinlikle gizli tutulacaktır. Elde edilen bilgiler sadece araştırmacılar tarafından görülecek ve değerlendirilecektir. Yazılı metinde kesinlikle isminiz geçmeyecektir. Çalışma için Hacettepe Üniversitesi Etik Komisyonundan gerekli izinler alınmıştır.

Çalışma ile ilgili bir sorunuz olduğu takdirde araştırmacılar ile istediğiniz zaman iletişime geçebilirsiniz.

Prof. Dr. Celal BAYRAK

Hacettepe Üniversitesi Eğitim Fakültesi Matematik ve Fen Bilimleri Eğitimi Bölümü
Beytepe/Çankaya ANKARA

Tel: , e-posta:

Ömer ENSARİ

Tel: , e-posta:

ONAY:

Bu belgeyi okudum ve kopyasını aldım. Gerekli gördüğüm bütün cevapları almış durumdayım ve bu çalışmaya katılmayı kabul ediyorum.

Katılımcı

Ad-Soyad:

Adres:

Tel:

Tarih:

İmza:

EK-B: Veli İzin Formu

“Ortaöğretim Öğrencilerinin Kuantum Fiziği Konularında Kavramsal Anlama Güçlüklerinin Belirlenmesi ve Giderilmesi” isimli araştırmada, 12. Sınıf öğrencilerine kuantum fiziği giriş konuları ile ilgili öğrencilerin kavramsal anlama düzeylerini ve karşılaştıkları güçlükleri belirlemek amaçlanmaktadır. Bu kapsamda Kuantum Fiziği Kavramsal Anlama Testi ve yarı yapılandırılmış soruların çocuğunuza cevaplama için yönlendirilmesi planlanmaktadır. Araştırmada çocuğunuz soruları cevaplandırırken ses kayıt cihazı ile görüşmeler (verilerin çözümlenmesi esnasında yardımcı olması amacıyla) kayıt altına alınacaktır.

Bu çalışmada çocuğunuzun katılımı sizin izninizle tamamen gönüllülük ilkesine dayanmaktadır. İstenildiği takdirde herhangi bir neden olmaksızın çalışmadan ayrılabilirler. Eğer çalışma veri toplama işlemi bitiminden önce bırakılırsa istenildiği takdirde ses kayıtları teslim edilir veya imha edilir. Sorulara verilecek cevaplar tamamen gizli kalacak ve cevaplardan elde edilen sonuçlar kesinlikle çocuğunuzun işaret etmeyecektir.

Bu çalışma çocuğunuz için maddi-manevi herhangi bir risk unsuru oluşturmayacaktır. Çalışmanın bilgileri kesinlikle gizli tutulacaktır. Elde edilen bilgiler sadece araştırmacılar tarafından görülecek ve değerlendirilecektir. Yazılı metinde kesinlikle çocuğunuzun ismi geçmeyecektir. Çalışma için Hacettepe Üniversitesi Etik Komisyonundan gerekli izinler alınmıştır.

Çalışma ile ilgili bir sorunuz olduğu takdirde araştırmacılar ile istediğiniz zaman iletişime geçebilirsiniz.

Prof. Dr. Celal BAYRAK

Hacettepe Üniversitesi Eğitim Fakültesi Matematik ve Fen Bilimleri Eğitimi Bölümü
Beytepe/Çankaya ANKARA

Tel: , e-posta:

Ömer ENSARİ

Tel: , e-posta:

ONAY:

..... okulunda okumakta olan numaralı ve isimli öğrencinin “Ortaöğretim Öğrencilerinin Kuantum Fiziği Konularında Kavramsal Anlama Güçlüklerinin Belirlenmesi ve Giderilmesi” adlı araştırma kapsamında yapılacak olan uygulamalara katılmasına izin veriyorum. Bilgilerinize arz ederim.

Tarih:

Velinin Adı-Soyadı:

Adres:

Tel:

İmza:

EK-C: Uygulama Öncesi Mülakat Soruları

1. Fizik dersinde genel olarak hangi öğretim yöntem ve tekniklerini kullanıyorsunuz? (Düz anlatım, deney, simülasyon, tartışma, soru çözümü vb.)
2. Fizik dersinde hangi yöntemler kullanılırsa daha iyi öğreneceğinizi düşünüyorsunuz?
3. Fizik dersine gelmeden önce, işlenecek konu için ne gibi hazırlıklar yapıyorsunuz?
4. Fizik konularını anlamakta zorlanıyor musunuz? Konulardan örnek vererek açıklayınız.
5. Kuantum fiziği nedir? Açıklayınız.
6. Hangi konular kuantum fiziği konuları olabilir?
7. Kuantum fiziğini öğrenirken konuları anlamakta zorlanacağınızı düşünüyor musunuz? Açıklayınız.

EK-D: Uygulama Sonrası Mülakat Soruları

1. Siyah cisim ışıması konusunu anlamakta zorlandınız mı? Zorlandığınız noktalar nelerdi? Açıklayınız.
2. Siyah cisim ışımasında, Planck'ın çözümünün en önemli sonucu nedir? (Siyah cisim ışımasının önemi ne olabilir?) Kuantum fiziğine katkısı nedir? Açıklayınız.
3. Fotoelektrik olayı konusunu anlamakta zorlandınız mı? Zorlandığınız noktalar nelerdi? Açıklayınız.
4. Fotoelektrik olayının en önemli sonucu nedir? Kuantum fiziğine katkısı nedir? Açıklayınız.
5. Compton olayı konusunu anlamakta zorlandınız mı? Zorlandığınız noktalar nelerdi? Açıklayınız.
6. Compton olayının en önemli sonucu nedir? Kuantum fiziğine katkısı nedir? Açıklayınız.
7. Madde dalgaları (de Broglie) konusunu anlamakta zorlandınız mı? Zorlandığınız noktalar nelerdi? Açıklayınız.
8. De Broglie dalgalarının en önemli sonucu nedir? Kuantum fiziğine katkısı nedir? Açıklayınız.
9. Kuantum fiziği konuları yaptığımız deney etkinliği anlamanıza yardımcı oldu mu? Deneyi değerlendirip hangi noktalarda nasıl bir etkisi olduğundan kısaca bahsedebilir misiniz?
10. Kuantum fiziği konuları için yaptığımız simülasyon etkinlikleri anlamanıza yardımcı oldu mu? Etkinliği değerlendirip hangi noktalarda nasıl bir etkisi olduğundan kısaca bahsedebilir misiniz?
11. Deney ve simülasyon etkinliklerinde uygulama öncesinde tahminlerde bulunmanız ve uygulama sonunda tahminleriniz ile ulaştığınız sonuçları karşılaştırmanız konuyu öğrenmenizde nasıl bir etkisi oldu? Açıklayınız.
12. Kuantum fiziği konuları için yaptığımız çizgi roman etkinliği anlamanıza yardımcı oldu mu? Çizgi romanı değerlendirip hangi noktalarda nasıl bir etkisi olduğundan kısaca bahsedebilir misiniz?

EK-E: Siyah Cisim Işıması TGA Destekli Simülasyon Etkinliği

Ders: Fizik – 12. Sınıf - 5. Ünite: Modern Fizik

Kazanım: 12.5.2.1. Siyah cisim ışımasını açıklar.

a) Planck hipotezi açıklanır.

b) Dalga boyu-ışın şiddeti grafiğinden hareketle klasik yaklaşımla modern yaklaşımın çelişkisi ve bu çelişkinin kuantum fiziğinin doğuşuna etkisi vurgulanır.

c) Siyah cisim ışıması ile ilgili matematiksel hesaplamalara girilmez

Etkinlik: Siyah cisim ışıması simülasyonu **(15 dakika)**

Amaç: Simülasyon kullanarak cismin sıcaklığı ile ışığın dalga boyu ve ışıma şiddeti arasındaki ilişkiyi belirleme

Araç-gereçler:

https://phet.colorado.edu/sims/html/blackbody-spectrum/latest/blackbody-spectrum_tr.html adresindeki simülasyon

Tahmin: Cismin sıcaklığı ile ışığın rengi (dalga boyu) arasında bir ilişki olduğunu önceki deneyde gözlemledik. Yıldızların rengine bakılarak yüzey sıcaklıkları hakkında bilgi sahibi olabiliyoruz. Buna göre,

1- Kızılötesi ile kırmızı renk arasında bir ışık yayan bir yıldızın yüzey sıcaklığı kaç Kelvin olabilir?

2- Morötesi ile mor renk arasında bir ışık yayan bir yıldızın yüzey sıcaklığı kaç Kelvin olabilir?

3- Güneş'in yüzey sıcaklığının yaklaşık 5800 Kelvin olduğu bilindiğine göre Güneş hangi renktedir?

Uygulama:

-https://phet.colorado.edu/sims/html/blackbody-spectrum/latest/blackbody-spectrum_tr.html adresindeki simülasyonu akıllı telefon ya da tabletten çalıştırınız.



- Grafik değerleri ve yoğunluğu seçili hale getiriniz.
- Sağ tarafta yer alan sıcaklık değerlerini tabloda verilen değerlere ayarlayarak tabloyu doldurunuz.

Sıcaklık (K)	2000	4000	6000	8000	10000
Dalga Boyu (μm)					
Yoğunluk W/m^2					
Işığın Rengi					

Sonuç:

1- Tablolara kaydettiğiniz değerleri inceleyerek cismin sıcaklığı ile ışığın şiddeti ve rengi arasında nasıl bir ilişki olduğunu kısaca açıklayınız.

Cismin sıcaklığı ve ışığın şiddeti:

Cismin sıcaklığı ve ışığın rengi:

2- Kızılötesi ile kırmızı renk arasında bir ışık yayan bir yıldızın yüzey sıcaklığının kaç Kelvin olduğunu belirleyiniz ve tahmininiz ile karşılaştırınız.

3- Morötesi ile mor renk arasında bir ışık yayan bir yıldızın yüzey sıcaklığının kaç Kelvin olduğunu belirleyiniz ve tahmininiz ile karşılaştırınız.

4- Simülasyondan Güneş'in sıcaklığını seçerek Güneş'in rengini belirleyiniz ve tahmininiz ile karşılaştırınız.

EK-F: Fotoelektrik Olayı TGA Destekli Simülasyon Etkinliği

Ders: Fizik – 12. Sınıf - 5. Ünite: Modern Fizik

Kazanım: 12.5.3.2. Fotoelektrik olayını açıklar.

a) Hertz'in çalışmaları üzerinde durulur.

b) Einstein'ın fotoelektrik denklemi üzerinde durulur.

c) Öğrencilerin simülasyonlar yardımıyla fotoelektrik olaya etki eden değişkenleri gözlemlenmeleri ve yorumlamaları sağlanır.

Etkinlik: Fotoelektrik olayı simülasyonu **(40 dakika)**

Amaç: Simülasyon kullanarak fotoelektrik olaya etki eden değişkenleri gözleme

Araç-gereçler:

<https://phet.colorado.edu/sims/cheerpj/photoelectric/latest/photoelectric.html?simulation=photoelectric&locale=tr> adresindeki simülasyon

Tahmin: Önceki deneyden gözlemediğimiz üzere, bir metale ışık düşürüldüğünde metalin yüzeyinden elektron kopabilmektedir. Kopan elektronlar, metalin bağlı olduğu devrede akım oluşturabilmektedir. Bu bilgiyi göz önünde bulundurarak aşağıdaki sorular için tahminlerinizi yazınız.

1- Bir metale düşürülen ışığın rengi, kıvılcıktan morötesine doğru değiştiğinde simülasyonda ne gibi değişiklikler gözlemleyebiliriz? (Hangi durumlarda akım oluşur.)

2- Metale tutulan bir ışık renginin (örneğin sarı olsun) elektron koparmadığını düşünün, eğer ışığın şiddetini arttırsak metalden elektron kopabilir mi (akım oluşur mu)?

3- Metale tutulan bir ışık renginin (örneğin sarı olsun) elektron kopardığını düşünün, eğer ışığın şiddetini arttırsak akım nasıl değişir?

4- Metalin cinsinin akım oluşmada bir etkisi var mıdır? (Bir metalden elektron koparan ışık, aynı renk ve şiddette başka bir metalden elektron koparabilir mi?)

Uygulama:

1. <https://phet.colorado.edu/sims/cheerpi/photoelectric/latest/photoelectric.html?simulation=photoelectric&locale=tr> adresindeki simülasyonu akıllı telefon ya da tableten çalıştırınız.



- Hedefi Sodyum, ışık şiddeti %20 ve ışık rengini kırmızı seçiniz.
- Işık şiddetini %100 olana kadar yavaşça arttırın ve elektron kopup kopmadığını gözlemleyiniz.
- Farklı metaller seçerek bu uygulamayı tekrarlayınız.

Hangi metallerde ışık şiddetinin artması akım oluşmasını sağladı?

2. Hedef metali aşağıdaki tabloda yer alan sıra ile seçiniz ve her biri için ışığın rengini kırmızısından morötesine doğru değiştiriniz.

- Her metal için elektron koptuğunda okuduğunuz dalga boyunu ve frekans ile enerji değerlerini hesaplayarak Tablo 1'e yazınız. ($f=c/\lambda$; $E=hf$; $c=3.10^8$; $h=6,63.10^{-34}$ Js)

Tablo 1.			
Metal	Dalga boyu (nm)	Frekansı ($\times 10^{15}$ Hz)	Enerjisi ($\times 10^{-19}$ J)
Sodyum			
Çinko			
Bakır			
Platin			
Kalsiyum			
Magnezyum			

3- Hedef metali Sodyum, dalga boyunu 250 nm ve ışık şiddetini %10 olarak ayarlayınız. Işık şiddetini tablodaki değerlere göre yükseltip ampermetrenin gösterdiği değerleri Tablo 2'ye yazınız. Tablodaki verileri kullanarak Işık şiddeti-Akım grafiğini çiziniz.

Tablo 2.			
Işık şiddeti (%)	Akım	Işık şiddeti (%)	Akım
10		60	
20		70	
30		80	
40		90	
50		100	

4- Hedef metali Sodyum, dalga boyunu 450 nm ve ışık şiddetini %100 olarak ayarlayınız. Dalga boyunu tablodaki değerlere göre değiştirip ampermetrenin gösterdiği değerleri Tablo 3'e yazınız.

Tablo 3.			
Dalga boyu (nm)	Akım	Dalga boyu (nm)	Akım
450		300	
400		250	
350		200	

5- Dalga boyunu 150 nm ve ışık şiddetini %100 olarak ayarlayınız. Hedef metali değiştirerek ampermetrenin gösterdiği değerleri Tablo 4'e kaydediniz.

Tablo 4.			
Metal	Akım	Metal	Akım
Sodyum		Platin	
Çinko		Kalsiyum	
Bakır		Magnezyum	

6- Hedef metali Sodyum ve ışık şiddetini %100 olarak ayarlayınız. Dalga boyunu tablodaki değerlere ayarlayarak gerilimi ters uygulayın ve elektronların durduğu (anota ulaşamadığı) değerleri Tablo 5'e yazınız.

Tablo 5.			
Dalga boyu (nm)	Durdurma Gerilimi (V)	Dalga boyu (nm)	Durdurma Gerilimi (V)
450		300	
400		250	
350		200	

Sonuç:

1- İlk yaptığınız uygulamayı göz önünde bulundurarak ışık şiddeti ile elektron koparma arasında nasıl bir ilişki olduğunu kısaca açıklayınız. Ulaştığınız sonucu tahminlerinizle karşılaştırınız.

2- Tablo 1'e kaydettiğiniz verileri inceleyiniz ve elektron koparmak için gerekli enerjiyi karşılaştırınız. Farklılığın sebebini açıklayınız ve ulaştığınız sonucu tahmininiz ile karşılaştırınız.

3- Tablo 2'ye kaydettiğiniz verileri inceleyerek ışık şiddeti ile akım şiddeti arasındaki ilişkiyi açıklayınız ve ulaştığınız sonucu tahmininiz ile karşılaştırınız.

4- Tablo 3'e kaydettiğiniz verileri inceleyerek dalga boyu ile akım şiddeti arasındaki ilişkiyi açıklayınız ve ulaştığınız sonucu tahmininiz ile karşılaştırınız.

5- Tablo 4'e kaydettiğiniz verileri inceleyerek metalin cinsi ile akım şiddeti arasındaki ilişkiyi açıklayınız. (Açıklamayı yaparken Tablo 1'deki verilerden de yararlanabilirsiniz.)

6- Tablo 5'e kaydettiğiniz verileri inceleyerek dalga boyu ile durdurma gerilimi arasındaki ilişkiyi açıklayınız.

EK-G: Compton Saçılması TGA Destekli Simülasyon Etkinliği

Ders: Fizik – 12. Sınıf - 5. Ünite: Modern Fizik

Kazanım: 12.5.4.1. Compton olayında foton ve elektron etkileşimini açıklar.

Öğrencilerin model veya simülasyonlar kullanarak Compton saçılmasını açıklamaları sağlanır. Matematiksel hesaplamalara girilmez.

Etkinlik: Compton olayı simülasyonu **(30 dakika)**

Amaç: Simülasyon kullanarak Compton saçılmasını açıklama

Araç-gereçler: <https://applets.kcvs.ca/comptonScattering/compton-scattering.swf> adresindeki simülasyon

Tahmin:

1- Bir foton, durgun haldeki bir elektrona çarpıp saçıldıktan sonra hızında değişim olur mu? Olursa ne gibi bir değişim olacağını açıklayınız.

2- Bir foton, durgun haldeki bir elektrona çarpıp saçıldıktan sonra enerjisinde değişim olur mu? Olursa ne gibi bir değişim olacağını açıklayınız.

3- Bir foton, durgun haldeki bir elektrona çarpıp saçıldıktan sonra dalga boyunda değişim olur mu? Olursa ne gibi bir değişim olacağını açıklayınız.

4- Bir foton, durgun haldeki bir elektrona çarpıp saçıldıktan sonra meydana gelecek değişiklikler ile fotonun saçılma açısı arasında bir ilişki var mıdır? Varsa açıklayınız.

Uygulama:

1. <https://applets.kcvs.ca/comptonScattering/compton-scattering.swf> adresindeki simülasyonu akıllı telefon ya da tablettten çalıştırınız.

- Seçenekler menüsünden “İzleri göster” ve “Veri” seçeneklerini seçip aktif hale getiriniz.

- Fotonun saçılma açısını ve Dalga boyunu değiştirerek çarpışma öncesi ve sonrasında fotonun hızını gözlemleyiniz.

2. Dalga boyunu 3.00 pm seçiniz ve fotonun saçılma açısını Tablo 1'deki değerlere ayarlayarak Veri kısmında okunan son dalga boyunu tabloya kaydediniz. Son dalga boyundan ilk dalga boyundan çıkararak dalga boyundaki değişim miktarını tabloya kaydediniz.

Tablo 1.		
Saçılma Açısı	Son Dalga Boyu (pm)	Değişim Miktarı (pm)
30		
60		
90		
120		
150		
180		

3- Fotonun saçılma açısını 60° seçiniz ve dalga boyunu Tablo 2'deki değerlere göre ayarlayarak Veri kısmında okunan son dalga boyu değerini tabloya kaydediniz. Son dalga boyundan ilk dalga boyundan çıkararak dalga boyundaki miktarını tabloya kaydediniz.

Tablo 2.		
Dalga boyu (pm)	Son Dalga Boyu (pm)	Değişim Miktarı (pm)
1.00		
2.00		
3.00		
4.00		
5.00		

Sonuç:

1- İlk yaptığınız uygulamayı göz önünde bulundurarak fotonun saçılma sonrasında hızında nasıl bir değişim meydana geldi? Ulaştığınız sonucu tahminlerinizle karşılaştırınız.

2- Tablo 1'e kaydettiğiniz verileri inceleyiniz. Fotonun saçılma açısı ile dalga boyundaki değişim arasında nasıl bir ilişki olduğunu açıklayınız ve ulaştığınız sonucu tahmininiz ile karşılaştırınız.

3- Tablo 2'ye kaydettiğiniz verileri inceleyerek gelen fotonun dalga boyu ile dalga boyundaki değişim miktarı arasındaki ilişkiyi açıklayınız.

EK-H: Madde Dalgaları TGA Destekli Simülasyon Etkinliği

Ders: Fizik – 12. Sınıf - 5. Ünite: Modern Fizik

Kazanım: 12.5.4.4. Madde ve dalga arasındaki ilişkiyi açıklar.

a) De Broglie bağıntısı verilir.

b) Matematiksel hesaplamalara girilmez.

Etkinlik: Elektronların girişimi (15 dakika)

Amaç: Simülasyon kullanarak elektronların dalga özelliğinden dolayı girişim yaptığını gözlemlene ve elektron hızı ile saçak genişliği arasındaki ilişkiyi belirleme

Araç-gereçler: <https://phet.colorado.edu/sims/cheerpi/quantum-wave-interference/latest/quantum-wave-interference.html?simulation=quantum-wave-interference&locale=tr> adresindeki simülasyon

Tahmin: Daha önce 3. Ünite de su dalgalarında ve ışıkta girişimi öğrenmiştik. Dalga tepelerinin veya çukurlarının üst üste gelmesi ile maksimum genlikteki noktaların oluşmasına yapıcı girişim; tepe ve çukurların üst üste gelmesi ile oluşan minimum genlikteki noktaların oluşmasına yıkıcı girişim denir. Yapıcı girişimin olduğu bölgelerde aydınlık, yıkıcı girişimin olduğu bölgelerde karanlık saçaklar oluşur. İki aydınlık ya da karanlık saçak arasındaki uzaklığa saçak genişliği denir. Çift yarıktaki girişim yapan ışıkta saçak genişliği dalga boyu ile doğru orantılı, yarıklar arası mesafe ile ters orantılıdır. Çift yarıklar deneyinde ışık yerine elektron demeti kullandığımızı düşünerek aşağıdaki sorulara tahmininizi yazınız.

1- Elektronlar, yarıklar düzleminden geçtikten sonra ışıkta olduğu gibi saçaklar gözlemlenebilir mi? Açıklayınız.

2- Saçakların gözlemlendiğini varsayarsak saçak genişliği nelere bağlı olabilir?

Uygulama:

- <https://phet.colorado.edu/sims/cheerpi/quantum-wave-interference/latest/quantum-wave-interference.html?simulation=quantum-wave-interference&locale=tr> adresindeki



simülasyonu akıllı telefon ya da tableten çalıştırınız.

- Sağ taraftan çift yarık deneyini seçiniz. Fotonları seçerek ışığın rengini kırmızı seçip ışık tabancasını ateşleyiniz. Ekran kopyasına tıklayarak saçak genişliğini gösteren ekran görüntüsünü oluşturup boş bir alana yerleştiriniz. Ardından ışığın rengini sırasıyla yeşil ve mor yaparak ekran görüntüleri oluşturunuz. Oluşturduğunuz ekran görüntülerini inceleyerek saçak genişliğindeki değişimi gözlemleyiniz.

- Foton yerine elektron seçiniz. Hızı en düşük değere ayarlayarak saçakların oluşup oluşmayacağını gözlemleyiniz. Saçaklar oluşuktan sonra ekran kopyasına basarak saçak genişliğini gösteren ekran görüntüsünü oluşturup boş bir alana yerleştiriniz. Daha sonra hızı en yüksek değere ulaşıncaya kadar aynı işlemi tekrarlayınız. Ekran görüntülerini alt alta dizerek aralarındaki farkı inceleyiniz.

- Hızı en düşük değere getiriniz. Sağ taraftaki menüden yarık ayrıklığı değerini en aza ayarlayınız ve saçakların oluşmasını bekleyiniz. Saçaklar oluşuktan sonra kopyasına basarak saçak genişliğini gösteren ekran görüntüsünü oluşturup boş bir alana yerleştiriniz. Daha sonra yarık ayrıklığı değerini arttırarak aynı işlemi birkaç defa tekrarlayınız. Ekran görüntülerini alt alta dizerek aralarındaki farkı inceleyiniz.

Sonuç:

1- Elektronlarla yapılan deney ile fotonlarla yapılan deneyi karşılaştırınız. Elektronlarla yapılan deneyde neden saçaklar oluşmuş olabilir? Saçak oluşmasını tahmin etmiş miydiniz?

2- Elektronların hızı arttıkça saçak genişliği nasıl değişti? Işıқта girişim olayı ile arasında nasıl bir benzerlik gözlemlediniz? Saçak genişliğinin hıza bağlı olabileceğini tahmin etmiş miydiniz?

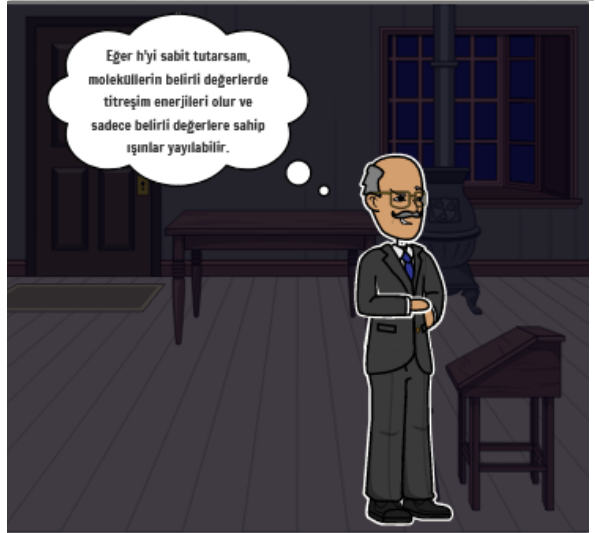
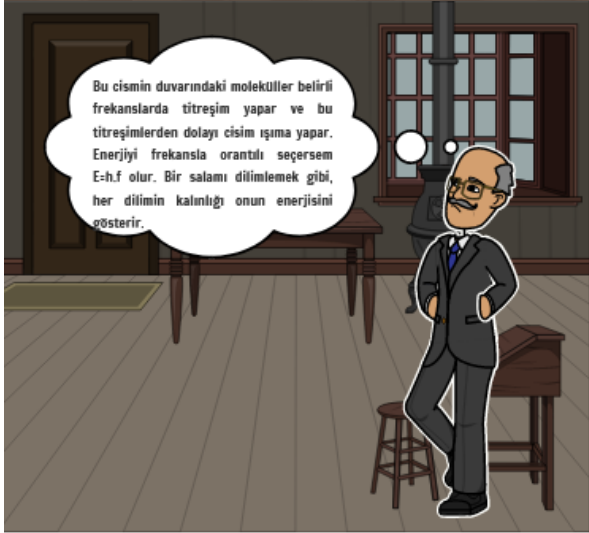
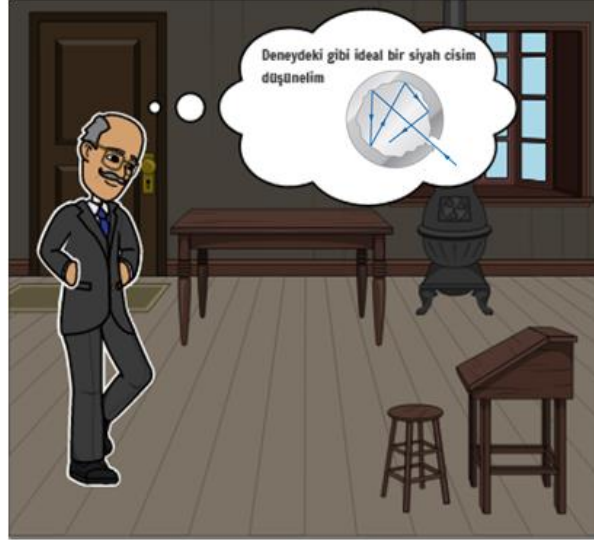
3- Yarıklar arası mesafe değiştikçe saçak genişliği nasıl değişti? Işıқта girişim olayı ile arasında nasıl bir benzerlik gözlemlediniz? Saçak genişliğinin yarıklar arası mesafeye bağlı olabileceğini tahmin etmiş miydiniz?

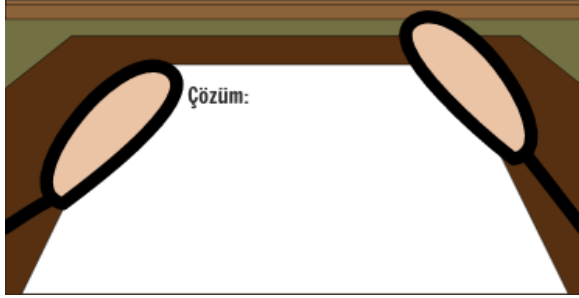
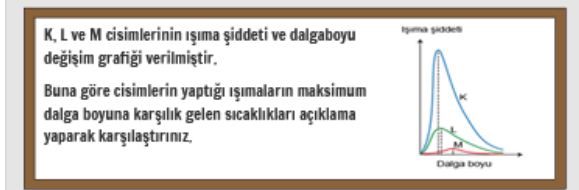
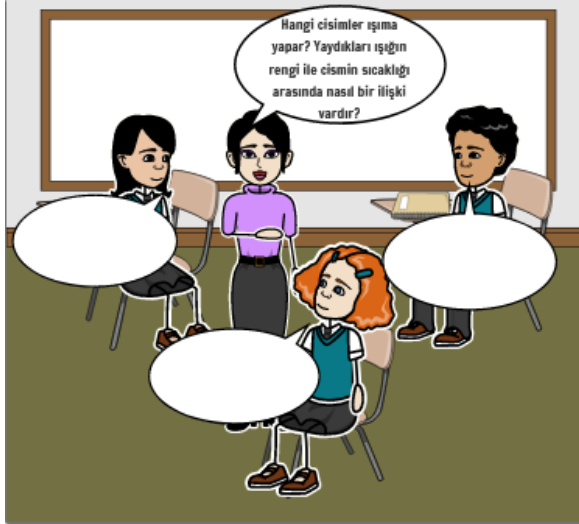
4- Işıқта girişimin nedeninin ışığın dalga yapısından kaynaklı olduğunu öğrenmişsiniz. Bu simülasyonda ulaştığınız sonuçları göz önünde bulduğunuzda elektronların dalga davranışı gösterdiğini söyleyebilir misiniz? Dalga özelliği gösteriyorsa dalga boyunu elektronların hızı ile nasıl ilişkilendirirsiniz?

EK-I: Siyah Cisim Işıması Çizgi Roman Etkinliği

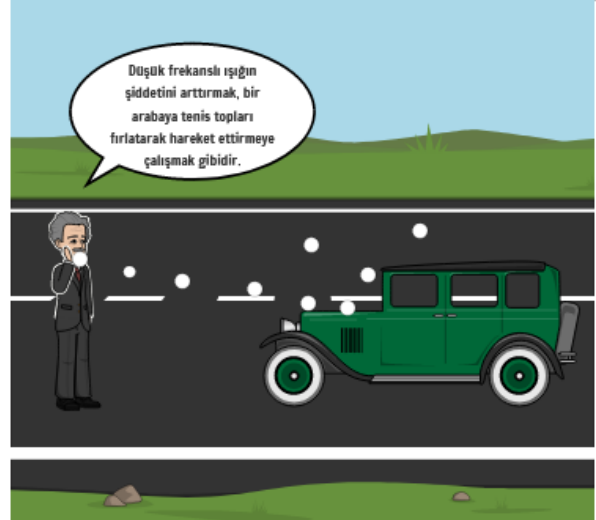
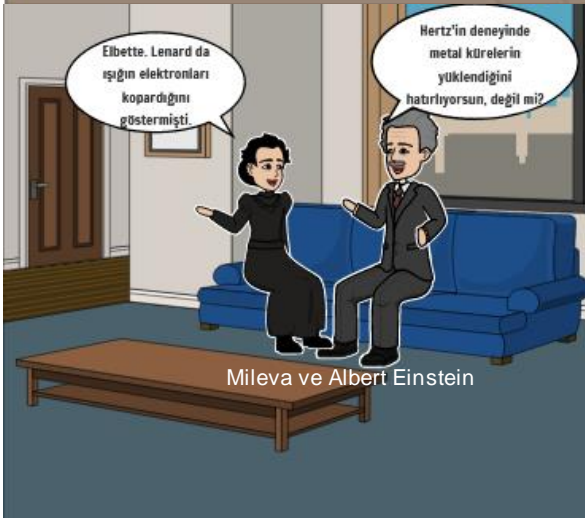
Kompozisyonları soldan sağa doğru okuyunuz ve ilk önce en üstteki konuşma balonunu okuyunuz.

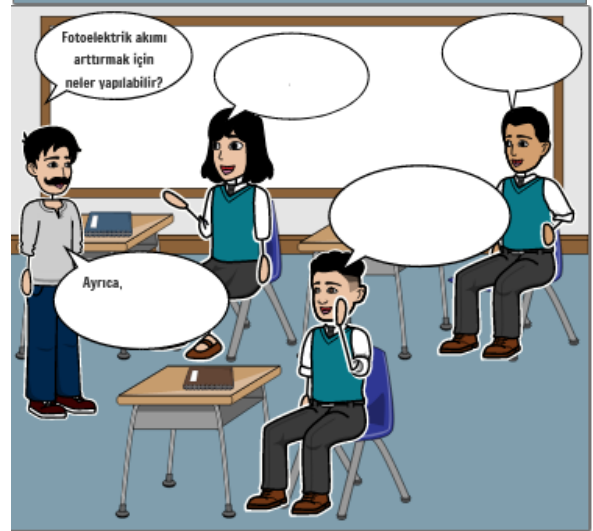
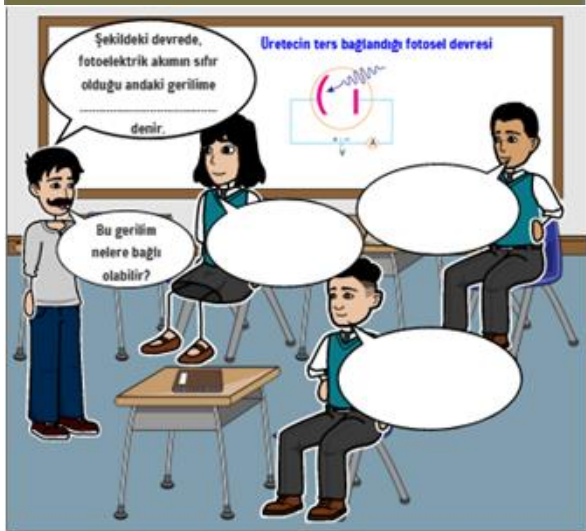
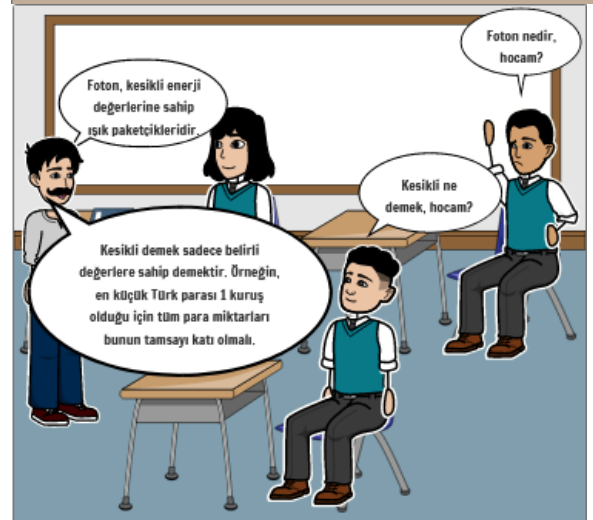
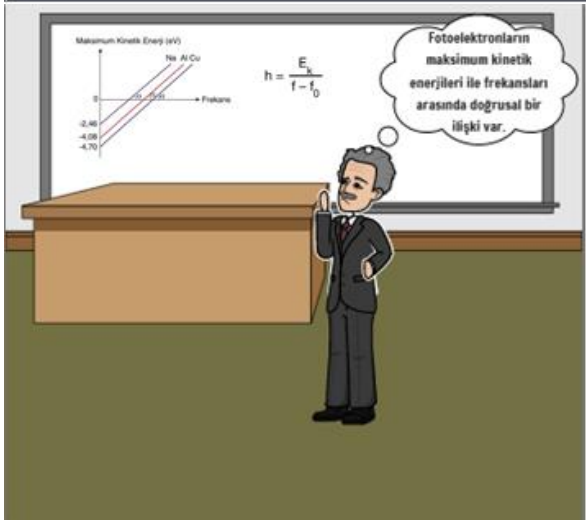


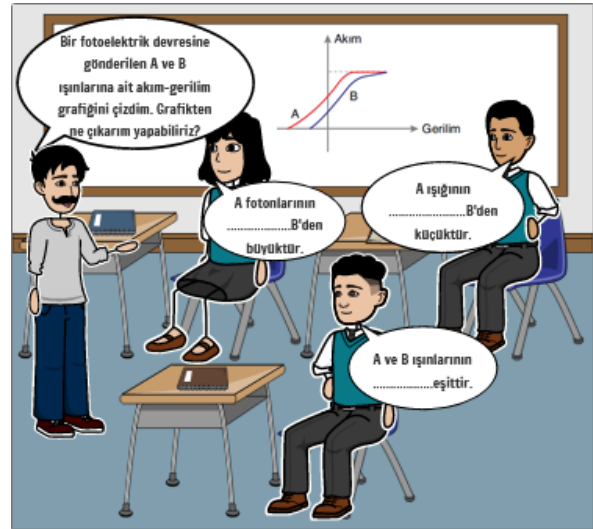




EK-İ: Fotoelektrik Olayı Çizgi Roman Etkinliği







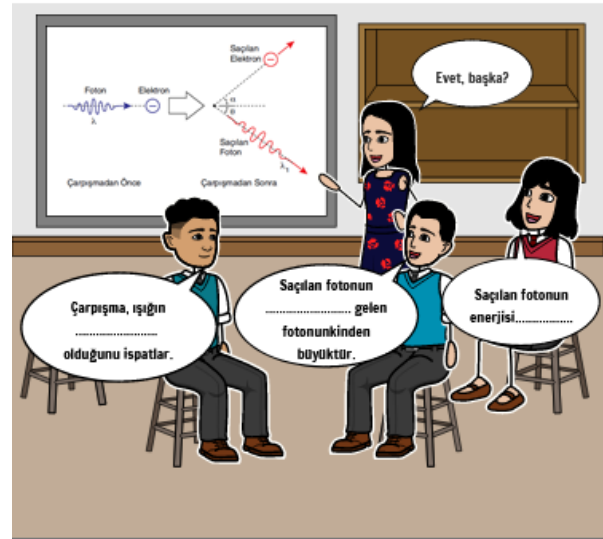
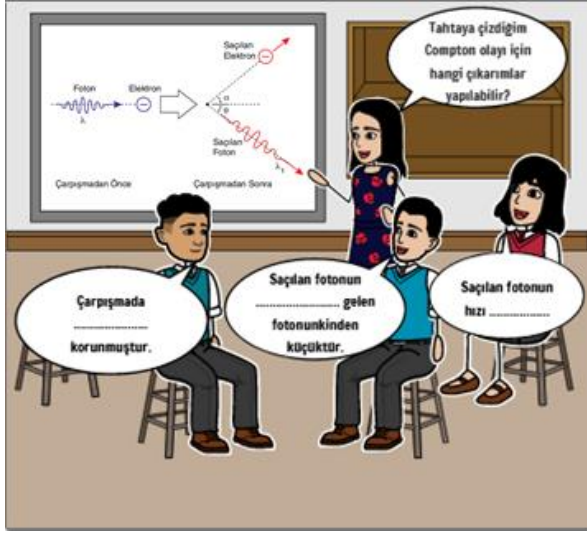
Bir fotoelektrik deney düzeneğine 2.480 \AA dalga boyuna sahip fotonlar gönderildiğinde, kopan fotoelektronların maksimum kinetik enerjisi $1,5 \text{ eV}$ oluyor. Buna göre, katot metalinin eşik enerjisi kaç eV 'dir?
($h.c=12.400 \text{ eV\AA}$)

Eşik enerjisi $5,4 \text{ eV}$ olan bir metal yüzeye $7,2 \text{ eV}$ enerjili fotonlar düşürülüyor. Fotoelektrik devrede akımın sıfır olması için devreye kaç Volt gerilime sahip bir pil ters bağlanmalıdır?



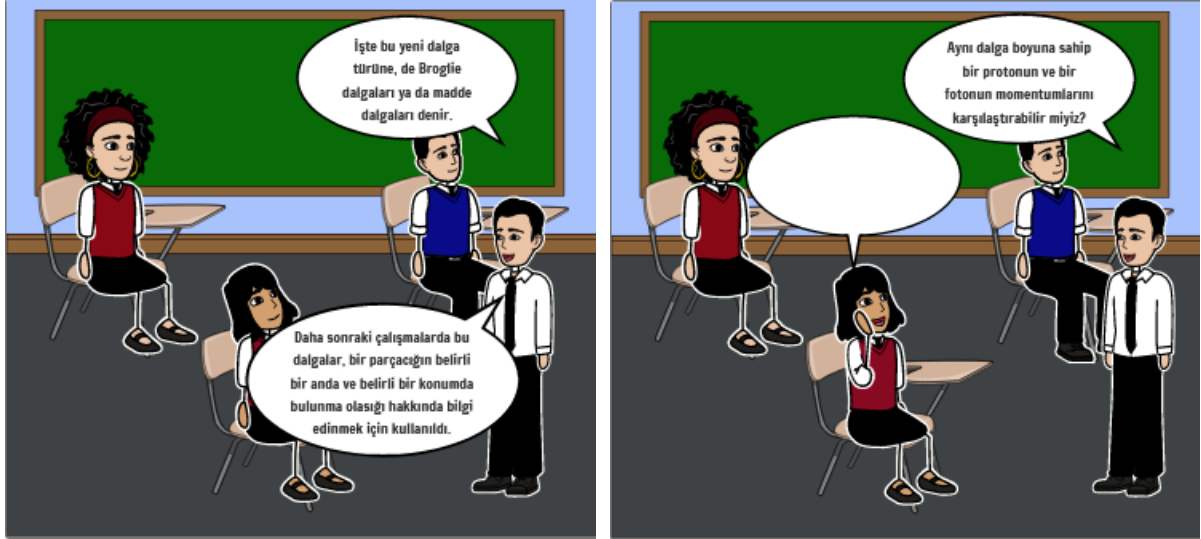
EK-J: Compton Saçılması Çizgi Roman Etkinliği





EK-K: Madde Dalgaları Çizgi Roman Etkinliği





EK-L: Fizik Öğretim Programlarında Modern Fizik ve Kuantum Fiziği Konuları

Öğretim Programı	Konular
1992 Fizik Öğretim Programı	<p>6.BÖLÜM: ENERJİ (Lise 2)</p> <p style="padding-left: 20px;">5. Einstein'e Göre Enerji.</p> <p>3.BÖLÜM: IŞIK TEORİLERİ (Lise 3)</p> <p style="padding-left: 20px;">1. Işığın dalga modeli.</p> <p style="padding-left: 20px;">2. Fotoelektrik olayı.</p> <p style="padding-left: 20px;">3. Işığın tanecik modeli, foton.</p> <p>4.BÖLÜM: ATOM TEORİSİ (Lise 3)</p> <p style="padding-left: 20px;">1. Elektromagnetik dalgalar, (elektromagnetik spektrum)</p> <p style="padding-left: 20px;">2. Enerji seviyeleri.</p> <p style="padding-left: 20px;">3. Bohr atom modeli.</p> <p style="padding-left: 20px;">4. Kendiliğinden emisyon, uyarılmış emisyon.</p> <p style="padding-left: 20px;">5. Laser (Gaz laseri, katı laser)</p> <p style="padding-left: 20px;">6. Elektron kabukları.</p> <p style="padding-left: 20px;">7. Pauli prensibi.</p>
1992 Lise 3 İleri Fizik-2 Öğretim Programı	<p>5. BÖLÜM: GÖRELİLİK (İZAFİYET)</p> <p style="padding-left: 20px;">1. Klasik görelilik (Newton Göreliliği).</p> <p style="padding-left: 20px;">2. Michelson-Morley deneyi.</p> <p style="padding-left: 20px;">3. Özel görelilik.</p> <p style="padding-left: 20px;">4. Kütle – Hız - Enerji.</p> <p>6. BÖLÜM: MODERN (ÇAĞDAŞ) FİZİĞE GİRİŞ</p> <p style="padding-left: 20px;">1. Siyah cismin ışınması.</p> <p style="padding-left: 20px;">2. Planch hipotezi.</p> <p style="padding-left: 20px;">3. Elektronların gazlar içinden geçişi.</p> <p style="padding-left: 40px;">a) Seyretilmiş gazlar içinden geçişi.</p> <p style="padding-left: 40px;">b) Katon ışınları.</p> <p style="padding-left: 40px;">c) X-ışınları ve kullanım alanları.</p> <p style="padding-left: 20px;">4. Dalga-parçacık ikilemi, de Broglie bağıntısı.</p> <p style="padding-left: 20px;">5. Maddenin temel taşları olarak atomlar.</p> <p style="padding-left: 20px;">6. Temel etkileşmeler.</p> <p style="padding-left: 20px;">7. Nükleonların kuark modeli.</p>
2008-2009 Öğretim Programları	<p>Fizik</p> <p>4.ÜNİTE: MODERN FİZİK (10.Sınıf)</p> <p style="padding-left: 20px;">1. Modern fiziğin doğuşu</p> <p style="padding-left: 20px;">2. Özel Görelilik</p> <p>4.ÜNİTE: MODERN FİZİK (11.Sınıf)</p> <p style="padding-left: 20px;">1. Işığın tanecikli yapısı; Kara cisim ışınması; Foton; Fotoelektrik olayı; Compton Olayı.</p>

2. Parçacıkların dalga özelliği (de Broglie).

3. Atomun yapısı; Atom modelleri; Atomun enerji seviyeleri, Belirsizlik ilkesi.

5.ÜNİTE: MODERN FİZİK (12.Sınıf)

1. X-ışınları

2. Maddelerin yapısı; Yarı iletkenlik; Üstün iletkenlik.

3. Çekirdeğin yapısı; yağın ve zayıf çekirdek kuvvetleri.

4. Radyoaktif bozunmalar.

5. Nükleer enerji; fisyon ve füzyon.

2013 12.Sınıf Fizik Öğretim Programı

4.ÜNİTE: ATOM FİZİĞİNE GİRİŞ VE RADYOAKTİVİTE

1. Atom Kavramının tarihsel gelişimi; Atom modelleri; Bohr atom modeli; Atomun uyarılması; Enerji seviyeleri, Modern atom teorisi.

2. Büyük Patlama ve Evrenin Oluşumu; Atom altı parçacıklar; Anti-madde; gezegen, yıldız ve gökadalara oluşumu.

3. Radyoaktivite; Radyoaktif bozunmalar; Fisyon ve füzyon; Radyasyonun canlılara etkisi.

5.ÜNİTE: MODERN FİZİK

1. Özel Görelilik (Matematiksel hesaplamalara girilmez).

2. Kuantum Fizikine Giriş; Siyah cisim ışıması (Matematiksel hesaplamalara girilmez).

3. Fotoelektrik olay.

4. Compton olayı ve de Broglie bağıntısı.

6.ÜNİTE: MODERN FİZİĞİN TEKNOLOJİDEKİ UYGULAMALARI

1. Görüntüleme teknolojileri

2. Yarı iletken teknolojisi

3. Süper iletkenler

4. Nano teknoloji

5. X-ışınları

6. Laser ışınları

7. Bilimsel araştırma merkezleri

2018 12.Sınıf Fizik Öğretim Programı

12.Sınıf, 4.ÜNİTE ATOM FİZİĞİNE GİRİŞ VE RADYOAKTİVİTE

1. Atom Kavramının tarihsel gelişimi; Atom modelleri; Bohr atom modeli; Atomun uyarılması; Enerji seviyeleri, Modern atom teorisi.

2. Büyük Patlama ve Evrenin Oluşumu; Atom altı parçacıklar; Anti-madde.

3. Radyoaktivite; Radyoaktif bozunmalar; Fisyon ve füzyon; Radyasyonun canlılara etkisi.

5.ÜNİTE: MODERN FİZİK

1. Özel Görelilik (Matematiksel hesaplamalara girilmez).

2. Kuantum Fizikine Giriş; Siyah cisim ışıması (Matematiksel hesaplamalara girilmez).

3. Fotoelektrik olay.

4. Compton olayı ve de Broglie bağıntısı (Matematiksel hesaplamalara girilmez).

6.ÜNİTE: MODERN FİZİĞİN TEKNOLOJİDEKİ UYGULAMALARI

1. Görüntüleme teknolojileri
 2. Yarı iletken teknolojisi
 3. Süper iletkenler
 4. Nano teknoloji
 5. Laser ışınları
-

EK-M: Kuantum Fiziği Konularına Ait 12. Sınıf Kazanımları

Konu	Kazanım	Alt Kazanım ve Kazanım Açıklamaları
12.5.2. Kuantum Fiziğine Giriş	12.5.2.1. Siyah cisim ışımalarını açıklar.	a) Planck hipotezi açıklanır. b) Dalga boyu-ışın şiddeti grafiğinden hareketle klasik yaklaşımla modern yaklaşımın çelişkisi ve bu çelişkinin kuantum fiziğinin doğuşuna etkisi vurgulanır.
12.5.3. Fotoelektrik Olayı	12.5.3.1. Foton kavramını açıklar. 12.5.3.2. Fotoelektrik olayını açıklar. 12.5.3.3. Farklı metaller için maksimum kinetik enerji-frekans grafiğini çizer. 12.5.3.4. Fotoelektronların sahip olduğu maksimum kinetik enerji, durdurma gerilimi ve metalin eşik enerjisi arasındaki matematiksel ilişkiyi açıklar. 12.5.3.5. Fotoelektrik olayın günlük hayattaki uygulamalarına örnekler verir.	a) Hertz'in çalışmaları üzerinde durulur. b) Einstein'ın fotoelektrik denklemi üzerinde durulur. c) Öğrencilerin simülasyonlar yardımıyla fotoelektrik olaya etki eden değişkenleri gözlemlenmeleri ve yorumlamaları sağlanır. Fotoelektrik olayın günlük hayattaki olumlu (musluklarda hijyenin sağlanması gibi) ve olumsuz (sahte güneş gözlüklerinin kullanımını gibi) etkileri üzerinde durulur.
12.5.4. Compton Saçılması ve De Broglie Dalga Boyu	12.5.4.1. Compton olayında foton ve elektron etkileşimini açıklar. 12.5.4.2. Compton ve fotoelektrik olaylarının benzer yönlerini belirterek ışığın tanecik doğası hakkında çıkarım yapar. 12.5.4.3. Işığın ikili doğasını açıklar. 12.5.4.4. Madde ve dalga arasındaki ilişkiyi açıklar.	a) Öğrencilerin model veya simülasyonlar kullanarak Compton saçılmasını açıklamaları sağlanır. b) Matematiksel hesaplamalara girilmez. Işığın tanecik, dalga, hem tanecik hem de dalga doğası ile açıklanan olaylar vurgulanır. a) De Broglie bağıntısı verilir. b) Matematiksel hesaplamalara girilmez.

EK-N: Yenilenmiş Bloom Taksonomisinde Bilgi Boyutu Temel ve Alt Türleri

Temel	Alt	Açıklama
Olgusal Bilgi	Terimler bilgisi	Bir alanı tanımak veya o alandaki problemleri çözmek için bilinmesi gereken temel unsurlar.
	Özel ayrıntı ve unsurlar bilgisi	
Kavramsal Bilgi	Sınıflama ve kategoriler bilgisi	Daha büyük bir yapı içindeki temel unsurlar arasındaki, birlikte işlev görmelerini sağlayan karşılıklı ilişkiler.
	İlke ve genellemeler bilgisi	
	Kuram, model ve yapıların bilgisi	
İşlemsel Bilgi	Konuya has beceri ve algoritma bilgisi	Bir şey yaparken sorgulama yöntemleri ve becerileri, algoritmaları, teknikleri ve yöntemleri kullanma kriterleri.
	Konuya has teknik ve metotlar bilgisi	
	Uygun metotların nasıl ve ne zaman kullanılacağı ile ilgili kriterlerin bilgisi	
Üstbilişsel Bilgi	Stratejik bilgi	Genel olarak biliş bilgisinin yanı sıra kişinin kendi bilişinin farkındalığı ve bilgisi.
	Uygun bağlam ve koşulları içeren görevler bilgisi	
	Özbilgi	

EK-O: Yenilenmiş Bloom Taksonomisinde Bilgi Boyutu Temel ve Alt Türleri

Temel	Alt	Açıklama
Hatırlama	Tanım	İlgili bilgiyi uzun süreli bellekten geri getirme
	Anımsama	
Anlama	Yorumlama	Sözlü, yazılı ve grafik iletişim dahil olmak üzere öğretimsel mesajların anlamını belirleme.
	Örnekleme	
	Sınıflama	
	Özetleme	
	Sonuç çıkarma	
	Açıklama	
Uygulama	Yürütme	Belirli bir durumda bir prosedürü uygulama veya kullanma.
	Gerçekleştirme	
Çözümleme	Ayrıştırma	Bileşenlerine ayırma ve bileşenlerin birbirleriyle ve genel bir yapı veya amaç ile nasıl ilişkili olduğunu tespit etme.
	Örgütme	
	İrdeleme	
Değerlendirme	Denetleme	Kriterlere ve standartlara dayalı yargılarda bulunma.
	Eleştirme	
Yaratma	Oluşturma	Yeni, tutarlı bir bütün oluşturmak veya orijinal bir ürün oluşturmak için unsurları bir araya getirmek.
	Planlama	
	Üretme	

EK-Ö: İki Aşamalı KuFKAT Sorularının Değerlendirilmesinde Kullanılan Kriterler

Değerlendirme Düzeyleri	Açıklama	Puan
Doğru cevap-Doğru gerekçe (DC-DG)	Çoktan seçmeli kısım doğru ve açıklama kısmı doğru cevabın bütün yönlerini içerir.	4
Doğru Cevap-Kısmen Doğru Gerekçe (DC-KDG)	Çoktan seçmeli kısmının doğru ve açıklama kısmı doğru cevabın bazı yönlerini içerir.	3
Yanlış Cevap- Doğru Gerekçe (YC-DG)	Çoktan seçmeli kısım yanlış ve açıklama kısmı geçerli cevabın bütün yönlerini içerir.	2
Doğru Cevap- Yanlış Gerekçe (DC-YG)	Çoktan seçmeli kısım doğru ve açıklama kısmı alternatif kavram içerir veya açıklama yapılmamış.	1
Yanlış Cevap- Yanlış Gerekçe (YC-YG)	Çoktan seçmeli kısım yanlış ve açıklama kısmı alternatif kavram içerir veya açıklama yapılmamış.	0

EK-P: Etik Komisyonu Onay Bildirimi

T.C.
HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ REKTÖRLÜĞÜ
Rektörlük

Sayı : E-35853172-300-00001497594
Konu : Ömer ENSARİ (Etik Komisyon İzni)

15.03.2021

EĞİTİM BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜNE

İlgi : 10.02.2021 tarihli ve E-51944218-300-00001439773 sayılı yazı.

Enstitünüz Matematik ve Fen Bilimleri Eğitimi Anabilim Dalı Doktora programı öğrencisi Ömer ENSARİ'nin Prof. Dr. Celal BAYRAK danışmanlığında yürüttüğü "Ortaöğretim Öğrencilerinin Kuantum Fiziği Konularında Kavramsal Anlama Güçlüklerinin Belirlenmesi ve Giderilmesi" başlıklı tez çalışması Üniversitemiz Senatosu Etik Komisyonunun 23 Şubat 2021 tarihinde yapmış olduğu toplantıda incelenmiş olup, etik açıdan uygun bulunmuştur.

Bilgilerinizi ve gereğini saygularıyla rica ederim.

e-İmzalıdır
Prof. Dr. Vural GÖKMEN
Rektör Yardımcısı

Bu belge güvenli elektronik imza ile imzalanmıştır.

Belge Doğrulama Kodu: BA0056BA-C176-418D-851F-3E128E342792

Belge Doğrulama Adresi: <https://www.turkiye.gov.tr/ba-ebys>

Adres: Hacettepe Üniversitesi Rektörlük 06100 Sıhhiye-Ankara

Bilgi için: Sevdâ TOPAL

E-posta: yazim@hacettepe.edu.tr İnternet Adresi: www.hacettepe.edu.tr Elektronik

Bilgisayar İşletmeni

Ağ: www.hacettepe.edu.tr

Telefon: 0 (312) 305 3001-3002 Faks: 0 (312) 311 9992

Telefon: 03123051008

Kayıt: hacettepeuniversitesi@hs01.kap.tr



EK-R: Milli Eğitim Bakanlığı Araştırma İzni



T.C.
VAN VALİLİĞİ
İl Millî Eğitim Müdürlüğü



Sayı : E-70562350-605.01-25207729
Konu : Ömer ENSARİ'nin Veri
Toplama Talebi Hk.

DAĞITIM YERLERİNE
Hacettepe Ünst. Eğt. Bilimleri Enstitüsü Müd. 06800 Beştepe
ANKARA

Hacettepe Üniversitesi Eğitim Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğü, Matematik ve Fen Bilimleri D.21
doktora öğrencisi Ömer ENSARİ'nin anket çalışmasına ait Valilik Makamının 05/05/2021 tarih ve
25037990 sayılı onay yazısı ekte gönderilmiştir. Ekteki onay doğrultusunda gerekli idari iş ve işlemlerin
yapılması hususunda;

Bilgilerinizi ve gereğini arz ederim.

Nevzat TAŞDEMİR
İl Millî Eğitim Müdür V.

Ek : Onay yazısı (1 Sayfa)

Dağıtım:

1-İpekyolu, Tuşba, Edremit İlçe Kaymakamlığına
(İlçe Millî Eğitim Müdürlüğü)

2- Hacettepe Üniversitesi
(Eğitim Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğü)

Bu belge güvenli elektronik imza ile imzalanmıştır.

Adres : A Gaz Mah İskele Cad No:226-69040 Tuşba-VAN

Belge Doğrulama Adresi : <https://www.sakbye.gov.tr/meb-ctys>

Bilgi için: Sadık BEKTAŞ Strateji-Arge Birim (Dahili 319)

Uyvan : Veri Hazırlama ve Kontrol İşletmecisi

İnternet Adresi : www.sakbye.gov.tr Faks:432224161

Telefon No : 0 (432) 222 41 62

E-Posta:

Keş Adresi : mebu@ml.gov.tr

Bu belge güvenli elektronik imza ile imzalanmıştır. İmza : evs@evs.gov.tr adresinde 6300-9056-31d9-9ef3-5e30 koda ile teyit edilebilir.



EK-S: Doktora Tez Çalışması Orijinallik Raporu

31/05/2023

HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ
Eğitim Bilimleri Enstitüsü
Matematik ve Fen Bilimleri Eğitimi Ana Bilim Dalı Başkanlığına,

Tez Başlığı : Ortaöğretim Öğrencilerinin Kuantum Fiziğine Giriş Konularında Kavramsal Anlama Güçlüklerinin Belirlenmesi ve Giderilmesi

Yukarıda başlığı verilen tez çalışmamın tamamı (kapak sayfası, özetler, ana bölümler, kaynakça) aşağıdaki filtreler kullanılarak **Turnitin** adlı intihal programı aracılığı ile kontrol edilmiştir. Kontrol sonucunda aşağıdaki veriler elde edilmiştir:

Rapor Tarihi	Sayfa Sayısı	Karakter Sayısı	Savunma Tarihi	Benzerlik Oranı	Gönderim Numarası
31 / 05 / 2023	185	227656	29 / 05 / 2023	%6	2105896876

Uygulanan filtreler:

- Kaynaklar hariç
- Alıntılar dâhil
- 5 kelimedenden daha az örtüşme içeren metin kısımları hariç

Hacettepe Üniversitesi Eğitim Bilimleri Enstitüsü Tez Çalışması Orijinallik Raporu Alınması ve Kullanılması Uygulama Esaslarını inceledim ve çalışmamın herhangi bir intihal içermediğini; aksinin tespit edileceği muhtemel durumda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve yukarıda vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan eder, gereğini saygılarımla arz ederim.

Ad Soyadı: Ömer ENSARI

Öğrenci No.: N17148260

Ana Bilim Dalı: Matematik ve Fen Bilimleri Eğitimi

İmza

Programı: Matematik ve Fen Bilimleri Eğitimi

Statüsü: Y.Lisans Doktora Bütünleşik Dr.

DANIŞMAN ONAYI

UYGUNDUR.

Prof. Dr. Celal BAYRAK

(Unvan, Ad Soyadı, İmza)

EK-Ş: Dissertation Originality Report

31 / 05 / 2023

HACETTEPE UNIVERSITY
 Graduate School of Educational Sciences
 To The Department of Mathematics And Science Education

Thesis Title: Determining and Remediating of Secondary School Students Conceptual Difficulties on Introductory Quantum Physics Concepts

The whole thesis that includes the *title page, introduction, main chapters, conclusions and bibliography section* is checked by using **Turnitin** plagiarism detection software take into the consideration requested filtering options. According to the originality report obtained data are as below.

Time Submitted	Page Count	Character Count	Date of Thesis Defense	Similarity Index	Submission ID
31 / 05 / 2023	185	227656	29 / 05 / 2023	%6	2105896876

Filtering options applied:

1. Bibliography excluded
2. Quotes included
3. Match size up to 5 words excluded

I declare that I have carefully read Hacettepe University Graduate School of Educational Sciences Guidelines for Obtaining and Using Thesis Originality Reports; that according to the maximum similarity index values specified in the Guidelines, my thesis does not include any form of plagiarism; that in any future detection of possible infringement of the regulations I accept all legal responsibility; and that all the information I have provided is correct to the best of my knowledge.

I respectfully submit this for approval.

Name Lastname: Ömer ENSARİ

Student No.: N17148260

Department: Mathematics And Science Education

Program: Mathematics And Science Education

Status: Masters Ph.D. Integrated Ph.D.

Signature

ADVISOR APPROVAL

APPROVED
 Prof. Dr. Celal BAYRAK

(Title, Name Lastname, Signature)

EK-T: Yayınlama ve Fikrî Mülkiyet Hakları Beyanı

Enstitü tarafından onaylanan lisansüstü tezimin/raporumun tamamını veya herhangi bir kısmını, basılı (kâğıt) ve elektronik formatta arşivleme ve aşağıda verilen koşullarla kullanıma açma iznini Hacettepe Üniversitesine verdiğimi bildiririm. Bu izinle Üniversiteye verilen kullanım hakları dışındaki tüm fikri mülkiyet haklarım bende kalacak, tezimin tamamının ya da bir bölümünün gelecekteki çalışmalarda (makale, kitap, lisans ve patent vb.) kullanım hakları bana ait olacaktır.

Tezin kendi orijinal çalışmam olduğunu, başkalarının haklarını ihlal etmediğimi ve tezimin tek yetkili sahibi olduğumu beyan ve taahhüt ederim. Tezimde yer alan telif hakkı bulunan ve sahiplerinden yazılı izin alınarak kullanılması zorunlu metinlerin yazılı izin alınarak kullandığımı ve istenildiğinde suretlerini Üniversiteye teslim etmeyi taahhüt ederim.

Yükseköğretim Kurulu tarafından yayınlanan "**Lisansüstü Tezlerin Elektronik Ortamda Toplanması, Düzenlenmesi ve Erişime Açılmasına İlişkin Yönerge**" kapsamında tezim aşağıda belirtilen koşullar haricince YÖK Ulusal Tez Merkezi / H.Ü. Kütüphaneleri Açık Erişim Sisteminde erişime açılır.

- Enstitü/Fakülte yönetim kurulu kararı ile tezimin erişime açılması mezuniyet tarihinden itibaren 2 yıl ertelenmiştir.⁽¹⁾
- Enstitü/Fakülte yönetim kurulunun gerekçeli kararı ile tezimin erişime açılması mezuniyet tarihimden itibaren ... ay ertelenmiştir.⁽²⁾
- Tezimle ilgili gizlilik kararı verilmiştir.⁽³⁾

..... /..... /.....
(imza)

Öğrencinin Adı SOYADI

"Lisansüstü Tezlerin Elektronik Ortamda Toplanması, Düzenlenmesi ve Erişime Açılmasına İlişkin Yönerge"

- (1) Madde 6.1. Lisansüstü teze ilgili patent başvurusu yapılması veya patent alma sürecinin devam etmesi durumunda, tez danışmanının önerisi ve enstitü anabilim dalının uygun görüşü üzerine enstitü veya fakülte yönetim kurulu iki yıl süre ile tezin erişime açılmasının ertelenmesine karar verebilir.
- (2) Madde 6.2. Yeni teknik, materyal ve metotların kullanıldığı, henüz makaleye dönüşmemiş veya patent gibi yöntemlerle korunmamış ve internette paylaşılması durumunda 3 şahıslara veya kurumlara haksız kazanç; imkânı oluşturabilecek bilgi ve bulguları içeren tezler hakkında tez danışmanının önerisi ve enstitü anabilim dalının uygun görüşü üzerine enstitü veya fakülte yönetim kurulunun gerekçeli kararı ile altı ay aşmamak üzere tezin erişime açılması engellenebilir.
- (3) Madde 7.1. Ulusal çıkarları veya güvenliği ilgilendiren, emniyet, istihbarat, savunma ve güvenlik, sağlık vb. konulara ilişkin lisansüstü tezlerle ilgili gizlilik kararı, tezin yapıldığı kurum tarafından verilir*. Kurum ve kuruluşlarla yapılan işbirliği protokolü çerçevesinde hazırlanan lisansüstü tezlerle ilişkin gizlilik kararı ise, ilgili kurum ve kuruluşun önerisi ile enstitü veya fakültenin uygun görüşü üzerine üniversite yönetim kurulu tarafından verilir. Gizlilik kararı verilen tezler Yükseköğretim Kuruluna bildirilir.
Madde 7.2. Gizlilik kararı verilen tezler gizlilik süresince enstitü veya fakülte tarafından gizlilik kuralları çerçevesinde muhafaza edilir, gizlilik kararının kaldırılması halinde Tez Otomasyon Sistemine yüklenir

*Tez danışmanının önerisi ve enstitü anabilim dalının uygun görüşü üzerine enstitü veya fakülte yönetim kurulu tarafından karar verilir

