
GAZİ ÜNİVERSİTESİ
Gazi
1926

PARÇACIK FİZİĞİ KONUSUNDAKİ ETKİNLİKLERİN FİZİK ÖĞRETMENLERİNİN ALAN BİLGİLERİNE ETKİSİ

Seher Pervan

DOKTORA TEZİ

MATEMATİK VE FEN BİLİMLERİ EĞİTİMİ

ANA BİLİM DALI

GAZİ ÜNİVERSİTESİ

EĞİTİM BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KASIM, 2022

TELİF HAKKI VE TEZ FOTOKOPİ İZİN FORMU

Bu tezin tüm hakları saklıdır. Kaynak göstermek koşuluyla tezin teslim tarihinden itibaren on sekiz (18) ay sonra tezden fotokopi çekilebilir.

YAZARIN

Adı : Seher

Soyadı : Pervan

Bölümü : Fizik Eğitimi

İmza : …….

Teslim Tarihi : …….

TEZİN

Türkçe Adı : Parçacık Fiziği Konusundaki Etkinliklerin Fizik Öğretmenlerinin Alan Bilgilerine Etkisi

İngilizce Adı : The Effect of Particle Physics Activities on Physics Teachers' Content Knowledge

ETİK İLKELERE UYGUNLUK BEYANI

Tez yazma sürecinde bilimsel ve etik ilkelere uyduğumu, yararlandığım tüm kaynakları kaynak gösterme ilkelerine uygun olarak kaynakçada belirttiğimi ve bu bölümler dışındaki tüm ifadelerin şahsıma ait olduğunu beyan ederim.

Yazar Adı Soyadı : Seher PERVAN

İmza : …….

JÜRİ ONAY SAYFASI

Seher Pervan tarafından hazırlanan "Parçacık Fiziği Konusundaki Etkinliklerin Fizik Öğretmenlerinin Alan Bilgilerine Etkisi" adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Gazi Üniversitesi Fizik Eğitimi Ana Bilim Dalı'nda Doktora tezi olarak kabul edilmiştir.

Danışman:	Prof. Dr. Pervin ÜNLÜ YAVAŞ	
	Fizik Eğitimi Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi	……
Başkan:	Prof. Dr. Deniz GÜRÇAY	
	Fizik Eğitimi Ana Bilim Dalı, Hacettepe Üniversitesi	……
Üye:	Prof. Dr. Mustafa KARADAĞ	
	Fizik Eğitimi Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi	……
Üye:	Prof. Dr. Şebnem KANDİL İNGEÇ	
	Fizik Eğitimi Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi	……
Üye:	Prof. Dr. Özgür ÖZCAN	
	Fizik Eğitimi Ana Bilim Dalı, Hacettepe Üniversitesi	……

Tez Savunma Tarihi: 11/11/2022

Bu tezin Fizik Eğitimi Ana Bilim Dalı'nda Doktora tezi olması için şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

Prof. Dr. Şaban ÇETİN

Eğitim Bilimleri Enstitü Müdürü

Babam Dağlar'a ve Abim'e…

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışması birçok kişinin desteği ile tamamlanabilmiştir. Öncelikle manevi desteği ile her zaman yanımda olan biricik annem Fatma Pervan'a teşekkür ederim.

Hem öğretmen olup hem de doktora yapan biri olarak, hayatımın 6 yılına anlam katan bu sürecin bittiğine üzülüyorum. Lisans, yüksek lisans ve doktora eğitim hayatımın tüm zamanlarında danışmandan öte bana her alanda sonsuz katkılarda bulunan ve destekleyen kıymetli hocam Prof. Dr. Pervin Ünlü Yavaş'a tüm teşekkür sözlerim yetersiz olacaktır. Ayrıca her sorunuma çare bulan saygıdeğer hocalarım Prof. Dr. Şebnem Kandil İngeç ile Prof. Dr. Deniz Gürçay'a verdikleri destek için teşekkür ederim.

CERN'de yapılan Türk Öğretmen Çalıştayı'nda görevli olan başta Dr. Sezen Sekmen ve Doç. Dr. Gökhan Ünel olmak üzere Türk Öğretmen Çalıştayı-5 ve Türk Öğretmen Çalıştayı-8'de bana ilham veren tüm bilim insanlarımıza teşekkür ederim. Aynı zamanda uzman görüşü istediğimde, değerli vaktini bana ayıran başta Doç. Dr. Aysuhan Ozansoy olmak üzere tüm öğretmenlerime teşekkür ederim.

Çalışmaya gönüllü olarak katılan ve tüm uygulamalara büyük bir istekle vakit ayıran fizik öğretmenlerine teşekkür ederim.

Burada daha ismini sayamadığım ve üzerimde birçok emeği olan tüm hocalarıma, arkadaşlarıma ve aile üyelerime teşekkür ederim.

PARÇACIK FİZİĞİ KONUSUNDAKİ ETKİNLİKLERİN FİZİK ÖĞRETMENLERİNİN ALAN BİLGİLERİNE ETKİSİ

(Doktora Tezi)

Seher Pervan

GAZİ ÜNİVERSİTESİ

EĞİTİM BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Kasım 2022

ÖZ

Bu çalışmanın amacı, fizik öğretmenlerinin parçacık fiziği ile ilgili alan bilgilerinin geliştirilmesi için etkinlikler tasarlamak ve bu etkinliklerin alan bilgilerine etkisini tespit etmektir. Bu amaçla öncelikle fizik öğretim programında yer alan parçacık fiziği ile ilgili 10 adet kazanım belirlenmiştir. Kazanımlar için etkinlikler oluşturulmuştur. Etkinliklerin 8'i alan yazındaki çalışmalardan esinlenerek tasarlanmıştır. 4 tanesi ise araştırmacı tarafından oluşturulmuştur. Her etkinlik için çalışma yaprakları hazırlanmıştır. Etkinlik çalışma yaprakları, etkinliklerin uygulama sürecini açıklayan ve uygulama sırasında veri toplamayı sağlayan formlar halinde düzenlenmiştir. Hazırlanan etkinlik çalışma yaprakları; anlaşılırlık, bilimsel ve kazanım açısından uygunluk olarak üç kriter için uzman değerlendirmesine sunulmuştur. Uzmanlar görüşlerini; uygun/düzeltilmeli/uygun değil şeklinde değerlendirmiştir. Sadece anlaşılırlık kriteri için Kapsam Geçerlilik Ölçütü 0.99'dan küçük çıkmıştır. Anlaşılırlık kriteri için uzmanlar tarafından önerilen düzeltmeler yapılmış ve çalışma yaprakları uygulamaya hazır hale getirilmiştir. Etkinliklerin geliştirilmesinin son adımında görüş ve önerilerin alınması için gönüllü 6 fizik öğretmeniyle yüz yüze pilot uygulama gerçekleştirilmiştir. Uygulama her oturumda dört etkinlik olmak üzere 3 günde tamamlanmıştır. Etkinliklerin uygulanması esnasında ve sonrası alınan görüşler doğrultusunda etkinlikler ile ilgili son değişiklikler yapılmış ve etkinliklerin geliştirilme süreci tamamlanmıştır. Fizik öğretmenlerinin parçacık fiziğine yönelik alan bilgilerinin değişimini tespit etmek amacıyla bir başarı testinin geliştirilmek istenmiştir. Öncelikle belirlenen 10 adet kazanımın her biri için en az iki adet olacak

şekilde kısa cevaplı ve açık uçlu 28 soru hazırlanmıştır. Hazırlanan sorular anlaşılırlık, bilimsel ve kazanım açısından uygunluk olmak üzere üç kriter için 9 uzmanın değerlendirmesine sunulmuştur. Uzmanlar görüşlerini, uygun/düzeltilmeli/uygun değil şeklindeki kriterlere göre değerlendirmiştir. Başarı testindeki 13 soru için Kapsam Geçerlilik Ölçütü 0.75'ten küçük çıkmış ve bu sorular testten çıkartılmıştır. Geriye kalan 15 soru, fizik öğretmenlerinin parçacık fiziğine yönelik alan bilgilerinin tespiti için Parçacık Fiziği Başarı Testi olarak kullanılmıştır. Katılımcıların etkinlikler hakkındaki görüşlerini öğrenmek için her etkinliğin sonunda uygulanmak üzere Etkinlik Değerlendirme Formu oluşturulmuştur. Bu form 10'lu Likert tipinde olup, etkinliğin kazanıma uygunluk, ilgi çekicilik, lise öğrencilerine uygulanabilirlik, güncel örnekler içerme ve konu hakkında bilgi düzeyini arttırma kriterlerinden oluşmaktadır. Bu form katılımcıların her etkinliğin sonunda görüşlerini hızlı bir şekilde almak amacıyla kullanılmıştır. Tüm etkinliklerin bitiminde ise yarı yapılandırılmış görüşmeler ile katılımcıların etkinliklere dair görüşleri alınmıştır. Etkinliklerin uygulanma süreci COVID-19 salgını nedeniyle çevrim içi olarak gerçekleştirilmiştir. Etkinliklere ait olan çalışma yaprakları yüzyüze uygulamada kullanılmaya uygun hazırlandığından, çevrim içi uygulanacak şekilde yeniden düzenlenmiştir. Sosyal medya aracılığıyla seçilen gönüllü 23 fizik öğretmeni ile uygulama yapılmıştır. Parçacık Fiziği Başarı Testi'nin ön test uygulaması Zoom aracılığıyla başlatılan bir oturumla uygulanmıştır. Etkinliklerin uygulanması, yine Zoom ile yapılan toplantılarla, üç farklı günde ve her gün dörder etkinlik olacak şekilde gerçekleşmiştir. Her etkinliğin bitiminde, katılımcıların etkinlik hakkındaki görüşlerini almak için Etkinlik Görüş Formu'nu Google Formlar aracılığıyla doldurmaları sağlanmıştır. Etkinlikler tamamlandıktan sonra Parçacık Fiziği Başarı Testi son test olarak tekrar uygulanmıştır. Katılımcıların tüm etkinlikler hakkındaki görüşlerini almak için yarı yapılandırılmış görüşmeler gerçekleştirilmiştir. Görüşmeler yazılı olarak kaydedilmiştir. Uygulama öncesinde katılımcıların evrendeki dört temel etkileşimin ve atom altı parçacıklar arasındaki etkileşimin özellikleri hakkındaki alan bilgilerinin durumu iyi; CERN'de yapılan çalışmaların büyük patlama ile bağlantısı; Standart model çerçevesinde atom altı parçacıkları tanımlamaları, atom altı parçacıklardan başlayarak madde oluşumunun modelle açıklanması, Higgs bozonu, madde ve antimaddenin özellikleri hakkındaki alan bilgilerinin durumu orta; sis odası deneyi hakkındaki alan bilgilerinin durumu zayıf; Stern-Gerlach deneyinin sonuçları ve etkileşimlerin süreci hakkındaki alan bilgilerinin durumu ise çok zayıf olarak tespit edilmiştir. Uygulama sonrasında katılımcıların etkileşimlerin süreci dışındaki tüm alan bilgilerindeki değişim çok iyi olarak tespit edilmiştir. Etkileşimin süreci hakkındaki alan bilgilerinde anlamlı bir değişiklik elde edilememiştir. Etkinlik değerlendirme formuna göre ise katılımcılardan bir kişi tüm etkinliklerin iyi, diğerleri ise çok iyi olduğunu düşündüğünü belirtmiştir.

Anahtar Kelimeler : Fizik eğitimi, Parçacık fiziği, Standart Model, Etkinlik çalışma yaprağı
Sayfa Adedi : 374
Danışman : Prof. Dr. Pervin ÜNLÜ YAVAŞ

THE EFFECT OF PARTICLE PHYSICS ACTIVITIES ON PHYSICS TEACHERS' CONTENT KNOWLEDGE

(Ph. D. Thesis)

Seher Pervan

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF EDUCATION

November 2022

ABSTRACT

The aim of this study is to design activities to improve the field knowledge of physics teachers about particle physics and to determine the effect of these activities on their content knowledge. For this purpose, firstly, 10 learning outcomes related to particle physics in the physics curriculum were determined. Activities have been created for each learning outcomes. Eight of the activities were designed inspired by the studies in the literature. 4 of them were created by the researcher. Activity sheets were prepared for each activity. The activity sheets are organized in forms that explain the application process of the activities and provide data collection during the application. Prepared activity worksheets; it was submitted to expert evaluation for three criteria as intelligibility, scientific and appropriateness in terms of learning outcomes. Experts opinions; evaluated as appropriate/should be corrected/not appropriate. Only for the intelligibility criterion, the scope test as a criterion of validity was less than 0,99. For the intelligibility criterion, the corrections suggested by the experts were made and the activity sheets were made ready for application. In the last step of the development of the activities, a face-to-face pilot application was carried out with 6 volunteer physics teachers to receive their opinions and suggestions. The application was completed in 3 days, with four activities in each session. In line with the opinions received during and after the application of the activities, final changes were made regarding the activities and the development process of the activities was completed. It was desired to develop an achievement test in order to determine the change in the field knowledge of physics teachers about particle physics. First of all, 28 short-answer and open-ended questions were prepared, at least two for each of the 10 determined learning outcomes. The prepared questions were submitted to the evaluation of

9 experts for three criteria: clarity, scientific and appropriateness in terms of learning outcomes. Experts evaluated their opinions according to the criteria as appropriate/must be corrected/not appropriate. The Content Validity Criterion for 13 questions in the achievement test was less than 0,75 and these questions were removed from the test. The remaining 15 questions were used as the Particle Physics Achievement Test to determine the physics teachers' content knowledge about particle physics. An Activity Evaluation Form was created to be applied at the end of each activity in order to learn the views of the participants about the activities. This form is in 10-point Likert type and consists of the criteria of the activity's suitability for the outcome, attractiveness, applicability to high school students, including current examples and increasing the level of knowledge about the subject. This form was used to quickly get the opinions of the participants at the end of each activity. At the end of all the activities, the opinions of the participants about the activities were obtained through semi-structured interviews. The application process of the events was carried out online due to the COVID-19 pandemic. Since the activity sheets belonging to the activities were prepared for face-to-face application, they were rearranged to be applied online. The application was made with 23 volunteer physics teachers selected through social media. The pre-test application of the Particle Physics Achievement Test was applied with a session initiated via Zoom. The application of the events took place on three different days, with four events each day, again with meetings held with Zoom. At the end of each event, participants were asked to fill out the Event Opinion Form via Google Forms to get their views on the event. After the activities were completed, the Particle Physics Achievement Test was applied again as a post-test. Semi-structured interviews were conducted to get the opinions of the participants about all the activities. The interviews were recorded in writing. Before the application, the participants' content knowledge about the characteristics of the four basic interactions in the universe and the interaction between subatomic particles is good; the connection of studies at CERN with the big bang; Definition of subatomic particles within the framework of the Standard Model, explanation of the formation of matter starting from subatomic particles, the Higgs boson, the state of the content knowledge about the properties of matter and antimatter are average; weak availability of content knowledge on the cloud chamber experiment; The state of the content knowledge about the results of the Stern-Gerlach experiment and the process of interactions was determined to be very weak. After the application, the change in all content knowledge of the participants except the interaction process was very good. There was no significant change in the content knowledge about the interaction process. According to the activity evaluation form, one of the participants stated that he thought all the activities were good and the others thought that they were very good.

Key Words	:	Physics education, Particles physics, Standard model, Activity sheet
Page Number	:	374
Supervisor	:	Prof. Dr. Pervin ÜNLÜ YAVAŞ

İÇİNDEKİLER

ÖZ ..... **vi**
ABSTRACT ..... **viii**
TABLOLAR LİSTESİ ..... **xiv**
ŞEKİLLER LİSTESİ ..... **xx**
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ ..... **xxiii**
BÖLÜM I **1**
GİRİŞ **1**
Problem Durumu **1**
Araştırmanın Önemi **4**
Araştırmanın Amacı **7**
Araştırmanın Problemleri **9**
Araştırmanın Varsayımları **9**
Araştırmanın Sınırlılıkları **10**
Tanımlar **10**
Parçacık Fiziği **10**
Etkinlik **11**
Etkinlik Çalışma Yaprağı **13**
BÖLÜM II **15**
KURAMSAL ÇERÇEVE VE İLGİLİ ARAŞTIRMALAR **15**
Parçacık Fiziğinin Lise Fizik Öğretim Programındaki Yeri **15**

Parçacık Fiziğinin Fizik Eğitimi Lisans Öğretim Programındaki Yeri 19

Fen Eğitiminde Etkinliklerin Yeri 19

Parçacık Fiziği Eğitimi ile İlgili Araştırmalar 22

BÖLÜM III 32

YÖNTEM 32

Araştırmanın Yöntemi 32

Veri Toplama Araçları 36

Etkinlik Çalışma Yaprakları ve Geliştirilmesi 36

Parçacık Fiziğiyle İlgili Kazanımların Belirlenmesi 40

Etkinlik Çalışma Yapraklarının Oluşturulması 43

Etkinlikler Hakkında Uzman Görüşünün Alınması 47

Etkinliklerin Fizik Öğretmenlerine Uygulanması: Pilot Uygulama 51

Parçacık Fiziği Başarı Testi ve Geliştirilmesi 54

Soru Maddelerinin Oluşturulması 56

Soru Maddeleri Hakkında Uzman Görüşünün Alınması 57

Etkinlik Değerlendirme Formu 60

Yarı Yapılandırılmış Görüşme 62

Katılımcılar 63

Uygulama Süreci 65

Verilerin Analizi 67

Etkinlik Çalışma Yapraklarına İlişkin Verilerin Analizi 67

Parçacık Fiziği Başarı Testinin Analizi 71

Etkinlik Değerlendirme Formunun Analizi 74

Yarı Yapılandırılmış Görüşmenin Analizi 74

Araştırmanın Geçerliği 77

Araştırmanın Güvenirliği **79**

Araştırmada Etik **81**

BÖLÜM IV **82**

BULGULAR VE YORUM **82**

Etkinliklerin Uygulamasından Elde Edilen Bulgular **82**

Stern-Gerlach Deneyi'ne ait Etkinlik Çalışma Yapraklarının İncelenmesine İlişkin Bulgular **82**

Sis Odası Deneyi'ne ait Etkinlik Çalışma Yapraklarının İncelenmesine İlişkin Bulgular **84**

CERN'de Neler Oluyor'a ait Etkinlik Çalışma Yapraklarının İncelenmesine İlişkin Bulgular **87**

Parçacık Bulmacasının Parçaları'na ait Etkinlik Çalışma Yapraklarının İncelenmesine İlişkin Bulgular **88**

Kuark Kart Oyunu'na ait Etkinlik Çalışma Yapraklarının İncelenmesine İlişkin Bulgular **91**

Etkileşimlerin Doğası'na ait Etkinlik Çalışma Yapraklarının İncelenmesine İlişkin Bulgular **95**

Etkileşimlerin Süreci'ne ait Etkinlik Çalışma Yapraklarının İncelenmesine İlişkin Bulgular **99**

Atom Altı Parçacıklardan Maddeye ait Etkinlik Çalışma Yapraklarının İncelenmesine İlişkin Bulgular **103**

Higgs Bozonu'na ait Etkinlik Çalışma Yapraklarının İncelenmesine İlişkin Bulgular **107**

Madde ve Antimadde'ye ait Etkinlik Çalışma Yapraklarının İncelenmesine İlişkin Bulgular **111**

Parçacıkların İzlerini Sürmek'e ait Etkinlik Çalışma Yapraklarının İncelenmesine İlişkin Bulgular **114**

Feynman Diyagramları'na ait Etkinlik Çalışma Yapraklarının İncelenmesine İlişkin Bulgular **117**

Parçacık Fiziği Başarı Testinin Uygulamasından Elde Edilen Bulgular 121

Kazanımlara Göre EÇY ve PFBT'den Elde Edilen Puan Yüzdelerine Yönelik Bulgular 155

Etkinliklere Göre EÇY ve PFBT'den Elde Edilen Puan Yüzdelerine Yönelik Bulgular 167

Katılımcılara Göre EÇY ve PFBT'den Elde Edilen Puan Yüzdelerine Yönelik Bulgular 179

PFBT'nin Tekrarlı Son Test Puan Yüzde Değerlerine Yönelik Bulgular 194

Etkinlik Değerlendirme Formundan Elde Edilen Bulgular 197

Yarı Yapılandırılmış Görüşmelerden Elde Edilen Bulgular 198

BÖLÜM V 212

SONUÇLAR, TARTIŞMA VE ÖNERİLER 212

Araştırmanın Birinci Problemine Yönelik Sonuçlar 212

Araştırmanın İkinci Problemine Yönelik Sonuçlar 213

Araştırmanın Üçüncü ve Dördüncü Problemine Yönelik Sonuçlar 214

Öneriler 219

KAYNAKLAR 224

EKLER 253

EK 1. Etkinlik Çalışma Yaprakları 254

EK 2. Etkinlik Değerlendirme Formu 298

EK 3. Parçacık Fiziği Başarı Testi 304

EK 4. Eğitici Kılavuzları 308

EK 5. Etkinlik Çalışma Yaprakları Uzman Görüş Formu 344

EK 6. Parçacık Fiziği Başarı Testi Uzman Görüş Formu 345

EK 7. Etik Kurul İzin Belgesi 347

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 1. *Lise Fizik Öğretim Programlarında Bulunan Parçacık Fiziği Kazanımları*.....42

Tablo 2. *Etkinliklerin Adları ve Ait Olduğu Kaynaklar*.....44

Tablo 3. *Etkinlik Çalışma Yapraklarının Yapısal Özellikleri*.....45

Tablo 4. *Etkinlik Çalışma Yaprakları Uzman Grubunun Demografik Özellikleri*.....48

Tablo 5. *Etkinlik Çalışma Yaprakları için Uzman Görüşlerine Göre Hesaplanan KGO Değerleri*.....49

Tablo 6. *Madde Havuzunda Yer Alan Soru Sayılarının Kazanımlara Göre Dağılımı*.....56

Tablo 7. *Parçacık Fiziği Başarı Testi Uzman Grubunun Demografik Özellikleri*.....57

Tablo 8. *Parçacık Fiziği Başarı Testi İçin Uzman Görüşlerine Göre Hesaplanan KGO Değerleri*.....58

Tablo 9. *Parçacık Fiziği Başarı Testinde Yer Alan Madde Numaraları ve Ait Oldukları Kazanımlar*.....59

Tablo 10. *Katılımcıların Demografik Özellikleri*.....65

Tablo 11. *Araştırmanın Uygulama Süreci*.....66

Tablo 12. *EYÇ'lerin Başarı Yüzdelerine Ait Değerlendirmeler*.....71

Tablo 13. *Yarı-Yapılandırılmış Görüşmelerin Nitel Veri Analizinden Elde Edilen Tema, Alt Tema ve Kodlar*.....76

Tablo 14. *Stern-Gerlach Deneyi Etkinliğinde Katılımcıların Yanıtlarının Kategorilere Göre Dağılımı*.....83

Tablo 15. *Sis Odası Deneyi Adlı Etkinlikte Katılımcıların Yanıtlarının Kategorilere Göre Dağılımı*.....85

Tablo 16. *CERN'de Neler Oluyor Adlı Etkinlikte Katılımcıların Yanıtlarının Kategorilere Göre Dağılımı* 87

Tablo 17. *Parçacık Bulmacasının Parçaları Adlı Etkinlikte Katılımcıların Yanıtlarının Kategorilere Göre Dağılımı* 90

Tablo 18. *Katılımcıların Lepton, Baryon ve Mezonlara Dair Ön Bilgileri* 92

Tablo 19. *Etkileşimlerin Doğası Adlı Etkinlikte Katılımcıların Yanıtlarının Kategorilere Göre Dağılımı* 97

Tablo 20. *Katılımcıların Evrendeki Dört Temel Etkileşim Sürecine Verdikleri Yanıtların Kategorilere Göre Dağılımı* 100

Tablo 21. *Katılımcıların Su Molekülü İnşa Çalışmasına Verdikleri Yanıtların Kategorilere Göre Dağılımı* 104

Tablo 22. *Katılımcıların Analoji-1'e Verdikleri Yanıtların Kategorilere Göre Dağılımı* . 109

Tablo 23. *Katılımcıların Analoji-2'ye Verdikleri Yanıtların Kategorilere Göre Dağılımı* 110

Tablo 24. *Katılımcıların Kabarcık Odasındaki İzler Hakkındaki Sorulara Verdikleri Yanıtların Kategorilere Göre Dağılımı* 113

Tablo 25. *Katılımcıların Dedektörlerin Tahminine Verdikleri Yanıtların Kategorilere Göre Dağılımı* 115

Tablo 26. *Katılımcıların Bozunmaların Tahminine Verdikleri Yanıtların Kategorilere Göre Dağılımı* 116

Tablo 27. *Feynman Diyagramları Etkinliğinde Katılımcıların Bozunma Tahminlerine Ait Yanıtların Kategorilere Göre Dağılımı* 118

Tablo 28. *Katılımcıların Feynman Diyagramları Tahminlerine Ait Yanıtların Kategorilere Göre Dağılımı* 119

Tablo 29. *Katılımcıların Soru 1'e Ait Ön ve Son Test Yanıtlarının Kategorilere Göre Dağılımı* 121

Tablo 30. *PFBT'deki Soru 1'e Verilen Yanıtlar* 122

Tablo 31. *Katılımcıların Soru 2'ye Ait Ön ve Son Test Yanıtlarının Kategorilere Göre Dağılımı* 124

Tablo 32. *PFBT'deki Soru 2'ye Verilen Yanıtlar* 124

Tablo 33. *Katılımcıların Soru 3'e Ait Ön ve Son Test Yanıtlarının Kategorilere Göre Dağılımı* 126

Tablo 34. *PFBT'deki Soru 3'e Verilen Yanıtlar* 127

Tablo 35. *Katılımcıların Soru 4'e Ait Ön Test ve Son Test Yanıtlarının Kategorilere Göre Dağılımı* 129

Tablo 36. *PFBT'deki Soru 4'e Verilen Yanıtlar* 129

Tablo 37. *Katılımcıların Soru 5'e Ait Ön ve Son Test Yanıtlarının Kategorilere Göre Dağılımı* 131

Tablo 38. *PFBT'deki Soru 5'e Verilen Yanıtlar* 131

Tablo 39. *Katılımcıların Soru 6'ya Ait Ön ve Son Test Yanıtlarının Kategorilere Göre Dağılımı* 133

Tablo 40. *PFBT'deki Soru 6'ya Verilen Yanıtlar* 134

Tablo 41. *Katılımcıların Soru 7'ye Ait Ön ve Son Test Yanıtlarının Kategorilere Göre Dağılımı* 136

Tablo 42. *PFBT'deki Soru 7'ye Verilen Yanıtlar* 136

Tablo 43. *Katılımcıların Soru 8'e Ait Ön ve Son Test Yanıtlarının Kategorilere Göre Dağılımı* 138

Tablo 44. *PFBT'deki Soru 8'e Verilen Yanıtlar* 138

Tablo 45. *Katılımcıların Soru 9'a Ait Ön ve Son Test Yanıtlarının Kategorilere Göre Dağılımı* 140

Tablo 46. *PFBT'deki Soru 9'a Verilen Yanıtlar* 141

Tablo 47. *Katılımcıların Soru 10'a Ait Ön ve Son Test Yanıtlarının Kategorilere Göre Dağılımı* 142

Tablo 48. *PFBT'deki Soru 10'a Verilen Yanıtlar* 143

Tablo 49. *Katılımcıların Soru 11'e Ait Ön ve Son Test Yanıtlarının Kategorilere Göre Dağılımı* 145

Tablo 50. *PFBT'deki Soru 11'e Verilen Yanıtlar* 145

Tablo 51. *Katılımcıların Soru 12'ye Ait Ön ve Son Test Yanıtlarının Kategorilere Göre Dağılımı* 147

Tablo 52. *PFBT'deki Soru 12'ye Verilen Yanıtlar* 147

Tablo 53. *Katılımcıların Soru 13'e Ait Ön ve Son Test Yanıtlarının Kategorilere Göre Dağılımı* 149

Tablo 54. *PFBT'deki Soru 13'e Verilen Yanıtlar* 150

Tablo 55. *Katılımcıların Soru 14'e Ait Ön ve Son Test Yanıtlarının Kategorilere Göre Dağılımı* 151

Tablo 56. *PFBT'deki Soru 14'e Verilen Yanıtlar* 152

Tablo 57. *Katılımcıların Soru 15'e Ait Ön ve Son Test Yanıtlarının Kategorilere Göre Dağılımı* 153

Tablo 58. *PFBT'deki Soru 15'e Verilen Yanıtlar* 154

Tablo 59. *Kazanım 1'e Göre PFBT ve EÇY Puan Yüzdeleri* 157

Tablo 60. *Kazanım 2'ye Göre PFBT ve EÇY Puan Yüzdeleri* 158

Tablo 61. *Kazanım 3'e Göre PFBT ve EÇY Puan Yüzdeleri* 158

Tablo 62. *Kazanım 4'e Göre PFBT ve EÇY Puan Yüzdeleri* 160

Tablo 63. *Kazanım 5'e Göre PFBT ve EÇY Puan Yüzdeleri* 161

Tablo 64. *Kazanım 6'ya Göre PFBT ve EÇY Puan Yüzdeleri* 161

Tablo 65. *Kazanım 7'ye Göre PFBT ve EÇY Puan Yüzdeleri* 162

Tablo 66. *Kazanım 8'e Göre PFBT ve EÇY Puan Yüzdeleri* 163

Tablo 67. *Kazanım 9'a Göre PFBT ve EÇY Puan Yüzdeleri* 164

Tablo 68. *Kazanım 10'a Göre PFBT ve EÇY Puan Yüzdeleri* 164

Tablo 69. *Kazanımların PFBT'deki İlgili Sorulardan Alınan Ön ve Son Test Puan Ortalamalarının Normallik Testi* 165

Tablo 70. *Kazanımların PFBT'deki İlgili Sorulardan Alınan Ön ve Son Test Puan Ortalamalarının Wilcoxon Tek Örnek İşaret Sıralaması Testi Sonuçları* 166

Tablo 71. *Stern-Gerlach Deneyi Etkinliğine Göre PFBT ve EÇY'den Alınan Puan Yüzdeleri* 168

Tablo 72. *Sis Odası Deneyi Etkinliğine Göre PFBT ve EÇY'den Alınan Puan Yüzdeleri* 169

Tablo 73. *CERN'de Neler Oluyor Etkinliğine Göre PFBT ve EÇY'den Alınan Puan Yüzdeleri* 170

Tablo 74. *Parçacık Bulmacasının Parçaları Etkinliğine Göre PFBT ve EÇY'den Alınan Puan Yüzdeleri*.....171

Tablo 75. *Kuark Kart Oyunu Etkinliğine Göre PFBT ve EÇY'den Alınan Puan Yüzdeleri* 172

Tablo 76. *Etkileşimlerin Doğası Etkinliğine Göre PFBT ve EÇY'den Alınan Puan Yüzdeleri* 173

Tablo 77. *Etkileşimlerin Süreci Etkinliğine Göre PFBT ve EÇY'den Alınan Puan Yüzdeleri* 173

Tablo 78. *Atom Altı Parçacıklardan Maddeye Etkinliğine Göre PFBT ve EÇY'den Alınan Puan Yüzdeleri*.....174

Tablo 79. *Higgs Bozonu Etkinliğine Göre PFBT ve EÇY'den Alınan Puan Yüzdeleri* 175

Tablo 80. *Madde ve Antimadde Etkinliğine Göre PFBT ve EÇY'den Alınan Puan Yüzdeleri* 176

Tablo 81. *Parçacıkların İzlerini Sürmek Etkinliğine Göre PFBT ve EÇY'den Alınan Puan Yüzdeleri* 176

Tablo 82. *Feynman Diyagramları Etkinliğine Göre PFBT ve EÇY'den Alınan Puan Yüzdeleri* 177

Tablo 83. *Etkinliklerin PFBT'deki İlgili Sorulardan Alınan Ön ve Son Test Puan Ortalamalarının Normallik Testi*.....178

Tablo 84. *Etkinliklerin PFBT'deki İlgili Sorulardan Alınan Ön ve Son Test Puan Ortalamalarının Wilcoxon Tek Örnek İşaret Sıralaması Testi Sonuçları* 179

Tablo 85. *Katılımcıların Ön ve Son Test Puan Ortalamalarının Normallik Testi*.....193

Tablo 86. *Katılımcıların Ön ve Son Test Puan Ortalamalarının Wilcoxon Tek Örnek İşaret Sıralaması Testi Sonuçları*.....194

Tablo 87. *Katılımcıların PFBT'nin Ön, Son ve Tekrarlı Son Test Puan Yüzdeleri* 195

Tablo 88. *PFBT'nin Ön, Son ve Tekrarlı Son Testinin Friedman Testi Sonuçları*.....196

Tablo 89. *PFBT'nin Ön, Son ve Tekrarlı Son Testinin Wilcoxon Testi Sonuçları* 196

Tablo 90. *Stern-Gerlach Deneyi Etkinliği Hakkında Yapılan Yarı Yapılandırılmış Görüşmenin Nitel Veri Analizinden Elde Edilen Tema, Alt Tema ve Kodlar*.....199

Tablo 91. *Sis Odası Deneyi Etkinliği Hakkında Yapılan Yarı Yapılandırılmış Görüşmenin Nitel Veri Analizinden Elde Edilen Tema, Alt Tema ve Kodlar*.....200

Tablo 92. *CERN'de Neler Oluyor Etkinliği Hakkında Yapılan Yarı Yapılandırılmış Görüşmenin Nitel Veri Analizinden Elde Edilen Tema, Alt Tema ve Kodlar*.....201

Tablo 93. *Parçacık Bulmacasının Parçaları Etkinliği Hakkında Yapılan Yarı Yapılandırılmış Görüşmenin Nitel Veri Analizinden Elde Edilen Tema, Alt Tema ve Kodlar* 202

Tablo 94. *Kuark Kart Oyunu Etkinliği Hakkında Yapılan Yarı Yapılandırılmış Görüşmenin Nitel Veri Analizinden Elde Edilen Tema, Alt Tema ve Kodlar*.....203

Tablo 95. *Etkileşimlerin Doğası Etkinliği Hakkında Yapılan Yarı Yapılandırılmış Görüşmenin Nitel Veri Analizinden Elde Edilen Tema, Alt Tema ve Kodlar*.....204

Tablo 96. *Etkileşimlerin Süreci Etkinliği Hakkında Yapılan Yarı Yapılandırılmış Görüşmenin Nitel Veri Analizinden Elde Edilen Tema, Alt Tema ve Kodlar*.....205

Tablo 97. *Atom Altı Parçacıklardan Maddeye Etkinliği Hakkında Yapılan Yarı Yapılandırılmış Görüşmenin Nitel Veri Analizinden Elde Edilen Tema, Alt Tema ve Kodlar* 206

Tablo 98. *Higgs Bozonu Etkinliği Hakkında Yapılan Yarı Yapılandırılmış Görüşmenin Nitel Veri Analizinden Elde Edilen Tema, Alt Tema ve Kodlar*.....207

Tablo 99. *Madde ve Antimadde Etkinliği Hakkında Yapılan Yarı Yapılandırılmış Görüşmenin Nitel Veri Analizinden Elde Edilen Tema, Alt Tema ve Kodlar*.....208

Tablo 100. *Parçacıkların İzlerini Sürmek Etkinliği Hakkında Yapılan Yarı Yapılandırılmış Görüşmenin Nitel Veri Analizinden Elde Edilen Tema, Alt Tema ve Kodlar*.....209

Tablo 101. *Feynman Diyagramları Etkinliği Hakkında Yapılan Yarı Yapılandırılmış Görüşmenin Nitel Veri Analizinden Elde Edilen Tema, Alt Tema ve Kodlar*.....210

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1. Karma yöntem araştırmalarında izlenebilecek adımlar.....35

Şekil 2. Etkinliklerin pilot uygulanmasına ait bir fotoğraf.....52

Şekil 3. Pilot uygulamada Stern-Gerlach Deneyi etkinliğinde FÖA'nın verdiği yanıt 69

Şekil 4. Pilot uygulamada Stern-Gerlach Deneyi etkinliğinde FÖB'nin verdiği yanıt.....70

Şekil 5. Pilot uygulamada Sis Odası Deneyi etkinliğinde FÖC'nin verdiği yanıt.....70

Şekil 6. Pilot uygulamada Sis Odası Deneyi etkinliğinde FÖE'nin verdiği yanıt 70

Şekil 7. Stern-Gerlach Deneyi etkinliğinde FÖ1'in cevabı.....83

Şekil 8. Stern-Gerlach Deneyi etkinliğinde FÖ4'ün cevabı.....83

Şekil 9. Sis Odası Deneyi etkinliğinde FÖ2'nin cevabı.....85

Şekil 10. Sis Odası Deneyi etkinliğinde FÖ16'nın cevabı.....85

Şekil 11. Sis Odası Deneyi etkinliğinde FÖ10'un cevabı.....86

Şekil 12. Parçacık Bulmacasının Parçaları etkinliğinde FÖ1'in ön bilgileri 88

Şekil 13. Parçacık Bulmacasının Parçaları etkinliğinde FÖ5'in ön bilgileri 89

Şekil 14. Parçacık Bulmacasının Parçaları etkinliğinde FÖ1'in cevabı.....90

Şekil 15. Parçacık Bulmacasının Parçaları etkinliğinde FÖ12'nin cevabı.....90

Şekil 16. Kuark Kart Oyunu etkinliğinde mezon oluşturma oyunu 93

Şekil 17. Kuark Kart Oyunu etkinliğinde baryon oluşturma oyunu.....94

Şekil 18. FÖ12'nin baryon oluşturma kart oyununa ait cevabı.....94

Şekil 19. FÖ16'nın mezon oluşturma kart oyununa ait cevabı 95

Şekil 20. Etkileşimlerin Doğası etkinliğinde FÖ7'nin ön bilgileri 96

Şekil 21. Etkileşimlerin Doğası etkinliğinde FÖ9'un cevabı.....97

Şekil 22. Atom Altı Parçacıklardan Maddeye etkinliğinde FÖ1'in ön bilgileri 104

Şekil 23. Atom Altı Parçacıklardan Maddeye etkinliğinde FÖ2'nin cevabı.....105

Şekil 24. Atom Altı Parçacıklardan Maddeye etkinliğinde FÖ7'nin cevabı.....105

Şekil 25. Feynman diyagramları etkinliğinde FÖ9'un bozunma denklemlerine yönelik cevapları.....118

Şekil 26. Feynman Diyagramları etkinliğinde FÖ10'nun bozunma diyagramlarına yönelik cevapları.....120

Şekil 27. Feynman Diyagramları etkinliğinde FÖ11'in bozunma diyagramlarına yönelik cevapları.....120

Şekil 28. Kazanımlarla ilgili EÇY'den alınan puan yüzdeleri 155

Şekil 29. Kazanımlara göre PFBT'den alınan puan yüzdeleri 156

Şekil 30. Etkinliklere göre EÇY'den alınan puan yüzdeleri 167

Şekil 31. Etkinliklere göre PFBT'nin ön ve son test puan yüzdeleri 168

Şekil 32. Katılımcıların EÇY'den aldığı puan yüzdeleri 180

Şekil 33. Katılımcılara göre PFBT'den alınan ön ve son testin puan yüzdeleri 180

Şekil 34. FÖ1'in PFBT'nin ön ve son testine verdiği cevaplara ait puan dağılımı.....181

Şekil 35. FÖ2'nin PFBT'nin ön ve son testine verdiği cevaplara ait puan dağılımı.....182

Şekil 36. FÖ3'ün PFBT'nin ön ve son testine verdiği cevaplara ait puan dağılımı.....182

Şekil 37. FÖ4'ün PFBT'nin ön ve son testine verdiği cevaplara ait puan dağılımı.....183

Şekil 38. FÖ5'in PFBT'nin ön ve son testine verdiği cevaplara ait puan dağılımı.....183

Şekil 39. FÖ6'nın PFBT'nin ön ve son testine verdiği cevaplara ait puan dağılımı.....184

Şekil 40. FÖ7'nin PFBT'nin ön ve son testine verdiği cevaplara ait puan dağılımı.....184

Şekil 41. FÖ8'in PFBT'nin ön ve son testine verdiği cevaplara ait puan dağılımı.....185

Şekil 42. FÖ9'un PFBT'nin ön ve son testine verdiği cevaplara ait puan dağılımı.....185

Şekil 43. FÖ10'un PFBT'nin ön ve son testine verdiği cevaplara ait puan dağılımı.....186

Şekil 44. FÖ11'in PFBT'nin ön ve son testine verdiği cevaplara ait puan dağılımı.....186

Şekil 45. FÖ12'nin PFBT'nin ön ve son testine verdiği cevaplara ait puan dağılımı.....187

Şekil 46. FÖ13'ün PFBT'nin ön ve son testine verdiği cevaplara ait puan dağılımı.....187

Şekil 47. FÖ14'ün PFBT'nin ön ve son testine verdiği cevaplara ait puan dağılımı.....188

Şekil 48. FÖ15'in PFBT'nin ön ve son testine verdiği cevaplara ait puan dağılımı.....188

Şekil 49. FÖ16'nın PFBT'nin ön ve son testine verdiği cevaplara ait puan dağılımı.....189

Şekil 50. FÖ17'nin PFBT'nin ön ve son testine verdiği cevaplara ait puan dağılımı.....189

Şekil 51. FÖ18'in PFBT'nin ön ve son testine verdiği cevaplara ait puan dağılımı.....190

Şekil 52. FÖ19'un PFBT'nin ön ve son testine verdiği cevaplara ait puan dağılımı.....190

Şekil 53. FÖ20'nin PFBT'nin ön ve son testine verdiği cevaplara ait puan dağılımı.....191

Şekil 54. FÖ21'in PFBT'nin ön ve son testine verdiği cevaplara ait puan dağılımı.....191

Şekil 55. FÖ22'nin PFBT'nin ön ve son testine verdiği cevaplara ait puan dağılımı.....192

Şekil 56. FÖ23'ün PFBT'nin ön ve son testine verdiği cevaplara ait puan dağılımı.....192

Şekil 57. Katılımcılara göre EDF puan yüzdeleri 197

Şekil 58. Etkinliklere göre EDF puan yüzdeleri.....198

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

MEB	:	Milli Eğitim Bakanlığı
CERN	:	Avrupa Nükleer Araştırma Merkezi
IPPOG	:	International Particle Physics Outreach Group
BHÇ	:	Büyük Hadron Çarpıştırıcısı
TDK	:	Türk Dil Kurumu
FL	:	Fen Lisesi
AL	:	Anadolu Lisesi
KGÖ	:	Kapsam Geçerlik Ölçütü
KGO	:	Kapsam Geçerlik Oranı
KGİ	:	Kapsam Geçerlik İndeksi
NTW	:	Netzwerk Teilchenwelt
EBA	:	Eğitim Bilişim Ağı
TÖÇ	:	Türk Öğretmen Çalıştayı
SNOLAB	:	Sudbury Neutrino Observatory Laboratory
vd.	:	ve diğerleri
vb.	:	ve benzeri
Bkz.	:	Bakınız
EDF		Etkinlik Değerlendirme Formu
PFBT	:	Parçacık Fiziği Başarı Testi
EÇY	:	Etkinlik Çalışma Yaprağı
EĞK	:	Eğitici Kılavuzları
A	:	Cronbach Alfa Katsayısı
ÖSYM	:	Öğrenci Seçme ve Yerleştirme Merkezi
YÖK	:	Yüksek Öğretim Kurumu
DC	:	Doğru cevap
KDC	:	Kısmen doğru cevap
YC	:	Yanlış cevap
C	:	Cevapsız

BÖLÜM I

GİRİŞ

Bu bölümde araştırmanın problem durumu, amacı, önemi, sınırlılıkları ve varsayımları hakkında bilgi verilmiştir. Ayrıca araştırmada kullanılan bazı kavramların tanımları da bulunmaktadır.

Problem Durumu

Bilim ve teknolojideki gelişmelerin çok hızlı olması ve bilgiye erişimin kolaylaşması eğitim ve öğretimin niteliklerinin değişmesini zorunlu kılmıştır. Temel bilimlerin içerisinde önemli yeri olan fizik alanında, eğitim-öğretimin istenilen düzeyde olması için fizik eğitimindeki eksikliklerin belirlenip uygun çözüm yollarının geliştirilmesi gerekmektedir. Ancak bu sayede bilim ve teknolojideki hızlı gelişmeleri takip edebilecek, temel bilimlere hakîm ve araştırmacı ruhlu bilim insanlarının yetiştirilmesi sağlanabilir (Morgil & Yılmaz, 1999). Arons'tan aktaran Munk-Jakobsen (2018), fizik eğitiminin çoğu zaman öğrencilerin bölüm sonu problemlerini doğru bir şekilde çözebilmelerine ve laboratuvar uygulamalarında doğru sonuca ulaşmalarını sağlamaya odaklandığını belirtmektedir. Ancak fizik eğitiminde bilimin günlük yaşamda ne kadar önemli ve güncel olduğu göz ardı edilmektedir.

Bugün fizikte gelinen aşamada "Herşeyin Teorisi" olarak adlandırılan atom altı parçacıklardan kozmolojiye kadar tüm fiziksel olay ve etkileşmeleri içine alan fizik, kuantum mekaniği ile görelilik kuramlarını birleştirme çabalarının bir sonucudur. Kuantum mekaniği; parçacık, nükleer, atom, molekül ve katıhal fiziği ile fizikokimya, modern optik, astrofizik ve kozmoloji gibi fizik dallarının vazgeçilmez bir parçasıdır. Eğer doğayı

anlamak istiyorsak, kuantum ve görelilik kuramlarının üniversitelerde eğitim ve öğretimine önem vermemiz gerekir (Özcan, 2009).

Ergin (2011) tarafından yapılan çalışmada, fizik öğretmen adaylarının atom altı parçacık ve hızlandırıcılara dair görüşleri açık uçlu sorularla ortaya çıkarılmak istenmiştir. Çalışmanın sonucunda fizik öğretmen adaylarının anket sorularını anlamada ve açıklama yapmada zorlandıkları, atom ve yapısı hakkında açıklama yaparken atom altı parçacıklar ve parçacıklar arası etkileşmeleri içeren ifadeleri kullanmadıkları ayrıca mezon, müon, gluon, graviton, Z bozonu ve foton kavramlarında yabancılık çektikleri tespit edilmiştir. Buradan çıkan sonuç öğretmen adaylarının hem lisede hem de üniversitede aldığı derslerden atom altı parçacıklar konusuna ait bilgileri içselleştiremediklerini ortaya koymaktadır.

Ortaöğretim fizik dersi öğretim programı incelendiğinde; ağırlıklı olarak mekanik, optik ve elektrik konularını içerdiği görülmektedir. Fizik eğitimi alanında yapılan gerek ulusal alan yazında gerekse uluslararası alan yazındaki çalışmaların yoğunluğunun klasik fizik alanında olduğu görülmektedir. Kaltakçı vd. (2017) tarafından 1995-2015 yılları arasında Türkiye'de fizik eğitimine yönelik yayınlanan makalelerin içerik analizinin yapıldığı çalışmada; en fazla %23,5 ile temel fizik alanında çalışıldığı tespit edilmiştir. Temel fizik alanını ise %16,3 değeri ile diğer fizik konuları takip etmektedir. Diğer fizik konuları içerisinde ise modern fizik en fazla çalışılan fizik eğitimi konusu olmaktadır. Parçacık fiziği ya da atom altı parçacıklar konularına bakıldığında ise oldukça az çalışıldığı tespit edilmiştir (Demirci, 2016; Ergin, 2011; Munk-Jakobsen, 2018; Öğreten, 2019; Sağlık, 2013). Bu çalışmalarda fizik ya da fen bilgisi öğretmen adaylarının parçacık fiziği hakkındaki görüşleri tespit edilmiş ancak tespit edilen görüşleri geliştirmeye yönelik herhangi bir çalışmaya ise rastlanamamıştır.

Fischler ve Lichtfeldt (1992) ve Mashhadi (1996) kuantum fiziğinin 100 yıldır var olmasına rağmen, fizik eğitimi müfredat konularının hala klasik fizik üzerine temellendirildiğini belirtmektedir. Ülkemizde Milli Eğitim Bakanlığı (MEB) ortaöğretim fizik dersi öğretim programına bakıldığında ise parçacık fiziği, 12. sınıf fizik dersinin II. yarıyıl kazanımları içerisinde yer almaktadır. Öğrenciler bu zaman diliminde giderek artan bir önemle üniversiteye giriş sınavına yönelik çalışmalarına ağırlık vermektedir. Müfredatın içeriği ne kadar güncel ya da günümüz bilimini içerse de, öğrencilerin motivasyonu yükseköğretime geçiş sınavına yöneliktir.

Öğrenci ve öğretmenlerin birincil kaynağı olan MEB'in hazırladığı 12. sınıf fizik Anadolu lisesi (AL) ve fen lisesi (FL) ders kitapları, öğretim programına bağlı olarak soyut olan kavramlar içermektedir. Bunun sonucu olarak ortaöğretim fizik ders kitapları içerisinde en fazla bilim tarihiyle ilişkili anlatımlara yer verilen %14.3'lük oranla 12. sınıf fizik ders kitaplarının olduğu görülmüştür (Tokuş, 2018). Soyut kavramlar içeren fizik konularının mümkün olduğunca uygulamalı olarak sunulması gerekir. Öğrencilerin konuları günlük hayatla ilişkilendirilmeleri sağlanmalıdır (Aycan & Yumuşak, 2003). 12. sınıf MEB ders kitaplarında en çok eleştirilen noktalardan biri etkinliklerin olmamasıdır (Arıkan, Karataş & Kavcar, 2017). Bu kitaplarda okul dışında öğrenmeye yönelik bir yönlendirmeye de rastlanmamaktadır (Oktay, Üner & Şen, 2021).

Modern fizik öğretiminde; günlük yaşamla olan bağlantısının kurulamaması, kullanılan matematik daha üst seviyede olduğu için modern fizik kavramlarının zihinde canlandırılamaması, gerekli olan matematiği anlamanın zorluğu ve fizikte günlük yaşamda sürekli karşılaşacağımız görsel modelin fazla bulunmaması zorlukların nedenleri olarak belirtilmektedir (Abhang, 2005; Özcan, 2009).

Duran ve Ekici (2018) modern fizik kavramlarının öğretiminde izlenebilecek yollardan biri olarak özel öğretim yöntemlerinin kullanılabileceğinden bahsetmektedir. Balta'nın (2014) profesyonel gelişim programının fizik öğretmenlerinin modern fizik ünitesindeki bilgilerine öğrencilerinin başarısına etkisine incelediği çalışmasında, "öğretmenin, öğretmene öğretmesi" isimli, birbirine yakın okulların öğretmenlerinin haftada bir toplandığı, bir sonraki hafta öğrencilerine sunacakları konuyu birbirlerine anlattığı, tartıştığı ve öğretme deneyimlerini paylaştıkları yeni bir hizmet içi eğitim kursunun başarılı bir şekilde uygulanması ve pozitif etkileri, etkili profesyonel gelişim karakteristiklerine sahip programların öğretmenlerin bilgisini geliştirebileceğini ve öğrencilerinin başarısına pozitif etki yapabileceğini göstermiştir. Ağa (2017), öğretmen adaylarının kullanılan metaforik kavramlar sayesinde, modern fizikte kullanılan metaforlarla soyut ve bilinmeyen kavramları daha kolay anladıkları ve gerekli geri çağırımları yaparak kavramları yorumlayabildikleri gözlemlemiştir. Kural (2015), Modern Fizik Kavram Testi ve yarı yapılandırılmış görüşmelerden elde edilen verilerin önerilen sıcak kavramsal değişim için öğretim modelinin öğrencilerin modern fizik kavramlarına yönelik kavramsal değişimlerinde onlara yardımcı olma noktasında başarılı olduğunu göstermiştir. Özdemir (2015) bilgisayar destekli öğretim modelinin öğrencilerin kavramsal değişimine, üstbiliş ve motivasyon düzeylerine olumlu katkıları olduğu göstermiştir.

Ulusal alan yazında günümüz fiziği ile ilgili çalışmaların daha çok modern fizik ve kuantum fiziği konularına odaklanıldığı görülmektedir (Aksakallı, 2014; Balta, 2014; Demir, 2014; Eryılmaz, 2014; Hassan Zadeh Barani, 2014; Özdemir, 2015; Paliç Şadoğlu, 2014; Yeşildağ, 2009). Ancak parçacık fiziği ya da atom altı parçacıklarla ilgili herhangi bir etkinlik ya da çalışma yaprağı geliştirilmesine yönelik çalışmaya ise rastlanamamıştır. Konu alanına bağlı olarak geliştirilecek öğretim etkinlikleri ile alan yazında eksik olduğu düşünülen bu duruma katkı sağlayacağı düşünülmektedir. Bu bağlamda ulusal alan yazında;

- Atom altı parçacıkların öğretimi üzerine çalışmaların eksikliğinin,
- Parçacık fiziği öğretimine yönelik öğretim etkinliklerinin eksikliğinin,
- Parçacık fiziği öğretimine yönelik öğretim etkinliklerinin nasıl kullanılması gerektiğine yönelik çalışmaların eksikliğinin giderileceği düşünülmektedir.

Bu nedenlerle mevcut çalışmanın yapılmasının gerekli olduğu düşünülmektedir. Bu eksiklikler dikkate alındığında atom altı dünyaya ait öğretim etkinliklerinin geliştirilmesi ve öğretim ortamlarında kullanımının yaygınlaştırılması; bu tür etrkinlik geliştirme çalışmalarının önemini arttırmaktadır.

Araştırmanın Önemi

MEB ortaöğretim fizik dersi öğretim programına göre (2018), öğretim programının uygulanmasında dikkat edilecek hususlar kısmında:

> "…Öğretim materyali hazırlama ve derse hazırlıklı gelmenin öğretmenin asli görevleri arasında olduğu unutulmamalıdır. Öğretmenler, fizik dersi ile ilgili bilgi, beceri, değer ve tutumları öğrencilerine kazandırırken sadece ders kitaplarına bağlı kalmamalıdırlar. Sınıf düzeyi, öğrencilerin ilgi, hazır bulunuşluk düzeyleri, öğrenme stilleri gibi unsurları göz önünde bulundurarak kazanımlarla tutarlı olacak şekilde öğretim materyalleri (bilgi notu, sunum, etkinlik, çalışma kâğıtları, proje, okuma parçaları vb.) yapılandırmalı ve kullanmalıdırlar. Öğretim materyalleri hazırlanırken zümre öğretmenleri ve diğer disiplinlerin öğretmenleriyle iş birliği yapılmalıdır."

denilmektedir. MEB 12. sınıf fizik ders kitabı incelendiğinde atom altı dünyaya ait konularda öğrencilerin düşünme becerilerine katkı sağlayacak etkinliklerin sunulmadığı görülmektedir. Ders kitapları, basılı materyallerin en sık kullanılanı ve öne çıkanlarıdır (Ceyhan & Yiğit, 2004; Demirel, 1999; Güzel & Adıbelli, 2011). Ayrıca yeni geliştirilen müfredatları öğrencilerin öğrenmesinde önemli bir rol oynayan öğretmenler için yeni materyallere gereksinim duyulmaktadır (Coenders, Terlouw, Dijkstra & Pieters, 2010). Bu nedenle yapılan araştırma sonucunda atom altı dünyaya ait etkinliklerin geliştirilmesiyle

öğretmenlerin öğretim programının hedeflerine ulaşmaları adın; uygulama aşamalarında fazla zaman harcamadan, özel ortama gerek duymadan, basit araç-gereçlerle yapılabilecek etkinlikleri kullanmalarına olanak sağlanacaktır.

Fizik, içerdiği konular itibariyle temel fen bilimleri arasında anlaşılması kadar anlatılması da güç bir ders olarak bilinmektedir (Bozkurt & Sarıkoç, 2008). Ortaöğretim fizik öğretim programında yer alan fizik konularını öğrencilerin zorluk derecesine göre algılama durumlarına ve zorlanma nedenlerine bakıldığında; öğrenciler en çok soyut kavramlar içeren, öğrenmede ezberleme yoluna gittikleri ve ders kitabında sıkıcı buldukları konularda zorlandıkları belirlenmiştir (Aycan & Yumuşak, 2003). Parçacık fiziği atom altı boyutunda kavramlar içerdiğinden anlaşılması zor konu ve kavramları içermektedir. Bu durum öğrencilerin derse olan ilgilerinin azalmasına neden olabilir. Ayrıca söz konusu olan kavram ya da olayların soyut olan açıklamaları, konuya ait olan açıklamaların akılda kalıcılığını azaltmaktadır (Çepni, Ayas, Johnson & Turgut, 1997). İstenilen ise bu kavramların kalıcılığı için somutlaştırılarak öğrenci tarafından anlamlandırılmasını sağlamaktır (Sarı & Güven, 2013). O halde fizik dersinin bu kadar güncel bir konusu olan parçacık fiziğini anlamak için gözlenemeyen ve dokunulamayan atomik seviyedeki olayları zihinde somut hale getirmek üzerine kurulabilir, bu konunun öğretilmesinde karşılaşılan zorlukların üstesinden gelmek için sınıf içi çeşitli etkinliklerden faydalanılabilir. Böylece çok özel koşullarda anlık olarak gerçekleşen olayların daha uzun sürede ve görselleştirerek açıklanması, konunun öğretmenler tarafından öğrenilmesine büyük katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

Günümüzde parçacık fiziği alanında geniş çapta, yüksek maliyetli ve ülkelerin biraraya gelerek oluşturduğu iş birlikler vasıtasıyla araştırmalar yapılmaktadır. Bu sayede parçacık fiziğinde büyük gelişmeler sağlanmakta aynı zamanda bu alanda çeşitli bilim insanları, mühendisler ve öğrenciler yetişmektedir. Elde edilen sonuçlar parçacıkların doğasını ve özelliklerini detaylı olarak anlaşılmasında, fiziksel yasaların netleştirilmesinde veya değiştirilmesinde ve yeni kuşak deneylerin tasarlanmasında çok önemli roller oynamaktadır (Kamışcıoğlu, 2022).

İsviçre-Fransa sınırında yer alan Avrupa Nükleer Araştırma Merkezi (CERN) adındaki hızlandırıcı tesisi pek çok ülke ve bu ülkedeki araştırmacılar için büyük öneme sahiptir. Bu tesis fizikte yeni çığırlar açarken; tıp, bilgisayar, finans ya da ekonomi gibi farklı alanlara yönelik bilim insanlarına da çalışma sahası sunmaktadır (Keşif Işıldakları, t.y.). Böyle

önemli tesislerin ülkelerin bünyesinde bulunması yalnızca bilimi ileri götürmekle kalmaz, o ülkenin savunulmaya değer olduğunu da gösterir (Ünel, 2018). Bu gibi tesislerin ülkemizde de kurulması için bu alana yönelik öğrencilerimizin ilgi ve merakının körüklenmesi gerektiği düşünülmektedir.

Gelişerek sürekli yeni kavramların ortaya çıktığı bu alanda geri kalmak istemiyorsak ve fizik biliminde güncele dair bir eğitimi uygulamak istiyorsak; parçacık fiziğine ve bu alanda yapılan güncel faaliyetlere gereken önemi vermemiz gerekmektedir. Bu önem son yıllarda ülkemizde uygulanan yapılandırmacı öğrenme kuramına dayalı programımızın da bir gereğidir. Bu alan gerek karmaşık matematiğin olması açısından, gerekse soyut olması açısından anlaşılması zor bir alandır. Ayrıca sürekli gelişen ve değişen maddenin yapısıyla ilgili günümüze kadar süregelen kavram yanılgısına temel oluşturabilecek öğrenmelerimizi sarsacak bir yapısı vardır. Bu yüzden bu alanla ilgili araştırmaların yapılması ve öğretimine yönelik yöntem ve tekniklerin çalışılması zorunlu hale gelmiştir (Ergin, 2011).

Toplum olarak ilerleyebilmek ve gelişmiş ülkelerdeki refah düzeyine erişebilmek için; okullarda iyi bir eğitimin veriliyor olması gerektiği bilinen bir gerçektir. Ancak okullarda iyi bir eğitimin verilebilmesi yani öğrencilerin başarılı olabilmeleri için okuldaki öğretimin niteliğinin yükseltilmesi gereklidir. Öğrencinin merakını körükleyerek bunun eyleme dönüşmesini sağlayacak olan kişiler ise öğretmenlerdir. Bilime olan ilginin ve başarının artması, nitelikli öğretmenler olmadan önemli düzeyde yükseltilemez. Başka bir ifadeyle, iyi öğrencilere sahip olunabilmesi için iyi öğretmenlere ihtiyaç vardır (Seferoğlu, 2004).

Öğretim programının uygulama alanı olan okullarda, uygulama sorumluluğunu yerine getirecek olması bakımından önemli bir konumda bulunan öğretmenlerin, geliştirilmiş olan programı ilkelerine uygun olarak uygulama sorumlulukları bulunmaktadır (Ünver, 2021). Ancak bazı konularda yalnızca öğretim programının belirtildiği gibi uygulanması, kavramların soyut olarak öğrenimine neden olabilir. Bu nedenle öğretmenler hem öğretim programını etkin bir biçimde uygulanmasında görevli iken hem de mevcut programın geliştirilmesinde de aktif rol almaktadır (Yüksel, 1998).

Yapılan araştırmalar temel parçacık fiziğinin, astronomi ve görelilik gibi konularla birlikte öğrencilerin ilgisini çeken fizik konularının başında geldiğini ortaya koymaktadır (Swinbank, 1992). Günümüzde özellikle 2012 yılında Higgs parçacığının keşfi ile toplumun hızlandırıcılar ile parçacık fiziğine yönelik olan ilgi ve merakı oldukça artmıştır (Akgün vd., 2014). Toplumların teknolojide birçok gelişmeye ilham veren ve vermeye de

devam edecek olan bu alana olan ilgi ve merak haksız değildir. Evrenin oluşumunda rol alan en temel parçacığı bulma serüveni ile başlayan çalışmalar, her an yeni bir buluşla desteklenebilir ya da yeni bir kurama kapı açabilir (Keşif Işıldakları, t.y.). Okullarımızda çeşitli eğitim basamağındaki öğrencilerin de bu konuya yönelik çeşitli soruları olabilir ve öğrenciler bu sorularını fizik öğretmenlerine yöneltebilir. Bilim ve bilim insanına yönelik olumlu tutumun geliştirilmesi için öğrencilerin bilime olan bu ilgisini yakalamak ve bilimsel araştırmaya olan meraklarını körüklemek; fizik öğretmenlerine düşen görevlerden belki de en önemlisidir (Durmaz & Özyıldırım, 2005). İşte bu sebeple fizik öğretmenlerine bu alanı tanıtmak gerekli görülmektedir. Bu alanda soyut bilginin somutlaşmasını sağlayacak özel etkinliklerin tasarlanması gerektiği düşünülmektedir. Bu noktada ise araştırmanın önemi ön plana çıkmaktadır. Bu nedenlerle mevcut çalışmanın yapılmasının gerekli olduğu düşünülmektedir. Bu eksiklikler dikkate alındığında atom altı dünyaya ait öğretim etkinliklerinin geliştirilmesi ve öğretim ortamlarında kullanımının yaygınlaştırılması; bu tür geliştirme çalışmalarının önemini arttırmaktadır.

Araştırmada fizik öğretmenleri için parçacık fiziği konu alanına yönelik geliştirilen sınıf içi öğretim etkinlikleri uygulanacaktır. Sonrasında ise parçacık fiziğine yönelik uygulanan etkinliklerin fizik öğretmenlerinin alan bilgilerine olan etkisi incelenecektir.

Araştırmanın Amacı

Modern fizik konuları ortaöğretim fizik öğretim programında bulunmasına rağmen matematik ve kavramsal zorluklar sebebiyle öğretilmekten kaçınılan konulardır. Klasik fizik, günlük deneyimlerimizde işe yaramasına rağmen bu evreni yeterince tanımlamaz. Eğiticiler öncelikle klasik fizik kavramlarının öğretilmesi, modern fizik kavramlarının ise daha ileri seviyelere bırakılması gerektiği gibi bir algıya sahiptir. Oysa yapılan çalışmalar daha erken yaşlarda modern fizik kavramlarının öğretiminin başarılı bir şekilde yapılabileceğini göstermektedir (Kaur, Blair, Moschilla, Stannard & Zadnik, 2017; Kaur vd., 2020; Shabajee & Postlethwaite, 2000). Dahası modern fizik günlük yaşamımızı derinden etkileyen birçok teknolojinin temelini oluşturur. Bir diğer önemli nokta da fiziği 'bitmiş' olarak değil, devam eden bir girişim olarak sunmasıdır (Passon, Zügge & Grebe-Ellis, 2019).

Modern fizik konularından biri olan parçacık fiziği CERN ve deneyleri ile günümüzde oldukça popülerdir. CERN ile iş birliği içinde olan ülkeler, 1998 yılından bu yana ortaokul

ve lise öğretmenleri için ana dillerinde eğitim çalıştayları düzenlemektedir (Özdemir, 2020). 1998'den 2014'e kadar Türkiye'den bu programa sadece 3 kişi katılmışken, 2014 yılının Şubat ayında bu sayı 36'ya çıkmıştır (Akgün vd., 2014). Bunun nedeni CERN yetkililerinin 2012 yılının Temmuz ayında "Higgs bozonunun kütlesine eşdeğer kütleye sahip bir parçacık bulduk" açıklamasının Türkiye'deki basında "Tanrı parçacığı bulundu" gibi dikkat çeken haberlerle halka yansıtılmasıyla ilginin artmasıdır. Medyada parçacık fiziği, astrofizik veya kozmoloji kapsamı göz önüne alındığında; öğrencinin ilgisi yakalanarak fiziğin çekiciliği arttırmıştır (Passon vd., 2019; Wiener, Woithe, Brown & Jende, 2016). Bu açıdan bakıldığında parçacık fiziği son yılların en popüler konularından olmuştur. Özellikle CERN'de yapılan deneylerin medyada yer alması, bu konunun herkes tarafından ilgi görmesini sağlamıştır (Özkan, 2017).

Türkiye'de parçacık fiziği konuları 2007 yılından itibaren lise fizik müfredatında yer almaya başlamıştır. Ancak bu konular 12. sınıfın son döneminde bulunmaktadır ve bu dönem sonunda öğrenciler üniversite giriş sınavına hazırlık yapmaktadır. Ayrıca üniversite sınavlarında çıkmış soruların konu dağılımı incelendiğinde, modern fiziğe yönelik konuların çıkma olasılığının oldukça düşük olduğu görülmektedir (Ayvacı, Yamak & Duru, 2018). Bu durum öğrenciler ve öğretmenler tarafından parçacık fiziği konularının ihmal edilmesine sebep olabilir. Buna ek olarak, fizik öğretmenlerinin lisans eğitimi sırasında parçacık fiziği hakkında çok kısıtlı bilgi içeren derslerin, parçacık fiziği alan bilgisinin hızlı değişimine ayak uyduramaması da problemin başka bir yönüdür. Bu da fizik öğretmenlerinin soyut olan parçacık fiziği alan bilgilerini öğrencilerine nasıl kazandıracağı hakkında somut içerikli etkinlik ya da günlük hayat örneklerine olan ihtiyaçlarını beraberinde getirmektedir. Günümüz bilimini öğrencilere sevdirmek ve bu alanda bilime katkıda bulunmalarına ilham vermek, fizik öğretmenlerinin en önemli görevlerinden biri olduğu düşünülmektedir. Bu konuda bilimsel hata içermeyen, sade bir dil kullanan içerikler ve kolay malzemelerle yapılabilecek materyallerin ya da deneylerin tasarlanmasının gerekli olduğu düşünülmektedir. Bu nedenlerden dolayı, bu çalışmada parçacık fiziği konu alanına bağlı etkinlikler oluşturmak ve fizik öğretmenlerinin parçacık fiziği hakkındaki bilgilerini geliştirmek amaçlanmıştır.

Araştırmanın Problemleri

Araştırmanın öncelikli amacı, fizik öğretmenlerinin parçacık fiziği konusuna bağlı alan bilgilerini geliştirmek amacıyla etkinlikler tasarlamaktır. Bir diğer amacı ise geliştirilen bu etkinliklerin etkisini tespit etmek için açık uçlu sorulardan oluşan bir başarı testi geliştirmektir. Bu iki amaç doğrultusunda araştırmada aşağıdaki problemlere cevap aranmaktadır:

1. Parçacık fiziği konusuna yönelik alan bilgileri tespit eden bir parçacık fiziği başarı testi geliştirilebilir mi?
2. Parçacık fiziği konusunun öğretimine yönelik etkinlikler geliştirilebilir mi?
3. Fizik öğretmenlerinin parçacık fiziğine yönelik alan bilgi düzeyleri nasıldır?
4. Uygulanan etkinliklerin fizik öğretmenlerinin parçacık fiziği konusuna ait bilgi düzeylerinin gelişimine etkisi nedir?

Araştırmanın Varsayımları

Araştırma şu varsayımlar kapsamında yapılmıştır:

1. Araştırmacı tarafından yapılan alan araştırması, kuram ve yöntem bakımından yeterlidir.
2. Fizik öğretmenlerinin hazır bulunuşluk seviyeleri uygulama için yeterlidir.
3. Çalışmanın iç güvenirliğini tehdit edebilecek tüm değişkenlerin etkisi çalışma boyunca en aza indirgenmeye çalışılmıştır.
4. Fizik öğretmenlerinin parçacık fiziğine karşı ilgilerinin eşit düzeyde olduğu varsayılmıştır.
5. Fizik öğretmenlerinin çalışmaya katkıda bulunurken gerçek beceri, samimiyet ve duygularını yansıttıkları varsayılmıştır.
6. Uygulama ve veri toplama sürecince fizik öğretmenleri arasında olumlu ya da olumsuz herhangi bir etkileşim olmamıştır.
7. Araştırma için seçilen veri toplama yöntemleri; nitelik, süre ve maliyet açısından araştırmanın konusuna uygun yöntemlerdir.
8. Analizler için başvurulan uzman görüşlerinde objektif olunduğu kabul edilmiştir.
9. Araştırmaya katılan öğretmenlerin etkinliklerdeki sorulara içtenlikle ve yansız bir şekilde cevap verdikleri kabul edilmiştir.

Araştırmanın Sınırlılıkları

Araştırmada şu sınırlılıklar söz konusudur:

1. Etkinliklerin geliştirilme aşamasında, etkinlik çalışma yaprakları fizik öğretmenlerine yüz yüze uygulanmak üzere tasarlanmıştır. Aynı zamanda grup çalışması ile grupların tartışarak çalışmadaki doğru cevaplara ulaşmaları amaçlanmıştır. Ancak COVID-19 küresel salgını sebebi ile araştırmanın pilot ve asıl uygulaması, 2020-2021 eğitim-öğretim yılında uzaktan eğitimle çevrim içi olarak yürütülmüştür.
2. Uzaktan eğitim sürecinde yürütülen etkinlik ve uygulamalara olumsuz etki edebilecek hususlar (internet hızı, kullanılan teknolojik araçların niteliği vb.) araştırma kapsamında dikkate alınmamıştır.
3. Araştırmada yalnızca MEB Fizik Öğretim Programı'nda yer alan parçacık fiziğiyle ilgili kavramlar seçilerek çalışmaya dâhil edilmiştir.
4. Araştırma gönüllü 23 fizik öğretmeniyle yapılmıştır.

Tanımlar

Bu kısımda araştırmada tanımları ortaya konulması gereken ve araştırmanın temelini oluşturan parçacık fiziğiyle ilgili olan kavramlar ile etkinlik ve çalışma yaprağı kavramlarının tanımı yer almaktadır.

Parçacık Fiziği

Witten (1989) parçacık fiziğini yüzlerce yıllık doğa kanunlarını anlama çabasının modern bir ismi olarak tanımlamıştır. Parçacık fiziği en temel düzeyde maddenin yapı taşlarının neler olduğunu ve bu temel yapı taşlarının birbirleri ile nasıl etkileştiklerini anlamaya çalışır. Maddenin temel yapı taşlarını ve özelliklerini bilmek sadece küçük maddelerle ilgili değil, galaksilerin ve evrenin nasıl oluştuğu, onların nasıl geliştiği hakkında bilgi verir. Parçacık fiziğinin Standart Modeli, temel parçacıkları ve onlar arasındaki güçlü, elektromanyetik ve zayıf etkileşmeleri açıklayan (kütle çekimi dahil değil) bir modeldir (Ozansoy, 2019).

Parçacık fiziği, maddenin ve etkileşimlerinin altyapısını inceleyen bilim dalıdır. Bir anlamda en küçüğün bilimidir. En küçükler -atom altı parçacıklar- bir araya gelerek

üzerinde yaşayanlarla birlikte dünyamızı, başka gezegenleri, yıldızları yani evrenimizin içindeki her şeyi oluşturur. Farklı boyutları farklı bilim dalları inceler. Metre seviyesini inceleyen dal mekanik adını almaktadır. Bu seviyede görülenler; insan boyutunda nesnelerdir ve gözlemler gözle yapılır. Boyut büyüdükçe önce güneş sistemimizdeki diğer gezegenleri sonra başka yıldız sistemlerini daha sonra da başka galaksileri ve evrenin en uzak köşeleri gözlemlenir. Bu boyutlarla ilgilenen dallara da sırasıyla astronomi, astrofizik ve kozmoloji denir. Kozmoloji bilimi 10^{21} - 10^{22} metre seviyesini açıklar. Bizden bu kadar uzakta olan gök cisimlerini çıplak gözle görmek mümkün değildir. Çok gelişmiş teleskoplar ve uydular kullanılır. Peki, ters yöne gitsek neler görürüz: önce hücreyi sonra DNA'yı daha sonra elektron bulutunu ve atomun çekirdeğini. Elektrona kadar olan kısmı mikroskoplarla incelemek mümkündür. Çekirdeğe kadar olan kısmı inceleyen bilim dalları sırasıyla kimya, biyoloji, katıhal fiziği ve nükleer fiziktir. Küçüğe olan yolculuk atom çekirdeğinde durmaz, çekirdeğin de bir içyapısı vardır. Çekirdekler artı yüklü protonlar ve yüksüz nötronlardan oluşur. Eğer bilim 10^{-14} - 10^{-15} metre seviyesine inerse, protonlar ve nötronlar da ismine kuark denilen parçacıklardan meydana gelir. İşte bu seviyede gözlem yapabilmek için kullanmamız gereken aletler parçacık hızlandırıcıları ve algıçlarıdır. Atom altı seviyeyi açıklayan bilim dalına ise parçacık fiziği denir (Akgün vd., 2014).

Etkinlik

Etkinlik kavramının alan yazında ortak bir tanımı bulunmamaktadır. Günlük hayatta etkinlik kelimesi spor, kültür alanlarında birçok faaliyetin gerçekleştirilmesinde kullanılmaktadır. Alan yazında 'activity' ve 'task' terimleri kullanılan etkinlik kavramını, eğitsel alanda Watson (2008) "tek başına herhangi bir anlamı olmayan fakat öğretmenin rehberliğinde öğrencilerle yapıldığı zaman anlam kazanan sınıf içi faaliyetler" olarak nitelendirmiştir.

MEB'e göre (2005), öğretim etkinlikleri öğretmenlere sınıf uygulamalarında her adımda ne yapacaklarını söyleyen bir tür talimatlar listesidir ve bir günlük plan olarak kullanılabilir.

Etkinlik kelimesi Türk Dil Kurumu'nun (TDK) resmi internet sitesindeki Eğitim Terimleri Sözlüğü'nde anlam olarak şöyle geçmektedir: çocukların, kendi amaç ve gereksinmelerine uygun geldiği için isteyerek katıldıkları herhangi bir öğrenme durumu.

Etkinlik, hedef davranışlara ulaşma amacıyla öğrenme öğretme sürecini zenginleştiren ve öğrenmelerin kalıcılığını arttıran sınıf içi-dışı faaliyetlerdir (Şahan, 2000).

Doyle (1988) etkinliğin; ürün, operasyon, kaynak ve sorumluluk olmak üzere dört temel bileşenden oluştuğunu belirtmiştir. Etkinlik, belirli bir ürüne, belirli kaynaklara, sorunun bu operasyonlarda sağlayabileceği geri bildirimlere ve bu geri bildirimlere uyarlanan işlemlere karşı bir sorunu çalışırken bir bireyin alabileceği ya da almayabileceği olası işlemlerin evreni olarak ortaya çıkabilir.

Etkinlik, öğrenme ortamında öğretmenin soyut kavramları somutlaştırmak ve öğretimi daha etkili bir şekilde gerçekleştirmek için kullandığı çeşitli araçlardır (Majoka, Dad & Mahmood, 2010).

Etkinlik, sınıf ortamında öğrenme hedeflerine uygun gerçekleştirilen, öğrenme süreci içinde konuların öğrencilere somutlaştırılarak, görselleştirilerek, eğlenceli hale getirilerek, ilgi çekici kılarak, farklı şekillerde ve gerekirse çeşitli araçların kullanılmasıyla yapılan her çeşit aktivite olarak düşünülebilir (Morable, 2009).

Öğretim programlarındaki kazanımların elde edilmesi amacıyla öğrenme ortamlarında, önceden belirlenmiş bir içeriği, yöntemi ve süresi olan, öğretmenlerin rehberliğinde öğrenciler tarafından yapılan küçük grup ve bireysel çalışmalara etkinlik denir (Dündar, 2011). Öğretim etkinlikleri, kazanımların öğrencilere kazandırılmasını hedefleyen planlı, kontrollü ve örgütlenmiş faaliyetlerdir (Kerpiç & Bozkurt, 2011).

Etkinlik belli bir içeriğin öğrenilmesi amacıyla, öğretmen tarafından ya da öğrencilerin de katılım sağlayarak aktif öğrenmede belirlenmiş olan kurallara uygun tasarlanan, özünde çeşitli yöntem ve tekniklerin bulunduğu, bireylerin normalden daha fazla çaba sarf edeceği ve uygun becerilerini kullanabileceği, belli bir zaman diliminde ve konu ile sınırları belirlenmiş, sınıf, okul ya da bunların dışında kalan mekanlarda uygulanan öğrenme aktiviteleridir (Özür, 2010).

Etkinlikler sınıfta yapılması planlanan hazırlama, sunum, uygulama ve değerlendirme aşamaları bulunan öğrenci ya da öğretmenler tarafından yapılan eğitsel çalışmalar şeklinde açıklamaktadır (Küçükahmet, 1994). McCarthy ve Anderson'dan aktaran Özür (2010) etkinliği, öğrenciye bilginin ezberletilmesinden farklı olarak öğrencilerin birbirlerine yardım ederek ortaya koydukları kısa ya da uzun süreli eğitsel çalışmalar olduğunu vurgulamaktadır.

Etkinlik; çeşitli yöntem ve tekniklerin uygulandığı belirli bir taslağı ve amacı olan projelerdir. Bu projelerin hayata geçirilmesinde öğretmen, öğrenci ya da her ikisinin de bir arada bulunduğu faaliyetleri ifade etmektedir (Yavuz, 2005).

Etkinlik türlerine dair bütün araştırmacılar tarafından kabul gören bir sınıflandırma bulunmamakla birlikte; Wasserman, Davis ve Astrab'dan aktaran Özgen ve Alkan (2011) sınıf içi, sınıf dışı, hem sınıf içi hem sınıf dışı yapılan yapılan çok fazla sayıda etkinlik türünün (araştırma-inceleme; işbirlikli öğrenme, beyin fırtınası, tartışma, rol oynama, kavram haritası, örnek olay vb. etkinlikler) olduğunu belirtmiştir.

Etkinlik Çalışma Yaprağı

Ulusal alan yazında çalışma yaprağı yerine 'çalışma kâğıdı, öğretim yaprağı, iş yaprağı' gibi kavramlar kullanılırken (Çalık, 2006; Kurt, 2002), uluslararası alan yazında 'worksheet, activity sheet, work paper, activity paper ve handout' kavramları kullanılmaktadır (Gabler & Schroeder, 2003; Garcia & Michaelis, 2001).

Çalışma yaprağının anlamlarına bakıldığında:

- Bir tür günlük plandır (Hopkins, 2000).
- Araştırma- inceleme etkinliklerine hitap eden etkinlik kâğıtlarıdır (Ford & McKay, 1998).
- Karalama kâğıtlarıdır (Demirel, 1993).
- Konuların öğretimi aşamasında öğrencilerin yapacakları etkinliklerle ilgili yol gösterici açıklamaları içeren yazılı dokümanlardır (Şahin & Yıldırım, 1999).
- Çalışma yaprakları öğrencilerin derste yapacağı etkinlikleri gösteren, çok amaçlı rehber niteliğinde bir materyaldir (Bozdoğan, 2007).

Ellington ve Race (1993) çalışma yapraklarını, genellikle eğitim-öğretim faaliyetlerinde kullanılan ve farklı şekillerde hazırlanabilen basılı materyaller olarak nitelendirirken, Reece ve Walker (1997) ise öğrencilere doldurmaları amacıyla verilen materyaller olarak nitelendirmiştir.

Çalışma yaprakları, öğrencilerin ne yapması gerektiğinin belirtildiği işlem basamaklarını içeren, bilgilerini kendi zihinlerinde kendilerinin kurmalarına yardım eden ve aynı anda bütün sınıfın verilen etkinliğe katılımını sağlayan önemli araçlardır (Kurt, 2002; Sands & Özçelik, Busbridge & Dawson, 1997). Bu materyaller bütün öğrencileri derse katmayı

hedefleyerek konuları özetleme ve tekrar etme imkânı sağlarlar (Saka & Akdeniz, 2001; Şahin & Yıldırım, 1999).

Çalışma yaprakları, öğrencilerin bilgilerini kendi zihinlerinde kurmalarına yardımcı olan, yapmaları gereken işlem basamaklarını içeren ve tüm sınıfın, uygulanan etkinliğe katılımını sağlayan önemli bir öğrenme aracıdır (Çelikler & Aksan, 2015).

Nitelikli bir şekilde hazırlanmış çalışma yaprakları, verileri kaydetme, verileri yorumlama gibi bilimsel süreç becerilerinin gelişmesine de yardımcı olmakta ve öğrencilerin derse aktif katılımını sağlamaktadır (Özmen & Yıldırım, 2005).

Öğretmenler, öğretim sürecinde çalışma yapraklarını takip ederek, zamanı daha verimli bir şekilde kullanabilirler. Hemen hemen bütün derslerde kullanılabilen resim, şekil ve şemalarla renklendirilebilen ayrıca mini fıkra ve diyaloglarla süslenmiş, öğrenci için eğlendirici ve motivasyon arttırıcı olan çalışma yaprakları, kalıcı ve etkili öğrenmede önemlidir (Coştu & Ünal, 2004).

Çalışma yaprakları öğretimin amaçlarını gerçekleştirmede önemli materyallerdir. Bunun yanında çalışma yaprakları:

- Öğrencilerin yeteneklerini karşılaştırmaya yardım eder.
- Öğrencilerin sorulan konu veya durumlar hakkındaki görüşlerini kaydetme imkânı sağlar.
- Öğrencileri gereksiz bilgilerden uzaklaştırır.
- İçinde yer alan soru ve yönergelerle bir sınıf organizatörü olarak görev yapar (Proctor, Entwistle, Judge & McKenzie-Murdoch, 1997).
- Öğrencilere gözlem yapmayı, ölçümler almayı ve bunlardan sonuçlar çıkarmayı öğretir.
- Öğrencilerin yaparak yaşayarak öğrenmesini sağlar.
- Bilgiye öğrencinin kendi çabaları ile ulaşmasını sağlar.
- Öğrenmeyi zevkli hale getirir.
- Öğrencilerin düşünceleri hakkında öğretmenlere fikir verir.
- Öğrencilerin güven duygularının artmasına ve bağımsız düşünme becerilerinin gelişmesine yardım eder (Kurt, 2002).

BÖLÜM II

KURAMSAL ÇERÇEVE VE İLGİLİ ARAŞTIRMALAR

Bu bölümde parçacık fiziği konusunun, eski ve güncel lise fizik öğretim programlarındaki durumuna yer verilmektedir. Ayrıca fizik öğretmenleri yetiştiren eğitim fakültelerinde parçacık fiziği konusunun lisans derslerindeki durumu da ele alınmaktadır. Parçacık fiziği konularına ilişkin bilgileri etkinlikler yaparak geliştirmek amaçlandığından, fen eğitiminde etkinliklerin yeri bu bölümde açıklanmıştır. Son olarak parçacık fiziği konusuna yönelik etkinliklerle ilgili alan yazın hakkında da bilgiler bulunmaktadır.

Parçacık Fiziğinin Lise Fizik Öğretim Programındaki Yeri

Modern fizik, son yılların en büyük teknolojik keşiflerinin çoğunun temelini oluşturur. Parçacık fiziğinin Standart Modeli sayesinde, cep telefonları ve bilgisayarlar gerçeğe dönüştürülmüştür (Keşif Işıldakları, t.y.). Bu nedenle birçok lise sınıfında fiziğin geçmişte sıkışıp kalmış gibi görünmesi oldukça şaşırtıcıdır. Müfredatta, fizik dersi genellikle bir tarih dersi şeklini alır ve arasıra uygulamalı deneyler içine serpiştirilmiş laboratuvar çalışmaları vardır. J.J. Thomson'ın elektronları, Ernest Rutherford'un protonları, Nikola Tesla'nın alternatif akımı, Isaac Newton'un hareket yasaları ve Albert Einstein'ın göreliliği; günümüz fizikçilerine meydan okuyan büyük soruları tartışmak için müfredatta olmalıdır. Ancak geçmişe odaklanmak, fiziğin en büyük keşiflerinin geçmişte olduğu izlenimini yaratabilir. Bunun için öğrencilere hayal edilemeyecek kadar küçük olanı öğrenmelerine fırsat verilmeli ve parçacık fiziği öğretilmelidir (Demirci, 2016).

Parçacık fiziği, uzun matematiksel denklemleri ve anlaşılmaz fikirleriyle hem öğrencilerin hem de eğitimcileri ürperten bir konudur. Bu algı parçacık fiziğini okulun sonraki yıllarına

bırakılan ve daha az anlatılan bir konu haline getirmiştir. Kuarklar da dahil olmak üzere parçacık fiziği genellikle lise veya üniversiteye kadar tanıtılmaz (MacDonald & Bean, 2009). Oysa parçacık fiziği okuryazarlığının okul öncesinden başlayarak sistematik olarak her yıl verilmesi gerektiğini belirtmektedir. Gibson (2016) çocuklara parçacık fiziği öğretmeye okul öncesi çağda başlanmasının önemini vurgulayarak, parçacık fiziği okuryazarlığının diğer okuryazarlıklar gibi olduğunu belirtmiştir.

2013 ve 2017 tarihli ilköğretim fen bilimleri dersi öğretim programında "Maddenin Tanecikli Yapısı" ünitesinde yalnızca atom, çekirdek, katmanlar, proton, nötron, elektron ve molekül kavramları yer almaktadır (MEB, 2017; 2018). Öğrenciler parçacık fiziği ile ilgili ayrıntılı bilgilere ise 12. sınıf fizik dersinde ulaşabilmektedir. 2007'den 2013 yılına kadar uygulamada olan ortaöğretim fizik dersi öğretim programında parçacık fiziği ile ilgili konular 12. sınıf fizik dersinde "Atomlardan Kuarklara" ünitesinde yer almaktadır. "Atomlardan Kuarklara" ünitesinin amacı şu şekilde açıklanmaktadır:

> "Bu ünitede fiziğin mikroskopik boyutta uğraş alanı hakkında bilgi sahibi olacak olan öğrencilerin fiziğin sınırları hakkında bilgi edinmeleri beklenmektedir. Öğrenciler, yeğin ve zayıf nükleer kuvvetlerden sorumlu olan hadronlar ve leptonları tanıyacaklar ve mezonlar hakkında bilgi edineceklerdir. Atomu oluşturan temel parçacıkların nasıl sınıflandırıldığı, bazı parçacık ve karşıtparçacıkların kütlesi ve yükleri hakkında bilgi sahibi olacaklardır. Atomu oluşturan parçacıklar olan elektron, proton ve nötron'dan yola çıkarak kuarklar ve karşıtkuarklara doğru yolculuk yapacaklardır. 11. sınıf "Yıldızlardan Yıldızsılara" ünitesi ile fiziğin makroskopik boyutta uğraş alanı hakkında bilgi sahibi olan öğrenciler bu ünite ile de fiziğin mikroskopik boyutta uğraş alanı hakkında bilgi sahibi olacaklardır. Her parçacığın bir karşıtparçacığı olduğu bilgisinden yola çıkacak olan öğrenciler, yeterli enerjiye sahip fotonların parçacık ve karşıt parçacık çiftleri oluşturabileceğinin farkına varacaklardır. Parçacıkları temel olarak hadron ve leptonlar olarak sınıflandıracak olan öğrenciler, herhangi bir kuarkın ve bir karşıtkuarkın mezon olarak sınıflandırılan parçacık grubunu oluşturduklarını öğreneceklerdir. Elde ettiği bu bilgiler ile öğrencilerin kuarklardan daha küçük parçacıkların olası varlığına yönelik sorgulama yapmaları sağlanarak fiziğin mikroskopik boyuttaki uğraş alanı ile ilgili bakış açıları ve hayal güçlerinin sınırlarını genişletmelerine çalışılacaktır."

"Atomlardan Kuarklara" ünitesinin toplam 11 ders saatinde işlenmesi tavsiye edilmektedir. Bu ders saati tüm ortaöğretim fizik öğretim programı içerisinde %3,06'lık yüzdesi ile ağırlık olarak en son sırada yer almaktadır.

2013-2014 yılında uygulamaya konulan ortaöğretim fizik dersi öğretim programında ise parçacık fiziği konuları "Atom Fiziğine Giriş ve Radyoaktivite" ünitesinde, "Büyük Patlama ve Evrenin Oluşumu" konu başlığı altında yer almaktadır. 2013 tarihli ortaöğretim 12. sınıf fizik dersi öğretim programında "Atom Fiziğine Giriş ve Radyoaktivite" ünitesinin amacı şu şekilde açıklanmıştır:

> "Bu ünitede öğrencilerin; atom ve atom altı parçacıklarla ilgili olarak geliştirilen model ve açıklamaları analiz ederek atom ve atom altı parçacıkların özelliklerini açıklamaları ve sınıflandırmaları amaçlanmıştır. Öğrenciler bu süreçte yapılandırdıkları kavram ve modellerle

evrenin oluşumu, radyoaktivite ve nükleer enerjiye ilişkin çıkarımlar yapabilmeli, problem durumları ortaya koyabilmeli ve argümanlar oluşturabilmelidir."

2018-2019 eğitim-öğretim yılından itibaren uygulamaya konulmuş olan ortaöğretim fizik dersi öğretim programında da parçacık fiziği konuları aynı ünite ve konu başlığı altında yer almakla birlikte, kazanımlarda daha ayrıntılı alt başlıklar bulunduğu görülmektedir. Ancak burada Anadolu lisesi ve fen lisesi olarak kazanımların ikiye ayrıldığı ve fen lisesi öğretim programının daha ayrıntılı kazanımlar içerdiği görülmektedir. 12. sınıf fizik dersi öğretim programında yer alan "Büyük Patlama ve Evrenin Oluşumu" konusuna ait 11 adet kazanım şu şekildedir:

- Atom altı parçacıkların özelliklerini temel düzeyde açıklar.
- Öğrencilerin atom altı parçacıkları Standart Model çerçevesinde tanımlamalarını sağlar.
- Korunum yasaları ile ilgili matematiksel hesaplamalara girilmez.
- Dört temel kuvvetin açıklanması sağlanır.
- Abdus Salam, Sheldon Lee Glashow ve Stephen Weinberg'in Nobel ödülünü elektromanyetik ve zayıf kuvvetin birleşik bir kuvvet görünümünde olduğunu keşfetmeleri üzerine aldıkları vurgulanır.
- Madde oluşum sürecini açıklar.
- Atom altı parçacıklardan başlayarak madde oluşumunun modelle açıklanması sağlanır.
- Higgs bozonuna kısaca değinilir.
- Madde ve antimadde kavramlarını açıklar.

12. sınıf fizik dersi öğretim programında "Atom Fiziğine Giriş ve Radyoaktivite" ünitesine, ayrılan süre 26 ders saati olarak belirlenmiştir. Bu sürenin 12. sınıf programındaki oranı %18,1 olmakla birlikte; 9, 10 ve 11. sınıf programları da göz önüne alındığında 4 senelik lise fizik eğitimi kapsamında bu üniteye ayrılan sürenin oranı %6 olarak görülmektedir.

12. sınıf fizik dersi fen lisesi öğretim programında yer alan "Büyük Patlama ve Evrenin Oluşumu" konusuna ait 13 kazanım ise şu şekildedir:

- Atomun özelliklerini Modern Atom Teorisi'ne göre açıklar.
- Stern-Gerlach deneyinin sonuçlarının incelenmesi sağlanarak elektron spini kavramı üzerinde durulur.

- Öğrencilerin sis odası deneyini araştırmaları ve üzerinde tartışmaları sağlanır.
- Matematiksel hesaplamalara girilmez.
- Öğrencilerin CERN'de yapılan çalışmaların büyük patlama ile bağlantısını tartışmaları sağlanır.
- Atom altı parçacıkların özelliklerini açıklar.
- Öğrencilerin atom altı parçacıkları Standart Model çerçevesinde tanımlamaları sağlanır.
- Korunum yasaları ile ilgili matematiksel hesaplamalara girilmez.
- Dört temel kuvvetin açıklanması sağlanır.
- Abdus Salam, Sheldon Lee Glashow ve Stephen Weinberg'in Nobel ödülünü elektromanyetik ve zayıf kuvvetin birleşik bir kuvvet görünümünde olduğunu keşfetmeleri üzerine aldıkları vurgulanır.
- Atom altı parçacıklardan atomların oluşumuna yönelik çıkarımlar yapar.
- Öğrencilerin, atomaltı parçacıklar arasındaki etkileşim kuvvetini açıklamaları sağlanır.
- Madde oluşum sürecini açıklar.
- Atom altı parçacıklardan başlayarak madde oluşumunun modelle açıklanması sağlanır.
- Higgs bozonuna kısaca değinilir.
- Madde ve antimadde kavramlarını açıklar.

12. sınıf fizik dersi fen lisesi öğretim programında "Atom Fiziğine Giriş ve Radyoaktivite" ünitesine ayrılan süre 22 ders saati olarak belirlenmiştir. Bu sürenin 12. sınıf programındaki oranı %15,3 olmakla birlikte; 9, 10 ve 11. sınıf programları da göz önüne alındığında 4 senelik lise fizik eğitimi kapsamında bu üniteye ayrılan sürenin oranı %5,1 olarak görülmektedir.

Ortaöğretim öğrencilerinden şanslı bir azınlık ise 12. sınıf fizik öğretim programında parçacık fiziğiyle ilgili kazanımların yanı sıra, inanılmaz bir deneyim fırsatına erişmektedir. Her yıl tüm dünyada 15-19 yaşları arasındaki yaklaşık 10.000 öğrenci, parçacık fiziği hakkında bilgi edinmek için yakındaki bir üniversiteye veya araştırma merkezine gitmek üzere bir günlüğüne okulundan izin alınmaktadır. International Particle Physics Outreach Group (IPPOG) tarafından düzenlenen Uluslararası Masterclass Etkinlikleri 1997 yılında uygulanmaya başlamıştır. Bu program için üniversite ve araştırma

merkezlerini en çok kullanıma açan ülkeler sırasıyla Amerika'da 34, İtalya'da 26, Almanya'da 21, Portekiz ve İngiltere'de 15 ve Fransa'da 12 üniversite veya araştırma merkezi bu program kapsamında öğrencilere video konferans hizmeti sunarken Türkiye'de Ankara Ortadoğu Teknik Üniversitesi, İstanbul Özyeğin Üniversitesi ve Konya Araştırma Merkezi ile bu hizmeti sunmaktadır (International Masterclasses, t.y.). Ülkemizden de çeşitli okullardan seçilen öğrenciler, bir bilim insanı gibi verilerden yola çıkarak bozunmayı tahmin etmeye çalışmaktadır. Elde ettikleri bulguları yapılan canlı konferanslarla diğer ülkedeki öğrencilerle karşılaştırma fırsatına sahip olmaktadır. Böylece öğrenciler çağdaş fizik ve teknolojiyle parçacık fiziğine dair eğitimini hem dedektör teknolojisi hem de internet üzerinden veri aktarım teknolojisiyle en temel seviyesinde karşılamış olmaktadır (Johansson, Kobel, Hillebrandt, Engeln & Euler, 2007).

Parçacık Fiziğinin Fizik Eğitimi Lisans Öğretim Programındaki Yeri

Fizik öğretmenliği lisans programında (Yüksek Öğretim Kurulu, 2018) atom fiziği ders içeriğinde "elektron spini, atom altı parçacıklar ve karşıt madde" konularının yer aldığı görülmektedir. Daha sonra güncellenen fizik öğretmenliği lisans programları ders içeriklerine bakıldığında bazı üniversitelerin bu konulara hiç yer vermediği, bazılarının ise konuları eski haliyle atom fiziği dersi içeriğinde aynen koruduğu görülmektedir. Diğer üniversitelerde ise nükleer fizik dersleri içerisinde bazı parçacık fiziği konuları yer almaktadır. En geniş kapsamlı ele alış "temel parçacıklar; Leptonlar, Mezonlar, Baryonlar, Hadronlar için kuark modeli, antiparçacıklar, doğadaki temel kuvvetler" konularıyla sadece bir üniversitede olmuştur.

Fen Eğitiminde Etkinliklerin Yeri

Öğretim programlarının merkezinde yer alan etkinlik, TDK'nin resmi sitesinde kelime anlamı olarak, "Çocukların, kendi amaç ve gereksinimlerine uygun geldiği için isteyerek katıldıkları herhangi bir öğrenme durumu" olarak ifade edilmektedir. Bu tanıma bakılarak, etkinliğin bireyin öğrenme amacına uygun, istekli olarak katıldığı bir çalışma eylemi olduğu söylenebilir. Bireyin merkeze alındığı bir tanım olması, yapılandırmacı yaklaşımın temel alındığı programla da parallelik göstermektedir. Etkinlikle ilgili olarak alan yazına bakıldığında en genel ifade ile "Program kazanımlarının öğrencilere kazandırılmasını

amaçlayan planlı, örgütlenmiş ve kontrollü faaliyetlerdir" tanımına rastlanmaktadır (Fidan & Erden, 1993).

Yapılan araştırma sonucunda ulusal alan yazında etkinlik ya da çalışma yaprağı geliştirme çalışmalarının yaygın olarak öğretmen adayları ve öğrencilere uygulandığı tespit edilmiştir. Bir fen konu alanına bağlı tasarlanan öğretim etkinliklerinin uygulanmasının, öğrenci ve öğretmen adaylarının başarısını olumlu yönde etkilediğine yönelik çalışmalar mevcuttur (Atasoy, 2008; Atasoy, Akdeniz & Başkan, 2007; Ayverdi, 2012; Başdaş, 2007; Coştu, Karataş & Ayas, 2003; Demircioğlu & Atasoy, 2006; Demirçalı, 2007; Eraslan, 2011; Gür & Bayar, 2006; Hırça, 2012; Köse, Coştu & Keser, 2003; Kurt, 2002; Kırıkkaya & Bozkurt, 2012; Okulu, 2019; Saka & Yılmaz, 2005; Saylan Kırmızıgül, 2019; Şahin & Yağbasan, 2012; Şaşmaz Ören & Erduran Avcı, 2004; Şengören, 2006; Turan, 2012; Tolan Sürbahanlı, 2018; Üçüncü, Sakız & Ada, 2016; Ünal & Ergin, 2006; Yerer, 2015; Yiğit & Akdeniz, 2003; Yiğit, Akdeniz & Kurt, 2001).

Öğrenme etkinlikleri, kazanımların öğrencilere aktarılmasını amaçlayan planlı, örgütlenmiş ve kontrollü faaliyetlerdir (Bransford, Brown & Cooking, 2000; Fidan & Erden, 1993). Planlı hazırlanmış iyi tasarlanmış etkinliklerin; öğrencilere doğru ve yerinde uygulanması sonucunda öğrenmenin daha kalıcı ve anlamlı olacağı söylenmektedir (Connolly, Arkes & Hammond, 2000; Eraslan, 2011; Jones & Pratt, 2006; Özmantar, Bozkurt, Demir, Bingölbali & Açıl, 2010; Ubuz, Erbaş, Çetinkaya & Özgeldi, 2010; Uğurel & Bukova Güzel, 2010). Fakat etkinliklerin programın amaçlarına uygun olarak tasarlanmaması veya tasarlanan etkinliklerin uygulanmaması durumunda beklenen başarıya ulaşılamayabilir (Özmantar & Bingölbali, 2009).

Nitelikli fen öğretimi öğrenci merkezli etkinlikleri temel alan, öğrencilerin sorgulamasını, araştırarak var olan bilgilerinden yeni bilgiler üretilmesine fırsat sunacak şekilde olmalıdır (Boydak, 2004). Fen öğretiminde etkinlikler, öğrencinin merakını uyandırıp önceliklerini sorgulamasına ve doğal olayları farklı yönlerden algılamasını sağlar. Etkinlikler kavram yanılgılarının giderilmesinde de yardımcı olur. Öğrencilerin; problem çözme, araştırma yapma ve iletişim becerilerinin geliştirilmesine imkan sağlayarak, öğrenilenlerin kalıcı ve anlamlı olmasını sağlamaktadır. Ayrıca öğrencilerin fene ve bilim insanına yönelik olumlu tutum geliştirmelerini sağlamakta ve fen alanında bir mesleğe yönelmesine tesir etmektedir (Aydın & Balım, 2005).

Erkan'a göre (2006), gruplara ayrılarak işlenecek olan etkinliklerde grupların her seferinde aynı olmamasına ve farklı kişilerden oluşmasına dikkat edilmelidir. Farklı yöntemlerle gruplar oluşturabilir. Ayrıca öğrencilere etkinlik sonunda çözümlerini karşılaştırabilecekleri ve farklı gösterimlerle kendilerini ifade edebilecekleri bir ortam sunulmalıdır.

Ata (2002), öğretmenlerin ders anlatımı sırasında ezbere dayalı bir süreç izlemesi yerine; harita, oyun, grafiklerden yararlanmaları gerektiğini ifade etmektedir. Ayrıca öğrencilerin etkileşim kurabileceği yazılı kaynak, resim, fotoğraf gibi materyalleri kullanmaları gerektiğini vurgulamıştır.

Özür (2010) etkinliklerin, programda belirlenmiş olan becerileri öğrencilere benimsetmekte önemli bir yerinin olduğunu vurgulamaktadır. Bununla birlikte öğrencilerin etkinlik sürecinde birbirleriyle etkileşim halinde olmaları gerektiğinden bahsetmektedir. Bu durum bilginin ezberlenmesinden ziyade bilgiye ulaşma konusunda öğrencileri etkin hale getirmektedir. Öğrencilere; gerçek yaşamla ilgili, sözlü, yazılı, görsel kaynakların sunulması öğrencilerin aktif olarak öğrenme sürecine katılmasına yardımcı olmaktadır.

Olkun ve Toluk (2003), çeşitli etkinliklerin öğrencelere uygulanmasının öğrencilerin kendi yaşantısı yoluyla öğrenmesine ve bilginin kalıcı hale getirilmesine yardımcı olduğunu ifade etmektedir.

Demirel (2002), ders içi ve dışında yapılan etkinliklerin işlenen konuları öğrencilere daha cazibeli hale getirdiği, derslerde etkin olmayan öğrencilerin de derse katılımını sağlayabileceğini ifade etmektedir.

Durmaz (2014), etkinliklerin uygulanması ile birlikte öğrencilerin geleneksel anlatım tarzlarındaki pasif durumunun değişeceğini, öncesinden farklı olarak derslere karşı ilgilerinin artacağını vurgulamıştır.

Bayrakçı (2007) etkinliklerin öğrencilerin derslerde işlenen konulara egemen olmasının yanında; bireysel olarak hayal gücüne dayalı düşünme yeteneğini geliştirici, alet kullanımını kolaylaştırıcı, yeni bir şey üretme duygusunu açığa çıkarıcı etkileri olduğunu belirtmektedir.

Yalın (2004) öğrencilerin gereksinimlerine cevap verilmesi, derse odaklanmaları, bilginin kalıcılığını arttırması, bilgiyi daha nesnel hale getirmesi, konunun özetlenerek verilmesi adına materyal kullanımının önemini vurgulamaktadır. Bu kapsamda yapılandırmacı

yaklaşımın, öğrencileri süreç içerisine dâhil etmesiyle birlikte öğretmen ya da öğrenciler tarafından tasarlanacak olan materyaller ve bunların eğitim-öğretim süreçleri içerisinde kullanılması, tüm bu süreçlerin tamamının etkinlik adı altında toplanmasını mümkün kılmaktadır.

Tural (2005) tarafından eğitim-öğretim sürecinde etkinliklerin yapılmasının yararları olarak şunlar söylenmektedir:

- Etkinliklerin kullanılması öğrenme sürecinde öğrenciyi etkin kılar.
- Etkinlikler öğrencilerin fiziksel, zihinsel, sosyal, duygusal yönlerinin gelişmesine katkıda bulunur.
- Öğrencilerin gelişim seviyelerine uygun etkinliklerin sunulması onların bu dönemleri daha rahat atlatmalarını sağlamaktadır.

Küpçü (2008) etkinliklerin eğitim-öğretim süreci içerisinde kullanılmasının faydalarını şöyle sıralamaktadır:

- Öğrencilerin derse karşı olan alakalarını arttırabilir.
- Öğrencilerin bilgilerinin kalıcı olması sağlanabilir.
- Kullanılan materyallerin görsel ve sesli içeriklerden oluşması, öğrencilerin ilgisini çekebilir.
- Etkinliklerin derse katılan tüm öğrencilerin sayısına göre planlaması yapıldığından, tüm öğrencilerin sınıf içerisinde derse katılımı sağlanmış olacaktır. Bu sayede öğretmenin sınıf içi düzen sağlaması sorunu ortadan kalkabilir. Böylece öğretmen sınıf düzenini sağlamak adına ayıracağı süreyi öğrencilerin öğrenimi için kullanabilir.
- Öğrencilerin derse katılımının sağlanması ile birlikte eğitim seviyelerinde de artış sağlanabilir.

Parçacık Fiziği Eğitimi ile İlgili Araştırmalar

CERN'deki Büyük Hadron Çarpiştırıcısı'ndaki (BHÇ) deneylerin medya tarafından oldukça fazla ilgi görmesi, 2012'de CERN'in Higgs parçacığının -parçacık fiziğinin Standart Modeli'nin eksik parçasının- keşfedildiğini duyurmasıyla zirve yapmıştır.

CERN'de bilim insanlarına, öğretmenlere ve öğrencilere yönelik çeşitli eğitim etkinlikleri gerçekleştirilmektedir. Öğretmenlere CERN'de uluslararası öğretmen eğitimleri

(www.teacher-programmes.web.cern.ch/international-teacher-programmes) gerçekleştirilmektedir. Ülkemizde görev yapan fizik ve fen bilimleri öğretmenleri için yapılan Türk Öğretmen Çalıştayı'nda (TÖÇ) dersler CERN'deki Türk bilim insanları tarafından Türkçe olarak yapılmaktadır. TÖÇ katılımcıları; uzmanlardan sunumlar, CERN yerleşkesinde geziler, sergiler ve deney uygulamalarıyla birlikte hızlandırıcı ve parçacık fiziği konularında oldukça kapsamlı bilgiler edinmektedir. Olah vd. (2016) tarafından yapılan çalışmada genel olarak parçacık fiziği eğitiminin Macaristan'daki uygulamalarından bahsedilmiştir. CERN'in düzenlediği öğretmen çalıştayına yanıt veren ilk ülke olduklarından, 2006 yılından bu zamana kadar birçok ülkeye genişlediğinden bahsedilmiştir. Ayrıca Masterclass programına üç üniversitesiyle 2005 yılında dahil olan Macaristan'da, son on yılda yaklaşık olarak 700 lise öğrencisi ve 100 öğretmenin günlük olarak düzenlenen bu programa katıldığı belirtilmiştir. Ortaokul öğrencileri için ise fizik öğretmeni Oláh tarafından iki okulun katıldığı dedektör yapımı ile ilgili bir proje hakkında da bilgi verilmektedir. Johansson vd. (2007) tarafından yapılan çalışmada 2005 yılında gerçekleştirilen Masterclass etkinliğine 18 Avrupa ülkesinden katılan 3000 öğrencinin katılımıyla gerçekleşmiştir. 58 üniversite ve eğitim merkezinde gerçekleştirilen çalışmada öğrenciler gerçek yüksek enerjili parçacık çarpışmalarından elde edilen verilerle bilgisayarlar yardımıyla çalışmış, parçacık fiziği hakkında bilgi edinmiş ve Avrupa üniversitelerinde araştırma ortamını deneyimlemiştir. Cinsiyetten, parçacık fiziği ön bilgisinden ve bilgisayar bilgisinden bağımsız olarak yapılan değerlendirmede; öğrencilerin %70'i bilimsel araştırmanın organizasyonu hakkında çok şey öğrendiğini belirtmiştir. %80'den fazlası -bazı ülkelerde ise % 95'ten fazlası- Masterclass etkinliğini çok beğendiğini belirtmiştir. Araştırmacılar tarafından örencilerin deneysel bir araştırma sürecine girdiği Masterclass gibi bir etkinliğin, okul ortamlarında fizik eğitimine değerli deneyimler katma potansiyeline sahip olduğu belirtilmiştir. CERN'deki öğretmen çalıştayına katılan Tina Nantsou'un çalıştığı ilkokulda gerçekleştirdiği fen eğitimi projesinde öğrencilerine atom altı parçacıklar ve parçacık fiziği eğitimi vermiştir. Nantsou amacının CERN'de geçirdiği süre boyunca parçacık fiziğinin büyüsünden aldığı ilhamı öğrencilerine aktarmak olduğunu ifade etmiştir. Bu proje; BHÇ'de gerçekleşen deneyler hakkında bilgilendirme dersleri, BHÇ'deki dedektörlerin modellerinin yapımı, parçacıklar hakkında yapılan drama çalışması ve Yunanistan'da görev yapan parçacık fizikçileriyle yapılan röportajlardan oluşmaktadır. Projenin son aşamasında kura ile altı kız ve altı erkek öğrenci seçilerek CERN ziyareti gerçekleştirmiştir. İlkokul öğrencileri bu ziyaretten çok

memnun kalmış ve iki öğrenci 10 yıl sonra CERN'e araştırmacı olarak tekrar geleceklerini ifade etmiştir (Alexopoulos, 2014).

CERN'de yapılan deneyler, öğrencilerin parçacık fiziğiyle ilgili konulara ilgi duymalarını sağlamıştır. Zöchling, Hopf, Woithe ve Schmeling (2020) tarafından yapılan çalışmada 99 lise öğrencisinin parçacık fiziğine olan ilgileri araştırılmıştır. Öğrencilerin parçacık fiziğinin hangi yönleriyle ilgilendikleri ve ilgi profillerinde farklılık olup olmadığı araştırılmıştır. Öğrencilere çevrim içi uygulanan 5'li Likert tipi anket sonucunda parçacık fiziğinin en ilginç konu olarak algılanıldığı ortaya koyulmuştur. Bununla birlikte klasik fiziğin aksine parçacık fiziğinin tüm öğrenciler için eşit derecede ilginç olduğu belirtilmiştir. Wiener ve Woithe (2020) tarafından dünyanın her yerinden 530 lise öğretmeni ve 959 öğrencisine en sevdikleri parçacığın hangisi olduğunu araştırmak ve nedenlerini bulmak için büyük ölçekli uluslararası bir çalışma yapılmıştır. Katılımcılar CERN'de öğretmen ve öğrenciler için yapılan eğitimlere katılanlardan oluşmaktadır. Çalışmanın çıkış noktası olarak lise öğretmenlerinin ve öğrencilerinin farklı parçacıkları nasıl algıladıkları ve kullandıkları hakkında çok az şey bilinmesi olduğu belirtilmiştir. Sorulan açık uçlu soruya 350 kelimeyi aşmayan bir yanıt yazmaları istenmiştir. Bu çalışma sonucunda her iki grupta da Higgs bozonu, nötrino, elektron, foton ve gluon öne çıkan parçacıklar olmuştur. Öğretmenlerin ve öğrencilerin milliyeti veya cinsiyeti açısından ise önemli bir fark bulunamamıştır. Woithe, Wiener ve Van der Veken (2017) parçacık fiziğinin Standart Modeli'nin fizikteki en başarılı teorilerden biri olduğunu ve temel parçacıklar arasındaki etkileşimleri başarıyla açıkladığını belirtmektedir. Ortaöğretim öğrencileri arasında da ilgi çeken bu konunun, yalnızca tişörtlerde ya da kahve kupalarında gördüğümüz 'Lagrange' adı verilen yoğun bir açıklamayla kodlanan Standart Model'in anlaşılmayacağını ve bu matematiksel formülasyonun çok karmaşık olduğunu belirtmiştir. Bu nedenle fizik öğretmenlerinin parçacık fiziğini sınıflarında tanıtmaya yönelik zorlu çabalarında desteklemek için, nitel bir Lagrange terimlerinin açıklanması ve yorumlanması için ilgili olan Feynman diyagramlarıyla açıklamasını yapmıştır.

Feynman diyagramlarının öğretimi hakkında çeşitli araştırmalar gerçekleştirilmiştir. Pascolini ve Pietroni (2002) tarafından 100 lise öğrencisiyle yapılan etkinlik Feynman diyagramları üzerinedir. Öğrencilere öncelikle Feynman diyagramları tanıtılmış, sonrasında ise öğrencilerden verilen bozunmaları çeşitli malzemelerle inşaa etmeleri istenmiştir. Feynman diyagramlarının matematiksel yönleri yerine antimadde, korunum yasaları, çift oluşum, çift yok olma, gerçek ve sanal parçacıklar gibi temel parçacık

dünyasından birçok farklı kavram üzerinde durulmuştur. Grafik gösteriminde diyagramlardaki çizimler çubuklarla gösterilmiştir. Böylece Feynman diyagramlarının görselleştirilmesi sağlanmıştır. Bu etkinlikten bir ay sonra, öğrencilere diyagramlar hakkında 9 sorudan oluşan bir test uygulanmıştır. Öğrencilerin %60'ının doğru cevap verdiği görülmüştür. Ayrıca öğrencilerden %15'i sorularda bulunan imkansız bozunmayı fark etmiştir. Bu sonuç Feynman diyagramlarını çubuklarla somutlaştırarak yapılan bu etkinliğin başarılı olduğunu ve öğrencilerin korunum yasalarını öğrendiğini göstermektedir. Kontokostas ve Kalkanis (2013) tarafından Atina Üniversitesi'ndeki 10 fizik öğretmen adayıyla yapılan çalışmada fizik öğretmen adaylarının Feynman diyagramlarıyla yaşadıkları zorlukları tespit etmek, Feynman diyagramları hakkındaki görüşlerini geliştirmek ve diyagram oluşturma becerilerini kolaylaştırmak için etkinlikler geliştirilmiştir. Çalışmayı olabildiğince basit tutmak için diyagramlarda elektron, pozitron ve fotonlar arasındaki etkileşimle sınırlı kalınmıştır. İlk olarak öğretmen adaylarına bir öntest uygulanarak Feynman diyagramları hakkındaki durumları tespit edilmiştir. 40 dakikalık bir videolu eğitim sonrasında uygulanan sontestten alınan başarı oranı oldukça dikkat çekici olmuştur. Öğrencilerin sadece % 20'si öntestte verilen süreçleri Feynman diyagramları ile temsil edebilmişken, bu oran sontestte % 80'e çıkmıştır. Çalışma Feynman diyagramlarını yöneten kuralları öğretmede oldukça başarılı olmuştur. Pavlidou ve Lazzeroni (2016b) tarafından oluşturulan eğitsel oyun Feynman diyagramları ile ilgilidir. Lise öğrencilerine yönelik olan bu etkinlikte verilen bir bozunmaya ait olan Feyman diyagramının şönillerle oluşturulması istenmiştir. Ayrıca parçacıklar arasındaki etkileşimleri hikayeleştirerek anlatımları eğitici bir etkinlik olarak sunulmuştur. Bu hikayeleştirmeden kısa bir parça şöyledir: "Güneşli bir günde, elektron Jimmy ve anti-elektron Molly bahçelerinde kurabiye yiyip portakal suyu içerek oynuyorlardı. Jimmy güneşten çok sıcak hissetmeye başladı. Molly "ah zavallı sen..." dedi. Onu teselli etmek için elini tuttu ama aniden… ikisi de ortadan kayboldu!".

Oyunlardan yararlanarak parçacık fiziği konularını öğretmeyi amaçlayan başka çalışmalar da vardır. Csörgő (2012) tarafından yapılan çalışmada, temel parçacıklardan bileşik parçacıkların oluşumunu öğretmeyi amaçlayan bir eğitsel bir oyun tanıtılmaktadır. 66 karttan oluşan destede kuarklar, antikuarklar ve leptonların simgesi yer almaktadır. Oyunun amacı Higgs'i, protonu ya da herhangi bir hadronu oluşturmak olarak belirlenebilir. Aynı zamanda tüm kartlar kapalı halde dizilerek hafıza kart oyunu da oynanabilmektedir. Takai (t.y) parçacık fiziğini öğretmek için zarlarla oynanan bir oyun

tasarlamıştır. Oyun sekiz zarla oynanır. Zarların üzerinde kuark ve leptonların simgesi yapıştırılır. Sekiz zar aynı anda atılır ve zarların üzerindeki simgelerin hadron ve mezon gibi bileşik bir parçacığı oluşturup oluşturmadığı kontrol edilir. Her oyuncunun üç kez zarları atma hakkı vardır. Oyunda en çok parçacık oluşturan oyunu kazanır. Csörgő (2016) tarafından yapılan çalışmada parçacık fiziği ile ilgili eğitsel oyun tanıtılmıştır. Araştırmacı tarafından tasarlanan oyun için rubik küp kullanılmıştır. Rubik küp üzerine kuarklar ve antikuarklar renk yükleriyle birlikte çıkartma olarak yapıştırılmış ve rasgele karıştırılmıştır. Öğrenciler küpü karıştırarak kübün her yüzünde bir bileşik parçacığı bulmaya çalışmıştır. Öğrenciler bileşik parçacıkları bulmada başarılı olamasalar bile süreç oldukça öğretici geçmiştir. Thunyaniti, Toedtanya ve Wuttiprom (2017) tarafından yapılan çalışmada lise öğrencileri için oyun hamuru ile temel parçacıkları öğrenme modeli geliştirilmiştir. Öğrenmenin dört adımı şunlardır: temel parçacık kavramını tanıtmak, temel parçacık kartlarını kullanarak 'Mutlu Aileler' oyununu oynamak, parçacıkların özelliklerini yansıtacak şekilde oyun hamuruyla tasarımlar yapmak ve oyun hamuru modelinden parçacıkları temsil etmek. Etkinlikleri yaptıktan sonra öğrencilerin temel parçacıklar üzerinde daha fazla kavramsal anlayışa ve daha iyi akılda kalıcılığa sahip oldukları tespit edilmiştir. Ayrıca öğrencilerin arkadaşları arasında da işbirlikçi çalışma deneyimi kazandıkları belirtilmiştir. Pavlidou ve Lazzeroni (2016a) tarafından çocuklar ve gençler için oldukça popüler olan parçacık fiziğinin temel parçacıklar konusuna yönelik, 8 ile 11 yaşları arasındaki ilkokul öğrencilerine yönelik bir atölye tasarlanmıştır. Atölyede öğrencilere atom altı parçacıkların modelleme yapmalarına fırsat verilmiş, her birine bir parçacık ile ilgili bilgiler içeren oyun kartları ile farklı etkinlikler düzenlenmiştir. Araştırmacılar öğrencilerin parçacık modellerini yaratıcı tasarımlarla ortaya koymalarını amaçlamış ve olumlu görüşler elde etmiştir. MacDonald ve Bean (2009) öğrencilerin fen öğrenimini desteklemek için parçacık fiziğini ilgi çekici ve yenilikçi yollarla öğretmeyi amaçlamıştır. Bu amaçla 'Quarked! Adventures in the Subatomic Universe' isimli bir proje hazırlanmıştır. Ulusal Bilim Vakfı tarafından finanse edilen bir parçacık fiziği eğitim programı olarak hazırlanan projede çevrim içi eğitim kaynakları bulunmaktadır. Ayrıca projede bir bilim tarihi müzesinde ilgi çekici uygulamalı iki bilim atölyesi oluşturulmuştur. Bunlar, İlkokul 2. sınıf ve ortaokul 6. sınıf öğrencileri için 'Küçük ne kadar küçük?', ilkokul 4. sınıf ve ortaokul 8. sınıf öğrencileri için 'Yukarı ve aşağı kuarklarla evren' isimli parçacık fiziği konulu atölyelerdir. Ayrıca projenin web sitesinde öğrencilere yönelik parçacık fiziğiyle ilgili ilgi çekici çevrim içi oyunlar bulunmaktadır.

Cid ve Cid (2009) CERN'de Büyük Hadron Çarpıştırıcısı'nda (BHÇ) tarihin en büyük denemesinin başlamasıyla birlikte -bu konuda oldukça fazla çalışma olmasına rağmen- konu hakkında uzman olmayanların verilerin nereden geldiğinin bilmesinin kolay olmadığını belirtmektedir. Bu amaçla yapılan çalışmada, BHÇ'de mevcut güç fenomenleri hakkında ortaokul düzeyinde birkaç basit fiziksel hesaplama tanıtılmıştır. Ayrıca dünyanın en önemli bilimsel kurumu ve bilim tarihinin en büyük deneyi hakkında bilgiler verilmiştir. Cid ve Cid (2010) tarafından yapılan bir diğer çalışmada parçacık fiziğine ait olan bir kavram analojilerle oldukça basit bir şekilde açıklanmıştır. Bu çalışmada Kasım 2009'da tarihteki en büyük deneyin yeniden başlamasıyla gündeme gelen ve büyük ilgi gören Higgs parçacığını ışığın kırılma indisi ile bir karşılaştırma yaparak, konuyu lise öğrencilerine tanıtmanın basit bir yolu sunulmaktadır. Wiener vd. (2016) yüksek enerji fiziğinin öğretilmesini kolaylaştırmak için fizik öğretmenlerine yönelik bir çalışma yapmıştır. Bu çalışmada BHÇ'nin çalışmasına ilişkin genel bir anlatım bulunmaktadır. Aynı zamanda ortaöğretim öğrencilerinin anlayacağı düzeyde konuya ait mevcut eğitim kaynakları ve BHÇ'nin temel bileşenleri sunulmaktadır. CK-12 Vakfı her öğrencinin aynı yolla öğrenemeyeceği gerçeğine inanmaktadır. Bu ilkeden yola çıkarak zaman ve olanak sıkıntısını aşmak için dijital ortamda zengin içerikler üretmiştir. Öğretmenler ve öğrenciler için ücretsiz olan çeşitli konularda hazırlanan içerikler; interaktif olarak (www.ck12.org/c/physics/quarks/) tüm kullanıcılar için bilgisayar, tablet ya da cep telefonlarına uygun olarak hazırlanmıştır. Bu içeriklerden biri parçacık fiziği ile ilgili olup, 5 farklı interaktif içerik ortaöğretim öğrencileri için hazırlanmıştır. Sudbury Neutrino Observatory Laboratory (SNOLAB) nötrino ve karanlık madde fiziği konusunda uzmanlaşmış bir yeraltı bilim laboratuvarıdır. SNOLAB aynı zamanda parçacık fiziği öğrenimi için parçacık fiziği ile ilgili etkinlik çalışma kâğıtları hazırlayarak (www.snolab.ca/outreach/resources-for-students-educators) öğretmenlere internet üzerinden sunmuştur.

Parçacık fiziğinin öğretiminde sanat faaliyetlerinden yararlanan çalışmalar da söz konusudur. Wiener, Schmeling ve Hopf (2015) tarafından yapılan tasarım tabanlı araştırmada, 12 yaşındaki öğrencilere maddeyi oluşturan temel parçacıkları tipografiden yararlanarak öğretmek amaçlanmıştır. Tipografi harf ve sembolleri kullanarak yapılan yazı sanatıdır ve araştırmacılar tarafından orbital, çekirdek, renk yükleri de dahil olmak üzere; proton ve nötronu oluşturan kuarklar ile madde ve antimadde kavramları hakkında oluşturulan görsellerle öğrencilere öğretilmek amaçlanmıştır. Araştırmanın bulguları

öğrencilerin temel parçacıklar hakkındaki bilgilerinin geliştiğini göstermektedir. Wiener, Schmeling ve Hopf (2017) diğer bir çalışması, yine tipografi kullanarak kuarkların renk yükünü öğretmek ile ilgilidir. Antikuark ara renklerle ya da ana renkli ancak çizgili olarak modellenmiştir. Antikuarkı modelleyen bu tipografilerin daha anlaşılır, bilgilendirici ve basit olması hakkında öğretmen ve öğrencilerin görüşlerine başvurulmuştur. Bu şekilde geliştirilen simgeler renk yükü ve antirenk yükü arasında ayrım yapmanın daha yararlı bir yolu olarak 78 lise öğrencisine ve 45 fizik öğretmenine sunulmuştur. Her iki grup antikuark gösteriminde verilen tüm unsurlarda ana renklerde ancak çizgili sunulan modelin daha başarılı olduğunu belirtmiştir. Andrews ve Nikolopoulos (2018) tarafından yapılan çalışmada lise öğrencilere görsel sanatlar aracılığıyla parçacık fiziği kavramlarını tanıtmak ve yaratıcı bir merak uyandırmak amacıyla, 'Bir günlüğüne sanat okulu' adlı atölye hazırlanmıştır. Atölye çizim, heykel ve gölge perde performansı çalışmalarından oluşmaktadır. Öğrencilere ilk olarak kendileri için yeni olan parçacık fiziği kavramları tanıtılmış ve sanat çıktıları hem bilimsel kavramlar hem de estetikle ilişkili olarak tartışılmıştır. Öğrencilerin fikirleri ise görüşmeler sonucunda elde edilmiştir. Görüşme sonucunda öğrencilerin dedektörün çalışması, parçacık aileleri ve kuvvet taşıyıcılarının özellikleri hakkındaki bilgilerinin geliştiği tespit edilirken, % 35'i bu olaydan sonra üniversitede fizik okumak istediğini belirtmiştir. Nikolopoulos ve Pardalaki (2020) tarafından İngiltere'de yapılan 16 atölye çalışmasında toplam 110 kişilik 8. sınıf öğrencileriyle, parçacık fiziği kavramlarını tanıtmak için dansın kullanıldığı bir atölye çalışması hazırlanmıştır. Parçacık dansı atölyesiyle parçacık fiziğini daha erişilebilir hale getirmek hedeflenmiştir. Atölye çalışmasında Standart Model'e göre atom içerisinde hangi parçacıklar olduğu, bu parçacıklar arasındaki etkileşimler ve antimadde kavramları ile ilgili koreografiler hazırlanmıştır. Fizik kavramlarının somutlaştırılmasının öğrencileri bilime yönelimlerini güçlendirirken, bilgiyi özümsemelerini de kolaylaştırdığı belirtilmektedir. Bu atölye çalışmasının bilimsel ve sanatsal faydaların ötesinde; sanat ve bilim arasındaki engelleri aşmak ve yeni disiplinlere ufuk açmak olarak hedeflendiği belirtilmiştir.

Öğrencilerin parçacık fiziği konuları ile ilgili bilgilerinin araştırıldığı bazı çalışmalar mevcuttur. Gourlay (2016) tarafından yapılan çalışmada 12. sınıf öğrencilerinin parçacık fiziği hakkındaki bilgileri kavram haritaları yardımıyla ortaya çıkarmak amaçlanmıştır. 59 öğrenciye kavram haritası hakkında bilgi verildikten sonra konuya özel 24 anahtar kelime verilmiştir. Her bir kavram haritasını kaç öğrencinin doğru yaptığı numaralandırılmış, belirttiği özelliklere göre hataları ve olası kavram yanılgıları belirlenerek analiz edilmiştir.

Öğrencilerin büyük bir kısmı yukarı, aşağı, garip kuarkları ve elektronun bir lepton olduğu ön bilgisine sahip olduğu tespit edilmiştir. Bununla birlikte, bazı öğrencilerin herşeyin kuarklardan yapıldığına dair bir yanılgıya sahip olduğu ortaya çıkmıştır. Öğrencilerin tau parçacığını sınıflandırmakta, elektron ve müondan daha fazla zorlandıkları ortaya konulmuştur. Tuzón ve Solbes (2014) tarafından yapılan çalışmada fen bölümünde lise öğretimine devam eden 42 öğrenciyle modelleme öğretim stratejisinin parçacık fiziğindeki kavramların ve ilgili güncel konuların öğrenilmesindeki etkisi tespit edilmek istenmiştir. Bu amaçla dört ana düzeyde toplanan ve 17 adet açık uçlu sorudan oluşan bir form geliştirilmiştir. Bu form öğrencilere öntest olarak uygulanmıştır. Öğrencilere madde bileşenlerinin güncelleşmiş kavramlarını ve bunların etkileşimlerini kapsayacak şekilde somutlaştırmaya dayalı bir öğretim stratejisiyle bir eğitim verilmiş ve sontest uygulanmıştır. Araştırmadan elde edilen verilere göre yapılan son testte, sorulara verilen doğru cevap oranının arttığı görülmüştür. Sonuç olarak parçacık fiziği hakkındaki verilen eğitimin başarıyı arttırıcı etkisi olduğu belirtilmiştir.

Parçacık fiziği konularının öğretimi için hazırlanan materyalleri tanıtan çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Lindenau ve Kobel (2019) tarafından öğretmenlerin temel parçacıkların etkileşimlerini anlamalarına yardımcı olmak için bir öğretim materyali geliştirmiştir. Parçacık fiziğinin Standart Modeli'nin temel etkileşimlerine ve bunları oluşturan yüklere odaklanan öğretim materyalinde, Almanya'daki öğretmenlere yönelik eğitimlerin 2017 yılından itibaren yaklaşık 290 öğretmene en az iki günlük kurslarla verildiği belirtilmektedir. McGinness, Dührkoop, Woithe ve Jansky (2019) tarafından yapılan çalışmada öğrencilerin parçacıklara ait olan ve kuantum renk dinamiği adı verilen özelliği anlamaları için iki ve üç boyutlu olarak proton ya da nötronu bulmaca gibi inşa etmelerini sağlayan parçalar tasarlanmış ve eğitimcilere tanıtılmıştır. Lindenau (2017) Standart Model'in evrenimizdeki temel süreçleri tanımladığımızı bildiğimiz en kesin teori olmasına ve elli yıldan uzun bir süre önce gelişmesinden bu yana sayısız deneyde onaylanmış olmasına rağmen, ülkesi olan Almanya'daki okullarda müfredatın bir parçası olmadığından yakınmaktadır. Ancak medyanın ve öğrencilerin ilgisinin etkisiyle, gittikçe daha fazla uygulanacağını düşünmektedir. Araştırmacı bu süreci desteklemek ve konuyla ilgili öğrencileri eğitmek zorunda olan öğretmenlere yardımcı olmak için, Netzwerk Teilchenwelt (NTW) aracılığıyla gerekli arka plan bilgisini sağlamak için bir materyal geliştirmiştir. NTW: ülkemizdeki Eğitim Bilişim Ağı (EBA) gibi Almanya çapında bir öğrenci, öğretmen ve bilim insanı ağıdır (www.teilchenwelt.de). 2010 yılından bu yana

parçacık fiziğinin sınıfta uygulanmasının farklı yollarını düzenli olarak ileri eğitim kurslarıyla öğretmenlerle tartışıldığını belirtmektedir. IPPOG (2013) tarafından temel parçacıkları ve etkileşimlerini keşfetmek için oyun kartlarından yararlanılarak yapılan bir çalışma bulunmaktadır. Kuark pokeri eğitsel oyunu hem ortaöğretim öğrencilerine hem de fizik öğretmenlerine uygulanarak sonuçları değerlendirilmiştir. Kartlar temel fermiyonları ve bozonları temsil edecek şekilde düzenlenmiştir. Bunlarda her parçacığın özellikleri hakkında bazı bilgiler gösterilmektedir: elektrik yükü, kütle, ömür, zayıf ve güçlü etkileşimlere duyarlılık. Oyuncular sadece parçacıkları öğrenmekle kalmayıp aynı zamanda parçacıkların nasıl davrandıklarını da öğrenmektedir. Kart oyunu dışında, IPPOG parçacık fiziği hakkında çeşitli sınıf içi etkinlik örnekleri de hazırlamıştır. Ortaöğretim öğrencileri için salata kasesinde hızlandırıcı yapımı ve legolardan kendi parçacık dedektörünü inşa etmek gibi çalışmalar ortaya konulmuştur. Aynı zamanda parçacık fiziğini öğrencilere anlatmak için Higgs'in Peşinde adlı 6 bölümden oluşan bir animasyon video serisi de hazırlanmıştır.

Yapılan araştırma sonucunda ulusal alan yazında fizik ve fen bilimleri öğretmen adaylarının atom altı parçacıklar, hızlandırıcılar ve CERN hakkındaki görüşlerinin tespit edildiği çalışmalar olduğu görülmüştür. Fizik öğretmen adaylarının atom altı parçacıklar ve parçacık hızlandırıcıları ile ilgili görüşlerini ortaya çıkarmak amacıyla 15 fizik öğretmen adayıyla yapılan araştırmada, açık uçlu sorular ve yarı yapılandırılmış görüşmeler ile veriler toplanmıştır. Araştırmanın sonucu fizik öğretmen adaylarının parçacık fiziğine dair yenilikleri takip etmedikleri ve temel parçacıkları açıklamakta bilgilerinin yetersiz olduğunu göstermiştir (Ergin, 2011). Öğreten (2019) tarafından yapılan çalışmada 221 fen bilgisi öğretmen adayının CERN ve parçacık fiziği hakkındaki görüşleri, Tuzón ve Solbes (2016) tarafından geliştirilen ve 17 adet açık uçlu sorudan oluşan 'Parçacık Fiziği Bilgi Değerlendirme Formu' ile belirlenmiştir. Araştırmanın sonunda fen bilgisi öğretmen adaylarının parçacık fiziği hakkındaki farkındalıklarının ve bilgi seviyelerinin sınırlı düzeyde olduğu, bununla birlikte bazı temel fizik düzeyindeki kavramlara ilişkin kavram yanılgılarına sahip oldukları belirlenmiştir. Sağlık (2013) tarafından yapılan çalışmada geliştirilen 'CERN Deneyleri Medya Anketi' aracılığıyla fizik öğretmen adaylarının CERN hakkındaki görüşleri tespit edilmiştir. Araştırma için uzman görüşleri alınarak oluşturulan anket, 12 adet yarı açık uçlu sorulardan oluşmaktadır. Anket sonucunda öğretmen adaylarının yarısının CERN deneyleri gerçekleştiğinde yüksek düzeyde bir ses çıkacağı görüşünde oldukları ortaya çıkmıştır. Deneyleri patlama deneyi olarak algıladıkları ve

büyük bir kısmının da deneyleri nükleer reaksiyonlar gibi algıladıkları görülmüştür. Munk-Jakobsen (2018) tarafından yapılan çalışmada fizik bölümü öğrencilerinin parçacık fiziği konularını anlama düzeyleri ve bu konulardaki kavram yanılgıları belirlenmiştir. Bu amaç için araştırmacı tarafından 10 adet açık uçlu sorudan oluşan 'Parçacık Fiziği Kavramları Testi' hazırlanmıştır. Araştırmanın sonucunda öğrencilerin atom altı parçacıklar hakkında oldukça fazla kavram yanılgısına sahip oldukları belirtilmiştir. Öğrencilerin verdikleri cevaplarda kavram yanılgılarının, parçacık ve temel etkileşim kavramlarına dayalı olarak ortaya çıktığı görülmektedir. Fizik kavramları ile gerçek yaşam arasında çok az bağlantı kurulduğu için öğrencilerin fiziği zor olduğunu belirten Demirci (2016), nötrino fiziğinin tarihsel gelişime bağlı hikayesini oluşturarak, bunu ortaöğretim veya yükseköğrenimdeki modern fizik derslerinde kullanılabileceğini belirtmiştir. Müfredatın bazı günümüz fiziğinin yaşamla bağlantılı sunulmasının, öğrencilerin merakını geliştirebileceğini belirtmektedir. Bilim tarihini sınıflarda kullanmanın; öğrencilerin fiziğe olan ilgisini, bilimin doğası hakkındaki görüşlerini ve alana yönelik bilgilerini geliştireceğini belirtmiştir.

BÖLÜM III

YÖNTEM

Bu bölümde araştırmanın deseni, çalışma grubu, uygulama süreci ile bu süreçte kullanılan etkinliklerin ve etkinlik çalışma yapraklarının geliştirilmesi ele alınmaktadır. Ayrıca etkinliklerin uygulanmasının parçacık fiziğine yönelik bilgilerine olan etkisini ve sürecin etkililiğini belirlemek amacıyla kullanılan veri toplama araçlarına ve elde edilen verilerin analiz yöntemlerine yer verilmektedir.

Araştırmanın Yöntemi

Bu çalışma iki amaçla yürütülmektedir. Çalışmanın birinci amacı, fizik öğretmenleri için parçacık fiziğiyle ilgili kazanımlara uygun etkinlikler geliştirmektir. İkinci amaç ise geliştirilen etkinliklerin uygulanmasının fizik öğretmenlerinin parçacık fiziği bilgilerinin gelişimine olan etkisini araştırmaktır. Birinci amacı gerçekleştirmek için etkinlik geliştirme çalışmaları incelenerek etkinlik çalışma yaprakları oluşturulmuş ve geliştirilen etkinlik çalışma yaprakları gönüllü fizik öğretmenlerine uygulanmıştır. İkinci amaç için ise fizik öğretmenlerinin alan bilgilerini tespit etmek için bir başarı testi geliştirilmiştir. Çalışmada geliştirilen başarı testi fizik öğretmenlerinin parçacık fiziğine yönelik bilgilerini belirlemek için ön test olarak uygulanmıştır. Geliştirilen etkinlikler uygulandıktan sonra parçacık fiziği bilgilerindeki değişimi tespit etmek için başarı testi, son test olarak tekrar uygulanmıştır. Bu yönüyle araştırma nicel araştırma desenlerinden kontrol grupsuz yani tek gruplu ön test-son test yöntemine uygun olarak görünebilir. Ancak başarı testinden elde edilen veriler tümdengelimli analizle yorumlanmış ve görüşlerinin değişimini daha ayrıntılı tespit etmek için belirlenen sorularla yarı yapılandırılmış görüşmeler gerçekleştirilmiştir. Creswell (2003)'e göre birden fazla veri toplama yöntemi ve analiz şekillerinin

araştırmalara girmesiyle, bu tarz araştırmaların karmaşıklığını ortadan kaldırmak için daha açık yöntemlere gerek duyulmuştur. Bu yönü ile araştırmanın yöntemi; bir duruma ilişkin sonuçlar ortaya koymayı hedefleyen, nitel ve nicel veri toplama araçlarının birlikte kullanıldığı iç içe karma desen olarak nitelendirilebilir (Yıldırım & Şimşek, 2008). Bir diğer adıyla çoklu yöntem olan karma yöntem tasarımı, en az bir nicel ve nitel yöntemin kullanıldığı çalışmalar olarak tanımlamaktadır. Creswell (2003) karma yaklaşımın temel önermesini "nicel ve nitel yaklaşımları birlikte kullanmak, her iki yaklaşımı tek başına kullanmaya oranla araştırma problemlerini daha iyi anlamamızı sağlar" şeklinde vermektedir. Bu nedenle bu çalışmada nitel ve nicel verilerin veya tekniklerin birleştirildiği veya karıştırıldığı araştırma yaklaşımı olan karma yöntem seçilmiştir.

Karma yöntem; 20. yüzyılın son çeyreğinde nitel ve nicel araştırma yöntemleri paradigma savaşlarını sürdürürken pragmatik bir yaklaşım olarak tek bir araştırma projesi içinde nicel ve nitel yöntemlerin birlikte kullanımını içeren bir üçüncü paradigma ortaya çıkmıştır (O'Reilly, Thorkelsson, Nobert & McLaughlan, 2009). Farklı isimlerle de bilinen karma yöntem, birleştirilmiş veya birleşik araştırma olarak verilen isimler her iki veri türünün birlikte harmalandığı fikrini öne çıkarmıştır (Steckler, McLeroy, Goodman, Bird & McCormick, 1992). Karma yöntem araştırmacıları nicel ve nitel veri toplama işlemlerinin iç içe olmasına ihtiyaç duyar çünkü çoklu veri kaynakları vardır (Creswell & Plano Clark, 2014).

Karma yöntem araştırmalarının güçlü ve zayıf yönlerinden kısaca bahsetmek gerekirse, güçlü yönleri şu şekilde belirtilmiştir:

- Çoklu bulgu kaynağı sunabilmektedir.
- Bulgunun alternatif açıklamalarını azaltmaktadır.
- Bir tek çalışmada birçok geçerlik türü sunulmasına yardım edebilmektedir.
- Fenomenin farklı yönlerini aydınlatabilmektedir.
- Daha dolgun, daha derin, daha karmaşık ve daha kapsamlı açıklamalar sunabilmektedir.
- Emik (içsel) ve etik (yansız dışsal) bakış açıları sağlayabilmektedir.
- Sonraki testler için ara mekanizmaları ve aracı faktörleri tespit edebilmektedir.
- Teoriyle uygulama arasında bağ kurmaya yardım edebilmektedir.
- Bir yöntemin zayıf yönünü başka bir yöntemi sistematik olarak dahil etmeyle telafi edebilmektedir.

- Daha güçlü sonuçlar sunabilmektedir.
- Nicel araştırmada kaçırılabilen öznel anlamı aydınlatabilmektedir.
- Çalışmanın uygulanmasını kontrol etmek için kullanılabilmektedir.
- Ölçme araçlarının işleyiş ve anlamını kontrol etmek için kullanılabilmektedir.
- Aynı çalışmada zengin, detaylı, öznel veri ile beraber nesnel nicel veri de sunabilmektedir.
- Teori/hipotez deneme araştırmalarına bir keşif veya sondajlama yönü katmaktadır.

Zayıf yönleri ise:

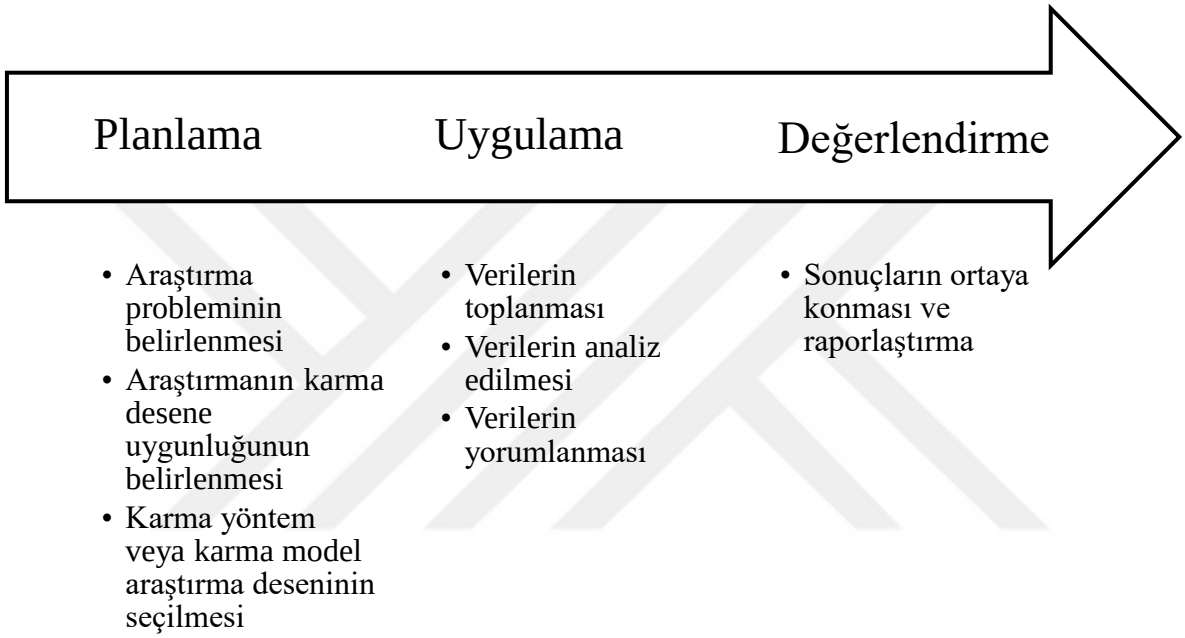
- Bir araştırmacıda veya karma yöntem takımında hem nitel hem de nicel araştırma becerisi gerektirmektedir.
- Daha fazla zaman almakta ve daha pahalıdır.
- Yeni bir yöntem olduğundan birçok tasarım, uygulama ve analiz işlemleri tamamen çalışmamış durumdadır (Christensen, Johnson & Turner, 2020).

Greene, Caracelli ve Graham (1989) karma yöntem araştırmalarının; çeşitleme, tamamlama, geliştirme, başlatma ve genişletme olarak beş önemli işlevi olduğunu bildirmektedir. Bu çalışmada; ön ve son test olarak uygulanan başarı testine ve Likert tipi etkinlik değerlendirme formuna verilen cevaplar hem nitel hem de nicel olarak değerlendirilmiştir. Etkinlik çalışma yapraklarındaki çalışmalara ve yarı yapılandırılmış görüşme sorularına verilen cevaplarla nitel veriler toplanmıştır. Bu amaç doğrultusunda karma yöntemin tercih edilmesinin mantığı, tamamlayıcılık olacaktır.

Karma yöntem araştırmaları çalışmalarının tasarımları tartışıldığında kimi zaman nitel ve nicel araştırmalar eşzamanlı olarak yürütülürken kimi zaman da art arda yürütülebilmektedir. Creswell (2003), karma yöntem araştırmacılarının seçebilecekleri en sık kullanılan altı temel tasarım olduğunu söylemektedir. Bunların üçü eşzamanlı, üçü ise sıralı yapılan tasarımlardır. Uygulamada ön testler yapıldıktan sonra nitel veriler son test yapılıncaya kadar toplanmaktadır. Bu araştırma türünü Creswell, Plano Clark, Gutmann ve Hanson (2003) aynı zamanlı iç içe karma araştırma deseni olarak ifade etmektedir. Bu desende nicel ya da nitel veriye ağırlık verilir. Bu tasarımlarda bir tür veri diğerinin içinde olduğundan içte kalan veri türüne daha az önem verilir. Bunun bir sebebi, az önem verilen veri türünün tümüyle farklı bir soru veya soru takımlarına cevap vermede yardımcı olmak için kullanılıyor olmasıdır. Verilerin birleştirilmesi genelde veri analizi aşamasında yapılır.

Bu tasarım çalışılan konu hakkında geniş bir bakış açısı kazanmak ve bir çalışma içerisinde farklı gruplar veya seviyelerle araştırma yapılmak istendiğinde yararlıdır (Creswell, 2003).

Karma yöntem araştırmalarında araştırma amaçlarına, araştırma örneklemine, araştırma kapsamına ve araştırmanın derinliğine bağlı olarak izlenebilecek çeşitli aşamalar mevcuttur. Ancak genel olarak bir karma yöntem araştırmasında izlenebilecek adımları planlama, uygulama ve değerlendirme aşamaları içerisinde özetlemek mümkündür. Şekil 1'de karma yöntem araştırmalarında izlenebilecek adımlar özetlenmiştir.



Şekil 1. Karma yöntem araştırmalarında izlenebilecek adımlar. "*Bir Eğitim Teknolojisi Araştırmasına Dayalı Olarak Karma Yöntem Araştırması Deneyimi",* Fırat, M., Kabakçı Yurdakul, I. & Ersoy, A. 2014, https://dergipark.org.tr/tr/pub/enad/issue/5511/74749 sayfasından erişilmiştir.

Şekil 1'de görüldüğü gibi genel olarak karma yöntem araştırmalarında izlenen aşamaları; araştırma probleminin belirlenmesi, araştırmanın karma desene uygunluğuna karar verilmesi, karma yöntem veya karma model araştırma deseninin seçilmesi, verilerin toplanması, verilerin analiz edilmesi, verilerin yorumlanması, sonuçların ortaya konması ve raporlaştırılması biçiminde sıralanabilir (Johnson & Onwuegbuzie, 2004). Araştırmanın problemi fizik öğretmenlerinin parçacık fiziği konusuna yönelik bilgi ve merakının arttırılması olarak belirlenmiştir. Bunun için yapılan çalışmalar sırasında veriler hem nitel hem de nicel yolla toplanmıştır. Bu nedenle araştırmanın yöntemi karma desene uygun olarak seçilmiştir.

Veri Toplama Araçları

Çalışmada fizik öğretmenlerinin parçacık fiziği konusuna yönelik bilgilerini geliştirmek amacıyla etkinlik tasarım prensiplerine uygun 12 adet etkinlik oluşturulmuştur. Bu etkinliklerin uygulanması sırasında kullanılacak olan 'Etkinlik Çalışma Yaprakları' (EÇY) araştırmacı tarafından hazırlanmıştır. Çalışma yaprakları etkinliğin uygulama yönergelerini içermekle birlikte, uygulama sırasında veri toplama amacıyla da kullanılmıştır. Alan bilgilerinin gelişimini tespit etmek için ise parçacık fiziğiyle ilgili 15 adet kısa cevaplı açık uçlu sorudan oluşan Parçacık Fiziği Başarı Testi (PFBT) geliştirilmiştir. Aynı zamanda etkinlikler uygulandıktan sonra katılımcıların ilgili etkinliği değerlendirmesi için Likert tipi Etkinlik Değerlendirme Formu (EDF) kullanılmıştır. Katılımcıların tüm etkinliklerin uygulanmasına ilişkin görüşlerini almak için yarı yapılandırılmış görüşmeler gerçekleştirilmiştir. Araştırmada kullanılan veri toplama araçları ve bunların geliştirilmesi ile ilgili bilgiler ayrıntıları ile birlikte aşağıda yer almaktadır.

Etkinlik Çalışma Yaprakları ve Geliştirilmesi

MEB ortaöğretim fizik dersi öğretim programına göre (2018), öğretim programının uygulanmasında dikkat edilecek hususlar kısmında:

> "…Öğretim materyali hazırlama ve derse hazırlıklı gelmenin öğretmenin asli görevleri arasında olduğu unutulmamalıdır. Öğretmenler, fizik dersi ile ilgili bilgi, beceri, değer ve tutumları öğrencilerine kazandırırken sadece ders kitaplarına bağlı kalmamalıdırlar. Sınıf düzeyi, öğrencilerin ilgi, hazır bulunuşluk düzeyleri, öğrenme stilleri gibi unsurları göz önünde bulundurarak kazanımlarla tutarlı olacak şekilde öğretim materyalleri (bilgi notu, sunum, etkinlik, çalışma kâğıtları, proje, okuma parçaları vb.) yapılandırmalı ve kullanmalıdırlar. Öğretim materyalleri hazırlanırken zümre öğretmenleri ve diğer disiplinlerin öğretmenleriyle iş birliği yapılmalıdır."

denilmektedir. MEB 12. sınıf fizik AL ve FL ders kitapları incelendiğinde, atom altı dünyaya ait konularda öğrencilerin düşünme becerilerine katkı sağlayacak etkinliklerin kitaplarda bulunmadığı görülmektedir. Ders kitapları basılı materyallerin en sık kullanılanı ve öne çıkanlarıdır (Ceyhan & Yiğit, 2004; Demirel, 1999; Güzel & Adıbelli, 2011). Ayrıca yeni geliştirilen müfredatları öğrencilerin öğrenmesinde önemli bir rol oynayan öğretmenler için yeni materyaller gerekmektedir (Coenders vd., 2010). Bu nedenle yapılan çalışma sonucunda parçacık fiziği konusuna ait etkinliklerin geliştirilmesiyle fizik öğretmenlerinin öğretim programının hedeflerine ulaşmak adına; uygulama aşamalarında fazla zaman harcamadan, özel bir ortama gerek duymadan, basit araç-gereçlerle yapılabilecek etkinliklerin kullanımına olanak sağlanacağı düşünülmektedir.

Öğretim ortamlarındaki elemanların sabit olamayacağı göz önünde bulundurulduğunda, her zaman için geçerli prensipler ortaya koymak oldukça zordur. Ancak iyi etkinlikler sunabilmek için etkinlik tasarım ve uygulama prensipleri göz önüne alınarak hazırlanmaları gerekmektedir. Bu alanda farklı etkinlikler tasarlayan araştırmacılar, bu çalışmalar ışığında farklı prensipler sunmuştur (Ainley, Pratt & Hansen, 2006; Dreyfus & Tsamir, 2004; Schwarz & Linchevski, 2007; Stylianides & Stylianides, 2008). Bu çalışmalardan yola çıkan Özmantar ve Bingölbali (2009) etkinlik tasarım ve uygulama prensibi çerçevesinde nelerin dikkate alındığına dair bazı ölçütler belirlemiştir. Bir etkinliğin tasarlanması ve uygulanması sırasında dikkat edilmesi gereken bu ölçütler kısa başlıklar olarak şunlardan oluşmaktadır:

- Amaç,
- Zaman kullanımı,
- Sınıf organizasyonu,
- Öğrenci ön bilgileri,
- Kapsayıcılık (tüm öğrencileri kapsaması, birden fazla başlangıç noktasının olması)
- Kullanılan materyallerin uygunluğu (kolay temin edilmesi, materyallerin kullanımına yönelik yönergelerin verilmesi)
- Öğretmen ve öğrenci rolleri,
- Öğrenci zorlukları,
- Ölçme ve değerlendirme,
- Esneklik.

Kerpiç ve Bozkurt (2011) yaptıkları çalışmada bu ölçütleri ayrıntılı olarak açıklamaktadır. Etkinlik tasarımında bu ölçütler dikkate alınırsa, etkinliklerden daha fazla verim alınacak ve uygulama sırasında çıkabilecek sorunlar en aza indirilmiş olacaktır (Kerpiç & Bozkurt, 2011).

Kurt (2002) yapılandırmacı öğrenme kuramına uygun çalışma yapraklarının hazırlanması için üç bölümden oluşan bir plan sunmaktadır. Birinci bölümde çalışma yaprağının başında konuyu yansıtan dikkat çekici bir başlığa yer verilmelidir. Katılımcıların ön bilgisini tespit etmeye ve konuya ilgisini artırmaya yönelik sorular sunulmalıdır. Böylece zihinlerde bir soru işareti oluşturulmalıdır. İkinci bölümde katılımcıların yeni konu ile ilgili deneyim kazanabilmeleri için gerekli araç-gereçler verilerek, deneyimlerini verilen yönergeler

yardımıyla çalışma kâğıdında bulunan boşluklara kaydetmeleri sağlanmalıdır. Katılımcıların kaydettikleri verilerin ne anlama geldiğini yorumlamalarını isteyen sorular da çalışma kâğıdında yer alarak, kavramlarla ilgili genellemeler yapmaları sağlanmalıdır. Üçüncü bölümde katılımcıların öğrendiği yeni bilgileri farklı durumlara uyarlayabilecekleri sorulara yer verilerek, yeni deneyimler kazanmaları sağlanmalıdır.

Araştırmacı tarafından etkinliklerin tasarımında yukarıda açıklanan bölümlerin oluşturulmasına dikkat edilmiştir. Araştırma için geliştirilen bazı etkinliklerde ön bilgilerin öğrenilmesi için gerekli çalışmaya yer verilirken, bazı etkinliklerde ise öğrenilen bilgilerin farklı durumlarda kullanılmasını sağlayan çalışmalara yer verilmiştir. Etkinliğin içeriğine bağlı olarak bazı EÇY'lerde birinci ve üçüncü bölüm EÇY'lerde bulunmakta bazılarında ise sadece ikinci bölüm yer almaktadır.

Günümüzde görsel materyallerin her alanda kullanıldığı ve özellikle öğrencilerin teknolojik araçların etkisinde olduğu görülmektedir (Demirel & Yağcı, 2007). Bu yüzden araştırmada kullanılan EÇY'lerde çeşitli görüntü ve videolarla desteklenerek daha kalıcı, zevkli ve anlamlı bir öğrenme sağlanması amaçlanmıştır.

Hallaç (2011) etkinliklerin bireylerin bilgi düzeylerine uygun, dikkatlerini çekebilecek tarzda hazırlanmasının önemli olduğunu; bununla birlikte tüm bireylerin katılım sağlayacağı bilgi düzeylerine göre düzenlenmiş topluluklar oluşturularak etkinliklerin uygulanmasının kişilere bilgiyi öğrenme aşamasında kolaylıklar sağlayacağını ifade etmektedir. Bu amaçla etkinliklerde konunun ele alınışı fizik öğretmenlerinin dikkatini çekecek şekilde yapılmaya dikkat edilmiştir.

Öğretim etkinliklerini seçerken göz önüne alınması gereken nitelikler Parker'dan aktaran Aykaç'a göre (2007) göre şunlardır:

- Kavram öğretimini zenginleştirmesi,
- Düzgün ve doğru şekilde planlanması,
- Çocukların yeteneklerine yönelik olması,
- Verilen emeğin ve harcanan zamanın karşılığının alınması,
- Çocukların dikkatli düşünmelerine olanak tanıması,
- Masraf ve zaman açısından uygun olması,
- Araç gereç kullanımına imkân sağlaması.

Etkinlikler; kazanıma yönelik olmalı, bireysel farklılıkları dikkate almalı, düşünmeye ve bireysel anlam oluşturmaya yardımcı olmalı, öğrenciyi merkeze almalı, özgün ve karmaşık olmalı ve işbirliğini desteklemelidir. Ayrıca öğrencilerin aktif olacakları eylemleri içermeli, modelleme yapabilmelerine fırsat sunan malzemeleri içermeli, seviyelerine ve ön bilgilerine uygun, günlük yaşamla ilişkili, ilgi çekici ve düşündürücü, birden fazla duyu organına hitap edecek şekilde olmalıdır (Tolan Sürbahanlı, 2018). Hayırsever (2010) etkinliklerin gerçek yaşamla paralellik göstermesi gerektiğini vurgulamıştır. Bununla birlikte öğrencilerin geçmiş yaşantılarını ve bilgilerini kullanacakları, yeni bilgilerin kazanılmasını sağlayacak etkinliklerin düzenlenmesi gerektiğinden bahsetmektedir. Öğrencilerin yaratıcı düşünme yeteneğinin yanında var olan sorunların çözümü aşamasında da katkı sağlayacağı ortamların hazırlanmasının öğrencilerin gelişimi açısından önemli olduğu ifade edilmiştir. Bu bağlamda etkinliklerin fizik öğretmenlerinin yeni bilgi edinmesini sağlarken 12. sınıf ortaöğretim fizik öğretim programındaki kazanımlardan yola çıkılarak içerik zenginleştirilmiştir.

Öğretim etkinliklerinin doğru bir biçimde hazırlanmasında ve uygulanmasında MacGregor'dan aktaran Günay'a göre (2013) aşağıdaki soruların araştırmacılara yardımcı olacağını belirtmektedir:

- Etkinliğin amacı nedir?
- Etkinlik hangi yeterlilikleri ve öğrenme hedeflerini kazandırmaya yöneliktir?
- Bu etkinlik için ön bilgiler nelerdir?
- Bu etkinliğe amacını/amaçlarını çağrıştıracak biçimde, nasıl bir ad verebiliriz?
- Etkinlik hangi hazırlıkları gerektiriyor?
- Etkinlik grupla mı, bireysel mi gerçekleşmeli? Grupla ise kaç kişilik gruplar?
- Süre en az ne kadar olmalıdır?
- Gerekli araç gereçler nelerdir, nasıl elde edilebilir?
- Etkinlik nasıl gerçekleşecek?
- Etkinlik nasıl sunulacak?
- Etkinlik sürecinde öğrenciler neleri, hangi sırada yapacaklar?
- Öğrencilerin çalışma süresi içinde öğretmen neleri yapacak?
- Etkinlik nasıl değerlendirilecek?
- Kişi veya grupların görüşleri nasıl alınacak?
- Neler tartışılacak, eleştirilecek?

- Öğrenme hedefleri neler oldu? Etkinlik amacına ulaştı mı? Tekrarlanmalı mı, benzerlerini yapmak gerekli mi?
- Geliştirme ve güçlendirme yapmalı mıyız?
- Bu etkinlik geliştirilmeli mi? Niçin? Nasıl?
- Etkinlik problem çalışması ile desteklenebilir mi?
- Örnek çalışmalar sergilenecek mi?
- Ödev etkinlik verilebilir mi?

Etkinliklerin hazırlanması ve uygulanması aşamasında ise şunlara dikkat edilmelidir:

- Kazanımın doğru bir şekilde belirlenmesi gerekmektedir.
- Kazanımın içerisinde kazandırılacak kavramların belirlenmesi gerekmektedir.
- Öğrenilecek kavramlar ile daha önce öğrenilmiş kavramlar arasında ilişki kurulmalıdır.
- Öğrencilere uygulanacak etkinlikler ile konu ile ilgili kavram ve kazanımlar somut bir şekilde sunulmalıdır.
- Okul ve sınıfın fiziki özelliklere dikkate alınarak uygulanacak etkinliğin grup ya da bireysel olması belirlenebilirken, materyallerde tespit edilebilir.
- Derste uygulanacak etkinliklerin mutlaka süresi belirlenmelidir. Bu sayede zaman konusunda sorun aşılmış olunur.
- Etkinliklerin sırası planlı bir şekilde belirlenmelidir.
- Etkinliklerde yararlanılacak materyaller belirlenmelidir.
- Uygulanacak materyaller öğrenci seviyesine uygun ve anlaşılır olmalıdır.
- Etkinliklerin değerlendirme aşamaları da belirlenmeli ve etkinlikler sonlandırıldıktan sonra mutlaka değerlendirilmelidir (Camci, 2012).

Yukarıda yer alan alan yazındaki etkinlik geliştirmeye yönelik bilgilerden yararlanarak parçacık fiziği konusuna yönelik etkinlikler hazırlanmıştır. Buna yönelik basamakların her biri hakkında ayrıntılı açıklamalar aşağıda yer almaktadır.

Parçacık Fiziğiyle İlgili Kazanımların Belirlenmesi

Etkinliklerin geliştirilmesine lise fizik öğretim programındaki parçacık fiziği ile ilgili kazanımların belirlenmesiyle başlanmıştır. MEB 2018 fizik öğretim programında parçacık

fiziği ile ilgili konular 12. sınıfta yer almaktadır. Anadolu lisesi ile fen lisesi kazanımları aşağıda verilmiştir.

Anadolu lisesi öğretim programında bulunan parçacık fiziği kazanımları şunlardır:

- Atom altı parçacıkların özelliklerini temel düzeyde açıklar.
- Öğrencilerin atom altı parçacıkları standart model çerçevesinde tanımlamalarını sağlar.
- Korunum yasaları ile ilgili matematiksel hesaplamalara girilmez.
- Dört temel kuvvetin açıklanması sağlanır.
- Abdus Salam, Sheldon Lee Glashow ve Stephen Weinberg'in Nobel ödülünü elektromanyetik ve zayıf kuvvetin birleşik bir kuvvet görünümünde olduğunu keşfetmeleri üzerine aldıkları vurgulanır.
- Madde oluşum sürecini açıklar.
- Atom altı parçacıklardan başlayarak madde oluşumunun modelle açıklanması sağlanır.
- Higgs bozonuna kısaca değinilir.
- Madde ve antimadde kavramlarını açıklar.

Fen lisesi öğretim programında bulunan parçacık fiziği kazanımları şunlardır:

- Atomun özelliklerini Modern Atom Teorisi'ne göre açıklar.
- Stern-Gerlach deneyinin sonuçlarının incelenmesi sağlanarak elektron spini kavramı üzerinde durulur.
- Öğrencilerin sis odası deneyini araştırmaları ve üzerinde tartışmaları sağlanır.
- Matematiksel hesaplamalara girilmez.
- Öğrencilerin CERN'de yapılan çalışmaların büyük patlama ile bağlantısını tartışmaları sağlanır.
- Atom altı parçacıkların özelliklerini açıklar.
- Öğrencilerin atom altı parçacıkları standart model çerçevesinde tanımlamaları sağlanır.
- Korunum yasaları ile ilgili matematiksel hesaplamalara girilmez.
- Dört temel kuvvetin açıklanması sağlanır.

- Abdus Salam, Sheldon Lee Glashow ve Stephen Weinberg'in Nobel ödülünü elektromanyetik ve zayıf kuvvetin birleşik bir kuvvet görünümünde olduğunu keşfetmeleri üzerine aldıkları vurgulanır.
- Atom altı parçacıklardan atomların oluşumuna yönelik çıkarımlar yapar.
- Öğrencilerin, atom altı parçacıklar arasındaki etkileşim kuvvetini açıklamaları sağlanır.
- Madde oluşum sürecini açıklar.
- Atom altı parçacıklardan başlayarak madde oluşumunun modelle açıklanması sağlanır.
- Higgs bozonuna kısaca değinilir.
- Madde ve antimadde kavramlarını açıklar.

Çalışmanın katılımcılarının fizik öğretmenleri olması ve her iki lise türünde görev yapabilme durumları olduğundan kazanımlar birleştirilmiştir. Birleştirilen ve araştırmanın kapsamında bulunan kazanımlara yönelik bilgiler Tablo 1'de özetlenmiştir.

Tablo 1

Lise Fizik Öğretim Programlarında Bulunan Parçacık Fiziği Kazanımları

AL	FL	Kazanım Numarası	Kazanım
✓	✓	12.4.2.2 a)	Öğrencilerin atom altı parçacıkları standart model çerçevesinde tanımlamaları sağlanır.
✓	✓	12.4.2.2 c)	Dört temel kuvvetin açıklanması sağlanır.
✓	✓	12.4.2.2 ç)	Abdus Salam, Sheldon Lee Glashow ve Steven Weinberg'in Nobel ödülünü elektromanyetik ve zayıf kuvvetin birleşik bir kuvvet görünümünde olduğunu keşfetmeleri üzerine aldıkları vurgulanır.
✓	✓	12.4.2.4 a)	Atom altı parçacıklardan başlayarak madde oluşumunun modelle açıklanması sağlanır.
✓	✓	12.4.2.4 b) 12.4.2.3 b)	Higgs bozonuna kısaca değinilir.
✓	✓	12.4.2.4 12.4.2.5	Madde ve antimadde kavramlarını açıklar
	✓	12.4.1.4 b)	Öğrencilerin sis odası deneyini araştırmaları ve üzerinde tartışmaları sağlanır.

✓	12.4.1.4 d)	Öğrencilerin sunumlarında CERN'de yapılan çalışmaların büyük patlama ile bağlantısını tartışmaları sağlanır.
✓	12.4.1.4 a)	Stern-Gerlach deneyinin sonuçlarının incelenmesi sağlanarak elektron spini kavramı üzerinde durulur.
✓	12.4.2.3	Öğrencilerin, atom altı parçacıklar arasındaki etkileşim kuvvetini açıklamaları sağlanır.

Etkinlik Çalışma Yapraklarının Oluşturulması

Fizik öğretmenlerine uygulanacak öğretim etkinliklerinin tasarlanmasında, Tablo 1'de yer alan parçacık fiziği kazanımları başlangıç noktasıdır. Parçacık fiziği güncel bir konu olup gelişmeler çok hızlı olmaktadır. Bu sebepten etkinliklerin bu gelişmeleri içermesi gerekir. Daha sonra bu gelişmelerin takip edilebilmesi için katılımcıların yani fizik öğretmenlerinin bilim insanı gibi çalışacağı şekilde etkinliklerin oluşturulması önemlidir.

Kazanımlar belirlendikten sonra, kazanımlara yönelik etkinlik geliştirme aşamasına geçilmiştir. Bunun için öncelikle fen eğitiminde farklı tekniklerle konu alanına bağlı etkinlik uygulamalarına yönelik hazırlanan Keleş'in (2014) eseri incelenmiştir. Fen eğitiminde farklı tekniklerle konu alanına bağlı etkinlik uygulamalarına yönelik hazırlanan Keleş'in (2014) eseri incelenmiştir. Aynı zamanda uluslararası alan yazında parçacık fiziği alanına bağlı olarak hazırlanmış olan etkinlikler incelenmiştir (Alexopoulos, 2014; Alsop & Beale, 2013; Andrews & Nikolopoulos, 2018; Cid & Cid, 2009; 2010; Csörgő, 2012; 2016; Csörgő, Török & Csörgő, 2011; 2012; Demirci, 2016; Ergin, 2011; Gourlay, 2016; Lindenau & Kobel, 2019; McGinness vd., 2019; Munk-Jakobsen, 2018; Özdemir, 2017; Pavlidou & Lazzeroni, 2016a; 2016b; Sağlık, 2013; Tuzón & Solbes, 2016; Wiener vd., 2016; Wiener vd., 2017; Woithe vd., 2017). Aynı zamanda parçacık fiziği alanında yazılan kitaplar da incelenmiştir (Akgün vd., 2014; Denegri, Guyot, Hoecker & Roos, 2018; Griffiths, 2015; Still, 2017; Wienberg, 2002). Araştırmada geliştirilen materyallerin en önemli bölümünü etkinliklerin çalışma yaprakları oluşturmaktadır. Çalışma yaprakları, izlenmesi gereken bütün basamakların sırayla belirtildiği ve aynı anda bütün sınıfın etkinliğe katılmasını sağlaması açısından kullanışlı araçlardır (Yiğit vd., 2001). Böylece etkinlik tasarım ve uygulama prensipleri çerçevesinde belirlenen 10 adet kazanımdan yola çıkılarak etkinliklerin oluşturulma çalışmasına başlanmıştır.

Etkinliklerin yapımında kolay temin edinilen, maliyeti düşük, basit araç-gereçlerin seçilmesine dikkat edilmiştir. Basit araç-gereçlerle yaparak-yaşayarak öğrenme uygulamalarının eğitim ortamı ve öğrenciler üzerine pek çok katkısı olduğu bilinmektedir (Çepni, Akdeniz & Ayas; 1994; Hardal & Eryılmaz, 2004; Satterthwait, 2010; Uluçınar, Cansaran & Karaca, 2004; Uzal, Erdem, Önen & Gürdal, 2010). Laçin Şimşek'e (2014) göre etkinlik temelli öğretim yaklaşımında yer verilecek etkinliklerin yedi temel özelliğe sahip olması gerekmektedir. Bu özellikler: kolay, anlaşılır, basit, ucuz, etkileyici, eğlenceli, beş duyu organına hitap ediyor olmaktır.

Etkinlikler tasarlandıktan sonra etkinliklerde kullanılacak Etkinlik Çalışma Yaprakları (EÇY) hazırlanmıştır (EK 1). EÇY'ler katılımcıların kullanacağı çalışma yapraklarıdır. Ayrıca etkinlikleri yöneten kişinin kullanacağı Eğitici Kılavuzları (EĞK) oluşturulmuştur (EK 4). Eğitici kılavuzlarında; etkinliğin adı, etkinlikte öğrenilmesi amaçlanan kazanım, etkinlikte uygulanan yöntem-teknikler, etkinliğin süresi, etkinlik için gerekli olan malzemeler ve etkinliğin nasıl uygulanması gerektiğine dair bilgiler yer almaktadır.

Etkinliklerin içeriklerinin bazıları alan yazından alınmış bazıları ise oluşturulmuştur. Etkinliklerin adları ve ait oldukları kaynaklar Tablo 2'de görülmektedir.

Tablo 2

Etkinliklerin Adları ve Ait Olduğu Kaynaklar

Etkinliğin Adı	Kaynak
Stern-Gerlach Deneyi	Araştırmacı tarafından geliştirilmiştir.
Sis Odası Deneyi	Woithe (2017)
CERN'de Neler Oluyor?	Araştırmacı tarafından geliştirilmiştir.
Parçacık Bulmacasının Parçaları	The Elegant Universe: Particle Puzzle Pieces (PBS Learning Media, t.y.)
Kuark Kart Oyunu	Csörgő (2012)
Etkileşimlerin Doğası	The Elegant Universe: Forces of Nature, Finding Forces (PBS Learning Media, t.y.)
Etkileşimlerin Süreci	Araştırmacı tarafından geliştirilmiştir.
Atom Altı Parçacıklardan Maddeye	Still (2017)
Higgs Bozonu	Araştırmacı tarafından geliştirilmiştir.

Madde ve Antimadde	The Elegant Universe: Tracking Particle Paths (PBS Learning Media, t.y.)
Parçacıkların İzlerini Sürmek	Tracking Unseen Particles (Contemporary Physics Education Project, t.y)
Feynman Diyagramları	Pavlidou & Lazzeroni (2016b)

Etkinliklerin her biri farklı sayıda çeşitli aşamalardan oluşmaktadır. Etkinlik çalışma yapraklarında yer alan aşamalar, aşamanın amacı ve kullanılan yöntem-teknikler hakkında yapısal özellikleri Tablo 3'te yer almaktadır.

Tablo 3

Etkinlik Çalışma Yapraklarının Yapısal Özellikleri

Etkinlik Numarası	Etkinliğin Adı	Etkinlikteki Bölüm	Etkinlikteki Bölümün Amacı	Kullanılan Yöntem-Teknik
1	Stern-Gerlach Deneyi	I.	Stern-Gerlach deneyinin sonuçlarını tahmin etme	Anlatım, boşluk doldurma, tartışma
2	Sis Odası Deneyi	I.	Sis odası deneyinde oluşan izlerin verilen üç parçacıktan hangisine ait olacağını tahmin etme	Gösteri deneyi, anlatım, gözlem, soru-cevap, Tartışma
3	CERN'de Neler Oluyor?	I.	CERN'de araştırılan soruların cevaplarını tahmin etme	Anlatım, boşluk doldurma, tartışma
4	Parçacık Bulmacasının Parçaları	I.	Katılımcıların elektron, atom, çekirdek, molekül ve hücre kavramları hakkında ön bilgilerini öğrenme	Boşluk doldurma
			Temel parçacık kavramı hakkındaki tahminleri öğrenme	Soru-cevap
		II.	Protonu ve nötronun kuark bileşimini tahmin etme	Anlatım, boşluk doldurma, tartışma
5	Kuark Kart Oyunu	I.	Parçacık sınıflarına dair ön bilgileri öğrenme	Boşluk doldurma
		II.	Verilen mezon ve baryonun yüklerini hesaplama	Anlatım, boşluk doldurma

		III.	Verilen kuark kartlarının mezon/baryon yapmak amacıyla eşleştirilmesi	Eğitsel oyun
6	Etkileşimlerin Doğası	I.	Katılımcıların hücreden kuarka kadar olan kavramlar hakkındaki ön bilgileri öğrenme	Boşluk doldurma
		II.	Etkileşimlerin özelliklerini tahmin etme	Anlatım, Boşluk doldurma, tartışma
		III.	Vücudumuzda hangi etkileşimlerin olabileceğinin tartışılması	Beyin fırtınası
7	Etkileşimlerin Süreci	I.	Elektrozayıf etkileşim hakkında ön bilgileri öğrenme	Soru- cevap tekniği
		II.	Temel etkileşimler sürecindeki kavramların tahmin edilmesi	Anlatım ve boşluk doldurma, Tartışma
		III.	Öğrenilen yeni kavramları farklı durumlarda kullanma	Beyin fırtınası tekniği
8	Atom Altı Parçacıklardan Maddeye	I.	Temel parçacıktan su molekülüne hangi kavramların olduğuna dair ön bilgilerin tespit edilmesi	Boşluk doldurma, tartışma
		II.	Bir su molekülünü legolarla inşa edilmesi	Anlatım, boşluk doldurma, tartışma
		III.	Temel parçacık kavramının zamanla değişiminin tartışılması	Beyin fırtınası
9	Higgs Bozonu	I.	Higgs bozonuna dair ön bilgilerin tespit edilmesi	Soru-cevap
		II.	Higgs analojisindeki öğelerin tahmin edilmesi	Anlatım, soru-cevap
		III.	Higgs hakkında bir analoji oluşturma	Analoji
10	Madde Ve Antimadde	I.	Antimadde hakkında ön bilgileri öğrenme	Soru-cevap
		II.	Kabarcık odasındaki izler hakkında görüş bildirme	Anlatım, soru-cevap

11	Parçacıkların İzlerini Sürmek	I.	Dedektördeki olayların incelenmesi	Anlatım, soru-cevap
12	Feynman Diyagramları	I.	Feynman diyagramına ait bozunmanın tahmin edilmesi	Anlatım, soru-cevap
		II.	Denklemi verilen bozunmanın Feynman diyagramının çizilmesi	Soru-cevap

Etkinlikler Hakkında Uzman Görüşünün Alınması

Hazırlanan etkinliklerin uzman görüşünün alınmasında Lawshe (1975) tekniğinden faydalanılmıştır. Lawshe tekniği olarak bilinen bu yaklaşım aşağıda belirtilen aşamalardan oluşmaktadır:

- Alan uzmanları grubunun oluşturulması,
- Ölçek formlarının hazırlanması,
- Uzman görüşlerinin elde edilmesi,
- Maddelere ilişkin kapsam geçerlik oranlarının elde edilmesi,
- Ölçeğe ilişkin kapsam geçerlik indekslerinin elde edilmesi,
- Kapsam geçerlik oranları/indeksi ölçütlerine göre nihai formun oluşturulması.

Öncelikle alan uzmanları grubu oluşturulmuştur. Alan uzmanlar grubu, CERN'de ülkemizi temsil eden bir bilim insanı, parçacık fiziği alanında çalışmalar yapan bir akademisyen, fizik alanında görev yapan bir akademisyen, fizik eğitimi alanında görev yapan bir akademisyen ile CERN'de yapılan eğitime katılan, Beamline for Schools yarışmasına öğrencileri ile projeler hazırlayan ve az 20 yıllık deneyime sahip 2 fizik öğretmeninden oluşmaktadır. Toplamda 5 uzmanın görüşü alınmıştır. Lawshe tekniğinde en az 5, en fazla ise 40 uzman görüşüne ihtiyaç vardır. Parçacık fiziği ile ilgili çalışan uzmanların sayısı az olduğundan görüş alınacak uzman sayısı 'en az' kriterini sağlamıştır. Uzman grubuna ait demografik özelikler Tablo 4'te yer almaktadır.

Tablo 4

Etkinlik Çalışma Yaprakları Uzman Grubunun Demografik Özellikleri

Kod	Cinsiyet	Unvan	Lisans Eğitimi
1	Kadın	Prof. Dr.	Fizik
2	Kadın	Dr.	Fizik
3	Erkek	Prof. Dr.	Fizik
4	Erkek	Öğretmen	Fizik Eğitimi
5	Erkek	Öğretmen	Fizik

Etkinlik çalışma yapraklarının uygunluğunun değerlendirilmesi için dört kriter belirlenmiştir. Bunlar: dil açısından uygunluk, bilimsel açıdan uygunluk, kazanıma uygunluk, kazanımın kazandırılması açısından uygunluk. Uzmanların bu kriterlerlere göre değerlendirme yapacakları bir tablo EÇY'lerine eklenerek uzman ölçek formları oluşturulmuştur. Bu tabloda uzmanların kriterleri derecelendirmeleri için 'uygun', 'düzeltilmeli' ve 'uygun değil' olarak işaretleyecekleri alanlar bulunmaktadır. Ayrıca 'düzeltilmeli' olarak işaretlenmiş ise uzmanların önerilerini belirtecekleri bir alan bulunmaktadır. Uzmanlara ihtiyaç duymaları halinde düzeltilmesini istedikleri yerleri EÇY'ler üzerine yazabilecekleri belirtilmiştir (EK 5).

Kapsam geçerlik oranı (KGO), maddenin istatiksel olarak anlamlı olup olmadığını test etmek için geliştirilen bir ölçüttür. KGO herhangi bir maddeye ilişkin 'uygun' görüşünü belirten uzman sayılarının maddeye ilişkin görüş belirten toplam uzman sayısının yarısına oranının 1 eksiği ile elde edilir (Lawshe, 1975). Uzmanların yarısı maddeye ilişkin uygun şeklinde görüş bildirdiklerinde KGO'nun değeri sıfıra eşit, yarısından fazlası uygun şeklinde görüş bildirmiş ise KGO'nun değeri sıfırdan büyük ve uzmanların yarısından fazlası uygun şeklinde görüş bildirmemiş ise KGO'ların değeri sıfırdan küçük olacaktır. İlk olarak elenen maddeler KGO'nun negatif ya da 0 değerini alanlardır. KGO değerleri pozitif olan maddeler için ise istatistiksel ölçütler ile anlamlılıkları test edilir (Ayre & Scally 2014; Lawshe, 1975; Wilson, Pan & Schumsky, 2012). Elde edilen KGO'ların istatistiksel olarak anlamlılığını test etmek için KGO'lar için ilgili alan yazında önceleri birikimli normal dağılımından yararlanılırken, hesaplama kolaylığı açısından 0,05 anlamlılık düzeyinde KGO'ların minimum değerleri Veneziano ve Hooper (1997) tarafından yapılan çalışmada belirlenmiştir. Buna göre, uzman sayısına ilişkin minimum değerler aynı zamanda maddenin istatistiksel anlamlılığı vermektedir. Bunun için madde madde uzman görüşleri tek bir formda birleştirilmiştir. Uzmanlardan alınan görüşler ile

KGO değerleri hesaplanmıştır. Hesaplanan KGO değerlerine ait bilgiler Tablo 5'te yer almaktadır.

Tablo 5

Etkinlik Çalışma Yaprakları için Uzman Görüşlerine Göre Hesaplanan KGO Değerleri

Etkinlik Adı	Kriterler	Uygun	Düzeltilmeli	Uygun Değil	KGO Değeri
1. Stern-Gerlach Deneyi	Dil açısından	5	0	0	1
	Bilimsel açıdan	5	0	0	1
	Kazanıma uygunluğu açısından	5	0	0	1
	Kazanımın kazandırılması açısından	5	0	0	1
2. Sis Odası Deneyi	Dil açısından	4	1	0	0,6*
	Bilimsel açıdan	5	0	0	1
	Kazanıma uygunluğu açısından	5	0	0	1
	Kazanımın kazandırılması açısından	5	0	0	1
3. CERN'de Neler Oluyor?	Dil açısından	5	0	0	1
	Bilimsel açıdan	5	0	0	1
	Kazanıma uygunluğu açısından	5	0	0	1
	Kazanımın kazandırılması açısından	5	0	0	1
4. Parçacık Bulmacasının Parçaları	Dil açısından	4	1	0	0,6*
	Bilimsel açıdan	4	1	0	0,6*
	Kazanıma uygunluğu açısından	5	0	0	1
	Kazanımın kazandırılması açısından	5	0	0	1
5. Kuark Kart Oyunu	Dil açısından	4	1	0	0,6*
	Bilimsel açıdan	4	1	0	0,6*
	Kazanıma uygunluğu açısından	5	0	0	1
	Kazanımın kazandırılması açısından	5	0	0	1
6. Etkileşimlerin Doğası	Dil açısından	4	1	0	0,6*
	Bilimsel açıdan	4	1	0	0,6*

	Kazanıma uygunluğu açısından	5	0	0	1
	Kazanımın kazandırılması açısından	5	0	0	1
7. Etkileşimlerin Süreci	Dil açısından	4	1	0	0,6*
	Bilimsel açıdan	5	0	0	1
	Kazanıma uygunluğu açısından	5	0	0	1
	Kazanımın kazandırılması açısından	5	0	0	1
8. Atom Altı Parçacıklardan Maddeye	Dil açısından	4	1	0	0,6*
	Bilimsel açıdan	5	0	0	1
	Kazanıma uygunluğu açısından	5	0	0	1
	Kazanımın kazandırılması açısından	5	0	0	1
9. Higgs Bozonu	Dil açısından	5	0	0	1
	Bilimsel açıdan	4	1	0	0,6*
	Kazanıma uygunluğu açısından	5	0	0	1
	Kazanımın kazandırılması açısından	5	0	0	1
10, Madde ve Antimadde	Dil açısından	4	1	0	0,6*
	Bilimsel açıdan	4	1	0	0,6*
	Kazanıma uygunluğu açısından	5	0	0	1
	Kazanımın kazandırılması açısından	5	0	0	1
11. Parçacıkların İzlerini Sürmek	Dil açısından	4	1	0	0,6*
	Bilimsel açıdan	5	0	0	1
	Kazanıma uygunluğu açısından	5	0	0	1
	Kazanımın kazandırılması açısından	5	0	0	1
12. Feynman Diyagramları	Dil açısından	4	1	0	0,6*
	Bilimsel açıdan	5	0	0	1
	Kazanıma uygunluğu açısından	5	0	0	1
	Kazanımın kazandırılması açısından	5	0	0	1

Uzman sayısı	5
Kapsam Geçerlik Ölçütü (KGÖ)	0,99
Kapsam Geçerlik İndeksi (KGİ)	1,00

*Bu maddelerin KGO değeri 1'den küçüktür.

Araştırmada geliştirilen etkinlik çalışma yaprakları için uzman sayısı 5 olduğundan, KGO'nun minimum değeri 0,99'dur. Toplamda 5 uzmanın maddelere ilişkin belirtmiş oldukları görüşler üzerinden KGO değerleri hesaplanmıştır. Buna göre Tablo 5'te yer alan 0,6 değeri verilen kriterlerin tamamı dil açısından ya da bilimsel açıdan uygun ancak tekrar düzeltilmeli olarak işaretlendiği görülmektedir. Bu nedenle bu etkinlikler için öneriler doğrultusunda dil açısından ve uzmanların belirttiği kriterlerle ilgili bilimsel açıdan düzeltmeler yapılmıştır.

KGO'ların istatiksel olarak anlamsız bulunanlar çıkartıldıktan sonra (0,6) geriye kalan maddeler üzerinden; tüm KGO'ların ortalamaları KGİ değerini vermektedir. KGİ değeri, 0,05 düzeyinde anlamlı olan ve nihai forma alınacak maddelerin toplam KGO ortalamaları üzerinden elde edilir (Lawshe, 1975; Ayre & Scally 2014; Wilson vd., 2012). Tablo 5 incelendiğinde istatiksel olarak anlamsız maddelerin KGO değerinin 0,6 olduğu görülmektedir. Anlatılan yöntemle KGİ değeri 1,00 olarak elde edilmiştir. KGİ>KGO olduğu için oluşturulan tüm içeriğin kapsam geçerliği istatiksel olarak anlamlıdır denilir (Lawshe 1975).

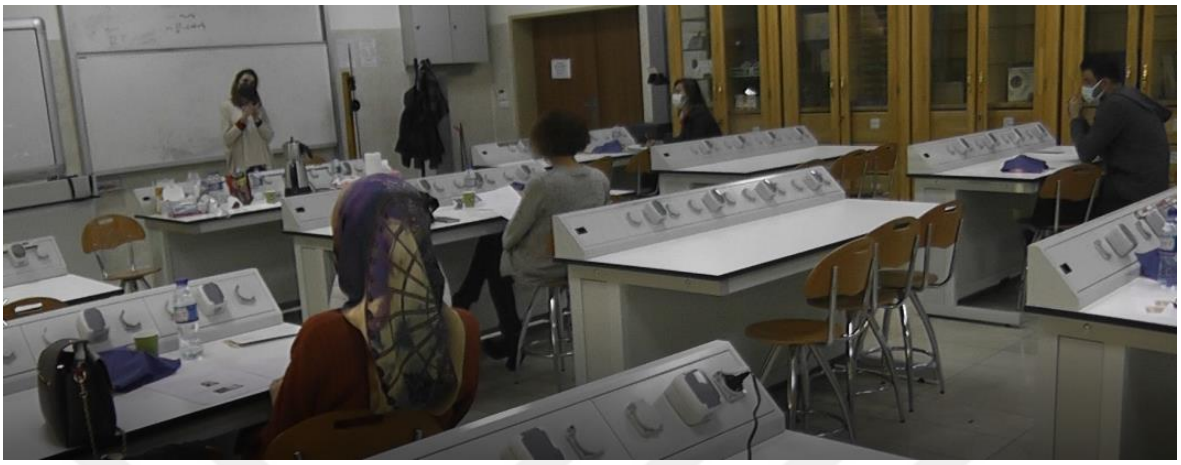
Etkinliklerin Fizik Öğretmenlerine Uygulanması: Pilot Uygulama

Etkinliklerin geliştirilme aşamasının son basamağında fizik öğretmenleriyle bir pilot uygulama yapılmıştır. Etkinliklerin evreni temsil eden bir grup fizik öğretmenine uygulanmasıyla; etkinliklerin anlaşılabilirliğinin denetlenmesi, eksikliklerinin giderilmesi ve tahmini uygulama süresinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

Uygulamanın yapılacağı zaman COVID-19 salgını olması nedeniyle grup çalışması olarak tasarlanan etkinlikler bireysel olarak yapılacak şekilde düzenlenmiştir. Uygulamaya az sayıda fizik öğretmeni davet edilmiş ve aralarında mesafe olmasına dikkat edilmiştir.

Araştırmaya gönüllü olarak katılmayı kabul eden 6 fizik öğretmeni ile Kasım 2020 ara tatilinde Gazi Üniversitesi Fizik Laboratuvarı'nda bir araya gelinmiştir. Katılımcılar parçacık fiziği hakkında herhangi bir eğitim almamış, parçacık fiziği hakkında yüksek

lisans/doktora çalışması yapmamış ve CERN'de gerçekleştirilen TÖÇ'e katılmamıştır. Uygulama 3 günde ve her gün 4 etkinlik olmak üzere araştırmacı tarafından uygulanmıştır.



Şekil 2. Etkinliklerin pilot uygulanmasına ait bir fotoğraf

Uygulama sırasında, ilgili olan EÇY'ler hem katılımcılara dağıtılmış hem de projeksiyon yardımıyla ekrana yansıtılmıştır. EÇY'lerin katılımcıların dolduracağı kısımları için önce fizik öğretmenlerine süre verilmiş daha sonra bu kısımlar hakkında tartışma ortamı oluşturulmuştur. Etkinliğin sonunda ise araştırmacı tarafından gerekli bilimsel açıklamalar yapılarak etkinlikler tamamlanmıştır. Her etkinlik bitiminde katılımcıların görüş ve önerileri alınmıştır. Aynı zamanda araştırmacı da uygulamada karşılaştığı eksikleri ve sorunları not almıştır. Ayrıca 1 fizik eğitimcisi uygulamalarda gözlemci olarak bulunmuş ve etkinliklerin uygulanma süreci ile gerekli notları almıştır.

Etkinliklerin nihai durumlarını elde etmek için yapılan yüzyüze uygulama sonucunda EÇY'lerde yapılan düzeltmeler şöyledir:

- Tüm etkinliklerin uygulanma süresi belirlenerek, EÇY'de yer alan tahmini uygulama süreleri güncellenmiştir.
- Stern-Gerlach Deneyi adlı etkinlikte bilim insanlarının yaptıkları deneyde elde edilen görüntünün gerçek fotoğrafının EÇY'de yer almasının uygun olacağına karar verilmiştir. Bu amaçla EÇY'ye Gerlach'ın 1922 yılında Bohr'a gönderdiği mektubun fotoğrafı eklenmiştir.
- Stern-Gerlach Deneyi adlı etkinlikte katılımcılardan bazıları deneyde kullanılan gümüşün atom numarasını ve elektron konfigürasyonunu bilmek istemiştir. Bu nedenle ilgili EÇY'ye gümüşün elektron konfigürasyonu bilgisi eklenmiştir.

- Stern-Gerlach Deneyi adlı etkinlikte katılımcıların bazıları parçacıkların spinlerinin yalnızca 1/2 olabileceği gibi bir çıkarımda bulunmuştur. Kavram yanılgısına neden olmamak için EÇY'deki ilgili metine, bazı parçacıkların spinlerinin buçuklu olabileceği gibi (1/2, 3/2,…) bazılarının ise tam sayı (0, 1, 2..) olduğu bilgisi eklenmiştir. Spinlerin tam sayı ve buçuklu olmasının hangi parçacık grubuna ait olduğu bilgisi Kuark Kart Oyunu adlı etkinlikte yer aldığından, bu ayrıntıya girilmemiştir.
- Sis Odası Deneyi adlı eğitici kılavuzuna , etkinlikleri uygulayanlara yardımcı olması için elektron, müon ve alfa dışında diğer parçacıkların bıraktığı izler hakkında da açıklamalar eklenmiştir.
- Atom Altı Parçacıklardan Maddeye adlı etkinlikte katılımcıların bazıları lego parçalarının hangi parçacıklara benzediği hakkındaki çalışmanın açık olarak anlaşılmadığını belirtmiştir. Bunun üzerine ilgili EÇY'ye legoların üzerinde yer alan çıkıntıların parçacık hakkında hiçbir özelliği vurgulamadığı, legoların büyüklüklerinin yalnızca parçacıkların kütlesi hakkında bilgi verdiği ile ilgili bir açıklama eklenmiştir.
- Higgs Bozonu adlı etkinliğin uygulanmasında araştırmacı tarafından yapılması tasarlanan analoji hakkındaki sözlü açıklama ilgili EÇY'ye metin olarak eklenmiştir.
- Madde ve Antimadde adlı etkinlikte sis odası ile kabarcık odasının arasındaki farkı vurgulamak amacıyla, EÇY'ye "Sis odasından oldukça zıt çalışır: sıvıda gaz kabarcıkları yerine, gazda sıvı damlacıkları oluşmasına dayanarak çalışır" cümlesi eklenmiştir.
- Madde ve Antimadde adlı etkinlikte katılımcılar EÇY'de yer alan bazı soruların benzer olduğunu belirtmesi üzerine, EÇY'deki 4. soru değiştirilip, E izi hakkında bir soru daha eklenmiştir.
- Parçacıkların İzlerini Sürmek adlı etkinlikle bir önceki etkinlik olan Etkinlik-11 ile bağlantı oluşması için giriş paragrafı değiştirilmiştir: "Kabarcık odası ya da sis odası deney düzenekleri yerini atom parçalayıcılar, hızlandırıcılar veya çarpıştırıcılar olarak adlandırılan devasa cihazlara bırakmıştır ve bunların tümünde, iki yüksek enerjili parçacık birbiriyle çarpıştırılarak yeni parçacıklar ortaya çıkartılır." cümlesi eklenmiştir.

Böylece etkinliklere ait EÇY'lerin geliştirilme süreci tamamlanmıştır.

Parçacık Fiziği Başarı Testi ve Geliştirilmesi

Yapılan ulusal alan yazın taramasında fizik öğretmenleri için MEB fizik öğretim programında yer alan parçacık fiziği kazanımlarıyla ilgili bir başarı testi bulunamamıştır. Bu nedenle belirlenen kazanımlara yönelik olarak fizik öğretmenlerinin alan bilgilerini tespit etmeyi amaçlayan bir başarı testi geliştirilmek istenmiştir.

Parçacık fiziği hakkında oluşturulacak olan başarı testinin maddelerinin çoktan seçmeli ya da açık uçlu hazırlanması söz konusudur. Bu testteki maddelerin çeşitli avantajlar nedeniyle açık uçlu sorulardan oluşmasına karar verilmiştir. Aynı zamanda puanlayıcıların katılımcıların verdiği yanıtları farklı yorumlamaması için yanıtların kısa olan soruların sorulması sağlanmak istenmiştir. Bu nedenle soruların yazımında kısa cevap gerektiren açık uçlu soruların hazırlanmasına karar verilmiştir.

Eğitimde yaygın biçimde kullanılan ölçme araçlarından biri açık uçlu maddelerdir (Güler, 2014). Açık uçlu maddelerde katılımcı cevabı kendisi yapılandırmakta, cevabının gerekçelerini açıklama fırsatı bulmakta ve düşüncelerini daha özgür bir biçimde ifade edebilmektedir (Gronlund, 1998). Açık uçlu sorular, bir soru kipi veya emir kipi şeklinde aktarılan soruya öğrencilerin kendi bilişsel düzeylerine ve yazma becerilerine göre özgürce cevap verdikleri soru tarzı olarak tanımlanmaktadır (Erkuş, 2006). Açık uçlu soru tipleri, öğrencinin kendine has yenilikçi düşünme tarzını ve yazma becerilerini belirlemeye yarayan soru tipleridir. Kişinin soruda verilen bilgilerle ilgili detaylı inceleme yapmasına, üst düzey bilişsel becerileri uygulama şansı yakalamasına, öğrencilerin kendi özgür düşüncelerini ifade etme ortamı sağlamasına yardımcı olan soru tipleridir (Brookhard, 2015).

Açık uçlu soruların ilk avantajı, çoktan seçmeli testler ile ölçülemeyen bazı üst düzey becerileri etkili bir biçimde ölçebilmesidir (Bahar, Nartgün, Durmuş & Bıçak, 2010). Şans başarısını ortadan kaldırarak ölçme hatasını azaltması (Turgut & Baykul, 2012), kısmi puanlamaya uygun oluşu (Bağcan Büyükturan & Çıkrıkçı Demirtaşlı, 2013) ve çoktan seçmeli maddelere kıyasla daha kolay hazırlanabilmesi açık uçlu maddelerin diğer üstün yönleridir (Başol, 2013). Son olarak, çoktan seçmeli maddelerde öğrenciler eleme yöntemiyle doğru cevaba ulaşabilirken; açık uçlu sorularda böyle bir durum söz konusu değildir (Braun, Bennett, Frye & Soloway, 1990).

Açık uçlu maddeler bu yönüyle; problem çözme, problemleri organize etme, yeni ve orijinal fikirler üretme, fikirleri değerlendirme, bilgileri değişik durumlarda işe koşma,

neden-sonuç ilişkileri kurma, genellemeler yapma, hipotez üretme, alternatifler arasında karşılaştırmalar yaparak bir yargıya varma gibi üst düzey becerilerin ölçülmesi için en uygun soru türüdür (Tan & Erdoğan, 2004). Açık uçlu soruların çoktan seçmeli testlerin ötesinde birçok avantajı bulunmaktadır. Açık uçlu soruların ölçme değerlendirme süreçleri açısından sağladığı avantajların çoktan seçmeli testler ile karşılaştırılarak açıklanması, çoktan seçmeli maddelerin gerek sınıf içi değerlendirmelerde gerekse de geniş ölçekli testlerde sıklıkla tercih edilen bir madde türü olmasından kaynaklanmaktadır.

Avantajlarının yanı sıra açık uçlu maddelerin bir takım dezavantajları da bulunmaktadır. Bu dezavantajlarından ilki, uygulanmasının ve puanlanmasının zaman alıcı olmasıdır (Doğan, 2013). Açık uçlu maddelerin en önemli dezavantajı ise çoktan seçmeli maddeler gibi objektif bir biçimde puanlanamamasıdır (Romagnano, 2001). Öğrencilerin herhangi açık uçlu bir maddeden aldıkları puan, puanlamayı yapan kişiye göre farklılık gösterebilmektedir. Dolayısıyla açık uçlu maddelerde puanlayıcılar ölçme sonuçlarında hataya yol açan bir değişkenlik kaynağı olmaktadır (Tekin, 2009). Bu durum, açık uçlu maddelerde puanlayıcı kaynaklı faktörlerin ölçme sonuçlarını nasıl etkilediğinin ortaya konulmasını yani puanlayıcı güvenirliğinin belirlenmesini gerekli kılmaktadır (Atılgan, 2004; Kan, 2013).

Puanlayıcı güvenirliğinin belirlenmesinde kullanılabilecek çok sayıda farklı yöntem bulunmaktadır. Araştırmacı tarafından ise puanlayıcı yüzdesi yöntemi kullanılmıştır. Buna göre puanlayıcıların uyuştukları madde sayısının toplam değerlendirme veya gözlem sayısına olan oranı olarak tanımlanan uyuşma yüzdesi, iki puanlayıcının verdikleri puanların ya da aynı puanlayıcının aynı davranışı iki kez puanlaması durumunda verdiği puanların uyumunun basit yüzdesi olarak kullanılır (Meyer, 1999). Uyuşma yüzdesi, sınıflama, sıralama, eşit aralıklı ve eşit oranlı ölçek değerindeki tüm veriler üzerinde kullanılabilmektedir. Hesaplanmasının ve elde edilen sonuçların anlaşılmasının kolaylığı, bu yöntemin avantajları olarak değerlendirilebilir. Ancak puanlayıcıların yaptıkları puanlamalar arasındaki tesadüfi uyuşmaları göz önünde bulundurmaması bir sınırlılık olarak karşımıza çıkmaktadır (Goodwin, 2001; Hughes & Garrett, 1990). Puanlayıcılar arası değerlendirme sonuçlarının güvenilir sayılabilmesi için uyuşma yüzdesinin %75'in üzerinde olması gerekmektedir. Bu ölçütün altında bir oran, puanlayıcıların puanlamalarının farklılaştığı şeklinde yorumlanır. Daha düşük bir oran değerlendirmede, puanlayıcıların önemli ölçüde farklı düşündükleri anlamına gelir (Şencan, 2005).

Soru Maddelerinin Oluşturulması

Atom altı dünya ve parçacık fiziğiyle ilgili açık uçlu sorulardan oluşan ölçeğin geliştirilmesi için Odom ve Barrow (1995), Palmer (1998; 2001), Taber (1999) ve Karataş, Köse ve Coştu'nun (2003) ortaya koyduğu test geliştirme süreçleri dikkate alınmıştır.

Bir başarı testi geliştirilirken izlenen yolda kazanımları tespit etmek, her bir kazanıma uygun en az 2 adet soru geliştirmek, uzman görüşü alınarak maddeleri yeniden yapılandırmak, geçerliği arttırmak için madde analizi yapmak ve teste son halini vermek şeklindedir (Akbulut, 2010; Ermiş, 2008; Gönen, Kocakaya & Kocakaya, 2011; Öngören, 2007; Şen & Eryılmaz, 2011). Ayrıca Webb'in (1997) öğretim programı kazanımları ile yapılan sınavların uyumunu incelemek için kullandığı ölçütler ve bir ünite için alan testi geliştirmeye yönelik aşamalar da bulunmaktadır. Oluşturulan bu aşamalar ile birlikte geliştirilen alan testlerinin öğretim programı kazanımları ile daha uyumlu olacağına ve programda yer alan içeriği tamamen kapsayacağına inanılmaktadır.

Parçacık fiziği başarı testinin kapsamında yer alacak olan kazanımlar etkinliklerin geliştirilme sürecinde belirlenmiş olan kazanımlardır. Bu kazanımlarla ilgili ayrıntılı bilgilere bu bölümde yer verilmiş ve Tablo 1'de kazanımlar listelenmişti. Her kazanım için en az iki adet soru hazırlanarak madde havuzu oluşturulmuştur. Madde havuzunda yer alan soru sayılarının kazanımlara göre dağılımı Tablo 6'da verilmiştir.

Tablo 6

Madde Havuzunda Yer Alan Soru Sayılarının Kazanımlara Göre Dağılımı

Kazanım Numarası	Kazanım	Kazanımla İlgili Soru Sayısı
1	Stern-Gerlach deneyinin sonuçlarının incelenmesi sağlanarak elektron spini kavramı üzerinde durulur (FL).	3
2	Öğrencilerin sis odası deneyini araştırmaları ve üzerinde tartışmaları sağlanır (FL).	3
3	Öğrencilerin sunumlarında CERN'de yapılan çalışmaların büyük patlama ile bağlantısını tartışmaları sağlanır (FL).	3
4	Öğrencilerin atom altı parçacıkları standart model çerçevesinde tanımlamaları sağlanır (FL + AL).	3
5	Dört temel kuvvetin açıklanması sağlanır (FL + AL).	3

6	Abdus Salam, Sheldon Lee Glashow ve Steven Weinberg'in Nobel ödülünü elektromanyetik ve zayıf kuvvetin birleşik bir kuvvet görünümünde olduğunu keşfetmeleri üzerine aldıkları vurgulanır (FL + AL).	2
7	Öğrencilerin, atom altı parçacıklar arasındaki etkileşim kuvvetini açıklamaları sağlanır (FL).	3
8	Atom altı parçacıklardan başlayarak madde oluşumunun modelle açıklanması sağlanır. (FL + AL)	3
9	Higgs bozonuna kısaca değinilir (FL + AL).	2
10	Madde ve antimadde kavramlarını açıklar. (FL + AL)	3
	TOPLAM	28

Soru Maddeleri Hakkında Uzman Görüşünün Alınması

Başarı testinin soru maddeleri üç öğretim üyesi (2 fizik, 1 parçacık fiziği alanında) ve en az on yıllık deneyime sahip 6 fizik öğretmenininden oluşan toplam 9 uzmanın görüşüne sunulmuştur. Görüşleri alınan uzman grubunun demografik özellikleri Tablo 7'de verilmiştir.

Tablo 7

Parçacık Fiziği Başarı Testi Uzman Grubunun Demografik Özellikleri

Kod	Cinsiyet	Ünvanı	Lisans Eğitimi
1	Erkek	Prof. Dr.	Fizik Eğitimi
2	Kadın	Dr.	Fizik
3	Kadın	Dr. Öğretim Üyesi	Fizik
4	Erkek	Öğretmen	Fizik
5	Erkek	Öğretmen	Fizik
6	Erkek	Öğretmen	Fizik Eğitimi
7	Erkek	Öğretmen	Fizik Eğitimi
8	Kadın	Öğretmen	Fizik Eğitimi
9	Erkek	Öğretmen	Fizik Eğitimi

Uzman görüşü için öncelikle Parçacık Fiziği Başarı Uzman Görüş Formu oluşturulmuştur (EK 6). Görüş formunda her soru için; önce ilgili kazanımı, kazanımın altına soru maddesi ve onun da altına sorunun cevabı yazılmıştır. Uzmanların soruların uygunluğunu değerlendirecekleri dört kriter belirlenmiştir. Bunlar: dil açısından uygunluk, bilimsel açıdan uygunluk, yanıtın doğruluğu açısından uygunluk ve kazanım açısından uygunluk.

Uzmanların bu kriterlere göre değerlendirme yapacakları bir tablo eklenmiştir Bu tabloda uzmanların kriterleri derecelendirmeleri için ‘uygun’, ‘düzeltilmeli’ ve ‘uygun değil’ olarak işaretleyecekleri alanlar bulunmaktadır. Ayrıca ‘düzeltilmeli’ olarak işaretlenmiş ise uzmanların önerilerini belirtecekleri bir alan bulunmaktadır. Uzmanlara ihtiyaç duymaları halinde düzeltilmesini istedikleri yerleri soru maddeleri üzerine yazabilecekleri belirtilmiştir.

Uzmanlardan alınan görüşler ile KGO değerleri hesaplanmıştır. Parçacık Fiziği Başarı Testi (PFBT) için uzman görüşlerine göre hesaplanan KGO değerleri Tablo 8’de yer almaktadır.

Tablo 8

Parçacık Fiziği Başarı Testi İçin Uzman Görüşlerine Göre Hesaplanan KGO Değerleri

Kazanım Numarası	Soru Numarası	Uygun	Düzeltilmeli	Uygun Değil	KGO
1	1	6	1	2	0,33*
	2	9	0	0	1
	3	8	1	0	0,77
2	1	9	0	0	1
	2	6	1	2	0,33*
	3	9	0	0	1
3	1	9	0	0	1
	2	6	1	2	0,33*
	3	9	0	0	1
4	1	9	0	0	1
	2	9	0	0	1
	3	8	1	0	0,77
5	1	7	2	0	0,55*
	2	8	1	0	0,77
	3	7	2	0	0,55*
6	1	9	0	0	1
	2	6	3	0	0,33*
7	1	9	0	0	1
	2	6	3	0	0,33*
	3	6	3	0	0,33*
8	1	6	1	2	0,33*

	2	9	0	0	1
	3	6	1	2	0,33*
9	1	9	0	0	1
	2	6	1	2	0,33*
10	1	9	0	0	1
	2	5	2	2	0,11*
	3	6	1	2	0,33*
Uzman sayısı		9			
Kapsam Geçerlik Ölçütü (KGÖ)		0,75			
Kapsam Geçerlik İndeksi (KGİ)		0,954			

*Bu maddelerin KGO değeri 0,75'ten küçüktür.

Toplamda 9 uzmanın maddelere ilişkin belirtmiş oldukları görüşler üzerinden KGO değerleri hesaplanmıştır. Daha sonra, sıfırdan büyük değere sahip maddelerin KGO değerlerinin istatistiksel olarak anlamlılığına, dolayısıyla testte kalıp kalmayacağına KGO değerlerine bakılarak karar verilmiştir. Dokuz uzman için minimum KGO değeri 0,75'tir (Veneziano & Hooper, 1997). Buna göre Tablo 8'de yer alan 0,75 değerinden küçük KGO değerine sahip olan maddeler testten çıkarılmıştır. Geriye kalan 15 soru ile başarı testinin son hali oluşturmuştur (EK 3). PFBT'de nihai olarak bulunan soru maddeleri ve ait oldukları kazanımlar Tablo 9'da verilmektedir.

Tablo 9

Parçacık Fiziği Başarı Testinde Yer Alan Madde Numaraları ve Ait Oldukları Kazanımlar

Madde Numarası	İlgili Olduğu Kazanım
1, 2	Stern-Gerlach deneyinin sonuçlarının incelenmesi sağlanarak elektron spini kavramı üzerinde durulur. (FL)
3, 4	Öğrencilerin sis odası deneyini araştırmaları ve üzerinde tartışmaları sağlanır. (FL)
5, 11	Öğrencilerin sunumlarında CERN'de yapılan çalışmaların büyük patlama ile bağlantısını tartışmaları sağlanır. (FL)
6, 7, 14	Öğrencilerin atom altı parçacıkları standart model çerçevesinde tanımlamaları sağlanır. (FL + AL)
8	Dört temel kuvvetin açıklanması sağlanır. (FL + AL)

9	Abdus Salam, Sheldon Lee Glashow ve Steven Weinberg'in Nobel ödülünü elektromanyetik ve zayıf kuvvetin birleşik bir kuvvet görünümünde olduğunu keşfetmeleri üzerine aldıkları vurgulanır. (FL + AL)
10	Öğrencilerin, atom altı parçacıklar arasındaki etkileşim kuvvetini açıklamaları sağlanır. (FL)
12	Atom altı parçacıklardan başlayarak madde oluşumunun modelle açıklanması sağlanır. (FL + AL)
13	Higgs bozonuna kısaca değinilir. (FL + AL)
15	Madde ve antimadde kavramlarını açıklar. (FL + AL)

Her bir madde için elde edilen KGO'lardan, istatiksel olarak anlamsız bulunanlar çıkartıldıktan sonra geriye kalan maddeler üzerinden; tüm KGO'ların ortalamaları KGİ'yi vermektedir (Ayre & Scally 2014; Lawshe, 1975; Wilson vd., 2012). KGİ değeri 0,05 düzeyinde anlamlı olan ve nihai forma alınacak maddelerin toplam KGO ortalamaları üzerinden elde edilir. Anlatılan yöntemle elde edilen KGİ değeri 0,954 olarak hesaplanmıştır. KGİ> KGO olduğu için oluşturulan tüm testin kapsam geçerliği istatiksel olarak anlamlıdır.

Etkinlik Değerlendirme Formu

Araştırmanın amacı parçacık fiziğine ilişkin bilgileri etkinlikler yoluyla geliştirmek olduğundan etkinliklerin katılımcılar tarafından değerlendirilmesi önem taşımaktadır. Bu nedenle katılımcıların etkinlikleri değerlendirmesi için bir form hazırlanmıştır. Her bir etkinliğin ayrı olarak değerlendirilmesi istendiğinden formun fazla vakit almayacak şekilde olmasına özen gösterilmiştir. Her etkinliğin sonunda katılımcılardan bu formun doldurulması istenecektir.

EDF'ler oluşturulurken etkinliklerin tasarımında dikkat edilen hususlar gözönüne alınmıştır. Bunlar etkinliğin kazanıma uygunluğu, ilgi uyandırması, güncel örnekler içermesi, konu alanına yönelik bilgiyi arttırması olarak belirlenmiştir. Aynı zamanda katılımcıların öğretmen olması dolayısıyla bu etkinliklerin 12. sınıf öğrencilerine uygulanabilir olması hakkında da bilgi edinmek amacıyla bir madde daha eklenmiştir (EK 2).

EDF'de yer alması için belirlenen maddeler hakkında ayrıntılı bilgi aşağıda yer almaktadır:

- “Uygulanan etkinlik kazanıma uygundur.” Bu soruyla kazanımın etkinliğin geneline bakılarak, belirtilen kazanıma uygun olarak tasarlanmasının değerlendirilmesi istenmiştir.
- “Uygulanan etkinlik bende ilgi uyandırdı.” Öğrenmenin başlayabilmesi için öğrencinin dikkatini belli noktalar üzerine vermesi yani yoğunlaştırması gerekir (Kanlı & Yağbasan, 2004). Etkinliklerin katılımcıların meraklarını uyandıracak nitelikte hazırlanması gerekmektedir. Etkinliklerde konuyla ilgili terimler verilmeden önce günlük hayattan örnekler veya konu ile ilgili bilim tarihinden hikâyeler verilmiştir. Bu soruya göre katılımcıların etkinliğin kendilerinde uyandırdığı merakı değerlendirmesi istenmiştir.
- “Uygulanan etkinlik içeriğinde güncel örnekler yer alıyor.” Bilginin nasıl elde edildiğinin anlaşılması, bilgilerin bilinen gerçeklere bağlı olduğunun ve yeni gelişmeler ışığında değişebileceğinin algılanması sayesinde fen eğitiminin amacı gerçekleşebilir. Etkinliklerin bağlı olduğu konu alanı da göz önüne alındığında, güncel örnekler içermesi kaçınılmazdır. Bu soruya göre katılımcıların etkinliğin içeriğinde günlük yaşamdan güncel örnekler olmasının değerlendirilmesi istenmiştir.
- “Uygulanan etkinlik konu hakkında bilgimi arttırdı.” Katılımcıların atom altı parçacıklar ve parçacık fiziği hakkındaki bilgilerinin geliştirilmesi bu çalışmanın amaçlarından biridir. Bu nedenle etkinliklerin katılımcıların konu hakkında bilgilerinin arttığına dair düşüncelerini derecelendirmeleri etkinliklerin değerlendirilmesi açısından önemlidir
- “Uygulanan etkinlik 12. sınıf öğrencilerine uygulanabilir.” Araştırmada etkinlikler fizik öğretmenlerine uygulanmak üzere geliştirilmiştir. Böylece parçacık fiziği hakkındaki alan bilgilerinin düzeyi arttırılmak istenmiştr. Ayrıca katılımcıların kendi sınıflarında da etkinlikleri uygulamaları sonraki hedeftir. Bu nedenle etkinliklerin 12. sınıf öğrencileri için de uygun olması istenmiştir. Bu nedenle katılımcılardan etkinliklerin öğrencilere uygunluğunu değerlendirmeleri istenmiştir.

EDF’de olması gereken kriterler belirlendikten sonra formun Likert olarak hazırlanmasına karar verilmiştir. Likert tipi ölçekler, geliştirilmesinde yapılan işlemler diğer dereceleme ölçeklerinin geliştirilmesine göre daha kullanışlı olduğu için, davranış bilimlerinde birçok kişilik özelliğinin ve özellikle tutumların ölçülmesinde diğer ölçeklere göre en sık ve en yaygın olarak kullanılan ölçeklerdir (Fraenkel & Wallen, 2003). Likert tipi ölçekler,

bireyin kendisi hakkında bilgi vermesi esasına dayanmaktadır (Tavşancıl, 2010). Uygulaması, kodlaması ve ölçmesinin kolay olması, farklı sayıda seçenek kullanımına izin vermesi, seçeneklerin etiketlenmesinde araştırmacılara serbestlik tanıması ve katılımcılar için kolay anlaşılır olması nedeniyle tercih edilmektedir (Spector, 1992; Tavakoli, 2012).

Likert tipi sorulara anketlerinde yer veren araştırmacılar Likert'in yaptığı gibi seçenek sayısı olarak genelde 5'li ölçek kullanmaktadır. Ancak literatürde 3'ten 18'e kadar farklı seçenek sayılarının kullanıldığı ve en uygun seçenek sayısının tartışma konusu olduğu görülmektedir (Preston & Colman, 2000). Tartışmanın kaynağı kullanılacak seçenek sayısının ölçeğin geçerlik ve güvenirliği üzerine olası etkisidir. Preston ve Colman (2000) araştırmalarında 2, 3 ve 4 seçenekten oluşan ölçeklerin en düşük, 5 ve 6 seçenekten oluşan ölçeklerin orta, 7-10 seçenekten oluşan ölçeklerin ise en yüksek geçerlik ve güvenirliğe sahip olduğunu ortaya koymuştur. Bu nedenle değerlendirme formunun 10'lu Likert olarak hazırlanmasına karar verilmiştir. 10'lu likert tipi ölçek maddelerine fizik öğretmenlerinin katılma düzeyleri "(1) Kesinlikle katılmıyorum" ve "(10) Kesinlikle katılıyorum" arasında değişmektedir.

Katılımcıların etkinliği değerlendireceği 10'lu Likert tipi olan EDF'lerde etkinliğin adı ve ilgili olan kazanım hakkında kısa bir açıklama hazırlanmıştır. EDF'ler hakkında 1 uzmanın görüşüne başvurulmuştur. Uzmanın olumlu görüşleri üzerine EDF'lerin nihai formu hazır hale getirilmiştir.

Yarı Yapılandırılmış Görüşme

Görüşme, nitel araştırmalarda en sık kullanılan veri toplama yöntemidir. Görüşme metodu, insanların gözlemleyemediğimiz davranışlarının (duygu, tutum, his vb.) neler olduğunu ortaya çıkarmayı sağlayan veri toplama aracıdır (Merriam, 1998). Özellikle "niçin?" sorusuna cevap aranılan durumlarda görüşmeler ideal veri toplama yöntemleridir (Altunışık, Coşkun, Bayraktaroğlu & Yıldırım, 2007).

Bu araştırmada yarı yapılandırılmış görüşme metodu kullanılmıştır. Bu metotta, araştırmacı görüşme sorularını önceden hazırlar; ancak görüşme sırasında araştırılan kişilere kısmi esneklik sağlayarak oluşturulan soruların yeniden düzenlenmesine, tartışılmasına izin verir. Yarı yapılandırılmış görüşmeler de görüşmeyi yapan kişi hem konuya ilişkin doyurucu bilgi edinme, hem de görüşmeyi belli bir düzende götürme şansına sahip olur. Ayrıca cevaplayana da kendisince önemli olan hususları vurgulama

imkânı sağlar (Altunışık vd., 2002). Görüşme, nitel araştırmalarda araştırmacıların çok tercih ettiği veri toplama araçlarından biridir. Bu araç, araştırılan konu ile ilgili derinlemesine soru sorabilme ve cevap alabilme özelliğine sahiptir. Ayrıca görüşme, araştırmacıya öğrencilerin verdiği cevapların eksik veya yetersiz olduğu durumlarda tekrar soru sorma fırsatı sunar. Böylece araştırmacı durumu daha açıklayıcı hale getirir ve cevapları tamamlatma fırsatı bulur (Merriam, 2009; Patton, 2002).

Yarı yapılandırılmış görüşme tekniği; ne tam yapılandırılmış görüşmeler kadar katı ne de yapılandırılmamış görüşmeler kadar esnektir, iki uç arasında yer almaktadır (Karasar, 1995). Etkinliklerin uygulanması tamamlandıktan bir hafta sonra, uygulamaya katılan fizik öğretmenleri ile yarı yapılandırılmış görüşmeler yapılmıştır.

Görüşmeler araştırmacının telefonla mülakat yapmasıyla gerçekleşmiştir. Bu görüşmede araştırmacının varlığı, cevaplarda önyargıya neden olabilir. Ayrıca tüm katılımcılar, aynı düzeyde algılama ve ifade etme becerisine sahip değildir (Creswell, 2013). Bu olumsuzluklara rağmen mülakatın telefonla yapılmasının nedeni, salgın hastalık nedeniyle tüm çalışmanın çevrim içi olmasının nedeni ile aynıdır.

Telefonla gerçekleşen görüşmelerde verilerinin kaydedilmesi için not alma yöntemi kullanılmıştır. Görüşmelerde tarih, sorular, sorular arasında cevapları kaydetmek için boşluklar ve katılımcıya teşekkür konuşması olarak bir protokol belirlenmiştir. Sorular EDF'de yer alan maddelerin soru haline getirilmesi ile elde edilmiştir. Örneğin Likert tipinde hazırlanmış olan EDF maddelerinden "Etkinlik kazanıma uygundur." maddesi "Etkinlik kazanıma uygun mudur?" şeklinde sorulmuştur. Görüşmeler sırasında katılımcılara; etkinliğin adı, etkinliğin hangi kazanım için hazırlandığı, etkinliğin içeriği ve etkinliğin hemen sonrasında EDF maddelerine vermiş olduğu puan hatırlatılmıştır. Katılımcılardan sorulan sorular dışında, eğer varsa etkinliklere dair görüşlerini belirtmeleri istenmiş yoksa görüşme tamamlanmıştır.. Görüşmelerde not tutulmuş ve bunlar yazılı doküman haline getirilmiştir. Görüşmelerde katılımcıların görüşlerini etkileyecek açıklamalar yapılmamıştır. Her bir katılımcı ile görüşme 45-60 dakika arasında tamamlanmıştır.

Katılımcılar

Bu çalışmada katılımcıları belirlemek için amaçlı örnekleme yöntemlerinden biri olan ölçüt örnekleme yöntemi kullanılmıştır (Cohen, Manion & Morrison, 2007; Patton, 2014). Ölçüt

örnekleme, belirlenmiş ölçütü sağlayan veya araştırma için uygun özelliklere sahip olan durumlarda kullanılan yöntemlerden biridir. Ölçüt olarak çalışmaya katılan öğretmenlerin lisans eğitimleri sonrasında, parçacık fiziği ile ilgili herhangi bir eğitim almamış olma şartı aranmıştır.

COVID-19 salgınının yaygınlaşması nedeniyle etkinliklerin çevrim içi uygulamasına karar verilmiştir. Çevrim içi uygulanacak etkinlikler için çeşitli sosyal medya hesapları aracılığıyla duyuru yapılarak, gönüllü fizik öğretmenleri araştırılmıştır. Fizik öğretmenlerinin; CERN'de yapılan TÖÇ'ün herhangi birine katılmamış ve parçacık fiziği alanında yüksek lisans ya da doktora çalışmasında bulunmamış olması şartları aranmıştır. Bu şartların aranmasının amacı örneklemin evreni temsil eden fizik öğretmenlerinden bir grup oluşturmaktır. Kendi merakı ve isteğiyle parçacık fiziği ile ilgili bilgi edinmek isteyen fizik öğretmenlerini çalışmaya katmaktır. Yapılan araştırma sonucunda aranan şartlara uyan oldukça fazla sayıda fizik öğretmeni uygulamaya katılmak için gönüllü olmuştur. Ancak yapılan tüm çevrim içi oturumlara katılan 23 fizik öğretmeni araştırmaya dahil edilmiştir. Fizik öğretmenleri fen lisesi, mesleki ve teknik Anadolu lisesi, Anadolu imam hatip lisesi ve özel lise gibi çeşitli kurumlarda görev yapmaktadır. Çalışmada katılımcıların gerçek kimliklerini tanımlayan ifadeleri kullanmamak için katılımcılar FÖ1, FÖ2, FÖ3…FÖ23 olarak kodlanmıştır.

Etkinlikler çevrim içi gerçekleştirileceğinden az sayıda kişiyle tartışma ortamının daha verimli olması sebebiyle katılımcılar gruba ayrılmıştır. Katılımcılar zamanlama olarak kendilerine uygun olan zamanı olan grubu seçtiklerinden gruplardaki kişi sayıları eşit olmamıştır. Uygulama iki oturumda gerçekleştirilmiştir. Bunun nedeni katılımcıların görüşlerini belirtirken ve tartışırken, daha sağlıklı bir ortamın oluşması istenmiştir. I. grupta 9 fizik öğretmeni, II. grupta ise 14 fizik öğretmeni bulunmaktadır. Fizik öğretmenlerinin mezuniyeti ve çalıştığı okul türü hakkındaki bilgiler Tablo 10'da yer almaktadır.

Tablo 10

Katılımcıların Demografik Özellikleri

Katılımcı Kodu	Meslekteki Deneyim Yılı	Mezuniyet Türü		Çalıştığı Okul Türü
		Yüksek Lisans	Doktora	
FÖ1	4	-	-	AL
FÖ2	12	Fizik Eğitimi	-	AL
FÖ3	7	-	-	MTAL
FÖ4	19	-	-	ML
FÖ5	3	-	-	AL
FÖ6	9	-		FL
FÖ7	15	--	-	AL
FÖ8	7	Fizik Eğitimi	-	AİHL
FÖ9	5	-	-	ML
FÖ10	3	-	-	AL
FÖ11	21	-	-	İHL
FÖ12	12	-	-	AL
FÖ13	8	Fizik Eğitimi	Fizik Eğitimi	MTAL
FÖ14	15	-	-	MTAL
FÖ15	9	Fizik Eğitimi	Fizik Eğitimi	AL
FÖ16	14	--	-	FL
FÖ17	7	Fizik Eğitimi	Fizik Eğitimi	Özel Lise
FÖ18	8	-	-	ML
FÖ19	18	-	-	İHL
FÖ20	21	-	-	İHL
FÖ21	10	-	-	ML
FÖ22	2	Fizik Eğitimi	Fizik Eğitimi	ML
FÖ23	20	Fizik	Fizik	FL

*ML: Meslek lisesi, AL: Anadolu lisesi, FL: Fen lisesi, AİHL: Anadolu imamhatip lisesi

Uygulama Süreci

Etkinliklerin uygulanması, COVID-19 salgını nedeniyle çevrim içi olarak gerçekleştirilmiştir. Bazı katılımcılar görüntü veya ses kaydı alınmasını istemediğini belittiğinden kameralarını açma tercihleri kendilerine bırakılmıştır.

Araştırmanın uygulama süreci Tablo 11'de yer verilmektedir.

Tablo 11

Araştırmanın Uygulama Süreci

Grup	Uygulama ortamı	Uygulama Zamanı	Katılımcı Sayısı	Veri Toplama Araçları			
				PFBT	EÇY, EDF	PFBT	Görüşme
I.	Çevrim içi (Zoom)	Şubat 2021	9	+	+	+	+
II.	Çevrim içi (Zoom)	Mart 2021	14	+	+	+	+

Katılımcıların etkinlikler uygulamadan önce parçacık fiziği hakkındaki alan bilgilerinin tespit edilmesi için geliştirilen PFBT ön test olarak, tüm katılımcıların katıldığı bir çevrim içi oturumda uygulanmıştır. PFBT'de yer alan sorular Google Formlar aracılığılıyla elektronik ortama aktarılmış ve oluşturulan Whatsapp grubundan testin linki paylaşılmıştır. PFBT'nin Zoom aracılığıyla çevrim içi uygulanmasının nedeni: tüm katılımcıların aynı anda ve hiçbir kaynaktan yararlanmadan testin yanıtlanması sağlamaktır.

Etkinliklerin uygulanması, her iki grup için de katılımcılarla belirlenen gün ve saatlerde her gün yaklaşık 3 saat olacak şekilde 4 günde gerçekleştirilmiştir. Öncelikle çalışmaya katılan fizik öğretmenlerine etkinliklerin elektronik ortamda nasıl yapılacağı, kendilerinden istenen araç-gereçler ve EÇY'ler hakkında bilgiler verilmiştir. Katılımcıların uygulama süresince kağıt, kalem ve cep telefonlarını yanlarında bulundurması istenmiştir. Öğretmenlerin uygulama sırasında rahat olmaları için görüntü ve ses kaydı alınmayacağı konusunda tekrar bilgilendirme yapılmıştır.

Etkinliklerin uygulanması sırasında, EÇY'ler ekrana yansıtılmıştır. EÇY'lerde bulunan aşamalar adım adım geçilmiştir. Etkinliklerde, katılımcıların yerine getirmesi gereken görevler için süre verilmiş ve yanıtlarını öncelikle bireysel olarak bir kağıda yazmaları istenmiştir. Daha sonra yazdıklarının fotoğrafını çekip kurulan WhatsApp grubuna aynı anda göndermeleri sağlanmıştır ya da doğrudan WhatsApp grubuna yazması istenmiştir. Tüm katılımcıların gönderim işlemi tamamlanınca söz almak isteyen katılımcılara söz hakkı verilmiş ve böylece bir tartışma ortamı oluşturulmaya çalışılmıştır. Bu tartışma sırasında bazı katılımcılar görüşlerinin değiştiğini belirtmiştir. Bazı katılımcılar ise tartışma

ortamına katılmada isteksiz davranmıştır. Etkinlerin sonunda ise araştırmacı etkinlikle ilgili bilimsel açıklamaları yaparak etkinliği tamamlamıştır.

Katılımcıların her etkinlik hakkındaki görüşünün alınması için, her etkinlik bitiminde EDF'ler katılımcılara uygulanmıştır. Bunun için katılımcıların olduğu Whatsapp grubuna, Google Formlar'a aktarılmış Likert tipi olan EDF'nin bağlantısı paylaşılmıştır. Katılımcılar EDF ile değerlendirmesini tamamladıktan sonra sıradaki etkinliğe geçilmiştir.

Uygulamalar tamamlandıktan iki hafta sonra parçacık fiziği alanına yönelik alan bilgilerinin değişimini tespit etmek için, yine çevrim içi bir oturumla PFBT son test olarak uygulanmıştır. PFBT'nin hem ön test hem de son test olarak uygulama süresi 20 dakikadır.

Zamana bağlı ölçümlerde, katılımcıların ön testi almış olmaları, son testte verecekleri cevapları etkileyebilir. Katılımcıların ön test uygulaması sonucunda teste ve içeriğe aşina olmaları, merak edip soruların cevabını araştırmaları gibi durumlar ortaya çıkabilir. Bu durumun önüne geçmek için ön test ve son test arasında, katılımcıların soruları hatırlamayacakları kadar bir süre tutulması gerekir. Alan yazında bu sürenin ne kadar olması gerektiğine dair net bir görüş birliği bulunmamaktadır. Ancak bu sürenin fazla uzatılamaması gerektiğini belirten görüş de söz konusudur (Sönmez & Alacapınar, 2014). Testin iki uygulaması arasındaki zaman, kişinin bilgiyi unutmayacağı kadar kısa ve birinci uygulamadaki soruları hatırlamayacağı kadar uzun olmalıdır.

Verilerin Analizi

Bu bölümde veri toplama araçlarından elde edilen verilerin analizinin nasıl yapıldığı anlatılmaktadır. EÇY'lerin, PFBT'nin, EDF'larının ve yarı yapılandırılmış görüşmelerin analizinin nasıl yapıldığı açıklanmıştır.

Etkinlik Çalışma Yapraklarına İlişkin Verilerin Analizi

Nitel veri analizi, alan yazında içerik analizi olarak tanımlanır. Verilerin kavramsallaştırılması ve temalar yoluyla kavramlar arasındaki anlamlı örüntülerin açıklanması bu sürecin temelini oluşturur. İçerik analizi yaklaşımına göre nitel ve nicel şekillerde tanımlanabileceği gibi, araştırmacının takip ettiği sürece göre de tümdengelimli veya tümevarımsal içerik analizi başlıkları altında da sınıflandırılabilir (Güler, Hacıoğlu & Taşğın, 2013).

EÇY'lerin analizinde nitel araştırma verilerinin işlenmesinde sık kullanılan tümdengelimli analiz yöntemi tercih edilmiştir (Ravindran, 2019). Tümdengelimli analiz, daha önceden oluşturulmuş kavramsal bir çerçevenin içerik analizini yönlendiren bir yöntemdir. Bir anlamda, bu tür araştırmalarda araştırmacıyı yönlendiren, ham da olsa kavramsal bir yönerge, plan, harita ya da çerçeve mevcuttur (Yıldırım & Şimşek, 2021). Tümdengelimli içerik analizinde araştırmacının, araştıracağı konu ya da fenomen ile ilgili literatürde yeteri kadar ön bilgi bulunmaktadır. Araştırmacı bu mevcut teori, model ve literatüre dayanarak araştırmasını dizayn eder (Elo & Kyngäs, 2008; Hsieh & Shannon, 2005).

Miles ve Huberman (1994) tümdengelimli veri analiz sürecini üç bölümde incelemektedir: "verinin işlenmesi", "verinin görselleştirilmesi" ve "sonucu çıkarma ve teyit etme". Verinin işlenmesi aşamasında araştırmacı, önce veriyi inceler ve kodlar. Veriyi kodlarken kavram ve temaları kullanır. Daha sade ve araştırma problemiyle uyumlu hale gelen veri seti, ikinci aşamada çeşitli grafikler, tablolar ve şekiller yoluyla görsel hale getirilir. Son aşamada ortaya çıkan kavramlar, temalar ve ilişkiler yorumlanır, karşılaştırılır ve teyit edilir. Bu şekilde, araştırma sonuçlarının anlamlandırılması ve geçerliğin sağlanması mümkün olmaktadır.

Tümdengelimli analiz yaklaşımında Strauss ve Corbin (1990) üç tür kodlama biçimden söz etmektedir: daha önceden belirlenmiş kavramlara göre yapılan kodlama, verilerden çıkarılan kavramlara göre yapılan kodlama ve bu iki yaklaşımın birleştirildiği genel bir çerçeve içinde yapılan kodlama. Bu araştırmada veriler, analiz öncesinde belirlenmiş kategorilere göre yorumlanmış ve sunulmuştur. Bu kateroriler elde edilen verilerin amacına cevap verebilir nitelikte ve kapsamlı olmasına dikkat edilmiştir. Önceden belirlenen kategoriler şu şekildedir:

- Bilimsel açıdan geçerliliği olan ve tam doğru cevaplar (Doğru cevap- DC)
- Bilimsel açıdan geçerliliği olan fakat doğru cevabın tamamını değil bir kısmını içeren cevaplar (Kısmen doğru cevap- KDC)
- Tamamıyla doğru olmayan ya da yanlış cevaplar (Yanlış cevap- YC)
- Boş bırakma, bilmiyorum şeklinde cevaplama, soruyu tekrarlama (Cevapsız- C)

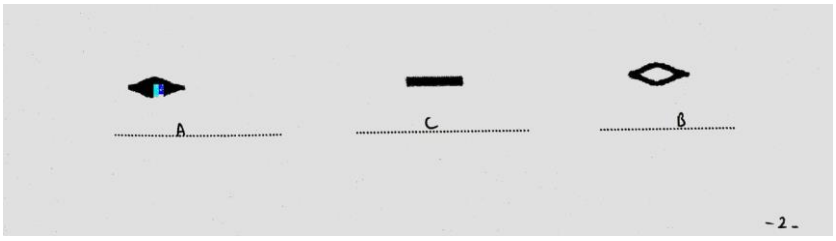
Araştırmacı tarafından belirlenen temaların alan yazında da sıklıkla kullanıldığı görülmektedir (Ayvacı & Durmuş, 2016; Çakmak, 2009; Çalık, 2006; Demircioğlu, 2003; Karataş vd., 2003). Buna göre öncelikle belirlenen analiz birimlerine göre tema ve kategoriler açık bir biçimde tanımlanmıştır. Kodlama sonuçları ile önceden saptanmış olan

tema ya da kategoriler tekrar gözden geçirilmiştir. Son olarak verilerin tümünün kodlanması ve yüzdelerin hesaplanması gerçekleştirilmiştir.

Nitel verinin belirli ölçüde sayılara dökülmesi, verinin analizi sonucunda ortaya çıkan tema veya kategoriler arasında karşılaştırma yapmamıza olanak verebilir. Ayrıca nitel verilerin sayısallaştırılması güvenirliği arttırırken yanlılığı azaltmaktır. Nitel veri temel olarak iki yöntemle sayısallaştırılabilir: basit yüzde hesapları ve sözcük sıklık hesapları (Yıldırım & Şimşek, 2021). Araştırmada katılımcıların yanıtlarının analizinde önceden belirlenen kategorilere göre kodlanmış ve doğrudan alıntılarla sıklık-frekans değerlerine yer verilmiştir.

Her etkinlikten katılımcıların yanıtlarına göre elde edilen veriler analiz edilmiş ve önceden belirlenen temalara göre kategorilere ayrılmıştır. Bu kategorilere göre katılımcının cevaplarına puan değerleri verilmiştir: doğru cevap için 2, kısmen doğru cevap için 1, boş ya da yanlış cevap için ise 0 puan verilmiştir.

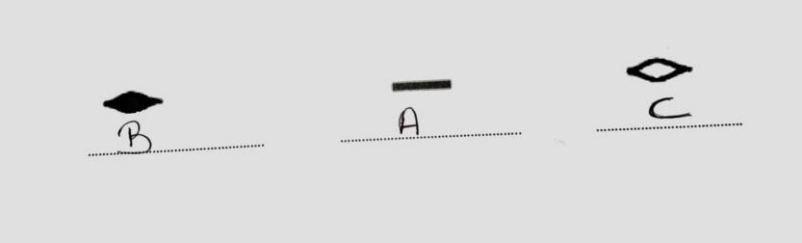
Örneğin pilot uygulamada elde edilen verilerden örnek verilerek önceden belirlenen temalara göre kategorilendirmenin nasıl yapıldığı daha iyi açıklanabilir. Pilot uygulamaya katılan 6 fizik öğretmeni FÖA, FÖB, FÖC… olarak kodlanmıştır. Sis Odası Deneyi Etkinliği'nde deneydeki izlerin hangi parçacıklara ait olabileceğinin tahmin edilmesi istenen çalışmada verilen yanıtlardan bazıları aşağıda yer almaktadır. Etkinliğin pilot uygulamasında doğru ve yanlış cevaplara ulaşılmış, kısmen doğru cevap veren olmamıştır. Klasik fizik görüşüne göre manyetik alan yokken (A durumu) beklenen düz bir çizgi, klasik fizik görüşüne göre (Bohr modeline göre) manyetik alan varken (B durumu) içi dolu iğ şeklinde bir desen ve deney sonucunda gerçekte oluşan (C durumu) ise içi boş iğ şeklinde oluşan bir desendir. FÖA'nın yanıtı Şekil 3'te verilmektedir.



Şekil 3. Pilot uygulamada Stern-Gerlach Deneyi etkinliğinde FÖA'nın verdiği yanıt

FÖA'nın verdiği yanıt incelendiğinde tüm durumlar için yanlış eşleştirmeler yaptığı görülmektedir. Bu nedenle FÖA'nın açıklaması yanlış cevap olarak belirlenmiştir. Bu yanıt için puan değeri sıfırdır.

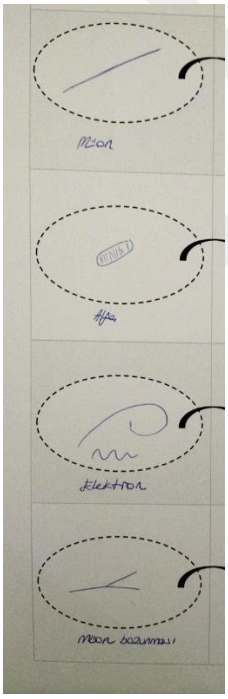
FÖB’nin yanıtı ise Şekil 4’te verilmektedir.



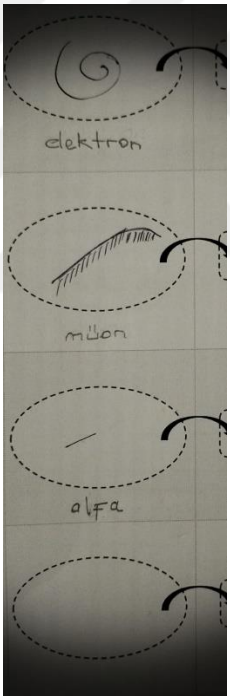
Şekil 4. Pilot uygulamada Stern-Gerlach Deneyi etkinliğinde FÖB'nin verdiği yanıt

FÖB’nin verdiği yanıt incelendiğinde tüm durumlar için doğru eşleştirmeler yaptığı görülmektedir. Bu nedenle FÖB’nin açıklaması doğru cevap olarak belirlenmiştir. Bu yanıt için puan değeri 2’dir.

FÖC’nin ve FÖE’nin yanıtı Şekil 5 ve Şekil 6’da verilmektedir.



Şekil 5. Pilot uygulamada Sis Odası Deneyi etkinliğinde FÖC'nin verdiği yanıt



Şekil 6. Pilot uygulamada Sis Odası Deneyi etkinliğinde FÖE'nin verdiği yanıt

Şekil 5’te FÖC’nin verdiği yanıt incelendiğinde tüm durumlar için doğru gözlemler yaptığı görülmektedir. Bu nedenle FÖC’nin açıklaması doğru cevap olarak belirlenmiştir. Bu yanıt için puan değeri 2’dir.

Şekil 6’da FÖE’nin verdiği yanıt incelendiğinde alfa için yanlış, diğer parçacıklar için ise doğru gözlemlerde bulunduğu görülmektedir. Bu nedenle FÖE’nin açıklaması kısmen doğru cevap olarak belirlenmiştir. Bu yanıt için puan değeri 1’dir.

Katılımcıların yanıtlarından aldığı puan değerleri toplanarak etkinliğin aldığı toplam puan ve katılımcıların her bir etkinlikten aldığı puan değerleri hesaplanmıştır. Son olarak puan değerlerinden yola çıkılarak başarı yüzde değeri hesaplanmıştır. Puanların yüzde değerlerine dönüştürülmesinin nedeni PFBT'den ve EÇY'den alınan puanların aynı değerlerle sunmaktır. Hesaplanan yüzde değerleri grup aralık katsayısının ölçme sonuçları dizisindeki en büyük değer ile en küçük değer arasındaki farkın belirlenen grup sayısına bölünmesiyle derecelendirilmiştir (Kan, 2009). Değerlendirme için grup sayısı 5 olarak belirlenmiştir. Buna uygun olarak hesaplanan başarı yüzdelerine ait değerlendirmeler Tablo 12'de görülmektedir.

Tablo 12 *EYÇ'lerin Başarı Yüzdelerine Ait Değerlendirmeler*

Başarı Yüzdeleri	100-80	79,9-60	59,9-40	39,9-20	19,9-0
Değerlendirme	Çok iyi	İyi	Orta	Zayıf	Çok zayıf

Parçacık Fiziği Başarı Testinin Analizi

Katılımcıların parçacık fiziği hakkındaki bilgilerini tespit etmek için geliştirilen etkinliklerin uygulanmasından önce ve sonra uygulanan PFBT'nin analizinde; nitel veri analiz yöntemlerinden tümdengelimsel analiz yöntemi tercih edilmiştir. Araştırmanın nicel boyutu ile ilgili ise sayısallaştırmaya uygun olan nitel veriler için puanlar elde edilmiş ve bazı istatiksel analizler yapılmıştır.

Nitel verilerin analizinde toplanan veriler düzenlenerek sentez edilir, analiz birimleri oluşturulur ve sonuçlar rapor edilir (Bogdan & Biklen, 2007). Bu araştırmada PFBT'ye verilen yanıtların tümdengelimsel analizi EÇY'lerin değerlendirilmesinde olduğu gibi, önceden belirlenmiş kavramlara göre kodlanarak yapılmıştır (Yıldırım & Şimşek, 2008). Corbin ve Strauss'un (1990) ortaya koyduğu önceden belirlenmiş kavramlara göre kodlamada; doğru cevap, kısmen doğru cevap, yanlış cevap ve cevapsız olarak belirlenmiştir. Bu kapsamda veriler analiz öncesinde belirlenmiş dört kategoriye göre yorumlanmış ve sunulmuştur. Her bir kategoride verilen cevaplar ön ve son test olacak şekilde tablolar halinde düzenlenmiştir. Böylece PFBT'nin nitel sonuçları yorumlanmıştır.

Nitel çalışma sonuçları bazen çalışılan konuyla ilgili nicel çalışmalar ile örtüşebilmektedir. Nitel çalışma sonuçlarının çalışılan evren veya yer ile ilgili çok ilgili, az ilgili veya ilgisiz

olduğunun ifade edilmesi, üzerinde çalışılan veriden elde edilecek sayısal rakamlarla desteklenmesi sayesinde olabilecektir (Güler vd., 2013). Nitel veri temel olarak iki yöntemle sayısallaştırılabilir: basit yüzde hesapları ve sözcük sıklık hesapları (Yıldırım & Şimşek, 2021). Araştırmada katılımcıların yanıtlarının analizinde önceden belirlenen kategorilere göre kodlanmış ve doğrudan alıntılarla sıklık-frekans değerlerine yer verilmiştir.

PFBT'nin ön ve son testinde katılımcıların yanıtlarına göre veriler analiz edilmiş ve önceden belirlenen kategorilere ayrılmıştır. Bu kategorilere göre EÇY'lerde olduğu gibi puan değerleri verilmiştir: doğru cevap için 2, kısmen doğru cevap için 1, boş ya da yanlış cevap için sıfır puan verilmiştir. Bu puanlar toplanarak katılımcının PFBT'deki başarı yüzde değeri hesaplanmıştır. Hesaplanan yüzde değerleri grup aralık katsayısının ölçme sonuçları dizisindeki en büyük değer ile en küçük değer arasındaki farkın belirlenen grup sayısına bölünmesiyle derecelendirilmiştir (Kan, 2009). Değerlendirme için grup sayısı 5 olarak belirlenmiştir. Buna uygun olarak hesaplanan başarı yüzdelerine ait değerlendirmeler Tablo 12'de yer almaktadır.

Örneğin asıl uygulamada elde edilen verilerden örnek verilerek önceden belirlenen temalara göre kategorilendirmenin nasıl yapıldığı daha iyi açıklanabilir. Asıl uygulamaya katılan 23 fizik öğretmeni FÖ1, FÖ2, FÖ3… olarak kodlanmıştır. PFBT'deki Soru 8 evrendeki temel etkileşimlerle ilgilidir. X, Y ve Z ile kodlanan etkileşimler hakkında bilgiler verilerek, etkileşimlerin tahmin edilmesi istenmiştir. X: "Temel kuvvetler içerisinde şiddeti en büyük olan kuvvet" olan güçlü nükleer kuvvettir. Y: "Radyoaktif bozunmaların birçoğunda pay sahibi" olan zayıf nükleer kuvvettir. Z: Temel kuvvetler içerisinde en zayıf" olan kütleçekim kuvvettir. PFBT'nin ön test uygulamasında FÖ1 ve FÖ3'ün verdiği yanıtlar ise şunlardır:

FÖ1: "X: güçlü nükleer, Y: zayıf nükleer, Z: kütleçekim kuvveti."

FÖ3: "X: güçlü nükleer, Y: zayıf nükleer, Z: elektromanyetik kuvvet."

FÖ1; X, Y ve Z için doğru tahminlerde bulunmuştur. Bu nedenle açıklaması doğru cevap olarak belirlenmiştir. Bu cevap için puan değeri 2'dir. FÖ3 ise X ve Y için doğru, Z için ise yanlış tahminlerde bulunmuştur. Bu nedenle açıklamala kısmen doğru cevap olarak belirlenmiştir. Bu cevap için puan değeri 1'dir.

PFBT'deki Soru 10, çekirdeğin dağılmadan nasıl bir arada kaldığı ile ilgilidir. Katılımcılardan bunun nedeninin açıklanması istenmektedir. Atomun çekirdeğindeki

protonların bağlanıp bir arada olmalarını sağlayan güçlü nükleer kuvvettir. PFBT'nin ön test uygulamasında FÖ10'un verdiği yanıt:

FÖ10: "Kuarklardır."

FÖ1'in açıklaması doğru değildir. Atomun çekirdeğindeki protonların bağlanıp bir arada olmalarını sağlayan güçlü nükleer kuvvet ya da gluon açıklaması doğru cevap olarak kabul edilmektedir. Bu nedenle açıklaması yanlış cevap olarak belirlenmiştir. Bu cevap için puan değeri 0'dır.

Araştırmanın nicel boyutunda PFBT'den alınan puan yüzdeleriyle çeşitli analizler gerçekleştirilmiştir. PFBT'nin nicel analizi için öncelikle katılımcıların hem ön hem de son testte verdikleri yanıtların başarı yüzdeleri SPSS'e aktarılarak, her iki veri grubunun normal dağılıma uygunluğuna bakılmıştır. Verilerin analizi için öncelikle normal dağılıma uyguluk için gerekli testler uygulanmalıdır. Normal dağılım testinde gözlem sayısı 29'dan az olduğunda Shapiro-Wilks, fazla olduğunda ise Kolmogorov-Simirnov testi kullanılmaktadır (Kalaycı, 2010). Shapiro-Wilk Testi gözlem sayısı az olduğunda, Kolmogorov-Smirnov testinden daha güçlüdür (Mayers, 2013). Normal dağılım varsayımı sağlanmadığında, verilerin analizinde parametrik olmayan yöntemlerin kullanılmasını gerekmektedir. Yapılan analiz sonucunda verilen normal dağılıma uymadığı tespit edilmiştir. Katılımcıların PFBT'nin ön ve son test puan ortalamaları Wilcoxon Tek Örnek İşaret Sıralaması Testi'nin uygulanmasıyla analiz edilmiştir. Wilcoxon Tek Örnek İşaret Sıralaması Testi; verilerin normal dağılıma uyduğunda kullanılan bağımlı örneklem t-testine karşılık gelmektedir (Çimen, 2015).

Wilcoxon Tek Örnek İşaret Sıralaması Testi ortalamaları kıyaslamak için kullanıldığında anlamlı bir fark ortaya çıksa da, bu farkın büyüklüğünün bilinmesi gereklidir. Bunun için etki büyüklüğü (r) hesaplanmalıdır. Etki büyüklüğünü hesaplamak için öncelikle Z değerinin önündeki eksi göz ardı edilmelidir. Z değeri, iki zaman noktası üzerinden yapılan gözlemlerin sayısının kareköküne bölünerek etki büyüklüğünün değeri hesaplanabilir. Cohen'in kriterlerine göre (1988) 0,1=küçük, 0,30=orta ve 0,5=büyük etki büyüklüğü değerine karşılık gelmektedir (Balcı & Ahi, 2017). Buna göre ön ve son test puan değerleri arasında anlamlı farkın etki büyüklüğü hesaplanmıştır. Böylece etkinliklerin uygulanmasının katılımcıların parçacık fiziği bilgilerinin gelişimi ve gelişimin miktarı hakkında karar verilmiştir.

Etkinlik Değerlendirme Formunun Analizi

Katılımcıların her etkinliğin yapılmasından sonra doldurduğu EDF'leri 10'lu Likert tipinde düzenlendiği için puanlama, "Kesinlikle katılmıyorum" 1 puan, "Kesinlikle katılıyorum" 10 puan olacak şekilde yapılmıştır. EDF, 5 maddeden oluştuğundan her bir etkinlik için alınabilecek en düşük puan 5 iken en yüksek puan ise 50'dir. Katılımcıların etkinliklere verdiği toplam puanlar elde edilmiş ve her bir etkinlik ve madde için puanlara göre yüzde değerleri elde edilmiştir. Elde edilen yüzde değerlerine göre ise değerlendirmeler yapılmıştır. Değerlendirme için yine EÇY'lerin değerlendirmesinde kullanılan puan aralıkları kullanılmıştır (Tablo 12).

Yarı Yapılandırılmış Görüşmenin Analizi

Fizik öğretmenlerinin etkinlikler hakkındaki detaylı görüşlerini almak için gerçekleştirilen yarı yapılandırılmış görüşmelerden elde edilen verilerin işlenmesinde tümevarımsal içerik analizi tercih edilmiştir. Tümevarımsal içerik analizi yaklaşımında temalar ve kategoriler kaynağını veri setinden almaktadır (Zhang & Wildemuth, 2009). Bir başka deyişle, kodlar katılımcıların ifadelerinden ortaya çıkmakta ve anlam kümeleri oluşturmaktadır. Birbirine benzeyen veriler bir araya getirilerek ele alınmakta ve verilere ilişkin belgeler sistematik bir biçimde incelenerek analiz edilmektedir (Yıldırım ve Şimşek, 2013).

Patton'a (2014) göre nitel veri analizinin başlangıcında, özellikle içerik analizi yaparken kod geliştirme ya da kategori ve temaları belirlerken tümevarımsal bir yaklaşım içinde olunmalıdır. Tümevarımsal analizde; kodlamalar söz konusu olduğu için kodlamalar vasıtasıyla verilerin temelinde yatan kavramlar ve bu kavramlar arasındaki ilişkileri ortaya çıkarmak hedeflenmektedir. Tümevarımsal analiz yaklaşımında, kodlar ve temalar daha önceden bilinse dahi araştırma sürecinde yeniden düzenlenebilme özelliğine sahiptir (Yıldırım & Şimşek, 2008).

Tümevarımsal analiz türünde temelde yapılan işlem, birbirine benzeyen verileri belirli kavramlar ve temalar çerçevesinde bir araya getirmek ve bunları okuyucunun anlayabileceği bir biçimde düzenleyerek yorumlamak ve sonuçlara ulaşmaktır (Yıldırım & Şimşek, 2021).

Tümevarımsal kodlama için araştırmacı, verileri satır satır okur ve araştırmanın genel amacı, genel sorusu çerçevesinde önemli olan boyutları saptamaya çalışır. Ortaya çıkan

anlama göre araştırmacı, bu veri birimini tanımlayacak belirli kodlar üretir. (Yıldırım & Şimşek, 2021).

Nitel araştırma verileri dört aşamada analiz edilir: (1) verilerin kodlanması, (2) temaların bulunması, (3) kodların ve temaların düzenlenmesi, (4) bulguların tanımlanması ve yorumlanmasıdır. Bu bağlamda tümevarımsal analizi için önce kodlar oluşturulmuştur. Kodlama süreci elde edilen veriyi bu analiz birimlerine göre bölümlere ayırmayı, incelemeyi, kavramlaştırmayı, karşılaştırmayı ve ilişkilendirmeyi gerektirir (Strauss & Corbin, 1990). Verilerin analizinde rehberlik edecek bir kavramsal yapı olmaması nedeniyle yoğun bir süreç gerçekleşmiştir. Yazılı olarak kayıt altına alınan veriler tekrar tekrar okunarak, araştırmanın genel sorusu çerçevesinde önemli boyutlar saptanmıştır. Verilerin olduğu yazılı dokümanların sağ tarafında bir sütun oluşturulmuş ve tespit edilen boyutlara tanımlayıcı isimler yani kodlar yazılmıştır. Tespit edilen boyutlar bazen bir cümle, bazen bir kelime ya da bir paragraf olmuştur. Ortaya çıkan anlama göre verileri tanımlayan koda verilen adlar, verilerin tekrar tekrar incelenmesi sonucunda sayısında ve adlarında değişikliğe gidilmiştir.

Verilerin kodlanması sonrasında, verileri genel düzeyde açıklayabilen ve kodları belirli kategoriler altında toplayabilen temaların bulunması gereklidir. Bu bir anlamda tematik kodlama işlemidir (Yıldırım & Şimşek, 2021). Böylece birbiriyle ilişkili olan kodlar bir araya getirilmiştir. Bu kodları daha üst düzeyde ve daha genel bir kavramla adlandırılması sonucunda temalar elde edilmiştir.

Özetleyecek olursak, tümevarımsal içerik analizi niteldir. Kodlar, temalar ve kategoriler araştırmacının kendi çabasıyla, metinleri yakından incelenmesi sonucu oluşturulur. Bu açıdan tümavarımsal içerik analizi bir fenomeni açıklayabilmek için yeni model ya da teori oluşturulmasında kullanılabilir ve bu hali ile gömülü teori yaklaşımına benzerlik gösterir (Güler vd., 2013).

İç ve dış tutarlığı göz önünde tutarak yapılan tematik kodlamada başka bir araştırmacıya danışmak, ortaya çıkan temaların veri setini yansıtıp yansıtmadığında yararlı olabilir (Yıldırım & Şimşek, 2021). Bu nedenle başka bir araştırmacıyla kodlar ve kodlardan ortaya çıkan temalar incelenmiştir. Temaların verileri anlamlı bir biçimde açıkladığı görülmüştür. Yarı yapılandırılmış görüşme soruları her etkinlik için ayrı ayrı sorulduğundan elde edilen kodlar ortak temalar ve alt temalar altında düzenlendiğinde tüm etkinliklere dair katılımcı görüşlerini sistematik şekilde anlamlandırma imkânı oluşmaktadır. Tüm etkinlikler için oluşturulan ortak tema ve alt temalar Tablo 13'te

verilmiştir. Tablo 13'teki kodlar sütunu, tüm etkinliklere ilişkin görüşlerden elde edilen tüm kodları içermektedir. Her bir etkinliğe dair tema, alt tema ve kodlar bulgularda ayrı ayrı verilecektir.

Tablo 13

Yarı-Yapılandırılmış Görüşmelerin Nitel Veri Analizinden Elde Edilen Tema, Alt Tema ve Kodlar

Temalar	Alt Temalar	Kodlar
İçerik	Etkinliğin içeriği hakkında olumlu görüşler	Kazanıma uygun olması
		İlgi uyandırması
		Güncel örnek/olaylar içermesi
		Konu hakkında bilgi kazandırması
		Lise öğrencileri için uygulanabilir olması
	Etkinliğin içeriği hakkında olumsuz görüşler	Kazanıma uygun olmaması
		İlgi çekmemesi
		İçerikte güncel örnek/olaylar olmaması
		Konu hakkında bilgi kazandırmaması
Uygulama	Etkinliğin uygulanamayacağına yönelik görüşler	İçeriğin lise fizik öğretim programında yer almaması
		İçeriğin 12. sınıf öğrencileri için basit olması
		12. sınıfların üniversite sınavına yönelik çalışmaları nedeniyle uygulanamayacağı
Öneriler		İçerikteki deneyin yapılması için bulunabilir malzemelerin de önerilebilir
		Okul türüne göre etkinliklerin seviyelere ayrılabilir
		Farklı bir etkinlik tasarlanabilir
		İçeriğe video eklenebilir

Yarı yapılandırılmış görüşmelerin tümevarımsal içerik analizinde elde edilen nitel verilerin sayısallaştırılması istenmiştir. Nitel verilerin nicelleştirilmesinin istenmesinin nedeni güvenirliği arttırmak, yanlılığı azaltmaktır. Nitel verinin sayısallaştırılması, bir veri analizi biçimidir ve bunun sonucunda ortaya çıkacak yorumların daha "adil" bir biçimde

yapılmasını sağlayabilir (Yıldırım & Şimşek, 2021). Bu nedenle yarı yapılandırılmış görüşmelerden elde edilen kodların frekans değerlerine bulgular kısmında yer verilecektir.

Araştırmanın Geçerliği

Bu araştırmada karma yöntemin tercih edilmesi nedeniyle geçerliği nitel ve nicel boyutta geçerlik olarak iki şekilde ele alınmıştır.

Nitel çalışmalarda geçerlilik veri toplanması ile ilgili değildir. Verilerin toplanma biçimi tabii ki gerçerliliğini etkiler. Fakat nitel çalışmalarda geçerlilik, genellikle veri içerisinden çıkarılan anlamlar/sonuçlar ve bu anlam ve sonuçların ne kadar objektif gerçekliği oluşturduğu ile ilgilidir. Yani elde edilen verilerin ne kadar güvenilir olduğu ile ilgilidir (Stiles, 1993).

Araştırmanın nitel boyutunda iç geçerliği sağlamak amacıyla inandırıcılık, uzman incelemesi, veri çeşitlemesi, katılımcı teyidi gibi yöntemler kullanılırken; dış geçerliği sağlamak için ise ayrıntılı betimleme ve örneklemin ayrıntılı olarak tanımlanması yöntemleri kullanılmaktadır (Yıldırım & Şimşek, 2008).

Araştırmanın nitel boyutu için inandırıcılığı sağlamak amacıyla kullanılan yöntemlerden biri uzman incelemesidir (Yıldırım & Şimşek, 2008). Bu amaçla etkinliklerin ve başarı testinin uzmanlar tarafından değerlendirilmesi istenmiştir. Veri toplama araçlarından biri olan etkinlik çalışma yapraklarının hazırlanmasında bir fizik eğitimcisi, doktora çalışmasını parçacık fiziği üzerinde yapmış olan iki akademisyen ve alan uzmanı olan iki öğretmen tarafından uzman incelemesi yapılmıştır. Veri toplama araçlarından bir diğeri olan başarı testinin hazırlanmasında ise bir fizik eğitimcisi, doktora çalışmasını parçacık fiziği üzerinde yapmış olan iki akademisyen ve alan uzmanı olan beş öğretmen tarafından uzman incelemesi yapılmıştır.

İç geçerliği sağlamanın bir diğer yolu da veri çeşitlemesi adı verilen çok çeşitli veri kaynağı kullanılmasıdır (Guion, 2002). Karma yöntem araştırmalarının sunduğu geniş yöntem yelpazesi ve esneklik; hem araştırma sorularının derinlemesine incelenmesine hem de araştırma sürecindeki geçerlik ve güvenirlik çalışmalarına büyük katkı sağlamıştır (Fırat, Kabakçı Yurdakul & Ersoy, 2014).

Farklı veri toplama araçlarından elde edilen veriler hem tutarlılığa hem de inandırıcılığa katkıda bulunmaktadır (Patton, 2014). Veri çeşitlemesini sağlamak amacıyla bu çalışmada

etkinlik çalışma yaprakları, başarı testi, etkinlik değerlendirme formları, yarı-yapılandırılmış görüşmeler gibi birçok veri toplama aracı kullanılmıştır.

Katılımcı teyidi de inandırıcılığı artırmanın dolayısı ile iç geçerliği sağlamanın yollarından biri olup araştırmadan elde edilen verilerin toplandığı kişiler tarafından teyit edilmesi olarak ifade edilmektedir (Yıldırım & Şimşek, 2008). Araştırmacılar elde ettikleri verileri ve çıkardıkları sonuçları bazen görüşme yaptıkları katılımcıya sorarak bulunan sonuçlara katılıp katılmadıkları sorarak teyit etmek isteyebilirler. Böylelikle yanlış yorumlama sonucunda ortaya çıkardıkları sonuçları kontrol etmiş olurlar. Araştırmacılar çıkarmış oldukları sonuçları gösterip bunların doğru olup olmadığını sorabilirler (Bryman, 1988). Bu araştırmada yapılan yarı yapılandırılmış görüşmelerde öğretmenlerin EDF'de her etkinlik için maddeler hakkında yaptığı değerlendirmeleri kendilerine özetlenmiş olup anlatmaya çalıştıkları durumun araştırmacı tarafından doğru anlaşılıp anlaşılmadığı teyit edilmiştir.

Nitel araştırmalarda aktarılabilirlik olarak belirtilen nicel araştırmalardaki dış geçerliktir. Araştırmada aktarılabilirliğin sağlanması ayrıntılı betimleme ve amaçlı örnekleme ile sağlanmaktadır (Yıldırım & Şimşek, 2013). Araştırmada nitel verilerle ilgili bulgular aktarılırken öğrenci cevaplarından yapılan doğrudan alıntılarla aktarılabilirlik sağlanmaya çalışılmıştır.

Nitel araştırmaların doğası gereği, dış geçerliği sağlamak için nicel araştırmalarda olduğu gibi genelleme yapmak mümkün olmamaktadır (Yıldırım & Şimşek, 2013). Ancak benzer örneklemlere aktarılabilirliği sağlamak amacıyla ayrıntılı betimleme ve örneklemi ayrıntılı olarak tanımlama gibi yöntemler kullanılabilmektedir (Yıldırım & Şimşek, 2008). Nitel bir araştırmada, araştırma verileri ne kadar yeterli düzeyde betimlenirse, aktarılabilirlik dolayısıyla dış geçerlik o kadar artmaktadır (Yıldırım & Şimşek, 2008). Araştırmada nitel verilerle ilgili bulgular aktarılırken öğrenci cevaplarından yapılan doğrudan alıntılarla aktarılabilirlik sağlanmaya çalışılmıştır. Ayrıntılı betimleme sayesinde ise okuyucu, betimlenen olay yerinin içine kadar girmekte; okuyucunun çalışmanın gerçekleştirildiği ortamı zihninde canlandırması sağlanmaktadır (Patton, 2014; Yıldırım & Şimşek, 2008). Bu araştırmada ayrıntılı betimleme yapabilmek adına çalışmanın yapıldığı ortam, veri toplama araçlarının hazırlanması, veri toplama süreci ayrıntılı olarak betimlenmiş ve verilerin analizi, elde edilen bulgular, tartışma ve öneriler okuyucunun rahatlıkla anlayabileceği şekilde sunulmuştur. Bunun yanı sıra çalışma grubu seçiminde de

maksimum çeşitlilik örneklem yöntemi seçilmiştir. Nitel araştırmalarda örneklemin ayrıntılı olarak tanımlanması, bulguların kimler için ve hangi sınırlarda geçerli olduğunu ortaya koyarak araştırmanın dış geçerliğini arttırmaktadır (Fraenkel & Wallen, 2009). Bu çalışmada da katılımcılar yaş, cinsiyet, deneyim süresi, mezun olunan fakülte, çalışılan okul türü ve öğrenim durumu ile tanımlanmıştır.

Araştırmanın nicel boyutu göz önüne alındığında iç geçerlik için katılımcıların seçimi ve geçmişinde belirlenen kriterler ile ön ve son testte kullanılan ölçeğin aynı olması gibi tedbirler alınmıştır (Creswell, 2013).

Nicel araştırmalarda iç geçerliği sağlamanın bir yolu katılımcıların yansız olarak seçimidir. Böylece insan kaynaklı çeşitli etkenler, çalışmanın sonucunu etkileyecek farklı tehditler ortadan kaldırılacaktır (Creswell, 2012). Çalışmaya gönüllü olarak katılmak isteyen fizik öğretmenlerinin parçacık fiziği ile ilgili yüksek lisans ya da doktora çalışmasının olmamasına, TÖÇ gibi parçacık fiziğine yönelik herhangi bir çalışmaya ya da hizmet içi eğitime katılmamış olmalarına dikkat edilmiştir.

Ön ve son testlerde kullanılan ölçme araçlarının farklı olması elde edilecek puanları etkilemektedir. Ön ve son testlerde aynı ölçme aracının kullanılmaması, ölçme aracının yapısında meydana gelen değişiklikler, veri toplayıcının özellikleri ve veri toplayıcının yanlı davranması olarak farklı şekillerde ortaya çıkan bu tehdit, araştırmanın iç geçerliğini etkileyebilmektedir (Creswell, 2013; Fraenkel, Wallen & Huey, 2012). Araştırmada bu tehditleri ortadan kaldırmak amacıyla ön ve son testlerdeki ölçümlerde aynı ölçme aracı kullanılmıştır.

Araştırmanın Güvenirliği

Nitel veya nicel tüm çalışmaların güvenirliği iç ve dış güvenirlik olarak iki açıdan incelenmektedir. Dış güvenirlik, elde edilen sonuçların benzer ortamlarda yine aynı sonuçlara ulaşılıp ulaşılmamasıyla ilgilidir; iç güvenirlik ise başka araştırmacılar tarafından aynı verinin kullanılmasıyla aynı sonuçların elde edilip edilmemesi olarak ifade edilmiştir (Yıldırım & Şimşek, 2013). Ancak nitel çalışmalarda güvenirliği sağlamak amacıyla çalışma benzer ortamlarda tekrar edildiğinde benzer sonuçlara ulaşılması durumu söz konusu değildir çünkü nitel çalışmalarda gerçekler, bireyler ve ortama göre farklılık gösterebilmektedir (Yıldırım & Şimşek, 2013). Nitel araştırmalarda dış güvenirliği sağlamak amacıyla çeşitli tedbirlerin alınması gerekmektedir. Verilerin toplanması ve

analizi sırasında kullanılan yöntemler ve izlenen yol açık ve net bir şekilde sunulmalı; böylelikle araştırmanın okuyucuları kendi araştırmalarıyla karşılaştırabilme imkanı bulmalıdır (Yıldırım & Şimşek, 2013). Bu araştırmada da araştırmanın yöntemi, veri toplama araçlarının oluşturulması, veri toplama süreci, bulgular ve yorumlar, tartışma ve öneriler kısımlarında detaylı olarak açıklama yapılmış, diğer araştırmacıların da faydalanabilmesi için gerekli olan tüm bilgiler paylaşılmıştır.

Nitel araştırmalarda iç güvenirliği arttırmak amacıyla kullanılan bazı yöntemler kullanılmaktadır. Bunlardan bazıları verilerin analizi ile elde edilen bulgulardan sonuçlar çıkarmak amacıyla araştırmaya birden fazla araştırmacının dahil olmasını, verilerin analizinin detaylı ve kapsamlı bir alan yazın çerçevesinde ele alınması ve toplanan verilerin yorum yapılmaksızın olduğu gibi okuyucuyla paylaşılmasıdır (Yıldırım & Şimşek, 2013). Eğer araştırmacı oldukça standart bir süreç içerisinde içerik analizini gerçekleştiriyorsa ve birden fazla kodlayıcı kullanılıyorsa, araştırmanın başlarında kod şemasının geliştirilip geçerliliğinin ortaya konması gerekecektir (Zhang & Wildemuth, 2009). Bunun en güzel yolu incelenecek veriden bir örneklemin üzerinde kodlanması olacaktır. Bu çalışma, araştırmacıya kategori yapılarındaki uyumsuzluk ve yetersizliği göstermenin yanı sıra eğer birden fazla kodlayıcı kullanılmışsa ortak kodlayanlar arası güvenirliliği de test etme olanağı sağlayacaktır (Prasad, 2008; Zhang & Wildemuth, 2009).

Bu araştırmada iç güvenirliği sağlamak amacıyla PFBT'den elde edilen verilerin analizi bir fizik eğitimi uzmanı tarafından incelenmiştir. Güvenirlik; görüş birliğinin, görüş birliği ile görüş ayrılığının toplamına oranı ile elde edilmiştir (Miles & Hubermann, 1994). Verilerin analizi sırasında bir fizik eğitimi uzmanı sürece dahil olarak verilerin bir kısmı için puanlama yapmış ve araştırmacı ile uzman arasında tutarlılık uyum yüzdesi hesaplanarak incelenmiştir. Aynı süreç EÇY'lerden elde edilen verilerin analizinde de tercih edilmiştir. Her iki süreç öncesinde de uzman için kodlama şeması hakkında iyi bir sunum gerçekleştirilmiş ve bilgiler verilmiştir. Uzmanın kodlama şeması hakkında eğitilmesi ve bilgilendirilmesi kaçınılmazdır (Güler vd., 2013). Araştırmacı ve uzman aynı verileri eldeki kodlama şemasına göre bağımsız olarak kodlanmış, daha sonra bu kodlamalar güvenirlik testine tabi tutulmuştur. Güvenirliğini belirlemek için yapılan bu işlem sonucunda her bir tema için Miles-Huberman güvenirlik formülü değerinin .70'den yukarı olması beklenmektedir. Araştırmacı ve uzmanın uyum değeri 1 olarak tespit edilmiştir. Bu da araştırmacının kodlamalarının güvenilir olduğunu göstermektedir. Ayrıca EÇY'lerde katılımcılardan istenen çalışmaların açık ve anlaşılır olması ile PFBT'de istenen cevapların

kısa olması; verileri doğru, kısmen doğru ya da yanlış olarak kodlamayı kolaylaştırmıştır. Bunun sonucunda tüm güvenirlik testleri de yapıldıktan sonra araştırmacı elindeki bütün metinleri kodlamaya başlamıştır.

Dış güvenilirlik için ise katılımcıların özellikleri, kullanılan ölçme aracı, puanlama ve analiz süreçleri detaylı bir şekilde açıklanmıştır. Veriler talep edildiğinde sunulabilecek şekilde arşivlenmiştir. Böylelikle benzer süreçleri izlemek isteyen araştırmacıların karşılaştırılabilir sonuçlara ulaşabilmeleri için teyit edilebilirlik ölçütü yerine getirilmeye çalışılmıştır.

Araştırmada Etik

Bu çalışmada veri toplama araçlarına ilişkin çalışmalar bittikten sonra Gazi Üniversitesi Etik Komisyonundan izin alınmıştır (EK 7). Etik komisyonundan izin aldıktan sonra çeşitli sosyal medya araçlarıyla gönüllü katılımcılara ulaşılmış ve ardından uygulamalara başlanmıştır. Uygulamalar başlamadan önce katılımcılar çalışmayla ilgili bilgilendirilmiştir. Katılımcılara çalışmanın hangi amaçla yapıldığı, ilgili kurumlardan izinler alındığı, katılımın gönüllülük esasına dayandığı ve çalışmanın etik kurallar çerçevesinde yürütüleceği bildirilmiştir. Uygulama başlamadan önce katılımcılara gönüllü katılım formu imzalatılmıştır. Bu şekilde etik kurallar ihlal edilmeden çalışma sürdürülmüştür.

BÖLÜM IV

BULGULAR VE YORUM

Bu bölümde EÇY'lerden, PFBT'nin ön ve son test olarak uygulanmasından, EDF'lerden ve yarı yapılandırılmış görüşmelerden elde edilen bulgular yer almaktadır.

Etkinliklerin Uygulamasından Elde Edilen Bulgular

Bu kısımda EÇY'lere verilen yanıtlar ve tümdengelimli analizle elde edilen bulgular yer almaktadır.

Stern-Gerlach Deneyi'ne ait Etkinlik Çalışma Yapraklarının İncelenmesine İlişkin Bulgular

FL öğretim programında yer alan 'Stern-Gerlach deneyinin sonuçlarının incelenmesi sağlanarak elektron spini kavramı üzerinde durulur' kazanımından yola çıkılarak oluşturulan Stern-Gerlach Deneyi Etkinliği, tek aşamadan oluşan bir çalışma içermektedir. Bu aşamada katılımcılara deney hakkında bilgi verilerek, katılımcılardan deneyin sonuçlarını tahmin etmesi istenmiştir.

Zoom aracılığıyla başlatılan oturumda, katılımcılar için EÇY-1 ekrana yansıtılmıştır. Katılımcılardan EÇY-1'de yer alan açısal momentum hakkındaki metni okumaları istenmiştir. Aynı zamanda dikkat çekmesi için metin araştırmacı tarafından da sesli olarak okunmuştur. Daha sonra Bohr'un kesikli açısal momentumu fikrini test etmek için kurulan Stern ve Gerlach'ın tasarladığı deney düzeneği hakkında bilgi verilmiştir.

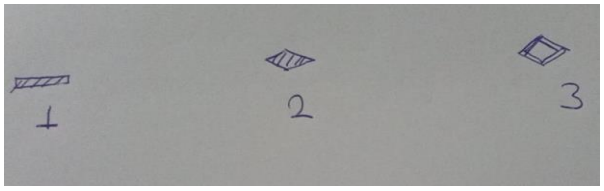
Katılımcılardan Stern ve Gerlach deneyi ile ilgili olarak, fotoğraf filmi üzerinde klasik görüşe göre manyetik alan yokken beklenen desen, klasik görüşe göre manyetik alan varken beklenen desen ile deney sonucunda gerçekleşen deseni, verilen üç şekil ile eşleştirmeleri istenmiştir. Katılımcıların yanıtlarına ait kategoriler Tablo 14'te verilmektedir.

Tablo 14

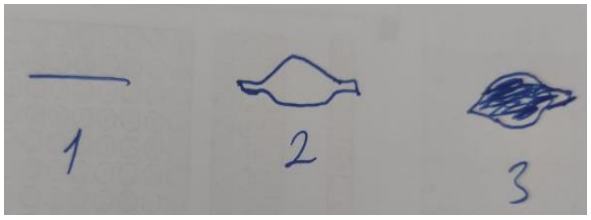
Stern-Gerlach Deneyi Etkinliğinde Katılımcıların Yanıtlarının Kategorilere Göre Dağılımı

Kategori	D	KD	Y	C
Frekans	18	3	2	-
Katılımcı	$F\ddot{O}_{1\ldots3}$ $F\ddot{O}_{5\ldots9}$ $F\ddot{O}_{11\ldots13}$ $F\ddot{O}_{17\ldots23}$	$F\ddot{O}_{4,14,16}$	$F\ddot{O}_{10,15}$	-

Tablo 14 incelendiğinde 18 katılımcının deney sonucunda beklenen sonuçlar hakkında doğru tahminlerde bulunduğu görülmektedir. FÖ4, FÖ14 ve FÖ16 ise kısmen doğru cevap vermiştir. Çalışmaya yanlış cevap veren ise FÖ10 ve FÖ15 olmuştur. Çalışmayı cevapsız bırakan hiçbir katılımcının olmadığı görülmektedir. Katılımcıların verdiği yanıtlardan bazıları aşağıda örnek olarak verilmektedir.



Şekil 7. Stern-Gerlach Deneyi etkinliğinde FÖ1'in cevabı



Şekil 8. Stern-Gerlach Deneyi etkinliğinde FÖ4'ün cevabı

Şekil 7'de yer alan FÖ1'in tahmini, katılımcıların doğru yanıtlarına örnek olarak verilmiştir. Klasik fizik görüşüne göre manyetik alan yokken beklenen birinci desen, klasik

fizik görüşüne göre manyetik alan varken beklenen ikinci desen ve deney sonucunda gerçekte oluşan ise üçüncü desendir. Şekil 8'de yer alan FÖ4'ün tahmini, katılımcıların kısmen doğru yanıtlarına örnek olarak verilmiştir. Birinci desen doğru eşleştirilmesine rağmen ikinci ve üçüncü desenler yanlış eşleştirilmiştir. FÖ10 ve FÖ15 ise üç deseni de yanlış eşleştirmiştir.

Katılımcıların yanıtlarının doğru olup olmaması hakkında bu aşamada herhangi bir açıklama yapılmamıştır. Katılımcıların tamamı yanıtlarını bireysel olarak paylaştıktan sonra, cevaplarını açıklamak isteyenlere söz verilmiştir. Katılımcıların yanıtlarını ve sebeplerini diğer katılımcılarla paylaşmaları istenmiştir. Katılımcıların ifadeleri doğrudan alıntılarla şu şekildedir:

> FÖ6: "Manyetik alan yokken sapmalarını beklemeyiz ve rasgele dağılırlar. Manyetik alan varken ise iki çizgi oluşmasını bekleriz. Geriye kalan da diğer desen olur."
>
> FÖ4: "Ben de manyetik alan yokken düz bir çizgi olması gerektiğini düşünüyorum. Ancak diğerleri için tahmin ettim."
>
> FÖ13: "Spin kavramının ortaya çıkması deney sonucundaki ayrık çizgiler olmalı."
>
> FÖ20: "Manyetik alan yokken hiçbir özel desen yok. Varken ve gerçekte olan arasında kesiklilik olmalı."
>
> FÖ15: "Deneyi duymadım. Nasıl bulduklarını da çok anlamadım."

Araştırmacı tarafından elektronun yörüngesel açısal momentumundan başka, özünde varolan bir açısal momentuma daha sahip olduğu önerisinin getirildiği ve buna spin adı verildiği açıklanarak etkinlik tamamlanmıştır.

Etkinliğin uygulanmasına dair araştırmacı notları:

- Etkinliğin tahmin edilen süre içerisinde (20 dk) tamamlanmıştır.
- Katılımcıların görüş belirtmekte ve tartışmada istekli olmadıkları görülmüştür.

Sis Odası Deneyi'ne ait Etkinlik Çalışma Yapraklarının İncelenmesine İlişkin Bulgular

FL öğretim programında yer alan 'Öğrencilerin sis odası deneyini araştırmaları ve üzerinde tartışmaları sağlanır' kazanımından yola çıkılarak oluşturulan Sis Odası Deneyi Etkinliği, tek aşamadan oluşmaktadır. Bu aşamada katılımcılardan sis odası deneyinde oluşan izlerin verilen üç parçacıktan hangisine ait olacağının tahmin edilmesi istenmiştir.

Zoom aracılığıyla başlatılan oturumda, katılımcılar için EÇY-2 ekrana yansıtılmıştır. EÇY-2'deki sis odası deneyinin tarihi hakkındaki metin incelenmiş ve deneyde parçacıkların

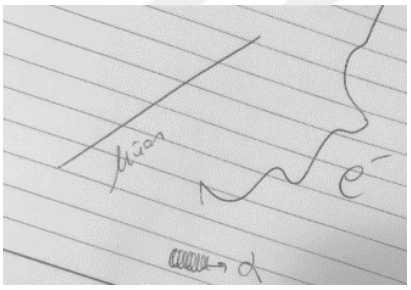
nasıl iz bıraktığı hakkında açıklamalar yapılmıştır. Daha sonra sis odası deneyine ait video izletilerek; deneyde gördükleri çeşitli izlerin hangilerinin elektron, müon ya da alfa parçacıklarına ait olduğunun tahmin edilmesi istenmiştir. Katılımcıların yanıtlarına ait kategoriler Tablo 15'te verilmiştir.

Tablo 15

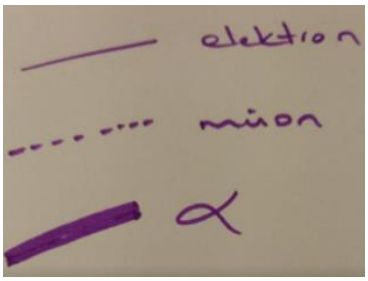
Sis Odası Deneyi Adlı Etkinlikte Katılımcıların Yanıtlarının Kategorilere Göre Dağılımı

Kategori	D	KD	Y	C
Frekans	17	3	3	-
Katılımcı	$F\ddot{O}_{1\ldots4}$ $F\ddot{O}_{7\ldots9}$ $F\ddot{O}_{11,13,15,17\ldots23}$	$F\ddot{O}_{5,14,16}$	$F\ddot{O}_{6,10,12}$	-

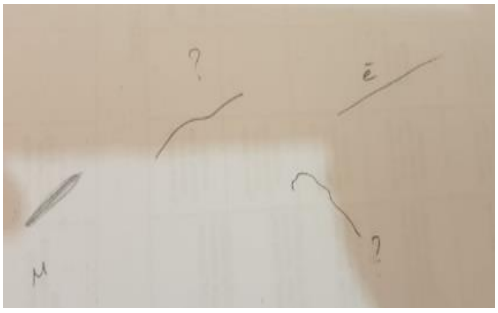
Tablo 15 incelendiğinde 17 katılımcının izlerin ait olduğu parçacık isimleri hakkında doğru tahminlerde bulunduğu görülmektedir. FÖ5, FÖ14 ve FÖ16 kısmen doğru cevap verirken; FÖ6, FÖ10 ve FÖ12 ise yanlış cevap vermiştir. Çalışmayı hiçbir katılımcı cevapsız bırakmamıştır. Katılımcıların verdiği yanıtlardan bazıları aşağıda örnek olarak verilmiştir.



Şekil 9. Sis Odası Deneyi etkinliğinde FÖ2'nin cevabı



Şekil 10. Sis Odası Deneyi etkinliğinde FÖ16'nın cevabı



Şekil 11. Sis Odası Deneyi etkinliğinde FÖ10'un cevabı

Şekil 9'da yer alan FÖ2'nin tahmini, katılımcıların doğru yanıtlarına örnek olarak verilmiştir. Çok kısa ve kalın çizgiler alfa, uzun ve zikzaklı çizgiler elektron, uzun ve düz çizgiler ise müon parçacığına aittir. Şekil 10'da yer alan FÖ16'nın tahmininde olduğu gibi izlere ait üç tahminden biri ya da ikisini yanlış belirten katılımcıların yanıtı kısmen doğru olarak belirlenmiştir. Şekil 11'de ise FÖ10'nun tahmininde olduğu gibi her üç parçacığa ait tahminler yanlış olarak belirten katılımcıların yanıtları ise yanlış cevap olarak belirlenmiştir.

Katılımcıların yanıtlarının doğru olup olmaması hakkında herhangi bir açıklama bu aşamada yapılmamıştır. Katılımcıların tamamının yanıtlarını bireysel olarak paylaşımı sonrasında, isteyenlerin yanıtlarını açıklamaları için mikrofonlarını açarak söz almaları istenmiştir. Katılımcıların yanıtlarını diğer katılımcılarla paylaşmaları istenmiş ancak bu aşamada katılımcılar tahminlerini nasıl yaptıkları hakkında herhangi bir açıklama yapmamıştır. Araştırmacı katılımcıları teşvik etmek için katılımcılara sis odası deneyini yapıp yapmadıklarını sorduğunda, tüm katılımcılar olumsuz yanıt vermiştir. Katılımcıların yanıtları doğrudan alıntılarla şu şekildedir:

> FÖ1: Bu deneyi bilim şenliklerinde gördüm ancak yapmadım, bilmiyorum.
>
> FÖ2: Ben de hiç bilmiyorum.
>
> FÖ9: İzlerin hangi parçacığa ait olduğunu biliyorum ancak neden izleri neden farklı onun bilgisini bilmiyorum.
>
> FÖ10: "Deneyde gördüğüm izleri çizdim ama parçacıkları bilmiyorum."
>
> FÖ12: "Ben de hiç bilmiyorum."
>
> FÖ23: "Kalın spiral şekiller alfa parçacığına aittir. Müon düz gitmeli. Elektron ise zik zak yol çizmeli."
>
> FÖ17: "İzlerin biliyorum da nedenini pek bilmiyorum."

Araştırmacı sis odasında parçacıkların nasıl iz bıraktığı hakkında açıklamalarda bulunmuştur. Deneye ait video tekrar gösterilerek, izlerin hangi parçacıklara ait olduğu hakkında açıklamalarda bulunularak etkinlik tamamlanmıştır.

Etkinliğin uygulanmasına dair araştırmacı notları:

- Etkinlik planlanan süreden (60 dk) daha kısa sürede (30 dk) tamamlanmıştır.

CERN'de Neler Oluyor'a ait Etkinlik Çalışma Yapraklarının İncelenmesine İlişkin Bulgular

FL öğretim programında yer alan 'Öğrencilerin sunumlarında CERN'de yapılan çalışmaların büyük patlama ile bağlantısını tartışmaları sağlanır' kazanımından yola çıkılarak oluşturulan CERN'de Neler Oluyor Etkinliği tek aşamadan oluşan bir çalışma içermektedir. Bu etkinliğin amacı CERN'i tanıtarak, BHÇ'de araştırılan soruların cevaplarını tahmin etmek üzerinedir.

Zoom aracılığıyla başlatılan oturumda, katılımcılar için EÇY-3 ekrana yansıtılmıştır. Katılımcılara EÇY-3'te yer alan ve CERN'i tanıtan kısa bir sunum yapılmıştır. Sunumun sonunda katılımcılardan parçacık fiziği alanında çalışmalarda bulunan bilim insanlarının hızlandırıcılarda araştırdıkları beş sorunun, verilen cevaplarla eşleştirilmesi istenmiştir. Araştırılan sorular şunlardır: "Evrenimizin rotası nedir? Nasıl evrilmiştir?", "Doğanın parçacıkları ve kuvvetleri hakkında yepyeni bir anlayışın eşiğinde miyiz?", "Karanlık madde nedir?", "Karanlık enerjinin gizemi nasıl çözülebilir?", "Karşı madde neye karşı?". Katılımcıların verdiği yanıtlara ait kategoriler Tablo 16'da verilmektedir.

Tablo 16

CERN'de Neler Oluyor Adlı Etkinlikte Katılımcıların Yanıtlarının Kategorilere Göre Dağılımı

Kategori	D	KD	Y	C
Katılımcı	23	-	-	-
Frekans	$F\ddot{O}_{1\ldots23}$	-	-	-

Tablo 16 incelendiğinde katılımcıların tamamının CERN'de araştırılan sorular ve cevaplarını eşleştirme çalışmasında doğru cevaplara ulaştığı görülmektedir. Katılımcıların tamamının cevaplarını bireysel olarak paylaşımı sonrası, isteyenlerin cevaplarını açıklamaları için mikrofonlarını açarak söz almalarına izin verilmiştir. Katılımcılar

istedikleri herhangi bir soru ile eşleştirdiği doğru cevabı okumuş ve böylece etkinlik tamamlanmıştır.

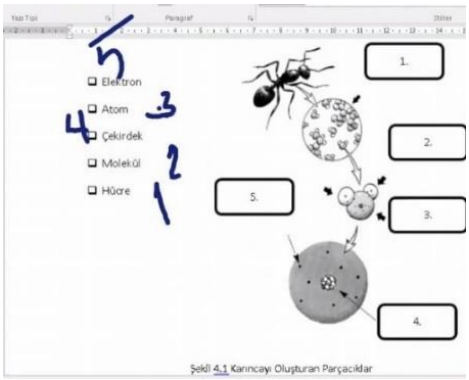
Etkinliğin uygulanmasına dair araştırmacı notları:

- Etkinlik planlanan süreden (30 dk) daha kısa sürede (15 dk) tamamlanmıştır.

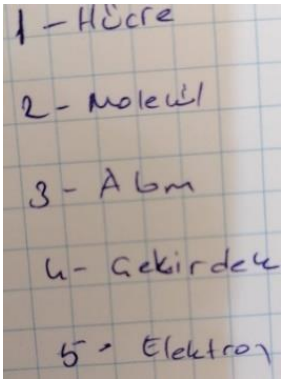
Parçacık Bulmacasının Parçaları'na ait Etkinlik Çalışma Yapraklarının İncelenmesine İlişkin Bulgular

Hem AL hem de FL öğretim programında yer alan 'Öğrencilerin atom altı parçacıkları standart model çerçevesinde tanımlamaları sağlanır' kazanımına yönelik olarak oluşturulan Parçacık Bulmacasının Parçaları Etkinliği, iki aşamadan oluşan bir çalışma içermektedir. İlk aşamada katılımcıların elektron, atom, çekirdek, molekül ile hücre kavramları ve temel parçacık kavramı hakkında ön bilgileri öğrenilmek istenmiştir. İkinci aşama ise proton ve nötronun kuark bileşimini tahmin etmek üzerinedir.

Zoom aracılığıyla başlatılan oturumda, katılımcılar için EÇY-4 ekrana yansıtılmıştır. İlk aşamada katılımcıların ön bilgilerini tespit etmek için elektron, atom, çekirdek, molekül ve hücre kavramlarının verilen şekildeki uygun boşluklara yazılması istenmiştir. Katılımcıların verdiği yanıtlardan bazıları aşağıda örnek olarak verilmektedir.



Şekil 12. Parçacık Bulmacasının Parçaları etkinliğinde FÖ1'in ön bilgileri



Şekil 13. Parçacık Bulmacasının Parçaları etkinliğinde FÖ5'in ön bilgileri

Eşil 12 ve Şekil 13'te olduğu gibi katılımcıların tamamı EÇY'deki 'Karıncayı Oluşturan Parçacıklar' şeklindeki boşluklara uygun kavramları yazarak doğru yanıtlara ulaşmıştır. Buna göre katılımcıların elektron, atom, çekirdek, molekül ve hücre hakkında ön bilgileri bulunmaktadır. Katılımcıların temel parçacık hakkındaki ön bilgilerini öğrenmek için temel parçacıklara örneklerini bireysel olarak vermeleri istenmiştir. Temel parçacık için FÖ1, FÖ4, FÖ5 ve FÖ7 elektron cevabını verirken; FÖ8 ve FÖ9 ise leptonlar ve kuarklar cevabını vermiştir. Temel parçacık için FÖ14, FÖ17, FÖ19, FÖ21 ve FÖ23 standart modelde yer alan parçacıkların tamamını örnek verirken; FÖ10…FÖ13, FÖ15, FÖ16, FÖ18 ve FÖ22 ise kuark ve elektron cevabını vermiştir. Buna göre soruya cevap veren 19 katılımcının temel parçacıklar hakkında ön bilgilerinin olduğu görülmektedir. FÖ2, FÖ3, FÖ6 ve FÖ20 ise soruyu cevaplamamıştır. Katılımcıların cevaplarının doğru olup olmaması hakkında bu aşamada herhangi bir açıklama yapılmamıştır. Katılımcıların tamamının cevaplarını bireysel olarak paylaşımı sonrasında, katılımcılardan bazıları FÖ8 ve FÖ9'un yanıtlarını gördükten sonra açıklama yapmak istemiştir. Kendileri 'Karıncayı Oluşturan Parçacıklar' şeklinde hangi temel parçacıklar bulunduğu sorulduğunun anlaşılması üzerine yalnızca elektron yanıtını verdiklerini, aslında kendilerinin de lepton ve kuarkların temel parçacık olduğunu bildiklerini belirtmiştir.

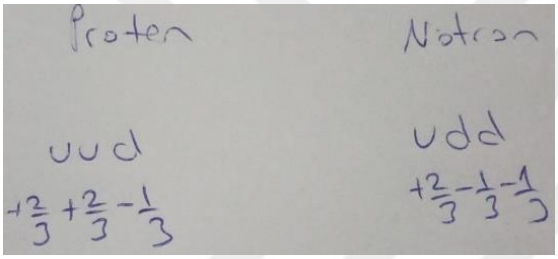
Katılımcılara EÇY-4'te yer alan ve kuarkların nasıl bir araya geldiğini açıklayan 'Kuark Reçete Kuralları' hakkında bilgi verilerek etkinliğin II. aşamasına geçilmiştir. Katılımcılardan EÇY-4'te yer alan 'Kuark Şeması'nı inceleyerek ve 'Kuark Reçete Kuralları'na uygun, proton ve nötronunun kuark bileşimini bireysel olarak yazmaları istenmiştir. Katılımcıların yanıtlarına ait kategoriler Tablo 17'de verilmektedir.

Tablo 17

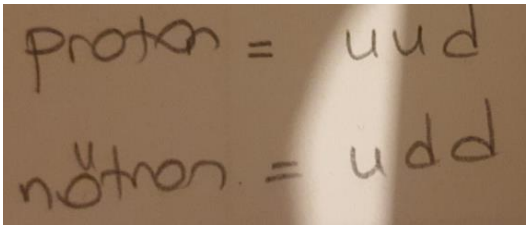
Parçacık Bulmacasının Parçaları Adlı Etkinlikte Katılımcıların Yanıtlarının Kategorilere Göre Dağılımı

Kategori	D	KD	Y	C
Frekans	23	-	-	-
Katılımcı	$F\ddot{O}_{1\ldots23}$	-	-	-

Tablo 17 incelendiğinde katılımcıların tamamının proton ve nötronu oluşturan kuark bileşimi hakkında doğru cevaplar verdiği görülmektedir. Katılımcıların verdiği yanıtlara ait bazı örnekler aşağıda yer almaktadır.



Şekil 14. Parçacık Bulmacasının Parçaları etkinliğinde FÖ1'in cevabı



Şekil 15. Parçacık Bulmacasının Parçaları etkinliğinde FÖ12'nin cevabı

Şekil 14 ve Şekil 15'te olduğu gibi katılımcılar proton için 'u-u-d', nötron için ise 'u-d-d' kuark bileşimini yazarak doğru cevaplara ulaşmıştır. Katılımcıların tamamı cevaplarını bireysel olarak paylaşımı sonrasında, isteyenlerin cevaplarını açıklamaları için mikrofonlarını açarak söz almalarına izin verilmiştir. Katılımcıların yanıtları doğrudan alıntılarla şu şekildedir:

> FÖ2: Proton ve nötronun hangi kuarklardan oluştuğunu hepimiz biliyoruz. Ancak neden bu kuarklar yada bir araya gelmelerinde bir kural olduğunu düşünememiştim.
>
> FÖ4: Yükleri toplamı sıfır ve bir yapıyor. Bu nedenle proton ve nötronu nasıl oluşturduğunu anlıyordum. Ancak diğer kuark türlerinin kararsız olduğunu bilmiyordum.
>
> FÖ12: "Yükleri toplamı sıfır ve bir yapması için kararlı kuarklar bir araya geliyor. Bu nedenle proton ve nötronu nasıl oluşturduğunu çizerek de anlattım."
>
> FÖ4: "Ben de yükleri yazarak açıkladım. Zaten bildiğimiz bir konu."

FÖ7: “Yani hepimiz biliyoruz proton ve nötronu ama ben şimdi daha iyi anladım.”

FÖ11: “Bazı kuark türlerinin kararsız olduğunu bilmiyordum. “

Katılımcılar proton ve nötronun kuark bileşimini ezberlediklerini ancak nedenini ise reçete kurallarını okuyarak bu etkinlikte anladıklarını belirtmiştir. Bu farkındalık sağlanarak etkinlik tamamlanmıştır.

Etkinliğin uygulanmasına dair araştırmacı notları:

- Etkinlik tahmin edilen süre içerisinde (20 dk) tamamlanmıştır.
- Katılımcıların elektron, atom, çekirdek, molekül ve hücre hakkında ön bilgileri bulunmaktadır.
- Katılımcılardan 19’unun temel parçacık hakkında ön bilgileri bulunmaktadır.

Kuark Kart Oyunu’na ait Etkinlik Çalışma Yapraklarının İncelenmesine İlişkin Bulgular

Hem AL hem de FL öğretim programında yer alan ‘Öğrencilerin atom altı parçacıkları standart model çerçevesinde tanımlamaları sağlanır’ kazanımına yönelik olarak oluşturulan Kuark Kart Oyunu Etkinliği, iki aşamadan oluşan bir çalışma içermektedir. İlk aşama katılımcıların parçacık sınıflarına dair ön bilgilerini öğrenmek ve verilen mezon ile baryonun yüklerini hesaplama amacını taşımaktadır. İkinci aşamada ise amaç verilen kuark oyun kartlarının mezon ya da baryon yapmak amacıyla eşleştirilmesidir.

Zoom aracılığıyla başlatılan oturumda, katılımcılar için EÇY-5 ekrana yansıtılmıştır. Katılımcıların parçacık sınıflarına yönelik ön bilgilerini tespit etmek için; I. aşamada parçacık sınıflarına yönelik örnek vermeleri istenmiştir. Katılımcıların bir kısmı lepton, baryon ve hadronlara, bir kısmı ise tüm sınıflara ait örnekler vermiştir. Katılımcıların verdiği yanıtlar Tablo 18’de verilmektedir.

Tablo 18

Katılımcıların Lepton, Baryon ve Mezonlara Dair Ön Bilgileri

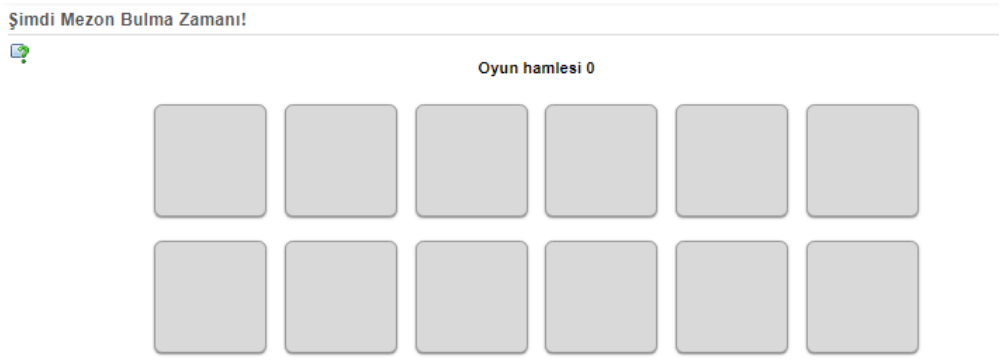
Parçacık Grubu	Katılımcı	Katılımcının Parçacık Grubuna Verdiği Örnekler
Lepton	$F\ddot{O}_{2,4,6,8,12,16,19,20}$	Elekton, Müon, Tau, Elektron Nötrinosu, Müon Nötrinosu, Tau Nötrinosu
	$F\ddot{O}_{5}$	Elektron, Müon, Kaon, Pion
	$F\ddot{O}_{3,21}$	Elekton, Müon, Tau
	$F\ddot{O}_{9}$	Elekton, Müon, Tau, Elektron Nötrinosu
	$F\ddot{O}_{13}$	Elektron
	$F\ddot{O}_{15}$	Pozitron, Müon
	$F\ddot{O}_{16}$	Elektron, Tau, Nötrino
	$F\ddot{O}_{17}$	Elektron, Tau
	$F\ddot{O}_{23}$	Elektron, Müon, Tau
Baryon	$F\ddot{O}_{4,8}$	Proton, Nötron, Ksi
	$F\ddot{O}_{2}$	Proton, Nötron, Sigma, Ksi
	$F\ddot{O}_{6,12,19,20}$	Proton, Nötron, Sigma, Lambda, Ksi, Omega
	$F\ddot{O}_{3,9,13,21,23}$	Proton, Nötron
	$F\ddot{O}_{18}$	3'lü kuark
	$F\ddot{O}_{17}$	Proton, Nötron, Lambda, Ksi
	$F\ddot{O}_{16}$	Proton, Antiproton
Mezon	$F\ddot{O}_{2..4,6,8,12,16}$	Pion, Kaon
	$F\ddot{O}_{9,18}$	2 kuark
	$F\ddot{O}_{13}$	Müon
	$F\ddot{O}_{19}$	Pion
	$F\ddot{O}_{20}$	Pion, Kaon, Eta
	$F\ddot{O}_{21}$	1 kuark, 1 anti kuark
	$F\ddot{O}_{23}$	Foton, bozon

Tablo 18 incelendiğinde 8 katılımcının leptonlara ait tüm parçacık örneklerini verdiği görülmektedir. 5 katılımcı ise leptonlara ait parçacıklardan bazılarını doğru olarak belirtmiştir. FÖ5, FÖ15 ve FÖ16 ise yanlış parçacık örnekleri vermiştir. Buna göre 13 katılımcının leptonlara ait parçacık isimleri hakkında ön bilgileri olduğu söylenebilir. FÖ1, FÖ7, FÖ10, FÖ11, FÖ14, FÖ18 ve FÖ22 ise leptonlar hakkında herhangi bir örnek vermemiştir. Baryonlar için tüm katılımcıların doğru cevaplar verdiği görülmektedir. Buna

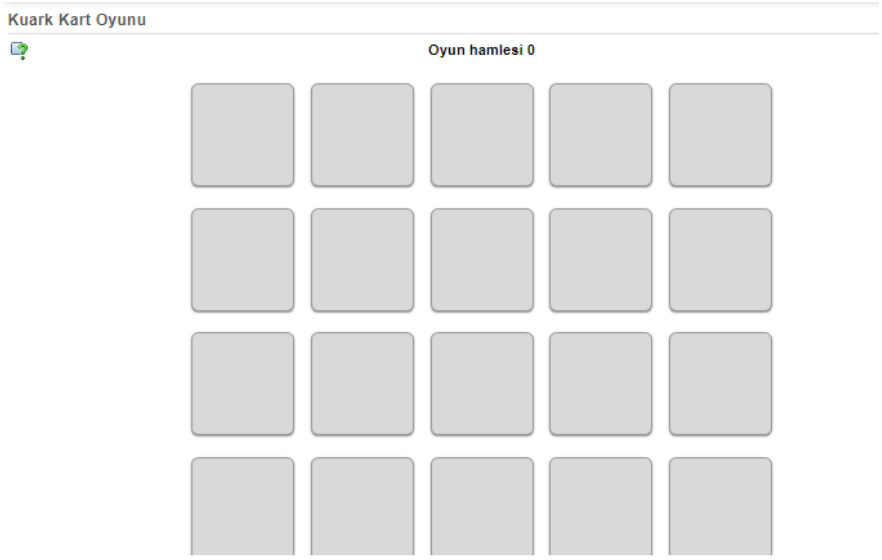
göre 14 katılımcının baryonlara ait parçacık isimleri hakkında ön bilgileri olduğu söylenebilir. FÖ18 baryonların yapısı hakkında doğru bir bilgi sunmuş olsa da, parçacık ismi örneği vermediği için açıklaması doğru sayılmamıştır. Mezonlar için ise 9 katılımcı doğru parçacık örnekleri vermiştir. FÖ13 ve FÖ23 sırasıyla müon, foton ve bozon yanıtlarıyla yanlış açıklamada bulunmuştur. FÖ9, FÖ18 ve FÖ21 mezonların yapısı hakkında doğru bilgiler sunmuş olsa da, parçacık ismi örneği vermediği için açıklaması doğru sayılmamıştır. Buna göre 9 katılımcının mezonlara ait parçacık isimleri hakkında ön bilgileri olduğu söylenebilir.

Katılımcılardan verilen mezon ile baryonun yüklerini hesaplama amacıyla EÇY-5'te yer alan metni incelenmeleri istenmiştir. Aynı zamanda araştırmacı tarafından da sesli olarak okunmuştur. Katılımcılara kuantum renk dinamiğine bağlı olarak kuarkların biraraya gelerek oluşturdukları parçacık sınıfları örnekleriyle beraber açıklanmıştır. Katılımcıların konuya olan ilgilerinin artması ve kuarkların yüklerine ait kalıcı bilgilerinin oluşması için adı, simgesi ve kuark bileşimi verilen mezon ve hadronların net yüklerinin hesaplanması istenmiştir. Katılımcılar kuark ve antikuarkların yüklerinden yararlanarak, verilen mezon ve baryonların yüklerini başarıyla hesaplamıştır.

Etkinlikte kazanıma yönelik bilgilerin kazandırılması amacıyla oluşturulan II. aşamada, çevrim içi eğitsel oyun olan Kuark Kart Oyunu'nun katılımcılara tanıtılmasına geçilmiştir. Katılımcıların olduğu Whatsapp grubunda oyunun çevrim içi uygulanacağı bağlantı paylaşılmıştır.



Şekil 16. Kuark Kart Oyunu etkinliğinde mezon oluşturma oyunu

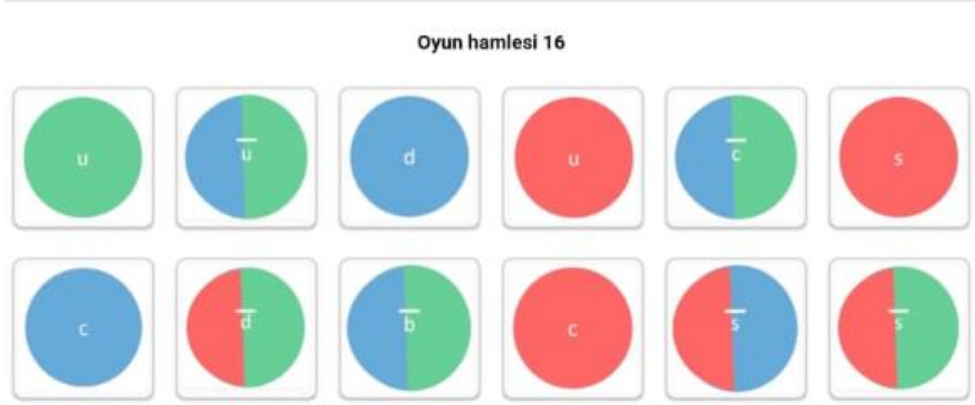


Şekil 17. Kuark Kart Oyunu etkinliğinde baryon oluşturma oyunu

Bağlantıda renk yükü ve simgeleriyle verilen oyun kartı; 6 sütun ve 2 satır olarak mezon oluşturmak için, 5 sütun ve 4 satır olarak ise baryon oluşturmak için kapalı olarak Şekil 16 ve Şekil 17'deki gibi verilmektedir. Kuarkları en kısa sürede eşleştiren katılımcının ekran görüntüsünü alarak, katılımcıların bulunduğu Whatsapp grubunda paylaşması istenmiştir. Katılımcıların tamamı kısa sürede mezon ve hadron yapma çalışmasını tamamlayarak başarılı olmuştur.



Şekil 18. FÖ12'nin baryon oluşturma kart oyununa ait cevabı



Şekil 19. FÖ16'nın mezon oluşturma kart oyununa ait cevabı

FÖ12 ve FÖ16'nın paylaştığı ekran görüntüsü Şekil 18 ve Şekil 19'da verilmektedir. Kart oyununda 32 hamleyle baryon oluşturma çalışmasını ilk bitiren FÖ12, 16 hamleyle mezon oluşturma çalışmasını ilk bitiren ise FÖ16 olmuştur. Kuark kart oyunu sonucunda tüm katılımcılar çalışmayı eğlenerek tamaladıklarını belirtmiştir. Katılımcılardan bazıları eğitsel oyunu sınıflarında öğrencileriyle yüz yüze uygulamak istediğini belirtmiştir. Katılımcıların yanıtları doğrudan alıntılarla şu şekildedir:

> FÖ4: Yüz yüze uygulansa daha zevkli olacağını düşünüyorum.
> FÖ8: Kesinlikle öğrencilerimle yapacağım bir çalışma.
> FÖ9: 9. sınıflarla ya da kulüplerin çalışma faaliyetlerinde de kullanılabilir.

Katılımcıların kuark kart oyununu tamamlamasıyla etkinlik sonlandırılmıştır.

Etkinliğin uygulanmasına dair araştırmacı notları:

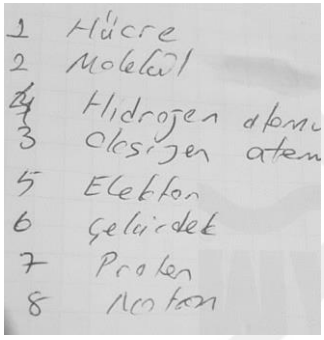
- Etkinlik planlanan süreden daha kısa süre içerisinde (40 dk) tamamlanmıştır.
- Katılımcılardan 9'unun lepton, mezon ve baryon sınıflarına dair ön bilgileri bulunmaktadır.
- Katılımcılardan 13'ünün leptonlara, 14'ünün baryonlara ve 9'unun ise mezonlara ait parçacık isimleri hakkında ön bilgileri bulunmaktadır.

Etkileşimlerin Doğası'na ait Etkinlik Çalışma Yapraklarının İncelenmesine İlişkin Bulgular

Hem AL hem de FL öğretim programında yer alan 'Dört temel kuvvetin açıklanması sağlanır' kazanımından yola çıkılarak hazırlanan Etkileşimlerin Doğası Etkinliği, üç aşamadan oluşan bir çalışma içermektedir. İlk aşamanın amacı katılımcıların hücreden

kuarka kadar olan kavramlar hakkında ön bilgilerini öğrenmektir. İkinci aşamada ise verilen metinden yararlanarak evrendeki etkileşimlerin özelliklerini tahmin etmeleri istenmiştir. Üçüncü aşama ise vücudumuzda evrendeki temel etkileşimlerden hangilerinin olduğunun tartışılması üzerinedir.

Zoom aracılığıyla başlatılan oturumda, katılımcılar için EÇY-6 ekrana yansıtılmıştır. Katılımcıların ön bilgilerinin tespit edilmesi istenen I. aşamada; hidrojen atomu, proton, nötron, elektron, molekül, çekirdek, hücre ve oksijen atomu kavramlarının verilen şekildeki uygun boşluklara yazılması istenmiştir. Katılımcıların verdikleri cevaplara ait bir örnek aşağıda yer almaktadır.



Şekil 20. Etkileşimlerin Doğası etkinliğinde FÖ7'nin ön bilgileri

Şekil 20'de olduğu gibi katılımcıların tamamı kavramları doğru olarak yerleştirmiştir. Bu nedenle katılımcıların tamamının hücreden kuarka kadar olan kavramlar hakkında ön bilgileri olduğu görülmektedir.

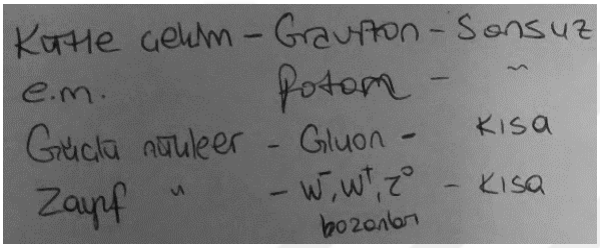
Kazanıma yönelik bilgilerin kazandırılması için II. aşamada EÇY-6'de yer alan 'Etkileşimlerin Doğası' adlı metin ekrana yansıtılarak, katılımcılardan metni okuması istenmiştir. Aynı zamanda araştırmacı tarafından da sesli olarak okunmuştur. Daha sonra katılımcıların metinde yer alan evrendeki dört temel etkileşim hakkındaki bilgilerden yararlanarak EÇY-6'da yer alan tabloyu doldurmaları istenmiştir. Katılımcıların verdiği yanıtlara ait kategoriler Tablo 19'da verilmektedir.

Tablo 19

Etkileşimlerin Doğası Adlı Etkinlikte Katılımcıların Yanıtlarının Kategorilere Göre Dağılımı

Kategori	D	KD	Y	C
Frekans	23	-	-	-
Katılımcı	$F\ddot{O}_{1\ldots23}$	-	-	-

Tablo 19 incelendiğinde katılımcıların tamamının evrendeki temel etkileşimlerin özellikleri hakkında doğru yanıtlara ulaştığı görülmektedir. Katılımcıların cevaplarına ait bir örnek aşağıda yer almaktadır.



Şekil 21. Etkileşimlerin Doğası etkinliğinde FÖ9'un cevabı

Şekil 21'de olduğu gibi katılımcılar evrendeki temel etkileşimlerin özellikleri hakkında doğru yanıtlara ulaşmıştır. Etkileşimlerde aracı olan parçacıklar ve etkileşimlerin menzili hakkında doğru bilgileri ortaya koyulmuştur.

Katılımcıların öğrendiği yeni bilgileri farklı durumlara uyarlayabilmelerini için III. aşamada, araştırmacı tarafından vücudumuzda hangi etkileşimlerin olabileceğinin sorusu ekrana yansıtılmıştır. Böylece katılımcılarla bir tartışma ortamının oluşturulması amaçlanmıştır. Katılımcıların yanıtlarını öncelikle bireysel olarak vermesi, sonrasında ise yanıtlarını diğer katılımcılarla tartışması istenmiştir. Katılımcılar yanıtlarını paylaştıktan sonra mikrofonu açarak söz almış ve görüşlerini açıklamıştır. Katılımcıların verdiği yanıtlar doğrudan alıntılarla aşağıda verilmektedir:

FÖ1: "4 temel kuvvet de gerekli."

FÖ2: "Bizim için hepsi gerekli."

FÖ3: "Elektromanyetik etkileşim moleküllerden dolayı gerekli, vücudumuzun büyük bölümü de su. Atomların yapısı içinde güçlü nükleer etkileşim ve zayıf nükleer etkileşim de gerekiyor."

FÖ4: "Dört temel kuvvetin hepsi de gerekli."

FÖ6: "Güçlü nükleer kuvvet ve elektromanyetik kuvvet."

FÖ7: "Bizim için hepsi gerekli."

FÖ8: "FÖ3'e katılıyorum."

FÖ10: “Temel kuvvetlerin tümünden oluşuruz sanırım.”

FÖ11: “Dört temel kuvvetin tamamı.”

FÖ12: “Elektromanyetik etkileşim, güçlü nükleer etkileşim bizi bir arada tutar. Zayıf nükleer etkileşim de mevcut da olabilir.”

F13: “Kütle çekimsel, elektromanyetik, güçlü nükleer etkileşim etkilidir çünkü insanlar da atomlardan oluşur. Atomların bir arada dağılmadan kalması sağlanır.”

FÖ14: “Atomlardan oluşuyoruz. Bundan dolayı elektromanyetik ve güçlü nükleer kuvvet.”

FÖ15: “Atom ve moleküllerden oluşuyoruz. Elektromanyetik kuvvet ve güçlü nükleer kuvvet.”

FÖ16: “Gravitasyon, elektromanyetik, güçlü nükleer.”

FÖ17: “Güçlü nükleer ve elektromanyetik etkileşim.”

FÖ18: “Hepsi mevcut.”

FÖ14: “Kütle çekim kuvveti de var hem de her yerinde gibi geldi bana da.”

FÖ16: “Vücudumuzda potasyum varsa zayıf nükleer de olmalı diye düşünüyorum.”

FÖ13: “Dünya bizi bizde dünyayı çektiğimiz göre vücudumuz kütle çekim uygulamıyor mu?”

FÖ17: “Tüm temel kuvvetler sanırım.”

FÖ11: “Zayıf çekirdek ekledim☺″

FÖ19: “Zayıf çekirdek kuvvet var mı bilemedim ama ben 4’ü diye düşünüyorum.”

FÖ21: “4 kuvvette etkili diye düşünüyorum.”

FÖ20: “FÖ12 gibi düşünmüştüm.”

FÖ22: “Kütle çekimi, elektromanyetik, güçlü nükleer.”

FÖ23: “Dört temel kuvvetin hepsi.”

Katılımcıların vücudumuzda hangi etkileşimlerin olabileceğine dair olan tartışmada oldukça farklı yanıtlar ortaya çıkmıştır. Katılımcılar evrendeki dört temel etkileşime vücudumuzdan örnek vermeyi hiç düşünmediklerini belirtmiştir. FÖ1, FÖ2, FÖ4, FÖ7, FÖ10, FÖ11, FÖ17, FÖ18, FÖ19, FÖ20, FÖ21 ve FÖ23 etkileşimlerin tamamının vücudumuzda etkili olduğunu belirtmiştir. FÖ3 ve FÖ12 elektromanyetik, güçlü nükleer ve zayıf nükleer etkileşimin olabileceğini belirtmiştir. FÖ15 ve FÖ17 ise yalnızca güçlü nükleer ve elektromanyetik etkileşim olduğunu belirtmiştir. FÖ13, FÖ16 ve FÖ22 ise elektromanyetik, güçlü nükleer ve kütleçekimsel etkileşim olduğunu belirtmiştir. Yapılan tartışmada katılımcılardan bazılarının görüşlerini değiştirdiği görülmektedir. Önceden belirttiği görüşlerine FÖ14 kütle çekimini, FÖ11 ile FÖ16 ise zayıf nükleer etkileşimi eklediğini belirtmiştir. FÖ13 ise diğer katılımcıların açıklamalarına kütle çekimine dair bir soru sormuştur. Araştırmacı katılımcılara sorulan açık uçlu sorunun tek bir doğru cevabı olmadığını ancak en etkili güçlü nükleer ve elektromanyetik etkileşim olduğu hakkında açıklama yapılmıştır. Sorunun tam doğru yanıtının olmadığı soru için yapılan tartışmada elektromanyetik ve güçlü nükleer etkileşim üzerinde odaklanılmıştır. Bunun üzerine araştırmacı tarafından açıklama yapılarak etkinlik tamamlamıştır.

Etkinliğin uygulanmasına dair araştırmacı notları:

- Tahmin edilen sürede (20 dk) etkinlik tamamlanmıştır.
- Katılımcılar hücreden kuarka kadar olan kavramlar hakkında ön bilgileri bulunmaktadır.

Etkileşimlerin Süreci'ne ait Etkinlik Çalışma Yapraklarının İncelenmesine İlişkin Bulgular

Hem AL hem de FL öğretim programında yer alan 'Abdus Salam, Sheldon Lee Glashow ve Steven Weinberg'in Nobel ödülünü elektromanyetik ve zayıf kuvvetin birleşik bir kuvvet görünümünde olduğunu keşfetmeleri üzerine aldıkları vurgulanır' kazanımına yönelik hazırlanan Etkileşimlerin Süreci Etkinliği üç aşamadan oluşmaktadır. İlk aşamada katılımcıların elektrozayıf etkileşim hakkındaki ön bilgileri öğrenilmek amaçlamıştır. İkinci aşama ise kazanımın kazandırılmasına yönelik temel etkileşimler sürecindeki kavramların, verilen şekil yardımıyla tahmin edilmesi üzerinedir. Üçüncü aşamada ise öğrenilen yeni kavramların farklı durumlarda kullanılması amaçlanmıştır.

Zoom aracılığıyla başlatılan oturumda I. aşamada katılımcılar için EÇY-7 ekrana yansıtılmıştır. Katılımcıların ön bilgilerini tespit etmek için elektrozayıf etkileşim hakkında bildiklerini yazmaları istenmiştir. Bireysel olarak yazılan yanıtların Whatsapp grubunda paylaşılması istenmiştir. Katılımcıların verdikleri yanıtlar doğrudan altıntılarla aşağıdaki gibidir:

FÖ1: "İki veya dört temel etkileşimin birleşimidir."

FÖ2: "Zayıf nükleer etkilesimle ilgili olabilir."

FÖ3: "Büyük patlamada 3. oluşan etkileşimdi galiba orayı tam hatırlayamadım."

FÖ4, FÖ5, FÖ6: "Elektromanyetik ile zayıf etkileşimi birleştiren etkileşimdir."

FÖ5: "Elektrozayıf etkileşim, atomun kararsızlığını belirlediğini hatırlıyorum."

FÖ7: "Nükleer bozunmalarda etkilidir. Taşıyıcı parçacığı W ve Z bozonlarıdır."

FÖ8: "Radyoaktif bozunumdan sorumludur."

FÖ15: "Fikrim var ama ifade edecek kadar bilgim yok :)″

FÖ17: "Elektronlar ile protonlar arasındaki etkileşimdir."

FÖ18: "Fikrim var ama emin değilim."

FÖ20: "Çekirdekteki kararsızlığı meydana getiren kuvvettir. Bozunma işlemlerinde kısa menzilli bir kuvvettir."

FÖ21: "Radyoaktif bozunmalarda etkili kuvvet."

FÖ22: "Standart modele göre bu iki kuvveti aynı temelli kabul ediyor. Doğadaki dört temel kuvveti 3 indirgiyor."

FÖ23: "Elektromanyetik kuvvet ile zayıf nükleer kuvvetin bileşimi olabilir diye bir tahmin."

Katılımcıların açıklamaları incelendiğinde FÖ1, FÖ15, FÖ17 ve FÖ18'in doğru açıklamalar yapmadığı görülmektedir. Katılımcılardan 11'nin ise elektrozayıf etkileşimin ne olduğu hakkında doğru ön bilgilerinin olduğu söylenebilir. Katılımcılarının yanıtlarının doğru olup olmaması hakkında bu aşamada herhangi bir açıklama yapılmamıştır.

EÇY-7'de yer alan elektrozayıf etkileşim hakkındaki metin ekrana yansıtılarak katılımcıların okuması istenmiştir. Aynı zamanda araştırmacı tarafından da sesli olarak okunmuştur. II. aşama için evrendeki dört temel etkileşimin süreci hakkında verilen 12 kavramın, zaman şeridinde numaralandırılan boşluklarla eşleştirilmesi istenmiştir. Katılımcıların bireysel olarak verdikleri yanıtların ekran alıntısını alarak Whatssapp grubunda paylaşması istenmiştir. Katılımcıların yanıtlarına ait kategoriler Tablo 20'de verilmektedir.

Tablo 20

Katılımcıların Evrendeki Dört Temel Etkileşim Sürecine Verdikleri Yanıtların Kategorilere Göre Dağılımı

Kavram	Kategori	Frekans	Katılımcı	Katılımcının Yanıtı
1	D	18	$F\ddot{O}_{2,5,8,9,10\ldots23}$	Manyetizma
	C	5	$F\ddot{O}_{1,3,4,6,7}$	-
2	D	18	$F\ddot{O}_{2,5,8,9,10\ldots23}$	Elektrik
	C	5	$F\ddot{O}_{1,3,4,6,7}$	-
3	D	18	$F\ddot{O}_{2,5,8,9,10\ldots23}$	Elektromanyetizma
	C	5	$F\ddot{O}_{1,3,4,6,7}$	-
4	D	5	$F\ddot{O}_{2,19,21\ldots23}$	Kuantum elektrodinamiği
	Y	5	$F\ddot{O}_{5,8,14,17,20}$	Elektrozayıf etkileşim
		6	$F\ddot{O}_{9,11\ldots13,15,16}$	Zayıf nükleer etkileşim
	C	5	$F\ddot{O}_{1,3,4,6,7,10,18}$	-
5	D	10	$F\ddot{O}_{9,10\ldots13,16,19,20,22,23}$	Elektrozayıf kuram
	Y	3	$F\ddot{O}_{2,14,21}$	Kuantum renk dinamiği
		1	$F\ddot{O}_{5}$	Standart Model
		1	$F\ddot{O}_{15}$	Güçlü nükleer etkileşim
		1	$F\ddot{O}_{8,17}$	Kuantum elektrodinamiği
	C	4	$F\ddot{O}_{1,3,4,6,7,18}$	-
6	D	10	$F\ddot{O}_{2,8,10,16,17,19\ldots23}$	Zayıf nükleer etkileşim

	Y	3	$F\ddot{O}_{11,12,14}$	Güçlü nükleer etkileşim
	Y	1	$F\ddot{O}_{15}$	Kuantum elektrodinamiği
	Y	1	$F\ddot{O}_{13}$	Standart model
	C	8	$F\ddot{O}_{1,3\ldots7,9,18}$	-
7	D	11	$F\ddot{O}_{2,5,8,9,10,13,17,19,21\ldots23}$	Güçlü nükleer etkileşim
	Y	4	$F\ddot{O}_{11,12,15,20}$	Kuantum renk dinamiği
		1	$F\ddot{O}_{16}$	Kuantum elektrodinamiği
		1	$F\ddot{O}_{18}$	Elektrozayıf etkileşim
		1	$F\ddot{O}_{14}$	Evrensel kütle çekimi
	C	5	$F\ddot{O}_{1,3\ldots7}$	-
8	D	8	$F\ddot{O}_{5,8,9,12,16\ldots19}$	Kuantum renk dinamiği
	Y	4	$F\ddot{O}_{2,21\ldots23}$	Standart model
		1	$F\ddot{O}_{13}$	Kuantum elektrodinamiği
		1	$F\ddot{O}_{20}$	Güçlü nükleer kuvvet
		1	$F\ddot{O}_{10}$	Elektrozayıf kuram
	C	8	$F\ddot{O}_{1,3,4,6,7,11,14,15}$	-
9	D	8	$F\ddot{O}_{5,8,11,14\ldots18}$	Standart model
	Y	1	$F\ddot{O}_{2}$	Elektrozayıf etkileşim
		5	$F\ddot{O}_{10,13,21\ldots23}$	Kuantum renk dinamiği
		4	$F\ddot{O}_{9,12,19,20}$	Kuantum elektrodinamiği
	C	5	$F\ddot{O}_{1,3,4,6,7}$	-
10	D	17	$F\ddot{O}_{2,5,8,9,11\ldots23}$	Kütle çekim (gökyüzü ile ilgili)
	Y	1	$F\ddot{O}_{10}$	Evrensel kütle çekimi
	C	5	$F\ddot{O}_{1,3,4,6,7}$	-
11	D	18	$F\ddot{O}_{2,4,5,8,10\ldots23}$	Kütle çekim (yeryüzü ile ilgili)
	C	5	$F\ddot{O}_{1,3,4,6,7}$	-
12	D	17	$F\ddot{O}_{2,4,5,8,11\ldots20}$	Evrensel kütle çekimi
	Y	1	$F\ddot{O}_{10}$	Kütle çekim (gökyüzü ile ilgili)
	C	5	$F\ddot{O}_{1,3,4,6,7}$	-

Tablo 20 incelendiğinde birinci ikinci ve üçüncü kavram olan manyetizma, elektrik ve elektromanyetizma kavramını 18 katılımcının doğru tahmin ettiği görülmektedir. Katılımcıların doğru cevap frekansının yüksek olduğu diğer kavramlar ise kütle çekimi (yeryüzü ve gökyüzü ile ilgili) ve evrensel kütle çekimidir.

Katılımcıların verdiği cevaplar incelendiğinde birinci kavram olan manyetizma, ikinci kavram olan elektrik ve üçüncü kavram olan elektromanyetizma için 18 katılımcının doğru cevap verdiği görülmektedir. Katılımcıların doğru cevap frekansının yüksek olduğu diğer kavramlar ise kütle çekimi ve evrensel kütleçekimidir. Elektromanyetizma ile güçlü nükleer etkileşimin birleşimi olan kuantum elektrodinamiği kavramını 5 katılımcı doğru olarak şerit üzerine yerleştirmiştir. Güçlü nükleer kuvvetle kuantum elektrodinamiği zamanla elektrozayıf kuramını meydana getirdiği hakkında 10 katılımcı doğru cevap vermiştir. Zayıf nükleer etkileşimin zamanla kuantum renk dinamiğine ilerleyen süreç hakkında 8 katılımcı doğru cevap vermiştir. Elektrozayıf kuramla kuantum renk dinamiğinin birleşiminden doğan Standart Model hakkında 8 katılımcı doğru cevap vermiştir. Tüm kavramlar hakkında doğru tahminde bulunan FÖ8, FÖ9 ve FÖ19 olmuştur.

Katılımcılar arasında tartışma ortamının oluşması için yanıtlarını paylaşmak isteyenlere söz verilmiştir. Katılımcılar yanıtlarını açıklarken diğer katılımcılar da kendi görüşlerini paylaşmıştır. Araştırmacı tarafından da katılımcıların tartışmaları yönlendirilerek, doğru yanıtlara ulaşılmıştır.

Öğrenilen yeni bilgilerin farklı durumlara uyarlayabilmeleri amacıyla III. aşamada, katılımcılara zaman şeridi üzerinde soru işareti bulunan kısımlara hangi kavramların gelmesi gerektiği sorulmuştur. Katılımcılardan elektromanyetizma, güçlü nükleer kuvvet ve zayıf nükleer kuvvetin birleşimiyle oluşan kuramla; buna kütleçekimsel etkileşimin eklenmesi ile ortaya atılan diğer bir kuramın ismi öğrenilmek istenmiştir. Katılımcılardan bu kuramların adlarının ne olabileceği hakkında herhangi bir görüş ortaya çıkmaması nedeniyle, Büyük Birleşme Kuramı ve Herşeyin Teorisi hakkında araştırmacı tarafından kısa bir açıklama yapılmıştır. Yapılan açıklama sonrasında katılımcılardan bazıları bu kavramları hiç duymadıklarını belirtmiştir. Katılımcıların yanıtları doğrudan alıntılarla aşağıda verilmektedir. Diğer katılımcılar ise tahminlerini belirtmiştir.

> FÖ1: "Bu etkinlikte çoğu kavramı bilmiyorum. Özellikle son dediklerinizi duymadım."
>
> FÖ3: "Ben Higgs'ten bahsettiğinizi düşündüm. Higgs alanı diyecektim ama bir bilgim olmadığı için söylemek istemedim."
>
> FÖ7: "Hiçbirşey aklıma gelmedi ve bu kuramları da hiç duymadım."
>
> FÖ14: "Mikro ve makro kuvvetler birleşerek evrendeki kuvvetleri oluşturur."
>
> FÖ15: "Süper simetri."
>
> FÖ18: "Tüm kuvvetlerin birleşimi ve evren."
>
> FÖ19: "Big Bang."
>
> FÖ20: "Herşeyin başlangıcı."

Katılımcılarla istenen tartışma ortamının oluşturulamaması nedeniyle araştırmacının Büyük Birleşme Kuramı ve Herşeyin Teorisi hakkında yaptığı açıklamayla etkinlik sonlandırılmıştır.

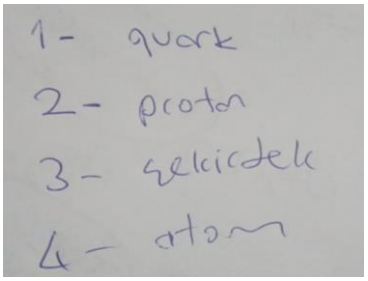
Etkinliğin uygulanmasına dair araştırmacı notları:

- Tahmin edilen sürede (20 dk) tamamlanmıştır.
- Katılımcıların yarısı elektrozayıf etkileşim hakkında ön bilgiye sahiptir.
- Katılımcılar Kuantum Elektrodinamiği, Büyük Birleşme Kuramı ve Herşeyin Teorisi kavramlarını hiç duymadıkları ve bu kavramlar hakkında bilgilerinin olmadığını belirtmiştir.

Atom Altı Parçacıklardan Maddeye ait Etkinlik Çalışma Yapraklarının İncelenmesine İlişkin Bulgular

Hem AL hem de FL öğretim programında yer alan 'Atom altı parçacıklardan başlayarak madde oluşumunun modelle açıklanması sağlanır' kazanımına yönelik hazırlanan Atom Altı Parçacıklardan Maddeye Etkinliği üç aşamadan oluşmaktadır. İlk aşamada temel parçacıktan bir su molekülüne doğru hangi kavramların olduğuna dair ön bilgilerin tespit edilmesi amaçlanmıştır. İkinci aşamada temel parçacıktan bir su molekülünün inşa edilmesi için gerekli temel parçacık sayısının hesaplanması amaçlanmıştır. Üçüncü aşamada ise yeni öğrenilen kavramlardan yola çıkılarak temel parçacık kavramının zamanla değişiminin tartışılması amaçlanmıştır.

Zoom aracılığıyla başlatılan oturumda, katılımcılar için EÇY-8 ekrana yansıtılmıştır. I. aşamada temel parçacıklardan bir su molekülünün oluşumu için en temelden maddeye doğru olan kavramlar hakkında katımımcıların ön bilgileri tespit edilmek istenmiştir. Bu amaçla katılımcılardan EÇY-8'de yer alan şekil üzerinde numaralandırılmış yerlere gelen kavramların yazılması istenmiştir. Bireysel olarak yazılan yanıtların Whatsapp grubunda paylaşılması istenmiştir. Katılımcıların cevaplarına ait bir örnek aşağıda yer almaktadır.



Şekil 22. Atom Altı Parçacıklardan Maddeye etkinliğinde FÖ1'in ön bilgileri

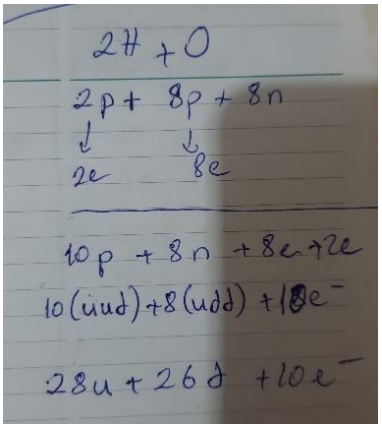
Şekil 22'de olduğu gibi katılımcıların tamamı kavramları doğru olarak tahmin etmiştir. Buna göre katılımcıların tamamının kuark, çekirdek, atom ve molekül hakkında ön bilgilerinin olduğu tespit edilmiştir. Temel parçacıktan su molekülünün inşaası çalışmasını içeren II. aşamada; katılımcılardan temel parçacık sayısının hesaplanması için EÇY-8'de yer alan metni incelemeleri istenir. Temel parçacıkların lego parçalarına benzetilerek, bir su molekülün inşa edilmesi için kaç adet lego parçasına ihtiyaç duyulduğunun bireysel olarak hesaplanması istenmiştir. Bireysel olarak yazılan yanıtların Whatsapp grubunda paylaşmaları istenmiştir. Katılımcıların yanıtlarına ait kategoriler Tablo 21'de verilmektedir.

Tablo 21

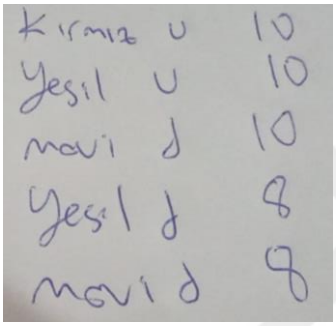
Katılımcıların Su Molekülü İnşa Çalışmasına Verdikleri Yanıtların Kategorilere Göre Dağılımı

Kategori	D	KD	Y	C
Katılımcı	4	-	9	10
Frekans	$F\ddot{O}_{2,3,8,12}$	-	$F\ddot{O}_{5,7,9,13\ldots17,20}$	$F\ddot{O}_{1,4,6,10,11,18,19,21\ldots23}$

Tablo 21 incelendiğinde FÖ2, FÖ3, FÖ8 ve FÖ12'nin doğru cevap verdiği görülmektedir. Katılımcılardan 9 kişi ise yanlış cevap vermiştir. Katılımcılardan 10 kişinin ise çalışmaya katılmayarak cevap vermemiştir. Katılımcıların verdiği cevaplara ait örnekler aşağıda yer almaktadır.



Şekil 23. Atom Altı Parçacıklardan Maddeye etkinliğinde FÖ2'nin cevabı



Şekil 24. Atom Altı Parçacıklardan Maddeye etkinliğinde FÖ7'nin cevabı

Şekil 23'de FÖ2'nin yanıtında olduğu gibi 28 adet u, 26 adet d kuarkı ve 10 elektron sayısının olduğu açıklamalar doğru cevap olarak kabul edilmiştir. Şekil 24'te FÖ7'nin yanıtında olduğu gibi elektron sayısını eklemeyen katılımcıların açıklamaları yanlış cevap olarak kabul edilmiştir. Aynı zamanda katılımcıların hidrojende nötron olduğunu düşünerek yapılan açıklamalar da yanlış cevap olarak kabul edilmiştir.

Katılımcılar arasında tartışma ortamının oluşması için yanıtlarını paylaşmaları istenmiştir. Katılımcılar yanıtlarını açıklarken diğer katılımcılar da kendi görüşlerini paylaşmıştır. Katılımcılardan soruya yanlış cevap verenlerin hidrojende nötronun olmadığını bilmediği belirtmiştir. Katılımcıların yanıtları doğrudan alıntılarla aşağıda verilmektedir.

> FÖ5: "Hidrojende nötron olmadığını bilmiyordum."
>
> FÖ7: "Tüm elementlerin çekirdeğinde proton ve nötron vardır. Neden hidrojende nötron yok ki?"
>
> FÖ9: "Tüm hesaplamalarım hidrojenin nötronu olması üzerine olduğundan yanlış olmuş… Ama bu bilgiyle ben hiç karşılaşmadım. Bilmiyordum."
>
> FÖ14: "Hidrojende nötron olmadığını bilmiyordum."
>
> FÖ15: "Ben H 1 1 yazmama rağmen nötronu da hesaba katmışım, unuttum hocam, biliyordum nötron olmadığını."
>
> FÖ16: "Tüm elementlerin çekirdeğinde proton ve nötron vardır. Neden hidrojende nötron yok ki?"

FÖ18: “Tüm hesaplamalarım hidrojenin nötronu olması üzerine olduğundan yanlış olmuş… Ama bu bilgiyle ben hiç karşılaşmadım. Bilmiyordum.”

Katılımcılara hidrojenin izotopları olan döteryum ve trityumda nötronun olduğu ancak hidrojende ise nötronun olmadığı açıklanmıştır. Örneğin hızlandırıcılarda protonun kullanıldığını belirten bilim insanlarının aslında bir elektronunu kaybeden hidrojen iyonunun kastettiği açıklanmıştır.

III. aşamada temel parçacık kavramının zamanla değişiminin tartışılması amacıyla katılımcılara temel parçacık olan kuark kavramının zamanla değişebilirliği ya da varsa bu kavramlar hakkındaki tahminlerini belirtmeleri istenmiştir. Katılımcılar söz alarak görüşlerini paylaşmıştır. Katılımcıların yanıtları doğrudan alıntılarla aşağıda verilmektedir.

FÖ2: “Değişebilir, quarkların da iç yapısı olabilir sanki.”

FÖ5: “Quarklar ve elektronlar şimdilik temel parçacık değişebilir.”

FÖ8: “Hızlandırıcı ve algıç teknolojisi ilerledikçe muhtemelen daha alt parçacıklara ulaşacağız.”

FÖ9: “Başka temel etkileşim de tanımlamak gerekirdi bunun için.”

FÖ16: “Eğer kuarkları oluşturan parçacıklar varsa ve bulunursa bu kavram değişebilir.”

FÖ10: “Bence de olabilir ama keşfedilebilir.”

FÖ17: “Ben aynen devam derim kuarkla.”

FÖ23: “Bilmiyorum.”

FÖ13: “Belki antikuark olabilir.”

FÖ12: “İleride neden olmasın, belki ona da dalga diyeceğiz.”

FÖ21: “Değiştiğini düşünmüyorum. Enerjinin kütle kazanmasını açıklayabildiğimize göre bence en küçük parçacık kuark.”

Katılımcılardan FÖ2, FÖ5, FÖ8, FÖ9, FÖ10, FÖ12 ve FÖ16’nın kuarkların daha alt yapısının olabileceğini belirtmiştir. Ancak bu kavram hakkında herhangi bir tahminlerinin olmadığı görülmektedir. FÖ1, FÖ3, FÖ4, FÖ6 ve FÖ7’nin ise herhangi bir görüş bildirmediği görülmektedir. FÖ17 ve FÖ21 ise kuark kavramının değişmeyeceğini belirtmiştir. FÖ13 ise antikuark diyerek yanlış bir tahmin yürüttüğü görülmektedir. Katılımcılara araştırmacı tarafından kuark kavramının da değişebileceğinden ve Sicim Kuramı’ndan bahsedilmiştir. Katılımcılar Sicim Kuramı’nı hiç duymadığını belirtmiştir. Bu kurama göre kuark ve elektronlar sicim denilen ipliklerden oluştuğunun öne sürüldüğü hakkında araştırmacı tarafından açıklama yapılarak etkinlik tamamlanmıştır.

Etkinliğin uygulanmasına dair araştırmacı notları:

- Etkinlik tahmin edilen süreden (30 dakika) daha kısa sürede (20 dakika) tamamlanmıştır.

- Katılımcılar kuark, çekirdek, atom ve molekül kavramları hakkında ön bilgileri bulunmaktadır.
- Katılımcılardan bazıları hidrojende nötron olmadığını bilmemektedir.
- Etkinlikte yapılan çalışmada katılımcılardan yarısından daha azının başarılı olduğu,
- Katılımcılardan 7'si kuark kavramının değişebileceğini düşünmektedir.
- Katılımcılar sicim kuramının ne olduğu hakkında görüş belirtmemiştir.

Higgs Bozonu'na ait Etkinlik Çalışma Yapraklarının İncelenmesine İlişkin Bulgular

Hem AL hem de FL öğretim programında yer alan 'Higgs bozonuna kısaca değinilir' kazanımına yönelik hazırlanan Higgs Bozonu Etkinliği üç aşama içermektedir. I. aşamada katılımcıların Higgs bozonuna dair ön bilgilerinin tespit edilmesi istenmiştir. II. aşamada Higgs'in ünlü analojisindeki öğelerin tahmin edilmesi amaçlanmıştır. III. aşamada ise edinilen yeni bilgilerin kullanılması için katılımcılardan Higgs hakkında orijinal bir analoji oluşturması istenmiştir.

Zoom aracılığıyla başlatılan oturumda, katılımcılar için EÇY-9 ekrana yansıtılmıştır. Katılımcıların ön bilgilerini tespit etmek için öncelikle I. aşamada Higgs bozonu hakkında bildiklerini kısaca belirtmesi istenmiştir. Bireysel olarak yazılan yanıtların Whatsapp grubunda paylaşmaları istenmiştir. Katılımcıların yanıtları doğrudan alıntılarla aşağıda verilmektedir.

FÖ1: "Maddenin bir kütleye sahip olmasını sağlayan parçacık."

FÖ2: "Parçacıklara kütle kazandırdığı düşünülen bozon."

FÖ3: "Maddeye kütle kazandıran parçacık."

FÖ5: "Tanrı parçacığı."

FÖ6: "Maddeye kütlesini veren en küçük parçacık."

FÖ8: "Hangi parçacıkları kütleye sahip olacağını belirleyen parçacıktır."

FÖ9: "Maddeye kütlesini kazandıran parçacık, Nobel ödüllü."

FÖ12: "Maddeye kütlesini kazandıran Higgs alan parçacığıdır. Bu alanla etkileşime giren parçacıkların kütlesi vardır. Etkileşime girmiyorsa o parçacığın kütlesi olmaz. Örneğin foton."

FÖ13: "Higgs bozonu Tanrı parçacığı olarak da bilinir. Maddenin kütleye nasıl sahip olduğunu açıklamaya çalışır. Yakın zamanda keşfedildi."

FÖ14: "Büyük patlamadan hemen sonra olan bir alan. Parçacıklara kütle kazandıran enerji Higgs alanı. Bu alanın etkileşim parçacığına Higgs bozonu denir."

FÖ15: "Tanrı parçacığı dendiğini duydum. Atomun en küçük parçası diye biliyorum."

FÖ16: "Higgs alanı içinde maddeye kütle kazandırabilen parçacık."

FÖ17: “Higgs alanında maddeye kütle kazandıran parçacık.”

FÖ19: “Higgs alanına girdiğinde bu alanla etkileşen parçacıklara kütle kazandıran parçacık.”

FÖ20: “Proton ve nötronların çarpışması sırasında nötronun protona dönüşümü sırasında oluşan parçacık.”

FÖ21: “En son bulunan bozon. Bilim adamına Nobel ödülü getiriyor.”

FÖ23: “Atom altı parçacık.”

Katılımcılardan FÖ4, FÖ10, FÖ11, FÖ18 ve FÖ21’in herhangi bir açıklama yapmadığı görülmektedir. FÖ14’ün tam anlamıyla doğru bir açıklama yaptığı görülmektedir. Katılımcılardan sadece FÖ5, FÖ12, FÖ14, FÖ21 ve FÖ23’ün doğru açıklamalarda bulunduğu görülmektedir. Buna göre 5 katılımcının Higgs bozonu hakkında ön bilgilerinin olduğu söylenebilir. FÖ5, FÖ13 ve FÖ15 medyada Higgs bozonunun “Tanrı parçacığı” olarak adlandırılmasından söz etmiştir. Diğer katılımcıların açıklamaları incelendiğinde ise Higgs bozonu hakkında kavram yanılgısına sahip oldukları görülmektedir. Maddeye kütle kazandıran mekanizmanın Higgs alanı değil; Higgs bozonu olduğunu düşündükleri görülmektedir. Katılımcıların yanıtlarının doğru olup olmaması hakkında bu aşamada herhangi bir açıklamada bulunulmamıştır.

EÇY-9’da yer alan Higgs bozonu hakkındaki metin ekrana yansıtılarak katılımcılar tarafından incelenmesi istenmiştir. Aynı zamanda araştırmacı tarafından da sesli olarak okunmuştur. II. aşamada Higgs alanı ve bozonunun anlaşılması için ödüllü bir analojiden yararlanılmıştır. Bu ünlü analojide iki olaya ait EÇY-9’daki çizimlerin katılımcılar tarafından incelenemesi istenmiştir. Her olaya ait iki çizim yer almaktadır. Analoji-1’deki ilk çizimde kalabalık bir odaya giren Einstein, ikinci çizimde ise Einstein’in etrafını saran kalabalık görülmektedir. Analoji-2’deki ilk çizimde Einstein’ın geleceğini haber veren bir kişi, ikinci çizimde ise kalabalığın gruplaşarak bu haberi yayması yer almaktadır. Katılıcımların Higgs bozonuna ait metinden yola çıkarak, EÇY-9’da inceledikleri analoji-1 ve analoji-2’ye ait çizimlerde belirtilen öğelerin hangi kavramlar olabileceğini tahmin etmeleri istenmiştir. Katılımcılar tahminlerini bireysel olarak yaptıktan sonra yanıtlarını paylaşmaları istenmiştir. Katılımcıların analoji-1’e yönelik verdiği yanıtlara ait kategoriler Tablo 22’de verilmektedir.

Tablo 22

Katılımcıların Analoji-1'e Verdikleri Yanıtların Kategorilere Göre Dağılımı

Kategori	D	KD	Y	C
Frekans	6	6	5	6
Katılımcı	$F\ddot{O}_{1,5\ldots9}$	$F\ddot{O}_{2,10,13,14,19,23}$	$F\ddot{O}_{3,12,15\ldots17}$	$F\ddot{O}_{4,11,18,20\ldots22}$

Tablo 22 incelendiğinde analoji-1 hakkında 6 katılımcının doğru cevap verdiği görülmektedir. Bu duruma yönelik daha ayrıntılı yorum için katılımcıların verdiği yanıtlar incelenmelidir. Katılımcıların yanıtları doğrudan alıntılarla aşağıda verilmektedir.

FÖ1: "1- Hadronlar, 2- Higgs alanı."

FÖ2: "1- Higgs parçacığı, 2- Higgs alanı."

FÖ3: "1- Higgs bozonu, 2- Kütle kazandırdığı diğer parçacıklar."

FÖ5: ."1- Einstein temel parçacık, 2- Kalabalık Higgs bozonu alanı."

FÖ6: "1- Einstein parçacık, 2- Kalabalık higgs alanı."

FÖ7: "1- Einstein parçacık, 2- Kalabalık Higgs alanı."

FÖ8: "1- Einstein parçacık, 2- Kalabalık Higgs alanı."

FÖ9: "1- Einstein parçacık, 2- kalabalık Higgs alanı."

FÖ10: "Burada olayda Einstein sanki kütle kazanmış gibi."

FÖ12: "Einstein Higgs bozonu, Einstein'ın etrafındaki kalabalık ise Higgs bozonu ile etkileşime giren parçacıklar."

FÖ13: "Einstein Higgs bozonu, Kalabalık Higgs alanı. İkisi arasındaki etkileşim."

FÖ14:" Einstein etkileşime girecek olan tanecik, etrafını saran Higgs bozonu."

FÖ15: "Einstein Higgs bozonu, kalabalık parçacıklar."

FÖ16: "Einstein Higgs bozonu, kalabalık kütle."

FÖ17: "Einstein Higgs alanı, etrafındakiler parçacık."

FÖ19: "Einstein Higgs bozonu, Kalabalık Higgs alanı."

FÖ23: "Einstein Higgs bozonu kalabalık Higgs alanı."

Analoji-1'de Higgs alanıyla etkileşerek kütle kazanan temel parçacıklar anlatılmaktadır. FÖ1, FÖ5, FÖ6, FÖ7, FÖ8 ve FÖ9 odaya giren Einstein'ı parçacık, odadaki kalabalığa Higgs alanı açıklamasını yaparak doğru cevap verdiği görülmektedir. FÖ2 yalnızca Higgs alanını doğru tahmin ettiği için kısmen doğru cevap vermiştir. FÖ3 yanlış açıklamalarda bulunurken, FÖ4'ün ise cevap vermediği görülmektedir. Katılımcılardan FÖ10 Analoji-1'deki olayı, temel parçacığın Higgs alanıyla etkileşerek kütle kazanması olarak belirterek doğru açıklama yapmıştır. Ancak açıklamasında benzeyen ve benzetilen öğelere yer vermediği için açıklaması kısmen doğru cevap olarak belirlenmiştir. Katılımcılardan FÖ12,

FÖ13, FÖ15, FÖ16, FÖ19 ve FÖ23'ün Analoji-1'de kütle kazanan parçacığı temsil eden Einstein'ın, Higgs bozonunu temsil ettiğini belirterek yanlış cevap vermiştir. Katılımcılardan FÖ13, FÖ19 ve FÖ23'ün analoji-1'de parçacığa kütle kazandıran Higgs alanını temsil eden kalabalık için doğru cevap vermiştir. FÖ12, FÖ15 ve FÖ16'nın Einstein'ın etrafını saran kalabalık hakkında yanlış cevap verdiği görülmektedir. Katılımcılardan söz alarak yanıtlarını paylaşmaları istenmiştir. Yapılan tartışma ve araştırmacının yaptığı açıklamalar sonucunda doğru yanıtlara ulaşılmıştır.

Katılımcıların Analoji-2'ye yönelik verdiği yanıtlara ait kategoriler Tablo 23'te verilmektedir.

Tablo 23

Katılımcıların Analoji-2'ye Verdikleri Yanıtların Kategorilere Göre Dağılımı

Kategori	D	KD	Y	C
Frekans	7	1	2	13
Katılımcı	$F\ddot{O}_{12\ldots17,20}$	$F\ddot{O}_{7}$	$F\ddot{O}_{2,9}$	$F\ddot{O}_{1,3\ldots6,8,10,11,18,19,21\ldots23}$

Tablo 23 incelendiğinde analoji-2 hakkında 7 katılımcının doğru cevap verdiği görülmektedir. Kısmen doğru cevap veren bir katılımcının olduğu görülmektedir. Yanlış cevap veren ise 2 katılımcı olduğu görülmektedir. Cevap vermeyen ise 13 katılımcının olduğu görülmektedir. Bu duruma yönelik daha ayrıntılı yorum için katılımcıların verdiği yanıtlar incelenmelidir. Katılımcıların yanıtları doğrudan alıntılarla aşağıda verilmektedir.

FÖ2: "1- Higgs'in varlığının teorik olarak bulunması, 2- Deneysel ispatlanması"

FÖ7: "1- Kalabalık Higgs alanı"

FÖ9: "1- Higgs bozonu, 2- Higgs alanı"

FÖ12: "1- Higgs bozonu, 2- Higgs alanı."

FÖ13: "1- Higgs bozonu, 2- Higgs alanı."

FÖ14: "1- Higgs alanı, 2- Higgs bozonu."

FÖ15: "1- Higgs bozonu, 2- Higgs alanı."

FÖ16: "Kalabalık Higgs alanı."

FÖ17: "Toplananlar Higgs bozonu, kalabalık Higgs alanı."

FÖ20: "Higgs alanında Higgs bozonu oluşumu."

Analoji-2'de Higgs alanının Higgs bozonunu oluşturması anlatılmaktadır. FÖ7 yalnızca odadaki kalabalığın Higgs alanı olduğu hakkında doğru tahminde bulunduğu için kısmen

doğru cevap vermiştir. FÖ2 ve FÖ9 ise yanlış cevap vermiştir. Katılımcıların temel parçacıkların Higgs alanıyla etkileşerek kütle kazandığını anlatan analoji-1'i açıklayan 6 katılımcının Higgs alanında Higgs bozonunun oluşumunu anlatan analoji-2'yi açıklayan 7 katılımcıdan farklı kişiler görülmektedir. Katılımcılardan söz alarak yanıtlarını paylaşmaları istenmiştir. Yapılan tartışma ve araştırmacının yaptığı açıklamalar sonucunda doğru yanıtlara ulaşılmıştır.

III. aşamada katılımcılardan Higgs alanında parçacıkların kütle kazanması ya da Higgs alanında Higgs bozonunun oluşması hakkında orijinal bir analoji oluşturmaları istenmiştir. Ancak katılımcılar her iki olay hakkında da orijinal bir analojiyi ortaya koyamamıştır. Katılımcılardan bazıları orijinal bir analoji oluşturmak için daha fazla zamana ihtiyaçları olduğunu belirtmiştir. Bunun üzerine araştırmacı Higgs alanında temel bir parçacığın kütle kazanması olayını, karda yuvarlanarak kütlesi artan bir kartopunu analojisiyle örnek olarak sunmuştur. Bunun gibi birkaç analoji daha araştırmacı tarafından örnek verilerek etkinlik tamamlanmıştır.

Etkinliğin uygulanmasına dair araştırmacı notları:

- Etkinlik tahmin edilen süreden (30 dakika) daha kısa sürede (20 dakika) tamamlanmıştır.
- Katılımcılardan 5'inin Higgs bozonu hakkında ön bilgileri bulunmaktadır.
- Katılımcılardan bazıları Higgs bozonu hakkında yanlış görüşlere sahip olduğu tespit edilmiştir.

Madde ve Antimadde'ye ait Etkinlik Çalışma Yapraklarının İncelenmesine İlişkin Bulgular

Hem AL hem de FL öğretim programında yer alan 'Madde ve antimadde kavramlarını açıklar' kazanımına yönelik hazırlanan Madde ve Antimadde Etkinliği iki aşamadan oluşmaktadır. I. aşamada katılımcıların antimadde hakkında ön bilgilerini öğrenmek amaçlanmıştır. II. aşamada ise kabarcık odası hakkında bilgi verilerek, kabarcık odasındaki izler hakkındaki soruların cevaplanması istenmiştir.

Zoom aracılığıyla başlatılan oturumda, katılımcılar için EÇY-10 ekrana yansıtılmıştır. Katılımcılardan ön bilgilerini tespit etmek için öncelikle antiparçacık hakkında bildiklerini

kısaca belirtmesi istenmiştir. Bireysel olarak yazılan yanıtlarını, Whatsapp grubunda paylaşmaları istenmiştir. Katılımcıların yanıtları doğrudan alıntılarla aşağıda verilmektedir.

FÖ2: "Parçacığın yük olarak zıt işaretlisi, spin olarak ters yönlü olanı."

FÖ3: "Parçacıklar aynı kütleye sahip zıt yüklü parçacıklardır."

FÖ5: "Negatif yüklü e pozitif yüklü pozitron. Yük olarak dengeleyen parçacıklar."

FÖ6:" elektron + proton – yüklü."

FÖ7: "Madde ile aynı özellikteki fakat zıt yüklü elektron pozitron gibi."

FÖ8: "Her parçacığın bir antisi vardır. Elektriksel olarak zıt yüklüdür nötr olan parçacıkları antisinden ayırmak için oluşumuna bakmak gerekir."

FÖ9: "Maddenin yük olarak zıddı. Madde ve anti madde bir araya geldiklerinde enerji oluşur."

FÖ10: "Madde bildiğimiz en küçük parçacıkları antimadde antiparçacıklar. Hepsinin zıt işaretlisi."

FÖ11: "Parçacığın yük olarak zıt işaretlisi, spin olarak ters yönlü olanı."

FÖ12: "Kütlesi ve spini madde/parçacık ile aynı olan ancak yük işareti zıt olan parçacıktır. Evrenin ilk oluşumunda parçacık anti parçacık sayısı eşit olmadığı için bugünkü maddesel ortam var. Sayıları eşit olsaydı tüm evren fotondan, ışımadan var olurdu."

FÖ13: "Evrendeki her maddenin(parçacığın) bir karşıt parçacığı bulunmaktadır. Madde, antimaddeyle karşılaşırsa birbirini yok eder."

FÖ14: "Herşeyleri aynı yükleri ters olan madde."

FÖ15: "Parçacıkların zıt özelliklerine sahip parçacıklardır. Antimadde ve madde karşılaştığında enerji açığa çıkar."

FÖ16: "Tüm parçacıkların antiparçacığı vardır. Elektronun antiparçacığı pozitrondur."

FÖ17: "Madde ile birleşince foton oluşturan parçacıktır antimaddde. Önce pozitron adı verilmiş sonra isim verme yerine anti denmiş."

FÖ19: "Paul Dirac ve Carl Anderson sis odası ile bularak Nobel aldığı konu. Yükleri zıt, kütleleri aynı spinleri aynı ancak yönleri ters."

FÖ23: "Özellikleri aynı olan fakat yükü birbirinin zıddı olan maddeler."

FÖ21: "FÖ23'e katılıyorum."

FÖ20: "Bende FÖ23'e katılıyorum."

Katılımcıların verdiği cevaplar incelendiğinde FÖ2, FÖ3, FÖ5, FÖ7, FÖ8, FÖ9, FÖ12, FÖ13, FÖ14, FÖ15, FÖ16, FÖ17, FÖ19, FÖ20, FÖ21 ve FÖ23'ün antiparçacık hakkında ön bilgilerinin olduğu görülmektedir. FÖ1, FÖ4, FÖ11, FÖ18, FÖ22 hiçbir görüşte bulunmadığı için ön bilgilerinin olmadığı görülmektedir. Buna göre katılımcıların yarısından fazlasının antiparçacığın özellikleri hakkında ön bilgilerinin olduğu söylenebilir. Katılımcılarının yanıtlarının doğru olup olmaması hakkında bu aşamada herhangi bir açıklamada bulunulmamıştır.

II. aşamada katılımcılardan EÇY-10'da kabarcık odası hakkındaki metni incelemeleri istenmiştir. Aynı zamanda araştırmacı tarafından da sesli olarak okunmuştur. Katılımcılardan EÇY-10'da yer alan izler hakkındaki beş soruyu bireysel olarak

cevaplamaları istenmiştir. Katılımcıların bireysel olarak verdikleri yanıtlarının ekran alıntısını alarak Whatssapp grubunda paylaşılması istenmiştir. Katılımcıların yanıtlarına ait kategoriler Tablo 24'te verilmektedir.

Tablo 24

Katılımcıların Kabarcık Odasındaki İzler Hakkındaki Sorulara Verdikleri Yanıtların Kategorilere Göre Dağılımı

Soru		Kategori			
		D	KD	Y	C
1	Frekans	9	-	5	9
	Katılımcı	$F\ddot{O}_{10,12\ldots15,19\ldots21,23}$	-	$F\ddot{O}_{7\ldots9,14,16,17}$	$F\ddot{O}_{1\ldots6,11,18,22}$
2	Frekans	22	-	-	1
	Katılımcı	$F\ddot{O}_{1\ldots3,5\ldots23}$	-	-	$F\ddot{O}_{4}$
3	Frekans	3	14	2	4
	Katılımcı	$F\ddot{O}_{7,17,23}$	$F\ddot{O}_{1,3\ldots5,6,8\ldots10,12,14,16,19\ldots21}$	$F\ddot{O}_{13,15}$	$F\ddot{O}_{4,11,18,22}$
4	Frekans	3	1	2	17
	Katılımcı	$F\ddot{O}_{7,17,23}$	$F\ddot{O}_{21}$	$F\ddot{O}_{3,19}$	$F\ddot{O}_{1,2,4\ldots6,8\ldots16,18,20,22}$
5	Frekans	1	-	-	22
	Katılımcı	$F\ddot{O}_{17}$	-	-	FÖ1…FÖ16, FÖ18…FÖ23

Tablo 24 incelendiğinde kabarcık odasındaki düz çizgilerin nedeni hakkındaki 1. soruya 9 katılımcı doğru cevap vermiştir. Bu izlerin kabarcık odasına dışardan giren parçacıklara ait olduğu hakkında katılımcıların büyük çoğunluğu doğru tahmin yürütmüştür. FÖ7, FÖ8 ve FÖ9 ise bu izlerin nedeninin müon olabileceğinden bahsederek yanlış cevap vermiştir. Bu nedenle katılımcıların kabarcık odasına ait şekli daha iyi anlamaları için; kabarcık odasına gönderilen demetin yönü ve manyetik alanın yönü hakkında araştırmacı tarafından tekrar bir açıklama yapılmasına gerek duyulmuştur. Parçacıkların bıraktığı izlerin düz ya da kıvrımlı olmasının nedeni hakkındaki 2. soruya 22 katılımcı doğru cevap vermiştir. Cevaplarında manyetik alanda yüklü parçacıklara etki eden manyetik kuvvetten bahsedilmiştir. Eğri yolların bazılarının kabarcık odasına girişine yakın, bazılarının ise girişten uzakta oluşmasının nedeni hakkındaki 3. soruya 14 katılımcı ya parçacığın kütlesi ya da hızı açıklamasını yaparak kısmen doğru cevap vermiştir. FÖ7, FÖ17 ve FÖ23 ise her iki değişkeni de içerisine alan çizgisel momentumdan bahsederek doğru cevabı vermiştir. FÖ13 enerjileri farklı olduğunu, FÖ15 ise parçacıkların yüklü ve yüksüz olması açıklamasıyla yanlış cevap vermiştir. Hiçbir iz olmadığı halde birden V şeklindeki izin

oluşma nedeni hakkındaki 4. soruya FÖ7, FÖ17 ve FÖ23 fotonun elektron ile pozitron oluşumu açıklamasıyla doğru cevap vermiştir. FÖ3 ise yalnızca antiparçacık açıklaması yaparak yanlış cevap vermiştir. FÖ21 yalnızca foton açıklamasını yaparak kısmen doğru cevap vermiştir. FÖ19 kütlesi büyük olanın çekim alanına girdiği ve üzerine çekildiği açıklamasını yaparak yanlış cevap vermiştir. Diğer katılımcılar ise fikirlerinin olmadığını belirterek cevap vermemiştir. Ancak FÖ7'nin açıklamasını gördüklerinde bu cevabı benimsemiş ve kendilerinin çift oluşum olayının akıllarına gelmediğini belirtmiştir. Hiçbir iz yokken yalnızca tek bir kıvrımın oluşması hakkındaki 5. soruya hiçbir katılımcı uzun süre düşünmelerine rağmen cevap verememiştir. Araştırmacı Compton olayının gerçekleştiğini belirttiğinde, katılımcılar şaşkınlıklarını gizleyememiştir. Katılımcılar 12. sınıf fizik dersinde yer alan Fotoelektrik ve Compton olayınına ait bilgilerini kabarcık odasındaki izlerden tanımlamakta kullanamadıklarını görmüş ve bunun üzüntüsünü belirtmişlerdir. Katılımcıların yanıtları doğrudan alıntılarla aşağıda verilmektedir.

> FÖ3:" Fotoelektrik olaydan sonra aslında Compton'u tahmin etmem gerekirdi. Ama aklıma gelmedi."
>
> FÖ4: "Aslında etkinlik kolaymış ama ben hiçbirşey anlamamıştım baştan beri."
>
> FÖ7: "Compton'u bilmem gerekirdi ama benim de hiç aklıma gelmedi…"
>
> FÖ5: "Anlatıtığımız bir konuyu iz odasında düşünmekte ne çok zorlandık."

Katılımcıların bir alanda çok iyi bildikleri akademik bilgileri başka bir alanda kullanmakta zorluk çektikleri görülmüştür. Soruların cevapları hakkındaki açıklamalar, katılımcıların verdiği doğru yanıtlardan yola çıkılarak araştırmacı tarafından yapılmış ve etkinlik tamamlanmıştır.

Etkinliğin uygulanmasına dair araştırmacı notları:

- Etkinlik tahmin edilen süreden (30 dakika) daha kısa sürede (20 dakika) tamamlanmıştır.
- Katılımcılar antimadde ile madde arasındaki farklar hakkında ön bilgileri bulunmaktadır.
- Katılımcılar fotoelektrik ya da Compton olayını, kabarcık odasındaki izlerden tahmin edememiştir.

Parçacıkların İzlerini Sürmek'e ait Etkinlik Çalışma Yapraklarının İncelenmesine İlişkin Bulgular

Hem AL hem de FL öğretim programında yer alan ‘Madde ve antimadde kavramlarını açıklar’ kazanımına yönelik hazırlanan Parçacıkalrın İzlerini Sürmek Etkinliği tek aşamadan oluşmaktadır. Bu aşamada katılımcılara çeşitli yüklü, yüksüz ve bileşik parçacıkların dedektörlerde bıraktığı izler hakkında bilgi verilerek; katılımcılardan verilen dört olaya ait izleri incelemesi istenmiştir.

Zoom aracılığıyla başlatılan oturumda, katılımcılar için EÇY-11 ekrana yansıtılmıştır. I. aşamada öncelikle katılımcılardan EÇY-11’deki hızlandırıcılar hakkındaki metni okumaları istenmiştir. Aynı zamanda araştırmacı tarafından da sesli olarak okunmuştur. Metinde çeşitli dedektörlerin amacı ve dedektörlerde parçacıkların bıraktığı izler açıklanmaktadır. Katılımcıların bu bilgileri kullanacakları çeşitli örnek olay izlerini içeren OLAY 1, OLAY 2, OLAY 3 ve OLAY 4 ekrana yansıtılmıştır. Bu olaylara ait hangi dedektörde izlerin oluştuğu ve hangi bozunmanın gerçekleştiği hakkında tahminde bulunulması istenmiştir. Katılımcıların bireysel olarak verdiği yanıtlarının ekran görüntüsünü alarak, Whattsapp grubunda paylaşması istenmiştir. Katılımcıların tamamı olayların hangi dedektörlerde gerçekleştiğine dair doğru tahminlerde bulunmuştur. Katılımcıların olaylara ait dedektör tahminlerindeki yanıtlarına ait kategoriler Tablo 25’te verilmektedir.

Tablo 25

Katılımcıların Dedektörlerin Tahminine Verdikleri Yanıtların Kategorilere Göre Dağılımı

Kategori	Katılımcı	İzler	İz Odası	Elektromanyetik Kalorimetre	Hadron Kalorimetresi	Müon Odası
D	$F\ddot{O}_{1\ldots23}$	OLAY 1	✓	✓		
			✓	✓		
		OLAY 2				✓
						✓
		OLAY 3	✓	✓		
			✓	✓	✓	
		OLAY 4	✓	✓	✓	
			✓	✓	✓	
			✓	✓	✓	
			✓	✓	✓	
			✓	✓	✓	

Tablo 25 incelendiğinde olaylara ait dedektörlerin tamamının doğru tahmin edilmesi üzerine, olaylar hakkındaki bozunma denklemlerine yönelik yanıtların incelenmesine

geçilmiştir. Katılımcıların olaylara ait bozunma denklemlerinin tahminine yönelik verdikleri yanıtlara ait kategoriler Tablo 26'da verilmektedir.

Tablo 26

Katılımcıların Bozunmaların Tahminine Verdikleri Yanıtların Kategorilere Göre Dağılımı

	Soru	Kategori			
		D	KD	Y	C
1	Frekans	21	-	-	2
	Katılımcı	$F\ddot{O}_{1\ldots3,5,7\ldots23}$	-	-	$F\ddot{O}_{4,6}$
2	Frekans	1	21	-	1
	Katılımcı	$F\ddot{O}_{17}$	$F\ddot{O}_{1\ldots3,5\ldots16,18\ldots23}$	-	$F\ddot{O}_{14}$
3	Frekans	20	1	-	2
	Katılımcı	$F\ddot{O}_{1\ldots3,5\ldots10,12\ldots21,23}$	$F\ddot{O}_{22}$	-	$F\ddot{O}_{4,11}$
4	Frekans	18	-	-	5
	Katılımcı	$F\ddot{O}_{1\ldots8,10,13\ldots21}$	-	-	$F\ddot{O}_{9,11,12,22,23}$
5	Frekans	-	-	-	23
	Katılımcı	-	-	-	$F\ddot{O}_{1\ldots23}$

Tablo 26 incelendiğinde OLAY 1'de bir elektron ve bir pozitrona ait izlerin tahmini hakkındaki 1. soruya 21 katılımcı doğru cevap vermiştir. FÖ4 ve FÖ6 ise soruyu cevapsız bırakmıştır. FÖ4 ve FÖ6 dışında katılımcıların tamamı fotonun, elektron ve pozitrona dönüştüğünü belirtmiştir. OLAY 2'de bir müon ve bir antimüona ait izlerin tahmini hakkındaki 2. soruya, 21 katılımcı kısmen doğru cevap vermiştir. FÖ4 ise soruyu cevapsız bırakmıştır. FÖ4 haricindeki diğer katılımcılar yalnızca müon cevabını vermiştir. İzlerin simetrik olması nedeniyle bir parçacığın müon, diğerinin ise antimüon olması gerektiği hakkında yalnızca FÖ17 doğru açıklamalarda bulunmuştur. Katılımcıların bu soruda izlerden birinin bir antiparçacığa ait olabileceği hakkında tahmin yürütemediği görülmektedir. OLAY 3'te bir müon/antimüon ve bir elektron/pozitrona ait izlerin tahmini hakkındaki 3. soruya, 20 katılımcı doğru cevap vermiştir. FÖ13 ise yalnızca müon cevabını vererek kısmen doğru cevap vermiştir. FÖ4 ve FÖ11 ise soruyu cevapsız bırakmıştır. FÖ3, FÖ5, FÖ6, FÖ7 ve FÖ8 müon ile elektron cevabını vermiştir. İzlerden birinin antiparçacık olabileceğine dair tahmini FÖ1, FÖ2 ve FÖ9 yapmış ve müon ile pozitron cevabını vermiştir. OLAY 4'te hadronlara ait izlerin tahmini hakkındaki 4. soruya, 18 katılımcı doğru cevap vermiştir. FÖ9, FÖ11, FÖ12 ve FÖ22 ise soruyu cevapsız bırakmıştır. Katılımcılar izlerin nedeninin çeşitli hadronların olabileceği hakkında açıklama yaparak

doğru örnekler vermiştir. Bunlar; pion, proton, antiproton, nötron ve kaondur. FÖ4 bu soruya pion açıklamasını yaparak doğru cevap vermiştir. FÖ9, FÖ11, FÖ12, FÖ22 ve FÖ23 ise soruyu cevapsız bırakmıştır. OLAY 3'te iki parçacığın çok farklı açılara sahip olmasının nedeni hakkındaki 5. soruya, hiçbir katılımcı cevap verememiştir. Katılımcılardan bu soruya yönelik bir açıklama gelmemesi üzerine araştırmacı, EÇY-11'de yer alan yükün ve momentumun korunumu kuralını tekrar hatırlatmıştır. Gözlenen izlerin momentumlarını dengede tutamayacağı için, bu durumda bir miktar momentum taşıyan görünmeyen parçacıkların (nötrinolar) olması gerektiği anlamına geldiğini belirtmiştir. Katılımcıların tüm yanıtlarını paylaşmaları üzerine her soru üzerinde söz alıp cevabını açıklamak isteyenlerle birlikte doğru cevaplara ulaşılmıştır. Katılımcıların yorumundan yola çıkarak, bir tartışma ortamı oluşturulmaya çalışılmıştır. Katılımcılardan bazıları OLAY 3'te antiparçacıkları cevaplarında düşünememenin üzüntüsünü belirtmiştir.

Etkinliğin uygulanmasına dair araştırmacı notları:

- Etkinlik tahmin edilen süreden (60 dakika) daha kısa sürede (45 dakika) tamamlanmıştır.
- Katılımcılar etkinliğin uygulanması esnasında parçacıkların tespitinde yük ve momentum korunumu kurallarını unutmuştur.

Feynman Diyagramları'na ait Etkinlik Çalışma Yapraklarının İncelenmesine İlişkin Bulgular

FL öğretim programında yer alan 'Öğrencilerin, atom altı parçacıklar arasındaki etkileşim kuvvetini açıklamaları sağlanır' kazanımından yola çıkılarak hazırlanan Feynman Diyagramları Etkinliği iki aşamadan oluşmaktadır. İlk aşamada Feynman diyagramlarına ait özellikler açıklanarak, verilen üç Feynman diyagramına ait bozunmaların tahmin edilmesi amaçlanmıştır. II. aşamada ise bozunma denklemlerine ait Feynman diyagramlarının tahmin edilmesi amaçlanmıştır.

Zoom aracılığıyla başlatılan oturumda, katılımcılar için EÇY-12 ekrana yansıtılmıştır. Katılımcılardan I. aşama için EÇK-12'de yer alan Feynman Diyagramları hakkındaki metni incelemeleri istenmiştir. Aynı zamanda araştırmacı tarafından da sesli olarak okunmuştur. Feynman diyagramları ve diyagramların nasıl çizildiği hakkında parçacıkların gösterimi örneklerle birlikte açıklanmıştır. Sonrasında I. aşama için katılımcılara verilen 3

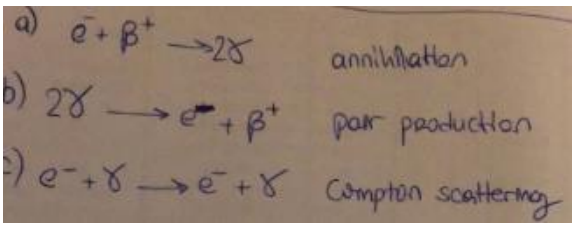
adet Feynman diyagramına ait bozunma denklemlerinin tahmin edilmesi istenmiştir. Bireysel olarak yazılan yanıtların Whatsapp grubunda paylaşmaları istenmiştir. Katılımcıların yanıtlarına ait kategoriler Tablo 27'de verilmektedir.

Tablo 27

Feynman Diyagramları Etkinliğinde Katılımcıların Bozunma Tahminlerine Ait Yanıtların Kategorilere Göre Dağılımı

	Soru	Kategori			
		D	KD	Y	C
1	Frekans	22	-	-	1
	Katılımcı	$F\ddot{O}_{1,2,4\ldots23}$	-	-	$F\ddot{O}_3$
2	Frekans	22	-	-	1
	Katılımcı	$F\ddot{O}_{1,2,4\ldots23}$	-	-	$F\ddot{O}_3$
3	Frekans	22	-	-	1
	Katılımcı	$F\ddot{O}_{1,2,4\ldots23}$	-	-	$F\ddot{O}_3$

Tablo 27'ye göre katılımcıların yanıtları incelendiğinde 3 adet Feynman diyagramına ait bozunum denklemini 22 katılımcının doğru tahmin ettiği görülmektedir. FÖ3 ise hiçbir diyagrama ait bozunma denklemini yazamamıştır. Katılımcıların verdiği cevaplara ait bir örnek aşağıda yer almaktadır.



Şekil 25. Feynman diyagramları etkinliğinde FÖ9'un bozunma denklemlerine yönelik cevapları

Şekil 25'te olduğu gibi katılımcıların neredeyse tamamının doğru cevaplara ulaştığı görülmektedir. Katılımcıların cevaplarının doğru olup olmaması hakkında herhangi bir açıklama yapılmamıştır. Katılımcılardan yanıtlarını açıklamaları istenmiştir. Katılımcıların açıklamaları doğrudan alıntılarla aşağıda verilmektedir.

> FÖ2: "1- Elektron pozitron foton oluşturulmuş çift bozunumu. 2- Tersi. 3- Elektronun uyarılması."
>
> FÖ4: "1- elektron pozitron foton oluşumu çift bozunumu. 2- çift oluşum. 3- elektron ile foton ama ne"

FÖ6: “1- elektron pozitron foton oluşturulmuş çift bozunumu 2- çift oluşum önceki etkinlikte de söylemiştik 3- elektron ile foton, elektron uyarılıyor sanki”

FÖ7: “1- önceki etkinlikte öğrendim. elektron pozitron foton oluşturulmuş çift bozunumu 2-bu da tersi çift oluşum 3- elektron foton”

FÖ8: “1- Çift yok oluşumu. 2- Çift oluşumu 3- Comptom saçılması”

FÖ11: “1. e- + e+ -> foton 2. foton + foton -> e- + e+ 3. foton + e- -> foton + e- (Compton saçılması)”

FÖ15: “1. elektron pozitronla etkileşiyor ve foton oluşuyor 3. elektron fotonla etkileşiyor ve tekrar oluşuyor; değiş tokuş edilen foton 2. Çift oluşum gerçekleşiyor.”

FÖ17: “1- elektron pozitron foton oluşuyor 2- çift oluşum 3- elektron ile foton etkileşiyor, elektron uyarılıyor.”

FÖ22: “1- elektron +pozitron -> foton, 2- foton-> elektron+ pozitron, 3- elektron+ foton->foton + elektron.”

FÖ23: “1- Çift yok oluşumu. 2- Çift oluşum 3- Comptom saçılması.”

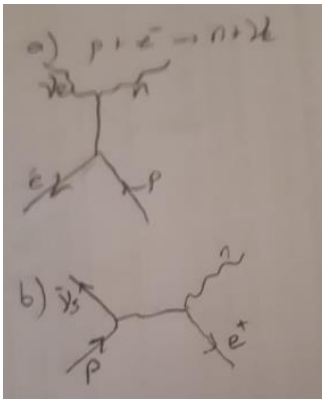
II. aşamada katılımcılara verilen 3 adet bozunmaya ait denklem verilerek, denklemlere ait Feynman diyagramlarının çizilmesi istenmiştir. Bireysel olarak çizilen diyagramların, Whatsapp grubunda paylaşmaları istenmiştir. Katılımcıların yanıtlarına ait kategoriler Tablo 28’de verilmektedir.

Tablo 28

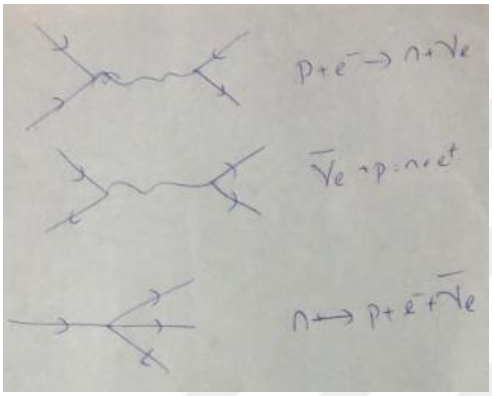
Katılımcıların Feynman Diyagramları Tahminlerine Ait Yanıtların Kategorilere Göre Dağılımı

	Soru	Kategori			
		D	KD	Y	C
1	Frekans	19	1	-	3
	Katılımcı	$F\ddot{O}_{1,5\ldots16,18\ldots23}$	$F\ddot{O}_{17}$	-	$F\ddot{O}_{2\ldots4}$
2	Frekans	20	-	-	3
	Katılımcı	$F\ddot{O}_{1,5\ldots23}$	-	-	$F\ddot{O}_{2\ldots4}$
3	Frekans	17	3	-	3
	Katılımcı	$F\ddot{O}_{1,5\ldots9,11,12,14\ldots16,18,19\ldots23}$	$F\ddot{O}_{10,13,17}$	-	$F\ddot{O}_{2\ldots4}$

Tablo 28’e göre katılımcıların yanıtları incelendiğinde 3 adet bozunma denklemine ait Feynman diyagramlarını 17 katılımcının doğru olarak çizdiği görülmektedir. FÖ2, FÖ3 ve FÖ4 ise hiçbir bozunmaya ait diyagramı çizememiştir. Katılımcıların verdiği yanıtlara ait örnekler aşağıda yer almaktadır.



Şekil 26. Feynman Diyagramları etkinliğinde FÖ10'nun bozunma diyagramlarına yönelik cevapları



Şekil 27. Feynman Diyagramları etkinliğinde FÖ11'in bozunma diyagramlarına yönelik cevapları

Birinci, ikinci ve üçüncü soruya diğer katılımcıların verdikleri yanıtlara ait diyagramlar da benzer olduğu için FÖ10 ve FÖ11'in çizimleri örnek olarak verilmiştir.Şekil 26'da FÖ10'nun çizimleri incelendiğinde birinci ve ikinci bozunma denklemine ait diyagramları doğru çizdiği, Şekil 27'de ise FÖ11'in çizimlerinde tüm diyagramları doğru çizdiği görülmektedir.

Katılımcıların verilen bozunma denklemine yönelik çizdikleri diyagramlar incelendiğinde, üçüncü diyagrama ait farklı çizimlerin ortaya çıktığı görülmektedir. Bunun nedeni EÇY-12'de yer alan tüm örneklerde bozunmaya hem giren hem de çıkan parçacıkların sayısı 2 iken; bu bozunmada ise bozunmaya giren parçacık sayısının 1, bozunmadan çıkan parçacık sayısının 3 olmasının neden olduğu düşünülmektedir. Katılımcıların EÇY-12'de gördükleri Feynman diyagramları örneklerinden çizdiği diyagramın farklı olması nedeniyle, çizimlerinde bir hata olmasından endişe ettikleri düşünülmektedir.

Katılımcıların I. ve II. aşamaya verdiği cevapları açıklamaları istenmiştir. Böylece bir tartışma ortamı oluşturularak yanıtlar tartışılmıştır. I. aşamada katılımcıların bozunma

denklemlerinde hem fikir oldukları görülmüştür. I. aşamada çalışmayı cevapsız bırakaran yalnızca FÖ3 olmuştur. II. aşamada ise FÖ2, FÖ3 ve FÖ4 çalışmayı cevapsız bırakmıştır. II. aşamada ise katılımcılar birinci ve ikinci diyagramda hemfikir iken üçüncü diyagramdan emin olmadıklarını dile getirmiştir. Araştırmacı tarafından diyagramın doğru çizimi ekrana yansıtılmış ve açıklanmıştır. Üçüncü diyagram nötron protona dönüşürken açığa çıkan elektron ve antinötrinoya aittir. 12. sınıf fizik dersi Radyoaktivite konusunda bulunan β^- ışımasına aşina olan öğretmenler, bu ışımaya ait Feynman diyagramını görmekten memnun olduklarını belirtmiştir. Aynı zamanda Feynman diyagramlarını görüp, bu diyagramların nasıl çizildiğini merak ettiklerini de belirtmişlerdir. Bu nedenle Feynman diyagramlarını öğrenmekten duydukları memnuniyeti de dile getirmişlerdir. Ayrıca tahmin edilen sürede (30 dakika) etkinlik tamamlanmıştır.

Parçacık Fiziği Başarı Testinin Uygulamasından Elde Edilen Bulgular

Etkinliklerden önce ve sonra uygulanan PFBT'ye verilen yanıtlar kaydedilerek temalara ayrılmıştır. Belirlenen temalara ait frekans değerleri ve verilen yanıtlar doğrudan alıntılarla birlikte bu bölümde yer almaktadır.

PFBT'nin 1. sorusuna verilen yanıtlara ait kategoriler Tablo 29'da verilmektedir.

Tablo 29

Katılımcıların Soru 1'e Ait Ön ve Son Test Yanıtlarının Kategorilere Göre Dağılımı

	Ön Test				Son Test			
Kategori	D	KD	Y	C	D	KD	Y	C
Frekans	5	2	-	16	20	-	2	1
Katılımcı	FÖ8 FÖ13 FÖ15 FÖ17 FÖ20	FÖ7 FÖ18	-	FÖ1… FÖ6 FÖ9… FÖ12 FÖ14 FÖ16 FÖ19 FÖ21.. FÖ23	FÖ1… FÖ5 FÖ7… FÖ9 FÖ11… FÖ18 FÖ20… FÖ23	-	FÖ6 FÖ10	FÖ19

Tablo 29 incelendiğinde öntestte 5, sontestte ise 20 katılımcının soruya yönelik doğru açıklamalarda bulunduğu görülmektedir. FÖ7 ve FÖ18 ön testte kısmen doğru

açıklamalarda bulunurken, son testte ise doğru açıklamalarda bulunmuştur. Ön testte 16 katılımcı soruyu cevapsız bırakırken, son testte FÖ19 hariç tüm katılımcılar soru hakkında görüş bildirmiştir. Ön testte soruyu cevapsız bırakan FÖ6 ve FÖ10, son testte ise soruya yönelik yanlış açıklamalarda bulunmuştur. Bu duruma yönelik daha ayrıntılı yorum için Tablo 30'da verilen katılımcıların yanıtları incelenmelidir.

Tablo 30

PFBT'deki Soru 1'e Verilen Yanıtlar

Katılımcı	Ön Testteki Yanıtı	Son Testteki Yanıtı
FÖ1	-	Spin kavramı ortaya atılmıştır, kesiklilik.
FÖ2	-	Spin
FÖ3	-	Spin kavramı
FÖ4	-	Spin
FÖ5	-	Açısal momentum hakkında bilinenler tekrar yorumlanmış ve spin kavramı ortaya çıkmış.
FÖ6	-	Elektronların kesikli yörüngede döndüğünü söylemişler.
FÖ7	Spin açısal momentumu ile ilgili mi acaba emin değilim.	Spin açısal momentumu ile ilgili. Spin sayılarının artı ve eksi olması ilgili.
FÖ8	Elektronlar yukarı ya da aşağı saptığından bu sapmanın elektronun spini ile ilgili olduğu açıklaması ile "spin" kavramı ortaya çıkmıştır.	Spin.
FÖ9	-	Beklenen atomların düz bir çizgi şeklinde karşı tarafta iz bırakması beklenirken gerçekte kesikli bir iz gözlemlenmiştir. Bu da spin kavramının öne sürülmesine sebep olmuştur.
FÖ10	-	Onların beklediği göz şeklindeki içi dolu bir alandı fakat yüklü tanecikler iki çizgi halinde şekil oluşturmuşlardı. Bu durum bize her parçacığın bir anti parçacığı olduğunu gösterir.
FÖ11	-	Spin
FÖ12	-	Spin kavramını ortaya atmıştır. Çünkü manyetik momentum kuantum sayısına göre 3 çizgi beklerken 2 çizgi elde etmişlerdir. Spin yukarı ve aşağı kavramlarıyla bunu açıklama yoluna gitmişlerdir.
FÖ13	Spin kavramı.	Spin kavramı ortaya atılmıştır. Elektronların kendi etrafında yaptığı hareket de manyetik

		momenti etkiler. Bu da beklenilen sonucu değiştirmiştir.
FÖ14	-	Spin
FÖ15	Spin	Spin kavramını ortaya atmışlardır.
FÖ16	-	Manyetik alana giren gümüş atom demetinin yönlenmesi yani spini anlatır spin yukarı ve spin aşağı olarak ekranda deney sonuçlarını gözlemleyebiliriz. Ekranda oluşan Demet bir bütün halinde değil çizgiler şeklinde gözlemlenir.
FÖ17	Spin kuantum sayısı	Spin kuantum sayısı
FÖ18	Kuantum kavramı. Süreklilik olamaması durumunda belli değerler alabileceği fikri ortaya çıktı.	Spin teorisinin ortaya atılmasını sağlamıştır. Ag atomunun elektron konfigürasyonunda son yörünge elektronun eşlenmemiş net spin değerinin +1/2 veya – 1/2 gibi ikincil spin kuantum sayısının olabileceği düşünülmüştür.
FÖ19	-	-
FÖ20	Spin	Elektronlar Spin açısal momentumunun yukarı spin -aşağı spin olmak üzere 2 farklı değer alabilmesi
FÖ21	-	Spin
FÖ22	-	Spin
FÖ23	-	Spin

Tablo 30 incelendiğinde ön testte 16 katılımcı 1. soruyu cevapsız bırakırken; son testte ise FÖ6, FÖ10 ve FÖ19 hariç katılımcıların tamamı soruya yönelik doğru açıklamalarda bulunduğu görülmektedir. FÖ8 ön testte soruya daha ayrıntılı doğru açıklamalarda bulunurken, son testte ise yalnızca ‘spin’ cevabını verdiği görülmektedir. FÖ7 öntestte 1. soruya yönelik doğru açıklamalarından emin değilken, sontestte ise emin olduğu görülmektedir. FÖ6 ön testte 1. soruyu cevapsız bırakırken, son testte ise orbital kavramından bahsederek yanlış açıklamalarda bulunmuştur. FÖ10 son testte Stern-Gerlach deneyinin sonucunda bilim insanlarının ortaya koyduğu kavramın antiparçacık olduğu açıklamasıyla yanlış cevap vermiştir. FÖ19 ise ön testte olduğu gibi son testte de soruya cevap verememiştir. FÖ13 ön testte verdiği doğru cevabı son testte zenginleştirerek, daha ayrıntılı açıklamalarda bulunmuştur. FÖ18 ön testte verdiği kısmen doğru cevabı zenginleştirerek son testte doğru cevap vermiştir. FÖ15 ve FÖ17 ise hem ön test hem de son testte ‘spin’ yanıtını vererek doğru olan cevap açıklamasını değiştirmemiştir.

PFBT’de Soru 2’ye verilen yanıtlara ait kategoriler Tablo 31’de verilmektedir.

Tablo 31

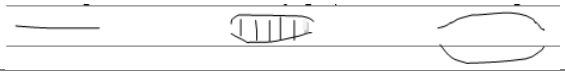
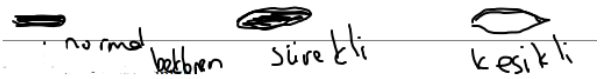
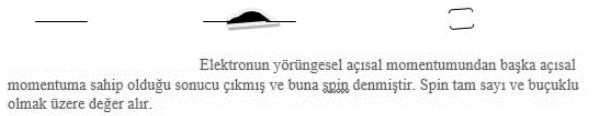
Katılımcıların Soru 2'ye Ait Ön ve Son Test Yanıtlarının Kategorilere Göre Dağılımı

	Ön Test				Son Test			
Kategori	D	KD	Y	C	D	KD	Y	C
Frekans	-	2	4	16	22	1	-	-
Katılımcı	-	FÖ7 FÖ17	FÖ10 FÖ11 FÖ18 FÖ20	FÖ1… FÖ6 FÖ8 FÖ9 FÖ12... FÖ16 FÖ19 FÖ21... FÖ23	FÖ1… FÖ9 FÖ11... FÖ23	FÖ10	-	-

Tablo 31 incelendiğinde PFBT'deki Soru 2'ye ön testte hiçbir katılımcının doğru açıklamalarda bulunamadığı görülmektedir. Bu nedenle 2. soruda sorulan Stern-Gerlach deneyinin sonucunda elde edilen izler hakkında ön testte FÖ7 ve FÖ17 dışında hiçbir katılımcının herhangi bir fikri olmadığı söylenebilir. Son testte ise FÖ10 hariç katılımcıların tamamının doğru açıklamalarda bulunduğu görülmektedir. Ön testte 4 katılımcı yanlış cevap verirken, son testte ise hiçbir katılımcı yanlış cevap vermemiştir. Bu duruma yönelik daha ayrıntılı yorum için Tablo 32'deki katılımcıların verdiği yanıtlar incelenmelidir.

Tablo 32

PFBT'deki Soru 2'ye Verilen Yanıtlar

Katılımcı	Ön Testteki Yanıtı	Son Testteki Yanıtı
FÖ1	-	
FÖ2	-	
FÖ3	-	
FÖ4	-	-
FÖ5	-	
FÖ6		

FÖ7	 Bu konuda pek bilgim yok maalesef.	
FÖ8	-	 Cevabınızı kısaca açıklayınız. Elektronlar spinlerine göre manyetik alanda alt ya da üst tarafa doğru sapıyorlar
FÖ9	-	 Açısal momentumdan farklı bir özellik daha mevcut olmalıdır. Buna da spin adı verilmiştir. Yukarı ya da aşağı spin şeklinde olabilir.
FÖ10	Manyetik alan yokken demet sapmayacağı için noktasal, manyetik alan varken aşağı doğru sapması gerekir.	Manyetik alan yokken düz kalın bir çizgi, manyetik alan varken bekledikleri göz şeklinde içi dolu bir şekil, deney sonucu iki çizgi şeklinde içi boş bir şekil gözlemişlerdir.
FÖ11	Manyetik alan yokken sapma olmaz, manyetik alan oluşturulduğunda düzgün ise belirli doğrultu ve yönde sapma olur, deneye göre sapma olur ama standardı yoktur.	
FÖ12	-	 .
FÖ13	-	
FÖ14	-	
FÖ15	-	
FÖ16	-	 klasik fiziğe göre manyetik alan yokken demettin çarptığı yerde bir leke manyetik alan varken homojen olmayan manyetik alanın şekline göre bir bölge oluşur. fakat deney sonucuna göre ekranda çizgiler gözlemlenir bu çizgiler manyetik spin ile açıklanabilir.
FÖ17	Manyetik alan yokken tek çizgi manyetik alan varken spin açısal momentumdan dolayı oval bir şekil	 manyetik alan yokken düz çizgi manyetik alan varken oval içi dolu manyetik alan varken oval içi

		boş.
FÖ18	B yokken gümüş atomları doğrusal ilerleyerek filme ulaşır. B varken ise sağ el kuralına göre filme geliş istikametinin soluna doğru sapar	 Klasik fizikten açısından devamlı bir lekelenme (iz) oluşması beklenirken, Bohr modeline göre de üç ayrı noktadan oluşan kesikli bir profil oluşturması beklenmiştir. Ancak deney sonucunda oluşan izler sadece iki katman şeklinde olmuştur.
FÖ19	-	 Manyetik alan yokken eğimli ve içi boş manyetik alan varken içi dolu bir görünüm
FÖ20	Beklenen her yerde iz olmalı görülen izler sadece iki yerde yoğunluk kazanmış	
FÖ21	-	
FÖ22	-	
FÖ23	-	

Tablo 32 incelendiğinde FÖ7 ön testte Stern-Gerlach deneyi sonucunda görülen izlerle ilgili iki çiziminde doğru tahminleri sunmuş ancak emin olmadığını da belirtmiştir. Katılımcıların ön testte Stern-Gerlach deneyi sonucunda elde edilen izlerin çizilmesi istenen 2. soruyu cevapsız bırakırken, son testte ise soruya yönelik doğru çizimlerinin yanı sıra ayrıntılı açıklamalarda da bulundukları görülmektedir. Ön testte soruyu cevaplayan katılımcılardan FÖ10, FÖ11, FÖ18 ve FÖ20'nin yanlış açıklamalarda bulunduğu görülmektedir. FÖ17 ise manyetik alan yokken klasik fizikçilere göre deney sonucunda görülen iz hakkında herhangi bir açıklamada bulunmadığından ve deney sonucunda görülen izler için çizim yapmadığından kısmen doğru cevap vermiştir. Son testte ise FÖ10 hariç tüm katılımcılar Stern-Gerlach deneyi sonucunda görülen izlerle ilgili doğru çizimlerde bulunarak soruya doğru cevap vermiştir. FÖ10 ise deney sonucundaki izler hakkında doğru açıklamalarda bulunsa da çizim yapmadığı için kısmen doğru cevap vermiştir.

PFBT'de Soru 3'e verilen yanıtlara ait kategoriler Tablo 33'te verilmektedir.

Tablo 33

Katılımcıların Soru 3'e Ait Ön ve Son Test Yanıtlarının Kategorilere Göre Dağılımı

	Ön Test	Son Test

Kategori	D	KD	Y	C	D	KD	Y	C
Frekans	3	13	-	7	18	5	-	-
Katılımcı	FÖ11 FÖ15 FÖ20	FÖ1 FÖ3 FÖ4 FÖ6… FÖ8 FÖ10 FÖ13 FÖ16... FÖ19 FÖ22	-	FÖ2 FÖ5 FÖ9 FÖ12 FÖ14 FÖ21 FÖ23	FÖ2… FÖ5 FÖ10... FÖ23	FÖ1 FÖ6… FÖ9	-	-

Tablo 33 incelendiğinde ön testte Soru 3'ü 3 katılımcı doğru cevaplamışken, son testte 18 katılımcı soruya doğru cevap vermiştir. Ön testte 7 katılımcı soruyu cevapsız bırakmıştır. Son testte ise tüm katılımcıların ya kısmen doğru ya da doğru cevaplar verdiği görülmektedir. Bu duruma yönelik daha ayrıntılı yorum için Tablo 34'deki yanıtlar incelenmelidir.

Tablo 34

PFBT'deki Soru 3'e Verilen Yanıtlar

Katılımcı	Ön Testteki Yanıtı	Son Testteki Yanıtı
FÖ1	Y-D-Cevapsız	Y-D-Y
FÖ2	Y-D-Y	Y-D-D
FÖ3	Y-D-Y	Y-D-D
FÖ4	Y-D-Y	Y-D-D
FÖ5	-	Y-D-D
FÖ6	Y-D-Y	Y-D-Y
FÖ7	Y-D-Y	Y-D-Y
FÖ8	Y-D-Y	Y-D-Y
FÖ9	-	Y-D-Y
FÖ10	Cevapsız-D-D	Y-D-D
FÖ11	Y-D-D	Y-D-D
FÖ12	-	Y-D-D
FÖ13	Y-D-Cevapsız	Y-D-D
FÖ14	-	Y-D-D
FÖ15	Y-D-D	Y-D-D
FÖ16	Y-D-Y	Y-D-D

FÖ17	Y-D-Y	Y-D-D
FÖ18	Y-D-Cevapsız	Y-D-D
FÖ19	D-D-D	Y-D-D
FÖ20	Y-D-D	Y-D-D
FÖ21	-	Y-D-D
FÖ22	D-D-D	Y-D-D
FÖ23	-	Y-D-D

Tablo 34 incelendiğinde PFBT'de Soru 3'e ön testte FÖ1, FÖ3, FÖ4, FÖ6, FÖ7 ve FÖ8'in verdiği açıklamalar kısmen doğru cevap olarak belirlenmesinin nedeninin üçüncü ifade hakkındaki yanlışları ya da boş bırakmaları olduğu görülmektedir. 3. sorunun üçüncü ifadesinde 'Sis odası deneyinde alkol yerine su kullanılabilir' cümlesinin 'yanlış' olduğu belirtilmiştir. Son testte ise etkinliklerin uygulanması sonucunda FÖ2, FÖ3, FÖ4 ve FÖ5'in sis odasının esaslarıyla ilgili doğru cevaplara ulaştığı görülmektedir. PFBT'nin son test uygulamasında FÖ6, FÖ7 ve FÖ8 ise 3. sorunun üçüncü ifadesi hakkındaki doğru olmayan görüşünü değiştirmediği görülmektedir. Ön testte FÖ10, FÖ13, FÖ16, FÖ17, FÖ18, FÖ19 ve FÖ22'nin ise ya 'Parçacıkları doğrudan gözlememizi sağlar' yargısı ya da 'Doymuş alkol yerine sıvı olarak su da kullanılabilir' yargısı hakkında yanlış fikirlere sahip olduklarından kısmen doğru cevap vermiştir. Ön testte soruya cevap veren tüm katılımcıların 'Parçacıkların diğer parçacıklarla etkileşimi sonucunda parçacıkların bıraktıkları izleri gözlememizi sağlar' yargısı hakkında doğru fikirlere sahip olduğu görülmektedir.

PFBT'de Soru 4'e verilen yanıtlara ait kategoriler Tablo 35'te verilmektedir.

Tablo 35

Katılımcıların Soru 4'e Ait Ön Test ve Son Test Yanıtlarının Kategorilere Göre Dağılımı

	Ön Test				Son Test			
Kategori	D	KD	Y	C	D	KD	Y	C
Frekans	4	2	4	13	22	1	-	-
Katılımcı	FÖ3 FÖ7 FÖ11 FÖ16	FÖ9 FÖ20	FÖ4 FÖ15 FÖ17 FÖ18	FÖ1 FÖ2 FÖ5 FÖ6 FÖ8 FÖ10 FÖ12... FÖ14 FÖ19 FÖ21... FÖ23	FÖ1… FÖ5 FÖ7… FÖ23	FÖ6	-	-

Tablo 35 incelendiğinde ön testte 4, son testte ise 22 katılımcı soruya yönelik doğru açıklamalarda bulunduğu görülmektedir. Ön testte FÖ9'un soruya yönelik kısmen doğru olan cevap ile FÖ4'ün yanlış olan cevabının, son testte doğru olarak değiştiği görülmektedir. Bu duruma yönelik daha ayrıntılı yorum için Tablo 36'daki katılımcıların yanıtları incelenmelidir.

Tablo 36

PFBT'deki Soru 4'e Verilen Yanıtlar

Katılımcı	Ön Testteki Yanıtı	Son Testteki Yanıtı
FÖ1	-	Alfa, elektron, müon
FÖ2	-	Alfa, elektron, müon
FÖ3	Alfa, elektron, müon	Alfa, elektron, müon
FÖ4	Bilmiyorum, müon ,elektron	Alfa, elektron, müon
FÖ5	-	Alfa, elektron, müon
FÖ6	-	Müon, elektron, bilmiyorum
FÖ7	Alfa, elektron, müon	Alfa, elektron, müon
FÖ8	-	Alfa, elektron, müon
FÖ9	Bilmiyorum, elektron, elektron	Alfa, elektron, müon
FÖ10	-	Ali alfa, Ayşe elektron, Veli müon
FÖ11	Ali alfa, Ayşe elektron, Veli müon	Ali alfa, Ayşe elektron ya da pozitron, Veli müon
FÖ12	-	Ali kozmik alfa, Ayşe elektron, Veli

		kozmik müon
FÖ13	-	Ali alfa, Ayşe elektron, Veli müon-karşı müon. Nötrinolar ise bu düzenekte gözlemlenemez.
FÖ14	-	Ali alfa, Ayşe elektron, Veli müon
FÖ15	Ali gibi gözlem yapmış olabilirler, ancak Ayşe ya da Veli gibi gözlem yapmamış olabilirler.	Ali alfa, Ayşe elektron, Veli müon. (üçüncü çizgiden emin olamadım o da biraz kesikli bence ama altında uzun düz çizgi yazıyor.)eğer uzun düz çizgi ise müon olabilir.
FÖ16	Ali alfa, Ayşe elektron, Veli müon görmüştür.	Ali alfa, Ayşe elektron, Veli müon
FÖ17	Ali tau	Ali alfa parçacıkları, Ayşe elektron, Veli müon
FÖ18	Cembersel bir yay parçası veya cembersel yörünge	Ali alfa, Ayşe elektron, Veli müon izlerini görmüş olabilir. Yüksüz parçacıklar alkolü iyonlaştırmayacağı için izler oluşturamazlar.
FÖ19	-	Ali alfa parçacığı, Ayşe elektron, Veli müon ve karşı müon
FÖ20	Ali alfa, Ayşe elektron, Veli Elektron-pozitron	Ali alfa, Ayşe elektron, Veli müon-karşı müon
FÖ21	-	Ali alfa parçacığı, Ayşe elektron, Veli Muon-Karşı Muon
FÖ22	-	Ali alfa parçacığı, Ayşe elektron, Veli müon
FÖ23	-	Ali alfa, Ayşe elektron pozitron, Veli müon

Tablo 36 incelendiğinde PFBT'nin sis odasında görülen izler hakkındaki 4. soruyu FÖ6 ön testte cevapsız bırakırken, son testte ise yalnızca elektrona ait izi doğru tahmin etmiştir. Ön testte FÖ15'in yaptığı açıklama, parçacıklar hakkında bilgi içermediğinden yanlış cevap olarak belirlenmiştir. FÖ17 ön testte elektrona ait olan izin tauya ait olduğunu belirterek yanlış cevap vermiştir. Tau lepton grubundan 3. nesile ait temel bir parçacık olup, sis odasında gözlemlenmesi mümkün olmayan bir parçacıktır. FÖ18 ön testte parçacıkların türünden değil çizdiği yörüngeden bahsederek yanlış cevap vermiştir. FÖ20 ön testte müona ait izleri doğru tahmin edemeyerek kısmen doğru cevap vermiştir. FÖ11, FÖ13, FÖ19, FÖ20, FÖ21 ve FÖ23'ün diğer etkinliklerde söz konusu olan antiparçacık hakkında öğrendikleri bilgilerden yola çıkarak son testte cevaplarını zenginleştirdikleri, daha fazla olasılıktan bahsettikleri görülmektedir. FÖ6 dışındaki tüm katılımcılar sontestte sis odasında görülen izlere yönelik doğru açıklamalarda bulundukları görülmektedir.

PFBT'de Soru 5'e verilen yanıtlara ait kategoriler Tablo 37'de verilmektedir.

Tablo 37

Katılımcıların Soru 5'e Ait Ön ve Son Test Yanıtlarının Kategorilere Göre Dağılımı

	Ön Test				Son Test			
Kategori	D	KD	Y	C	D	KD	Y	C
Frekans	15	-	-	8	23	-	-	-
Katılımcı	FÖ2… FÖ4 FÖ6… FÖ11 FÖ13 FÖ16... FÖ20	-	-	FÖ1 FÖ5 FÖ12 FÖ14 FÖ15 FÖ21... FÖ23	FÖ1… FÖ23	-	-	-

Tablo 37 incelendiğinde PFBT'deki Soru 5'e ön testte 15, son testte ise katılımcıların tamamı doğru açıklamalarda bulunduğu görülmektedir. Ön testte 8 katılımcı soruya yönelik hiçbir açıklama yapamazken, son testte ise katılımcıların tamamı doğru açıklamalarda bulunmuştur. Katılımcıların verdiği yanıtlara yönelik daha ayrıntılı yorum için katılımcıların yanıtları incelenmelidir.

Tablo 38

PFBT'deki Soru 5'e Verilen Yanıtlar

Katılımcı	Ön Testteki Yanıtı	Son Testteki Yanıtı
FÖ1	-	Atom altı parçacıkları keşfetmek
FÖ2	Büyük patlama sonrasında oluşan parçacıkları incelemek	Atom altı parçacıkları keşfetmek
FÖ3	Atomu oluşturan parçacıkları incelemek	Evrenin oluşumu, genişlemesi, parçacıkların ve karşı maddenin incelenmesi, maddeye kütlesini veren Higgs bozonu.
FÖ4	Yeni parcacıklar keşfetmek	Yeni parçacıklar keşfetmek
FÖ5	-	Evreni ve maddeyi inceleyerek evrenin nasıl oluştuğuna katkı sağlamak için kuruldu
FÖ6	Atom altı parçacıkları çarpıştırarak evrenin oluşumunu ve maddenin nasıl ortaya çıktığını anlamak	Evrenin evrimi, maddenin oluşumu, karanlık madde, karanlık enerji, karşı madde ile ilgili çalışmalar yapmak
FÖ7	Evrenin var oluş anına yakın zamanlarda neler olduğunu anlayabilmek ve varlığın temel taşlarını	Evrenin var oluş anına yakın zamanlarda neler olduğunu anlayabilmek ve varlığın temel taşlarını keşfetmek için

	keşfetmek için kurulmuştur. Aynı zamanda 2. Dünya savasından büyük yıkım alan Avrupa yı bilim çatısı altında birleştirmek gibi bir amacı da vardır.	kurulmuştur. Aynı zamanda 2. Dünya savasından büyük yıkım alan Avrupa'yı bilim çatısı altında birleştirmek gibi bir amacı da vardır.
FÖ8	Maddeyi inceleyerek yapıtaşlarını araştırmak. Evrenin başlangıcı ve sonu ile ilgili fikir sahibi olmak.	Maddeyi anlamak
FÖ9	BHÇ temelde iki protonu çarpıştırarak proton içerisinde yer alan quark ve parçacıkları ortaya çıkarmaya çalışır.	Büyük Hadron çarpıştırıcısı, temelinde oyuncakların içini açamayan çocukları oyuncakları birbirine çarpıştırarak içine bakmasına benzer. Proton ve diğer hadronları çarpıştırarak Higgs bozonu gibi farklı teoriler denemek için yapılmıştır."
FÖ10	Atom altı parçacıkları daha ayrıntılı incelemek.	Amaçları temel parçacığa yani en küçük parçacığa ulaşarak evreni açıklamak
FÖ11	Atom altı parçacıkların keşfi	Atom altı parçacıkların keşfi, evrenin yapısını anlama
FÖ12	-	Parçacıkların çok yüksek hızlara ulaşıp çarpışması ve bunun sonucunda içlerindeki diğer parçacıkların ortaya çıkması. Madde ve evren ilişkisi
FÖ13	Evrenin yapısı ve ortaya çıkma sürecini atomun yapısı inceleyerek araştırır ve açıklamaya çalışır.	BHÇ, evrenin yaratılışı ve yapısı ile ilgili bilgiler toplamayı, evrenin temel taşı olan atom altı parçacıklarının yapısını ortaya çıkarmayı amaçlar.
FÖ14	-	Atom altı parçacıkların hareketleri, yok olma ya da çift oluşumu, pek çok keşfin teknolojiye kazanımı
FÖ15	-	Evrenin yaratılışı, yeni parçacıklar bulmak
FÖ16	Büyük patlamayı simule edip madde parçacıklarını gözlemlemek.	Yaradılış anını yeniden gözlemlemek atom altı parçacıkların varlığını ve davranışlarını dedektörlerle incelemek
FÖ17	Evrenin nasıl oluştuğunu açıklama	Evrenin oluşumunu araştırmak ve Higgs bozonunu tespit edebilmek.
FÖ18	Her parçacığın kendisinden teşekkül ettiği fakat kendisinin başka bir alt parçacık tarafından oluşmadığı en temel parçacık "Tanrı parçacığı"nı keşfetmek	BHÇ'nin kuruluş amacı maddenin (atomun) yapısını ve maddeyi bir arada tutan kuvvetleri ve nihai olarak evrenin nasıl oluştuğunu anlamak
FÖ19	Evreni oluşturan parçacıkları bulmak	Atom altı parçacıkları keşfetmek, büyük patlamadan itibaren evreni anlamak
FÖ20	Mikro evreni anlayarak Makro Evreni algılamaya çalışmak	Evreni anlamaya yardımcı olmak. Bunu yapmak için de evrendeki en küçük parçacıkları incelenmesi ile Mikro Evrenden Makro Evrene anlamaya çalışmak için BHÇ kurulmuştur. Kısaca

		Evreni anlamak amacıyla diyebiliriz
FÖ21	-	Evren madde ilişkisi fiziktir. Bunun için de atom altı parçacıkları keşfetmek
FÖ22	-	Evrenin oluşumunu araştırmak
FÖ23	-	Büyük patlamayı izah etmek, atom altı parçacıkların tespiti

Tablo 38 incelendiğinde PFBT'deki Soru 5'e ön testte 15 katılımcının BHÇ'nin kuruluş amacı hakkında doğru görüşler ortaya koyduğu görülmektedir. Bunlar atom altı parçacıkları keşfetmek, evrenin oluşum anlarını tekrarlamak ve maddenin yapısını anlamak gibi çeşitli görüşlerdir. FÖ4 ile FÖ7 hem ön test hem de son testte soruya yönelik doğru açıklamalarını değiştirmemiştir. FÖ3, FÖ6 ve FÖ9 son testte doğru olan cevaplarını daha da zenginleştirdikleri görülmektedir. FÖ10 ve FÖ11 atom altı parçacıkların keşfine vurgu yapmaktadır. FÖ12, FÖ17, FÖ19 ve FÖ20 evreni araştırmayı, FÖ18 ise 'Tanrı Parçacığı' olarak belirttiği Higgs bozonunun keşfini vurgulamıştır. FÖ16 ise yüksek enerjiye vurgu yaparak büyük patlama anının araştırılması üzerinde durmuştur. Son testte ise katılımcıların tamamı soruya yönelik doğru açıklamalarda bulunmuştur. Verilen cevaplar incelendiğinde her iki uygulamada da farklı cevaplar verildiği ve sontestteki açıklamaların ön teste göre zenginleştiği görülmektedir.

PFBT'de Soru 6'ya verilen yanıtlara ait kategoriler Tablo 39'da verilmektedir.

Tablo 39

Katılımcıların Soru 6'ya Ait Ön ve Son Test Yanıtlarının Kategorilere Göre Dağılımı

	Ön Test				Son Test			
Kategori	D	KD	Y	C	D	KD	Y	C
Frekans	3	9	4	7	14	8	1	-
Katılımcı	FÖ6 FÖ7 FÖ17	FÖ4 FÖ8… FÖ10 FÖ15 FÖ16 FÖ18 FÖ19 FÖ23	FÖ2 FÖ11 FÖ13 FÖ20	FÖ1 FÖ3 FÖ5 FÖ12 FÖ14 FÖ21 FÖ22	FÖ1 FÖ3… FÖ8… FÖ10 FÖ12 FÖ15 FÖ17 FÖ21 FÖ22	FÖ11 FÖ13 FÖ14 FÖ16 FÖ18... FÖ20 FÖ23	FÖ2	-

Tablo 39 incelendiğinde ön testte 3, son testte ise 14 katılımcı soruya yönelik doğru açıklamalarda bulunduğu görülmektedir. Ön testte soruya 9 katılımcı kısmen doğru açıklamalarda bulunmuştur. FÖ1, FÖ3, FÖ5, FÖ12, FÖ14, FÖ21 ve FÖ22 ön testte soruya

yönelik herhangi bir açıklamada bulunmazken, son testte ise doğru açıklamalarda bulunmuştur. FÖ2 ise hem ön testte hem de son testte PFBT'nin 6. sorusunu yanlış olarak değerlendirilen açıklamalarda bulunmuştur. Bu açıklama hakkında daha ayrıntılı yorum için Tablo 40'taki katılımcıların yanıtları incelenmelidir.

Tablo 40

PFBT'deki Soru 6'ya Verilen Yanıtlar

Katılımcı	Ön Testteki Yanıtı	Son Testteki Yanıtı
FÖ1	-	Kuarklar ve elektron
FÖ2	Fermiyonlar ve bozonlar	Fermiyonlar (Kuarklar ve Leptonlar), Bozonlar (foton,gluon,W ve Z ,Higgs)
FÖ3	-	Kuarklar ve elektron
FÖ4	Kuarklar ve leptonlar	Kuarklar ve elektron
FÖ5	-	Elektron, u ve d kuarkı daha alt parçacıklara bölünemeyen parçacıklardır
FÖ6	Elektron, proton, nötron ayrıca proton ve nötronu oluşturan kuarklar	Elektronla proton ve nötronu oluşturan kuarklar
FÖ7	Proton ve nötronun içindeki up ve down kuarklar. Ayrıca bir lepton olan elektron bulunur	Proton ve nötronun içindeki up ve down quarklar. Ayrıca bir lepton olan elektron bulunur
FÖ8	Kuarklar ve leptonlar	Kuarklar ve elektron
FÖ9	Standart Modele göre 3 ayrı familya bulunur: kuarklar, leptonlar ve temel kuvvetlerden sorumlu olan bozonlar. Atom altında çekirdek, proton, nötron ve bunların da altında çeşitli kuarklar, elektronlar (lepton familyasındadır) ve uygulanan kuvvete göre bozonlar bulunabilir	Nötron, proton, elektron. Nötron ve protonun içerisinde quarklar
FÖ10	Proton nötron ve elektronlar	Kuarklar, elektron.
FÖ11	Fermiyonlar ve bozonlar	Kuarklar ve leptonlar
FÖ12	-	Kuarklar ve leptonlar. Proton ve nötronun içerisinde kuarklar vardır, çekirdek etrafında ise elektron vardır.
FÖ13	5 temel parçacık vardır.	kuarklar (6 adet), leptonlar (6 adet), bozonlar (6 adet)=standart model. Atomun içinde proton ve nötronu oluşturan kuarklar ve leptonlardan elektron var.
FÖ14	-	e -p- n – kuarklar
FÖ15	Proton, nötron, elektron, kuarklar,	Kuarklar ve elektronlar

	mezonlar, baryonlar	
FÖ16	Kuark, lepton ve bozonlar	Kuarklar ve leptonlar
FÖ17	Elektron temel parçacık ve proton ve nötronun içindeki kuarklar bulunulabilir.	Kuarklar ve elektron
FÖ18	Proton, Nötron ve elektron	Kuark ve leptonlar
FÖ19	Kuarklar, leptonlar, aracı parçacıklar	Kuarklar, leptonlar
FÖ20	Fermiyonlar – Bozonlar	Kuarklar – Leptonlar
FÖ21	-	Kuarklar ve elektronlar
FÖ22	-	Kuarklar ve elektronlar
FÖ23	Proton nötron elektron	Kuarklar leptonlar

Tablo 40 incelendiğinde PFBT'nin Standart Model'e göre atomun içerisindeki temel parçacık gruplarının sorulduğu Soru 6'ya öntestte FÖ4, FÖ8 ve FÖ9'un atomun içerisinde bulunan temel parçacık olarak tüm leptonları cevap olarak belirtmeleriyle kısmen doğru cevap vermiştir. Katılımcılar leptonlar sınıfına yönelik elektronları kastetmiş olsa da, yalnızca leptonlar yazılması nedeniyle doğru olarak değerlendirilmemiştir. FÖ10 elektron, FÖ15 kuarklar ve elektron, FÖ16 kuarklar, FÖ18 elektron, FÖ19 kuarklar, FÖ21 ise elektron cevabının yanısıra yanlış açıklamalarda bulunmaları nedeniyle kısmen doğru cevap vermiştir. Sontestte ise katılımcılar leptonlar grubundan yalnızca elektronu yazmaları nedeniyle cevapları kısmen doğru kategorisinden doğru kategorisine geçtiği görülmektedir. FÖ2 ise hem ön hem de son testte parçacıkları spin özelliğine göre sınıflandırılan fermiyon ve bozon cevabını verdiği görülmektedir. Bunun nedeni olarak FÖ2'nin hem ön hem de son testte PFBT'nin 6. sorusunu Standart Model'e göre atomun içerisinde hangi parçacıkların olduğunu değil, Standart Model'deki tüm parçacık gruplarının sorulduğunu anlayarak cevapladığı düşünülmektedir. FÖ10, FÖ12, FÖ15, FÖ17, FÖ21 ve FÖ22'nin kuark ve elektron açıklamasıyla doğru cevap verdikleri görülmektedir. FÖ11, FÖ12, FÖ16, FÖ18, FÖ19, FÖ20 ve FÖ23'ün ise kuarkların yanı sıra leptonlar cevabı kısmen doğru olarak belirlenmiştir. Elektronun lepton grubundan olması nedeniyle katılımcıların bunu kastettikleri düşünülse de, kısmen doğru cevap olarak belirlenmiştir.

PFBT'nin 7. sorusuna verilen yanıtlara ait kategoriler Tablo 41'de verilmektedir.

Tablo 41

Katılımcıların Soru 7'ye Ait Ön ve Son Test Yanıtlarının Kategorilere Göre Dağılımı

	Ön Test				Son Test			
Kategori	D	KD	Y	C	D	KD	Y	C
Frekans	16	-	1	6	23	-	-	-
Katılımcı	FÖ1… FÖ4 FÖ7… FÖ11 FÖ13 FÖ15… FÖ17 FÖ19 FÖ20 FÖ22	-	FÖ18	FÖ5 FÖ6 FÖ12 FÖ14 FÖ21 FÖ23	FÖ1… FÖ23	-	-	-

Tablo 41 incelendiğinde ön testte 16, son testte ise katılımcıların tamamının soruya yönelik doğru açıklamalarda bulunduğu görülmektedir. PFBT'deki Soru 7'ye ön ve son testte verilen yanıtların çeşitliliği hakkında daha ayrıntılı yorum yapmak için Tablo 42 incelenmelidir.

Tablo 42

PFBT'deki Soru 7'ye Verilen Yanıtlar

Katılımcı	Ön Testteki Yanıtı	Son Testteki Yanıtı
FÖ1	6 kuark ve bunların anti kuarkları	6 kuark ve bunların anti kuarkları
FÖ2	6 çeşit	6 çeşit kuark (u,d,c,s, t,b)
FÖ3	6 adet	6 adet
FÖ4	6 çeşit	6 çeşit
FÖ5	-	6 adet
FÖ6	-	Yukarı, aşağı, tılsım, garip, üst, alt olmak üzere 6 çeşit.
FÖ7	6 tane kuark vardır. Yukarı-aşağı, tılsımlı-garip, üst-alt	6 tane quark vardır. Yukarı-aşağı, tılsımlı-garip, üst-alt
FÖ8	Yukarı-aşağı, üst-alt, sihirli-acayiplik	6 çeşit, bir de bunların anti kuarkları bulunmaktadır.
FÖ9	Standart modele göre up-down, charm-strange, top-bottom olmak üzere 6 ve bunları anti-kuarklarıyla birlikte toplam 12 kuark bulunur.	6 çeşit bulunur. Top, bottom, up, down, strange, charm

FÖ10	6 çeşit kuark vardır. Yukarı aşağı tılsım acayip üst alt	6 çeşit kuark vardır.
FÖ11	6 çeşit aşağı yukarı acayip tılsımlı alt üst	6 çeşit aşağı yukarı acayip tılsımlı alt üst
FÖ12	-	6 çeşit aşağı yukarı acayip tılsımlı alt üst ve onların antileri
FÖ13	6 çeşit kuark vardır. Yukarı, aşağı, acayip, sihirli, tepe, dip	6 çeşit kuark vardır. yukarı, aşağı, tılsımlı, acayi, alt, üst kuarklar. kuarkların yükleri, kütleleri ve renkleri vardır. yükleri 2/3 ve 1/3 şeklindedir.
FÖ14	-	6 çeşit kuark vardır: u,d, s, b, t, c
FÖ15	6 çeşit kuark vardır: u,d, s, b, t, c	6 çeşit kuark vardır: u,d, s, b, t, c
FÖ16	6. Yukarı, aşağı, tılsım, garip, üst, alt	u, d, c, s, t, b ve anti u,d,c,s,t,b
FÖ17	6 tane	6 tane var bir de bunların anti kuarkları var.
FÖ18	Standart modelin kuark kavramını ileri sürdüğünü sanmıyorum	Temelde 6 kuark vardır (u, d, t, b, c, s). Ancak renk kuantumu dahil edilirse (kırmızı, yeşil, mavi) 18 çeşit kuark vardır. Ayrıca kuarklar kütle değerlerine göre 3 nesildir.
FÖ19	Up, down, charmed, top, bottom, strange olarak 6 kuark ve bunların anti kuarkları	Up down charmed top bottom strange ve anti kuarkları
FÖ20	6 Çeşit (Yukarı - Aşağı - Tılsım - Tuhaf - Üst - Alt)	6 Çeşit (Yukarı – Aşağı – Tılsım – Tuhaf – Alt – Üst)
FÖ21	-	6 kuark u, d, t, b, c, s
FÖ22	6 kuark u, d, t, b, c, s	6 kuark u, d, t, b, c, s
FÖ23	-	6

Tablo 42 incelendiğinde PFBT'deki Soru 7 için ön testte FÖ2, FÖ3, FÖ4 ve FÖ17 yalnızca kuarkların sayısından bahsetmiştir. FÖ1 ve FÖ9 kuark ve antikuarktan da bahsetmiştir. FÖ7, FÖ8, FÖ9, FÖ10, FÖ11, FÖ13, FÖ15, FÖ16, FÖ19, FÖ22 ve FÖ23 kuarkların isimlerinden de bahsetmiştir. FÖ1, FÖ3, FÖ4, FÖ7, FÖ11, FÖ15, FÖ20 ve FÖ22 hem ön hem de son testte aynı cevapları vermiştir. FÖ2, FÖ11, FÖ14, FÖ15, FÖ19, FÖ20, FÖ21 ve FÖ22 kuarkların isimlerinden; FÖ8, FÖ16 ve FÖ17 antikuarktan; FÖ13 ile FÖ18 ise renk yükünden bahsederek doğru olan cevabını zenginleştirmiştir. Son testte FÖ2 kuarkların isimlerinden bahsederek son testte verdikleri cevaplarda daha fazla ayrıntıya yer vermiştir. FÖ9 ise son testte antikuarklardan bahsetmeyerek, ön testte verdiği cevaptan daha az ayrıntılı bir cevap yazmıştır.

PFBT'nin 8. sorusuna verilen yanıtlara ait kategoriler Tablo 43'te verilmektedir.

Tablo 43

Katılımcıların Soru 8'e Ait Ön ve Son Test Yanıtlarının Kategorilere Göre Dağılımı

	Ön Test				Son Test			
Kategori	D	KD	Y	C	D	KD	Y	C
Frekans	14	5	-	4	23	-	-	-
Katılımcı	FÖ1 FÖ2 FÖ4 FÖ6… FÖ9 FÖ11 FÖ16… FÖ19 FÖ21 FÖ22	FÖ3 FÖ10 FÖ13 FÖ20 FÖ23	-	FÖ5 FÖ12 FÖ14 FÖ15	FÖ1… FÖ23	-	-	-

Tablo 43 incelendiğinde ön testte 14, son testte ise katılımcıların tamamı soruya yönelik doğru açıklamalarda bulunmuştur. Ön testte FÖ3, FÖ10, FÖ13, FÖ20 ve FÖ23 kısmen doğru açıklamalarda bulunurken; FÖ5, FÖ12, FÖ14 ve FÖ15 ise soruya yönelik herhangi bir açıklamada bulunmamıştır. Katılımcıların ön ve son testteki açıklamaları hakkında daha ayrıntılı yorum için Tablo 44'teki yanıtlar incelenmelidir.

Tablo 44

PFBT'deki Soru 8'e Verilen Yanıtlar

Katılımcı	Ön Testteki Yanıtı	Son Testteki Yanıtı
FÖ1	güçlü nükleer, zayıf nükleer, kütleçekim kuvveti	güçlü nükleer, zayıf nükleer, kütleçekim kuvveti
FÖ2	güçlü nükleer, zayıf nükleer, kütleçekim kuvveti	güçlü nükleer, zayıf nükleer, kütleçekim kuvveti
FÖ3	güçlü nükleer, zayıf nükleer, elektromanyetik kuvvet	güçlü nükleer, zayıf nükleer, kütleçekim kuvveti
FÖ4	güçlü nükleer, zayıf nükleer, kütleçekim kuvveti	güçlü nükleer, zayıf nükleer, kütleçekim kuvveti
FÖ5	-	güçlü nükleer, zayıf nükleer, kütleçekim kuvveti
FÖ6	güçlü nükleer, zayıf nükleer, kütleçekim kuvveti	güçlü nükleer, zayıf nükleer, kütleçekim kuvveti
FÖ7	güçlü nükleer, zayıf nükleer, kütleçekim kuvveti	güçlü nükleer, zayıf nükleer, kütleçekim kuvveti
FÖ8	güçlü nükleer, zayıf nükleer,	güçlü nükleer, zayıf nükleer,

	kütleçekim kuvveti	kütleçekim kuvveti
FÖ9	güçlü nükleer, zayıf nükleer, kütleçekim kuvveti	güçlü nükleer, zayıf nükleer, kütleçekim kuvveti
FÖ10	X güçlü nükleer kuvvet, Y elektromanyetik kuvvet, Z kütle çekim kuvveti	X güçlü nükleer kuvvet, Y Zayıf Nükleer kuvvet, Z kütle çekim kuvveti
FÖ11	X güçlü nükleer kuvvet, Y Zayıf Nükleer kuvvet, Z kütle çekim kuvveti	X güçlü nükleer kuvvet, Y Zayıf Nükleer kuvvet, Z kütle çekim kuvveti
FÖ12	-	X: Güçlü nükleer kuvvettir (Kuarklar arası kuvvet menzili kısa), Y: zayıf nükleer kuvvettir (bozulmadan sorumlu kısa menzillidir), Z: Kütle çekim kuvvetidir (büyük kütleler arasında uzun menzillidir).
FÖ13	X güçlü nükleer kuvvet, Y elektromanyetik kuvvet, Z kütle çekim kuvveti	X güçlü nükleer kuvvet, Y Zayıf Nükleer kuvvet, Z kütle çekim kuvveti
FÖ14	-	X güçlü nükleer kuvvet, Y Zayıf Nükleer kuvvet, Z kütle çekim kuvveti
FÖ15	-	X: Güçlü nükleer kuvvet (atom çekirdeğindeki proton ve nötronları bir arada tutan kuvvet), Y: Zayıf Nükleer kuvvet, Z: Kütle çekim kuvvet
FÖ16	X güçlü nükleer kuvvet, Y Zayıf Nükleer kuvvet, Z kütle çekim kuvveti	X güçlü nükleer kuvvet, Y Zayıf Nükleer kuvvet, Z kütle çekim kuvveti
FÖ17	X güçlü nükleer kuvvet, Y Zayıf Nükleer kuvvet, Z kütle çekim kuvveti	X güçlü nükleer kuvvet, Y Zayıf Nükleer kuvvet, Z kütle çekim kuvveti
FÖ18	X güçlü nükleer kuvvet, Y Zayıf Nükleer kuvvet, Z kütle çekim kuvveti	X güçlü nükleer kuvvet, Y Zayıf Nükleer kuvvet, Z kütle çekim kuvveti
FÖ19	X yeğin kuvvet, Y zayıf çekirdek kuvvet, Z kütle çekim kuvveti	X güçlü nükleer kuvvet, Y Zayıf Nükleer kuvvet, Z kütle çekim kuvveti
FÖ20	X-Çekirdek Kuvveti, Y: Alfa Beta Gama Bunumu (URANYUM 238), Z-Çekirdekteki kararsızlık	X-Çekirdek Kuvveti, Y-Kararsız olan çekirdeklerin Alfa Beta Gama Bozunumu yaparak kararlı hale geçmeleri Bu olayda tetikleme nötronları protona oranındaki artış. Z-Kütle Çekim Kuvveti. Glashow, Salam ve Weinberg tarafından geliştirildi. Nedeni hakkında fikrim yok

FÖ21	X güçlü nükleer kuvvet, Y Zayıf Nükleer kuvvet, Z kütle çekim kuvveti	X güçlü nükleer kuvvet, Y Zayıf Nükleer kuvvet, Z kütle çekim kuvveti
FÖ22	X güçlü nükleer kuvvet, Y Zayıf Nükleer kuvvet, Z kütle çekim kuvveti	X güçlü nükleer kuvvet, Y Zayıf Nükleer kuvvet, Z kütle çekim kuvveti
FÖ23	X, güçlü nükleer kuvvet, Y, zayıf nükleer kuvvet, Z hakkında fikrim yok	X güçlü nükleer kuvvet, Y Zayıf Nükleer kuvvet, Z kütle çekim kuvveti

Tablo 44 incelendiğinde PFBT'nin evrendeki dört temel etkileşimlerin özellikleri hakkındaki Soru 8'de 14 katılımcı etkileşimlerin isimleri hakkında ön testte doğru tahminlerde bulunmuştur. FÖ3 ise ön testte evrendeki en düşük şiddetli etkileşimin elektromanyetik etkileşim olduğunu söyleyerek, kısmen doğru cevap vermiştir. FÖ10, FÖ13 ve FÖ23 ön testte 'Y' etkileşimi için zayıf nükleer kuvvet açıklamasıyla kısmen doğru cevap vermiştir. FÖ20 ön testte ise hem Y hem de Z için zayıf nükleer etkileşim olabileceğine dair açıklamada bulunmasıyla kısmen doğru cevap vermiştir.

PFBT'deki Soru 9'a verilen yanıtlara ait kategoriler Tablo 45'te verilmektedir.

Tablo 45

Katılımcıların Soru 9'a Ait Ön ve Son Test Yanıtlarının Kategorilere Göre Dağılımı

	Ön Test				Son Test			
Kategori	D	KD	Y	C	D	KD	Y	C
Frekans	4	-	-	19	7	4	3	9
Katılımcı	FÖ7 FÖ11 FÖ17 FÖ18	.	-	FÖ1.. FÖ6 FÖ8… FÖ10 FÖ12... FÖ16 FÖ19... FÖ23	FÖ7 FÖ8 FÖ11 FÖ13 FÖ15 FÖ17 FÖ23	FÖ12 FÖ16 FÖ21 FÖ22	FÖ9 FÖ10 FÖ18	FÖ1… FÖ6 FÖ14 FÖ19 FÖ20

Tablo 45 incelendiğinde PFBT'deki Soru 9'a ön testte 4, son testte ise 7 katılımcının doğru cevap verdiği görülmektedir. FÖ18'in ön testteki doğru cevabının son testte yanlış olması dikkat çekicidir. Bu duruma yönelik daha ayrıntılı yorum için Tablo 46'daki katılımcıların yanıtları incelenmelidir.

Tablo 46

PFBT'deki Soru 9'a Verilen Yanıtlar

Katılımcı	Ön Testteki Yanıtı	Son Testteki Yanıtı
FÖ1	-	-
FÖ2	-	-
FÖ3	-	-
FÖ4	-	-
FÖ5	-	-
FÖ6	-	-
FÖ7	Bilimsel doğruları ispat etmek için gerekli teknolojinin geç ortaya çıkmasından dolayı geç gözlenmiş olabilir.	Bilimsel doğruları ispat etmek için gerekli teknolojinin geç ortaya çıkmasından dolayı geç gözlenmiş olabilir.
FÖ8	-	Teknolojinin yetersiz olması
FÖ9	-	Higgs bozonu çok geç gözlemlenmiştir.
FÖ10	-	Gözlenmesi için elektromanyetik kuvvet ile zayıf nükleer kuvveti ayırt etmek gerekirdi. Bu ise zaman almıştır.
FÖ11	Parçacık hızlandırıcı sistemlerin yeterli gelişim göstermemesi	Parçacık hızlandırıcı sistemlerin yeterli gelişim göstermemesi
FÖ12	-	Geç gözlemlemelerinin nedeni parçacık hızlandırıcıya ihtiyaç duyulmasıdır.
FÖ13	-	Çünkü bu etkileşim ancak parçacıklar çok yüksek enerjiye çıktıkları anda ve enerjileri aynı ise ortaya çıkmaktadır. Bu sebeple keşfedilmesi güç olmuş.
FÖ14	-	-
FÖ15	-	Yeteri kadar güçlü hızlandırıcıların olmaması olabilir
FÖ16		Teknolojik yetersizlik
FÖ17	O dönemde parçacıkları çarptırıp taşıyıcı parçacıkları elde edecek kadar enerji sağlayan bir çarpıştırıcı olmadığındandır.	O dönemde parçacıklar arasındaki bu etkileşimi görecek enerjiyi üreten bir çarpıştırıcı olmaması.
FÖ18	Güçlü parçacık hızlandırıcıların henüz yapılmamış olması	Her kuvvet farklı davrandığı için, bunların tek bir kuramda birleştirilmesi kolay bir iş değildi. Kütleçekim kuvvetinin diğer üç temel kuvvetten farklı bir yapısı

		vardı ve kütleçekimin kuantum kuramı bir türlü kurulamamıştır.
FÖ19	-	-
FÖ20	-	-
FÖ21	-	Teknolojiden dolayı
FÖ22	-	Parçacık hızlandırıcıların henüz yapılmamış olması
FÖ23	-	O kadar yüksek enerjili hızlandırıcının yapılmamış olması

Tablo 46 incelendiğinde PFBT'de parçacık fiziğinde bazı kuramlarda yaşanan gecikme hakkındaki Soru 9'a ön testte yalnızca FÖ7, FÖ11, FÖ17 ve FÖ18'in doğru açıklamalarda bulunduğu görülmektedir. FÖ7 parçacık fiziği alanındaki kuramlarda yaşanan gecikmenin hızlandırıcı teknolojileriyle ilgili olmasına yönelik açıklamasını son testte de değiştirmemiştir. Her dört katılımcı da hızlandırıcı teknolojisindeki gelişmelere vurgu yaptığı görülmektedir. FÖ12 yalnızca hızlandırıcılara ihtiyaç olduğundan bahsedip yüksek enerji gerektiğinden bahsetmeyerek kısmen doğru cevap vermiştir. Son testte Higgs bozonunun çok geç gözlemlenmesi açıklamasıyla FÖ9'un cevabı yanlış olarak belirlenmiştir. FÖ18 son testte büyük birleşme kuramından bahsederek, ön testte doğru olan cevabı son testte yanlış olarak değişmiştir. FÖ22 son testte parçacık hızlandırıcıların olmadığından bahsetmiş ancak yeterince yüksek enerjili parçacık hızlandırıcının olmamasından behsetmeyerek kısmen doğru cevap vermiştir.

PFBT'deki Soru 10'a verilen yanıtlara ait kategoriler Tablo 47'de verilmektedir.

Tablo 47

Katılımcıların Soru 10'a Ait Ön ve Son Test Yanıtlarının Kategorilere Göre Dağılımı

	Ön Test				Son Test			
Kategori	D	KD	Y	C	D	KD	Y	C
Frekans	15	1	1	6	23	-	-	-
Katılımcı	FÖ1… FÖ4 FÖ6… FÖ9 FÖ11 FÖ13 FÖ16.. FÖ19 FÖ22	FÖ20	FÖ10	FÖ5 FÖ12 FÖ14 FÖ15 FÖ21 FÖ23	FÖ1… FÖ23	-	-	-

Tablo 47 incelendiğinde ön testte 15 katılımcının doğru cevap verdiği görülmektedir. Son testte ise tüm katılımcılar soruya yönelik doğru açıklamalarda bulunmuştur. Katılımcıların cevaplarındaki açıklamalar hakkında daha ayrıntılı bilgi sahibi olmak için Tablo 48'deki yanıtlar incelenmelidir.

Tablo 48

PFBT'deki Soru 10'a Verilen Yanıtlar

Katılımcı	Ön Testteki Yanıtı	Son Testteki Yanıtı
FÖ1	Güçlü nükleer kuvvet ve taşıyısı gluon sayesinde	Güçlü nükleer kuvvet ve taşıyısı gluon sayesinde
FÖ2	Güçlü nükleer kuvvetin taşıyıcısı olan gluonlar sayesinde	Güçlü nükleer kuvvet-Gluon
FÖ3	Güçlü nükleer kuvvet	Güçlü nükleer kuvvetin taşıyıcı parçacığı gluon sayesindedir.
FÖ4	Protonların bir arada kalmasını sağlayan güçlü nükleer kuvvettir	Protonlar çekirdek içerisindedir. Kuarklar arası gluonlar güçlü nükleer kuvvet sayesinde bir arada kalırlar.
FÖ5	-	Kuarklar arasındaki güçlü nükleer kuvvet sayesindedir.
FÖ6	Güçlü nükleer kuvvet	Gluon kuvvet taşıyıcıları ya da güçlü nükleer etkileşim.
FÖ7	Güçlü nükleer kuvvet taşıyıcı parçacığı gluonlarla, proton ve nötronu birbirine bağlar.	Güçlü nükleer kuvvet taşıyıcı parçacığı gluonla proton ve nötronu birbirine bağlar.
FÖ8	Güçlü nükleer kuvvetlerdir. Kuarklar arasındaki bu kuvvet protonları ve nötronları bir arada tutar.	Güçlü nükleer kuvvet ve gluonlar
FÖ9	Güçlü nükleer kuvvet proton ve nötronların birbirine tutunmasını sağlar.	Güçlü nükleer kuvvetin parçacığı gluonlar
FÖ10	Kuarklar	Protonları oluşturan kuarkların birbirine güçlü nükleer kuvvetleri ile bağlı olmaları elektromanyetik kuvvetin etkisinin çok daha az olması
FÖ11	Güçlü nükleer kuvvet. Kararlı çekirdek	Güçlü nükleer kuvvetin taşıyıcı parçacığı gluonlar sayesinde
FÖ12	-	Gluonlar elektromanyetik etkileşimden çok daha etkili
FÖ13	Güçlü nükleer kuvvet elektromanyetik kuvvetten büyük olduğu için bir arada kalabilir.	Güçlü nükleer kuvvet sayesinde, elektromanyetik kuvvetin etkisi yenilir ve parçacıklar bir arada kalır.
FÖ14	-	Güçlü nükleer kuvvet sayesinde, gluonlar.

FÖ15	-	Güçlü nükleer kuvvet, gluon
FÖ16	Güçlü nükleer kuvvet	Güçlü nükleer kuvvetin parçacığı olan gluonlar sayesinde
FÖ17	Nötronlar nötr parçacıklardır. Çekirdek içindeki parçacıkları bir arada tutan kuvvetler nükleer kuvvetler bu kuvvetlerden etkisi en büyük olan güçlü nükleer kuvvettir.	Nötronlar nötr parçacıklardır. Protonlar ve nötronları proton nötronları bir arada tutan güçlü nükleer kuvvettir. Gluonlardır.
FÖ18	Güçlü nükleer kuvvetler elektriksel ve manyetik kuvvetlerden coooook daha büyüktür	Protonlar arasındaki elektromanyetik kuvvet proton-nötron etkileşimindeki güçlü nükleer kuvvetlere göre zayıf kalmaktadır.
FÖ19	Güçlü nükleer kuvvet yani yeğin kuvvet	Güçlü çekirdek kuvvetin aracı parçacığı gluon sağlar.
FÖ20	Protonlar ile nötronlar arasındaki güçlü çekim kuvveti. Yüklü cisimler yüksüz cisimleri çeker.	Proton ve nötronun içlerinde gluonlar bulunur ve bunlar arasında güçlü nükleer çekim kuvveti bunların bir arada kalmasını sağlar.
FÖ21	-	Güçlü nükleer kuvvet gluonlar
FÖ22	Güçlü nükleer kuvvet	Güçlü nükleer kuvvet
FÖ23	-	Proton ve nötronlar kuarklardan oluşur. Bunlar arasında da gluonlar vardır. Güçlü nükleer kuvvet sayesindedir.

Tablo 48 incelendiğinde PFBT'deki Soru 10'da ön testteki açıklamalarda FÖ3, FÖ4, FÖ6, FÖ8 ve FÖ9 çekirdeğin parçalanmadan protonların birarada bulunma sebebi olarak güçlü nükleer kuvvet cevabını vermektedir. FÖ1 ve FÖ2 ise ön testte güçlü nükleer kuvvet açıklamasının yanı sıra, bu kuvvetin taşıyıcı parçacığı olan gluonlardan da bahsetmektedir. FÖ1 ve FÖ2 ise hem ön hem de son testte doğru açıklamalarda bulunduğu cevabını değiştirmediği görülmektedir. Son testte yalnızca FÖ5 ve FÖ22 güçlü nükleer kuvvet açıklamasını yaparken, diğer katılımcılar ise hem güçlü nükleer kuvvetten hem de taşıyıcı parçacığı olan gluonlardan bahsetmiştir. Son testte katılımcıların güçlü nükleer kuvvetin yanısıra gluonlardan behsetmesi, 6. etkinlik olarak uygulanan 'Etkileşimlerin Doğası'nın etkisi olduğu söylenebilir. Katılımcılar cevap açıklamalarında güçlü nükleer kuvvetin elektromanyetik kuvvetten oldukça büyük şiddette olduğundan bahsetmektedir. FÖ20 ön testte güçlü nükleer kuvvetten bahsetmesine rağmen, bu kuvvetin proton ile nötron arasındaki çekim kuvveti olduğunu belirterek yanlış cevap vermiştir. FÖ10 ise yalnızca 'kuarklar' açıklamasını yaparak yanlış cevap vermiştir. Son testte ise katılımcıların tamamının soruya yönelik doğru açıklamalarda bulunduğu görülmektedir. FÖ21'in hem ön hem de son testte verdiği doğru cevabı değiştirmediği görülmektedir. FÖ10, FÖ13 ve

FÖ18'in doğru cevaplarında ön testte olduğu gibi son testte de güçlü nükleer kuvvetin elektromanyetik kuvvetten oldukça büyük şiddeti olduğundan bahsetmektedir.

PFBT'deki Soru 11'e verilen yanıtlara ait kategoriler Tablo 49'da verilmektedir.

Tablo 49

Katılımcıların Soru 11'e Ait Ön ve Son Test Yanıtlarının Kategorilere Göre Dağılımı

	Ön Test				Son Test			
Kategori	D	KD	Y	C	D	KD	Y	C
Frekans	6	2	4	11	15	5	1	2
Katılımcı	FÖ2 FÖ4 FÖ7 FÖ13 FÖ17 FÖ20	FÖ6 FÖ8	FÖ1 FÖ10 FÖ11 FÖ18	FÖ3 FÖ5 FÖ9 FÖ12 FÖ14… FÖ16 FÖ19 FÖ21… FÖ23	FÖ1… FÖ4 FÖ7 FÖ11.. FÖ13 FÖ15 FÖ18… FÖ23	FÖ5 FÖ6 FÖ8 FÖ9 FÖ17	FÖ14	FÖ10 FÖ16

Tablo 49 incelendiğinde ön testte 6, son testte 15 katılımcının doğru açıklamalarda bulunduğu görülmektedir. Ön testte 11 katılımcı soruyu cevapsız bırakırken, son testte ise 2 katılımcı soruyu cevapsız bırakmıştır. Ön testte 4 katılımcı, son testte ise yalnızca FÖ14 yanlış cevap vermiştir. FÖ16 hem ön hem de son testte soruyu cevapsız bırakmıştır. Bu duruma yönelik daha ayrıntılı yorum için Tablo 50'deki yanıtlar incelenmelidir.

Tablo 50

PFBT'deki Soru 11'e Verilen Yanıtlar

Katılımcı	Ön Testteki Yanıtı	Son Testteki Yanıtı
FÖ1	X: Karanlık madde	X karanlık enerji, Y karanlık madde, Z atomlar
FÖ2	X: Karanlık enerji, Y: Karanlık madde, Z: Bilinen madde	X karanlık enerji, Y karanlık madde, Z bilinen madde
FÖ3	-	X: karanlık enerji, Y: karanlık madde, Z: normal madde
FÖ4	X: karanlık enerji, Y: karanlık madde, Z: normal madde	X: karanlık enerji, Y: karanlık madde, Z: normal madde
FÖ5	-	X: karanlık madde, Y: karanlık madde, Z: normal madde
FÖ6	X: karanlık madde ya da boşluk, Y: anti	X: Karanlık madde veya karanlık enerji,

	madde, Z: madde	Y: anti madde, Z: madde
FÖ7	X: karanlık enerji, Y: Karanlık madde, Z: Maddesel evren (yıldızlar, gezegenler…)	X: karanlık enerji, Y: Karanlık madde, Z: Maddesel evren (yıldızlar, gezegenler…)
FÖ8	X: anti madde, Y: karanlık madde, Z: madde	X: anti madde, Y: karanlık madde, Z: madde
FÖ9	-	X: anti madde, Y: karanlık madde, Z: madde
FÖ10	X: Hidrojen	-
FÖ11	X: Karanlık madde	X: Karanlık enerji, Y: Karanlık madde, Z: Görünür evren
FÖ12	-	Z bildiğimiz gördüğümüz maddesel ortam, Y karanlık madde, X karanlık enerji
FÖ13	Z: atom, Y: karanlık madde, X: karanlık enerji	X karanlık enerji, Y karanlık madde, Z atom
FÖ14	-	X kozmik parçacık, Y kara madde, Z anti madde olabilir
FÖ15	-	X: karanlık enerji, Y: karanlık madde, Z:bilinen madde
FÖ16	-	-
FÖ17	X karanlık enerji Y karanlık madde z ise madde	X: karanlık enerji Y: Anti madde Z: madde
FÖ18	X, anti madde, Y, fikrim yok, Z, fikrim yok	X: Karanlık enerji, Y: Karanlık madde, Z: Normal madde
FÖ19	-	X karanlık enerji, Y karanlık madde, Z madde
FÖ20	Z Gözlemlenir madde, X Karanlık Enerji, Y karanlık Madde	Z: Gözlemlenir Madde, X: Karanlık Enerji, Y: Karanlık Madde
FÖ21	-	X: karanlık enerji, Y: karanlık madde, Z: bilinen madde
FÖ22	-	X karanlık enerji, Y karanlık madde, Z yıldızlar gezegenler gökcisimleri vs.
FÖ23	-	X: karanlık enerji, Y: karanlık madde, Z: bilinen madde

Tablo 50 incelendiğinde PFBT'deki evrendeki yüzdesi verilen kavramların isimlerinin istendiği Soru 11'i ön testte 11 katılımcının cevaplamadığı görülmektedir. Son testte bu katılımcılardan FÖ3'ün cevabı doğru olarak değişmişken, FÖ5 ve FÖ9 ise X hakkında yanlış açıklamalarda bulunarak kısmen doğru kategoride bir cevap sunmuştur. FÖ8 hem ön hem de son testte X olarak verilen kavramın antimadde olduğu açıklamasıyla kısmen doğru kategorideki cevabını tekrarlamıştır. FÖ2, FÖ4 ve FÖ7 soruya yönelik doğru olan

açıklamalarını değiştirmeyerek, hem ön hem de son testte aynı açıklamalarda bulunmuştur. FÖ10 ön testte sadece X için hidrojen açıklaması yaparak yanlış cevap vermiş, son testte ise hiçbir cevap vermemiştir.

PFBT'deki Soru 12'ye verilen yanıtlara ait kategoriler Tablo 51'de verilmektedir.

Tablo 51

Katılımcıların Soru 12'ye Ait Ön ve Son Test Yanıtlarının Kategorilere Göre Dağılımı

	Ön Test				Son Test			
Kategori	D	KD	Y	C	D	KD	Y	C
Frekans	10	6	-	7	22	-	-	1
Katılımcı	FÖ1 FÖ3 FÖ7… FÖ9 FÖ13 FÖ17 FÖ19 FÖ20 FÖ22	FÖ6 FÖ10 FÖ11 FÖ15 FÖ16 FÖ18	-	FÖ2 FÖ4 FÖ5 FÖ12 FÖ14 FÖ21 FÖ23	FÖ1… FÖ19 FÖ21… FÖ23	-	-	FÖ20

Tablo 51 incelendiğinde ön testte 10 katılımcı, son testte ise FÖ20 hariç katılımcıların tamamının doğru açıklamalarda bulunduğu görülmektedir. Ön testte kısmen doğru açıklamalarda bulunan ya da soruyu cevapsız bırakan katılımcıların, son testte ise doğru açıklamalarda bulunduğu görülmektedir. FÖ20'nin ön testte doğru cevap verdiği, son testte ise soruyu cevaplamadığı görülmektedir. Bu duruma yönelik daha ayrıntılı yorum için Tablo 52'deki yanıtlar incelenmelidir.

Tablo 52

PFBT'deki Soru 12'ye Verilen Yanıtlar

Katılımcı	Ön Testteki Yanıtı	Son Testteki Yanıtı
FÖ1	I→atom, II→ çekirdek, III→proton veya nötron, IV→elektron, V→kuarklar	I→atom, II→ çekirdek, III→proton veya nötron, IV→elektron, V→kuarklar
FÖ2	-	I→atom, II→ çekirdek, III→proton, IV→elektron, V→kuarklar
FÖ3	I→atom, II→ çekirdek, III→proton, IV→elektron, V→kuarklar	I→atom, II→ çekirdek, III→proton/nötron, IV→elektron, V→kuarklar
FÖ4	-	I→atom, II→çekirdek, III→proton,

		IV→elektron, V→kuarklar
FÖ5	-	I→atom, II→çekirdek, III→proton, IV→elektron, V→kuarklar
FÖ6	I →atom modeli, II → çekirdek III→ kuark, IV→ elektron, V→ mezon	I→atom, II→çekirdek, III→baryon, IV→elektron, V→kuarklar
FÖ7	I→atom, II→çekirdek, III→baryon (proton veya nötron), IV→elektron, V→kuarklar	I→atom modeli, II→ çekirdek, III→baryon, IV→elektron, V→kuarklar
FÖ8	I→atom, II→ çekirdek, III→baryon (proton veya nötron), IV→elektron, V→kuarklar	I→atom, II→ çekirdek, III→baryon (proton veya nötron), IV→elektron, V→kuarklar
FÖ9	I→atom, II→ çekirdek, III→baryon IV→elektron, V→kuark	I→atom, II→ çekirdek, III→baryon IV→elektron, V→kuark
FÖ10	I Atom, II Çekirdek, IV Elektron, V Kuark	1 Atom, 2 Çekirdek, 3 Proton, 4 elektron, 5 kuark
FÖ11	1 atom modeli, 2 çekirdek, 4 elektron, 5 proton	1 atom, 2 çekirdek, 3 proton ya da nötron, 4 elektron, 5 kuarklardan biri
FÖ12	-	1. Atom, 2. Çekirdek, 3. Proton, 4. Elektron, 5. Kuark
FÖ13	I atom, II atom çekirdeği, III proton, IV elektron, V kuark	I atom, II çekirdek, III proton, IV elektron, V kuark
FÖ14	-	1 atom, 2cekirdek, 3kuarklar, 4 elektron, 5 kuark
FÖ15	I atom, II çekirdek, III fikrim yok, IV elektron	I: Atom, II: Çekirdek, III. Proton, Iv: Elektron, V: Kuark
FÖ16	1 atom, 2cekirdek, 3 proton, 4kuark	1 atom, 2 çekirdek, 3 proton yada nötron, 4 kuark, 5 elektron
FÖ17	1 atom 2 çekirdek 3 nükleon 4 elektron 5 kuark	1-Atom 2-Çekirdek 3- Nükleon (proton veya nötron) 4-elektron 5-d kuark
FÖ18	I, atom II. Çekirdek III. Proton IV. Kuark	I. Atom II. Çekirdek III. Baryon (üçlü kuark) IV. Elektron V. Kuark
FÖ19	1atom 2 çekirdek 3baryon 4elektron 5 kuark	1atom 2 çekirdek 3baryon 4elektron 5 kuark
FÖ20	I-Atom 2-Çekirdek (Proton ve Nötronlar) 3-Kuarklar 4-Elektron V-Kuark	
FÖ21	-	I. Atom II. Çekirdek III. Baryon IV.Elektron V. Kuark
FÖ22	I. Atom II. Çekirdek III. Baryon IV.Elektron V. Kuark	I. Atom II. Çekirdek III. Baryon IV.Elektron V. Kuark
FÖ23	-	I. Atom II. Çekirdek III. Baryon

Tablo 52 incelendiğinde PFBT'nin maddeyi oluşturan atom altı parçacıkların verilen şekilde belirtilmesi istenen Soru 12'ye hem ön hem de son testte FÖ1, FÖ8, FÖ9, FÖ13, FÖ19 ve FÖ22'nin doğru olan cevaplarını değiştirmediği görülmektedir. FÖ10, FÖ11, FÖ15, FÖ16 ve FÖ18 ise kavramlardan bazılarını yanlış tahmin ederek kısmen doğru cevaplar verdiği görülmektedir. FÖ11'in ise II. kavram olan çekirdek için proton ve nötron olarak ayrıntılı cevap verdiği halde son testte hiçbir yanıt vermediği görülmektedir. FÖ3 ön testte doğru olan açıklamasında III. kavram için proton derken, son testte protonun yanı sıra nötron olasılığını da belirterek doğru cevabını zenginleştirdiği görülmektedir. FÖ6 ön testte kısmen doğru olan açıklamasında III. kavram için kuark derken, son testte ise baryon olduğunu belirterek doğru cevaba ulaşmıştır. FÖ2, FÖ4 ve FÖ5 ön testte soruyu cevapsız bırakırken, son testte ise doğru açıklamalarda bulunmuştur. FÖ7 ön testte doğru olan açıklamasında III. kavram için proton ve nötronun baryon olduğunu belirtirken, son testte ise yalnızca baryon açıklamasını yaptığı görülmektedir.

PFBT'deki Soru 13'e verilen yanıtlara ait kategoriler Tablo 53'te verilmektedir.

Tablo 53

Katılımcıların Soru 13'e Ait Ön ve Son Test Yanıtlarının Kategorilere Göre Dağılımı

	Ön Test				Son Test			
Kategori	D	KD	Y	C	D	KD	Y	C
Frekans	9	4	3	7	21	-	1	1
Katılımcı	FÖ2 FÖ4 FÖ7 FÖ8 FÖ10 FÖ15 FÖ19 FÖ20 FÖ22	FÖ9 FÖ13 FÖ16 FÖ17	FÖ1 FÖ6 FÖ11	FÖ3 FÖ5 FÖ12 FÖ14 FÖ18 FÖ21 FÖ23	FÖ2… FÖ4 FÖ6… FÖ23	-	FÖ1	FÖ5

Tablo 53 incelendiğinde soruya ön testte 9, son testte ise 21 katılımcı doğru cevap vermiştir. Ön testte 4 katılımcı soruya kısmen doğru cevap verirken son testte ise hiçbir katılımcı soruyu kısmen doğru cevaplamamıştır. Ön testte 2, son testte ise bir katılımcı soruyu yanlış olarak cevaplamıştır. Ön testte 7, son testte ise bir katılımcı soruyu cevapsız bırakmıştır. Bu duruma yönelik daha ayrıntılı yorum için Tablo 54'teki yanıtlar incelenmelidir.

Tablo 54

PFBT'deki Soru 13'e Verilen Yanıtlar

Katılımcı	Ön Testteki Yanıtı	Son Testteki Yanıtı
FÖ1	Nötrinolar	Nötrinolar
FÖ2	Fotonlar	Fotonlar
FÖ3	-	Fotonlar
FÖ4	Kütlesiz parçacık olabilir. Fotonlar ve gluonlar kütlesiz parçacıklar olarak bilinir.	Kütlesiz parçacık olabilir. Fotonlar ve gluonlar kütlesiz parçacıklar olarak bilinir.
FÖ5	-	-
FÖ6	Maddeye kütlesini veren Higgs bozonu keşfedilmişti. Kütlesiz parçacıklar vardır illaki ama adını bilmiyorum.	Foton, gluon
FÖ7	Evet, foton kütlesiz kabul edilir çünkü Higgs bozonu ile etkileşmez.	Evet, foton kütlesiz kabul edilir çünkü Higgs bozonu ile etkileşmez.
FÖ8	Foton kütlesiz olan bir parçacık olarak kabul edilir.	Foton
FÖ9	Foton, w bozonu, z bozonu gibi bozonlar kütlesizdir.	Foton
FÖ10	Foton	Olabilir fotonlar ve gluonlar kütlesizdir.
FÖ11	Müon	Durgun kütlesi sıfır olan parçacık foton
FÖ12		Olabilir. Foton ve gluon kütlesiz bir parçacıktır.
FÖ13	Foton. Bozonlar kütlesizdir.	Foton bozon grubundan ve kütlesizdir. Kütlesiz alan parçacıklarıdır.
FÖ14	-	Higgs alanıyla etkileşmeyen foton kütlesizdir.
FÖ15	Foton	Higgs alanıyla etkileşmeyen fotondur.
FÖ16	Higgs alanına girmeyen parçacıklar	Higgs alanı ile etkileşimde bulunmayan parçacıklar. Foton
FÖ17	Bozon grubundaki parçacıklar. Foton olabilir.	Olabilir. Higgs alanıyla etkileşmeyenler vardır. Foton parçacıktır. Kütlesi yoktur.
FÖ18	-	Foton ve gluon
FÖ19	Higgs alanı ile etkileşime girmeyen parçacıklar kutlesizdir foton ve gluon	Higgs alanıyla etkileşmeyen parçacıklar kütlesizdir. Örneğin foton ve glluon.
FÖ20	Fotonlar: Kütlesi sıfır olan bozondur	Fotonlar kütlesi sıfır olan bozondur Gluonlar da kütlesi sıfır
FÖ21	-	Fotonlar Higgs alanıyla etkileşmez.
FÖ22	Foton	Foton

FÖ23	-	Foton kütlesiz başka var mı bilmiyorum

Tablo 54 incelendiğinde PFBT'nin Standart Model'e göre kütlesiz parçacığın isminin istendiği Soru 13'te hem ön hem de son testte FÖ1'in yanlış; FÖ2, FÖ4 ve FÖ7'nin ise doğru cevap açıklamalarını değiştirmediği görülmektedir. Ön testte FÖ13 foton açıklamasına rağmen tüm bozonların kütlesiz olduğunu da belirtmesiyle kısmen doğru cevap vermiştir. FÖ6 ön testte kütlesiz parçacık hakkında açıklamada bulunmaması nedeniyle yanlış cevap verirken, son testte ise foton ve gluon açıklamasıyla doğru cevabı vermiştir. Hem ön hem de son testte doğru cevaplar veren FÖ8, ön testte daha ayrıntılı bir açıklamada bulunurken son testte ise yalnızca foton cevabını vermiştir. FÖ9 foton cevabının yanısıra yanlış tahminlerde bulunarak ön testte kısmen doğru bir cevap vermiştir. Son testte ise yalnızca foton açıklamasında bulunarak doğru cevaba ulaşmıştır. FÖ16 Higgs alanına girmeyen parçacıkların kütlesiz olduğunu bilmesine rağmen bir örnek parçacık adını veremediği için kısmen doğru cevap vermiştir. FÖ17 ise bozon olan tüm parçacıkların kütlesiz olabileceğine dair yanlış bir açıklama yapmış ve foton örneğini vermiştir. Bu nedenle cevabı kısmen doğru olarak belirlenmiştir.

PFBT'deki Soru 14'e verilen yanıtlara ait kategoriler Tablo 55'te verilmektedir.

Tablo 55

Katılımcıların Soru 14'e Ait Ön ve Son Test Yanıtlarının Kategorilere Göre Dağılımı

	Ön Test				Son Test			
Kategori	D	KD	Y	C	D	KD	Y	C
Frekans	9	2	4	8	18	2	2	1
Katılımcı	FÖ1… FÖ3 FÖ7… FÖ9 FÖ18 FÖ19 FÖ22	FÖ4 FÖ13	FÖ11 FÖ16 FÖ20 FÖ23	FÖ5 FÖ6 FÖ10 FÖ12 FÖ14 FÖ15 FÖ17 FÖ21	FÖ1… FÖ3 FÖ5 FÖ7… FÖ9 FÖ11... FÖ13 FÖ16… FÖ23	FÖ4 FÖ14	FÖ6 FÖ10	FÖ15

Tablo 55 incelendiğinde ön testte 9, son testte ise 18 katılımcının soruya doğru cevap verdiği görülmektedir. Ön testte 8 katılımcı soruyu cevapsız bırakırken son testte ise yalnızca 1 katılımcı soruyu cevaplamamıştır. FÖ4 hem ön hem de son testte kısmen doğru

açıklamalarda bulunmuştur. Bu duruma yönelik daha ayrıntılı yorum için Tablo 56'daki yanıtlar incelenmelidir.

Tablo 56

PFBT'deki Soru 14'e Verilen Yanıtlar

Katılımcı	Ön Testteki Yanıtı	Son Testteki Yanıtı
FÖ1	Tau lepton grubundan temel parçacık kurklardan oluşmamış	Tau lepton grubundan temel parçacık kurklardan oluşmamış
FÖ2	Tau: Lepton grubu temel parçacık	Tau: Lepton grubu temel parçacık
FÖ3	Tau	Tau
FÖ4	Tau, Ksi, lambda	Tau, Ksi, lambda
FÖ5	-	Tau
FÖ6	-	Mezon oluşur. Yukarıdakilerin hiçbiri oluşmaz.
FÖ7	Tau çünkü o bir leptondur.	Tau çünkü o bir leptondur.
FÖ8	Tau çünkü leptonlarda kuark yoktur.	Tau çünkü leptonlarda kuark yoktur.
FÖ9	Tau	Tau lepton ailesine mensuptur, quarklardan oluşmamıştır.
FÖ10	-	Antinötronu oluşturamayız. Çünkü anti ifadesi karşılığı demektir.
FÖ11	Anti nötron	Tau
FÖ12	-	Tauyu oluşturmam, çünkü onlar kuarklardan oluşmaz, leptondur.
FÖ13	Tau olabilir. Bozonlar kuarklardan oluşmaz.	Lepton grubu kuarklardan oluşmaz, bölünemez...Tau
FÖ14	-	Tau olabilir. Bozonlar kuarklardan oluşmaz.
FÖ15	-	-
FÖ16	Yay, ksi, lambda	Tau lepton olduğu için oluşmaz. Baryonlar 3 kuarktan mezonlar iki kuarktan oluşur.
FÖ17	-	Taunun alt yapısı yoktur.
FÖ18	Tau temel parçacık	Tau lepton grubudur, temel parçacıktır, kuark yapısı yoktur.
FÖ19	Tau oluşturamayız çünkü temel parçacıktır.	Tau temel parçacıktır, kuarklardan oluşmaz.
FÖ20	Antinötron	Tau leptondur oluşturamayız.
FÖ21	-	Tau temel parçacık diğerleri bileşik
FÖ22	Tau	Tau leptondur kuarklardan oluşmaz.

FÖ23	Anti nötron	Tau

Tablo 56 incelendiğinde PFBT'de verilen parçacıklardan hangisinin temel parçacık olduğuna dair olan soruya FÖ1, FÖ2, FÖ3, FÖ7 ve FÖ8'in hem ön test hem de son testte doğru olan cevaplarındaki açıklamalarını değiştirmediği görülmektedir. FÖ4 ise hem ön hem de son testte tau cevabının yanısıra bileşik parçacık isimlerini de yazarak kısmen doğru olan cevabını değiştirmediği görülmektedir. FÖ6 ön testte soruyu cevapsız bırakırken, son testte de mezon açıklamasıyla yanlış cevaba ulaşmıştır. FÖ13 ön testte tau doğru tahminine 'Bozonlar kuarklardan oluşmaz' açıklamasını eklemesiyle kısmen doğru cevap verdiği görülmektedir. Tau bir bozon değildir. Ön testteki açıklamalarla son testteki açıklamalar karşılaştırıldığında, yanlış cevapların doğru olarak ya da doğru cevapların da zenginleşerek değiştiği görülmektedir.

PFBT'de Soru 15'e verilen yanıtlara ait kategoriler Tablo 57'de verilmektedir.

Tablo 57

Katılımcıların Soru 15'e Ait Ön ve Son Test Yanıtlarının Kategorilere Göre Dağılımı

	Ön Test				Son Test			
Kategori	D	KD	Y	C	D	KD	Y	C
Frekans	12	2	1	8	22	-	-	1
Katılımcı	FÖ1… FÖ4 FÖ6… FÖ9 FÖ11 FÖ13 FÖ19 FÖ22	FÖ16 FÖ20	FÖ10	FÖ5 FÖ12 FÖ14 FÖ15 FÖ17 FÖ18 FÖ21 FÖ23	FÖ1… FÖ4 FÖ6… FÖ23	-	-	FÖ5

Tablo 57 incelediğinde PFBT'nin madde ile antimadde arasındaki farkın istendiği Soru 15'e ön testte 12, son testte 22 katılımcının doğru cevap verdiği görülmektedir. FÖ5 hem ön hem de son testte soruyu cevapsız bırakmıştır. Bu duruma yönelik daha ayrıntılı yorum için Tablo 58'deki yanıtlar incelenmelidir.

Tablo 58

PFBT'deki Soru 15'e Verilen Yanıtlar

Katılımcı	Ön Testteki Yanıtı	Son Testteki Yanıtı
FÖ1	Yükleri	Yükleri
FÖ2	Yük ve spin	Elektrik yükleri zıt, spinleri terstir.
FÖ3	Yükleri zıttır.	Yükleri zıttır.
FÖ4	Yük işaretleri farklıdır.	Yük işaretleri farklıdır.
FÖ5	-	-
FÖ6	Yükleri farklıdır	Yük işaretleri zıttır.
FÖ7	Elektrik yükleri farklıdır	Elektrik yükleri birbirinden farklıdır.
FÖ8	Yükleri zıttır.	Yükleri zıttır. Oluşum yolları farklıdır.
FÖ9	Zıt yükleri farklıdır.	Yükleri farklıdır.
FÖ10	Yönleri farklıdır.	Yüklerinin işareti farklıdır. Renk dinamiği de farklıdır.
FÖ11	Yükleri farklıdır.	Yükleri farklıdır.
FÖ12	-	Elektrik yükleri ve renk yükleri birbirinden farklıdır.
FÖ13	Birbirinin tamamen aynı özellikte sadece yük bakımından zıttır.	Evrende her madde (parçacığın) bir karşıt parçacığı vardır. İkisi bir araya gelirse madde yok olur. Her özelliği aynıdır, yük miktarları da aynıdır, tek fark yüklerinin işaretidir.
FÖ14	-	Yükleri zıttır.
FÖ15	-	Yükleri zıttır.
FÖ16	Yükü zıt kütle ve slim ayni	Ayna simetrisi gibi düşünülebilir. Yükü terstir.
FÖ17		Yükleri farklıdır.
FÖ18	-	Yükü zıttır.
FÖ19	Yükleri ve spinlerinin yönü farklidir	Yüklerinin işareti, spinlerinin yönü
FÖ20	Birbirini simetrisi bir araya gelmeleri birbirini yok eder + ve - nin yok etmesi İsimleri başında anti bulunur	Birbirinin Simetrisi sadece işaret farkı + ise –. İsimlerinin başında Anti bulunur sadece elektronun anti parçacığı pozitron olarak isimlendirilir. Yük büyüklüğü kütleleri aynı
FÖ21	-	Yükleri farklıdır.
FÖ22	Yükleri	Yükleri
FÖ23	-	Aynı özelliklere sahiptir fakat yükleri birbirinin zıddıdır.

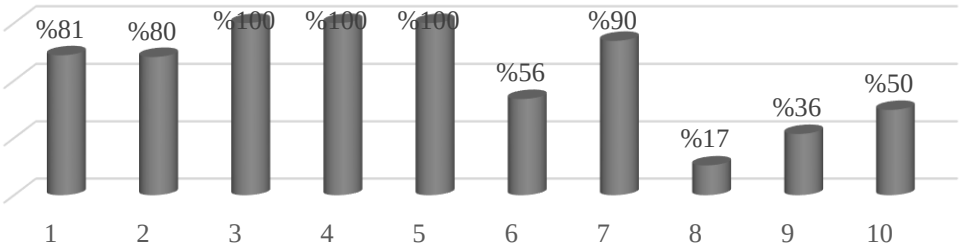
Tablo 58 incelendiğinde PFBT'nin madde ile antimadde arasındaki farkın belirtilmesi istenen Soru 15 için hem ön hem de son testte FÖ1, FÖ2, FÖ3, FÖ4, FÖ6, FÖ7, FÖ9, FÖ11 ve FÖ22 doğru olan cevaplarını değiştirmemiştir. Madde ile antimadde arasındaki fark 'Kuark Kart Oyunu', 'Madde ile Antimadde' etkinliklerinde vurgulandığı halde FÖ5'in hem ön testte hem de son testte soruyu cevapsız bırakması dikkat çekicidir. FÖ19 ayrıca spinlerinin ters olduğundan bahsetmiştir. FÖ20 ise antiparçacığın özelliklerinden bahsetmiş ancak yük ya da spin hakkında açıklama yapmamıştır. Bu nedenle cevabı kısmen doğru olarak belirlenmiştir.

Kazanımlara Göre EÇY ve PFBT'den Elde Edilen Puan Yüzdelerine Yönelik Bulgular

Bu başlıkta araştırmada uygulanan etkinliklerle ilgili olan EÇY'den, PFBT'nin ön ve son testinden alınan puan yüzdelerinin kazanımlara göre yorumu yer almaktadır.

Kazanımlara ait cümlelerin kısaltılması amacıyla Tablo 6'da yer alan parçacık fiziğiyle ilgili kazanım ve kazanım numaraları kullanılmıştır.

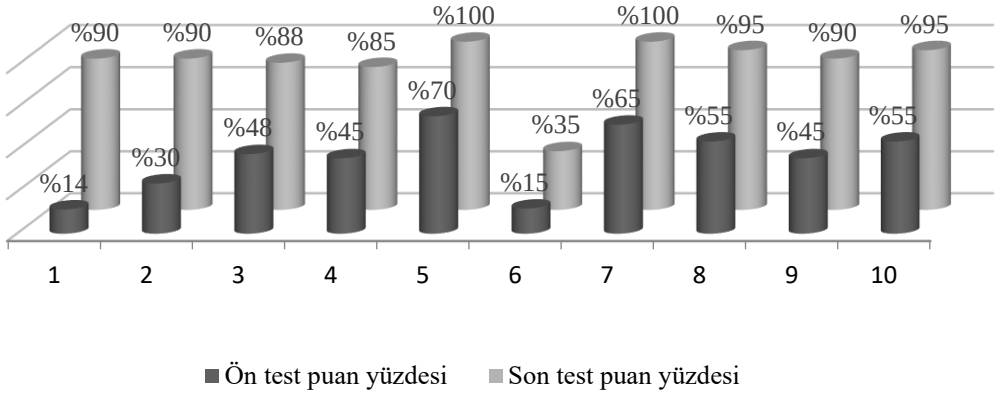
Kazanımlarla ilgili EÇY'deki çalışmalardan katılımcıların aldıkları puan yüzdeleri Şekil 28'de verilmektedir.



Şekil 28. Kazanımlarla ilgili EÇY'den alınan puan yüzdeleri

Şekil 28'deki grafik incelendiğinde kazanım 3, 4 ve 5 ile ilgili olan etkinliklerin EÇY'deki çalışmalarından alınan puan yüzdesinin en yüksek değere (%100) eşit olduğu görülmektedir. Bu puan yüzdesine göre ilgili EÇY'lerdeki çalışmalara tüm katılımcıların doğru cevap verdiği görülmektedir. Bu çalışmalar sırasıyla 'CERN'de Neler Oluyor?', 'Parçacık Bulmacasının Parçacıkları' ve 'Kuark Kart Oyunu' adlı etkinliklerdir. Kazanım 8 ile ilgili olan 'Atom Altı Parçacıklardan Maddeye' etkinliğine ait EÇY'deki çalışmanın ise en düşük puan yüzdesine (%17) sahip olduğu görülmektedir.

Kazanımlarla ilgili PFBT'deki sorulara ait ön ve son test puan yüzdelerine ait grafik Şekil 29'da yer almaktadır.



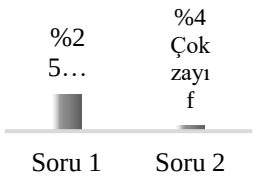
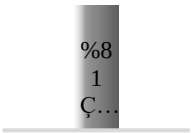
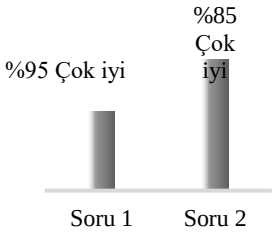
Şekil 29. Kazanımlara göre PFBT'den alınan puan yüzdeleri

Şekil 29'daki grafik incelendiğinde kazanım 5 ile ilgili PFBT'deki sorunun ön test puan yüzdesinin en yüksek değere sahip olduğu (%70) görülmektedir. Kazanım 5 ile ilgili olan soru, evrendeki dört temel etkileşimin özellikleri ile ilgilidir. Buna göre katılımcıların uygulama öncesinde de evrendeki temel etkileşimin özellikleri hakkında bilgilerinin olduğu söylenebilir. Kazanım 1 ile ilgili PFBT'deki soruların ön test puan yüzdesinin ise en düşük değere sahip olduğu (%14) görülmektedir. Kazanım 1 ile ilgili olan sorular, Stern-Gerlach deneyinin sonuncunda ortaya atılan kavram ve Stern-Gerlach deneyinde elde edilen izlerle ilgilidir. Kazanım 5 ve kazanım 7 ile ilgili PFBT'deki soruların son test puan yüzdesinin en yüksek değere sahip olduğu (%100) görülmektedir. Kazanım 5 ile ilgili olan soru evrendeki dört temel etkileşimin özellikleriyle ilgilidir. Kazanım 7 ile ilgili olan soru ise çekirdeğin bir arada kalmasını sağlayan etkileşimle ilgilidir.

Kazanım 1 ile ilgili etkinliğe ait EÇY'den, PFBT'deki ilgili soruların ön ve son testinden alınan puan yüzdelerine ait değerler Tablo 59'da yer almaktadır.

Tablo 59

Kazanım 1'e Göre PFBT ve EÇY Puan Yüzdeleri

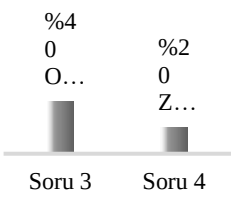
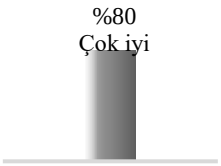
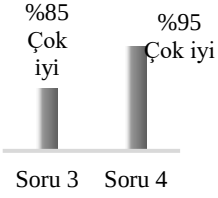
Kazanım	Ön Test Puan Yüzdesi	EÇY Puan Yüzdesi	Son Test Puan Yüzdesi
1			

Tablo 59'da kazanım numarası 1 olan ve FL öğretim programında bulunan "Stern-Gerlach deneyinin sonuçlarının incelenmesi sağlanarak elektron spini kavramı üzerinde durulur" kazanımının ön ve son test puan yüzdesi ile EÇY puan yüzdesi yer almaktadır. Bu kazanım ile ilgili Stern-Gerlach Deneyi Etkinliği uygulanmıştır. PFBT'de kazanımla ilgili iki soru bulunmaktadır. Sorulara verilen cevaplar puanlandığında Soru 1'in ön test puan yüzdesi %25 iken, son test puan yüzdesinin ise %85'e yükseldiği görülmektedir. Soru 2'nin ise ön test puan yüzdesi %5 iken, son test puan yüzdesinin ise %95'e yükseldiği görülmektedir. Buna göre Soru 1'deki Stern-Gerlach deneyi sonucunda spin kavramının ortaya atılması hakkında katılımcıların bilgilerinin durumu 'zayıf' iken 'çok iyi' olarak değiştiği görülmektedir. Soru 2'deki Stern-Gerlach deneyinde elde edilen izler hakkında katılımcıların bilgilerinin durumu 'çok zayıf' iken, 'çok iyi' olarak değiştiği görülmektedir. Bu puan değişimine neden olan Stern-Gerlach Deneyi Etkinliğine ait EÇY'deki çalışmadan katılımcıların aldığı puan yüzdesinin %85 olduğu görülmektedir. EÇY'den alınan puan yüzdesine göre, etkinliğin başarısı 'çok iyi' olarak değerlendirilmektedir.

Kazanım 2 ile ilgili etkinliğe ait EÇY'den, PFBT'deki ilgili soruların ön ve son testinden alınan puan yüzdelerine ait değerler Tablo 60'ta yer almaktadır.

Tablo 60

Kazanım 2'ye Göre PFBT ve EÇY Puan Yüzdeleri

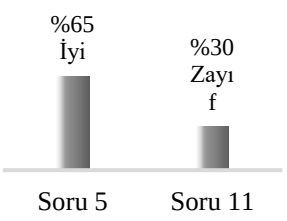
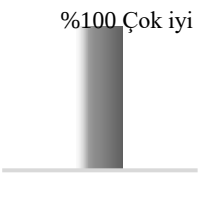
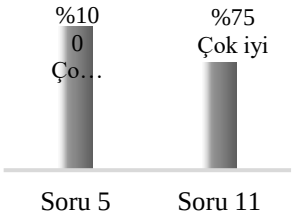
Kazanım	Ön test puan yüzdesi	EÇY puan yüzdesi	Son test puan yüzdesi
2			

Tablo 60'ta kazanım numarası 2 olan ve FL öğretim programında bulunan "Öğrencilerin sis odası deneyini araştırmaları ve üzerinde tartışmaları sağlanır" kazanımıyla ilgili ön ve son test puan yüzdesiyle EÇY puan yüzdesi verilmektedir. Bu kazanım ile ilgili Sis Odası Deneyi Etkinliği uygulanmıştır. PFBT'de kazanımla ilgili iki soru bulunmaktadır. Kazanımla ilgili olan Soru 3'ün ön test puan yüzdesi %40, son test puan yüzdesi ise %85 olduğu görülmektedir. Buna göre Soru 3'te sis odası deneyinin esaslarıyla ilgili katılımcıların bilgilerinin durumu 'orta' iken 'çok iyi' olarak değiştiği görülmektedir. Soru 4'e verilen yanıtlar puanlandığında ise ön testteki puan yüzdesi %20 iken, son testteki puan yüzdesinin ise %95 olduğu görülmektedir. Soru 4'ün ilgili olduğu sis odası deneyindeki izlerin hangi parçacığa ait olduğu hakkında katılımcıların bilgilerinin durumu 'zayıf' iken 'çok iyi' olarak değiştiği görülmektedir. Bu puan değişimine neden olan Sis Odası Deneyi' Etkinliğine ait EÇY'deki çalışmadan katılımcıların aldığı puan yüzdesi %80 olarak hesaplanmıştır. Bu puan ortalamasına göre etkinliğin başarısı 'çok iyi' olarak değerlendirilmiştir.

Kazanım 3 ile ilgili etkinliğe ait EÇY'den, PFBT'deki ilgili soruların ön ve son testinden alınan puan yüzdelerine ait değerler Tablo 61'de yer almaktadır.

Tablo 61

Kazanım 3'e Göre PFBT ve EÇY Puan Yüzdeleri

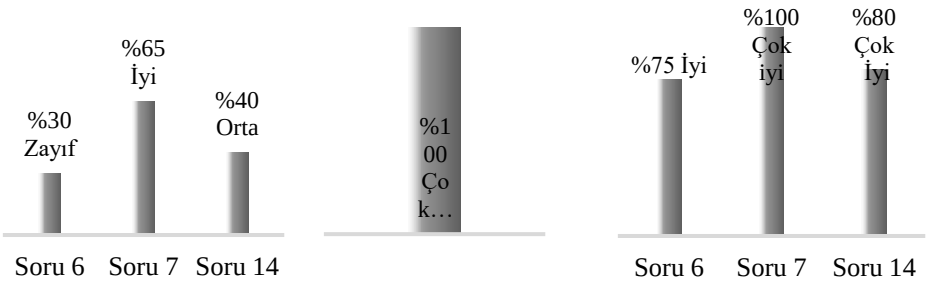
Kazanım	Ön Test Puan Yüzdesi	EÇY Puan Yüzdesi	Son Test Puan Yüzdesi
3			

Tablo 61'de kazanım numarası 3 olan ve FL öğretim programında bulunan "Öğrencilerin sunumlarında CERN'de yapılan çalışmaların büyük patlama ile bağlantısını tartışmaları sağlanır" kazanımıyla ilgili PFBT'deki sorulardan alınan ön ve son test puan yüzdesi ile EÇY'den alınan puan yüzdesi verilmektedir. Bu kazanım ile ilgili CERN'de Neler Oluyor Etkinliği uygulanmıştır. PFBT'de kazanımla ilgili iki soru bulunmaktadır. Kazanımla ilgili olan Soru 5'in ön testteki puan yüzdesi %65 iken, son testteki puan yüzdesinin ise %100 olduğu görülmektedir. Buna göre katılımcıların tamamı son testte Soru 5'e doğru cevap vermiştir. Soru %'in puan yüzdesine göre katılımcıların BHÇ'nin amaçları hakkındaki bilgilerinin durumu 'iyi' iken, 'çok iyi' olarak değiştiği tespit edilmiştir. Kazanımla ilgili diğer soru olan Soru 11'in ön testteki puan yüzdesi %30 iken, son testteki puan yüzdesinin %75 olduğu görülmektedir. Buna göre Soru 11'in ilgili olduğu evrendeki madde, karanlık madde ve karanlık enerjinin yüzdeleri hakkında katılımcıların bilgilerinin durumu 'zayıf' iken, 'iyi' olarak değiştiği görülmektedir. Bu puan değişimine neden olan CERN'de Neler Oluyor Etkinliği'ne ait EÇY'deki çalışmayı katılımcıların tamamı başarıyla tamamlayarak en yüksek puan yüzdesi (%100) elde edilmiştir. Bu puan yüzdesine göre etkinliğin başarısı 'çok iyi' olarak değerlendirilmiştir.

Kazanım 4 ile ilgili etkinliğe ait EÇY'lerden, PFBT'deki ilgili soruların ön ve son testinden alınan puan yüzdelerine ait değerler Tablo 62'de yer almaktadır.

Tablo 62

Kazanım 4'e Göre PFBT ve EÇY Puan Yüzdeleri

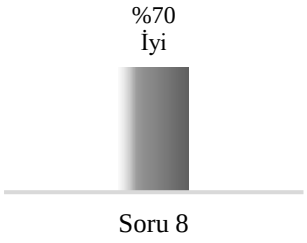
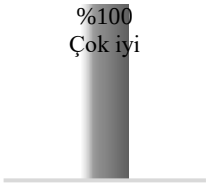
Kazanım	Ön Test Puan Yüzdesi	EÇY Puan Yüzdesi	Son Test Puan Yüzdesi
4			

Tablo 62'de kazanım numarası 4 olan ve hem AL hem de FL öğretim programında bulunan "Öğrencilerin atom altı parçacıkları standart model çerçevesinde tanımlamaları sağlanır" kazanımıyal ilgili olan PFBT'deki soruların ön ve son testinden alınan puan yüzdeleri ile EÇY puan yüzdeleri yer almaktadır. Bu kazanım ile ilgili Parçacık Bulmacasının Parçaları ve Kuark Kart Oyunu Etkinliği uygulanmıştır. PFBT'de kazanımla ilgili üç soru bulunmaktadır. Kazanımla ilgili olan Soru 6'nın ön test puan yüzdesi %30 iken, son testteki puan yüzdesinin ise %75 olduğu görülmektedir. Katılımcıların Standart Model'e göre atomun içindeki temel parçacıklar hakkındaki bilgilerinin durumu 'zayıf' iken, 'iyi' olarak değiştiği tespit edilmiştir. Kazanımla ilgili diğer soru olan Soru 7'nin ön testteki puan yüzdesi %65 iken, son testteki puan yüzdesinin ise %100 olduğu görülmektedir. Katılımcıların tamamı Soru 7'ye son testte doğru cevap vermiştir. Soru 7'den alınan puan yüzdelerine göre; katılımcıların Standart Model'e göre kuark türleri hakkındaki bilgilerinin durumu 'iyi' iken, 'çok iyi' olarak değiştiği tespit edilmiştir. Kazanımla ilgili diğer soru olan Soru 14'ün ön testteki puan yüzdesi %40 iken, son testte ise %80 olarak değiştiği görülmektedir. Buna göre katılımcıların Standart Model'e göre kuark türleri hakkındaki bilgilerinin durumu 'orta' iken, 'çok iyi' olarak değiştiği tespit edilmiştir. Bu puan değişimine neden olan Parçacık Bulmacasının Parçaları ve Kuark Kart Oyunu Etkinliği'ne ait EÇY'deki çalışmayı katılımcıların tamamı başarıyla tamamlayarak en yüksek puan yüzdesini (%100) almıştır. Bu puan ortalamasına göre etkinliklerin başarısı 'çok iyi' olarak değerlendirilmiştir.

Kazanım 5 ile ilgili etkinliğe ait EÇY'lerden, PFBT'deki ilgili soruların ön ve son testinden alınan puan yüzdelerine ait değerler Tablo 63'te yer almaktadır.

Tablo 63

Kazanım 5'e Göre PFBT ve EÇY Puan Yüzdeleri

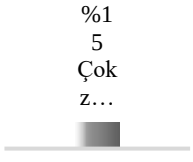
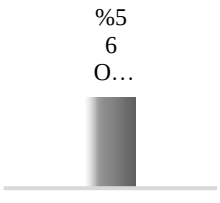
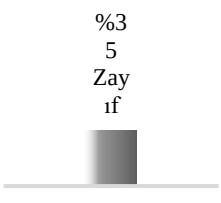
Kazanım	Ön Test Puan Yüzdesi	EÇY Puan Yüzdesi	Son Test Puan Yüzdesi
5			

Tablo 63'te kazanım numarası 5 olan ve hem AL hem de FL öğretim programında bulunan "Dört temel kuvvetin açıklanması sağlanır" kazanımıyla ilgili PFBT'deki soruya ait puan yüzdesi ile EÇY puan yüzdesi yer almaktadır. Bu kazanım ile ilgili Etkileşimlerin Doğası Etkinliği uygulanmıştır. PFBT'de kazanımla ilgili bir soru bulunmaktadır. Kazanımla ilgili olan Soru 8'in ön testteki puan yüzdesi %70 iken, son testteki puan yüzdesinin ise %100 olduğu görülmektedir. Buna göre Soru 8'in evrendeki temel etkileşimler hakkında katılımcıların bilgilerinin durumu 'iyi' iken 'çok iyi' olarak değiştiği görülmektedir. Bu puan değişimine neden olan Etkileşimlerin Doğası Etkinliği'ne ait EÇY'deki çalışmayı katılımcıların tamamı başarıyla tamamlayarak en yüksek puan yüzdesini (%100) almıştır. Bu puan ortalamasına göre etkinliğin başarısı 'çok iyi' olarak değerlendirilmiştir.

Kazanım 6 ile ilgili etkinliğe ait EÇY'lerden, PFBT'deki ilgili soruların ön ve son testinden alınan puan yüzdelerine ait değerler Tablo 64'te yer almaktadır.

Tablo 64

Kazanım 6'ya Göre PFBT ve EÇY Puan Yüzdeleri

Kazanım	Ön Test Puan Yüzdesi	EÇY Puan Yüzdesi	Son Test Puan Yüzdesi
6			

Tablo 64'te kazanım numarası 6 olan ve hem AL hem de FL öğretim programında bulunan "Abdus Salam, Sheldon Lee Glashow ve Steven Weinberg'in Nobel ödülünü

elektromanyetik ve zayıf kuvvetin birleşik bir kuvvet görünümünde olduğunu keşfetmeleri üzerine aldıkları vurgulanır" kazanımıyla ilgili olan PFBT'deki ilgili sorudan alınan puan yüzdesi ile EÇY puan yüzdesi verilmektedir. Bu kazanım ile ilgili Etkileşimlerin Süreci Etkinliği uygulanmıştır. PFBT'de kazanımla ilgili bir soru bulunmaktadır. Kazanımla ilgili olan Soru 9'un ön testteki puan yüzdesi %15 iken, son testteki puan yüzdesinin ise %35 olduğu görülmektedir. Buna göre elektrozayıf etkileşim bileşik teorisi hakkında katılımcıların bilgilerinin durumu 'çok zayıf' iken 'zayıf' olarak değiştiği görülmektedir. Bu puan değişimine neden olan Etkileşimlerin Süreci Etkinliği'ne ait EÇY'deki çalışmadan katılımcıların aldığı puan yüzdesinin %56 olduğu görülmektedir. Bu puan ortalamasına göre etkinliğin başarısı 'orta' olarak değerlendirilmiştir.

Kazanım 7 ile ilgili etkinliğe ait EÇY'den, PFBT'deki ilgili sorunun ön ve son testinden alınan puan yüzdelerine ait değerler Tablo 65'te yer almaktadır.

Tablo 65

Kazanım 7'ye Göre PFBT ve EÇY Puan Yüzdeleri

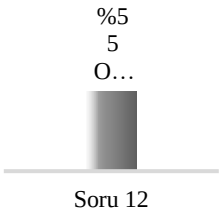
Kazanım	Ön Test Puan Yüzdesi	EÇY Puan Yüzdesi	Son Test Puan Yüzdesi
7	%65 İyi Soru 10	%90 Çok iyi	%100 Çok iyi Soru 10

Kazanım numarası 7 olan ve FL öğretim programında bulunan "Öğrencilerin, atom altı parçacıklar arasındaki etkileşim kuvvetini açıklamaları sağlanır" kazanımıyla ilgili PFBT'deki sorunun ön ve son testinden alınan puan yüzdesi ile EÇY puan yüzdesi verilmektedir. Bu kazanım ile ilgili Feynman Diyagramları Etkinliği uygulanmıştır. PFBT'de kazanımla ilgili bir soru bulunmaktadır. Kazanımla ilgili olan Soru 10'un ön testteki puan yüzdesi %65 iken, son testteki puan yüzdesinin ise %100 olduğu görülmektedir. Buna göre çekirdeğin bir arada kalmasına neden olan etkileşim hakkında katılımcıların bilgilerinin durumu 'iyi' iken 'çok iyi' olarak değiştiği görülmektedir. Bu puan değişimine neden olan Feynman Diyagramları Etkinliği'ne ait EÇY'deki çalışmadan katılımcıların aldığı puan yüzdesinin %90 olduğu görülmektedir. Bu puan ortalamasına göre etkinliğin başarısı 'çok iyi' olarak değerlendirilmiştir.

Kazanım 8 ile ilgili etkinliğe ait EÇY'den, PFBT'deki ilgili sorunun ön ve son testinden alınan puan yüzdelerine ait değerler Tablo 66'da yer almaktadır.

Tablo 66

Kazanım 8'e Göre PFBT ve EÇY Puan Yüzdeleri

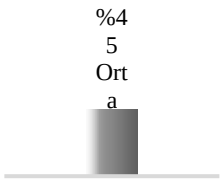
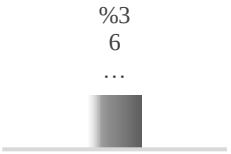
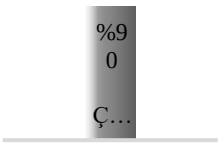
Kazanım	Ön Test Puan Yüzdesi	EÇY Puan Yüzdesi	Son Test Puan Yüzdesi
8			

Tablo 66'da kazanım numarası 8 olan ve hem AL hem de FL öğretim programında bulunan "Atom altı parçacıklardan başlayarak madde oluşumunun modelle açıklanması sağlanır" kazanımıyla ilgili PFBT'deki sorudan alınan puan yüzdesi ve EÇY puan yüzdesi verilmektedir. Bu kazanım ile ilgili Atom Altı Parçacıklardan Maddeye Etkinliği uygulanmıştır. PFBT'de kazanımla ilgili bir soru bulunmaktadır. Kazanımla ilgili olan Soru 12'nin ön testteki puan yüzdesi %55 iken, son testteki puan yüzdesinin ise %95 olduğu görülmektedir. Buna göre maddenin oluşumunu modelleyen en küçük yapılar hakkında katılımcıların bilgilerinin durumu 'orta' iken, 'çok iyi' olarak değiştiği görülmektedir. Bu puan değişimine neden olan Atom Altı Parçacıklardan Maddeye Etkinliği'ne ait EÇY'deki çalışmadan katılımcıların aldığı puan yüzdesi %17'dir. Bu puan ortalamasına göre etkinliğin başarısı 'çok zayıf' olarak değerlendirilmiştir.

Kazanım 9 ile ilgili etkinliğe ait EÇY'den, PFBT'deki ilgili sorunun ön ve son testinden alınan puan yüzdelerine ait değerler Tablo 67'de yer almaktadır.

Tablo 67

Kazanım 9'a Göre PFBT ve EÇY Puan Yüzdeleri

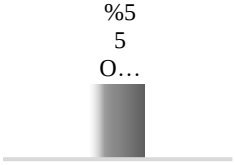
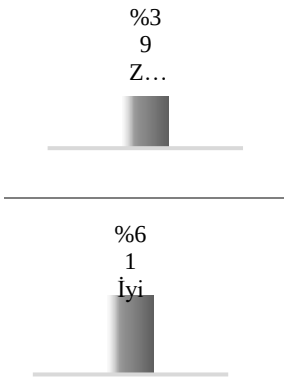
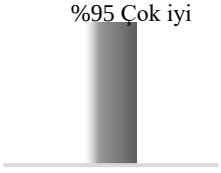
Kazanım	Ön Test Puan Yüzdesi	EÇY Puan Yüzdesi	Son Test Puan Yüzdesi
9			

Tablo 67'de kazanım numarası 9 olan ve hem AL hem de FL öğretim programında bulunan "Higgs bozonuna kısaca değinilir" kazanımıyla ilgili PFBT'deki sorunun ön ve son testteki puan yüzdeleri ve EÇY puan yüzdeleri verilmektedir. Bu kazanım ile ilgili Higgs Bozonu Etkinliği uygulanmıştır. PFBT'de kazanımla ilgili bir soru bulunmaktadır. Kazanımla ilgili olan Soru 13'ün ön testteki puan yüzdesi %45 iken, son testteki puan yüzdesinin ise %90 olduğu görülmektedir. Buna göre kütlesiz parçacıklar hakkında katılımcıların alan bilgilerinin durumu 'orta' iken 'çok iyi' olarak değiştiği görülmektedir. Bu puan değişimine neden olan Higgs Bozonu Etkinliği'ne ait EÇY'deki çalışmadan katılımcıların aldığı puan yüzdesi %36'dır. Bu puan ortalamasına göre etkinliğin başarısı 'zayıf' olarak değerlendirilmiştir.

Kazanım 10 ile ilgili etkinliğe ait EÇY'lerden, PFBT'deki ilgili sorunun ön ve son testinden alınan puan yüzdelerine ait değerler Tablo 68'de yer almaktadır.

Tablo 68

Kazanım 10'a Göre PFBT ve EÇY Puan Yüzdeleri

Kazanım	Ön Test Puan Yüzdesi	EÇY Puan Yüzdesi	Son Test Puan Yüzdesi
10			

Tablo 68'de kazanım numarası 10 olan ve hem AL hem de FL öğretim programında bulunan "Madde ve antimadde kavramlarını açıklar" kazanımıyla ilgili PFBT'deki sorunun ön ve son testinin puan yüzdeleri ile EÇY puan yüzdeleri verilmektedir. Bu kazanım ile ilgili Madde ve Antimadde ve Parçacıkların İzlerini Sürmek Etkinliği uygulanmıştır. PFBT'de kazanımla ilgili bir soru bulunmaktadır. Kazanımla ilgili olan Soru 15'in ön testteki puan yüzdesi %55 iken, son testteki puan yüzdesinin ise %95 olduğu görülmektedir. Buna göre katılımcıların parçacık ve antiparçacığın özellikleri hakkındaki bilgilerinin durumu 'orta' iken, 'çok iyi' olarak değiştiği tespit edilmiştir. Bu puan değişimine neden olan Madde ve Antimadde ve Parçacıkların İzlerini Sürmek Etkinliği'ne ait EÇY'lerdeki çalışmalardan katılımcıların aldığı puan yüzdeleri sırasıyla %39 ve %61'dir. Bu puan ortalamasına göre etkinliklerin başarısı sırasıyla 'çok zayıf' ve 'iyi' olarak değerlendirilmiştir.

Kazanımlarla ilgili PFBT'deki sorulardan katılımcıların aldığı ön ve son test puanları karşılaştırıldığında, son test lehine bir artışın olduğu görülmektedir. Ancak bu puanlar arasında anlamlı bir farkın olup olmadığı hakkında ise istatiksel olarak bir karşılaştırma yapmak gereklidir. İstatiksel yöntemin seçilmesi için öncelikle verilerin normal dağılıma uygunluğuna bakılmalıdır.

Kazanımlarla ilgili PFBT'deki sorulardan katılımcıların aldığı ön ve son test puan ortalamalarına yönelik normallik testine ait veriler Tablo 69'da yer almaktadır.

Tablo 69

Kazanımların PFBT'deki İlgili Sorulardan Alınan Ön ve Son Test Puan Ortalamalarının Normallik Testi

	Kolmogorov – Smirnov			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Ön test puan ortalaması	,21	10	,200	,92	10	,369
Son test puan ortalaması	,36	10	<,012	,61	10	<,001

Kazanımların PFBT'deki ilgili sorusundan katılımcıların ön ve son testten aldıkları puan ortalamalarına yönelik Tablo 69'da yer alan Shapiro-Wilk testi sonucu incelenmiştir. Buna göre kazanımlara ait ön test puan ortalamaları anlamlılık değerinin 0,05'ten büyük olduğu

tespit edilmiştir. Bu nedenle verilerin normal dağılıma uygunluk gösterdiği söylenebilir. Kazanımlarla ilgili PFBT'deki son test puan ortalamalarının anlamlılık değeri ise 0,05'ten küçüktür. Bu nedenle verilerin normal dağılıma uygunluk göstermediği söylenebilir. Sonuç olarak veri sayısının az olması ve etkinliklere ait son test puan ortalama değerlerinin normal dağılıma uygunluk göstermemesi nedeniyle, parametrik olmayan istatiksel yöntemlerin kullanılması uygun görülmüştür.

Kazanımlarla ilgili PFBT'deki sorulardan katılımcıların ön ve son testten aldıkları puan ortalamalarına yönelik parametrik olmayan istatiksel yöntemlerden Wilcoxon Tek Örnek İşaret Sıralaması Testi'nin uygulanmasıyla elde edilen sonuçlar Tablo 70'te verilmektedir.

Tablo 70

Kazanımların PFBT'deki İlgili Sorulardan Alınan Ön ve Son Test Puan Ortalamalarının Wilcoxon Tek Örnek İşaret Sıralaması Testi Sonuçları

		N	Ort. Sıra	Sıralar Toplamı	Test	N	25th	Median	50th
Son test – Ön test	Negative Ranks	0^a	,00	,00	Ön test	10	,52	0,92	1,15
	Positive Ranks	10^b	5,50	55,00	Son test	10	1,73	1,80	1,92
	Ties	0^c							
	Total	10							
Z	-2,821								
Asymp. Sig.*	,005								

* p<0,05, a. son test < ön test, b. son test > ön test, c. son test = ön test

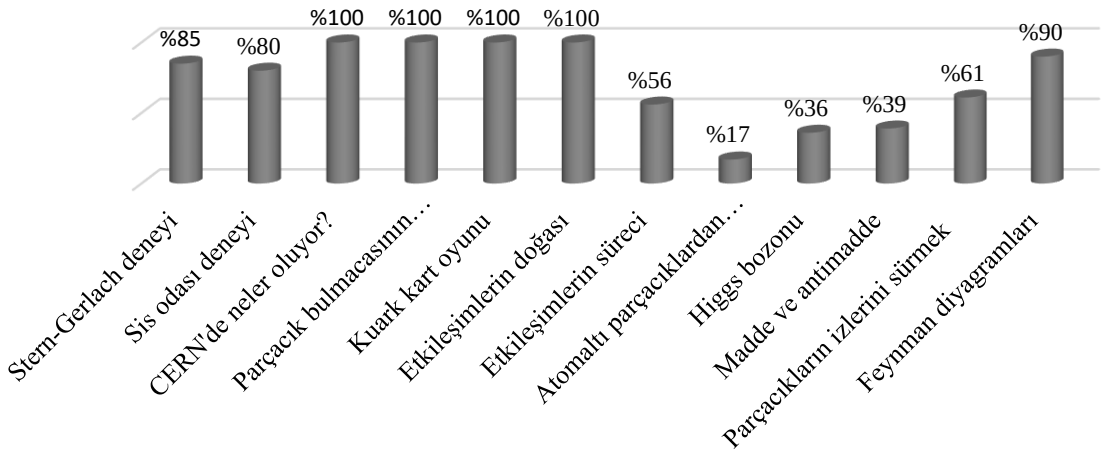
Tablo 70 incelendiğinde, kazanımlarla ilgili PFBT'deki soruların ön ve son test puan ortalamaları arasında anlamlı bir fark olduğu görülmektedir (Z=-2,821 ve Sig. 0,005, p<0,05). Fark puanlarının sıra ortalaması ve toplamları dikkate alındığında gözlenen bu farkın pozitif sıra, son test puanı lehine olduğu görülmektedir (poz. rank=5,50; 55,00 > neg. rank= ,00; ,00). Wilcoxon İşaretli Sıralar Testi etki büyüklüğü (r) 0,63 olarak elde edilmiştir. Cohen'in kriterine göre (1988) değerlendirildiğinde elde edilen değer büyük bir etki büyüklüğüne işaret etmektedir. Bu sonuçlara göre katılımcıların etkinliklerin son test puan ortalamasında ilgili etkinliğin uygulanmasından sonra ön test puan ortalamasına göre büyük bir etki ile (r=0,63) istatiksel olarak anlamlı değişiklikler olduğunu ortaya koymuştur, Z=-2,821, p 0,002. PFBT'den elde edilen medyan değeri ise etkinliklerin

uygulanması öncesine göre (Md=0,92) uygulama sonrasında arttığı görülmektedir (Md=1,80).

Etkinliklere Göre EÇY ve PFBT'den Elde Edilen Puan Yüzdelerine Yönelik Bulgular

Bu başlık altında araştırmada uygulanan etkinliklerle ilgili olan EÇY'den, PFBT'nin ön ve son testinden alınan puanlara ait yüzde değerleri etkinliklere göre yorumlanmıştır.

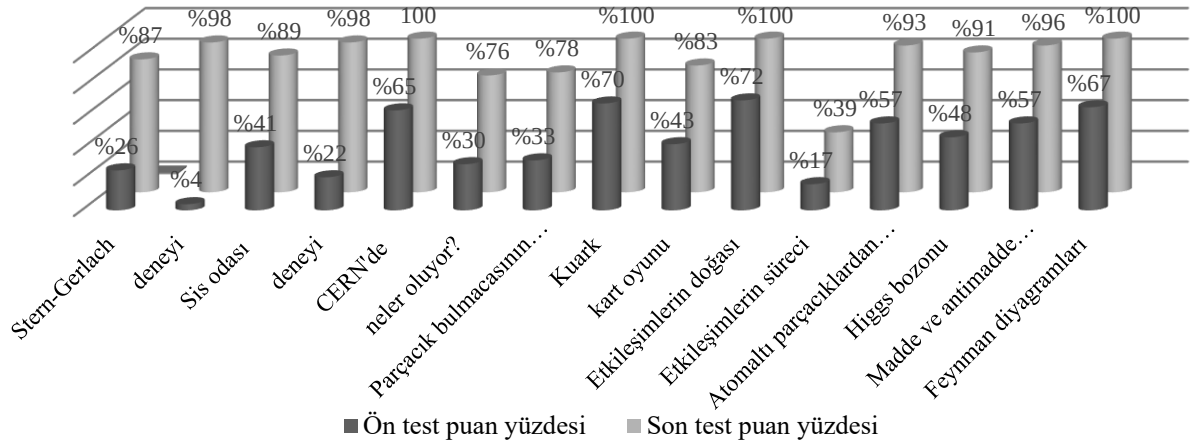
Etkinliklerle ilgili olan EÇY'deki çalışmalardan katılımcıların aldığı puanların yüzdelik değerlerine ait grafik Şekil 30'da yer almaktadır.



Şekil 30. Etkinliklere göre EÇY'den alınan puan yüzdeleri

Şekil 30'daki grafik incelendiğinde CERN'de Neler Oluyor, Parçacık Bulmacasının Parçaları, Kuark Kart Oyunu ve Etkileşimlerin Doğası Etkinliği ile ilgili olan EÇY'deki çalışmadan alınan puan yüzdelerinin en yüksek değer olan %100'e eşit olduğu görülmektedir. Bu puan yüzdelerine göre ilgili EÇY'deki çalışmalara tüm katılımcıların doğru cevapler verdiği görülmektedir. Atom Altı Parçacıklardan Maddeye Etkinliği'nin ise ilgili EÇY'deki çalışmada en düşük puan yüzdesine (%17) sahip olduğu görülmektedir. Buna göre ilgili EÇY'deki çalışmaya katılımcıların verdiği doğru cevap frekansının en düşük olmaktadır.

Etkinliklerle ilgili PFBT'deki soruların ön ve son testine ait puan yüzdelerine ait grafik Şekil 31'de yer almaktadır.



Şekil 31. Etkinliklere göre PFBT'nin ön ve son test puan yüzdeleri

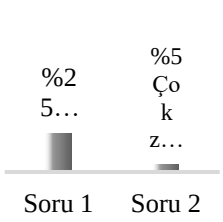
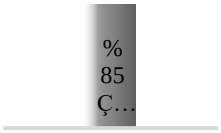
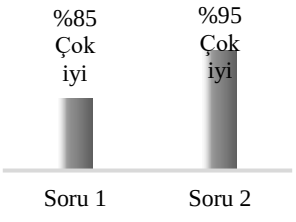
Şekil 31 incelendiğinde Etkileşimlerin Doğası Etkinliği ile ilgili PFBT'deki sorunun ön test puan yüzdesinin en yüksek değere (%72) sahip olduğu görülmektedir. Etkileşimlerin Doğası Etkinliği ile ilgili PFBT'deki soru, evrendeki dört temel etkileşimin özellikleri ile ilgilidir. Stern-Gerlach Deneyi Etkinliği ile ilgili PFBT'deki Soru 2'nin ön test puan yüzdesinin ise (%4) en düşük değere sahip olduğu görülmektedir. Stern-Gerlach Deneyi Etkinliği ile ilgili PFBT'deki soru, Stern-Gerlach deneyi sonucunda elde edilen izlerle ilgilidir. CERN'de Neler Oluyor, Kuark Kart Oyunu, Etkileşimlerin Doğası ve Feynman Diyagramları Etkinlikleri ile ilgili PFBT'deki soruların son test puan yüzdesinin en yüksek değer olan %100'e eşit olduğu görülmektedir. Buna göre katılımcıların tamamı son testte belirtilen etkinliklerle ilgili olan sorulara doğru cevap vermiştir. Etkileşimlerin Süreci Etkinliği ile ilgili PFBT'deki sorunun ise son testte en düşük puan yüzdesine sahip olduğu görülmektedir. Etkileşimlerin Süreci Etkinliği ilgili olan soru, elektrozayıf etkileşimin birleşik teorisi ile ilgilidir.

Stern-Gerlach Deneyi Etkinliği ile ilgili EÇY'den, PFBT'nin ön ve son testinden alınan puan yüzdelerine ait değerler Tablo 71'de yer almaktadır.

Tablo 71

Stern-Gerlach Deneyi Etkinliğine Göre PFBT ve EÇY'den Alınan Puan Yüzdeleri

Etkinliğin Adı	Ön Test Puan Yüzdesi	EÇY Puan Yüzdesi	Son Test Puan Yüzdesi

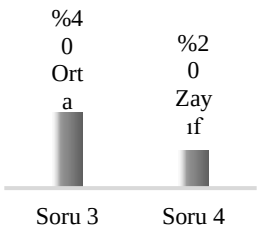
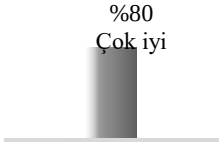
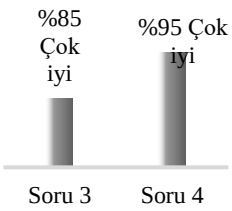
Stern-Gerlach Deneyi			

Tablo 71'de Stern-Gerlach Deneyi Etkinliği ile ilgili PFBT'deki Soru 1'in ön testteki puan yüzdesi %25 iken, son testteki puan yüzdesi ise %85 olduğu görülmektedir. PFBT'de etkinlikle ilgili diğer soru olan Soru 2'nin ise ön testteki puan yüzdesi %5 iken, son testte ise %95 olduğu görülmektedir. Bu sonuçlara göre etkinliğin uygulanması sonucunda Soru 1 ve Soru 2'nin son testteki doğru cevap frekansı artmıştır. Soru 1'den alınan puan yüzdesine göre; katılımcıların Stern-Gerlach deneyi sonucunda ortaya atılan spin kavramı hakkındaki bilgilerinin durumu 'zayıf' iken, 'çok iyi' olarak değiştiği tespit edilmiştir. Soru 2'den alınan puan yüzdesine göre; katılımcıların Stern-Gerlach deneyinde elde edilen izler hakkındaki bilgilerinin durumu 'çok zayıf' iken, 'çok iyi' olarak değiştiği tespit edilmiştir. Etkinlikle ilgili olan EÇY'deki çalışmadan katılımcıların aldığı puan yüzdesi %85 olarak hesaplanmıştır. EÇY'den alınan puan yüzdesine göre, katılımcıların etkinlikteki başarısı 'çok iyi' olarak değerlendirilmiştir.

Sis Odası Deneyi Etkinliği ile ilgili EÇY'den, PFBT'nin ön ve son testinden alınan puan yüzdelerine ait değerler Tablo 72'de yer almaktadır.

Tablo 72

Sis Odası Deneyi Etkinliğine Göre PFBT ve EÇY'den Alınan Puan Yüzdeleri

Etkinliğin Adı	Ön Test Puan Yüzdesi	EÇY Puan Yüzdesi	Son Test Puan Yüzdesi
Sis Odası Deneyi			

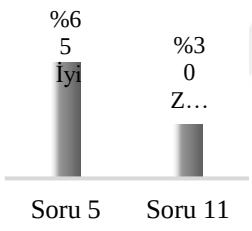
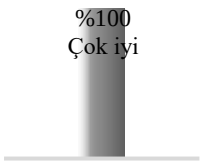
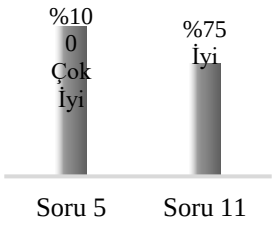
Tablo 72'de Sis Odası Deneyi Etkinliği ile ilgili olan PFBT'deki Soru 3'ün ön testten alınan puan yüzdesi %40 iken, son testte ise %85 olduğu görülmektedir. PFBT'de etkinlikle ilgili diğer soru olan Soru 4'ün ise ön testte aldığı puan yüzdesi %20 iken, son testte ise %95 olduğu görülmektedir. Buna göre etkinliğin uygulanması sonucunda Soru 3

ve Soru 4'ün son testteki doğru cevap frekansı artmıştır. Soru 3'ten alınan puan yüzdesine göre; katılımcıların sis odası deneyinin esaslarıyla ilgili bilgilerinin durumu 'orta' iken, 'çok iyi' olarak değiştiği tespit edilmiştir. Soru 4'ten alınan puan yüzdesine göre; katılımcıların sis odasındaki elde edilen izlerin hangi parçacıklara ait olduğu hakkındaki bilgilerinin durumu 'zayıf' iken, 'çok iyi' olarak değiştiği tespit edilmiştir. Etkinlikle ilgili olan EÇY'deki çalışmadan katılımcıların aldığı puan yüzdesi %80 olarak hesaplanmıştır. EÇY'den alınan puan yüzdesine göre, katılımcıların etkinlikteki başarısı 'çok iyi' olarak değerlendirilmiştir.

CERN'de Neler Oluyor Etkinliği ile ilgili EÇY'den, PFBT'nin ön ve son testinden alınan puan yüzdelerine ait değerler Tablo 73'te yer almaktadır.

Tablo 73

CERN'de Neler Oluyor Etkinliğine Göre PFBT ve EÇY'den Alınan Puan Yüzdeleri

Etkinliğin Adı	Ön Test Puan Yüzdesi	EÇY Puan Yüzdesi	Son Test Puan Yüzdesi
CERN'de Neler Oluyor			

Tablo 73 incelendiğinde CERN'de Neler Oluyor Etkinliği ile ilgili PFBT'deki Soru 5'in ön testteki puan yüzdesi %65 iken, son testte ise %100 olduğu görülmektedir. Buna göre Soru 5'i son testte tüm katılımcılar doğru cevaplamıştır. PFBT'de etkinlikle ilgili diğer soru olan Soru 11'in ise ön test puan yüzdesi %30 iken, son testte ise %75 olduğu görülmektedir. Buna göre etkinliğin uygulanması sonucunda Soru 5 ve Soru 11'in son testte doğru cevap frekansı artmıştır. Soru 5'te alınan puan yüzdesine göre, katılımcıların BHÇ'nin amaçları hakkındaki bilgilerinin durumu 'iyi' iken, 'çok iyi' olarak değiştiği tespit edilmiştir. Soru 11'den alınan puan yüzdesine göre; katılımcıların evrendeki madde, karanlık madde ve karanlık enerjinin bulunma oranları hakkındaki bilgilerinin durumu 'zayıf' iken, 'iyi' olarak değiştiği tespit edilmiştir. Etkinlikteki hızlandırıcılarda cevapları aranan sorularla verilen cevapların eşleştirilmesi istenen çalışmayı katılımcıların tamamı doğru cevaplamıştır. Böylece etkinlikle ilgili olan EÇY'deki çalışmada katılımcıların aldığı puan

yüzdesi %100 olarak hesaplanmıştır. EÇY'den alınan puan yüzdesine göre, katılımcıların etkinlikteki başarısı 'çok iyi' olarak değerlendirilmiştir.

Parçacık Bulmacasının Parçaları Etkinliği ile ilgili EÇY'den, PFBT'nin ön ve son testinden alınan puan yüzdelerine ait değerler Tablo 74'te verilmektedir.

Tablo 74

Parçacık Bulmacasının Parçaları Etkinliğine Göre PFBT ve EÇY'den Alınan Puan Yüzdeleri

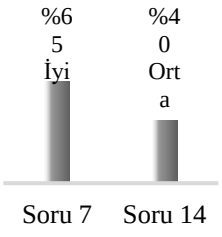
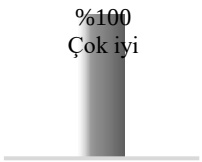
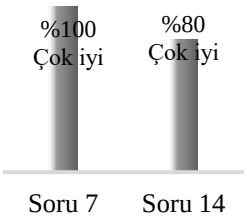
Etkinliğin Adı	Ön Test Puan Yüzdesi	EÇY Puan Yüzdesi	Son Test Puan Yüzdesi
Parçacık Bulmacasının Parçaları	%30 Zayıf Soru 6	%100 Çok iyi	%75 İyi Soru 6

Tablo 74'te Parçacık Bulmacasının Parçaları Etkinliği ile ilgili PFBT'deki Soru 6'nın ön testteki puan yüzdesi %30 iken, son testte ise %75 olduğu görülmektedir. Buna göre etkinliğin uygulanması sonucunda son testte Soru 6'nın doğru cevap frekansı artmıştır. Soru 6'dan alınan puan yüzdesine göre; katılımcıların Standart Model'e göre atomun içindeki temel parçacıklar hakkındaki bilgilerinin durumu 'zayıf' iken, 'iyi' olarak değiştiği tespit edilmiştir. Etkinlikte proton ve nötronun kuark bileşiminin istendiği çalışmayı katılımcıların tamamı doğru cevaplamıştır. Buna göre EÇY'deki çalışmadan alınan puan yüzdesi %100 olarak hesaplanmıştır. EÇY'den alınan puan yüzdesine göre, katılımcıların etkinlikteki başarısı 'çok iyi' olarak değerlendirilmiştir.

Kuark Kart Oyunu Etkinliği ile ilgili EÇY'den, PFBT'nin ön ve son testinden alınan puan yüzdelerine ait değerler Tablo 75'te verilmektedir.

Tablo 75

Kuark Kart Oyunu Etkinliğine Göre PFBT ve EÇY'den Alınan Puan Yüzdeleri

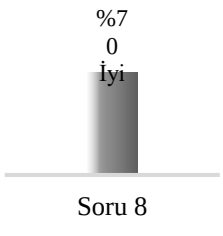
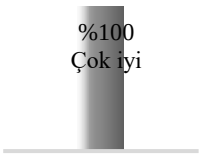
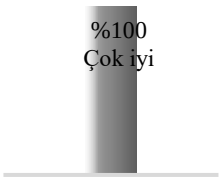
Etkinliğin Adı	Ön Test Puan Yüzdesi	EÇY Puan Yüzdesi	Son Test Puan Yüzdesi
Kuark Kart Oyunu			

Tablo 75'te Kuark Kart Oyunu Etkinliği ile ilgili PFBT'deki Soru 7'nin ön testteki puan yüzdesi %65 iken, son testte ise %100 olduğu görülmektedir. Buna göre Soru 7'yi son testte tüm katılımcılar doğru cevaplamıştır. Etkinlikle ilgili olan Soru 14'ün ön testteki puan yüzdesi %40 iken, son testte ise %80 olduğu görülmektedir. Ayrıca etkinliğin uygulanması sonucunda son testteki doğru cevap frekansı artmıştır. Soru 7'den alınan puan yüzdesine göre: katılımcıların Standart Model'e göre kuark türleri hakkındaki bilgilerinin durumu 'iyi' iken, 'çok iyi' olarak değiştiği tespit edilmiştir. Soru 14'ten alınan puan yüzdesine göre: katılımcıların Standart Model'e göre kuark türleri hakkındaki bilgilerinin durumu 'orta' iken, 'çok iyi' olarak değiştiği tespit edilmiştir. Etkinlikte renk yükleriyle verilen ve üzerinde kuarkların simgeleri olan kuark oyun kartlarının mezon ve hadron oluşturmak için eşleştirilmesi istenen eğitsel oyunu katılımcıların tamamı doğru olarak cevaplamıştır. Buna göre EÇY'deki çalışmadan alınan puan yüzdesi %100 olarak hesaplanmıştır. EÇY'den alınan puan ortalamasına göre, katılımcıların etkinlikteki başarısı 'çok iyi' olarak değerlendirilmiştir.

Etkileşimlerin Doğası Etkinliği ile ilgili EÇY'den, PFBT'nin ön ve son testinden alınan puan yüzdelerine ait değerler Tablo 76'da verilmektedir.

Tablo 76

Etkileşimlerin Doğası Etkinliğine Göre PFBT ve EÇY'den Alınan Puan Yüzdeleri

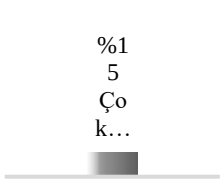
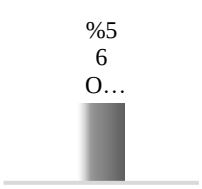
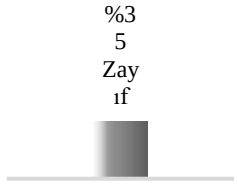
Etkinliğin Adı	Ön Test Puan Yüzdesi	EÇY Puan Yüzdesi	Son Test Puan Yüzdesi
Etkileşimlerin Doğası			

Tablo 76 incelendiğinde Etkileşimlerin Doğası Etkinliği ile ilgili olan PFBT'deki Soru 8'in ön testte aldığı puan yüzdesi %70 iken, son testte ise %100 olduğu görülmektedir. Buna göre Soru 8'i son testte tüm katılımcılar doğru cevaplamıştır. Ayrıca etkinliğin uygulanması sonucunda son testte doğru cevap frekansının arttığı görülmektedir. Soru 8'den alınan puan yüzdesine göre; katılımcıların verilen etkileşimlerin tahmin edilmesi hakkındaki bilgilerinin durumu 'iyi' iken, 'çok iyi' olarak değiştiği tespit edilmiştir. Etkinlikte dört temel etkileşime ait özelliklerle ilgili bir tablonun doldurulması istenen çalışmayı, katılımcıların tamamı doğru cevaplamıştır. Buna göre EÇY'deki çalışmadan alınan puan yüzdesi %100 olarak hesaplanmıştır. EÇY'den alınan puan yüzdesine göre, katılımcıların etkinlikteki başarısı 'çok iyi' olarak değerlendirilmiştir.

Etkileşimlerin Süreci Etkinliği ile ilgili EÇY'den, PFBT'nin ön ve son testinden alınan puan yüzdelerine ait değerler Tablo 77'de verilmektedir.

Tablo 77

Etkileşimlerin Süreci Etkinliğine Göre PFBT ve EÇY'den Alınan Puan Yüzdeleri

Etkinliğin Adı	Ön Test Puan Yüzdesi	EÇY Puan Yüzdesi	Son Test Puan Yüzdesi
Etkileşimlerin Süreci			

Tablo 77 incelendiğinde Etkileşimlerin Süreci Etkinliği ilgili PFBT'deki Soru 9'un ön testteki puan yüzdesi %15 iken, son testte ise %35 olduğu görülmektedir. Soru 9'dan

alınan puan ortalamasına göre; katılımcıların elektrozayıf etkileşimin bileşik teorisi hakkındaki bilgilerinin durumu ‘çok zayıf’ iken, ‘zayıf’ olarak değiştiği tespit edilmiştir. Katılımcılar etkinlikte verilen 12 kavramın tümünü, etkileşimler arasındaki süreci gösteren zaman şeridi üzerindeki uygun yerlere yerleştirilmesinin istendiği çalışmada doğru cevap verememiştir. Her katılımcının zaman şeridi üzerine yerleştirdiği doğru kavram sayısı incelenmiştir. İnceleme sonucunda katılımcıların ilk defa duyduklarını belirttikleri kuantum elektrodinamiği ve kuantum renk dinamiği gibi kavramlarda zorlandıkları görülmüştür. Bu kavramların dört temel etkileşimden başlayarak büyük birleşme kuramına ilerleyen zaman şeridinde uygun yerlere yerleştirilemediği görülmüştür. 3 katılımcı ise zaman şeridini tamamen boş bırakmıştır. Diğer katılımcıların verdiği cevaplar ise puanlandırılarak değerlendirilmiştir. Buna göre EÇY’deki çalışmadan alınan puan yüzdesi %56 olarak hesaplanmıştır. EÇY’den alınan puan yüzdesine göre, katılımcıların etkinlikteki başarısı ‘orta’ olarak değerlendirilmiştir.

Atom Altı Parçacıklardan Maddeye Etkinliği ile ilgili EÇY’den, PFBT’nin ön ve son testinden alınan puan yüzdelerine ait değerler Tablo 78’de verilmektedir.

Tablo 78

Atom Altı Parçacıklardan Maddeye Etkinliğine Göre PFBT ve EÇY’den Alınan Puan Yüzdeleri

Etkinliğin Adı	Ön Test Puan Yüzdesi	EÇY Puan Yüzdesi	Son Test Puan Yüzdesi
Atom Altı Parçacıklardan Maddeye	%55 Orta	%17 Ç…	%95 Çok iyi
	Soru 12		Soru 12

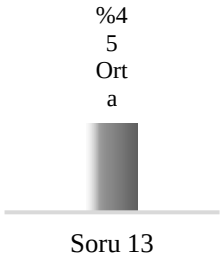
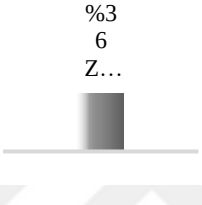
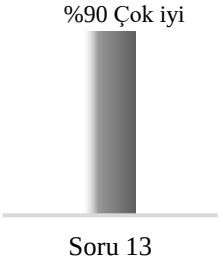
Tablo 78’de Atom Altı Parçacıklardan Maddeye Etkinliği ile ilgili PFBT’deki Soru 12’nin ön testteki puan yüzdesi %55 iken, son testte ise %95 olduğu görülmektedir. Soru 12’nin puan yüzdesine göre, katılımcıların maddeyi oluşturan en küçük yapılarla ilgili model hakkındaki bilgilerinin durumu ‘orta’ iken, ‘çok iyi’ olarak değiştiği tespit edilmiştir. Etkinlikteki çalışmaya katılımcıların büyük kısmı yanlış cevaplar vermiştir. Bunun nedeni incelendiğinde hidrojende nötron olduğunu düşünmeleri nedeniyle çalışmayı başarıyla tamamlayamadıkları görülmüştür. Buna göre EÇY’deki çalışmadan alınan puan yüzdesi

%17 olarak hesaplanmıştır. Bu nedenle etkinlikte hedeflenen çalışma katılımcılar tarafından başarıyla yerine getirilse de katılımcıların etkinlikteki başarısı ‘çok zayıf’ olarak değerlendirilmiştir.

Higgs Bozonu Etkinliği ile ilgili EÇY’den, PFBT’nin ön ve son testinden alınan puan yüzdelerine ait değerler Tablo 79’da verilmektedir.

Tablo 79

Higgs Bozonu Etkinliğine Göre PFBT ve EÇY’den Alınan Puan Yüzdeleri

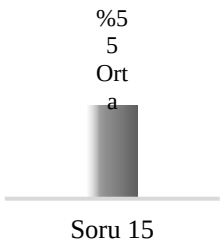
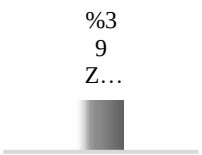
Etkinliğin Adı	Ön Test Puan Yüzdesi	EÇY Puan Yüzdesi	Son Test Puan Yüzdesi
Higgs Bozonu			

Tablo 79’da Higgs Bozonu Etkinliği ile ilgili PFBT’deki Soru 13’ten ön testte alınan puan yüzdesi %45 iken, son testte ise %90 olduğu görülmektedir. Buna göre etkinliğin uygulanması sonucunda son testte Soru 13’ün doğru cevap frekansı artmıştır. Soru 13’ün puan yüzdesine göre, katılımcıların kütlesiz parçacıklar hakkındaki bilgilerinin durumu ‘orta’ iken, ‘çok iyi’ olarak değiştiği tespit edilmiştir. Etkinlikte Higgs bozonu ve alanına yönelik oluşturulmuş ödüllü analojide benzeyen ve benzetilen unsurların belirtilmesinin istendiği çalışmanın tamamı doğru cevaplanamamıştır. Katılımcıların doğru verdiği cevaplar puanlanarak değerlendirilmiş ve EÇY’deki çalışmanın puan yüzdesi %36 olarak hesaplanmıştır. Son testte alan bilgisi hakkındaki durumları ‘çok iyi’ olmasına rağmen etkinlikte doğru cevaplar verilememesi nedeniyle katılımcıların etkinlikteki başarısı ‘zayıf’ olarak değerlendirilmiştir.

Madde ve Antimadde Etkinliği ile ilgili EÇY’den, PFBT’nin ön ve son testinden alınan puan yüzdelerine ait değerler Tablo 80’de verilmektedir.

Tablo 80

Madde ve Antimadde Etkinliğine Göre PFBT ve EÇY'den Alınan Puan Yüzdeleri

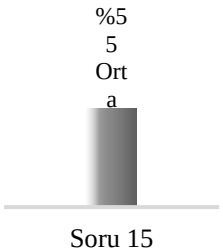
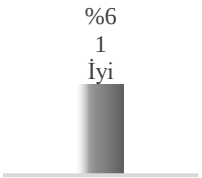
Etkinliğin Adı	Ön Test Puan Yüzdesi	EÇY Puan Yüzdesi	Son Test Puan Yüzdesi
Madde ve Antimadde			

Tablo 80'de Madde ve Antimadde Etkinliği ile ilgili PFBT'deki Soru 15'ten ön testte alınan puan yüzdesi %55 iken, son testte ise %95 olduğu görülmektedir. Buna göre etkinliğin uygulanması sonucunda son testte Soru 15'in doğru cevap frekansı artmıştır. Soru 15'ten alınan puan yüzdesine göre, katılımcıların parçacık ve antiparçacığın özellikleri hakkındaki bilgilerinin durumu 'orta' iken, 'çok iyi' olarak değiştiği tespit edilmiştir. Etkinlikte kabarcık odasındaki izlerle ilgili olan beş soru için elde edilen doğru cevap frekansı oldukça düşüktür. Katılımcıların bazı sorulara verdiği doğru cevaplar değerlendirilmiş ve EÇY'deki çalışmadan alınan puan yüzdesi %31 olarak hesaplanmıştır. EÇY'den alınan puan yüzdesine göre, katılımcıların etkinlikteki başarısı 'iyi' olarak değerlendirilmiştir.

Parçacıkların İzlerini Sürmek Etkinliği ile ilgili EÇY'den, PFBT'nin ön ve son testinden alınan puan yüzdelerine ait değerler Tablo 81'de verilmektedir.

Tablo 81

Parçacıkların İzlerini Sürmek Etkinliğine Göre PFBT ve EÇY'den Alınan Puan Yüzdeleri

Etkinliğin Adı	Ön Test Puan Yüzdesi	EÇY Puan Yüzdesi	Son Test Puan Yüzdesi
Parçacıkların İzlerini Sürmek			

Tablo 81’de Parçacıkların İzlerini Sürmek Etkinliği ile ilgili PFBT’deki Soru 15’ten ön testte alınan puan yüzdesi %55 iken, son testte ise %95 olduğu görülmektedir. Buna göre etkinliğin uygulanması sonucunda son testte Soru 15’in doğru cevap frekansı artmıştır. Soru 15’ten alınan puan yüzdesine göre, katılımcıların parçacık ve antiparçacığın özellikleri hakkındaki bilgilerinin durumu ‘orta’ iken, ‘çok iyi’ olarak değiştiği tespit edilmiştir. Etkinlikte hızlandırıcılarda bulunan çeşitli dedektörlerde elde edilen 4 olaya ait bozunmanın tahmininin istendiği çalışmada doğru cevaplar elde edilememiştir. Katılımcıların bazı olaylara verdiği doğru cevaplar değerlendirilmiş ve EÇY’deki çalışmadan alınan puan yüzdesi %61 olarak hesaplanmıştır. EÇY’den alınan puan yüzdesine göre, katılımcıların etkinlikteki başarısı ‘iyi’ olarak değerlendirilmiştir.

Feynman Diyagramları Etkinliği ile ilgili EÇY’den, PFBT’nin ön ve son testinden alınan puan yüzdelerine ait değerler Tablo 82’de verilmektedir.

Tablo 82

Feynman Diyagramları Etkinliğine Göre PFBT ve EÇY’den Alınan Puan Yüzdeleri

Etkinliğin Adı	Ön Test Puan Yüzdesi	EÇY Puan Yüzdesi	Son Test Puan Yüzdesi
Feynman Diyagramları	%65 İyi Soru 10	%90 Çok iyi	%100 Çok iyi Soru 10

Tablo 82’de Feynman Diyagramları Etkinliği ile ilgili olan PFBT’deki Soru 10’un ön testte aldığı puan yüzdesi %65 iken, son testte ise %100 olduğu görülmektedir. Buna göre katılımcıların tamamı son testte Soru 10’u doğru olarak cevaplamıştır. Aynı zamanda etkinliğin uygulanması sonucunda son testte doğru cevap frekansı artmıştır. Soru 10’dan alınan puan yüzdesine göre, katılımcıların soru hakkındaki alan bilgilerinin durumu ‘iyi’ iken, ‘çok iyi’ olarak değiştiği tespit edilmiştir. Etkinlikte katılımcılardan verilen 3 bozunmaya ait Feynman diyagramlarının çizilmesi ve verilen 3 Feynman diyagramına ait bozunma denkleminin yazılması istendiği çalışmanın tamamı doğru cevaplanamamıştır. Katılımcıların çalışmaya verdiği doğru cevaplar puanlanarak değerlendirilmiştir. Etkinlikle ilgili EÇY’deki çalışmadan alınan puan yüzdesi %90 olarak hesaplanmıştır. EÇY’den alınan puan yüzdesine göre, katılımcıların etkinlikteki başarısı ‘çok iyi’ olarak değerlendirilmiştir.

Etkinliklerle ilgili PFBT'deki sorulardan katılımcıların aldığı ön ve son test puanları karşılaştırıldığında, son test lehine bir artışın olduğu görülmektedir. Ancak bu puanlar arasında anlamlı bir farkın olup olmadığı hakkında ise istatiksel olarak bir karşılaştırma yapmak gereklidir. İstatiksel yöntemin seçilmesi için öncelikle verilerin normal dağılıma uygunluğuna bakılmalıdır.

Etkinlikle ilgili PFBT'deki sorulardan alınan ön ve son testin puan ortalamalarına yönelik normallik testine ait veriler Tablo 83'te yer almaktadır.

Tablo 83

Etkinliklerin PFBT'deki İlgili Sorulardan Alınan Ön ve Son Test Puan Ortalamalarının Normallik Testi

	Kolmogorov – Smirnov			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Ön Test Puan Ortalaması	,14	12	,200	,95	12	,739
Son Test Puan Ortalaması	,27	12	,012	,74	12	,002

Tablo 83'te yer alan Shapiro-Wilk testi sonucuna göre etkinliklere ait ön test puan ortalamaları anlamlılık değerinin 0,05'ten büyük olduğu görülmektedir. Bu nedenle verilerin normal dağılıma uygunluk gösterdiği söylenebilir. Etkinliklere ait son test puan ortalamalarının anlamlılık değeri ise 0,05'ten küçüktür. Bu nedenle verilerin normal dağılıma uygunluk göstermediği söylenebilir. Sonuç olarak veri sayısının 29'dan az olması ve etkinliklere ait son test puan ortalama değerlerinin normal dağılıma uygunluk göstermemesi nedeniyle, parametrik olmayan istatiksel yöntemlerin kullanılması uygun görülmüştür.

Etkinliklerin PFBT'deki ilgili sorusundan katılımcıların ön ve son testten aldıkları puan ortalamalarına yönelik parametrik olmayan istatiksel yöntemlerden Wilcoxon Tek Örnek İşaret Sıralaması Testi'nin uygulanmasıyla elde edilen sonuçlar Tablo 84'te yer almaktadır.

Tablo 84

Etkinliklerin PFBT'deki İlgili Sorulardan Alınan Ön ve Son Test Puan Ortalamalarının Wilcoxon Tek Örnek İşaret Sıralaması Testi Sonuçları

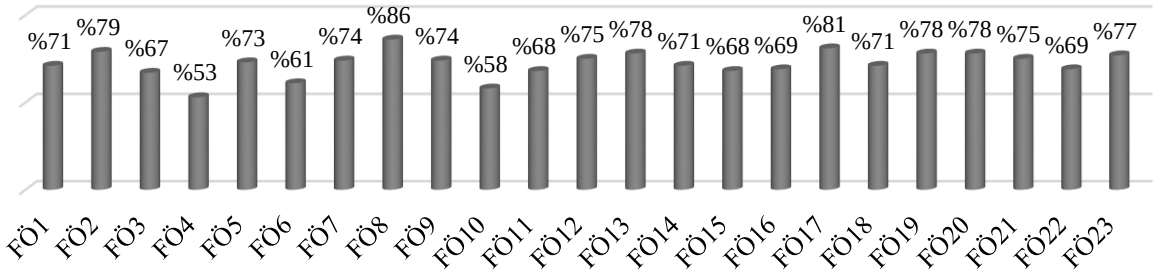
		N	Ort. Sıra	Sıralar Toplamı	Test	N	25th	Median	50th
Son test – Ön test	Negative Ranks	0^a	,00	,00	Ön test	12	,63	1,00	1,10
	Positive Ranks	12^b	6,50	78,00	Son test	12	1,52	1,80	1,90
	Ties	0^c							
	Total	12							
Z	-3,066								
Asymp. Sig	,002								

Tablo 84 incelendiğinde araştırmada uygulanan etkinliklerle ilgili PFBT'deki soruların ön ve son test puan ortalamaları arasında anlamlı bir fark olduğu görülmektedir (Z=-3,066 ve Sig. 0,002, p<0,05). Fark puanlarının sıra ortalaması ve toplamları dikkate alındığında gözlenen bu farkın pozitif sıra, son test puanı lehine olduğu görülmektedir (poz. rank=6,50; 78,00 > neg. rank= ,00; ,00). Wilcoxon İşaretli Sıralar Testi etki büyüklüğü hesaplandığında 0,62 olarak elde edilmiştir. Cohen'in kriterine göre (1988) değerlendirildiğinde elde edilen değer büyük bir etki büyüklüğüne işaret etmektedir. Bu sonuçlara göre katılımcıların etkinliklerin son test puan ortalamasında ilgili etkinliğin uygulanmasından sonra ön test puan ortalamasına göre büyük bir etki ile (r=0,62) istatiksel olarak anlamlı değişiklikler olduğunu ortaya koymuştur, Z=-3,066, p. 0,002. PFBT'den elde edilen medyan değeri ise etkinliklerin uygulanması öncesine göre (Md=1,00) uygulama sonrasında arttığı görülmektedir (Md=1,80).

Katılımcılara Göre EÇY ve PFBT'den Elde Edilen Puan Yüzdelerine Yönelik Bulgular

Bu başlıkta araştırmada uygulanan etkinliklerle ilgili olan EÇY'den, PFBT'nin ön ve son testinden alınan puan yüzde değerleri katılımcılara göre yorumlanmıştır.

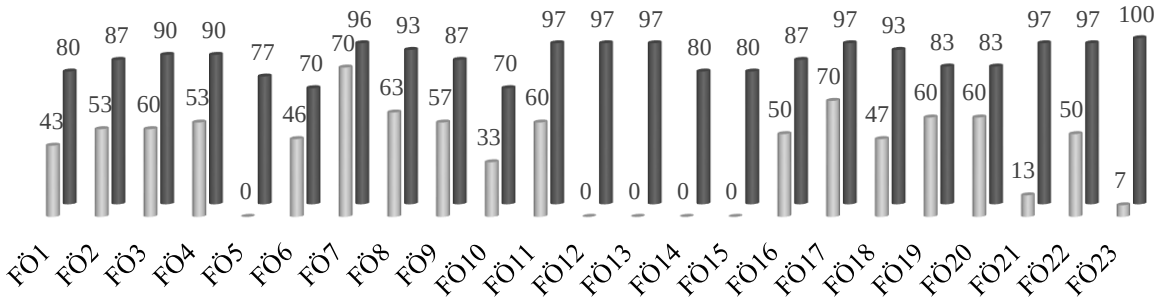
Katılımcıların EÇY'lerdeki çalışmalardan aldığı puan yüzdelerine ait grafik Şekil 32'de yer almaktadır.



Şekil 32. Katılımcıların EÇY'den aldığı puan yüzdeleri

Şekil 32 incelendiğinde EÇY'deki en yüksek puan yüzdesine (%86) sahip olan katılımcının FÖ8 olduğu görülmektedir. Buna göre FÖ8'in EÇY'lerde yer alan çalışmalarda en fazla doğru cevabı verdiği söylenebilir. FÖ4'ün ise EÇY'deki çalışmalardan en düşük puan yüzdesine (%53) sahip olduğu görülmektedir. EÇY'lerden alınan puan yüzdesine göre etkinliklerde FÖ4 ve FÖ10'un başarısı 'orta', FÖ1, FÖ2, FÖ3, FÖ5, FÖ6, FÖ7, FÖ9, FÖ11, FÖ12, FÖ13, FÖ14, FÖ15, FÖ16, FÖ18, FÖ19, FÖ20, FÖ21, FÖ22 ve FÖ23'ün başarısı 'iyi', FÖ8 ve FÖ17'nin başarısı ise 'çok iyi' olarak tespit edilmiştir.

Katılımcıların PFBT'nin ön ve son testinden aldığı puan yüzdelerine ait grafik Şekil 33'te yer almaktadır.

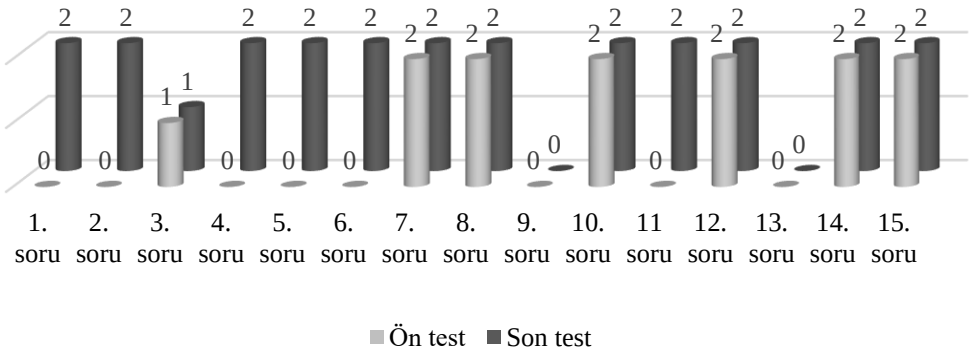


Şekil 33. Katılımcılara göre PFBT'den alınan ön ve son testin puan yüzdeleri

Şekil 33 incelendiğinde FÖ7'nin ön test puan yüzdesinin en yüksek değere (%90) sahip olduğu görülmektedir. FÖ5, FÖ12 ve FÖ14'ün ön test puan yüzdesinin en düşük değer olan sıfır değerine sahip oldukları görülmektedir. Buna göre FÖ5, FÖ12 ve FÖ14 ön testte

hiçbir soruya doğru cevap verememiş ya da boş bırakmıştır. Son testte FÖ7, FÖ11, FÖ12, FÖ13, FÖ17, FÖ21, FÖ22 ve FÖ23'ün ise en yüksek puan yüzdesine (%97) sahip oldukları görülmektedir. FÖ19 ve FÖ20'nin ise son testte en düşük puan yüzdesine (%50) sahip olduğu görülmektedir. Ayrıca FÖ19 ve FÖ20 hariç diğer tüm katılımcıların uygulama sonrasında ön test puanlarına göre son test puan değerlerinin arttığı görülmektedir. PFBT'den alınan puan yüzdesine göre FÖ1, FÖ2, FÖ3, FÖ4, FÖ9, FÖ16, FÖ18 ve FÖ22'nin parçacık fiziği alan bilgilerinin durumu 'orta' iken 'çok iyi'; FÖ5'in parçacık fiziği alan bilgilerinin durumu 'çok zayıf' iken 'iyi'; FÖ6'nın parçacık fiziği alan bilgilerinin durumu 'orta' iken 'iyi'; FÖ7, FÖ8, FÖ11, FÖ17, FÖ19 ve FÖ20'nin parçacık fiziği alan bilgilerinin durumu 'iyi' iken 'çok iyi'; FÖ10'un parçacık fiziği alan bilgilerinin durumu 'zayıf' iken 'iyi'; FÖ12, FÖ13, FÖ14, FÖ15, FÖ21 ve FÖ23'ün parçacık fiziği alan bilgilerinin durumu 'çok zayıf' iken 'çok iyi' olarak değiştiği tespit edilmiştir.

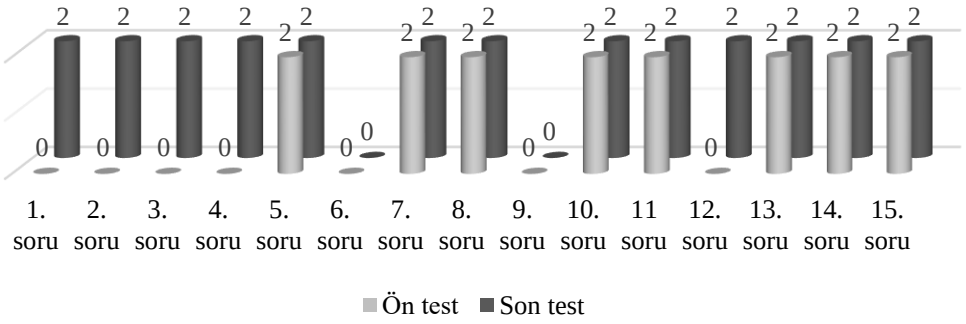
FÖ1'in PFBT'nin ön ve son test uygulamasındaki her bir sorudan aldığı puana ait grafik Şekil 34'te yer almaktadır.



Şekil 34. FÖ1'in PFBT'nin ön ve son testine verdiği cevaplara ait puan dağılımı

Şekil 34 incelendiğinde FÖ1'in Soru 9 ve Soru 13'ü hem ön hem de son testte cevaplayamadığı ya da yanlış cevap verdiği görülmektedir. Soru 3'ü ise hem ön hem de son testte kısmen doğru cevapladığı görülmektedir. FÖ1'in PFBT'nin ön test uygulamasından aldığı puan 13, son test uygulamasından aldığı puan ise 25'tir. FÖ1'in uygulama öncesine de Soru 7, 8, 10, 12, 14 ve 15'in ilgili olduğu konularda da ön bilgilerinin olduğu söylenebilir.

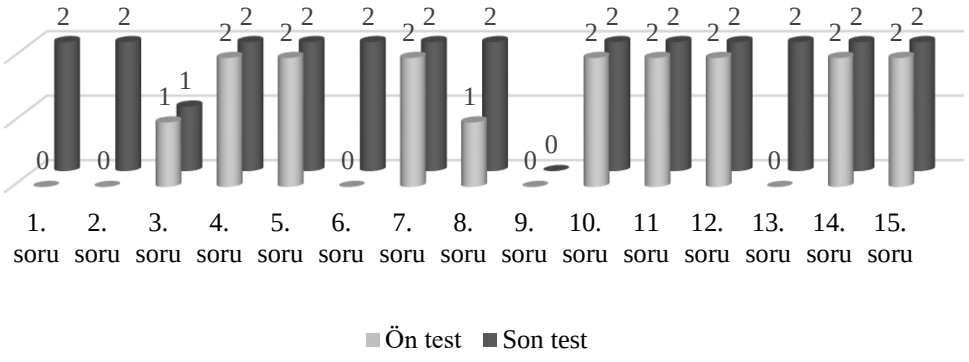
FÖ2'nin PFBT'nin ön ve son test uygulamasındaki her bir sorudan aldığı puana ait grafik Şekil 35'te yer almaktadır.



Şekil 35. FÖ2'nin PFBT'nin ön ve son testine verdiği cevaplara ait puan dağılımı

Şekil 35 incelendiğinde FÖ2'nin Soru 6 ve Soru 9'u hem ön hem de son testte cevaplayamadığı ya da yanlış cevap verdiği görülmektedir. FÖ2'nin PFBT'nin ön test uygulamasından aldığı puan 16, son test uygulamasından aldığı puan ise 26'dır. FÖ2'nin uygulama öncesine de Soru 5, 7, 8, 10, 11, 13, 14 ve 15'in ilgili olduğu konularda da ön bilgilerinin olduğu söylenebilir. Etkinliklerin uygulaması sonrasında katılımcının doğru cevap frekansının arttığı görülmektedir.

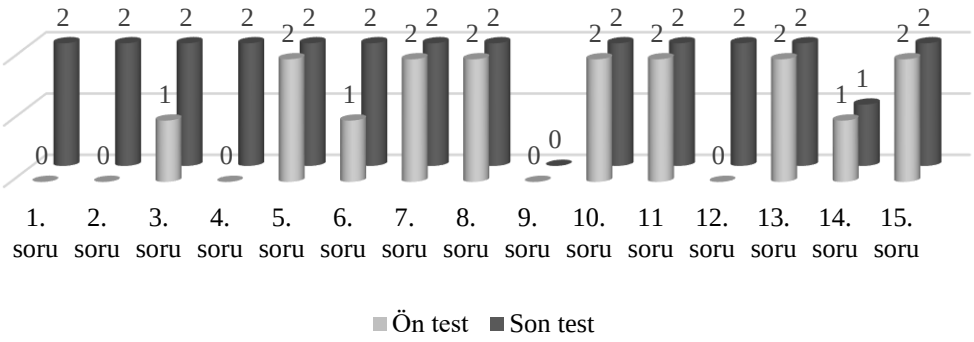
FÖ3'ün PFBT'nin ön ve son test uygulamasındaki her bir sorudan aldığı puana ait grafik Şekil 36'da yer almaktadır.



Şekil 36. FÖ3'ün PFBT'nin ön ve son testine verdiği cevaplara ait puan dağılımı

Şekil 36 incelendiğinde FÖ3'ün hem ön hem de son testte Soru 9'u cevaplayamadığı ya da yanlış cevap verdiği görülmektedir. FÖ3'ün Soru 3'ü ise hem ön hem de son testte kısmen doğru cevap verdiği görülmektedir. FÖ3'ün PFBT'nin ön test uygulamasından aldığı puan 18, son test uygulamasından aldığı puan ise 27'dir. Soru 4, 5, 7, 10, 11, 13, 14 ve 15'in ilgili olduğu konularda ise uygulama öncesinde de bilgilerinin olduğu söylenebilir.

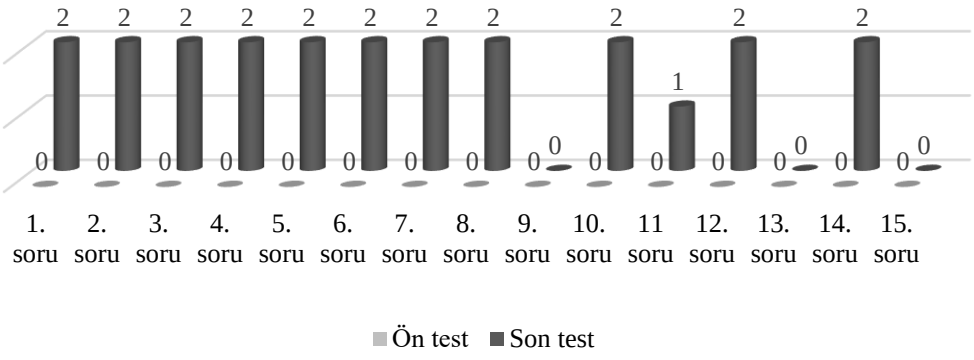
FÖ4'ün PFBT'nin ön ve son test uygulamasındaki her bir sorudan aldığı puana ait grafik Şekil 37'de yer almaktadır.



Şekil 37. FÖ4'ün PFBT'nin ön ve son testine verdiği cevaplara ait puan dağılımı

Şekil 37 incelendiğinde FÖ4'ün Soru 9'u hem ön hem de son testte cevaplayamadığı ya da yanlış cevap verdiği görülmektedir. FÖ4'ün PFBT'nin ön test uygulamasından aldığı puan 17, son test uygulamasından aldığı puan ise 27'dir. Soru 14'ü ise hem ön hem de son testte kısmen doğru cevaplamıştır. FÖ4'ün uygulama öncesinde de Soru 5, 7, 8, 10, 11, 13 ve 15'in ilgili olduğu konularda bilgilerinin olduğu söylenebilir.

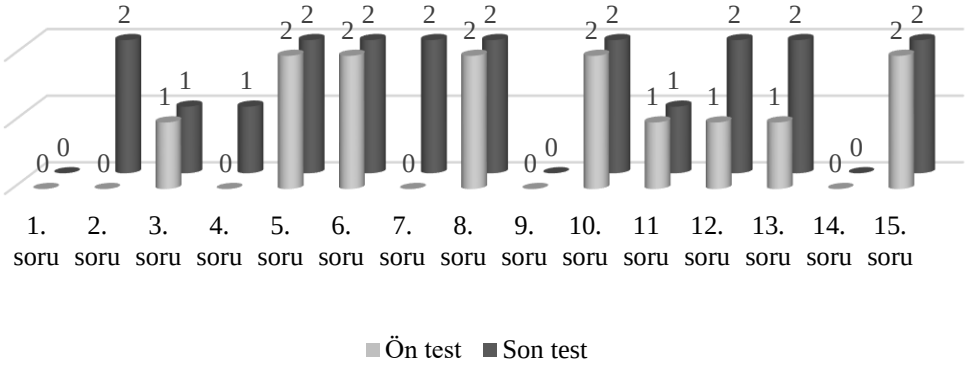
FÖ5'in PFBT'nin ön ve son test uygulamasındaki her bir sorudan aldığı puana ait grafik Şekil 38'de yer almaktadır.



Şekil 38. FÖ5'in PFBT'nin ön ve son testine verdiği cevaplara ait puan dağılımı

Şekil 38 incelendiğinde FÖ5'in ön testte hiçbir soruyu doğru cevaplayamadığı ya da yanlış cevap verdiği görülmektedir. Soru 9, 13 ve 15'i ise hem ön hem de son testte cevaplayamadığı ya da yanlış cevap verdiği görülmektedir. FÖ5'in PFBT'nin ön test uygulamasından aldığı puan 0, son test uygulamasından aldığı puan ise 23'tür.

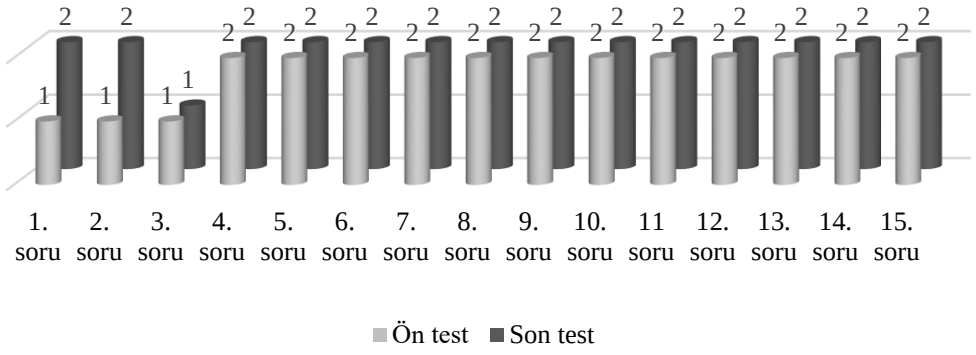
FÖ6'nın PFBT'nin ön ve son test uygulamasındaki her bir sorudan aldığı puana ait grafik Şekil 39'da yer almaktadır.



Şekil 39. FÖ6'nın PFBT'nin ön ve son testine verdiği cevaplara ait puan dağılımı

Şekil 39 incelendiğinde FÖ6'nın Soru 1, 9 ve 14'ü hem ön hem de son testte cevaplayamadığı ya da yanlış cevap verdiği görülmektedir. FÖ6'nın PFBT'nin ön test uygulamasından aldığı puan 14, son test uygulamasından aldığı puan ise 21'dir. FÖ6'nın uygulama öncesinde de Soru 5, 6, 8, 10 ve 15'in ilgili olduğu konularda ön bilgilerinin olduğu söylenebilir.

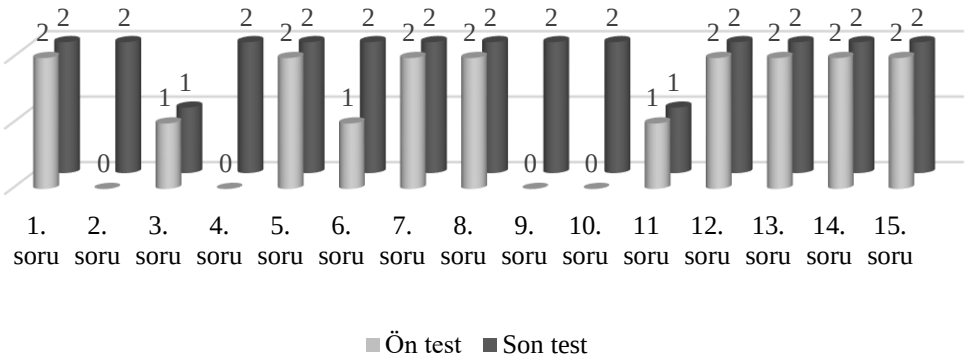
FÖ7'nin PFBT'nin ön ve son test uygulamasındaki her bir sorudan aldığı puana ait grafik Şekil 40'ta yer almaktadır.



Şekil 40. FÖ7'nin PFBT'nin ön ve son testine verdiği cevaplara ait puan dağılımı

Şekil 40 incelendiğinde uygulama öncesinde de Soru 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14 ve 15'in ilgili olduğu konularda bilgilerinin olduğu söylenebilir. Soru 3'ü ise hem ön hem de son testte kısmen doğru cevaplamıştır. FÖ7'nin PFBT'nin ön test uygulamasından aldığı puan 27, son test uygulamasından aldığı puan ise 29'dur.

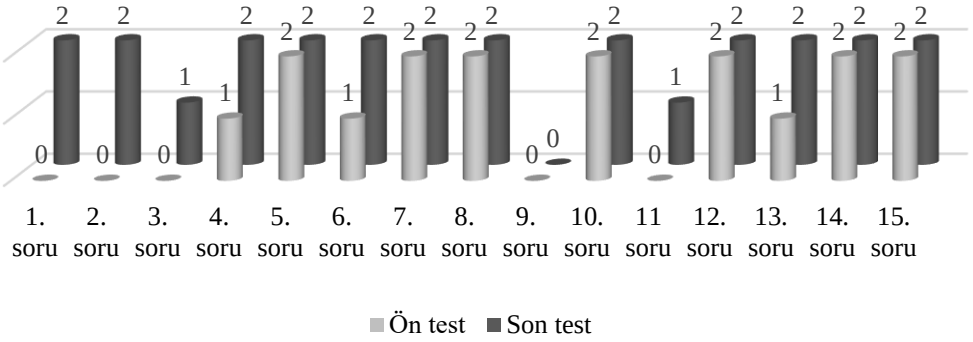
FÖ8'in PFBT'nin ön ve son test uygulamasındaki her bir sorudan aldığı puana ait grafik Şekil 41'de yer almaktadır.



Şekil 41. FÖ8'in PFBT'nin ön ve son testine verdiği cevaplara ait puan dağılımı

Şekil 41 incelendiğinde FÖ8'in uygulama öncesinde de Soru 1, 5, 7, 8, 12, 13, 14 ve 15'in ilgili olduğu konularda ön bilgilerinin olduğu söylenebilir. Soru 3 ve Soru 11'i ise hem ön hem de son testte kısmen doğru cevaplamıştır. FÖ8'in PFBT'nin ön test uygulamasından aldığı puan 19, son test uygulamasından aldığı puan ise 28'dir.

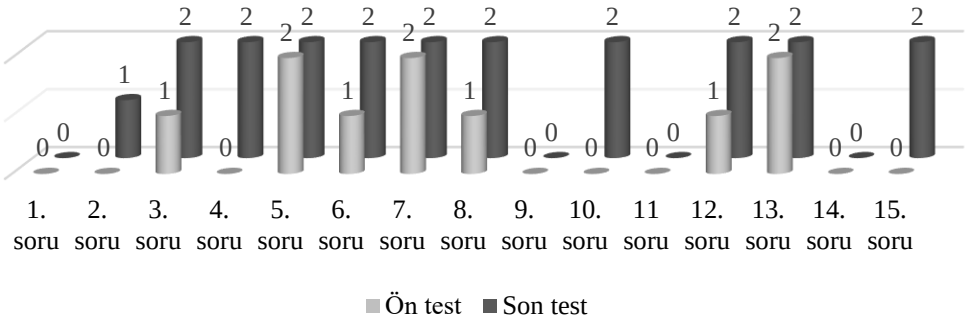
FÖ9'un PFBT'nin ön ve son test uygulamasındaki her bir sorudan aldığı puana ait grafik Şekil 42'de yer almaktadır.



Şekil 42. FÖ9'un PFBT'nin ön ve son testine verdiği cevaplara ait puan dağılımı

Şekil 42 incelendiğinde FÖ9'un Soru 9'u hem ön hem de son testte cevaplayamadığı ya da yanlış cevap verdiği görülmektedir. FÖ9'un uygulama öncesine de Soru 5, 7, 8, 10, 12, 14 ve 15'in ilgili olduğu konularda bilgilerinin olduğu söylenebilir. Soru 3 ve Soru 11'i ise hem ön hem de son testte kısmen doğru cevaplamıştır. FÖ9'un PFBT'nin ön test uygulamasından aldığı puan 17, son test uygulamasından aldığı puan ise 26'dir.

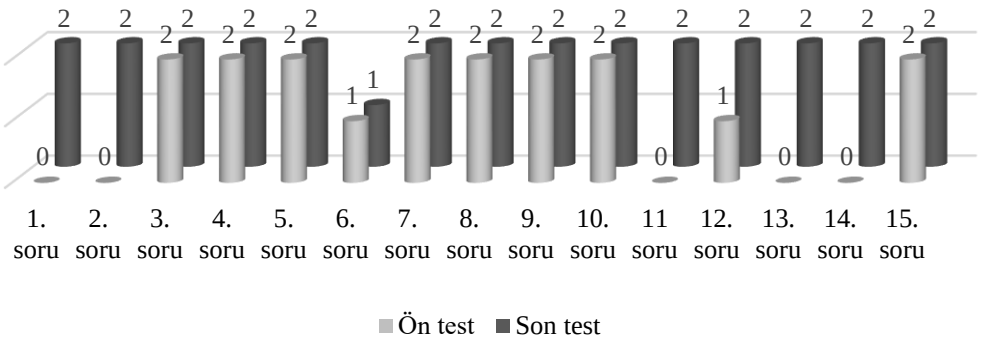
FÖ10'un PFBT'nin ön ve son test uygulamasındaki her bir sorudan aldığı puana ait grafik Şekil 43'te yer almaktadır.



Şekil 43. FÖ10'un PFBT'nin ön ve son testine verdiği cevaplara ait puan dağılımı

Şekil 43 incelendiğinde FÖ10'un Soru 1, 9, 11 ve 14'ü hem ön hem de son testte cevaplayamadığı ya da yanlış cevap verdiği görülmektedir. FÖ10'un uygulama öncesinde de Soru 7 ve Soru 13'ün ilgili olduğu konularda bilgilerinin olduğu söylenebilir. FÖ10'un PFBT'nin ön test uygulamasından aldığı puan 10, son test uygulamasından aldığı puan ise 21'dir.

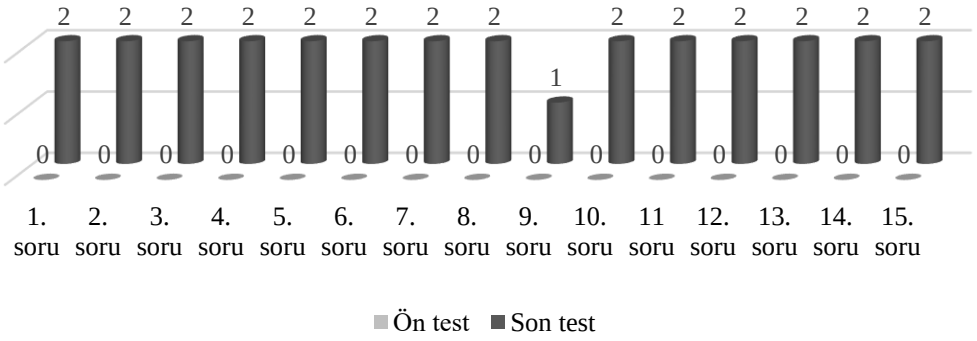
FÖ11'in PFBT'nin ön ve son test uygulamasındaki her bir sorudan aldığı puana ait grafik Şekil 44'te yer almaktadır.



Şekil 44. FÖ11'in PFBT'nin ön ve son testine verdiği cevaplara ait puan dağılımı

Şekil 44 incelendiğinde uygulama öncesinde de Soru 3, 4, 5, 7, 8, 9, 10 ve 15'in ilgili olduğu konularda bilgilerinin olduğu söylenebilir. Soru 6'nın hem ön hem de son test uygulamasında kısmen doğru cevap verdiği görülmektedir. FÖ11'in PFBT'nin ön test uygulamasından aldığı puan 18, son test uygulamasından aldığı puan ise 29'dur.

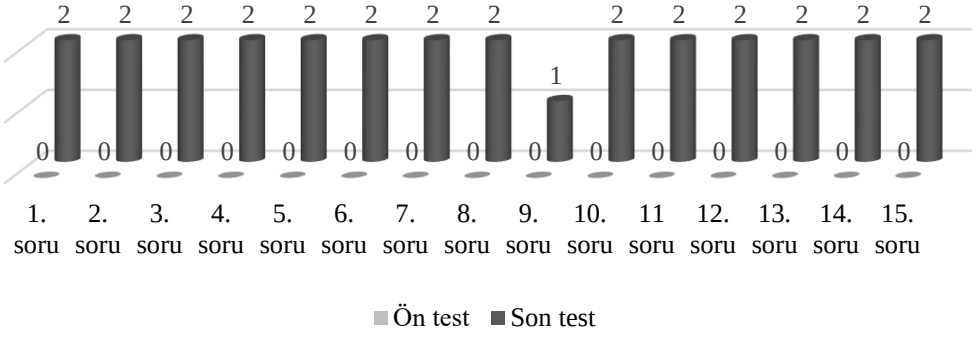
FÖ12'nin PFBT'nin ön ve son test uygulamasındaki her bir sorudan aldığı puana ait grafik Şekil 45'te yer almaktadır.



Şekil 45. FÖ12'nin PFBT'nin ön ve son testine verdiği cevaplara ait puan dağılımı

Şekil 45 incelendiğinde FÖ12'nin ön testte hiçbir soruyu cevaplayamadığı ya da yanlış cevap verdiği görülmektedir. FÖ12'nin PFBT'nin ön test uygulamasından aldığı puan 0, son test uygulamasından aldığı puan ise 29'dur.

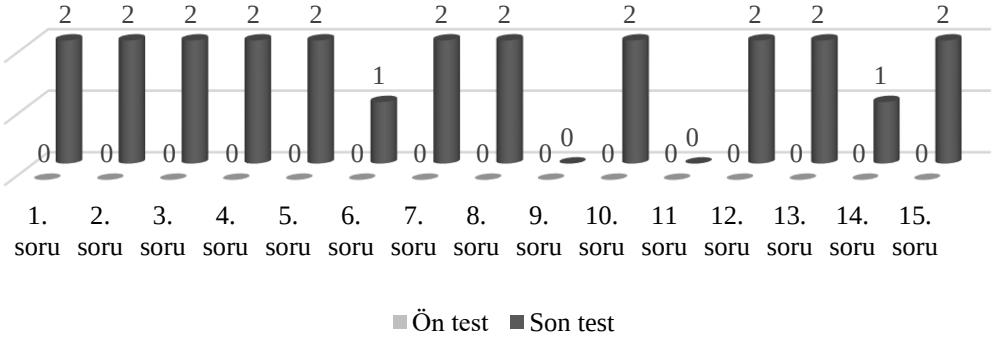
FÖ13'ün PFBT'nin ön ve son test uygulamasındaki her bir sorudan aldığı puana ait grafik Şekil 46'da yer almaktadır.



Şekil 46. FÖ13'ün PFBT'nin ön ve son testine verdiği cevaplara ait puan dağılımı

Şekil 46 incelendiğinde FÖ13'ün ön testte hiçbir soruyu cevaplayamadığı ya da yanlış cevap verdiği görülmektedir. FÖ13'ün PFBT'nin ön test uygulamasından aldığı puan 0, son test uygulamasından aldığı puan ise 29'dur.

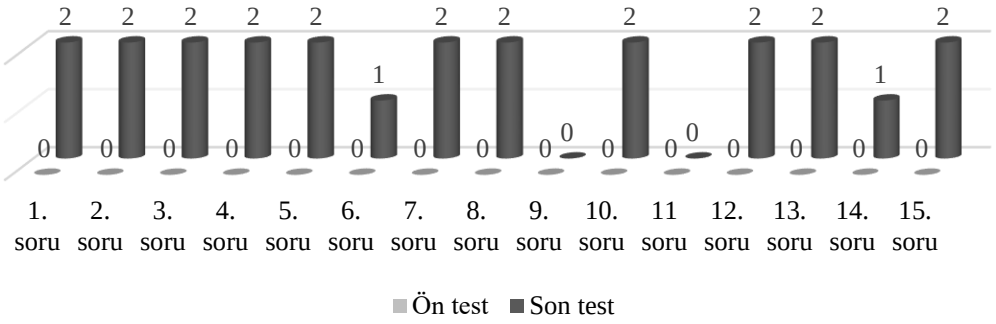
FÖ14'ün PFBT'nin ön ve son test uygulamasındaki her bir sorudan aldığı puana ait grafik Şekil 47'de yer almaktadır.



Şekil 47. FÖ14'ün PFBT'nin ön ve son testine verdiği cevaplara ait puan dağılımı

Şekil 47 incelendiğinde FÖ14'ün ön testte hiçbir soruyu cevaplayamadığı ya da yanlış cevap verdiği görülmektedir. Soru 9 ve Soru 11'i hem ön hem de son testte cevaplayamadığı ya da yanlış cevap verdiği görülmektedir. FÖ14'ün PFBT'nin ön test uygulamasından aldığı puan 0, son test uygulamasından aldığı puan ise 24'tür.

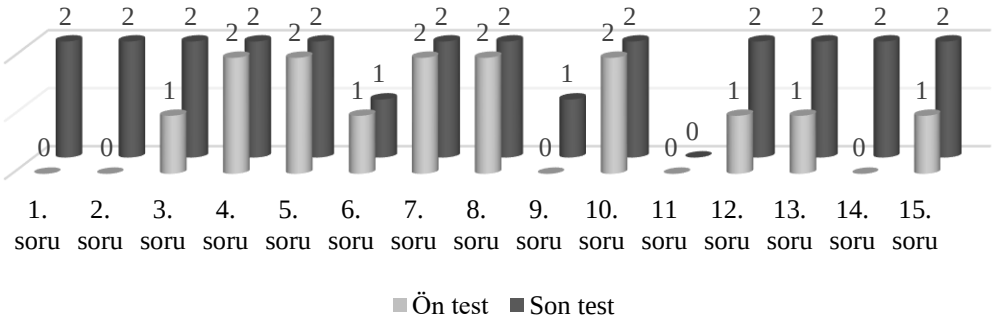
FÖ15'in PFBT'nin ön ve son test uygulamasındaki her bir sorudan aldığı puana ait grafik Şekil 48'de yer almaktadır.



Şekil 48. FÖ15'in PFBT'nin ön ve son testine verdiği cevaplara ait puan dağılımı

Şekil 48 incelendiğinde FÖ15'in ön testte hiçbir soruyu yanlış cevapladığı ya da yanlış cevap verdiği görülmektedir. Soru 9 ve Soru 11'i hem ön hem de son testte cevaplayamadığı ya da yanlış cevap verdiği görülmektedir. FÖ15'in PFBT'nin ön test uygulamasından aldığı puan 0, son test uygulamasından aldığı puan ise 24'tür.

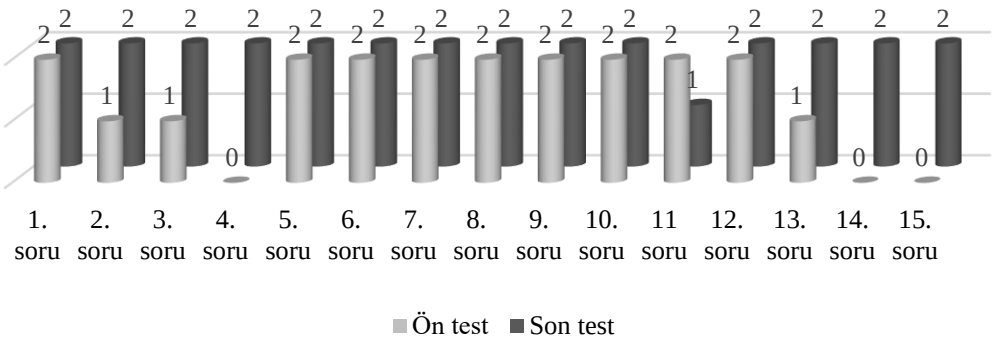
FÖ16'nın PFBT'nin ön ve son test uygulamasındaki her bir sorudan aldığı puana ait grafik Şekil 49'da yer almaktadır.



Şekil 49. FÖ16'nın PFBT'nin ön ve son testine verdiği cevaplara ait puan dağılımı

Şekil 49 incelendiğinde FÖ16'nın Soru 11'i hem ön hem de son testte cevaplayamadığı ya da yanlış cevap verdiği görülmektedir. FÖ11'in uygulama öncesinde de Soru 4, 5, 7, 8 ve Soru 10'un ilgili olduğu konularda bilgilerinin olduğu söylenebilir. FÖ16'nın PFBT'nin ön test uygulamasından aldığı puan 15, son test uygulamasından aldığı puan ise 26'dır.

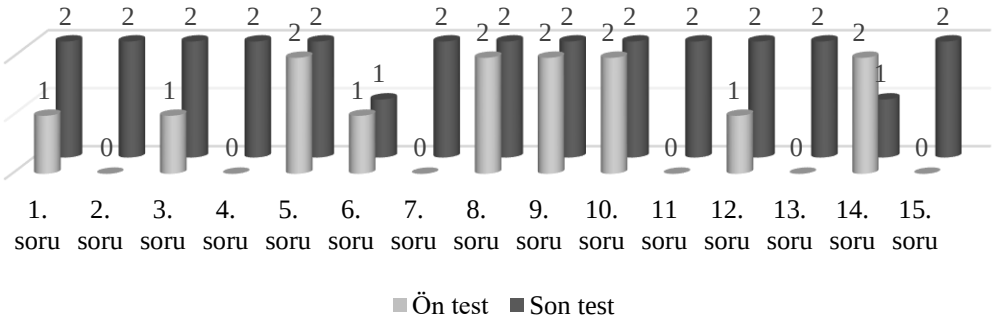
FÖ17'nin PFBT'nin ön ve son test uygulamasındaki her bir sorudan aldığı puana ait grafik Şekil 50'de yer almaktadır.



Şekil 50. FÖ17'nin PFBT'nin ön ve son testine verdiği cevaplara ait puan dağılımı

Şekil 50 incelendiğinde FÖ17'nin uygulama öncesinde de Soru 1, 5, 6, 7, 8, 9, 10 ve 12'nin ilgili olduğu konularda bilgilerinin olduğu söylenebilir. FÖ17'nin PFBT'nin ön test uygulamasından aldığı puan 21, son test uygulamasından aldığı puan ise 29'dur.

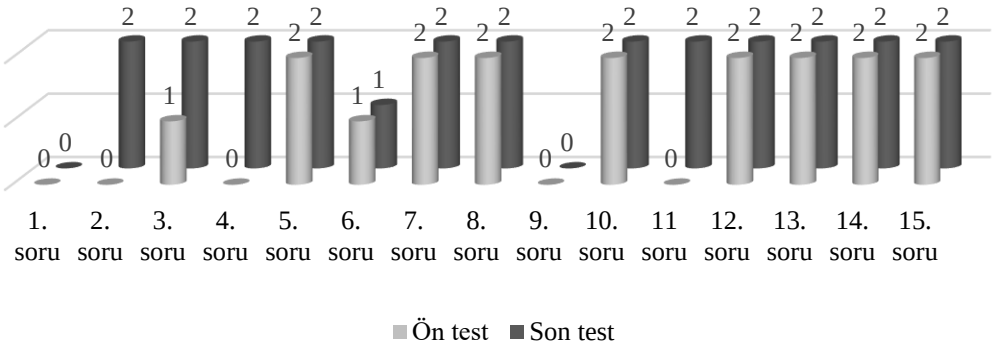
FÖ18'in PFBT'nin ön ve son test uygulamasındaki her bir sorudan aldığı puana ait grafik Şekil 51'de yer almaktadır.



Şekil 51. FÖ18'in PFBT'nin ön ve son testine verdiği cevaplara ait puan dağılımı

Şekil 51 incelendiğinde FÖ18'in Soru 6'yı hem ön hem de son testte kısmen doğru cevap verdiği görülmektedir. FÖ18'in uygulama öncesinde de Soru 5, 8 ve 10'un ilgili olduğu konularda bilgilerinin olduğu söylenebilir. Ancak ilk defa ön testteki doğru cevabın son testte kısmen doğru ya da cevapsız/yanlış olarak değişimi görülmektedir. FÖ18 ön testte Soru 9'u doğru cevaplarken son testte cevapsız/yanlış cevap verdiği görülmektedir. Soru 9'u ön testte doğru cevaplarken, son testte ise kısmen doğru cevapladığı görülmektedir. FÖ18'in PFBT'nin ön test uygulamasından aldığı puan 14, son test uygulamasından aldığı puan ise 28'dir.

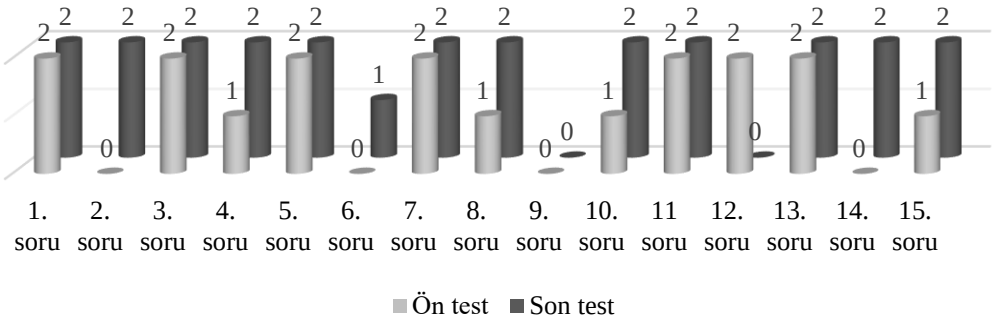
FÖ19'un PFBT'nin ön ve son test uygulamasındaki her bir sorudan aldığı puana ait grafik Şekil 52'de yer almaktadır.



Şekil 52. FÖ19'un PFBT'nin ön ve son testine verdiği cevaplara ait puan dağılımı

Şekil 52 incelendiğinde Soru 1 ve Soru 9'u hem ön hem de son testte cevaplayamadığı ya da yanlış cevap verdiği görülmektedir. FÖ19'un uygulama öncesinde de Soru 5, 7, 8, 10, 12, 13, 14 ve 15'in ilgili olduğu konularda bilgilerinin olduğu söylenebilir. FÖ19'un PFBT'nin ön test uygulamasından aldığı puan 18, son test uygulamasından aldığı puan ise 25'tir.

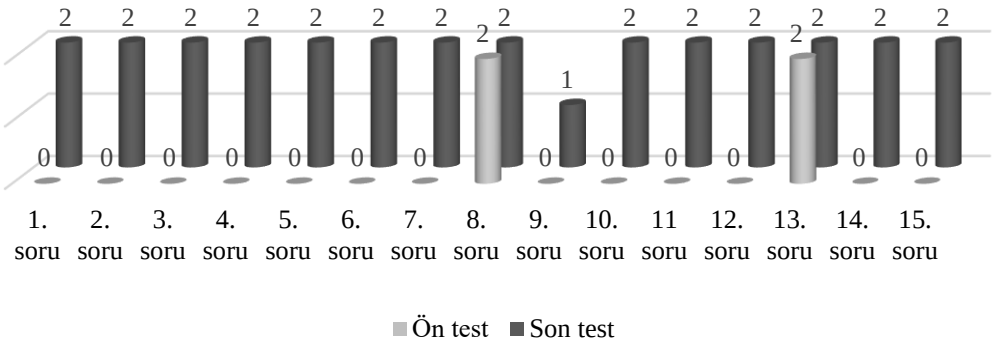
FÖ20'nin PFBT'nin ön ve son test uygulamasındaki her bir sorudan aldığı puana ait grafik Şekil 53'te yer almaktadır.



Şekil 53. FÖ20'nin PFBT'nin ön ve son testine verdiği cevaplara ait puan dağılımı

Şekil 53 incelendiğinde FÖ20'nin hem ön hem de son testte Soru 9'u cevaplayamadığı ya da yanlış cevap verdiği görülmektedir. FÖ20'nin uygulama öncesinde de Soru 1, 3, 5, 7, 11 ve 13'ün ilgili olduğu konularda bilgilerinin olduğu söylenebilir. FÖ20'nin PFBT'nin ön test uygulamasından aldığı puan 18, son test uygulamasından aldığı puan ise 25'tir.

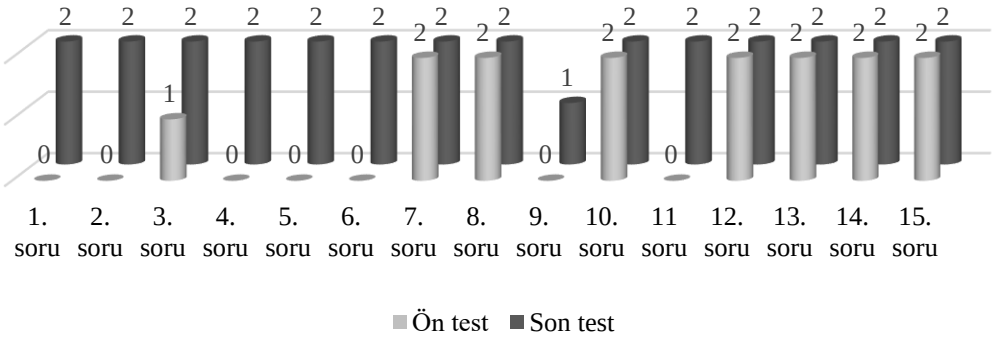
FÖ21'in PFBT'nin ön ve son test uygulamasındaki her bir sorudan aldığı puana ait grafik Şekil 54'te yer almaktadır.



Şekil 54. FÖ21'in PFBT'nin ön ve son testine verdiği cevaplara ait puan dağılımı

Şekil 54 incelendiğinde FÖ21'in uygulama öncesinde de Soru 8 ve Soru 13'ün ilgili olduğu konularda bilgilerinin olduğu söylenebilir. Soru 8 ve Soru 13'e hem ön hem de son testte doğru cevap verdiği görülmektedir. FÖ21'in PFBT'nin ön test uygulamasından aldığı puan 4, son test uygulamasından aldığı puan ise 29'dur.

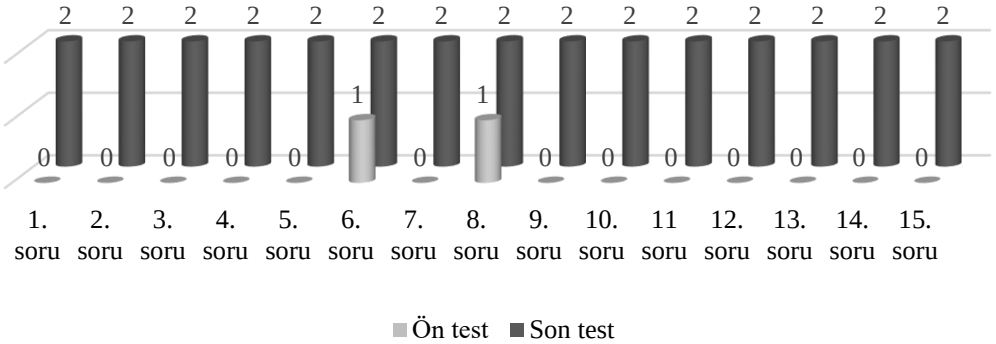
FÖ22'nin PFBT'nin ön ve son test uygulamasındaki her bir sorudan aldığı puana ait grafik Şekil 55'te yer almaktadır.



Şekil 55. FÖ22'nin PFBT'nin ön ve son testine verdiği cevaplara ait puan dağılımı

Şekil 55 incelendiğinde uygulama öncesinde de Soru 7, 8, 10, 12, 13, 14 ve 15'in ilgili olduğu konularda bilgilerinin olduğu söylenebilir. FÖ22'nin PFBT'nin ön test uygulamasından aldığı puan 15, son test uygulamasından aldığı puan ise 29'dur.

FÖ23'ün PFBT'nin ön ve son test uygulamasındaki her bir sorudan aldığı puana ait grafik Şekil 56'da yer almaktadır.



Şekil 56. FÖ23'ün PFBT'nin ön ve son testine verdiği cevaplara ait puan dağılımı

Şekil 56 incelendiğinde FÖ23'ün ön testte Soru 6 ve Soru 9'u kısmen doğru cevapladığı, diğer soruları ise cevaplayamadığı ya da yanlış cevap verdiği görülmektedir. Son testte ise tüm sorulara doğru cevap verdiği görülmektedir. FÖ23'ün PFBT'nin ön test uygulamasından aldığı puan 2, son test uygulamasından aldığı puan ise 30'dur.

Katılımcıların ön ve son testten aldıkları puanların toplamları karşılaştırıldığında, son test lehine bir artışın olduğu görülmektedir. Ancak bu puanlar arasında anlamlı bir farkın olup olmadığı hakkında ise istatiksel olarak bir karşılaştırma yapmak gereklidir. İstatiksel yöntemin seçilmesi için öncelikle verilerin normal dağılıma uygunluğuna bakılmalıdır.

Katılımcıların PFBT'nin ön ve son testinden aldıkları puan ortalamalarına yönelik normallik testine ait veriler Tablo 85'te yer almaktadır.

Tablo 85

Katılımcıların Ön ve Son Test Puan Ortalamalarının Normallik Testi

	Kolmogorov – Smirnov			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Ön Test Puan Ortalaması	,193	23	,026	,878	23	,009
Son Test Puan Ortalaması	,191	23	,029	,868	23	,006

Katılımcıların PFBT'nin ön ve son test olarak uygulanması sonucunda elde edilen puan ortalamalarının Shapiro-Wilk testi sonucu incelenmiştir. Buna göre katılımcılara ait ön ve son test puan ortalamaları anlamlılık değerinin 0,05'ten küçük olduğu tespit edilmiştir. Bu nedenle verilerin normal dağılıma uygunluk göstermediği söylenebilir. Sonuç olarak puan ortalama değerlerinin normal dağılıma uygunluk göstermemesi nedeniyle, parametrik olmayan istatiksel yöntemlerin kullanılması uygun görülmüştür.

Verilerin normal dağılıma uymadığının tespit edilmesi nedeniyle verilerin analizinde parametrik olmayan istatiksel yöntemlerden Wilcoxon Tek Örnek İşaret Sıralaması Testi'nin uygulanması ile her bir katılımcının ön ve son test puan ortalamaları arasındaki fark incelenmiştir.

Katılımcıların PFBT'den aldığı ön ve son test puan ortalamalarının Wilcoxon Tek Örnek İşaret Sıralaması Testi'nin uygulanmasıyla elde edilen sonuçlar Tablo 86'da yer almaktadır.

Tablo 86

Katılımcıların Ön ve Son Test Puan Ortalamalarının Wilcoxon Tek Örnek İşaret Sıralaması Testi Sonuçları

		N	Ort. Sıra	Sıralar toplamı	Test	N	25th	Median	50th
Son test - Ön test	Negative Ranks	0	,00	,00	Ön test	23	,60	1,00	1,10
	Positive Ranks	23	12,00	276,00	Son test	23	1,60	1,80	1,90
	Ties	0							
	Total	23							
Z	-4,205								
Asymp. Sig.	<,001								

Tablo 86 incelendiğinde katılımcıların ön ve son test puan ortalamaları arasında anlamlı bir fark olduğu görülmektedir (-4,205 ve Sig. <,001, p<0,05). Fark puanlarının sıra ortalaması ve toplamları dikkate alındığında gözlenen bu farkın pozitif sıra, son test puan ortalamaları lehine olduğu görülmektedir (poz. rank=12,00; 276,00 > neg. rank= ,00; ,00). Wilcoxon İşaretli Sıralar Testi etki büyüklüğü değeri (r) 0,619 olarak elde edilmiştir. Cohen'in (1988) kriterine göre değerlendirildiğinde elde edilen değer büyük bir etki büyüklüğüne işaret etmektedir. Bu sonuçlara göre katılımcıların etkinliklerin uygulanması sonucunda parçacık fiziği alan bilgilerinde büyük bir etki ile (r = 0,62) istatiksel olarak anlamlı değişiklikler olduğu tespit edilmiştir, Z=-4,205, p <,001. PFBT'den elde edilen medyan değerinin ise (Md=1,00) uygulama sonrasında arttığı görülmektedir (Md=1,80).

PFBT'nin Tekrarlı Son Test Puan Yüzde Değerlerine Yönelik Bulgular

Katılımcıların parçacık fiziği alan bilgilerinin durumu hakkında uygulamadan bir eğitim-öğretim dönemi sonra tekrar son test uygulanmıştır. Bu uygulamaya katılım oldukça az sayıda (N=7) gerçekleşmiştir. Katılımcıların PFBT'ye verdiği yanıtlar önceden belirlenen kategorilere göre tekrar puanlanarak yüzdeleri hesaplanmıştır. PFBT'nin ön, son ve tekrarlı son testinin puan yüzdelerine ait başarı durumları Tablo 87'de yer verilmektedir.

Tablo 87

Katılımcıların PFBT'nin Ön, Son ve Tekrarlı Son Test Puan Yüzdeleri

Katılımcı	Ön Test	Son Test	Tekrarlı Son Test
FÖ11	%5 5…	%95 Çok iyi	%6 3…
FÖ12	%0 Ç…	%95 Çok iyi	%83 Çok iyi
FÖ13	%5 5…	%95 Çok iyi	%76 İyi
FÖ15	%4 0…	%90 Çok iyi	%50 Orta
FÖ16	%5 0…	%8 5…	%63 İyi
FÖ19	%70 İyi	%8 0…	%53 Orta
FÖ23	%5 Çok zayıf	%95 Çok iyi	%8 0…

Tablo 87 incelendiğinde son test puan yüzdelerine göre tekrarlı son test puan yüzde değerlerinin düştüğü görülmektedir. FÖ19 dışında diğer katılımcıların tekrarlı son test puan yüzdelerinin ön test puan yüzdelerine göre yüksek olduğu görülmektedir. Bu duruma yönelik daha ayrıntılı yorum için istatiksel analize başvurulmuştur.

Friedman testi, ilişkili ölçümlerde puan ortalamalarının birbirinden anlamlı bir şekilde farklılık gösterip göstermediğini test eder. İlişkili ölçümler için uygulanan tek yönlü varyans analizinin (One-Way ANOVA) parametrik olmayan alternatifidir. Friedman testi, tek yönlü ANOVA'da normallik koşulları sağlanmadığı durumlarda uygulanır (Büyüköztürk, 2017). Katılımcıların PFBT puanları arasında anlamlı bir farkın olup olmadığı Friedman testi ile incelenmiştir. Friedman testi sonuçlarına ait veriler Tablo 88'de yer almaktadır.

Tablo 88

PFBT'nin Ön, Son ve Tekrarlı Son Testinin Friedman Testi Sonuçları

	Uygulama	Ort. Sırası
$\mathbf{X^2}$ = 12,286	Ön test	1,14
df = 2	Son test	3,00
p = 0,002	Tekrarlı son test	1,86

Tablo 88'deki parçacık fiziği alan bilgileri öğretiminde etkinliklerin anlamlı bir fark meydana getirip getirmediğini incelemek için yapılan Friedman testi sonucuna göre istatistiksel olarak anlamlı bir fark ortaya çıkmıştır (X^2 (2, N = 7) = 12,286, p < 0,05). Hangi testlerin bu farkı ortaya çıkardığını incelemek için ise Wilcoxon testi kullanılmıştır. Wilcoxon testi sonuçlarına ait veriler ise Tablo 89'da yer almaktadır.

Tablo 89

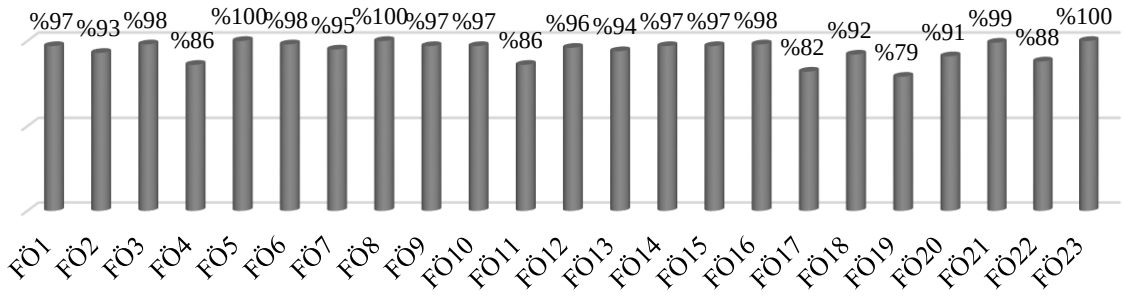
PFBT'nin Ön, Son ve Tekrarlı Son Testinin Wilcoxon Testi Sonuçları

	Ön Test- Son Test	Tekrarlı Son Test- Ön Test	Son Test- Tekrarlı Son Test
Z	-2,366	-2,197	-2,375
Sig.	0,018	0,028	0,018

Tablo 86'da katılımcıların ön ve son test puan ortalamaları arasında büyük bir etki ile anlamlı bir fark olduğu tespit edilmiştir (-4,205 ve Sig. <,001, p<0,05). Bu sonuç Tablo 89'da yer alan ön ve son test puanları arasında da görülmektedir (-2,366 ve Sig. ,018). Tablo 89'da aynı zamanda tekrarlı son test-ön test ve son test-tekrarlı son test arasında da anlamlı bir farkın olduğu görülmektedir (-2,197 ve Sig. ,028; -2,375 ve Sig. ,018). Buna göre fizik öğretmenlerinin parçacık fiziği alan bilgilerinde uygulama öncesine göre, uygulamadan iki hafta ve bir öğretim süresi sonrasına göre geliştirilen etkinliklerle öğretiminde anlamlı bir fark elde edilmiştir.

Etkinlik Değerlendirme Formundan Elde Edilen Bulgular

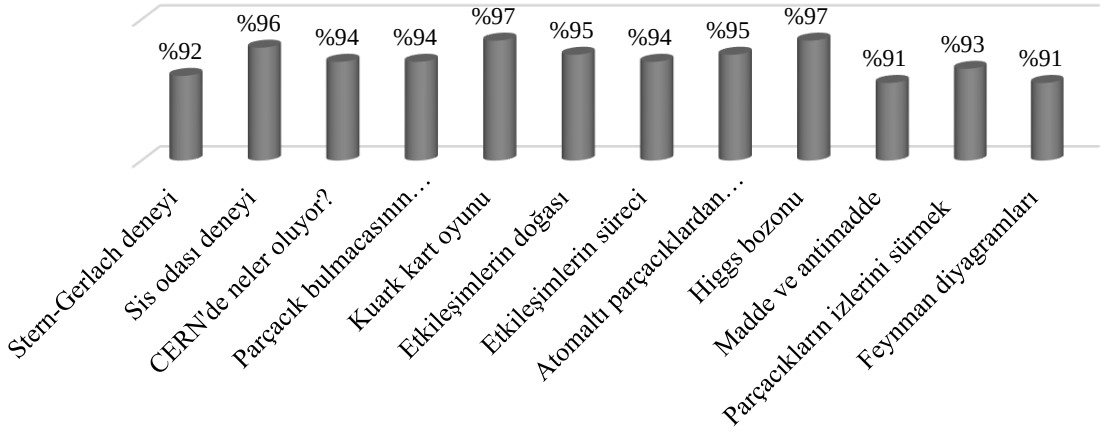
Her etkinlik bitiminde katılımcılara Google Formlar aracılığıyla uygulanan EDF'ler ile etkinliklerin değerlendirilmesi istenmiştir. Likert tipi olan EDF'lere 1'den 10'a kadar verilen puanların yüzde değerleri hesaplanmıştır. Katılımcılara göre EDF'nin puan yüzdelerine ait değerler Şekil 57'de yer almaktadır.



Şekil 57. Katılımcılara göre EDF puan yüzdeleri

Şekil 57'de yer alan puan yüzdeleri incelendiğinde, birden fazla katılımcının etkinliklerin tamamına tüm kriterler için yüksek puanlar verdiği görülmektedir. Katılımcılardan FÖ5, FÖ8 ve FÖ23'ün tüm etkinliklere tam puan verdiği görülmektedir. En düşük puan yüzdesi ise (%79) katılımcılardan FÖ19'a aittir. EDF'ye verilen puan yüzdelerine göre; FÖ19 etkinliklerin 'iyi' diğer katılımcılar ise etkinliklerin 'çok iyi' olduğunu düşündüğü ortaya çıkmaktadır.

Etkinliklere göre EDF puan yüzde değerleri Şekil 58'de yer almaktadır.



Şekil 58. Etkinliklere göre EDF puan yüzdeleri

Şekil 58'de yer alan puan yüzdeleri incelendiğinde, değerlerin %91 ile %97 arasında değiştiği görülmektedir. Etkinliklere verilen puan yüzdelerine göre, katılımcıların etkinliklerin tamamının 'çok iyi' olduğunu düşündüğü ortaya çıkmaktadır. En düşük değer %91 ile 'Madde ve Antimadde' ile 'Feynman Diyagramları' adlı etkinliklere aittir. En yüksek değer ise %97 ile 'Kuark Kart Oyunu' ile 'Higgs Bozonu' adlı etkinliklere aittir.

Yarı Yapılandırılmış Görüşmelerden Elde Edilen Bulgular

Etkinliklerin uygulanması sonrası katılımcılara EDF'ye verdikleri puanlardan yola çıkılarak yarı yapılandırılmış görüşmeler gerçekleştirilmiştir. Bu görüşmeler kayıt altına alınarak incelenmiş ve elde edilen görüşler belirli temalar altında toplanarak frekans değerleriyle birlikte verilmiştir.

Stern-Gerlach Deneyi Etkinliği için verilen cevapların tümevarımsal analizi sonucunda elde edilen tema, alt tema ve kodlar Tablo 90'da verilmiştir.

Tablo 90

Stern-Gerlach Deneyi Etkinliği Hakkında Yapılan Yarı Yapılandırılmış Görüşmenin Nitel Veri Analizinden Elde Edilen Tema, Alt Tema ve Kodlar

Temalar		Kodlar	Katılımcı	Frekans
İçerik	Etkinliğin içeriği hakkında olumlu görüşler	Kazanıma uygun olması	$F\ddot{O}_{1,3,5\ldots14,16\ldots21,23}$	19
		İlgi uyandırması	$F\ddot{O}_{1,3,5\ldots23}$	21
		Güncel örnek/olaylar içermesi	$F\ddot{O}_{1,3,5\ldots14,16\ldots21,23}$	19
		Konu hakkında bilgi kazandırması	$F\ddot{O}_{1,3,5\ldots23}$	21
		Lise öğrencileri için uygulanabilir olması	$F\ddot{O}_{3,5\ldots21,23}$	19
	Etkinliğin içeriği hakkında olumsuz görüşler	Kazanıma uygun olmaması	$F\ddot{O}_{2,4,15,22}$	4
		İlgi uyandırmaması	$F\ddot{O}_{2,4}$	2
		Güncel örnek/olaylar içermemesi	$F\ddot{O}_{2,4,15,22}$	4
		Konu hakkında bilgi kazandırmaması	$F\ddot{O}_{2,4}$	2
Uygulama	Etkinliğin uygulanamayacağına yönelik görüşler	12. sınıfların üniversite sınavına yönelik çalışmaları nedeniyle uygulanamayacağı	$F\ddot{O}_{1,2,4,22}$	4

Tablo 90'dan görüldüğü gibi katılımcıların Stern-Gerlach Deneyi Etkinliği'nin içeriği ile ilgili olumlu görüşlerinin sayısı fazladır. Katılımcıların tamamına yakını (f=21) etkinliğin içeriğinin konu hakkında bilgi kazandırdığını ve içeriğin ilgi çekici olduğu (f=21) görüşünü paylaşmaktadır. Etkinliğin içeriğinin kazanıma uygun olması, güncel örnekler içermesi ve lise öğrencilerine uygulanabilir olması açısından da katılımcıların çoğu (f=19) olumlu görüş belirtmiştir. Bunlar dışındaki katılımcılar ise etkinliğin içeriği ile ilgili olumsuz görüş belirtmiştir. Bunun yanında üniversite giriş sınavına hazırlıklar sebebiyle bu etkinliğin 12. sınıfta uygulanamayacağı görüşünü belirten 4 katılımcı olmuştur. Oysaki katılımcıların çoğu (f=19) bu etkinliğin lise öğrencilerine uygun olduğunu belirtmiştir. Bunlar dışında katılımcıların bu etkinliğe ilişkin önerileri bulunmamaktadır.

Sis Odası Deneyi Etkinliği için verilen cevapların tümevarımsal analizi sonucunda elde edilen tema, alt tema ve kodlar Tablo 91'de verilmiştir.

Tablo 91

Sis Odası Deneyi Etkinliği Hakkında Yapılan Yarı Yapılandırılmış Görüşmenin Nitel Veri Analizinden Elde Edilen Tema, Alt Tema ve Kodlar

Temalar		Kodlar	Katılımcı	Frekans
İçerik	Etkinliğin içeriği hakkında olumlu görüşler	Kazanıma uygun olması	$F\ddot{O}_{1\ldots23}$	23
		İlgi uyandırması	$F\ddot{O}_{1\ldots23}$	23
		Güncel örnek/olaylar içermesi	$F\ddot{O}_{1\ldots14,16\ldots23}$	22
		Konu hakkında bilgi kazandırması	$F\ddot{O}_{1\ldots23}$	23
		Lise öğrencileri için uygulanabilir olması	$F\ddot{O}_{1\ldots23}$	23
	Etkinliğin içeriği hakkında olumsuz görüşler	Güncel örnek/olaylar içermemesi	$F\ddot{O}_{15}$	1
Öneriler		İçerikteki deneyin yapılması için bulunabilir malzemelerin de önerilebilir	$F\ddot{O}_{6,15}$	2

Tablo 91'den görüldüğü gibi katılımcıların Sis Odası Deneyi Etkinliği'nin içeriği ile ilgili olumlu görüşlerinin sayısı oldukça fazladır. Katılımcıların tamamı (f=23) etkinliğin içeriğinin konu hakkında bilgi kazandırdığını, kazanıma uygun ve lise öğrencileri için uygulanabilir olduğu görüşünü paylaşmaktadır. Etkinliğin içeriğinin güncel örnekler içermesi açısından da katılımcıların neredeyse tamamı (f=22) olumlu görüş belirtmiştir. Bunlar dışında bir katılımcı (FÖ15) etkinlikle ilgili olumsuz görüş belirtmiştir. FÖ8 ve FÖ20 deneyi bir an önce öğrencileriyle paylaşmak istediğini belirtmiştir. FÖ21 etkinliğin içeriğinden ya da deneyden söz ederek memnuniyetini dile getirmiştir. Bunlar dışında FÖ15 deney için bulunabilen malzemelerin önerilmesini istemiştir. FÖ6 da benzer görüşü ortaya koyarak, sis odası deneyi için gerekli en temel malzemeler olan izopropil alkol ve kuru buzun temin edilmesinin zor olduğunu düşündüğünü belirtmiştir. Ancak deneyin ortaokul ve lise öğrencileri tarafından öğretmenleri gözetiminde TÜBİTAK 4006 Bilim Şenlikleri'nde yapıldığı bilinmektedir. Bu nedenle malzemelerin temin edilebilir olduğu düşünülmektedir. Yalnızca donmuş karbondioksit olan kuru buzun kısa sürede tükenmesinin olumsuz etkisinden bahsedilebilir.

CERN'de Neler Oluyor? Etkinliği için verilen cevapların tümevarımsal analizi sonucunda elde edilen tema, alt tema ve kodlar Tablo 92'de verilmiştir.

Tablo 92

CERN'de Neler Oluyor Etkinliği Hakkında Yapılan Yarı Yapılandırılmış Görüşmenin Nitel Veri Analizinden Elde Edilen Tema, Alt Tema ve Kodlar

Temalar		Kodlar	Katılımcı	Frekans
İçerik	Etkinliğin içeriği hakkında olumlu görüşler	Kazanıma uygun olması	$F\ddot{O}_{1\ldots3,5\ldots18,20\ldots23}$	21
		İlgi uyandırması	$F\ddot{O}_{1\ldots3,5\ldots23}$	22
		Güncel örnek/olaylar içermesi	$F\ddot{O}_{1\ldots3,5\ldots23}$	22
		Konu hakkında bilgi kazandırması	$F\ddot{O}_{1\ldots3,5\ldots23}$	22
		Lise öğrencileri için uygulanabilir olması	$F\ddot{O}_{1\ldots18,20\ldots23}$	22
	Etkinliğin içeriği hakkında olumsuz görüşler	Kazanıma uygun olmaması	$F\ddot{O}_{4,19}$	2
		İlgi uyandırmaması	$F\ddot{O}_{4}$	1
		Güncel örnek/olaylar içermemesi	$F\ddot{O}_{4}$	1
		Konu hakkında bilgi kazandırmaması	$F\ddot{O}_{4}$	1
Uygulama	Etkinliğin uygulanamayacağına yönelik görüşler	İçeriğin 12. sınıf öğrencileri için basit olması	$F\ddot{O}_{19}$	1

Tablo 92'den görüldüğü gibi katılımcıların Sis Odası Deneyi Etkinliği'nin içeriği ile ilgili olumlu görüşlerinin sayısı oldukça fazladır. Etkinliğin ilgi uyandırması, içeriğinin güncel örnekler içermesi, konu hakkında bilgi düzeyini arttırması ve lise öğrencilerine uygulanabilirliği açısından da katılımcıların neredeyse tamamı (f=22) olumlu görüş belirtmiştir. Bunlar dışındaki katılımcılar ise etkinliğin içeriği ile ilgili olumsuz görüş belirtmiştir. Bunun yanında içeriğin basit olması nedeniyle 12. sınıfta uygulanamayacağı görüşünü belirten ise 1 katılımcı olmuştur. Oysaki katılımcıların neredeyse tamamı (f=22) bu etkinliğin lise öğrencilerine uygun olduğunu belirtmiştir. Bunlar dışında katılımcıların bu etkinliğe ilişkin önerileri bulunmamaktadır.

Parçacık Bulmacasının Parçaları Etkinliği için verilen cevapların tümevarımsal analizi sonucunda elde edilen tema, alt tema ve kodlar Tablo 93'te verilmiştir.

Tablo 93

Parçacık Bulmacasının Parçaları Etkinliği Hakkında Yapılan Yarı Yapılandırılmış Görüşmenin Nitel Veri Analizinden Elde Edilen Tema, Alt Tema ve Kodlar

Temalar		Kodlar	Katılımcı	Frekans
İçerik	Etkinliğin içeriği hakkında olumlu görüşler	Kazanıma uygun olması	$F\ddot{O}_{1\ldots23}$	23
		İlgi uyandırması	$F\ddot{O}_{1\ldots23}$	23
		Güncel örnek/olaylar içermesi	$F\ddot{O}_{1\ldots3,5\ldots23}$	22
		Konu hakkında bilgi kazandırması	$F\ddot{O}_{1\ldots5,7\ldots9}$	22
		Lise öğrencileri için uygulanabilir olması	$F\ddot{O}_{1\ldots3,5\ldots18,20\ldots23}$	21
	Etkinliğin içeriği hakkında olumsuz görüşler	Güncel örnek/olaylar içermemesi	$F\ddot{O}_{4}$	1
		Konu hakkında bilgi kazandırmaması	$F\ddot{O}_{6}$	1
Uygulama	Etkinliğin uygulanamayacağına yönelik görüşler	İçeriğin 12. sınıf öğrencileri için basit olması	$F\ddot{O}_{4,19}$	1

Tablo 93'ten görüldüğü gibi katılımcıların Parçacık Bulmacasının Parçaları Etkinliği'nin içeriği ile ilgili olumlu görüşlerinin sayısı oldukça fazladır. Etkinliğin ilgi uyandırması, ve kazanıma uygun olması açısından katılımcıların tamamı (f=23) olumlu görüş belirtmiştir. Etkinliğin içeriğinin güncel örnekler içermesi, konu hakkında bilgi düzeyini arttırması ve lise öğrencilerine uygulanabilirliği açısından da katılımcıların büyük bir kısmı olumlu görüş belirtmiştir. Bunlar dışındaki katılımcılar ise etkinliğin içeriği ile ilgili olumsuz görüş belirtmiştir. Bunlar dışında katılımcıların bu etkinliğe ilişkin önerileri bulunmamaktadır.

Kuark Kart Oyunu Etkinliği için verilen cevapların tümevarımsal analizi sonucunda elde edilen tema, alt tema ve kodlar Tablo 94'te verilmiştir.

Tablo 94

Kuark Kart Oyunu Etkinliği Hakkında Yapılan Yarı Yapılandırılmış Görüşmenin Nitel Veri Analizinden Elde Edilen Tema, Alt Tema ve Kodlar

Temalar		Kodlar	Katılımcı	Frekans
İçerik	Etkinliğin içeriği hakkında olumlu görüşler	Kazanıma uygun olması	$F\ddot{O}_{1\ldots23}$	23
		İlgi uyandırması	$F\ddot{O}_{1\ldots23}$	23
		Güncel örnek/olaylar içermesi	$F\ddot{O}_{1\ldots23}$	23
		Konu hakkında bilgi kazandırması	$F\ddot{O}_{1\ldots17,19\ldots23}$	22
		Lise öğrencileri için uygulanabilir olması	$F\ddot{O}_{1\ldots23}$	23
	Etkinliğin içeriği hakkında olumsuz görüşler	Konu hakkında bilgi kazandırmaması	$F\ddot{O}_{18}$	1

Tablo 94'ten görüldüğü gibi katılımcıların Kuark Kart Oyunu Etkinliği'nin içeriği ile ilgili olumlu görüşlerinin sayısı oldukça fazladır. Etkinliğin ilgi uyandırması, kazanıma uygun olması, güncel örnekler içermesi ve lise öğrencileri için uygulanabilirliği açısından katılımcıların tamamı (f=23) olumlu görüş belirtmiştir. Etkinliğin konu hakkında bilgi kazandırması hakkında ise katılımcıların neredeyse tamamı (f=22) olumlu görüş belirtmiştir. Bunlar dışındaki bir katılımcı (FÖ18) ise etkinliğin içeriği ile ilgili olumsuz görüş belirtmiştir. Bunlar dışında katılımcıların bu etkinliğe ilişkin önerileri bulunmamaktadır. Katılımcıların neredeyse tamamı etkinlikteki oyunu öğrencileriyle uygulamak istediğini ya da proje ödevi olarak vermek istediğini belirtmiştir.

Etkileşimlerin Doğası Etkinliği için verilen cevapların tümevarımsal analizi sonucunda elde edilen tema, alt tema ve kodlar Tablo 95'te verilmiştir.

Tablo 95

Etkileşimlerin Doğası Etkinliği Hakkında Yapılan Yarı Yapılandırılmış Görüşmenin Nitel Veri Analizinden Elde Edilen Tema, Alt Tema ve Kodlar

Temalar		Kodlar	Katılımcı	Frekans
İçerik	Etkinliğin içeriği hakkında olumlu görüşler	Kazanıma uygun olması	$F\ddot{O}_{1\ldots23}$	23
		İlgi uyandırması	$F\ddot{O}_{1\ldots23}$	23
		Güncel örnek/olaylar içermesi	$F\ddot{O}_{1\ldots23}$	23
		Konu hakkında bilgi kazandırması	$F\ddot{O}_{1\ldots23}$	23
		Lise öğrencileri için uygulanabilir olması	$F\ddot{O}_{1\ldots3,5\ldots23}$	22
	Etkinliğin içeriği hakkında olumsuz görüşler	İçeriğin 12. sınıf öğrencileri için basit olması	$F\ddot{O}_{4}$	1
Öneriler		Okul türüne göre etkinliklerin seviyelere ayrılabilir	$F\ddot{O}_{18}$	1

Tablo 95'ten görüldüğü gibi katılımcıların Etkileşimlerin Doğası Etkinliği'nin içeriği ile ilgili olumlu görüşlerinin sayısı oldukça fazladır. Etkinliğin ilgi uyandırması, kazanıma uygun olması, güncel örnekler içermesi ve konu hakkında bilgi kazandırması açısından katılımcıların tamamı (f=23) olumlu görüş belirtmiştir. Etkinliğin lise öğrencilerine uygulanabilirliği hakkında ise katılımcıların neredeyse tamamı (f=22) olumlu görüş belirtmiştir. Bunlar dışındaki bir katılımcı (FÖ4) ise etkinliğin içeriği ile ilgili olumsuz görüş belirtmiştir. FÖ18 dışında katılımcıların bu etkinliğe ilişkin önerileri bulunmamaktadır. FÖ18 etkinliklerin tamamının çok iyi olduğunu ancak uygulanabilirliğinde çok fazla değişkenin olduğunu açıklamıştır. Bu nedenle okul türüne göre etkinliklerin seviyesinin belirlenmesini önermiştir

Etkileşimlerin Süreci Etkinliği için verilen cevapların tümevarımsal analizi sonucunda elde edilen tema, alt tema ve kodlar Tablo 96'da verilmiştir.

Tablo 96

Etkileşimlerin Süreci Etkinliği Hakkında Yapılan Yarı Yapılandırılmış Görüşmenin Nitel Veri Analizinden Elde Edilen Tema, Alt Tema ve Kodlar

Temalar		Kodlar	Katılımcı	Frekans
İçerik	Etkinliğin içeriği hakkında olumlu görüşler	Kazanıma uygun olması	$F\ddot{O}_{2,3,5,6,8,9\ldots23}$	20
		İlgi uyandırması	$F\ddot{O}_{1\ldots3,5\ldots23}$	22
		Güncel örnek/olaylar içermesi	$F\ddot{O}_{1\ldots23}$	23
		Konu hakkında bilgi kazandırması	$F\ddot{O}_{1\ldots23}$	23
		Lise öğrencileri için uygulanabilir olması	$F\ddot{O}_{2,5\ldots23}$	20
	Etkinliğin içeriği hakkında olumsuz görüşler	Kazanıma uygun olmaması	$F\ddot{O}_{1,4,7}$	3
		İlgi çekmemesi	$F\ddot{O}_{4}$	1
Uygulama	Etkinliğin uygulanamayacağına yönelik görüşler	İçeriğin lise fizik öğretim programında yer almaması	$F\ddot{O}_{1,3,4}$	3
Öneriler		Okul türüne göre etkinliklerin seviyelere ayrılabilir	$F\ddot{O}_{18,20}$	2

Tablo 96'dan görüldüğü gibi Etkileşimlerin Süreci Etkinliği'nin içeriği ile ilgili katılımcıların olumlu görüşlerinin sayısı oldukça fazladır. Etkinliğin güncel örnekler içermesi ve konu hakkında bilgi kazandırması açısından katılımcıların tamamı (f=23) olumlu görüş belirtmiştir. Etkinliğin ilgi uyandırması hakkında ise katılımcıların neredeyse tamamı (f=22) olumlu görüş belirtmiştir. Etkinliğin kazanıma uygunluğu ve lise öğrencileri için uygulanabilir olması hakkında ise olumlu görüş belirtenlerin sayısı f=20) oldukça yüksektir. Katılımcılar kuantum elektrodinamiği, herşeyin teorisi ve sicim kuramı gibi pek çok kavramı etkinlik öncesinde bir fikri olmadıklarını belirtmiştir. Bu nedenle etkinliğin oldukça güncel örnekler içerdiği hakkında hemfikir olunmuştur. Bunlar dışındaki bir katılımcı (FÖ4) ise etkinliğin ilgi çekmediğini belirtmiştir. FÖ1, FÖ3 ve FÖ4 ise MEB 12. sınıf fizik öğretim programında olmayan pek çok kavramın etkinliğin içerisinde olduğunu ve bu nedenle kazanıma uygun bir etkinlik olmadığını belirtmiştir. Etkinlikler fizik öğretim programındaki kazanımlardan yola çıkılarak hazırlanmıştır. Etkinliklerin hedefi fizik

öğretmenleri olduğundan, etkinliklerin içeriğinde ortaöğretim müfredat programında yer alan bilgilerden daha fazlasını içermesi sağlanmıştır. FÖ4 etkinliğin ilgi uyandırmadığını belirtmiştir. Nedeni hakkında ise etkinliğin içerdiği oldukça güncel konular hakkında kağıt-kalemle yapılan bir etkinliğin değil; daha farklı bir etkinlik olması gerektiğini belirtmiştir. FÖ18 dışında katılımcıların bu etkinliğe ilişkin önerileri bulunmamaktadır. FÖ18 ve FÖ20 etkinliklerin tamamının çok iyi olduğunu ancak uygulanabilirliğinde çok fazla değişkenin olduğunu açıklamıştır. Bu nedenle okul türüne göre etkinliklerin seviyesinin belirlenmesini önermiştir.

Atom Altı Parçacıklardan Maddeye Etkinliği için verilen cevapların tümevarımsal analizi sonucunda elde edilen tema, alt tema ve kodlar Tablo 97'de verilmiştir.

Tablo 97

Atom Altı Parçacıklardan Maddeye Etkinliği Hakkında Yapılan Yarı Yapılandırılmış Görüşmenin Nitel Veri Analizinden Elde Edilen Tema, Alt Tema ve Kodlar

Temalar		Kodlar	Katılımcı	Frekans
İçerik	Etkinliğin içeriği hakkında olumlu görüşler	Kazanıma uygun olması	$F\ddot{O}_{1\ldots3,5\ldots23}$	22
		İlgi uyandırması	$F\ddot{O}_{1\ldots3,5\ldots18,20\ldots23}$	21
		Güncel örnek/olaylar içermesi	$F\ddot{O}_{1\ldots3,5\ldots23}$	22
		Konu hakkında bilgi kazandırması	$F\ddot{O}_{1\ldots3,5\ldots23}$	22
		Lise öğrencileri için uygulanabilir olması	$F\ddot{O}_{1\ldots3,5\ldots23}$	22
	Etkinliğin içeriği hakkında olumsuz görüşler	Kazanıma uygun olmaması	$F\ddot{O}_{4}$	1
		İlgi çekmemesi	$F\ddot{O}_{4,19}$	2
		İçerikte güncel örnek/olaylar olmaması	$F\ddot{O}_{4}$	1
		Konu hakkında bilgi kazandırmaması	$F\ddot{O}_{4}$	1
Uygulama	Etkinliğin uygulanamayacağına yönelik görüşler	İçeriğin 12. sınıf öğrencileri için basit olması	$F\ddot{O}_{4}$	1

Tablo 97'den görüldüğü gibi katılımcıların Atom Altı Parçacıklardan Maddeye Etkinliği'nin içeriği ile ilgili olumlu görüşlerinin sayısı oldukça fazladır. Etkinliğin kazanıma uygun olması, içeriğinin güncel örnekler içermesi, konu hakkında bilgi düzeyini

arttırması ve lise öğrencilerine uygulanabilirliği açısından katılımcıların neredeyse tamamı (f=22) olumlu görüş belirtmiştir. Etkinliğin ilgi uyandırması hakkında da olumlu görüş sayısı (f=21) oldukça fazladır. Bunlar dışındaki katılımcılar ise etkinliğin içeriği ile ilgili olumsuz görüş belirtmiştir. FÖ4 pek çok unsur hakkında olumsuz görüş bildirmiştir. Oysa katılımcıların çoğu unsurlar hakkında olumlu görüşlere sahiptir. Bunun dışında katılımcıların etkinlik hakkında önerisi bulunmamaktadır.

Higgs Bozonu Etkinliği için verilen cevapların tümevarımsal analizi sonucunda elde edilen tema, alt tema ve kodlar Tablo 98'de verilmiştir.

Tablo 98

Higgs Bozonu Etkinliği Hakkında Yapılan Yarı Yapılandırılmış Görüşmenin Nitel Veri Analizinden Elde Edilen Tema, Alt Tema ve Kodlar

Temalar		Kodlar	Katılımcı	Frekans
İçerik	Etkinliğin içeriği hakkında olumlu görüşler	Kazanıma uygun olması	$F\ddot{O}_{1\ldots23}$	23
		İlgi uyandırması	$F\ddot{O}_{1\ldots23}$	23
		Güncel örnek/olaylar içermesi	$F\ddot{O}_{1\ldots23}$	23
		Konu hakkında bilgi kazandırması	$F\ddot{O}_{1\ldots23}$	23
		Lise öğrencileri için uygulanabilir olması	$F\ddot{O}_{1\ldots3,5\ldots23}$	22
Uygulama	Etkinliğin uygulanamayacağına yönelik görüşler	12. sınıfların üniversite sınavına yönelik çalışmaları nedeniyle uygulanamayacağı	$F\ddot{O}_{4}$	1
Öneriler		İçeriğe video eklenebilir	$F\ddot{O}_{18}$	1

Tablo 98'den görüldüğü gibi katılımcıların Higgs Bozonu Etkinliği'nin içeriği ile ilgili olumlu görüşlerinin sayısı oldukça fazladır. Etkinliğin kazanıma uygun olması, ilgi uyandırması, içeriğinin güncel örnekler içermesi ve konu hakkında bilgi düzeyini arttırması açısından katılımcıların tamamı (f=23) olumlu görüş belirtmiştir. Etkinliğin lise öğrencileri için uygulanabilir olması hakkında ise neredeyse tamamı (f=22) olumlu görüş belirtmiştir. Bunlar dışındaki bir katılımcı ise (FÖ4) etkinliğin uygulanması hakkında olumsuz görüş belirtmiştir. FÖ4 pek çok unsur hakkında olumsuz görüş bildirmiştir. Oysa katılımcıların çoğu unsurlar hakkında olumlu görüşlere sahiptir. FÖ18 etkinlikte bahsedilen Higgs bozonu hakkındaki ödüllü analojiyi açıklayan bir videonun etkinliğe

eklenmesiyle, etkinliğin daha iyi olacağını belirtmiştir. Bunun dışında katılımcıların etkinlik hakkında önerisi bulunmamaktadır.

Higgs Bozonu Etkinliği için verilen cevapların tümevarımsal analizi sonucunda elde edilen tema, alt tema ve kodlar Tablo 99'da verilmiştir.

Tablo 99

Madde ve Antimadde Etkinliği Hakkında Yapılan Yarı Yapılandırılmış Görüşmenin Nitel Veri Analizinden Elde Edilen Tema, Alt Tema ve Kodlar

Temalar		Kodlar	Katılımcı	Frekans
İçerik	Etkinliğin içeriği hakkında olumlu görüşler	Kazanıma uygun olması	$F\ddot{O}_{1\ldots14,16\ldots18,20\ldots23}$	21
		İlgi uyandırması	$F\ddot{O}_{1\ldots12,14\ldots16,18,20\ldots23}$	20
		Güncel örnek/olaylar içermesi	$F\ddot{O}_{1\ldots12,14\ldots18,20\ldots23}$	21
		Konu hakkında bilgi kazandırması	$F\ddot{O}_{1\ldots18,20\ldots23}$	22
		Lise öğrencileri için uygulanabilir olması	$F\ddot{O}_{1\ldots3,5,7,9,12\ldots23}$	18
	Etkinliğin içeriği hakkında olumsuz görüşler	Kazanıma uygun olmaması	$F\ddot{O}_{15,19}$	2
		İlgi çekmemesi	$F\ddot{O}_{13,17,19}$	3
		İçerikte güncel örnek/olaylar olmaması	$F\ddot{O}_{13,19}$	2
		Konu hakkında bilgi kazandırmaması	$F\ddot{O}_{19}$	1
Uygulama	Etkinliğin uygulanamayacağına yönelik görüşler	İçeriğin lise fizik öğretim programında yer almaması	$F\ddot{O}_{4,6,8,10,11}$	5
		12. sınıfların üniversite sınavına yönelik çalışmaları nedeniyle uygulanamayacağı	$F\ddot{O}_{4,6,8,10,11}$	5

Tablo 99'da görüldüğü gibi katılımcıların Higgs Bozonu Etkinliği'nin içeriği ile ilgili olumlu görüşlerinin sayısı oldukça fazladır. Etkinliklerin konu hakkında bilgi kazandırması hakkında neredeyse tamamı (f=22) olumlu görüş bildirmiştir. Etkinliğin kazanıma uygun olması, ilgi uyandırması, güncel örnekler içermesi ve lise öğrencilerine uygulanabilirliği

hakkında da olumlu görüş sayısı oldukça yüksektir. Bunun dışındaki katılımcılar ise etkinlik hakkında olumsuz görüş belirtmiştir. FÖ19 antimadde ve kabarcık odasındaki izler hakkında ön bilgisi olduğundan, etkinliğin konu alanına yönelik bilgisini arttırmadığını belirtmiştir. Bunlar dışında etkinlik hakkında herhangi bir görüş bildiren olmamıştır.

Parçacıkların İzlerini Sürmek Etkinliği için verilen cevapların tümevarımsal analizi sonucunda elde edilen tema, alt tema ve kodlar Tablo 100'de verilmiştir.

Tablo 100

Parçacıkların İzlerini Sürmek Etkinliği Hakkında Yapılan Yarı Yapılandırılmış Görüşmenin Nitel Veri Analizinden Elde Edilen Tema, Alt Tema ve Kodlar

Temalar		Kodlar	Katılımcı	Frekans
İçerik	Etkinliğin içeriği hakkında olumlu görüşler	Kazanıma uygun olması	$F\ddot{O}_{1\ldots16,18\ldots23}$	22
		İlgi uyandırması	$F\ddot{O}_{1\ldots16,18\ldots23}$	22
		Güncel örnek/olaylar içermesi	$F\ddot{O}_{1\ldots10,12\ldots23}$	22
		Konu hakkında bilgi kazandırması	$F\ddot{O}_{1\ldots23}$	23
		Lise öğrencileri için uygulanabilir olması	$F\ddot{O}_{1\ldots3,5,6,8\ldots10,12\ldots16,18\ 19,21,,,23}$	18
	Etkinliğin içeriği hakkında olumsuz görüşler	Kazanıma uygun olmaması	$F\ddot{O}_{17}$	1
		İlgi çekmemesi	$F\ddot{O}_{17}$	1
		İçerikte güncel örnek/olaylar olmaması	$F\ddot{O}_{11}$	1
Uygulama	Etkinliğin uygulanamayacağına yönelik görüşler	İçeriğin lise fizik öğretim programında yer almaması	$F\ddot{O}_{4,7,11,17,20}$	5

Tablo 100'den görüldüğü gibi katılımcıların Parçacıkların İzlerini Sürmek Etkinliği'nin içeriği ile ilgili olumlu görüşlerinin sayısı oldukça fazladır. Etkinliğin konu hakkında bilgi düzeyini arttırması hakkında katılımcıların tamamı (f=23) olumlu görüş bildirmiştir. Etkinliğin kazanıma uygun olması, ilgi uyandırması ve güncel örnekler içermesi hakkında ise neredeyse tamamı (f=22) olumlu görüş belirtmiştir. Etkinliğin lise öğrencilerine uygulanabilir olması hakkında ise olumlu görüş (f=18) yüksektir. Bunun dışındaki katılımcılar ise olumsuz görüşlerini belirtmiştir. Etkinliğin lise öğrencilerine uygulanamayacağını düşünen 5 katılımcı olmuştur. Bunun nedeni hızlandırıcılarda

parçacıkların tespitinin lise fizik öğretim programında yer almaması olarak belirtilmiştir. Hızlandırıcı teknolojisi fizik eğitimi lisans derslerinde yer almamaktadır. Lise fizik öğretim programında yer almasa da; konu parçacık fiziği olduğundan hızlandırıcılar ve dedektörler içeeriğinin gerekli olduğu düşünülmektedir. Bu nedenle parçacık ve antiparçacıkların bozunmaları dedektör teknolojisi kullanılarak fizik öğretmenlerine bilgi verilmek istenmiştir. FÖ11 etkinliğin güncel örnekler içermediğini belirtmiştir. Ancak parçacık fiziği hakkındaki gelişmelerin ve keşiflerin kaynağı olan dedektörler ile hızlandırıcıların oldukça güncel olduğu düşünülmektedir. FÖ11, FÖ17 ve FÖ20 etkinliğin hem 12. sınıf öğrencileri için hem de kendi sınıfları için uygulanamayacağını belirtmiştir. Bunun nedeni olarak dedektörlerin 12. sınıf fizik öğretim programında yer almaması olduğu belirtilmiştir. Ancak etkinliklerin hedefinin lise öğrencilerinin değil, fizik öğretmenleri için geliştirildiği unutulmamalıdır. Fizik öğretmenlerinin parçacık fiziği alanında lise öğrencilerine ilham verirken, daha kapsamlı ve güncel kuramlardan haberdar olmasının kaçınılmaz olduğu düşünülmektedir.

Feynman Diyagramları Etkinliği için verilen cevapların tümevarımsal analizi sonucunda elde edilen tema, alt tema ve kodlar Tablo 101'de verilmiştir.

Tablo 101

Feynman Diyagramları Etkinliği Hakkında Yapılan Yarı Yapılandırılmış Görüşmenin Nitel Veri Analizinden Elde Edilen Tema, Alt Tema ve Kodlar

Temalar		Kodlar	Katılımcı	Frekans
İçerik	Etkinliğin içeriği hakkında olumlu görüşler	Kazanıma uygun olması	$F\ddot{O}_{1,3\ldots23}$	22
		İlgi uyandırması	$F\ddot{O}_{1\ldots23}$	23
		Güncel örnek/olaylar içermesi	$F\ddot{O}_{1\ldots9,12\ldots18,20\ldots23}$	20
		Konu hakkında bilgi kazandırması	$F\ddot{O}_{1\ldots23}$	23
		Lise öğrencileri için uygulanabilir olması	$F\ddot{O}_{1,3,5,6,8,9,13\ldots16,18,21,23}$	10
	Etkinliğin içeriği hakkında olumsuz görüşler	Kazanıma uygun olmaması	$F\ddot{O}_{2}$	1
		İçerikte güncel örnek/olaylar olmaması	$F\ddot{O}_{10,11\ldots19}$	3

Uygulama	Etkinliğin uygulanamayacağına yönelik görüşler	İçeriğin lise fizik öğretim programında yer almaması	$F\ddot{O}_{2,4,7,10\ldots12,17,19,20,22}$	10
		12. sınıfların üniversite sınavına yönelik çalışmaları nedeniyle uygulanamayacağı	$F\ddot{O}_{2,4,7,10\ldots12,17,19,20,22}$	10

Tablo 101'den görüldüğü gibi katılımcıların Feynman Diyagramları Etkinliği'nin içeriği ile ilgili olumlu görüşlerinin sayısı oldukça fazladır. Etkinliğin ilgi uyandırması ve konu hakkında bilgi kazandırması hakkında katılımcıların tamamı (f=23) olumlu görüş bildirmiştir. Kazanıma uygun olması ve güncel örnekler içermesi hakkında da olumlu görüş belirtenlerin sayısı yüksektir. Etkinliğin uygulanabilirliği hakkında katılımcıların yaklaşık yarısı olumlu görüş bildirmiştir. Bunun dışındaki katılımcılar olumsuz görüş bildirmiştir. FÖ2 etkinliğin kazanıma uygun olmadığını belirtmiştir. Nedeni hakkında kazanıma yönelik bilginin Feynman Diyagramları'ndan farklı bir çalışmayla kazandırılabileceğini belirtmiştir. Ancak kazanıma yönelik bilginin kazandırılması için fizik eğitiminde lisans dersleri arasında yer almayan Feynman Diyagramları ile anlatılmasıyla, diyagramlar hakkında da bilgi verilmek istenmiştir. Bunun dışında etkinlik için herhangi bir öneri belirtilmemiştir.

BÖLÜM V

SONUÇLAR, TARTIŞMA VE ÖNERİLER

Bu bölümde araştırmanın problemlerine yönelik; etkinliklerdeki çalışmalar sonucunda elde edilen nitel veriler, PFBT'nin ön ve son test olarak uygulanması sonucu elde edilen kategoriler ve yarı yapılandırılmış görüşmelerden elde edilen temalarla birlikte yorumlanmıştır. Ulaşılan bulgular alan yazında yer alan farklı araştırmaların sonuçlarıyla kıyaslanmıştır. Son olarak parçacık fiziğine konu alanına bağlı olarak geliştirilen etkinlikleri düzenlemeye yönelik önerilerin yanı sıra bu etkinlikleri uygulayacak olan öğretmen ya da araştırmacılara önerilerde bulunulmuştur.

Araştırmanın Birinci Problemine Yönelik Sonuçlar

Araştırmanın birinci problem cümlesi "Parçacık fiziği konusuna yönelik alan bilgileri tespit eden bir parçacık fiziği başarı testi geliştirilebilir mi?" olarak belirlenmiştir. Öğretmenlerin parçacık fiziği kavramları hakkındaki alan bilgilerinin düzeylerini tespit etmek amacıyla 15 adet kısa cevap gerektiren açık uçlu sorulardan oluşan "Parçacık Fiziği Başarı Testi" (PFBT) hazırlanmıştır. Bu testteki bütün sorular araştırmacı tarafından geliştirilmiş, konu uzmanlarının görüşleri sonucunda son halini almıştır. Soruların hazırlanması aşamasında ortaöğretim fizik öğretim programında parçacık fiziği konularını kapsayan kazanımlar incelenmiş ve mevcut konu başlıkları göz önünde bulundurulmuştur. Bu çalışmada öğretmenlerin daha önceden tahmin edilmesi mümkün olmayan görüşlerinin de ortaya çıkartılması amaçlanarak sorular açık uçlu sorulmuştur. Alan yazındaki parçacık fiziği ve atom altı parçacıklar hakkındaki testlerin 12 adet yarı açık uçlu sorudan oluşturulan CERN Deneyleri Medya Anketi (Sağlık, 2013), 17 adet açık uçlu sorudan

oluşturulan Parçacık Fiziği Bilgi Değerlendirme Formu (Tuzón & Solbes, 2016) ve 10 adet açık uçlu sorudan oluşturulan Parçacık Fiziği Kavramları Testi (Munk-Jakobsen, 2018) de benzer yöntemlerle geliştirilerek öğretmen adaylarına uygulandığı görülmektedir. Testin kapsam geçerliliği, başarı testindeki soruların tüm konu içeriğini örneklemesi ve kapsadığı soruların her birinin ölçmek istediği davranışı en iyi derecede ölçmesidir. Kapsam geçerliliği belirlenirken en çok kullanılan yöntem uzman görüşüne başvurmaktır. Araştırmanın geçerliliğini sağlamak amacıyla fizik ve eğitim bilimleri konusunda uzman dokuz kişinin görüşleri alınmış ve bu görüşler doğrultusunda yapılan değişiklikler sonucu başarı testine son şekli verilmiştir. Sonuç olarak araştırmanın birinci problem cümlesi için PFBT geliştirilerek başarıyla uygulanmıştır.

Araştırmanın İkinci Problemine Yönelik Sonuçlar

Araştırmanın ikinci problem cümlesi "Parçacık fiziği konusunun öğretimine yönelik etkinlikler geliştirilebilir mi?" olarak belirlenmiştir. Öğretmenlerin parçacık fiziği kavramları hakkındaki alan bilgilerini geliştirmek amacıyla 12 adet etkinlik, etkinliklere ait çalışma yaprakları ve eğitici klavuzları hazırlanmıştır. Etkinliklerin bir kısmı araştırmacı tarafından geliştirilmiş, bir kısmı ise alan yazında bulunan etkinliklerden yola çıkılarak oluşturulmuştur. Etkinlikler hakkında konu uzmanlarının görüşleri alışmış ve yüzyüze pilot uygulama sonucunda Etkinlik Çalışma Yaprakları (EÇY) son halini almıştır. Etkinliklerin hazırlanması aşamasında ortaöğretim fizik öğretim programında parçacık fiziği konularını kapsayan kazanımlar incelenmiş ve mevcut konu başlıkları göz önünde bulundurulmuştur. Alan yazındaki parçacık fiziği ve atom altı parçacıklar hakkında etkinlikler Alexopoulos (2014), Alsop ve Beale (2013), Andrews ve Nikolopoulos (2018), Cid ve Cid (2010), Csörgő (2012), Pavlidou ve Lazzeroni (2016b), Csörgő vd. (2011; 2012), Csörgő (2016), Johansson vd. (2007), Kontokostas ve Kalkanis (2013), MacDonald ve Bean (2009), Manogue, Gire, McIntyre & Tate (2012), McGinness vd. (2019), Nikolopoulos ve Pardalaki (2020), Pascolini ve Pietroni (2002), Takai (t.y.), Thunyaniti vd. (2017) ile Wiener ve Woithe (2020) tarafından benzer yöntemlerle geliştirilerek çeşitli seviyelerdeki öğrencilere uygulandığı görülmektedir. Araştırmanın geçerliliğini sağlamak amacıyla fizik ve eğitim bilimleri konusunda uzman beş kişinin görüşleri alınmış ve bu görüşler doğrultusunda yapılan değişiklikler sonucu etkinliklere son şekli verilmiştir. Sonuç olarak araştırmanın ikinci problem cümlesi için etkinlikler geliştirilerek başarıyla uygulanmıştır.

Araştırmanın Üçüncü ve Dördüncü Problemine Yönelik Sonuçlar

Araştırmanın üçüncü problem cümlesi "Fizik öğretmenlerinin parçacık fiziğine yönelik alan bilgi düzeyleri nasıldır?" ile dördüncü cümlesi "Uygulanan etkinliklerin fizik öğretmenlerinin parçacık fiziği konusuna ait bilgi düzeylerinin gelişimine etkisi nedir?" cümlesi için yapılan çalışmalar birlikte ele alınmıştır.

Fizik öğretmenlerinin parçacık fiziğine yönelik alan bilgileri ortaöğretim fizik öğretim programında bulunan kazanımlar kapsamında araştırılmıştır. Fizik öğretmenlerinin belirlenen kazanımlara yönelik parçacık fiziği hakkındaki alan bilgilerinin değişimine yönelik aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

Araştırma öncesinde fizik öğretmenlerinin "Stern-Gerlach deneyinin sonuçlarının incelenmesi sağlanarak elektron spini kavramı üzerinde durulur" kazanımıyla ilgili alan bilgilerinin durumu 'çok zayıf' iken, ilgili etkinlik olan 'Stern-Gerlach Deneyi'nin uygulanmasıyla 'çok iyi' olarak değiştiği tespit edilmiştir. Yapılan analiz sonucunda da büyük bir etki ile fizik öğretmenlerinin kazanımla ilgili alan bilgilerinde istatiksel olarak anlamlı değişiklikler olduğu ortaya koyulmuştur.

Ortaöğretimde MEB'in Anadolu liselerine ait fizik ders kitabında Stern-Gerlach deneyi hakkında herhangi bir bilgi yer almazken, MEB'in fen lisesi fizik ders kitabında ise kısa bir açıklama yer almaktadır. Deneyin sonucunda elde edilen izlerle ilgili bilgi ise hem Anadolu hem de fen lisesi ders kitabında yer almamaktadır. YÖK Fizik Öğretmenliği Lisans Programı'nda (2018) Stern-Gerlach deneyi hakkında herhangi bir bilgi yer almazken, 'elektron spini' kavramının atom fiziği ders içeriğinde yer aldığı görülmektedir. Özcan (2013) lisans eğitiminde fizik eğitimi okuyan öğretmen adaylarının spin kavramını bir cismin kendi ekseni etrafında dönmesine benzeterek açıklamaya çalıştığını tespit etmiştir. Bunlar göz önüne alındığında fizik öğretmenlerinin Stern-Gerlach deneyinde elde edilen izler hakkında ön testte bilgilerinin 'çok zayıf' olması beklenen bir sonuç olmaktadır. Alan yazında spin kavramının öğretimi için Stern-Gerlach deneyinin kullanılmasının olumlu katkıları hakkında yapılmış bazı araştırmalar bulunmaktadır (Manogue vd., 2012; Sadaghiani & Munteanu, 2015; Zhu & Singh, 2011). Sadaghiani ve Munteanu (2015) yaptığı çalışmada lisans eğitiminde fizik okuyan öğrencilerin spin kavramını anlamakta zorluk çektiğini fakat Stern-Gerlach deneyi ile ilgili etkinliğin fizik öğretmenlerine spin kavramını öğretmekte etkili olduğunu ortaya koymuştur.

“Öğrencilerin sis odası deneyini araştırmaları ve üzerinde tartışmaları sağlanır” kazanımıyla ilgili alan bilgilerinin durumu ‘zayıf’ iken, ilgili etkinlik olan ‘Sis Odası Deneyi’nin uygulanmasıyla ‘çok iyi’ olarak değiştiği tespit edilmiştir. Yapılan analiz sonucunda da büyük bir etki ile katılımcıların kazanımla ilgili alan bilgilerinde istatiksel olarak anlamlı değişiklikler olduğu ortaya koyulmuştur.

Wilson'ın sis odası deney düzeneğinin atom fiziğinde son yirmi yılda kaydedilen ilerlemelerin en çarpıcı ve en önemlilerinden birini temsil etmektedir (Chaloner, 1997). Ancak çalışmaya katılan fizik öğretmenlerinin sis odası deneyini yapmadıkları ortaya çıkmıştır. Yarı yapılandırılmış görüşmelerde sis odası deneyi için gerekli en temel malzemeler olan izopropil alkol ve kuru buzun temin edilmesinin zor olduğunun düşünüldüğü ortaya çıkmıştır. Bunun nedeni olarak deneyi yapmadıklarından, yapmakta zorlanacakları düşüncesinin olduğu düşünülmektedir çünkü küçük bulut odalarının okullarda uzun yıllardır kullanıldığı bilinmektedir (Green, 2012). Sis odası ya da diğer adıyla da bulut odası deneyi TÜBİTAK 4004 Doğa Eğitimi ve Bilim Okulları, 4005 Yenilikçi Eğitim Uygulamaları, 4006 Bilim Fuarları Destekleme Programı ve 4007 Bilim Şenlikleri Destekleme Programı kapsamında ortaokul ve liselerde öğrenciler tarafından yaygın olarak yapılan bir gösteri deneyi olarak tercih edilmektedir. Bu nedenle deneyin yapılabilir ve bulunabilir malzemeler içerdiği düşünülmektedir.

“Öğrencilerin sunumlarında CERN’de yapılan çalışmaların büyük patlama ile bağlantısını tartışmaları sağlanır” kazanımıyla ilgili alan bilgilerinin durumu ‘orta’ iken ‘çok iyi’ olarak değiştiği tespit edilmiştir. Yapılan analiz sonucunda orta etki ile katılımcıların kazanımla ilgili alan bilgilerinde istatiksel olarak anlamlı değişiklikler olduğu ortaya koyulmuştur.

Ergin’in (2011) yaptığı çalışmada “Günümüzde parçacıkların hızlandırılarak çarpıştırıldığı deneyler yapılabilmektedir. Sizce, bilim adamları bu deneylerle hangi sorulara cevap aramaktadır? Açıklayınız.” sorusunu fizik öğretmen adaylarına yönlendirmiştir. Bu araştırmada 15 öğretmen adayının 11’i doğru ve doğruya yakın cevaplar vermişlerdir. Bu araştırmada da çalışma sonucuna paralel olarak katılımcıların uygulama öncesinde CERN’deki çalışmaların büyük patlama ile bağlantısı hakkındaki bilgilerinin durumu ‘orta’ olarak belirlenmiştir.

“Atom altı parçacıkları Standart Model çerçevesinde tanımlamaları sağlanır” kazanımıyla ilgili alan bilgilerinin durumu ‘orta’ iken ‘çok iyi’ olarak değiştiği tespit edilmiştir. Yapılan

analiz sonucunda büyük bir etki ile katılımcıların kazanımla ilgili alan bilgilerinde istatiksel olarak anlamlı değişiklikler olduğu ortaya koyulmuştur.

Kaya (2018) 12. sınıf öğrencilerinin çoğunun kuark, lepton, gluon ve müon gibi parçacıklardan haberdar olmadıklarını tespit etmiştir. Ergin (2011) fizik öğretmen adaylarının atomu oluşturan temel ve birleşik parçacıklarla ilgili görüşlerini belirlemeye yönelik bir araştırma yürütmüş ve araştırmada fizik öğretmen adaylarının atom altı temel ve bileşik parçacıklar konusunda yeterli bilgiye sahip olmadıklarını belirlemiştir. Ekinci (2022) fizik öğretmen adaylarının oluşturdukları kavram haritalarında elektron, proton ve nötronu temel parçacık olarak belirttiklerini tespit etmiştir. Yapılan araştırmada uygulanan 'Kuark Kart Oyunu' etkinliği öncesinde fizik öğretmenlerinin yarısının lepton, mezon, baryon ve hadronlara parçacık örnekleri verdiği görülmüştür. Bu sonuçlara paralel olarak fizik öğretmenlerinin atom altı parçacıklar hakkında ön testteki bilgileri 'orta' olarak belirlenmiştir.

"Dört temel kuvvetin açıklanması sağlanır" kazanımıyla ilgili alan bilgilerinin durumu 'iyi' iken 'çok iyi' olarak değiştiği tespit edilmiştir. Yapılan analiz sonucunda orta etki ile katılımcıların kazanımla ilgili alan bilgilerinde istatiksel olarak anlamlı değişiklikler olduğu ortaya koyulmuştur.

"Dört temel kuvvetin açıklanması sağlanır" kazanımı MEB 12. sınıf fizik hem Anadolu hem de fen lisesi öğretim programında yer almaktadır. "Dört temel kuvvetin hangi kuvvetler olduğu belirtilir" kazanımı ise MEB 9. sınıf fizik Anadolu ve fen lisesi öğretim programında yer almaktadır. Ortaöğretim kurum türünden bağımsız olarak dört temel kuvvetle ilgili kazanımın 9. sınıfta da yer alması nedeniyle fizik öğretmenlerinin konu hakkında bilgi sahibi olmalarının kaçınılmaz olduğu düşünülmektedir. Çalışma sonucunda da bu durumu destekleyen bir sonuca ulaşılmıştır. Fizik öğretmenlerinin kazanımla ilgili bilgilerinin durumu iyi olarak tespit edilmiştir.

"Abdus Salam, Sheldon Lee Glashow ve Steven Weinberg'in Nobel ödülünü elektromanyetik ve zayıf kuvvetin birleşik bir kuvvet görünümünde olduğunu keşfetmeleri üzerine aldıkları vurgulanır" kazanımıyla ilgili alan bilgilerinin durumu 'çok zayıf' iken 'zayıf' olarak değiştiği tespit edilmiştir. Yapılan analiz sonucunda da katılımcıların kazanımla ilgili olan alan bilgilerinde istatiksel olarak anlamlı değişiklikler olmadığı ortaya koyulmuştur.

Katılımcılarla yapılan yarı yapılandırılmış görüşmelerde Kuantum Renk Dinamiği, Herşeyin Teorisi ve Büyük Birleşme Kuramı kavramlarını ilk kez duyduklarını belirtmiştir. Bu kavramlar ortaöğretim fizik öğretim programında yer almamaktadır. Böylece bu kavramların hangi etkileşimlerde iş başında olduğu bilgisine sahip olmamaları beklenmektedir. Bunun sonucu olarak kazanımla ilgili 'Etkileşimlerin Süreci' etkinliğindeki çalışmadaki başarı orta olarak belirlenmiştir. Ergin (2011) fizik öğretmen adaylarının güncel modern fizik gelişmelerini takip etmede yetersiz kaldıklarını belirtmiştir. Araştırmada elde edilen sonuçlara paralel olarak fizik öğretmenlerinin de modern fizik alanındaki gelişmeleri takip etmede yetersiz kaldıkları söylenebilir. Lisans eğitimde bu kavramları içeren derslerin olmaması da neden olarak görülmektedir.

Elektrozayıf etkileşim MEB ortaöğretim fizik ders kitaplarında çok kısa bir metin olarak şu şekilde yer almaktadır:

> "Abdus Salam (Abdus Selam), Sheldon Lee Glashow (Şeldın Li Glaşov) ve Steven Weinberg'in (Stivın Veinberg) elektromanyetik ve zayıf kuvvetin birleşik bir kuvvet görünümünde olduğunu keşfetmeleri üzerine Nobel ödülünü almışlardır." MEB 12. Sınıf Fizik Ders Kitabı s.169

> "Abdus Salam, Sheldon Glashow ve Steven Weinberg isimli üç bilim insanı (Görsel 4.2.13), parçacıkların yüksek enerji düzeylerine ulaştığı durumlarda elektromanyetik ve zayıf kuvvetin birleşik bir kuvvet görünümünde olduğunu keşfetmişlerdir. Bu üç bilim insanına birlikte yaptıkları bu önemli keşiften dolayı 1979 yılında Nobel Fizik Ödülü verilmiştir. Elektromanyetik etkileşim ve zayıf etkileşimi beraber tanımlayan matematiksel modele elektrozayıf teori denir." MEB 12. Sınıf Fen Lisesi Fizik Ders Kitabı s.211

Ders kitaplarında yer alan bilgilerin kazanımla ilgili olan bilgileri açıklamakta yetersiz olduğu düşünülmektedir. Etkinliğin uygulanması esnasında istenen yanıtları vermekte güçlük çekilse de, yarı yapılandırılmış görüşmelerde katılımcılar bu etkinlikten duydukları memnuniyeti belirtmiştir. Ayrıca katılımcılar zaman şeridi olarak hazırlanan çalışmanın akılda kalıcılığının olduğunu ancak zor bir çalışma olduğu belirtmiştir. Katılımcılardan bazıları etkinliğin 12. sınıf fizik öğretim programında olmayan pek çok kavramın etkinliğin içerisinde olduğunu ve bu nedenle kazanıma uygun bir etkinlik olmadığını belirtmiştir. Ancak etkinliklerin hedefinin lise öğrencilerinin değil, fizik öğretmenleri olduğu unutulmamalıdır. Etkinlik, fizik öğretim programındaki kazanımdan yola çıkılarak hazırlanmıştır. Katılımcılardan bazıları ise etkinliği öğrencilerine uygulamak istemediğini nedeni olarak ise etkinliğin zor olduğundan bahsetmiştir... Robinson 1976'da bile bilinen yüzden fazla hadron türü olduğunu ve bunun da 'hayvanat bahçesi' (particle zoo) terimine yol açtığını belirtmiştir. Günümüze gelindiğinde durum daha da karışıktır. Schmitz 2019'da parçacıklar ve özellikleri hakkında genel bir bakışa sahip olduğunuzu

düşünüyorsanız bir hayal kırıklığı yaşanılacağını ve durumun çok daha derine indiğini belirtir. Bu nedenle fizik öğretmenleri için yeni olan bu bilgilerin kafa karıştıcı görülmüş olabileceği kabul edilebilir.

"Atom altı parçacıklardan başlayarak madde oluşumunun modelle açıklanması sağlanır" kazanımıyla ilgili alan bilgilerinin durumu 'orta' iken, ilgili etkinlik olan 'Atom Altı Parçacıklardan Maddeye'nin uygulanmasıyla 'çok iyi' olarak değiştiği tespit edilmiştir. Yapılan analiz sonucunda orta etki ile katılımcıların kazanımla ilgili alan bilgilerinde istatiksel olarak anlamlı değişiklikler olduğu ortaya koyulmuştur.

Kazanımla ilgili bilgileri kazandırması için geliştirilen 'Atom Altı Parçacıklardan Maddeye' etkinliği hakkındaki görüşlerin 'çok iyi' olduğu görülmektedir. Katılımcıların son testteki durumlarının da 'çok iyi' olarak değerlendirilmesine rağmen, etkinlikteki başarı 'çok zayıf' olarak değerlendirilmiştir. Nedeni incelendiğinde etkinlikteki çalışmada bir su molekülünü inşa etmek için gerekli olan elektron, u ve d kuark sayısının doğru hesaplanamadığı görülmektedir. Katılımcıların hidrojen atomunda nötron olmadığını bilmediği ortaya çıkmıştır. Bu etkinlik sonunda katılımcılar hidrojende nötron olmadığı açıklaması karşısında şaşkınlığını dile getirmiştir. Hem ulusal hem de uluslararası alan yazında hidrojende nötron olduğuna yönelik bir kavram yanılgısına rastlanmamıştır. Ancak araştırmacıların bu konuda araştırma yapmaları önerilmektedir.

"Öğrencilerin, atom altı parçacıklar arasındaki etkileşim kuvvetini açıklamaları sağlanır" kazanımıyla ilgili alan bilgilerinin durumu 'iyi' iken 'çok iyi' olarak değiştiği tespit edilmiştir. Yapılan analiz sonucunda orta etki ile katılımcıların kazanımla ilgili alan bilgilerinde istatiksel olarak anlamlı değişiklikler olduğu ortaya koyulmuştur.

Munk-Jakobsen (2018) tarafından yapılan çalışmada "Protonlar aynı elektrik yüküne sahip oldukları halde atom çekirdeğinde birbirlerini itmeden nasıl bu kadar yakın bulunurlar?" fizik bölümü öğrencileri tarafından en çok doğru cevap verilme oranına sahip olan sorudur. Bu araştırmada da benzer sonuçlar elde edilmiş ve uygulama öncesinde de katılımcıların atom altı parçacıklar arasındaki etkileşim kuvveti hakkındaki bilgilerinin durumu iyi olarak tespit edilmiştir.

"Higgs bozonuna kısaca değinilir" kazanımıyla ilgili alan bilgilerinin durumu 'orta' iken 'çok iyi' olarak değiştiği tespit edilmiştir. Yapılan analiz sonucunda orta etki ile katılımcıların kazanımla ilgili alan bilgilerinde istatiksel olarak anlamlı değişiklikler olduğu ortaya koyulmuştur.

Sağlık'ın (2013) fizik öğretmen adaylarıyla yaptığı çalışmada "Higgs Bozonu nedir?" sorusu için kısmen doğru ve doğru ifade yüzdelerinin yanlış cevap yüzdesinden daha fazla olduğunu saptamıştır. Bu araştırma sonucunda da yapılan çalışmaya benzer bir sonuç elde edilmiştir. Aynı zamanda kazanımla ilgili olan 'Higgs Bozonu' adlı etkinliğin uygulamasında, Higgs bozonuna yönelik yanlış görüşler tespit edilmiştir. Katılımcıların Higgs bozonu hakkında yanlış olan görüşleri doğrudan alıntılarla şu şekildedir:

"Maddenin bir kütleye sahip olmasını sağlayan parçacık." (FÖ1)

"Parçacıklara kütle kazandırdığı düşünülen bozon." (FÖ2, FÖ12)

"Maddeye kütle kazandıran parçacık." (FÖ3, FÖ9, FÖ16, FÖ17)

"Maddeye kütlesini veren en küçük parçacık." (FÖ6)

"Hangi parçacıkların kütleye sahip olacağını belirleyen parçacıktır." (FÖ8)

"Atomun en küçük parçası." (FÖ15)

Katılımcıların Higgs bozonu hakkındaki yanlış görüşleri araştırıldığında, alan yazında yer alan bazı kavram yanılgılarına sahip oldukları tespit edilmiştir.

"Madde ve antimadde kavramlarını açıklar" kazanımıyla ilgili alan bilgilerinin durumu 'orta' iken 'çok iyi' olarak değiştiği tespit edilmiştir. Yapılan analiz sonucunda orta etki ile katılımcıların kazanımla ilgili alan bilgilerinde istatiksel olarak anlamlı değişiklikler olduğu ortaya koyulmuştur.

Öneriler

Higgs hakkında çeşitli kavram yanılgıları bulunmaktadır (Nomura, Poirier & Terning, 2018). Kruse'a göre özellikle Higgs hakkında kavram yanılgılarının oluşabileceğini çünkü karışık matematiksel denklemleri günlük dilde ifade etmenin çok zor olduğunu belirtmiştir (Yeager, 2012). Bilimsellikten uzak yazılmış gazete makalelerinin kavram yanılgısı oluşturabileceğini belirtmiştir. Kruse'e göre Higgs bozonu ve alanı hakkında en çok karşılaşılan kavram yanılgıları şunlardır:

- "Diğer parçacıklara kütle kazandıran Higgs parçacığıdır."
- "Herşeyin kütlesini Higgs alanı üretir."
- "Higgs bozonu Higgs alanını üretir."
- "Higgs bozonu ve Higgs alanının bulunması ani beklenmedik bir keşif anıdır."

- “Bilim insanları etheri açıklamak için Higgs alanını kullanır.”

Higgs bozonu hakkında bir diğer kavram yanılgısı “Higgs bozonu evreni yok edebilir” (Nomura vd., 2018, s. 105) olarak alan yazında yer almaktadır. Belirtilen kavram yanılgılarına benzer olarak bu araştırmada da fizik öğretmenlerinin benzer görüşlere sahip oldukları tespit edilmiştir. Fizik öğretmenleri temel parçacıkların kütle kazanmasına neden olanın Higgs bozonu olduğunu belirtmiştir. Öğreten’in (2019) yaptığı çalışmada “Higgs Bozonu nedir?” sorusuna ilişkin fen bilgisi öğretmen adaylarının verdikleri cevaplarda “Maddeye kütle kazandırır” cümlesinin doğru olarak kabul edildiği görülmektedir. Ancak bir parçacığın başka bir parçacığa kütle kazandırması söz konusu değildir. Bazı temel parçacıkların kütle kazanmasının nedeni, parçacıkların Higgs alanı ile olan etkileşimidir. Hatta Higgs alanı yalnızca %1 olan gözlemlenebilir dünyamızı oluşturan maddenin oluşumunu ve muhtemelen karanlık maddenin tamamını açıklar. Bu nedenle aratırmacılara fizik öğretmenlerinin Higgs bozonu ya da alanı hakkında kavram yanılgısına sahip olup olmadıklarıyla ilgili, kavram yanılgısı tespitine yönelik üç ya da dört aşamalı testler geliştirilmesi önerilmektedir.

CERN’de bulunan BHÇ hakkında alan yazında kavram yanılgıları tespit edilmiştir. Bunlardan bazıları şunlardır:

- BHÇ daha fazla keşif ve ölçüm yaparsa, lineer hızlandırıcının yapacağı bir şey kalmaz (Lykken, 2010).
- Hızlandırıcıların tek yaptığı parçacıkları keşfetmektir (Lykken, 2010).
- BHÇ’nin Higgs’i keşfetmesinden sonra, gerisi önemsizdir (Lykken, 2010).
- BHÇ paralel evrenin varlığını ispatlayabilir (Nomura vd., 2018), s. 111).
- BHÇ gezegenimizi yutan küçük bir kara delikler oluşturacak (Nomura vd., 2018, s. 95).

Araştırmaya katılan fizik öğretmenlerinin ise yukarıda verilen kavram yanılgılarına sahip olup olmadıklarının ortaya çıkartılamadığı düşünülmektedir. ‘CERN’de Neler Oluyor?’ etkinliğinde, BHÇ’de araştırılan sorular ve yanıtlarının eşleştirilmesi istenmiştir. Bu etkinlikteki çalışma %100 başarıyla tamamlamıştır. Ancak etkinlik verilen soru ve cevapların eşleştirilmesi çalışmasının, katılımcılardaki görüşlerin ortaya çıkmasına engel olduğu düşünülmektedir. Bu nedenle ‘CERN’de Neler Oluyor?’ etkinliğinin hızlandırıcılar hakkındaki çeşitli görüşleri ortaya çıkarması amacıyla tekrar geliştirilmesi gerektiği düşünülmektedir.

‘Atom Altı Parçacıklardan Maddeye’ etkinliğinin amaçları arasında olmasa da; etkinliğin uygulanması esnasında katılımcıların hidrojende nötronun olduğu hakkında doğru olmayan görüşlere sahip oldukları tespit edilmiştir. Hem ulusal hem de uluslararası alan yazında hidrojende nötron bulunduğu hakkında herhangi bir kavram yanılgısı bulunmamaktadır. Hidrojen hariç bütün elementler çekirdeklerinde hem proton hem de nötron barındırır, nötronsuz tek element hidrojendir. Hidrojen aynı zamanda tek elektronlu tek elementtir (Akgün vd., 2014). Uygulamada ortaya çıkan bu durum hakkında araştırmacıların fizik öğretmenlerinin kavram yanılgısına sahip olup olmamasının araştırması önerilmektedir.

Öğretmenler, eğitim kurumlarında verimli çalıştıklarında ülkenin gereksinimi olan nitelik ve nicelikte insan gücünü oluşturmakta ülke kalkınmasına destek olabilmektedirler. Öğretmenlerin bu sorumluluğu yerine getirebilmeleri için, çağın gerektirdiği teknolojik değişim ve gelişimlere uyum sağlayarak uygun öğretim ve eğitim süreçlerini yönetmeleri gerekmektedir. Bu nedenle öğretmenler yaşam boyu eğitim görmeli ve mesleklerinde yetkinleşmelidir (Ersoy, 1992; 2002).

Eğitim literatürümüzde hizmet içi eğitim ile ilgili yapılan birçok araştırmanın sonuçları, fen ve fizik öğretmenleri için yeterli sayıda ve etkili hizmet içi eğitim faaliyetlerinin düzenlenmediğini, MEB tarafından merkezi ve yerel olarak düzenlenen hizmet içi eğitim uygulamalarında üniversitelerle yeterli seviyede işbirliği yapılmadığını ortaya koymaktadır (Kanlı & Yağbasan, 2002; Çepni, Kaya & Küçük, 2005). Fen bilgisi ve fizik öğretmenlerine katılmak istedikleri seminer etkinlikleri ile ilgili görüşleri sorulduğunda, etkin öğretim için etkinlik tasarlama ve geliştirme en çok istenen konulardan biri olmuştur (Üstüner, Erdem & Ersoy, 2002). Bu nedenle araştırma sonucunda parçacık fiziği alanında tasarlanan etkinliklerin fizik öğretmenlerine yönelik olan hizmet içi eğitimde kullanılması önerilmektedir.

Ülkemizde ders kitapları hakkında yapılan araştırmalar incelendiğinde genel olarak kitapların temel bilgi kaynağı olarak kullanıldığı, öğrencilerin bilgi kaynağı olarak ders kitabını gördükleri, ders kitaplarından bir öğretim aracı olarak %70 ve üzeri bir oranda faydalanıldığı, öğrencilerin sınıf ortamındaki zamanlarının % 70-%75’ini ders kitaplarıyla ilgili etkinliklerle geçirdikleri görülmektedir (Tertemiz, Ercan & Kayabaşı, 2001; Tor, 2003; Kanlı & Yağbasan, 2004; Karamustafaoğlu, Aydın & Özmen, 2005; Şengören, Tanel, Yıldırım Benli & Kavcar, 2010). Parçacık fiziğinin önemi dikkate alındığında ilköğretim öğrencilerine fen bilimleri dersinde parçacık fiziği ile ilgili, atomun yapı taşları

olarak bilinen proton, nötron ve elektronun yanında atom altı parçacıklarında olduğunu fark etmeleri sağlanmalı, bunun için oyunlar, etkinlikler, hikâyeler, benzetmeler gibi öğrenci seviyesine uygun materyaller kullanılması önerilmektedir (Çalımlı, 2020). MEB'in onaylandığı ders kitaplarında parçacık fiziği ile ilgili herhangi bir etkinlik bulunamamıştır. Öğrencilerin üniversiteye gelmeden önce parçacık fiziği hakkında ön bilgi almalarına çalışmak için hazırlanan lise ders kitaplarında CERN'deki çalışmalara sınırlı yer verilmiş, derslerin etkili olması ve uygulamalı deneyler için video, resim, simülasyon gibi görsellerden yararlanmaya dikkat çekilmemiştir (Kamışcıoğlu, 2022). Bu nedenle çalışmada geliştirilen etkinliklerin fen ve fizik öğretmenlerine bu konuda yardımcı olacağı düşünülmektedir. Şimşek (2010) tarafından yapılan çalışmada 12. sınıf fizik ders kitabı araştırmaya katılan öğretmenler tarafından görsel, biçimsel, içerik, laboratuvar etkinlikleri, alıştırma ve değerlendirme yönünden yeterli bulunmamıştır. Bu nedenle MEB'in onayladığı 12. sınıf fizik ders kitaplarına geliştirilen etkinliklerin eklenmesi önerilmektedir.

MEB ortaöğretim fizik dersi öğretim programı (2018) parçacık fiziğine yönelik konular 12. sınıf fizik dersi "Atom Fiziğine Giriş ve Radyoaktivite" ünitesi içerisinde yer almaktadır. 12. sınıf II. yarıyılda öğrencilerin üniversite sınavına yönelik motivasyonları oldukça yüksektir. 12. sınıf fizik dersine ait ünitelendirilmiş yıllık planda söz konusu olan ünitenin de II. yarıyılda yer alması, üniteye verilen önemi azaltmaktadır. Bunun önüne geçmek için ünitede yer alan parçacık fiziği konuları, 9. ve 10. sınıf fizik öğretim programındaki kazanımlara eklenebileceği önerilmektedir;

- 9. sınıf fizik öğretim programında "Fizik Bilimine Giriş" ünitesinde '9.1.1.1. Evrendeki olayların anlaşılmasında fizik biliminin önemini açıklar.' kazanımında Büyük Patlama anından itibaren günümüze kadar olan süreçte parçacık fiziğinin araştırmaları örnek olarak verilebilir. Aynı ünite içerisinde yer alan '9.1.2.1. Fiziğin uygulama alanlarını, alt dalları ve diğer disiplinlerle ilişkilendirir.' kazanımında CERN'de yapılan çalışmalardan yola çıkılarak örnekler verilebilir. Parçacık fiziğinin tıp, biyoloji ve bilgisayar gibi pek çok alandaki uygulamalarından bahsedilebilir.
- 9. sınıf fizik öğretim programında "Hareket ve Kuvvet" ünitesinde '9.3.2.1. Kuvvet kavramını örneklerle açıklar.' kazanımına elektrozayıf etkileşim ve Büyük Birleşme Teorisi hakkında kısa bir bilgi eklenebilir.

- 11. sınıf fizik öğretim programında “Kuvvet ve Hareket” ünitesindeki “11.1.7.3. Çizgisel momentumun korunumunu analiz eder.” kazanımına hızlandırıcılarda dedektörlerde iz bırakmayan parçacıkların çizgisel momentumun korunumuyla tespitinden bahsedilebilir.

HYPATIA ve MINERVA, CERN'deki Büyük Hadron Çarpıştırıcısı'ndaki ATLAS deneyinden elde edilen verilerin analizi için bir araçtır. Uluslararası Ustalık Sınıfları’nda (International Masterclass) CERN'deki Büyük Hadron Çarpıştırıcısı'ndan alınmış gerçek ATLAS verileri bu programlarla kullanılmaktadır. İleri seviyede bir proton-proton çarpışmasını ve dedektörlerde parçacıkların nasıl tespit edildiği hakkında bilgi edinmek isteyen fizik öğretmenleri için düzenli olarak kullanılan indirilebilir bir sürümü ve bir web uygulaması biçiminde bulunan çevrim içi bir sürüm de mevcuttur (Kourkoumelis & Vourakis, 2016). Uluslararası Ustalık Sınıfları her sene belirli bir üniversitede, ülkenin seçkin ortaöğretim kurumlarını temsil eden öğrencileri ve onlara eşlik eden fizik öğretmenleriyle gerçekleştirilmektedir. Ancak parçacık fiziğine ilgisi olan ve fen lisesinde eğitim almayan öğrencilerin de HYPATIA ve MINERVA’yı indirip çevrim içi uygulamarıyla, ATLAS'tan elde edilen verilerle bir bilim insanı gibi çalışması sağlanacağı düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

Abhang, R. Y. (2005). Making introductory quantum physics understandable and interesting. *Resonance, 10,* 63-73. https://www.ias.ac.in/article/fulltext/reso/010/01/0063-0073 sayfasından erişilmiştir.

Ağa, S. (2017). *Öğretmen adaylarının modern fizikte kullanılan metaforlara ilişkin algılarının incelenmesi.* Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Eğitim Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Ainley, J., Pratt, D., & Hansen, A. (2006). Connecting engagement and focus in pedagogic task design. *British Educational Research Journal, 32*(1), 23-38. https://doi.org/10.1080/01411920500401971.

Akbulut, H. H. (2010). *Sıvıların kaldırma kuvveti ve yüzme kavramlarına yönelik probleme dayalı öğrenme uygulaması ve değerlendirilmesi.* Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.

Akgün, B., Ünel, G., Erhan, S., Sekmen, S., Köse, U. & Yıldız, V. (2014). Meraklısına parçacık ve hızlandırıcı fiziği. https://indico.cern.ch/event/308126/attachments/588109/809376/ana.pdf sayfasından erişilmiştir.

Aksakallı, A. (2014). *Lisans düzeyinde modern fizik dersi alan öğrencilerin bu ders ile ilgili negatif algılarının nedenlerine yönelik öğrenci görüşlerinin incelenmesi.* Doktora Tezi, Erzurum Üniversitesi Eğitim Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.

Alexopoulos, A. (2014). Playing with protons in primary. *CERN Document Server* http://cds.cern.ch/record/1998688 sayfasından erişilmiştir.

Alsop, S., & Beale, S. (2013). Molasses or crowds: making sense of the Higgs boson with two popular analogies. *Physics Education, 48*(5), 670–676. https://iopscience.iop.org/article/10.1088/0031-9120/48/5/670/pdf sayfasından erişilmiştir.

Altunışık, R., Coşkun, R., Bayraktaroğlu, S. & Yıldırım, E. (2007). *Sosyal Bilimlerde Araştırma Yöntemleri SPSS Uygulamalı.* Sakarya: Sakarya.

Andrews, I., & Nikolopoulos, K. (2018). Introducing particle physics concepts through visual art. *Physics Education, 53*. https://arxiv.org/pdf/1806.11490.pdf sayfasından erişilmiştir.

Arıkan, G., Karataş, T. & Kavcar, N. (2017). Fizik öğretmenlerinin 12. sınıf fizik kitabına ilişkin görüşleri: İzmir ili örneği. *Ondokuz Mayıs Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi, 36*(2), 19-43. https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/395747 sayfasından erişilmiştir.

Ata, B. (2002). Tarih derslerinde dökümanla öğretim yaklaşımı. *Türk Yurdu, 22*(175), 80-86. https://www.academia.edu/606604/Tarih_Derslerinde_Dok%C3%BCmanlarla_%C3%96%C4%9Fretim_Yakla%C5%9F%C4%B1m%C4%B1 sayfasından erişilmiştir.

Atasoy, Ş. (2008). *Öğretmen adaylarının Newton'un hareket kanunları konusundaki kavram yanılgılarının giderilmesine yönelik geliştirilen çalışma yapraklarının etkililiğinin araştırılması.* Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.

Atasoy, Ş., Akdeniz, A. R. & Başkan, Z. (2007). Çalışma yapraklarının öğrenme sürecine katkıları yönünden değerlendirilmesi. *Yeditepe Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi, 2*(2). https://www.academia.edu/1142441/Atasoy_%C5%9E_Akdeniz_A_R_ve_Ba%C5%9Fkan_Z_%C3%87al%C4%B1%C5%9Fma_Yapraklar%C4%B1n%C4%B1n_%C3%96%C4%9Frenme_S%C3%BCrecine_Katk%C4%B1lar%C4%B1_Y%C3%B6n%C3%BCnden_De%C4%9Ferlendirilmesi_Yeditepe_%C3%9Cniversitesi_E%C4%9Fitim_Fak%C3%BCltesi_Dergisi_EDU7_2_2_2007_Online_http_www_yeditepe_edu_tr sayfasından erişilmiştir.

Atılgan, H. (2004). *Genellenebilirlik kuramı ve çok değişkenlik kaynaklı Rasch modelinin karşılaştırılmasına ilişkin bir araştırma.* Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ankara.

Aycan, Ş. & Yumuşak, A. (2003). Lise fizik müfredatındaki konuların anlaşılma düzeyleri üzerine bir araştırma. *Milli Eğitim Dergisi, 159*. http://dhgm.meb.gov.tr/yayimlar/dergiler/Milli_Egitim_Dergisi/159/aycan-yumusak.htm sayfasından erişilmiştir.

Aydın, G. & Balım, A. G. (2005). Yapılandırmacı yaklaşıma göre modellendirilmiş disiplinler arası uygulama: enerji konularının öğretimi. *Ankara Üniversitesi Eğitim Bilimleri Fakültesi Dergisi, 38*(2), 145-166. https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/509146 sayfasından erişilmiştir.

Aykaç, N. (2007). İlköğretim programında yer alan etkinliklerin öğretmen görüşleri doğrultusunda değerlendirilmesi (Sinop ili örneği). *Ahi Evran Üniversitesi Kırşehir Eğitim Fakültesi Dergisi, 8*(2), 19-35. https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/1495079 sayfasından erişilmiştir.

Ayre, C., & Scally A. J. (2014). Critical values for Lawshe's content validity ratio: revisiting the original methods of calculation. *Measurement and Evaluation in Counseling and Development, 47*(1), 79–86. https://doi.org/10.1177/0748175613513808.

Ayvacı, H. Ş. & Durmuş, A. (2016). TGA yöntemine dayalı laboratuvar uygulamalarının fen bilgisi öğretmen adaylarının "ısı ve sıcaklık" konusunda akademik başarılarına etkisi. *Pamukkale Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi, 39*(39), 101-118. https://dergipark.org.tr/tr/pub/pauefd/issue/33882/375174 sayfasından erişilmiştir.

Ayvacı, H. Ş., Yamak, S. & Duru, M. K. (2018). 2016 LYS ve YGS fizik sorularının bloom taksonomisi ve öğretim programında yer alan kazanımlar açısından analizi. *Çukurova Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi, 47*(2), 798-832. https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/563323 sayfasından erişilmiştir.

Ayverdi, L. (2012). *İlköğretim 8. sınıf fen ve teknoloji dersinde bilimsel yaratıcı etkinlik uygulamaları: "hücre bölünmesi ve kalıtım" ünitesi örneği.* Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir.

Bağcan Büyükturan, E. & Çıkrıkçı Demirtaşlı, N. (2013). Çoktan seçmeli testler ile yapılandırılmış gridlerin psikometrik özellikleri bakımından karşılaştırılması. *Ankara Üniversitesi Eğitim Bilimleri Fakültesi Dergisi, 46*(1), 395-415. http://dergiler.ankara.edu.tr/dergiler/40/1799/19011.pdf sayfasından erişilmiştir.

Bahar, M., Nartgün, Z., Durmuş, S. & Bıçak, B. (2010). *Geleneksel-tamamlayıcı ölçme ve değerlendirme teknikleri.* Ankara: Pegem Akademi.

Balcı S. & Ahi, B. (2017). *SPSS kullanma kılavuzu SPSS ile adım adım veri analizi.* Ankara: Anı Yayıncılık.

Balta, N. (2014). *The effect of a professional development program on physics teachers' knowledge and their students' achievement in modern physics unit.* Doctoral Dissertation, Middle East Technical University Department of Secondary Science and Mathematics Education, Ankara.

Başdaş, E. (2007). *İlköğretim fen eğitiminde, basit malzemelerle yapılan fen aktivitelerinin bilimsel süreç becerilerine, akademik başarıya ve motivasyona etkisi.* Yüksek Lisans Tezi, Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Manisa.

Başol, G. (2013). *Eğitimde ölçme ve değerlendirme.* Ankara: Pegem Akademi Yayıncılık.

Bayrakçı, Ö. (2007). *İlköğretim sosyal bilgiler dersindeki araştırma ödevlerinin (etkinlik, performans ve proje) öğrencilerin sosyalleşmesine katkısı.* Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Sakarya.

Bogdan, R., & Biklen, S. K. (2007). *Qualitative research for education: an introduction to theories and method*. Boston: Allyn & Bacon.

Boydak, A. (2004). Öğrenci merkezli etkinlikler neden gereklidir?. *Bilim ve Aklın Aydınlığında Eğitim Dergisi, 5*(Haziran-Temmuz*)*, 52-53.

Bozdoğan, A. (2007). *Fen bilgisi öğretiminde çalışma yaprakları ile öğretimin öğrencilerin fen bilgisi tutumuna ve mantıksal düşünme becerilerine etkisi.* Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Adana.

Bozkurt, E. & Sarıkoç, A. (2008). Fizik eğitiminde sanal laboratuar, geleneksel laboratuarın yerini tutabilir mi? *Selçuk Üniversitesi Ahmet Keleşoğlu Eğitim Fakültesi Dergisi, 25*, 89-100. https://www.academia.edu/516399/F%C4%B0Z%C4%B0K_E%C4%9E%C4%B0T%C4%B0M%C4%B0NDE_SANAL_LABORATUAR_GELENEKSEL_LABORATUARIN_YER%C4%B0N%C4%B0_TUTAB%C4%B0L%C4%B0R_M%C4%B0 sayfasından erişilmiştir.

Bransford, J. D., Brown, A. L., & Cocking, R. R. (2000). *How people learn.* Washington: National Academy.

Braun, H. I., Bennett, R. E., Frye, D., & Soloway, E. (1990). Scoring constructed responses using expert systems. *Journal of Educational Measurement, 27*(2), 93-108. http://dx.doi.org/10.1111/j.1745-3984.1990.tb00736.x

Brookhard, S. M. (2015). Making the most of multiple choice. *Educational Leadership, 73*(1), 36-39. https://eric.ed.gov/?id=EJ1075062 sayfasından erişilmiştir.

Bryman, A. (1988). *Doing research in organizations.* London: Routledge.

Camci, F. (2012). *Aktif öğrenmeye dayalı etkinlik temelli öğretimin öğrencilerin akademik becerilerine ve öğrenme sürecine etkisi.* Doktora Tezi, Adıyaman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adıyaman.

Ceyhan, E. & Yiğit, B. (2004). *Konu alanı ders kitabı incelemesi.* Ankara: Anı Yayıncılık.

Chaloner, C. (1997). The most wonderful experiment in the world: A history of the cloud chamber. *The British Journal for the History of Science, 30*(3), 357-374. https://doi.org/10.1017/S0007087497003130.

Christensen, L. B., Johnson, R. B., & Turner, L. A. (2020). *Araştırma yöntemleri : desen ve analiz* (A. Aypay, Çev.). Ankara: Anı.

Cid, X., & Cid, R. (2009). Taking energy to the physics classroom from the large hadron collider at CERN. *Physics Education, 44*, 78–83. https://igfae.usc.es/gaes/articles/2009/14_0031-9120_44_1_011.pdf sayfasından erişilmiştir.

Cid, X., & Cid, R. (2010). The Higgs particle: a useful analogy for physics classrooms. *Physics Education, 45*(1), 78-83. https://libgen.ggfwzs.net/book/36813394/b54b98 sayfasından erişilmiştir.

Coenders, G. M., Terlouw, C., Dijkstra, S., & Pieters, J. M. (2010). The effects of the design and development of a chemistry curriculum reform on teachers' professional growth: a case study. *Journal of Science Teacher Education 21*(5), 535-557. https://doi.org/10.1007/s10972-010-9194-z.

Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences.* New York: Psychology.

Cohen, L., Manion, L., & Morrison, K. (2007). *Research methods in education*. London: Routledge.

Connolly, T., Arkes, H., & Hammond, K. (2000). *Judgment and decision making: an ınterdisciplinary reader*. UK: Cambridge University.

Contemporary Physics Education Project (t.y.). Activity four: tracking unseen particles https://www.cpepphysics.org/education/activity-4.pdf sayfasından erişilmiştir.

Corbin, J., & Strauss, A. (1990). Grounded theory research: procedures, canons, and evaluative criteria. *Qualitative Sociology, 13*(1), 3-21. https://doi.org/10.1007/BF00988593

Coştu, B. & Ünal, S. (2004). Le-Chatelier prensibinin çalışma yaprakları ile öğretimi. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi, 1*(1), 1-22. https://dergipark.org.tr/tr/pub/yyuefd/issue/13721/166072 sayfasından erişilmiştir.

Coştu, B., Karataş, F. Ö. & Ayas, A. (2003). Kavram öğretiminde çalışma yapraklarının kullanılması. *Pamukkale Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi, 14*(14), 33-48. https://app.trdizin.gov.tr/dokuman-goruntule?ext=pdf&path=CrnWZGRsXTjRjLjWxD978OSUAL2jXitizhVYmCxNvH7GAZRMkLwB1-sy0hcXTvtoOdwMnO3jfqf-Cq6DgjE-cVn4kaUwZz5BSOJc6co0bMCpuvMvkF5PNF4Wd5Z_BXENlR5b1BeruuvQE0ElOFGNoKm6IBRbuSZZrZCEqt0_XK41SzR9JN7yJdMfP1ytvv1qVLSFyHBK8NwsB2BJDdhj5CEAJP_RQ4yl75C02mWOMwY=&contentType=application/pdf sayfasından erişilmiştir.

Creswell, J. W. (2003). *Research design: qualitative, quantitative, and mixed methods approaches.* Thousand Oaks, CA: Sage.

Creswell, J. W. (2012). *Educational research planning, conducting and evaluating quantitative and qualitative research.* Boston: Pearson.

Creswell, J. W. (2013). Araştırma deseni (S. B. Demir, Çev.). Ankara: Eğiten Kitap.

Creswell, J. W., & Plano Clark, V. L. (2014). *Karma yöntem araştırmaları tasarımı ve yürütülmesi.* (Y. Dede, S. B. Demir, Çev. Edt.). Ankara: Anı.

Creswell, J. W., Plano Clark, V. L., Gutmann, M., & Hanson, W. (2003). Advanced mixed methods research designs. In A. Tashakkori & C. Teddlie (Eds.), *Handbook of mixed methods in social & behavioral research* (209-240). Thousand Oaks, CA: Sage.

Csörgő, J., Török, C., & Csörgő, T. (2011). Memory of quark matter card game. *A brief introduction for BNL Guests, Users and Visitors (GUV) Center and for the participants of the 2011 AGS and RHIC Users Meeting*. Handout document, distributed by GUV Center of BNL. https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1303/1303.2798.pdf sayfasından erişilmiştir.

Csörgő, J., Török, C., & Csörgő, T. (2012). Elementary particles - quark matter card game. *Section Business Meeting of the Physics and Engineering Section of Academia Europaea*, Bergen, Norway.

Csörgő, T. (2012). Higgs Boson – on your own. *Zimányi 2012 Winter School on Relativistic Heavy Ion Collisions,* Budapest, Hungary, http://zimanyischool.kfki.hu/12 sayfasından erişilmiştir.

Csörgő, T. (2016). LHC and its experiments- on Rubik's void, with a black hole. *CERN Document Server*. https://indico.cern.ch/event/472823/contributions/2180538/attachments/1288931/1918632/2016-06-10-Csorgo-LHC-Rubiks-Void-Black-Hole.pptx sayfasından erişilmiştir.

Çakmak, G. (2009). *Altıncı sınıfta yer alan bazı temel kimya kavramlarının öğretimine yönelik hazırlanan yapılandırmacı temelli materyallerin etkililiğinin araştırılması.* Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Eğitim Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.

Çalık, M. (2006). *Bütünleştirici öğrenme kuramına göre lise 1 çözeltiler konusunda materyal geliştirilmesi ve uygulanması.* Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.

Çalımlı, A. (2020). CERN Türk öğretmen çalıştayı'nın eğitim içeriği ve eğitim sistemimize yansıtılmasına yönelik öneriler. *International Social Mentality and Researcher Thinkers Journal, 6*(38), 2369-2379. http://dx.doi.org/10.31576/smryj.680

Çelikler, D. & Aksan, Z. (2015). Kimyasal tepkime hızına etki eden faktörlerin çalışma yaprağı ile öğretiminin fen bilgisi öğretmen adaylarının akademik başarısına etkisi. *Kafkas Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 15*, 51-56. https://doi.org/10.9775/kausbed.2015.004

Çepni, S., Akdeniz, A. R. & Ayas, A. (1994). Fen bilimleri eğitiminde laboratuvarın yeri ve önemi. *III. Çağdaş Eğitim Dergisi, 206,* 24-28.

Çepni, S., Ayas, A., Johnson, D., & Turgut, F. (1997). *Fizik öğretimi.* Ankara: YÖK/Dünya Bankası Milli Eğitimi Geliştirme Projesi Hizmet Öncesi Öğretmen Eğitimi.

Çepni, S., Kaya, A. & Küçük, M. (2005). Fizik öğretmenlerinin laboratuarlara yönelik hizmet-içi ihtiyaçlarının belirlenmesi. *Türk Eğitim Bilimleri Dergisi, 3*(2), 181-196. https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/256397 sayfasından erişilmiştir.

Çimen, M. (2015). *Fen ve sağlık bilimleri alanlarında spss uygulamalı veri analizi.* Ankara: Palme Yayıncılık.

Demir, N. (2014). *Lise düzeyinde modern fizik konuları ile ilgili kavram testi geliştirilmesi modern fizik kavram testi (MKFT).* Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi Eğitim Bölümleri Enstitüsü, Kayseri.

Demirci, N. (2016). Teaching the history of science in physics classrooms—the story of the neutrino. *Physics Education, 51*(1), 1-11. http://dspace.balikesir.edu.tr/bitstream/handle/20.500.12462/7378/neset-demirci.pdf?sequence=1&isAllowed=y sayfasından erişilmiştir.

Demircioğlu, H. & Atasoy, Ş. (2006). Çalışma yapraklarının geliştirilmesine yönelik bir model önerisi. *Buca Eğitim Fakültesi Dergisi, 19*, 71-79. https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/235085 sayfasından erişilmiştir.

Demircioğlu, H. (2003). *Sınıf öğretmen adaylarının bazı temel kimya kavramlarını anlama düzeyleri ve karşılaşılan yanılgılar.* Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon.

Demirçalı, S. (2007). *İlköğretim 8. sınıf fen bilgisi dersi "genetik" ünitesinde fen-teknoloji-toplum yaklaşımına dayalı yardımcı etkinlik geliştirme ve uygulama*. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Eğitim Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Demirel, Ö. & Yağcı, E. (2007). Eğitim, öğretim teknolojisi ve iletişim. Ö. Demirel ve E. Altun (Eds.) *Öğretim teknolojileri ve materyal tasarımı* içinde (s. 1-27). Ankara: PegemA.

Demirel, Ö. (1993). *Eğitim terimleri sözlüğü.* Ankara: USEM.

Demirel, Ö. (1999). *Planlamadan değerlendirmeye öğretme sanatı*. Ankara: Pegem.

Demirel, Ö. (2002). *Öğretme sanatı.* Ankara: Pegem A.

Denegri, D., Guyot, C., Hoecker, A., & Roos, L. (2018). *Higgs ve CERN* (E. Akat, Çev.). İstanbul: Alfa Bilim.

Doğan, N. (2013). Yazılı yoklamalar. H. Atılgan (Ed.), *Eğitimde ölçme ve değerlendirme* içinde (s. 145-168). Ankara: Anı.

Doyle, W. (1988). Work in mathematics classes: the context of students' thinking during instruction. *Educational Psychologist, 23*(2), 167-180. https://p300.zlibcdn.com/dtoken/c25412ad69e19e224d40ab3f1fad6463/s15326985ep2302_6.pdf sayfasından erişilmiştir.

Dreyfus, T., & Tsamir, P. (2004). Ben's consolidation of knowledge structures about ınfinite sets. *Journal of Mathematical Behavior, 23*(3), 271-300. https://doi.org/10.1016/j.jmathb.2004.06.002

Duran, V. & Ekici, G. (2018, Kasım). *Modern fizik kavramlarının lise düzeyinde öğretimi.* 10. Sosyal Bilimler ve Spor Kongresi'nde sunulmuş bildiri, HATMEK, Hatay. https://www.researchgate.net/publication/329949697_MODERN_FIZIK_KAVRAMLARININ_LISE_DUZEYINDE_OGRETIMI sayfasından erişilmiştir.

Durmaz, A. (2014). *Sosyal bilgiler dersinde etkinlik uygulamalarının öğrenci motivasyonuna etkisi*. Yüksek Lisans Tezi, Sıtkı Koçman Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Muğla.

Durmaz, H. & Özyıldırım, H. (2005). İlköğretim birinci kademe öğrencilerinin fen bilgisi dersi ve fen bilimlerine ilişkin tutumlarının incelenmesi. *Çağdaş Eğitim Dergisi, 30*(323), 25-31. https://search.trdizin.gov.tr/yayin/detay/48559/ sayfasından erişilmiştir.

Dündar, S. (2011). *İlköğretim matematik programında etkinlikler ile kazanımlar arasındaki ilişki.* Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi Eğitim Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.

Ekinci, S. (2022). *Modern fizik öğretiminde argümantasyona dayalı sorgulama: bir durum çalışması.* Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi Eğitim Bilimleri Enstitüsü, Ankara. http://hdl.handle.net/11655/26015 sayfasından erişilmiştir.

Ellington, P., & Race, H. (1993). *Producing teaching materials: a handbook for teachers and trainers.* London: Nichols/Gp.

Elo, S., & Kyngäs, H. (2008). The qualitative content analysis process. *Journal of Advanced Nursing, 62,* 107-115. http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2648.2007.04569.x

Eraslan, A. (2011). İlköğretim matematik öğretmen adaylarının model oluşturma etkinlikleri ve bunların matematik öğrenimine etkisi hakkındaki görüşleri. *İlköğretim Online, 10*(1), 364-377. https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/90710 sayfasından erişilmiştir.

Ergin, A. (2011). *Fizik öğretmeni adaylarının temel ve bileşik parçacıklar ile parçacık hızlandırıcılarına dair görüşlerinin belirlenmesi.* Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir.

Erkan, S. (2006). *Okul psikolojik danışma ve rehberlik programlarının hazırlanması.* Ankara: Nobel.

Erkuş, A. (2006). *Sınıf öğretmenleri için ölçme ve değerlendirme kavramlar ve uygulamalar.* Ankara: Ekinoks.

Ermiş, F. (2008). *Kuvvet ve hareket konusunun kavram çarkı ile öğretimi.* Yüksek Lisans Tezi, Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Van. https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezDetay.jsp?id=_PumW1cv7F743t6om6rZvw&no=An_4q_c_5c-rp5zaOBGC5A sayfasından erişilmiştir.

Ersoy. Y. (1992). *A Study on the education of school mathematics and science teachers for ınformation society, METU Education Report 1.* Ankara: ODTÜ Eğitim Fakültesi.

Ersoy, Y. (2002, Mayıs). *Professional development of mathematics and science teachers: ıssues, needs and models.* Paper presented at the First International Conference on Education: Changing Time, Changing Needs, Eastrean Mediterranean University, KKTC.

Eryılmaz, Ö. (2014). *Lise modern fizik konularının iki farklı öğretim programına göre öğrenilme durumlarının karşılaştırılması.* Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi Eğitim Bilimler, Enstitüsü, Ankara.

Fırat, M., Kabakçı Yurdakul, I., & Ersoy, A. (2014). Bir eğitim teknolojisi araştırmasına dayalı olarak karma yöntem araştırması deneyimi. *Eğitimde Nitel Araştırmalar Dergisi, 2(*1), 65-86. DOI: 10.14689/issn.2148-2624.1.2s3m

Fidan, N. & Erden, M. (1993). *Eğitime giriş.* Ankara: Meteksan.

Fischler, H., & Lichtfeldt, M. (1992). Modern physics and students' conceptions. *International Journal of Science Education 14*(2), 181-190. https://doi.org/10.1080/0950069920140206.

Ford, M. S., & McKay, D. (1998). Mining mathematics-stake your claim to learning. *Teaching Children Mathematics, 4*(8), 464-468. https://doi.org/10.5951/TCM.4.8.0464.

Fraenkel, J. R., & Wallen, N. E. (2003). *How to design and evaluate research in education.* New York: McGraw-Hill.

Fraenkel, J. R., & Wallen, N. E. (2009). *How to design and evaluate research in education.* New York: McGraw-Hill.

Fraenkel, J., Wallen, N. E., & Huey, H. H. (2012). *How to design and evaluate research in education*. Boston: McGraw Hill.

Gabler, I. C., & Schroeder, M. (2003). *Constructivist methods for the secondary classroom: engaged minds*. New York: Allyn & Bacon.

Garcia, J., & Michaelis, J. U. (2001). *Social studies for children: a guide to basic instruction.* Boston: Allyn & Bacon.

Gibson, K. (2016, Ağustos 31). Preschoolers should learn particle physics. *Physics Today.* https://physicstoday.scitation.org/do/10.1063/PT.5.2046/full/ sayfasından erişilmiştir.

Goodwin, L. D. (2001). Interrater agreement and reliability. *Measurement in Physical education and Exercise Science,* 5 (1), 13-14. https://doi.org/10.1207/S15327841MPEE0501_2

Gourlay, H. (2016). Learning about a level physics students' understandings of particle physics using concept mapping. *Physics Education, 52*(1). https://bura.brunel.ac.uk/bitstream/2438/14369/3/FullText.pdf sayfasından erişilmiştir.

Gönen, S., Kocakaya, S. & Kocakaya, F. (2011). Dinamik konusunda geçerliği ve güvenirliği sağlanmış bir başarı testi geliştirme çalışması. *Yüzüncü Yıl Eğitim Fakültesi Dergisi, 8*(1), 40-57. https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/146252 sayfasından erişilmiştir.

Green, F. (2012). Making a fish tank cloud chamber. *Physics Education, 47*(3), 338–341. http://dx.doi.org/10.1088/0031-9120/47/3/338

Greene, J. C., Caracelli, V. J., & Graham, W. F. (1989). Toward a conceptual framework for mixed-method evaluation designs. *Educational Evaluation and Policy Analysis, 11*(3): 255–274. https://www.alnap.org/system/files/content/resource/files/main/greene1989.pdf sayfasından erişilmiştir.

Griffiths, D. (2015). *Temel parçacıklara giriş* (N. Demir, J. Y. Süngü, B. B. Ayhan Şirvanlı, Z. Kırca, Çev.). Ankara: Nobel Akademik.

Gronlund, N. E. (1998). *Assessment of student achievement.* Boston: Allyn and Bacon.

Guion, L. A. (2002). Triangulation: establishing the validity of qualitative studies. https://sites.duke.edu/niou/files/2014/07/W13-Guion-2002- Triangulation-Establishing-the-Validity-of-Qualitative-Research.pdf sayfasından erişilmiştir.

Güler, N. (2014). Analysis of open-ended statistics questions with many facet Rasch model. *Eurasian Journal of Educational Research, 55,* 73-90. http://dx.doi.org/10.14689/ejer.2014.55.5 sayfasından erişilmiştir.

Güler, A., Hacıoğlu, M., & Taşgın, S. (2013). *Sosyal bilimlerde nitel araştırma yöntemleri.* Ankara: Seçkin.

Günay, R. (2013). *İlköğretim 7. sınıf matematik dersinde etkinlik temelli öğretim içeriklerinin farklı düzenlenme biçimlerinin öğrenci başarısına etkisi.* Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Kocaeli.

Gür, H. & Bayar, H. (2006, Eylül). *Etkinlik temelli matematik eğitiminin denklemler konusunda etkililiği ve kalıcılığının belirlenmesi.* VII. Ulusal Fen Bilimleri ve Matematik Eğitimi Kongresi'nde sunulmuş bildiri, Gazi Üniversitesi, Ankara.

Güzel, H. & Adıbelli, S. (2011). 9. sınıf fizik ders kitabının eğitsel, görsel, dil ve anlatım yönünden incelenmesi. *Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 26*, 201-216. http://dergisosyalbil.selcuk.edu.tr/susbed/article/view/163/147 sayfasından erişilmiştir.

Hallaç, S. (2011). *6. sınıf sosyal bilgiler dersinde etkinliklerin uygulanmasında öğretmen görüşleri.* Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Eğitim Bilimleri Enstitüsü, Elâzığ.

Hardal, Ö. & Eryılmaz, A. (2004, Ocak). *Basit araçlarla yaparak öğrenme yöntemine göre geliştirilen elektrik devreleri ile ilgili etkinlikler*. Eğitimde İyi Örnekler Konferansı'nda sunulmuş bildiri, Sabancı Üniversitesi, İstanbul.

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.* Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Adana.

Hayırsever, F. (2010). *Sosyal bilgiler ders, öğretmen kılavuz ve öğrenci çalışma kitaplarının sosyal bilgiler öğretim programında kazandırılması hedeflenen temel beceriler açısından değerlendirilmesi.* Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi Eğitim Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Hırça, N. (2012). Bağlam temelli öğrenme yaklaşımına uygun etkinliklerin öğrencilerin fizik konularını anlamasına ve fizik dersine karşı tutumuna etkisi. *Mustafa Kemal Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 9*(17) 313-325. https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/182975 sayfasından erişilmiştir.

Hopkins, G. (2000). Who does what? *Training & Development, 4*(54), 16-18. https://link.gale.com/apps/doc/A61949957/AONE?u=anon~3ec0dd22&sid=googleScholar&xid=8cde19f3 sayfasından erişilmiştir.

Hsieh, H. F., & Shannon, S. E. (2005). Three approaches to qualitative content analysis. *Qualitative Health Research, 15*(9), 1277–1288. https://doi.org/10.1177/1049732305276687

Hughes, M. A., & Garrett, D. E. (1990). Intercoder reliability estimation approaches in marketing: a generalizability theory framework for quantitative data. *Journal of Marketing Research, 27,* 185-195. https://doi.org/10.2307/3172845

International Particle Physics Outreach Group (2013). *Quark poker.* http://ippog.web.cern.ch/resources/2012/quark-poker sayfasından erişilmiştir.

International Masterclasses (t.y). Hands on particle physics masterclasses. https://physicsmasterclasses.org/index.php?cat=country sayfasından erişilmiştir.

Johansson, K. E., Kobel, M., Hillebrandt, D., Engeln, K., & Euler, M. (2007). European particle physics masterclasses make students into scientists for a day. *Physics Education 42*(6), 636-644. https://iopscience.iop.org/article/10.1088/0031-9120/42/6/012 sayfasından erişilmiştir.

Johnson, R., & Onwuegbuzie, A. (2004). Mixed methods research: a research paradigm whose time has come. *Educational Researcher, 33*(7), 14-26. https://bayanbox.ir/view/2175758303768059675/10.1.1.465.5319.pdf sayfasından erişilmiştir.

Jones, I., & Pratt, D. (2006). Connecting the equals sign. *International Journal Computer Mathematics Learning, 11,* 301–325. http://dx.doi.org/10.1007/s10758-006-9107-6.

Kalaycı, Ş. (2010). *SPSS uygulamalı çok değişkenli istatistik teknikleri*. Ankara: Asil.

Kaltakçı Gürel, D., Sak, M., Ünal, Z. Ş., Özbek, V., Candaş, Z. & Şen, S. (2017). 1995-2015 yılları arasında Türkiye'de fizik eğitimine yönelik yayınlanan makalelerin içerik analizi. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi, 42*, 143-167. https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/327619 sayfasından erişilmiştir.

Kamışcıoğlu, Ç. (2022). Parçacık fiziği açısından lise ders kitaplarının incelenmesi. *Sınırsız Eğitim ve Araştırma Dergisi, 7*(1), 131-167. https://doi.org/10.29250/sead.1084862

Kan, A. (2009). Ölçme sonuçları üzerinde istatistiksel işlemler. H. Atılgan (Ed.), *Eğitimde ölçme ve değerlendirme* içinde (s. 397–456), Ankara: Anı.

Kan, A. (2013). Ölçme araçlarında bulunması gereken nitelikler. H. Atılgan (Ed.), *Eğitimde ölçme ve değerlendirme* içinde (s. 23-80). Ankara: Anı.

Kanlı, U. & Yağbasan, R. (2002). Fizik öğretmenleri için düzenlenen hizmet içi eğitim yaz kursları. *Gazi Üniversitesi Gazi Eğitim Fakültesi Dergisi, 21*(3), 32-38. https://www.gefad.gazi.edu.tr/en/download/article-file/77456 sayfasından erişilmiştir.

Kanlı, U. & Yağbasan, R. (2004). Ortaöğretim fen ve matematik ders kitaplarının eğitimsel tasarımının değerlendirilmesi. *Eğitim ve Bilim Dergisi, 29*(133), 3-10. http://egitimvebilim.ted.org.tr/index.php/EB/article/view/5056/1171 sayfasından erişilmiştir.

Karamustafaoğlu, O., Aydın, M. & Özmen, H. (2005). Bilgisayar destekli fizik etkinliklerinin öğrenci kazanımlarına etkisi: basit harmonik hareket örneği. *The Turkish Online Journal of Educational Technology, 4*(4), 67-81. http://www.tojet.net/articles/v4i4/4410.pdf sayfasından erişilmiştir.

Karasar, N. (1995). *Bilimsel araştırma yöntemi.* Ankara: 3A Araştırma Eğitim Danışmanlık.

Karataş, F. Ö., Köse, S. & Coştu, B. (2003). Öğrenci yanılgılarını ve anlama düzeylerini belirlemede kullanılan iki aşamalı testler. *Pamukkale Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi, 13*(1), 54-69. https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/114820 sayfasından erişilmiştir.

Kaur, T., Blair, D., Moschilla, J., Stannard, W., & Zadnik, M. (2017). Teaching Einsteinian physics at schools: part 1, models and analogies for relativity. *Physics Education, 52*(6), 1-16. https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1704/1704.02058.pdf sayfasından erişilmiştir.

Kaur, T., Blair, D., Stannard, W., Treagust, D., Venville, G., Zadnik, M., Mathews, W., & Perks, D. (2020). Determining the intelligibility of Einsteinian concepts with middle school students. *Research in Science Education 50,* 2505–2532. https://doi.org/10.1007/s11165-018-9791-y

Kaya, A. (2018). Ortaöğretim öğrencilerinin atom kavramını anlama seviyelerinin tespiti. *Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi, 5*(1), 1-9. https://doi.org/10.21666/muefd.309222

Keleş, Ö. (2014). *Uygulamalı etkinliklerle fen eğitiminde yeni yaklaşımlar.* Ankara: Pegem Akademi.

Kerpiç, A. & Bozkurt, A. (2011). Etkinlik tasarım ve uygulama prensipleri çerçevesinde 7. sınıf matematik ders kitabı etkinliklerinin değerlendirilmesi. *Mustafa Kemal Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 8*(16), 303-318. https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/183028 sayfasından erişilmiştir.

Keşif Işıldakları (t.y.). Gelecek Hızlandırıcılar İçin Uluslararası Kurul (ICFA). https://www.academia.edu/12020910/Ke%C5%9Fif_I%C5%9F%C4%B1ldaklar%C4%B1_Beacons_of_discovery?email_work_card=title sayfasından erişilmiştir.

Kırıkkaya, E. & Bozkurt, E. (2012). Fen ve teknoloji derslerinde gazetelerden yararlanılarak hazırlanan ders etkinliklerinin öğrencilerin akademik başarısına etkisi. *Eğitim ve Bilim, 37*(165), 64-80. http://eb.ted.org.tr/index.php/EB/article/view/957/414 sayfasından erişilmiştir.

Kontokostas, G., & Kalkanis, G. (2013). Teaching electron—positron—photon interactions with hands-on Feynman diagrams. *The Physics Teacher, 51,* 232-233. https://aapt.scitation.org/doi/pdf/10.1119/1.4795369 sayfasından erişilmiştir.

Kourkoumelis, C. ve Vourakis, S. (2016). How the HYPATIA analysis tool is used as a hands-on experience to introduce HEP to high schools. *Nuclear and Particle Physics Proceedings,* 273–275. https://doi.org/10.1016/j.nuclphysbps.2015.09.198.

Köse, S., Coştu, B. & Keser, Ö. F. (2003). Fen konularındaki kavram yanılgılarının belirlenmesi: tga yöntemi ve örnek etkinlikler. *Pamukkale Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi, 13*(13), 43-53. https://dergipark.org.tr/en/pub/pauefd/issue/11130/133113https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/114819 sayfasından erişilmiştir.

Kural, M. (2015). *Sıcak kavramsal değişim için öğretim: 11. sınıf modern fizik örneği.* Doktora Tezi, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir.

Kurt, Ş. (2002). *Fizik öğretiminde bütünleştirici öğrenme kuramına uygun çalışma yapraklarının geliştirilmesi.* Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.

Küçükahmet, L. (1994). *Öğretim ilke ve yöntemleri.* Ankara: Gazi Büro.

Küpçü, A. R. (2008). *Etkinlik temelli öğretim yaklaşımının orantısal akıl yürütmeye dayalı problem çözme başarısına etkisi.* Doktora Tezi, Marmara Üniversitesi Eğitim Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Laçin Şimşek, C. (2014). Etkinlik temelli fen. Ö. Keleş, (Ed.), *Uygulamalı etkinliklerle fen eğitiminde yeni yaklaşımlar* içinde, (s. 199-211). Ankara: Pegem Akademi.

Lawshe, C. H. (1975). A quantitative approach to content validity. *Personnel Psychology, 28,* 563–575. https://www.researchgate.net/profile/Dr-Tulsi-Bhandari/post/Can_anybody_tell_me_the_difference_between_Content_Validity_Ratio_and_Content_Validity_Index/attachment/59d622bac49f478072e98fe4/AS%3A272118808285184%401441889587114/download/000+Lawshe_content_validity.pdf sayfasından erişilmiştir.

Lindenau, P. (2017). Teaching the standard model of particle physics at school – an alternative approach. *EDULEARN17 Proceedings,* 3836-3846. http://iktp.tudresden.de/IKTP/pub/17/PhilippLindenauTeachingtheStandardModelofParticlePhysicsatSchool-AnAlternativeApproachEDULEARN17Proceedings.pdf sayfasından erişilmiştir.

Lindenau, P., & Kobel, M. (2019). Introducing an innovative approach of teaching the Standard Model of particle physics at high school. *Journal of Physics: Conference Series, 1287*(1), 1-10. https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1287/1/012045/pdf sayfasından erişilmiştir.

Lykken, J., (2010, August). Discovering the quantum universe, the role of particle colliders. DOE/NSF *High Energy Physics Advisory Panel*, NRC EPP2010 Committee Meeting, Cornell. https://science.osti.gov/-/media/hep/pdf/files/pdfs/discoveringthequantumuniverse.pdf sayfasından erişilmiştir.

MacDonald, T., & Bean, A. (2009). Quarked! – Adventures in particle physics education. *The Physics Teacher, 47*(1), 38-41. https://www.researchgate.net/publication/243716109_Quarked_-_Adventures_in_Particle_Physics_Education sayfasından erişilmiştir.

Majoka, M. I., Dad, M. H., & Mahmood, T. (2010). Student team achievement division (STAD) as an active learning strategy: empirical evidence from mathematics classroom. *Journal of Education and Sociology, 4,* 16-20. https://www.academia.edu/9677734/STUDENT_TEAM_ACHIEVEMENT_DIVISION_STAD_AS_AN_ACTIVE_LEARNING_STRATEGY_EMPIRICAL_EVIDENCE_FROM_MATHEMATICS_CLASSROOM sayfasından erişilmiştir.

Manogue, C., Gire, E., McIntyre, D., & Tate, J. (2012). Representations for a spins-first approach to quantum mechanics. *AIP Conference Proceedings, 1413*(1). https://doi.org/10.1063/1.3679992

Mashhadi, A. (1996). Students' conceptions of quantum physics. *Research in Science Education in Europe*. G. Welford, Osborne, J. , Scott, P. London, The Falmer Press: 254-265. http://10.1007/978-1-4615-1921-8_25

Mayers, A. (2013). *Introduction to statistics and SPSS in psychology*. Harlow: Pearson Education.

McGinness, L., Dührkoop, S., Woithe, J., & Jansky, A. (2019). 3D printable quark puzzle: a model to build your own particle systems. *The Physics Teacher 57*(8), 526-528. https://doi.org/10.1119/1.5131116

Merriam, S. B. (1998). *Qualitative research and case study applications in education.* California: Jossey-Bass.

Merriam, S. B. (2009). *Qualitative research: a guide to design and implementation: revised and expanded from qualitative research and case study applications in education.* San Franscisco: Jossey-Bass.

Meyer, G. J. (1999). Simple procedures to estimate chance agreement and kappa for the ınterrater reliability of response segments using the rasch comprehensive system. *Journal of Personality Assessment, 72*, 230-255. https://www.utoledo.edu/al/psychology/pdfs/Meyer_1999_JPA_Est_Kappa_for_CS_Response_Segments.pdf sayfasından erişilmiştir.

Miles, M, B., & Huberman, A. M. (1994). *Qualitative data analysis: an expanded sourcebook*. Thousand Oaks, CA: Sage.

Milli Eğitim Bakanlığı (2018). Ortaöğretim Fizik Dersi Öğretim Programı. http://mufredat.meb.gov.tr/Dosyalar/201812103112910-orta%C3%B6%C4%9Fretim_fizik_son.pdf sayfasından erişilmiştir.

Morable, L. (2009). *Using active learning techniques.* Technical education division, Dallas, Texas: Richland College.

Morgil, İ. & Yılmaz, A. (1999). Lise X sınıf kimya II ders kitaplarının öğretmen ve öğrenci görüşleri açısından değerlendirilmesi. *BAÜ Fen Bilimleri Enstitü Dergisi, 1*(1), 26-41. https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/228425 sayfasından erişilmiştir.

Munk-Jakobsen, N. (2018). *Lisans öğrencilerinin parçacık fiziği kavramlarını anlama düzeleri ve kavram yanılgıları*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Nikolopoulos, K., & Pardalaki, M. (2020). Particle dance: particle physics in the dance studio. *Physics Education 55*(2), 1-6. https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1361-6552/ab6952/pdf sayfasından erişilmiştir.

Nomura, Y., Poirier, B., & Terning, J. (2018). *Quantum physics, mini black holes, and the multiverse*. Switzerland: Springer.

O'Reilly, L., Thorkelsson, P., Nobert, M., & McLaughlan, M. (2009). *Mixed methods research: an emerging paradigm?* University of Victoria, School of Public Administration. http://admn502awiki.pbworks.com sayfasından erişilmiştir.

Odom, A. L., & Barrow, L. H. (1995). Development and application of a two-tire diagnostic test measuring college biology students' understanding of diffusion and osmosis after a course of instruction. *Journal of research in Science Teaching, 32,* 45-61. http://dx.doi.org/10.1002/tea.3660320106

Oktay, Ö., Üner, S. & Şen, D. A. (2021). Fen bilimleri, fizik, kimya, biyoloji öğretim programları ile ders kitaplarının okul dışı öğrenme yönünden incelenmesi. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi, 58,* 671-710. https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/1441878 sayfasından erişilmiştir.

Okulu, H. Z. (2019). *STEM eğitimi kapsamında astronomi etkinliklerinin geliştirilmesi ve değerlendirilmesi.* Doktora Tezi, Sıtkı Koçman Üniversitesi Eğitim Bilimleri Enstitüsü, Muğla.

Olah, E., Adam, P., Beni, N., Hamar, G., Horvath, A., Jancso, G., … Varga, D. (2016). Particle physics education in Hungary. *Nuclear and Particle Physics Proceedings, (*273-275), 2569-2571. https://doi.org/10.1016/j.nuclphysbps.2015.09.462.

Olkun, S. & Toluk, Z. (2003). *İlköğretimde etkinlik temelli matematik öğretimi.* Ankara: Anı.

Ozansoy, A. (2019). *Parçacık fiziğine giriş.* [Ders notları]. XIII. Ulusal Parçacık Hızlandırıcıları ve Detektörleri Yaz Okulu Ankara Üniversitesi Hızlandırıcı Teknolojileri Enstitüsü. https://indico.tarla.org.tr/event/93/attachments/1061/721/uphdyo13_2019_parcacik.pdf sayfasından erişilmiştir.

Öğreten, A. S. (2019). *CERN'de yapılan çalışmalar doğrultusunda fen bilgisi öğretmen adaylarının parçacık fiziği üzerine farkındalıkları ve bilgi düzeylerinin belirlenmesi.* Yüksek Lisans Tezi, Akdeniz Üniversitesi Eğitim Bilimleri Enstitüsü, Antalya.

Öngören, H. (2007). *İlköğretim yedinci sınıf fen bilgisi dersi "kuvvet, hareket ve enerji" ünitesinde çoklu zeka kuramı tabanlı öğretimin öğrenci başarısı ve tutumları üzerindeki etkileri.* Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli. http://hdl.handle.net/11499/2859 sayfasından erişilmiştir.

Özcan, Ö. (2009). *Kuantum mekaniği ve görelilik öğreniminde karşılaşılan kavramsal ve matematiksel zorlukların araştırılması*. Doktora Tezi. Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Özcan, Ö. (2013). Investigation of mental models of Turkish pre-service physics students for the concept of "spin". *Eğitim Araştırmaları-Eurasian Journal of Educational Research, 52,* 21-36. https://files.eric.ed.gov/fulltext/EJ1060360.pdf sayfasından erişilmiştir.

Özdemir, A. (2017). *Bulut Odası.* https://drive.google.com/file/d/0B24dAyfRdKrjYU40bE4xUEM3WVE/view sayfasından erişilmiştir.

Özdemir, A. (2020). Bilimsel farkındalık, öğretmenler ve CERN. *İnformal Ortamlarda Araştırma Dergisi, 5*(1), 1-43. https://dergipark.org.tr/tr/pub/jrinen/issue/56091/474930 sayfasından erişilmiştir.

Özdemir, E. (2015). *Bilgisayar destekli 10. sınıf modern fizik ünitesi öğretiminin öğrencilerin kavramsal ve duyuşsal değişimlerine etkisi.* Doktora Tezi, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir.

Özgen, K. & Alkan, H. (2011). Matematik öğretmen adaylarının öğrenme stillerine göre etkinliklere yönelik tercih ve görüşlerinin incelenmesi. *Hacettepe Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi, 41*(41), 325-338. https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/87408 sayfasından erişilmiştir.

Özkan, Ö. (2017). Avrupa Nükleer Araştırma Merkezi'nde (CERN) yapılan Higgs bozonu araştırmasının internet medyasında sunumu. *Karadeniz Teknik Üniversitesi İletişim Fakültesi Elektronik Dergisi, 4*(14), 72-91. https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/824270 sayfasından erişilmiştir.

Özmantar, M. F. & Bingölbali, E. (2009). Etkinlik tasarımı ve temel tasarım prensipleri. Bingölbali, E. & Özmantar, M. F. (Eds.), *İlköğretimde karşılaşılan matematiksel zorluklar ve çözüm önerileri* içinde (s. 313-340). Ankara: Pegem Akademi.

Özmantar, M. F., Bozkurt, A., Demir, S., Bingölbali, E. & Açıl, E. (2010). Sınıf öğretmenlerinin etkinlik kavramına ilişkin algıları. *Selçuk Üniversitesi Ahmet Keleşoğlu Eğitim Fakültesi Dergisi, 30,* 379-398. https://www.researchgate.net/profile/Servet-Demir/publication/285015360_Sinif_ogretmenlerinin_etkinlik_kavramina_iliskin_algilari/links/57160dcf08ae6177286ccc39/Sinif-oegretmenlerinin-etkinlik-kavramina-iliskin-algilari.pdf sayfasından erişilmiştir.

Özmen, H. & Yıldırım, N. (2005). Çalışma yapraklarının öğrenci başarısına etkisi: asitler ve bazlar örneği. *Türk Fen Eğitimi Dergisi, 2*(2), 124-143. https://www.researchgate.net/profile/Haluk-Oezmen/publication/285130362_Calisma_yapraklarinin_Ogrenci_yapisina_etkisi_Asitler_ve_bazlar_Ornegi/links/57160f4108aed2dd5cfc635b/Calisma-yapraklarinin-Oegrenci-yapisina-etkisi-Asitler-ve-bazlar-Oernegi.pdf sayfasından erişilmiştir.

Özür, N. (2010). *Sosyal bilgiler dersinde sınıf dışı etkinliklerin öğrenci başarısına etkisi.* Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Eğitim Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Paliç Şadoğlu, G. (2014). *Lise modern fizik ünitesine yönelik 7E öğretim modeline uygun tasarlanan materyalin etkisinin incelenmesi.* Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Eğitim Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.

Palmer, D. (1998). Measuring contextual error in the diagnosis of alternative conceptions in science. *Issues in Educational Research, 8*(1), 65-76. http://www.iier.org.au/iier8/palmer.html sayfasından erişilmiştir.

Palmer, D. (2001). Imaging refractors with the convolution section. *Geophysics, 66*(5), 1582-1589. https://library.seg.org/doi/abs/10.1190/1.1487103 sayfasından erişilmiştir.

Pascolini, A., & Pietroni, M. (2002). Feynman diagrams as metaphors: borrowing the particle physicist's imagery for science communication purposes. *Physics Education, 37*(4), 324-328. https://iopscience.iop.org/article/10.1088/0031-9120/37/4/306/pdf sayfasından erişilmiştir.

Passon, O., Zügge, T., & Grebe-Ellis, J. (2019). Pitfalls in the teaching of elementary particle physics. *Physics Education, 54,* 1-14. https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1361-6552/aadbc7/pdf sayfasından erişilmiştir.

Patton, M. Q. (2002). *Qualitative research & evaluation methods*. Sage.

Patton, M. Q. (2014). *Nitel araştırma ve değerlendirme yöntemleri* (M. Bütün & S. B. Demir, Çev.). Ankara: Pegem Akademi.

Pavlidou, M., & Lazzeroni, C. (2016a). Particle physics for primary schools—enthusing future physicists. *Physics Education, 51,*1-5. https://doi.org/10.22323/1.282.0337

Pavlidou, M., & Lazzeroni, C. (2016b). Particle physics workshop: The world of particles and interaction. *University of Birmingham, STFC Public* https://www.birmingham.ac.uk/Documents/college-eps/physics/outreach-documents/primary-schools-documents/particle-physics-workshop/Feynman-diagrams.pdf sayfasından erişilmiştir.

PBS Learning Media (t.y.). *NOVA teachers, the elegant universe: forces of nature, finding forces.* https://www.pbs.org/wgbh/nova/teachers/activities/3012_elegant_02.html sayfasından erişilmiştir.

PBS Learning Media (t.y.). *NOVA teachers, the elegant universe: particle puzzle pieces.* https://www.pbs.org/wgbh/nova/teachers/activities/3012_elegant_01.html sayfasından erişilmiştir.

PBS Learning Media (t.y.). *NOVA teachers: the elegant universe: tracking particle paths.* https://www.pbs.org/wgbh/nova/teachers/activities/3012_elegant_05.html sayfasından erişilmiştir.

Preston, C. C., & Colman, A. M. (2000). Optimal number of response categories in rating scales: reliability, validity, discriminating power, and respondent preferences. *Acta Psychologica, 104*(1). https://doi.org/10.1016/S0001-6918(99)00050-5

Prasad, D. B. (2008). Content analysis: a method of social science research, In D. K. Lal Das (Ed.), *Research Methods for Social Work* (pp.174-193), New Delhi: Rawat.

Proctor, A., Entwistle, M., Judge, B., & McKenzie-Murdoch, S. (1997). *Learning to teach in the primary classroom*. UK: Routledge.

Reece, I., & Walker, S. (1997). *Teaching, training and learning: a practical guide.* Sunderland: Business.

Robinson, A. L. (1978). The new physics: quarks, leptons, and quantum field theories. *Science, 202*(4369), 734–737. https://doi.org/10.1126/science.202.4369.734

Romagnano, L. (2001). The myth of objectivity in mathematics assessment. *Mathematics Teacher, 94(*1), 31-37. http://www.peterliljedahl.com/wp-content/uploads/Myth-of-Objectivity.pdf sayfasından erişilmiştir.

Sadaghiani, H., R., & Munteanu, J. (2015, July). *Spin First instructional approach to teaching quantum mechanics in sophomore level modern physics courses.* Paper presented at Physics Education Research Conference. https://doi.org/10.1119/perc.2015.pr.067.

Sağlık, S. (2013). *Fizik öğretmen adayları ve medyadaki CERN*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Saka, A. & Akdeniz, A. R. (2001, Eylül). *Biyoloji öğretmenlerine çalışma yaprağı geliştirme ve kullanma becerileri kazandırmak için bir yaklaşım.* Yeni Bin Yılın Başında Türkiye'de Fen Bilimleri Eğitimi Sempozyumu'nda sunulmuş bildiri, Maltepe Üniversitesi, İstanbul.

Saka, A. Z. & Yılmaz, M. (2005). Bilgisayar destekli fizik öğretiminde çalışma yapraklarına dayalı materyal geliştirme ve uygulama. *The Turkish Online Journal of Educational Technology, 4(*3), 120-131. http://www.tojet.net/articles/v4i3/4317.pdf sayfasından erişilmiştir.

Sands, M., Özçelik, D. A., Busbridge, J. & Dawson, D. (1997). *Okullarda uygulama çalışmaları ilköğretim.* YÖK/Dünya Bankası Milli Eğitimi Geliştirme Projesi Hizmet Öncesi Öğretmen Eğitimi. Ankara: Yüksek Öğretim Kurulu Yayınları. http://www.dilbilimi.net/Okullarda_Uygulama_Calismalari.pdf sayfasından erişilmiştir.

Sarı, U. & Güven, G. B. (2013). Etkileşimli tahta destekli sorgulamaya dayalı fizik öğretiminin başarı ve motivasyona etkisi ve öğretmen adaylarının öğretime yönelik görüşleri. *Necatibey Eğitim Fakültesi Elektronik Fen ve Matematik Eğitimi Dergisi, 7*(2), 110-143. https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/39881 sayfasından erişilmiştir.

Satterthwait, D. (2010). Why are 'hands-on' science activities so effective for student learning?. *Teaching Science, 56*(2), 7-10. https://search.informit.org/doi/abs/10.3316/aeipt.182048 sayfasından erişilmiştir.

Saylan Kırmızıgül, A. (2019). *Fen eğitiminde bilgisayar destekli, etkinlik temelli ve sorgulamaya dayalı öğretim yaklaşımlarının karşılaştırılması.* Doktora Tezi, Erciyes Üniversitesi Eğitim Bilimleri Enstitüsü, Kayseri.

Schmitz, W. (2019). Particle zoo. In: *particles, fields and forces.* The Frontiers Collection. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-12878-4_14

Schwarz, B. B., & Linchevski, L. (2007). The role of task design and argumentation in cognitive development during peer interaction: the case of proportional reasoning. *Learning and Instruction, 17*(5), 510–531. https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2007.09.009

Seferoğlu, S. S. (2004). Öğretmen yeterlikleri ve mesleki gelişim. *Bilim ve Aklın Aydınlığında Eğitim, 58,* 40-45. https://yunus.hacettepe.edu.tr/~%20sadi/yayin/Seferoglu_Ogretmen_Yeterlikleri_BAAE_2004-58.pdf sayfasından erişilmiştir.

Shabajee, P., & Postlethwaite, K. (2000). What happened to modern physics?, *School Science Review, 81*(297), 51-56. https://arxiv.org/ftp/physics/papers/0401/0401016.pdf sayfasından erişilmiştir.

Sönmez, V. & Alacapınar, F. G. (2014). *Örneklendirilmiş Bilimsel Araştırma Yöntemleri.* Ankara: Anı.

Spector, P. E. (1992). *Summated rating scale construction: an introduction.* Newbury Park, CA: Sage. http://dx.doi.org/10.4135/9781412986038

Steckler, A., McLeroy, K. R., Goodman, R. M., Bird, S. T., & McCormick, L. (1992). Toward integratingqualitative and quantitative methods: an introduction. *Health Education Quarterly, 19,* 1-8. https://doi.org/10.1177/109019819201900101

Still, B. (2017). *Brick by brick atomic and subatomic physics explained… in LEGO*. London: Octopus.

Stiles, W. B. (1993). Quality control in qualitative research. *Clinical Psychology Review, 13*(6), 593–618. https://doi.org/10.1016/0272-7358(93)90048-Q

Strauss, A. L., & Corbin, J. (1990). *Basics of qualitative research: grounded theory procedures and techniques.* Thousand Oaks, CA: Sage.

Stylianides, G. J., & Stylianides, A. J. (2008). Proof in school mathematics: Insights from psychological research into students' ability for deductive reasoning. *Mathematical Thinking and Learning, 10*(2), 103–133. https://doi.org/10.1080/10986060701854425

Swinbank, E. (1992). Particle physics: a new course for schools and colleges. *Physics Education, 27*(2), 87-91. http://iopscience.iop.org/0031-9120/27/2/006.

Şahan, H. H. (2000). *Sosyal bilgiler dersinin bilimsel davranışları kazandırma yönünden öğretmen görüşlerine göre değerlendirilmesi.* Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Balıkesir.

Şahin, E. & Yağbasan, R. (2012). Fizik eğitiminde yaratıcı drama ve örnek bir ders planı: gel-git olayı. Dokuz Eylül Üniversitesi *Buca Eğitim Fakültesi Dergisi, 34,* 79-99. https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/231570 sayfasından erişilmiştir.

Şahin, T. & Yıldırım, S. (1999). *Öğretim teknolojileri ve materyal geliştirme.* Ankara: Anı.

Şaşmaz Ören, F. & Erduran Avcı, D. (2004). Eğitimsel oyunla öğretimin fen bilgisi dersi "güneş sistemi ve gezegenler" konusunda akademik başarı üzerine etkisi. *Ondokuz Mayıs Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi, 18,* 67-76. https://arastirmax.com/tr/system/files/1066/uvt_46022.pdf sayfasından erişilmiştir.

Şen, H. C. & Eryılmaz, A. (2011). Bir başarı testi geliştirme çalışması: basit elektrik devreleri başarı testi geçerlik ve güvenirlik araştırması. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi, 8*(1), 1-39. https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/146251 sayfasından erişilmiştir.

Şencan, H. (2005) *Sosyal ve davranışsal ölçmelerde güvenirlik ve geçerlik.* Ankara: Sözkesen.

Şengören, S. (2006). *Optik dersi ışıkta girişim ve kırınım konularının etkinlik temelli öğretimi: işbirlikli öğrenme yönteminin etkilerinin araştırılması.* Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Eğitim Bilimleri Enstitüsü, İzmir.

Şengören, S. K., Tanel, R., Yıldırım Benli, A. & Kavcar, N. (2010). Fizik öğretmenlerinin 9. sınıf fizik kitabına ilişkin görüşleri: İzmir ili örneği. *Necatibey Eğitim Fakültesi Elektronik Fen ve Matematik Eğitimi Dergisi, 9*(1), 224-245. https://doi.org/10.17522/nefefmed.09916

Şimşek, H. (2010). *Lise dördüncü sınıf fizik 12 ders kitabına ilişkin öğretmen görüşleri.* Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Eğitim Bilimleri Enstitüsü, Konya.

Taber, K. S. (1999). Ideas about ionisation energy: a diagnostic instrument, *School Science Review, 81*(295), 97-104. https://www.academia.edu/588153/Ideas_about_ionisation_energy_a_diagnostic_instrument sayfasından erişilmiştir.

Takai, H. (t.y.). *Quark-Tzee Dice Game.* http://ippog.org/resources/2011/quark-tzee-dice-game sayfasından erişilmiştir.

Tan, Ş. & Erdoğan, A. (2004). *Öğretimi planlama ve değerlendirme*. Ankara: PegemA.

Tavakoli, H. (2012). *A dictionary of research methodology and statistics in applied linguistics*. Tahran: Rahnama. https://www.ascdegreecollege.ac.in/wp-content/uploads/2020/12/A-Dictionary-of-Research-Methodology-and-Statistics-in-Applied-Linguistics.pdf sayfasından erişilmiştir.

Tavşancıl, E. (2010). *Tutumların ölçülmesi ve SPSS ile veri analizi.* Ankara: Nobel.

Tekin, H. (2009). *Eğitimde ölçme ve değerlendirme.* Ankara: Yargı.

Tertemiz, N., Ercan, I. & Kayabaşı, Y. (2001). *Ders kitabı ve eğitimdeki önemi, konu alanı ders kitabı inceleme kılavuzu.* Ankara: Nobel.

Thunyaniti, T., Toedtanya, K., & Wuttiprom, S. (2017). Learning particle physics with diy play dough model. *Journal of Physics: Conference Series, 901*, (1-4). https://doi.org/10.1088/1742-6596/901/1/012128

Tokuş, K. (2018). *Ortaokul fen bilimleri ders kitaplarının bilim tarihi kullanımı açısından incelenmesi.* Yüksek Lisans Tezi, Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Edirne.

Tolan Sürbahanlı, Y. (2018). *Ortaokul 5. sınıf fen bilimleri ders kitabında ve eba derste yer alan etkinliklerin yeni öğretim programı kapsamında incelenerek alternatif etkinlik geliştirilmesi.* Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi Eğitim Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.

Tor, H. (2003). İlköğretim öğrencilerinin bilgi teknolojilerinden yararlanma düzeyleri üzerine bir araştırma. *Turkish Online Journal Of Educational Technology, 3*(1) Article 16, 120-130. http://tojet.net/articles/v3i1/3116.pdf sayfasından erişilmiştir.

Tural, H. (2005). *İlköğretim matematik öğretiminde oyun ve etkinliklerle öğretimin erişi ve tutuma etkisi.* Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Eğitim Bilimleri Enstitüsü, İzmir.

Turan, G. (2012). *8. Sınıf kuvvet ve hareket ünitesinin öğretiminde çalışma yapraklarının öğrencilerin başarılarına etkisi.* Yüksek Lisans Tezi, Adıyaman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adıyaman.

Turgut, M. F. & Baykul, Y. (2012). *Eğitimde ölçme ve değerlendirme.* Ankara: Pegem Akademi.

Tuzón, P., & Solbes, J. (2014). Análisis de la enseñanza de la estructura e interacciones de la materia según la física moderna en primero de bachillerato. *Didáctica de las ciencias experimentales y sociales, 4379*(28): 175–195. https://ojs.uv.es/index.php/dces/article/view/3599 sayfasından erişilmiştir.

Tuzón, P., & Solbes, J. (2016). Particle physics in high school: a diagnose study. *PLOS ONE 11*(6): e0156526, 1-9. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0156526

Ubuz, B., Erbaş, A. K¸ Çetinkaya, B. & Özgeldi, M. (2010). Exploring the quality of the mathematical tasks in the new Turkish elementary school mathematics curriculum guidebook: the case of algebra. *ZDM Mathematics Education, 42,* 483–491. https://doi.org/10.1007/s11858-010-0258-5

Uğurel, I. & Bukova Güzel, E. (2010). Matematiksel öğrenme etkinlikleri üzerine bir tartışma ve kavramsal bir çerçeve önerisi. *Hacettepe Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi, 39,* 333-347. http://efdergi.hacettepe.edu.tr/yonetim/icerik/makaleler/482-published.pdf sayfasından erişilmiştir.

Uluçınar, Ş., Cansaran, A. & Karaca, A. (2004). Fen bilimleri laboratuvar uygulamalarının değerlendirilmesi. *Türk Eğitim Bilimleri Dergisi 2*(4), 465-475. https://dergipark.org.tr/tr/pub/tebd/issue/26126/275208 sayfasından erişilmiştir.

Uzal, G., Erdem, A., Önen, F. & Gürdal, A. (2010). Basit araç-gereçlerle yapılan fen deneyleri konusunda öğretmen görüşleri ve gerçekleştirilen hizmet içi eğitimin değerlendirilmesi. *Necatibey Eğitim Fakültesi Elektronik Fen ve Matematik Eğitimi Dergisi, 4(*1), 64-84. https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/39796 sayfasından erişilmiştir.

Üçüncü, G., Sakız, G. & Ada, S. (2016). A task development process: The case of fourth grade introduction to matter unit [Special issue for INTE 2016]. *The Turkish Online Journal of Educational Technology, (November),* 155-164. https://www.researchgate.net/profile/Gonul-Sakiz/publication/311614935_A_Task_Development_Process_The_Case_of_Fourth_Grade_Introduction_to_Matter_Unit/links/5853dbc008ae0c0f3224ee1b/A-Task-Development-Process-The-Case-of-Fourth-Grade-Introduction-to-Matter-Unit.pdf sayfasından erişilmiştir.

Ünal, G. & Ergin, Ö. (2006). Fen eğitimi ve modeller. *Milli Eğitim, 171,* 188-196. https://dhgm.meb.gov.tr/yayimlar/dergiler/Milli_Egitim_Dergisi/171/171/15.pdf sayfasından erişilmiştir.

Ünel, G. (2018). *Türk Öğretmen Çalıştayı-8 Parçacık Fiziği* [Ders notları]. https://indico.cern.ch/event/669040/timetable/ sayfasından erişilmiştir.

Ünver, G. (2021). Program çalışmaları için öğretmen eğitimi. *Öğretmen Eğitimi ve Öğretim, 2*(2), 30-35. https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/1822760 sayfasından erişilmiştir.

Üstüner, I. Ş., Erdem, A. & Ersoy, Y. (2002, Eylül). *Fen bilgisi/fizik öğretmenlerinin eğitimi-I: gereksinimler ve etkinlikler*. V. Ulusal Fen Bilimleri ve Matematik Eğitimi Kongresi'nde sunulmuş bildiri, ODTÜ: Ankara https://www.fedu.metu.edu.tr/ufbmek-5/b_kitabi/pdf/ogretmenyetistirme/bildiri/t313da.pdf sayfasından erişilmiştir.

Veneziano, L., & Hooper, J. (1997). A method for quantifying content validity of health-related questionnaires. *American Journal of Health Behavior, 21*(1), 67-70.

Watson, A. (2008). *Task transformation is the teachers' responsibility.* Presented at the 32nd Annual Meeting of the North American Chapter of the International Group for the Psychology of Mathematics Education, The Ohio State University: Columbus.

Webb, N. L. (1997). Determining alignment of expectations and assessments in mathematics and science education. NISE Brief1(2). *Madison, WI: University of Wisconsin-Madison, National Institute for Science Education.* https://files.eric.ed.gov/fulltext/ED405190.pdf sayfasından erişilmiştir.

Wienberg, S. (2002). *Atomaltı parçacıklar* (Z. Aydın, Çev.). Ankara: TÜBİTAK.

Wiener, G. J., Schmeling, S. M., & Hopf, M. (2015). Can grade-6 students understand quarks? Probing acceptance of the subatomic structure of matter with 12-year-olds. *European Journal of Science and Mathematics Education, 3*(4), 313-322. https://files.eric.ed.gov/fulltext/EJ1107802.pdf sayfasından erişilmiştir.

Wiener, G. J., Schmeling, S. M., & Hopf, M. (2017). An alternative proposal for the graphical representation of anticolor charge. *The Physics Teacher 55*(8), 472-474. https://www.researchgate.net/publication/320439860_An_Alternative_Proposal_for_the_Graphical_Representation_of_Anticolor_Charge sayfasından erişilmiştir.

Wiener, G. J., Woithe, J., Brown, A., & Jende, K. (2016). Introducing the LHC in the classroom: an overview of education resources available. *Physics Education, 51*(3). https://cds.cern.ch/record/2137949/files/pdf.pdf sayfasından erişilmiştir.

Wiener, J., & Woithe, J. (2020). What is your favourite particle and why?. International Conference on Physics Education (ICPE) 2018. *Journal of Physics: Conference Series.* https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1512/1/012021/pdf sayfasından erişilmiştir.

Wilson, F. R., Pan, W., & Schumsky, D. A. (2012). Recalculation of the critical values for Lawshe's content validity ratio. *Measurement and Evaluation in Counseling and Development, 45*, 197–210. https://doi.org/10.1177/0748175612440286

Woithe, J. (2017). Cloud chamber – do – it – yourself manuel. *S'cool LAB CERN*. https://ippog-static.web.cern.ch/ippog-static/sites/ippog.web.cern.ch/files/SCoolLAB_CloudChamber_DIYManual_2016_v2.pdf sayfasından erişilmiştir.

Woithe, J., Wiener, J. G., & Van der Veken, F. F. (2017). Let's have a coffee with the Standard Model of particle physics!. *Physics Education, 52*(3), 1-9. https://indico.cern.ch/event/803074/attachments/1832320/3001970/PED_52_034001.pdf sayfasından erişilmiştir.

Yalın, H. İ. (2004). *Öğretim teknolojileri ve materyal gelişimi*. Ankara: Nobel.

Yavuz, K. E. (2005). *Aktif öğrenme yöntemleri*. Ankara: Celali.

Yeager, A. (2012, Kasım 13). Top 5 common misconceptions about the Higgs particle-Mark Kruse talks about the worst reporting errors related to the Higgs boson. *Duke Today.* https://today.duke.edu/2012/11/higgsmisconceptions sayfasından erişilmiştir.

Yerer, H. (2015). *8. sınıf kuvvet ve hareket ünitesindeki kavram yanılgılarının çalışma yaprakları ve kavram testi ile belirlenmesi.* Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi Eğitim Bilimleri Enstitüsü, Kayseri.

Yeşildağ, F. (2009). *Modern fizik öğretiminde öğrencilerin çoklu modsal betimlemeleri algılamaları ve modsal betimlemelerle hazırladıkları yazma aktivitelerini değerlendirme sürecinin öğrenmeye etkisi*. Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.

Yıldırım, A. & Şimşek, H. (2008). *Sosyal bilimlerde nitel araştırma yöntemleri*. Ankara: Seçkin.

Yıldırım, A. & Şimşek, H. (2013). *Sosyal bilimlerde nitel araştırma yöntemleri.* Ankara: Seçkin.

Yıldırım, A. & Şimşek, H. (2021). *Sosyal bilimlerde nitel araştırma yöntemleri.* Ankara: Seçkin.

Yiğit, N. & Akdeniz, A. R. (2003). Fizik öğretiminde bilgisayar destekli etkinliklerin öğrenci kazanımları üzerine etkisi: elektrik devreleri örneği. *Gazi Üniversitesi Gazi Eğitim Fakültesi Dergisi, 23*(3), 99-113. https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/77353 sayfasından erişilmiştir.

Yiğit, N., Akdeniz, A. R. & Ş. Kurt. (2001). *Fizik öğretiminde çalışma yapraklarının geliştirilmesi.* Yeni Bin Yılın Başında Fen Bilimleri Eğitimi Sempozyumu'nda sunulmuş bildiri, Maltepe Üniversitesi, İstanbul. http://openaccess.maltepe.edu.tr/xmlui/bitstream/handle/20.500.12415/5632/Yigit_N_Akdeniz_A_R_ve_Kurt_S_Fizik_Ogre.pdf?sequence=1&isAllowed=y sayfasından erişilmiştir.

Yüksek Öğretim Kurulu (2018). *Yeni öğretmen yetiştirme lisans programları, fizik öğretmenliği lisans programı.* https://www.yok.gov.tr/kurumsal/idari-birimler/egitim-ogretim-dairesi/yeni-ogretmen-yetistirme-lisans-programlari sayfasından erişilmiştir.

Yüksel, S. (1998). Program geliştirme sürecine öğretmen katılımı. *Kuram ve Uygulamada Eğitim Yönetimi, 13(*13), 99-106. https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/108240 sayfasından erişilmiştir.

Zhang, Y., & Wildemuth, B. M. (2009). *Unstructured interviews: applications of social research methods to questions in ınformation and library science.* Exeter: Libraries Unlimited.

Zöchling, S., Hopf, M., Woithe, J., & Schmeling, S. (2020). Spreading interest in particle physics among high-school students – what matters? *Presented at the 40th International Conference on High Energy Physics.* Prague, Czech Republic. https://www.researchgate.net/publication/350300188_Spreading_interest_in_particle_physics_among_high-school_students_-_What_matters sayfasından erişilmiştir.

EKLER

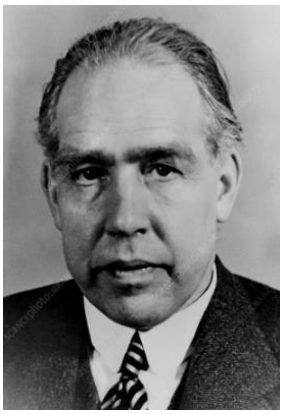
EK 1. Etkinlik Çalışma Yaprakları

Stern-Gerlach Deneyi

1913 yılında Bohr kendi adıyla anılan Atom Modeli'nde bazı postülalar ortaya atmıştır. Bunlardan biri elektronların çekirdek üzerine düşmeden ya da ışıma yapmadan kararlı yörüngelerdeki hareketini açıklamak için keyfi bir kuantum koşulunu ortaya koymuştur. Elektronun L açısal momentumu:

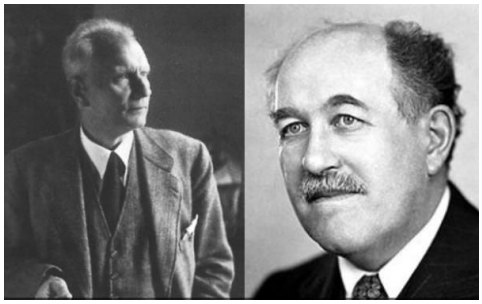
$$L = pr = \frac{hr}{\lambda} = \frac{nhr}{2\pi r} = \frac{nh}{2\pi}, \qquad n = 1, 2, 3 \ldots$$

Burada n baş kuantum sayısıdır. Böylece klasik fizikte tüm değerler için izinli olan açısal momentum artık kesikli değerler almaktadır.

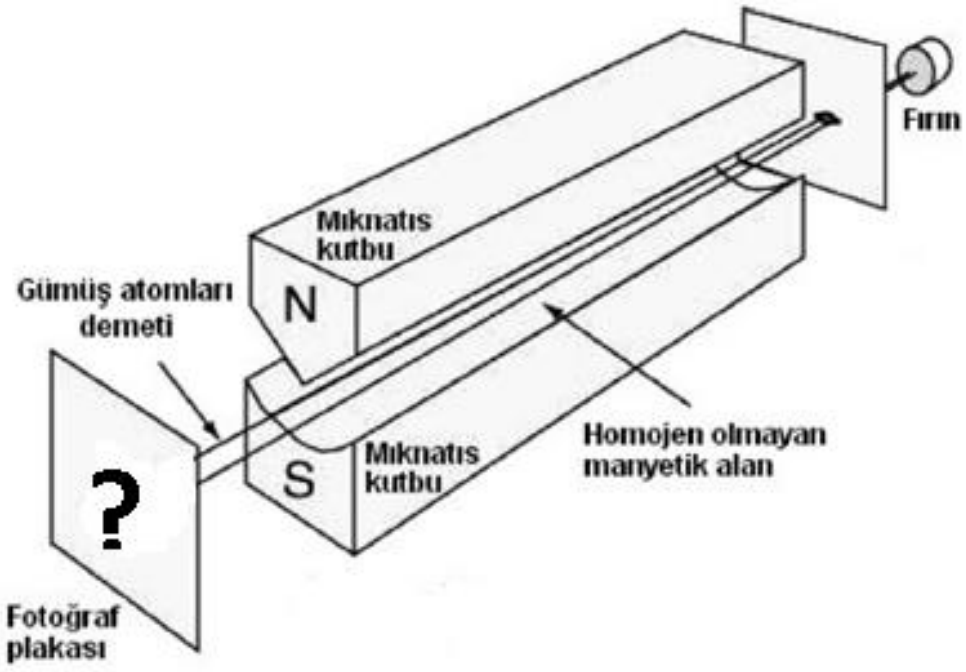


Fotoğraf 1.1 Bohr

1920'li yılların başına gelindiğinde, en gelişmiş kuantum teorisi Bohr Atom Modeli idi. Bohr'un önerdiği modele göre, atomun etrafındaki elektronlar, kesikli yörüngeler izliyorlardı. 1922 yılında, Otto Stern ve Walther Gerlach, Bohr'un kesikli açısal momentumu teorisini test etmek için çok basit ve basitliğinden ötürü çok zarif bir deney tasarladı.



Fotoğraf 1.2 Gerlach ve Stern



Fotoğraf 1.3 Stern-Gerlach Deney Düzeneği

Deneyin temel parçaları gümüş atomları, bu atomları bir ışın demeti haline getirmek için bir filtre, gümüş atomlarının manyetik momentini ölçmek için homojen olmayan manyetik alan ve atomların yansıtıldığı fotografik tabakaydı. Burada gümüş atomlarının seçilmesinin nedeni gümüş atomlarının son yörüngesinde (… $4d^{10}$ $5s^1$) bir elektronun bulunmasıdır. Böylece fırından çıkan ve homojen olmayan manyetik alandan geçen elektron filme ulaştığında bir görüntü veya şekil oluşturacaktı. Ancak deney sonucunda şaşkınlıklarını gizleyemediler…

Sizce aşağıda yer alan ve fotoğraf filmi üzerinde oluşan çizgiler hangi durumlara ait olabilir?

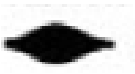
1-Klasik fizik görüşüne göre manyetik alan yokken beklenen

2-Klasik fizik görüşüne göre manyetik alan varken beklenen (Bohr modeline göre)

3-Deney sonucunda gerçekte oluşan?

Aşağıda verilen kısma yazınız.





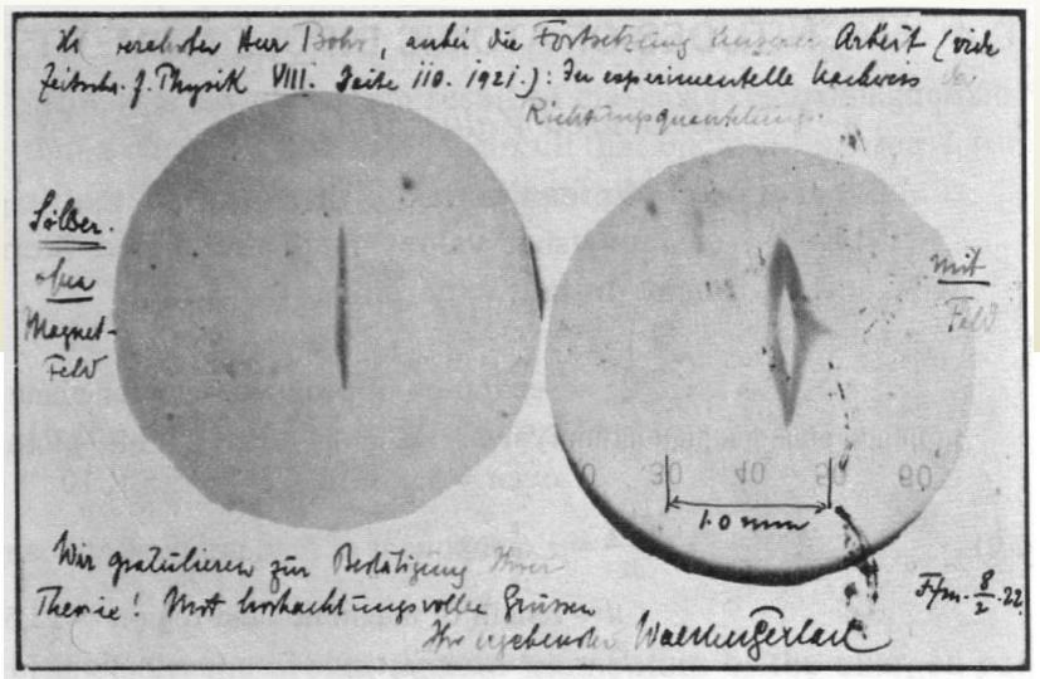


……..…… …… ……

Deneyin yapıldığı zamana kadar geçerli olan Bohr modeline göre ise, gümüş atomları L=1 orbital kuantum durumundadır. L=1 durumu için manyetik kuantum sayısı üç (2L+1) farklı değer alabilir: m_l = -1, 0, +1. Bu üç farklı değere göre, gümüş atomları üç farklı şekilde manyetik alandan etkilenebilir. m_l = 0 durumunda, gümüş atomları, manyetik alandan etkilenmeyerek ekranın ortasında belirecekler, m_l = ±1 durumlarında ise, ekranın aşağısına ya da yukarısına gideceklerdir. Stern ve Gerlach, deneylerinin sonucunda ekranda kesikli üç nokta görmeyi bekliyorlardı. Ancak deneyde iki ayrı çizgi gözlemlenmişti! Deney sonucunda beklenen gelişigüzel açısal momentumlarına sahip olan gümüş atomları, ekranda devamlı/kesiksiz bir profil oluşturması bekleniyordu ancak keskin şekilde birbirinden ayrı iki çizgi oluştu! Bu sonucu bilim insanları beklemiyordu.

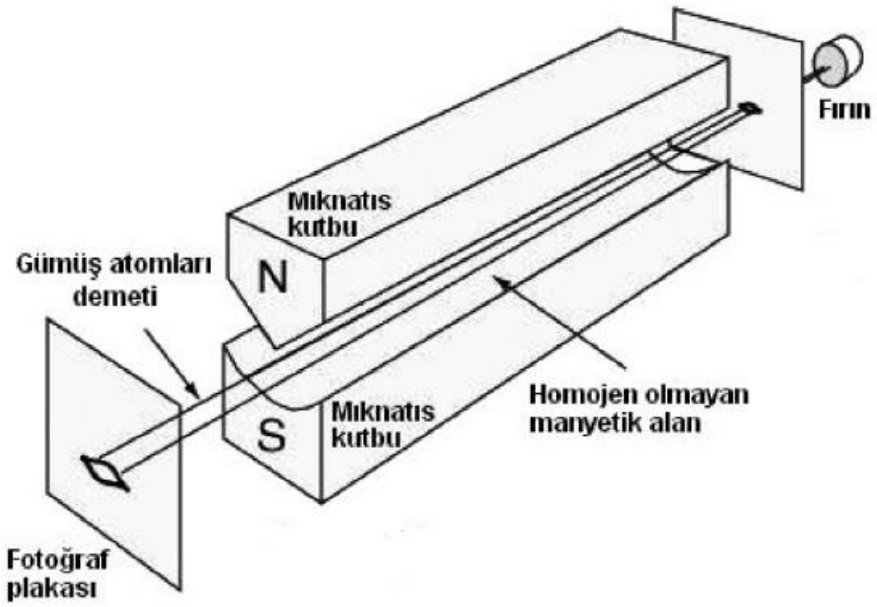
Phipps ve Taylor Hidrojen atom demetini kullanarak deneyi tekrar etmişlerdir. Fırından çıkan ve homojen olmayan manyetik alandan geçen Hidrojen atomları filme ulaştığında farklı bir görüntü veya şekil oluşturması bekleniyordu. Hidrojenin ($1s^1$) L değeri sıfırdır dolayısıyla m_l tek değer alır, demetin saptırılması beklenmez. Ancak deney sonucunda demetin yine ikiye ayrıldığı görülmüştür!

Goudsmit ve Uhlrnbeck elektronun yörüngesel açısal momentumundan başka özgüde varolan bir açısal momentuma daha sahip olduğu önerisini getirmiştir. Buna spin adı verilmiştir. Elektron bir topaç gibi dönmez. Topacın dönmesi ona has bir özellik değildir ancak elektronun spin özelliği değiştirilirse yapısı bozulur. Goudsmit ve Uhlrnbeck elektronun iki yöneliminin olduğu söylenmiştir: yukarı ve aşağı.



Fotoğraf 1.4 Gerlach'ın 1922 yılında Bohr'a gönderdiği mektup

Stern-Gerlach deneyi ile spin keşfedilmiş, Dirac deneyi ile de elektron spininin 1/2 olduğu gösterilmiştir. Kuantum mekaniksel nicelik olan spin bazı atom altı parçacıklar için buçuklu değerler alırken (1/2, 3/2…) bazıları ise tam sayı (0,1,2..) değerler aldığı tespit edilmiştir.



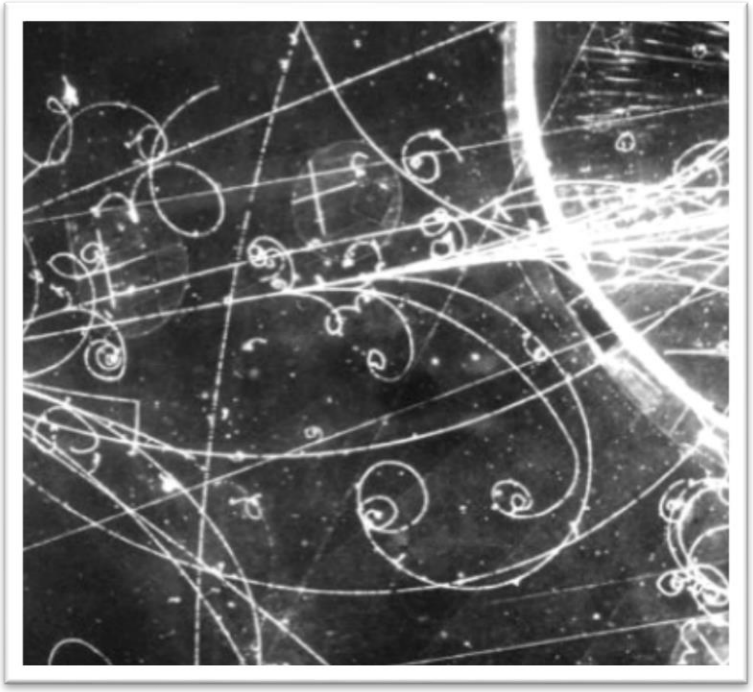
Fotoğraf 1.5 Stern Gerlach Deney Düzeneği

Sis Odası Deneyi

Her an her saniye yüklü ya da yüksüz pek çok parçacığın vücudunuzla etkileştiğini ya da içinizden geçip gittiğini biliyor musunuz? Bu parçacıkları göremiyorsunuz ya da hissedemiyorsunuz. O halde bu olayın gerçekleştiğine nasıl inanırsınız?

Görmek ve algılamak farklı kavramlardır. Atom altı parçacıkları gözümüz aracılığıyla görmemiz mümkün değildir ancak bazı araçlar kullanarak algılamamız mümkün olabilir. Bu araçlardan biri olan sis odası deneyini bu etkinlikte yakından inceleyeceğiz.

Wilson Sis Odası Deneyi ya da Bulut Odası deneyi, Wilson tarafından 1911 yılında geliştirilmiştir. Yüklü parçacıkların izlerini aşağıdaki gibi bir anlığına görünür hale getiren ve bu izleri fotoğraf plakası üzerine kaydeden kapalı bir sistemdir.



Şekil 2.1 Sis odası deneyinde parçacıkların oluşturduğu izler

Sis odasına giren parçacıklar enerjileri ile sis odasındaki buharı iyonlaştırıp iz bırakır. Her parçacık farklı izler bırakır. İlk olarak Charles Wilson 1927 yılında sis odası deney düzeneği keşfi ile Nobel Fizik Ödülü'nü almıştır. Anderson alkol yerine su kullanarak odaya güçlü bir manyetik alan uygulamış ve pozitronla müonu keşfederek Nobel Ödülü almıştır.

Gerekli Malzemeler:

- Üstü açık şeffaf plastik kap (20 x 30 x 15 cm)
- Kalın keçe (20 x 30 x 0.5 cm)
- Raptiye (4 adet)
- Siyah tepsi (20 x 30 cm)
- Katı karbondioksit (10 x 15 cm boyutlarında iki blok)
- LED Fener
- Izopropanol
- Koruyucu eldiven ve gözlük (1 adet)
- Oyun hamuru (1 adet)
- Karanlık ortam

Güvenlik Önlemleri:

- Laboratuvar önlüğünüzü giyiniz.
- Kuru buza direk temastan kaçınınız. Soğuk yanıklarını önlemek amacıyla koruyucu eldiven kullanınız.
- Alkolle keçeyi ıslatma işleminde koruyucu gözlük kullanınız.



Şekil 2.2 Deney Düzeneği

Deneyin Yapılışı:

- Kabın içerisine keçeyi yerleştiriniz ve raptiyeler yardımıyla keçeyi kaba dört köşesinden tutturunuz.
- Koruyucu gözlük takarak keçeyi Izopropanol alkol ile ıslatınız. Eğer fazla ıslatırsanız kabın kenarında Izopropanol alkol birikecektir. Bu durumda kabın kenarından fazla alkolü akıtarak boşaltınız.
- Koruyucu eldivenleri giyerek katı karbondioksit bloklarını tepsinin altına yerleştiriniz. Kabı da ters çevirerek tepsinin üzerine yerleştiriniz.
- Kabın içerisindeki alkol buharının dışarıya sızmaması için tepsi ile kabın kenarları oyun hamuru ile sıkıca kapatılmalıdır.
- Odanın karanlık olması sağlandıktan sonra LED fener ile deneyi gözlemlemeniz gereklidir. Deney düzeneği, ışık kaynağını tepsiye paralel olacak şekilde tutularak gözlemlenmelidir.
- Deney sırasında gördüğünüz izlerin şeklini çiziniz. Ayrıca bu parçacıkların ne olduğu hakkında bir tahminde bulununuz: elektron, müon ve alfa?

GÖZLEM FORMU

Parçacık İzlerinin Şekli	**Parçacığın İsmi**	**Parçacık İzlerinin Şekli**	**Parçacığın İsmi**

Şekil 2.3 Gözlem Formu

CERN'de Neler Oluyor?

I. AŞAMA

1953 yılında Cenevre'de merkezi laboratuvarlar kurulmasına karar verilerek ismi Fransızca "Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire", İngilizcede "European Council for Nuclear Research" olmasına karar verildi. Daha sonra "Organisation Européenne pour la Recherche Nucléaire«, İngilizcede "European Organization for Nuclear Research" olarak değişmiş ancak CERN kısaltması değişmeden kalmıştır.



CERN kazıları, 1954,Meyrin, İsviçre

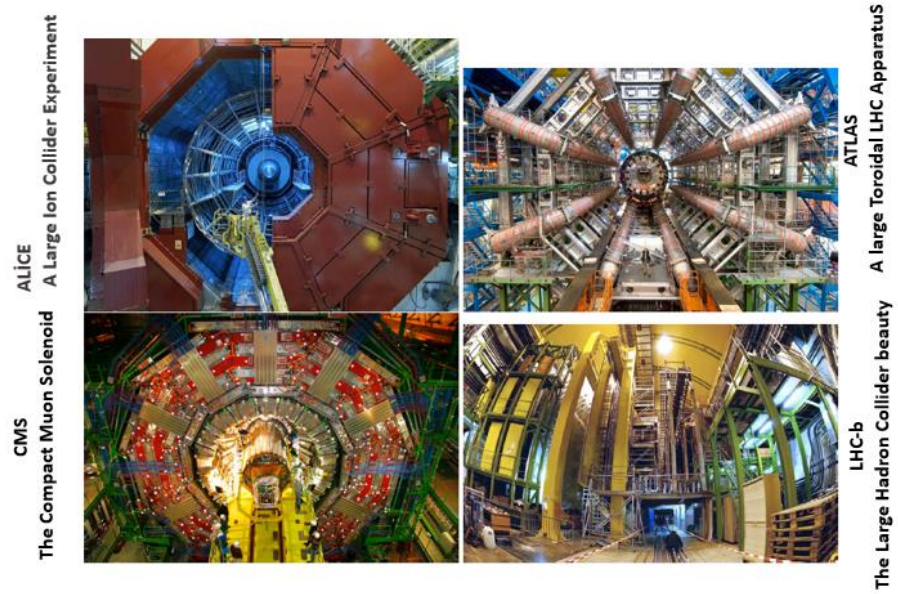
Bu İsviçre ve Fransa sınırında yer alan ve Cenevre şehrine yakın olan CERN, dünyanın en büyük parçacık fiziği araştırma laboratuvarıdır. CERN'in kuruluş amacı, üye ülkelerin kendi bütçe olanakları ile gerçekleştiremeyecekleri araştırmaları ortak olarak yürütebilmektir. CERN, Nobel ödüllerine de layık görülen çok önemli bilimsel buluşların yapıldığı bir merkezdir.



Büyük Hadron Çarpıştırıcısı (LHC) tünelleri içerisinde bisiklete binen görevli, CERN



CERN'in amiral gemisi Büyük Hadron Çarpıştırıcısı ve bu çarpışmaların incelendiği ikisi genel amaçlı ATLAS ve CMS deneyleridir. BHÇ'de ayrıca belli özel konuları incelemek için özel olarak tasarlanmış LHCb, ALICE, TOTEM deneyleri de vardır. Deney adları ya deney aletinin özelliklerini tanımlayan ya da araştırmayı amaçladıkları fiziği açıklayan kelimelerden akılda kolay kalması ve deneyi belirlemesi amacı ile üretilmiştir.



CERN laboratuvarında yapılan deneylerde değişik enerjilerde gerçekleştirilen çarpışmalar incelenmektedir. Bu deneyler için gerekli parçacıkların hızlandırılması ise birbiri ile uyumlu çalışan bir dizi parçacık hızlandırıcısında gerçekleştirilmektedir.

Tüm bu çarpışmaların ya da verilerin elde edilmesi ne içindir? Hızlandırıcılarda bilim insanları hangi sorulara yanıt aramaktadır? CERN ile Büyük Patlama ilişkisi nedir? Şimdi bu sorulara yanıt arayalım.

II. AŞAMA

A

Evrenin ufkunun yakınından yayılan ışığın gözlemlenmesi, her şeyin giderek artan bir hızla birbirinden uzaklaşmakta olduğunu ortaya koymaktadır. Büyük Patlama evrenbilimi bu durumu, tüm evreni dolduran "karanlık enerji" isimli inanılmaz bir olguya bağlıyor! Büyük Patlama modeli çok mu basit? Einstein'ın denklemlerini değiştirmek mi lazım? Bilinmeyen temel bir etkileşim mi var? Cevaplar ortaya çıktıkça, önümüzdeki on yıl içinde fizikçilerin karanlık enerjinin gizemini çözmesini bekliyorum.

Wilfried Buchmüller, DESY, Almanya

B

Evrenin toplam demirbaşları dökümünde, sıradan madde toplamın sadece yüzde beşini oluşturur. Evrenbilimciler, gökadalardaki görünür nesnelerin dönme hızlarını gözlemleyerek, evrenin toplam enerjisinin yaklaşık yüzde 21 ila 23'ünün karanlık madde olarak adlandırılan görünmez bir maddeden oluştuğunu "ölçtüler". En çekici açıklama karanlık maddenin, sıradan madde ile çok zayıf bir etkileşimi olan henüz keşfedilmemiş ağır parçacıklardan oluştuğunu varsayar.

Lucia Votano, Gran Sasso Ulusal Laboratuvarı, İtalya

C

D

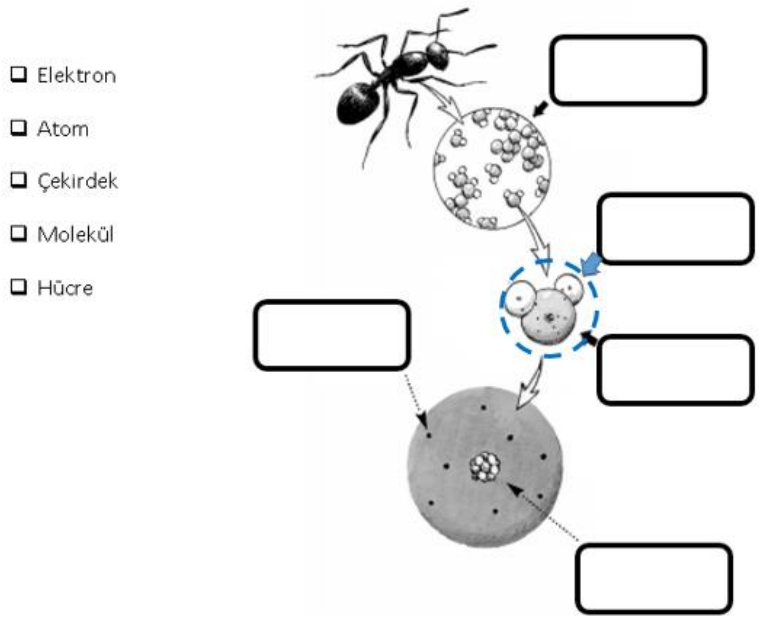
Maddenin etrafına üşüşüp ona kütlesini veren görünmez bir etkileşme mi var? Higgs parçacıklarını bulmak ve onların özelliklerini incelemek bize cevabı verebilir. Higgs, doğadaki kuvvetlerin birbirleriyle nasıl bağlantılı olduklarının, maddenin nasıl madde olduğunun ve yaşamı mümkün kılan atomsal ölçeğin kökeninin sırlarını içerir.

Joe Lykken, Fermilab, ABD

E

Parçacık Bulmacasının Parçaları

Aşağıdaki şekil bir karıncayı oluşturan ögeleri göstermektedir. Şeklin yanında verilen ögeleri kutucuklara yazınız.



Şekil 4.1 Karıncayı Oluşturan Parçacıklar

Temel parçacık kavramı için tahminlerinizi yazınız.

……
……
……

Temel Parçacıklar:

Hiç temelde nelerden oluştuğunuzu merak ettiniz mi? Ya da oturduğunuz sandalye nelerden oluşur? Ya da içtiğiniz soda? Ya da geceleri gökyüzünde gördüğünüz yıldızlar? Yapılan pek çok çalışmadan sonra fizikçiler etrafınızda gördüğünüz pek çok maddenin kuark denilen temel parçacıklardan oluştuğuna dair kanıtlar bulmuştur. Bu parçacıklar hem sizi hem de sandalyenizi nasıl oluşturur? Bunu öğrenmek için bir etkinlik yapalım.

Siz, sandalyeniz ve görebildiğiniz her şey atomlardan oluşmuştur. Atomlar protonlardan, nötronlardan ve elektronlardan oluşur. Elektronlar başka hiçbir şeyden oluşmamıştır, ancak protonlar ve nötronlar kuark adı verilen parçacıklardan oluşmaktadır. Bilinen 6 çeşit kuark vardır.

Kuark Şeması

Yük değeri	1. Nesil Kuark Ailesi	2. Nesil Kuark Ailesi	3. Nesil Kuark Ailesi
+2/3	u (up) Yukarı Kuark	c (charm) Tılsımlı Kuark	t (top) Üst Kuark
-1/3	d (down) Aşağı Kuark	s (strange) Acayip Kuark	b (bottom) Alt Kuark
	Kütlesi az- →Kütlesi fazla		

Kuarkların bir proton ve bir nötronu nasıl oluşturduğunu öğrenmek için, aşağıdaki Kuark Şemasını ve bir sonraki sütunun üstündeki Kuark Reçete Kuralları'nı okuyun. Sonra bir proton ve bir nötron inşa etmek için bir "reçete" yazmaya çalışın.

Kuark Reçete Kuralları

1. Daha büyük kütleli kuarklar daha az kütleli kuarklara göre daha az kararlıdır ve daha az kütleli kuarklara hızla bozunurlar. Protonları ve nötronları oluşturan kuarkların tümü, yukarı kuarklar ve aşağı kuarklar içeren 1. nesil kuarklardır.

2. Kuarklar asla sadece kendi başlarına mevcut değildir.

3. Kuarklardan oluşan herhangi bir parçacık, tamsayı (0, 1, vb.) net elektrik yüküne sahip olmalıdır. Protonlar yükü toplamda 1 olan bir kuark grubundan oluşur. Nötronlar, yükü toplamda 0 olan bir kuark grubundan oluşur.

4. Bir nötron ve proton tarifinizde, doğru yükle sonuçlanan en az sayıda kuarkı kullanmalısınız.

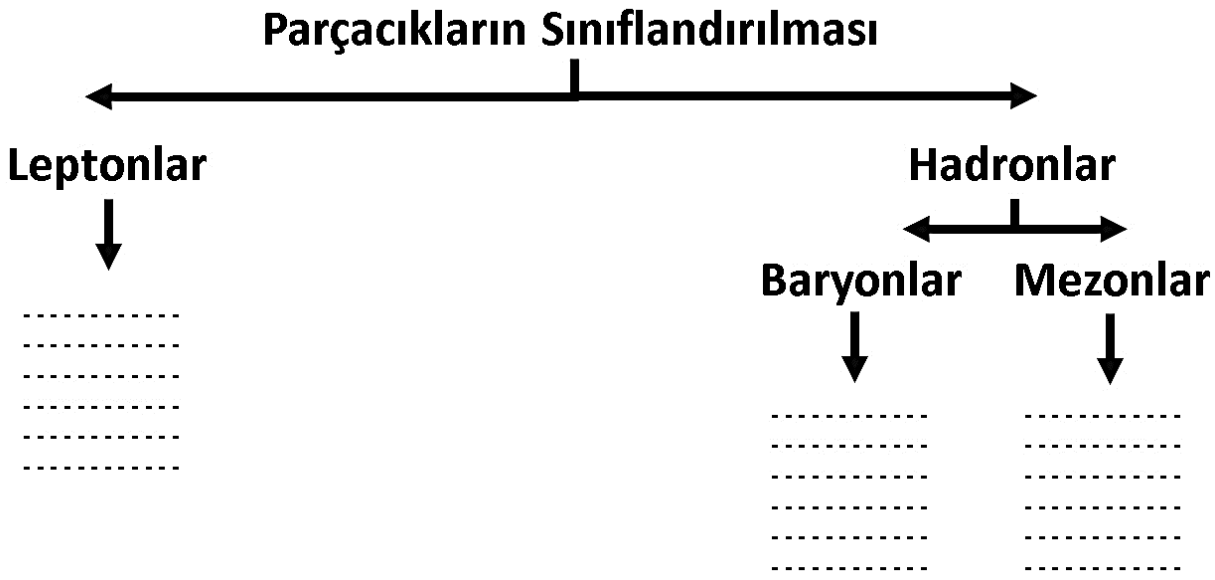
Proton	**Nötron**
……	……

Temel parçacıklar sınıfında yalnızca kuarklar yer almaz. Parçacık fiziği denilen alanla uğraşan fizikçiler temel parçacıkları bulma çabaları sonucunda, bu parçacıkları bir düzen içerisinde gösteren bir tablo oluşturmuşlardır. Temel parçacıkları içeren fizikteki periyodik cetvelin adına Standart Model denilmiştir.

Kuark Kart Oyunu

I. AŞAMA

Kuarklar dışında başka temel parçacıkların da olduğunu ayrıca kuarkların da farklı şekillerde bir araya gelerek farklı parçacıkları oluşturduğunu biliyor muydunuz? Bilim insanları bu parçacık gruplarını isimlendirerek bir sınıflandırma yapmıştır. Bu parçacık gruplarının isimleri Şekil 5.1'de yer almaktadır. Bu gruplar içerisinde olduğunu düşündüğünüz parçacık isimlerini yazınız.

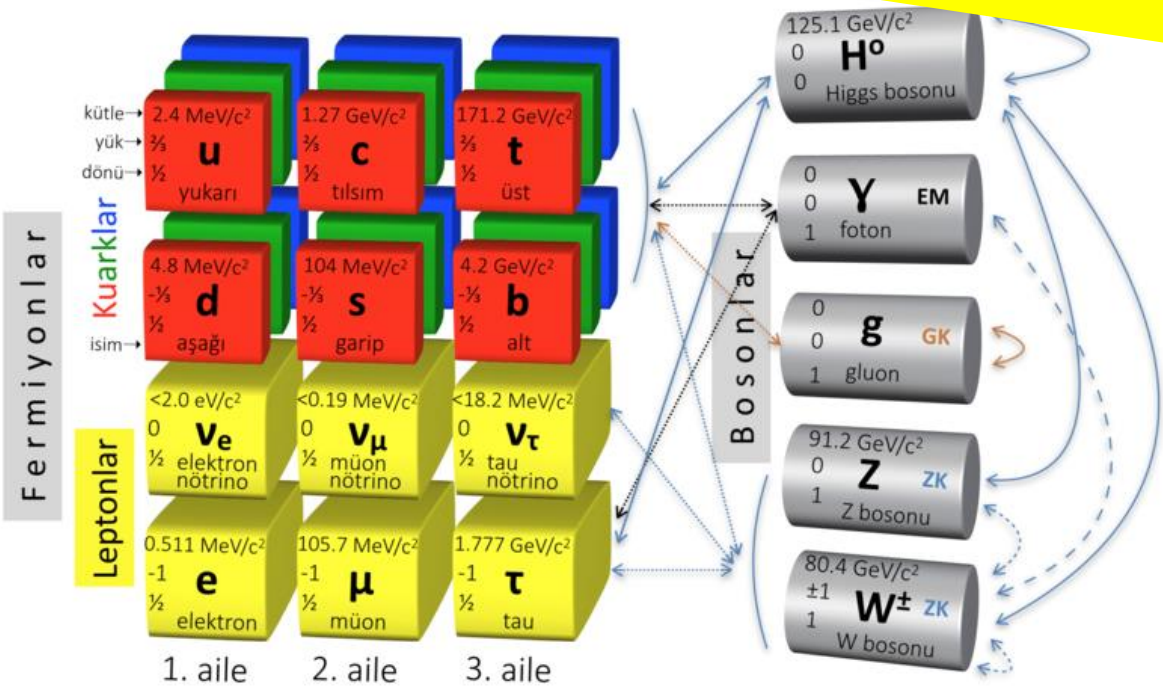


Şekil 5.1 Parçacıkların Sınıflandırılması

II. AŞAMA

Bilim insanları temel parçacıkların kütle ve yüklerine göre bir sıralama, sınıflandırma yapabiliyor. Periyodik cetvel gibi! Bilim insanları doğayı anlamada daima bir desen ve düzen arar. İşte böylece bilim insanları temel parçacıkları içeren, bu parçacıkları bir düzen içerisinde bizlere sunan bir kuram geliştirmiştir. Buna Standart Model adı verilir.

En basit haliyle, temel parçacıklar ve etkileşimleri hakkında bütün bilgimizi içeren kurama Standart Model adı verilir. Standart Model içerisinde kuarklar, leptonlar ve (kütleçekimsel etkileşim hariç) evrendeki tüm etkileşimlerden sorumlu olan aracı parçacıklar (ayar bozonları) ve Higgs yer alır.



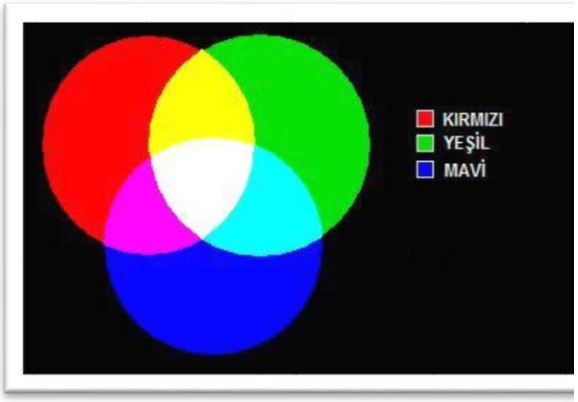
Şekil 5.2 Standart Model

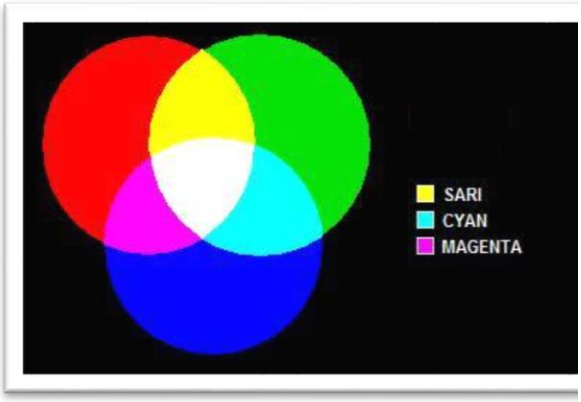
Şekil 5.2'de bir kuark türünden neden üç farklı renk olduğuna dikkat ettiniz mi? Bilim insanları yapılan çalışmalarda herhangi bir u-u-d kuarkının bir araya gelerek bir protonu oluşturmadığını fark ettiklerinde, kuarklara ait yük gibi yeni bir özelliğin olduğunu ortaya koydular.

Bu kuantum mekaniksel özelliğe kuantum renk dinamiği adı verildi. Kuarkların bizim anladığımız şekilde birer rengi yoktur ancak bilim insanları ana renkler olan kırmızı, mavi ve yeşili temsili olarak kullanarak parçacıkların nasıl bir araya geldiğini açıklamakta başarıya ulaşmıştır.

1. Renk yükü atfedilen kuarklar tek başına bulunamazlar, amaç daima ışıktaki beyaz rengi oluşturmaktır.

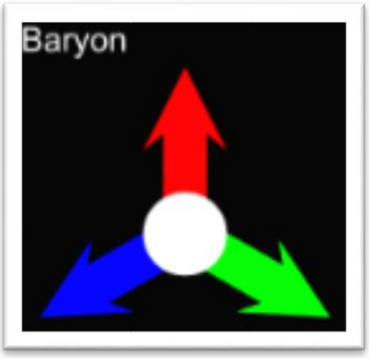
2. Anti kuarklar ise antiyeşil (magenta), antimavi (sarı) ve antikırmızı (cyan) diyebileceğimiz ara renkler ile belirtilir.



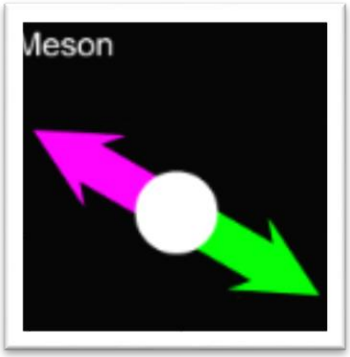


3. Hadron denilen parçacıklar kompozit-birleşik parçacıklardır. Baryon ve mezon olmak üzere iki gruba ayrılır.

4. Baryon üç kuarktan meydana gelir.



5. Mezon bir kuark ve bu kuark ile aynı türde olmayan başka bir antikuarktan meydana gelir (Bu sebepten dolayı birbirini yok etmezler).



Aşağıdaki Tablo 5.1'de mezon ve baryon sınıfına ait bazı parçacıkların adları, simgesi, kuark bileşimi yer almaktadır. Parçacıkların bileşimini inceledikten sonra Şekil 5.2 Standart Model'de yer alan kuarkların yük değerlerinden yararlanarak mezon ve baryon tablosuna ait yük sütununu doldurunuz.

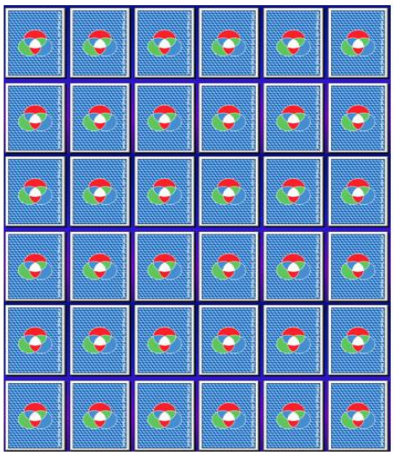
Tablo 5.1

Mezon ve Baryon Örnekleri

Mezon (Kuark + Antikuark)			
Parçacığın Adı	Parçacığın Simgesi	Parçacığın Kuark Bileşimi	Parçacığın Net Yükü
Pion	π^+	u$\bar{d}$	….
Kaon	K^-	s$\bar{u}$	….
Kaon	K^+	$u\bar{s}$	….
Kaon	K^0	$d\bar{s}$	….
B	B^+	$u\bar{b}$	….
B-zero	B^0	$d\bar{b}$	….
Baryon (Kuark + Kuark + Kuark)			
Parçacığın Adı	Parçacığın Simgesi	Parçacığın Kuark Bileşimi	Parçacığın Yükü
Proton	P	uud	….
Nötron	N	udd	….
Labmda	Λ	uds	….
Omega	Ω^-	sss	….
Sigma	Σ^+	uus	….
Sigma	Σ^0	uds	….

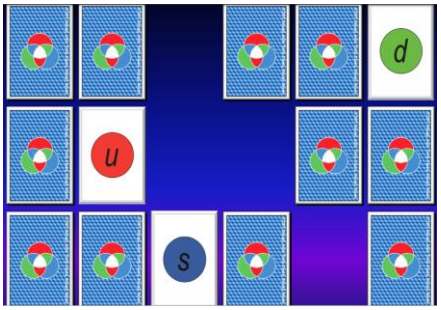
III. AŞAMA

- Şimdi Kuark Kart Oyunumuza başlayalım!
- Dört kişilik gruplara ayrılın.
- Grubunuzda toplam 36 adet Kuark Kart Oyun kartlarını içeren deste olmalıdır. Bu kartlarda farklı renklerde kuark ve anti kuark kartları yer almaktadır. Ana renkler olan kırmızı, mavi ve yeşilden 18; antimavi (yeşil+kırmızı), antikırmızı (yeşil+ mavi), antiyeşil (kırmızı+mavi) 18 kart bulunmaktadır.
- Kartların yüzleri kapalı olacak şekilde masaya 6X6 şeklinde kartları yan yana dizin.



Şekil 5.3 Kuark Kart Oyun kartları

Oyunun amacı baryon yapmak! Baryon için gruptaki her katılımcının üç kartı açma hakkı olacaktır. Bir katılımcı istediği üç kartı sırayla açar, gruptaki diğer katılımcıların da göreceği şekilde ne olduklarını gösterir, hangi parçacık olduğuna bakar ve tekrar kartları kapatır. Eğer baryon yapamazsa sıra diğer katılımcıya geçecektir ancak baryon yapmayı başarırsa, kartları açmaya devam edebilir.



Şekil 5.4 Kuark Kart Oyun kartları ile bir hadron (Labmda) oluşturulması

Gruptaki diğer katılımcıların açılan kartların hangi parçacık olduklarını hafızalarında tutmaları gerekmektedir. Bu şekilde oyun ilerler ve kartlarla doğru bir şekilde en kısa sürede en fazla baryon yapan oyunu kazanır. (Aynı şekilde mezonlar için de oyun kurulabilir.)

Aşağıda yer alan tabloya oluşturduğunuz parçacıkları not edebilirsiniz.

No	Parçacığın Türü (Mezon/Baryon)	Parçacığın Adı	Parçacığın Kuark Bileşimi
1	--------	--------	--------
2	--------	--------	--------
3	--------	--------	--------
4	--------	--------	--------
…	--------	--------	--------
…	--------	--------	--------
…	--------	--------	--------
…	--------	--------	--------
…	--------	--------	--------
…	--------	--------	--------
…	--------	--------	--------

Etkileşimlerin Süreci

I. AŞAMA

Elektrozayıf etkileşim hakkında bildiklerinizi kısaca yazınız.

……
……
……
……
……

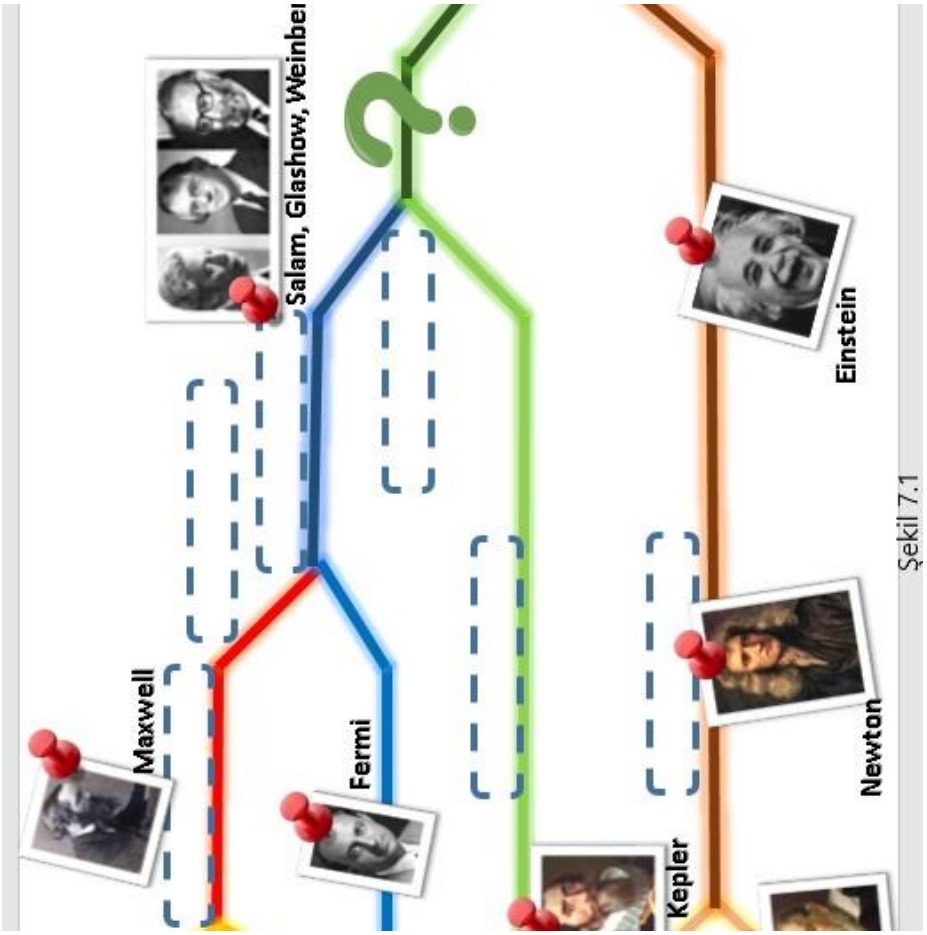
II. AŞAMA

Evrende bildiğiniz gibi dört temel etkileşim söz konudur. 1979'da Glashow, Salam ve Weinberg elektromanyetik ve zayıf çekirdek etkileşimlerini birleştiren bir kuram geliştirdiler ve Nobel Fizik ödülünü kazandılar. Elektrozayıf kuramın temel varsayımı, parçacıklar çok yüksek enerjili olduklarında zayıf çekirdek etkileşimi ile elektromanyetik etkileşimin büyüklüklerinin aynı olduğudur. Bu nedenle iki etkileşim birleşik bir tek elektrozayıf etkileşmenin iki farklı belirtisi olarak görülür. Kuram birçok somut öngörü yapar ama belki de en etkileyici olanı W ve Z parçacıklarının kütleleri hakkındaki öngörüsüdür ve bu öngörüler deneyle desteklenmiştir.

Elektromanyetik etkileşimin aracı parçacığı olan foton kütlesiz iken, zayıf nükleer etkileşimin aracı parçacıkları olan W ve Z bozonları ise kütleye sahiptir. Bu fark nedeniyle elektromanyetik ve zayıf kuvvetler düşük enerjilerde oldukça farklıdır, çok yüksek enerjilerde ise birbirine benzer. Bu iki etkileşim çok yüksek enerjilerde benzer veya simetrik, düşük enerjilerde oldukça farklı olduğundan, yüksek enerjiden düşük enerjiye gitme davranışı simetri kırılması olarak adlandırılır. W ve Z bozonlarının sıfırdan farklı olan kütle sorunu ortaya çıkar. Bu probleme bir çözüm getirmek amacıyla, elektrozayıf simetriyi kırmak için Higgs Bozonu denilen bir parçacık önerilmiştir (bu parçacık 2012 yılında varsayım olmaktan çıkmış, deneysel olarak gözlemlenmiştir). Higgs mekanizmasını içerecek şekilde yeniden düzenlenen Standart Model, W ve Z bozonlarının kütleli yapısına tutarlı mantıksal bir açıklama sağlar.

Şekil 7.1'de evrendeki dört temel etkileşim ve bu etkileşimler arasında zamanla ortaya konulan ilişkiler bir şeritle gösterilmektedir. Şekil 7.1'deki boşluklara aşağıda verilen kavramları yerleştiriniz. Size yardımcı olması için temel etkileşimler veya bu etkileşimler arasındaki ilişkiler üzerinde çalışmalarda bulunmuş bilim insanlarının isimleri ve fotoğrafları da ilgili kısımlara yerleştirilmiştir.

- ❑ **Manyetizma**
- ❑ **Evrensel Kütleçekimi**
- ❑ **Kuantum Elektrodinamiği**
- ❑ **Kütleçekimi (Yeryüzü ile ilgili)**
- ❑ **Zayıf Nükleer Etkileşim**
- ❑ **Elektromanyetizma**
- ❑ **Elektro-zayıf Kuram**
- ❑ **Güçlü Nükleer Etkileşim**
- ❑ **Kütleçekimi (Gökyüzü ile ilgili)**
- ❑ **Standart Model**
- ❑ **Kuantum Renk Dinamiği**
- ❑ **Elektrik**



Şekil 7.1

III. AŞAMA

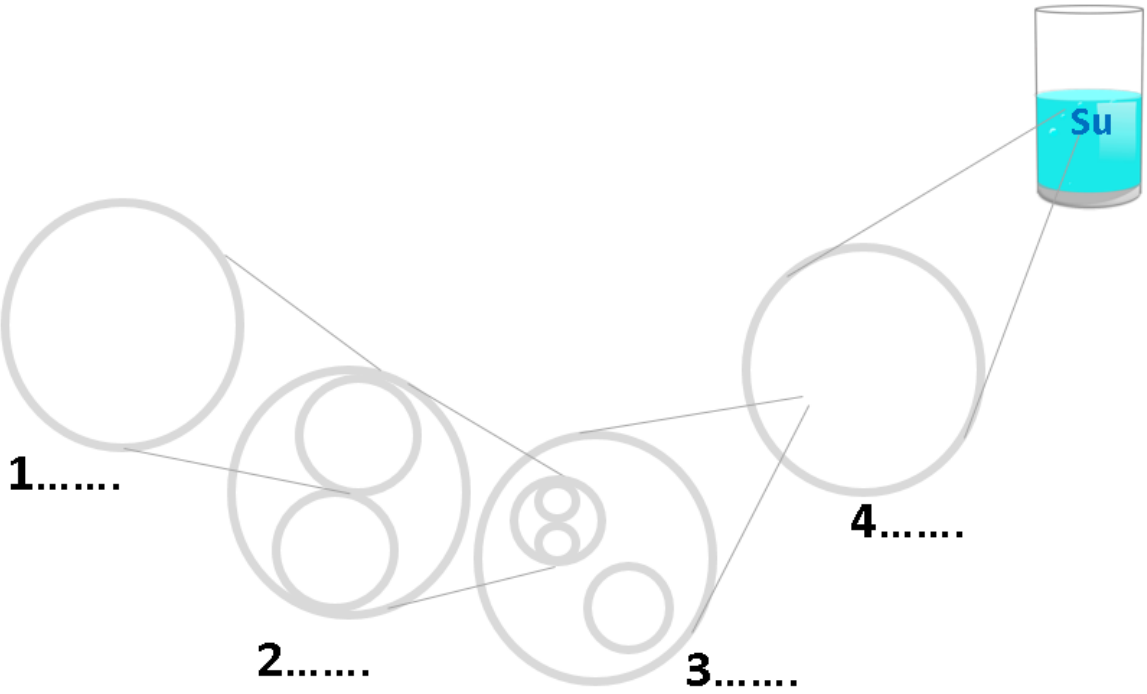
Şekil 7.1'de soru işareti olan yerlere gelecek kavramlar sizce neler olabilir? Bu konu hakkındaki görüşleriniz nelerdir?

……
……
……
……
……

Atom Altı Parçacıklardan Maddeye

I. AŞAMA

Şekil 8.1'de temel parçacıklardan bir su molekülünün oluşumuna kadar numaralandırılmış kısımlara gelmesi gereken kavramları belirtiniz. Bu kavramların hangi parçacıklardan oluştuğunu ise şekillerin içerisindeki kısma yazınız.



Şekil 8.1 Atom altı parçacıklardan maddeye

II. AŞAMA

Yaklaşık 14 milyar yıl önce gerçekleştiği düşünülen Büyük Patlama'dan bugüne atom altı parçacıklardan kimyasal elementlerin oluşumuna değin geçen sürece yakından bakacağız. Bu süreç, ilk olarak sadece bir avuç parçacık içerir: yukarı ve aşağı kuarklar; elektronlar ve nötrinolar; ve anti elektronlar ve anti nötrinolar. Daha sonraki süreçte ise ilk atomlar, yıldızların doğumları ve patlayıcı ölümlerine kadar ilerler. Etrafımızdaki maddelerin tümü, her biri benzersiz bir atom türünden yapılmış kimyasal elementlerden meydana gelmiştir.

Şekil 8.2'de yer alan lego parçalarının Standart Model'e göre hangi parçacıkları temsil ettiği hakkında bilgiler yer almaktadır (Legoların üzerinde yer alan çıkıntılar parçacıklara ait herhangi bir özelliği temsil etmemektedir).



Şekil 8.2 Standart Modeli oluşturan lego parçaları

Şekil 8.1'de temel parçacıklardan madde oluşumu için bir yol haritası oluşturdunuz. Şekil 8.1'den yararlanarak ve size dağıtılan legolarla her basamaktaki kavramı inşa ediniz. Bir su molekülünün oluşumuna kadar bu işleme devam ediniz. Bu işlem için hangi lego parçasından kaç adet ihtiyacınız olduğunu hesaplayınız.

III. AŞAMA

Şekil 8.1'de ilk boşluğa yazdığınız kavramın değişebileceğini düşünüyor musunuz? Bunun için varsa tahminleriniz nelerdir?

……
……
……
……

Higgs Bozonu

I. AŞAMA

Higgs bozonu nedir? Higgs bozonu hakkında bildiklerinizi kısaca yazınız.

……
……
……
……
……
…

II. AŞAMA

Madde, elektromanyetik etkileşim, güçlü ve zayıf nükleer etkileşim: temel parçacıkların Standart Modeli ile tanımlanmaktadır. Bu model, protonlarla elektronlar arasındaki çarpışmalarda ne olacağını, bazen onuncu ondalık basamağa kadar olan bir hassasiyetle hesaplamamızı sağlar. Bu model ile ilgili bir sorun, yalnızca tüm parçacıkların kütlesi yoksa gerçekten işe yaramasıdır ancak bu kesinlikle böyle değildir (Örneğin protonun kütlesi 938.272 MeV/c^2 dir). Protonu oluşturan u + u + d kuarklarının serbest haldeki durağan kütleleri 9.4 MeV/c^2 dir. Arada kalan fark kuarkların ve gluonların kinetik enerjisinden kaynaklanmaktadır. Peki, noktasal olan kuarkların ve diğer bölünemez parçacıkların kütleleri nereden geliyor? İşte Higgs bozonunun devreye girdiği yer burasıdır. Parçacıklar kütleye sahiptir hatta parçacıklar arasında kütle bakımından çok büyük farklılıklar vardır. Higgs bozonu bu soruna bir çözüm sunar.


Peter Higgs

1964 yılında, Robert Brout, François Englert ve Peter Higgs adlarındaki üç bilim insanı, parçacıkların neden kütlesi olduğunu açıklayan bir mekanizma geliştirdiler. Parçacıklar arasındaki "boş alan"ın sanıldığı gibi boş olmadığını, bu boşluğun bir alanla doldurulduğunu düşündüler (Higgs alanı fiziksel bir ortam değildir, bir enerji alanıdır). Parçacıkların bu alanla etkileşiminin onlara kütle kazandırdığını belirttiler. Bu alan daha sonra Higgs alanı olarak adlandırıldı. Higgs alanı olmasaydı Standart Modele uygun olarak parçacıklar ışık hızında hareket ederlerdi. Ancak bazı parçacıklar, Higgs alanının varlığından etkilenir, onunla etkileşime girer ve onun tarafından yavaşlatılır. Kinetik enerjilerinin bir kısmı kütleye çevrilir. Bir parçacığın Higgs alanıyla etkileşimi ne kadar güçlüyse, kütlesi o kadar büyük olur. Foton gibi bazı parçacıklar, Higgs alanından etkilenmez ve kütlesiz kalır. Higgs alanını algılayamamamız onun varlığını kanıtlamada bir sorun olarak karşımıza çıkmaktadır. Peter Higgs'ın burada kayıp bir parçacığın iş üstünde olduğunu tahmin etmesinin çok önemli olmasının nedeni de budur. Dolayısıyla bu parçacık (ve onunla birlikte alan) onun adını aldı: Higgs bozonu. Alan algılanamıyor olsa da, parçacığın kendisi algılanabilir ancak Higgs parçacığını tespit etmek de kolay değildi. Peter Higgs'in öngörüsünün ardından dünyadaki fizikçiler Higgs bozonunu tespit etmek için 50 yıldır uğraşıyorlardı. En güçlü mikroskopta bile, temel parçacıklar algılanamaz. Bunu yapmak için çok büyük bir kurulum gereklidir: Parçacık hızlandırıcısı.



2012 yılında CERN'deki Büyük Hadron Çarpıştırıcısı (BHÇ) adındaki dairesel hızlandırıcının ATLAS dedektöründe, Higgs parçacığı olabileceği düşünülen yeni bir parçacık bulunduğu açıklandı. Aynı zamanda BHÇ'nin bir diğer dedektöründe de bu keşif doğrulandı. Böylece 50 yıl önce öngörülen ve matematiksel modeli ortaya konulan teorik parçacık, deneysel olarak doğrulanmış oldu.

Higgs alanı ve Higgs parçacığını anlamak zordur. Çünkü karışık matematiksel denklemleri günlük dilde ifade etmek çok zordur. Ancak bu gibi durumlarda olayları daha iyi anlamak için analojiler bize yardımcı olabilir.

Analoji bir olguyu kavramak veya bilgiye ulaşmak için, bilinen bir kavram ile bilinmeyen kavram arasında benzerlikleri ve farklılıkları ortaya koyarak gerçekleştirilen kavramsal benzetmelerdir. Analoji yabancılık çekilen bir kavramın, yabancılık çekilmeyen kavramlara benzetilerek açıklanmasıdır. Analojiler daha çok üç şekilde kullanılır. Basit analoji doğrudan bir şeyin başka bir şeye benzetilmesidir. Örneğin; beynin ceviz içine benzetilmesidir. Hikâye analojilerinde benzetilecek olan hikâye şeklinde sunulur. Resimli analojilerde bir olayı açıklamak için konuyla benzetme yapılacak resim ve şekiller sunulur. Örneğin, hücre bir fabrikaya şekil üzerinde benzetilerek sunulur. Öğrenci süreçte aktif ve katılımcı olur. Öğrencilerin kavramları anlamlı hale getirmesine yardımcı olur.

İngiltere Eski Bilim Bakanı William Waldegrave, 1993 yılında Higgs bozonunun en iyi şekilde açıklanması için bir ödül teklif etti. UCL'den Prof. David Miller, bir analoji ile ödülü kazandı. Bir Fermilab fizikçisi Don Lincoln ve TED-Ed sanatçıları, Higgs alanının en ünlü analojisi hakkında bir animasyon oluşturdular. Şekil 9.1 ve Şekil 9.2 ödüllü analojiden alınmış olan görüntülerdir.

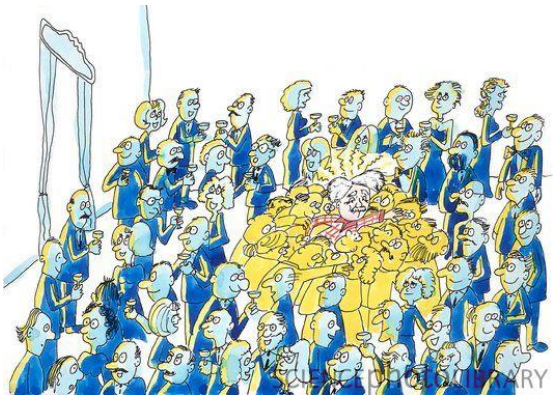
II. AŞAMA

Şekil 9.1'de ünlü analoji yer almaktadır. Bu olayın bir analoji olduğunu unutmayınız. Analojide Higgs ile ilgili benzetilen öğeleri/olayları tahmin ediniz.

a)



b)

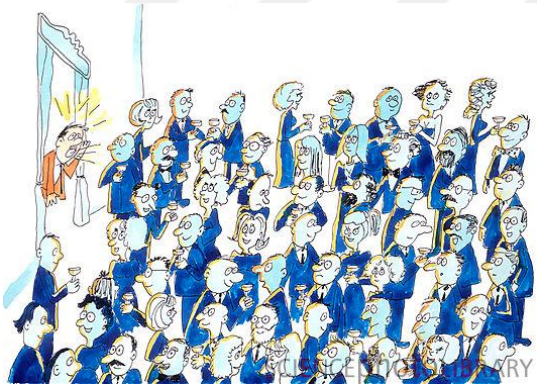


Şekil 9.1 Analoji

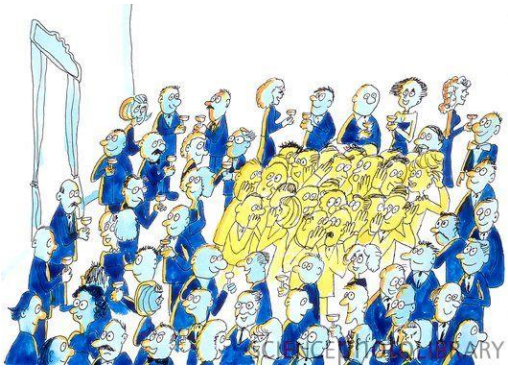
Bu analojide salona giren Einstein ……	Bu analojide Einstein'ın etrafını saran kalabalık ……

Şekil 9.2'de ünlü analoji yer almaktadır. Bu olayın bir analoji olduğunu unutmayınız. Analojide Higgs ile ilgili benzetilen öğeleri/olayları tahmin ediniz.

a)



b)

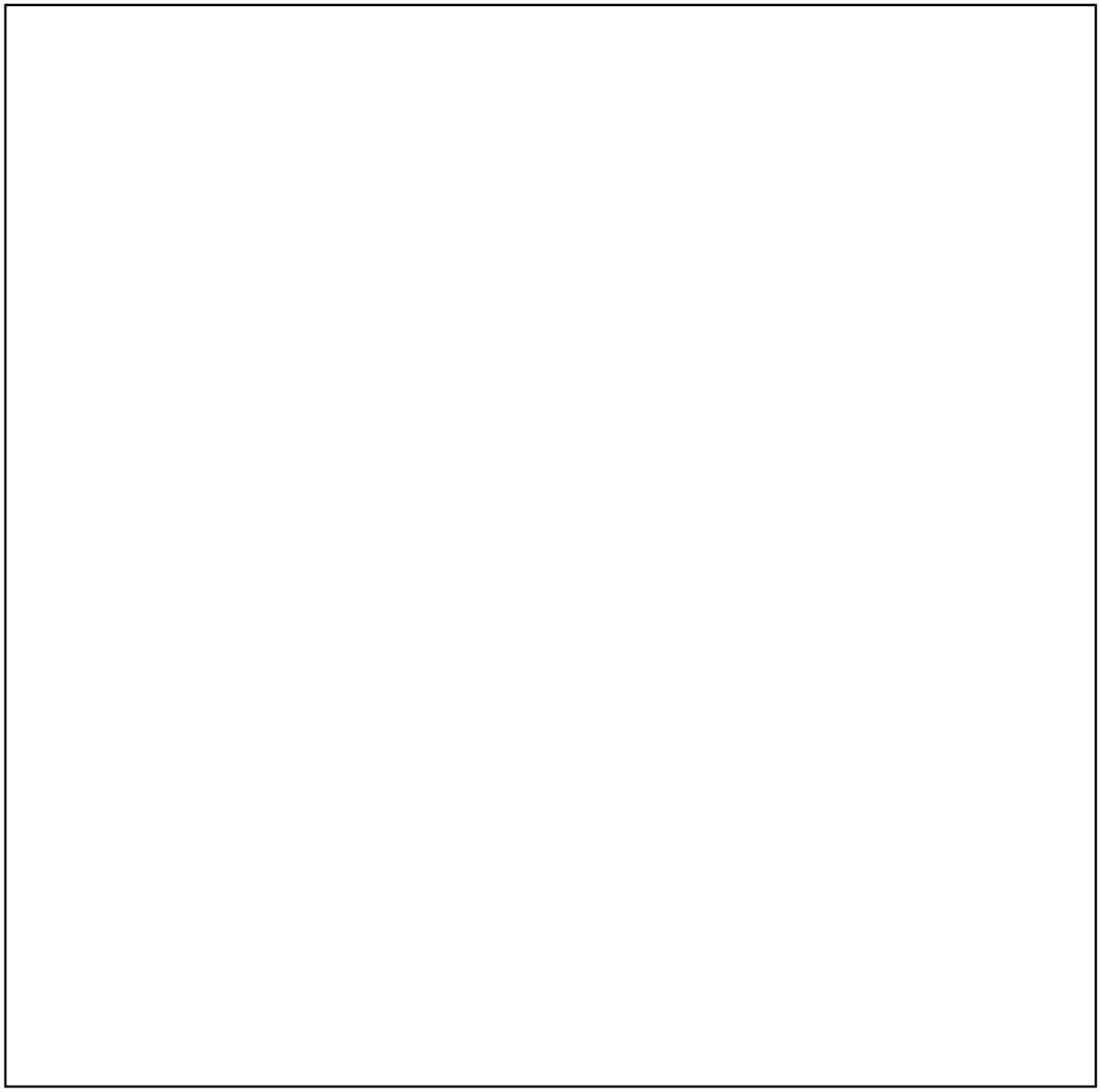


Şekil 9.2 Analoji

Bu analojide odadaki kalabalık ……	Bu analojide odada oluşan küçük kalabalık ……

III. AŞAMA

Higgs alanında parçacıkların kütle kazanması ya da Higgs alanında Higgs parçacığının oluşması hakkında yaratıcılığınızı kullanarak bir analoji oluşturunuz.



Madde ve Antimadde

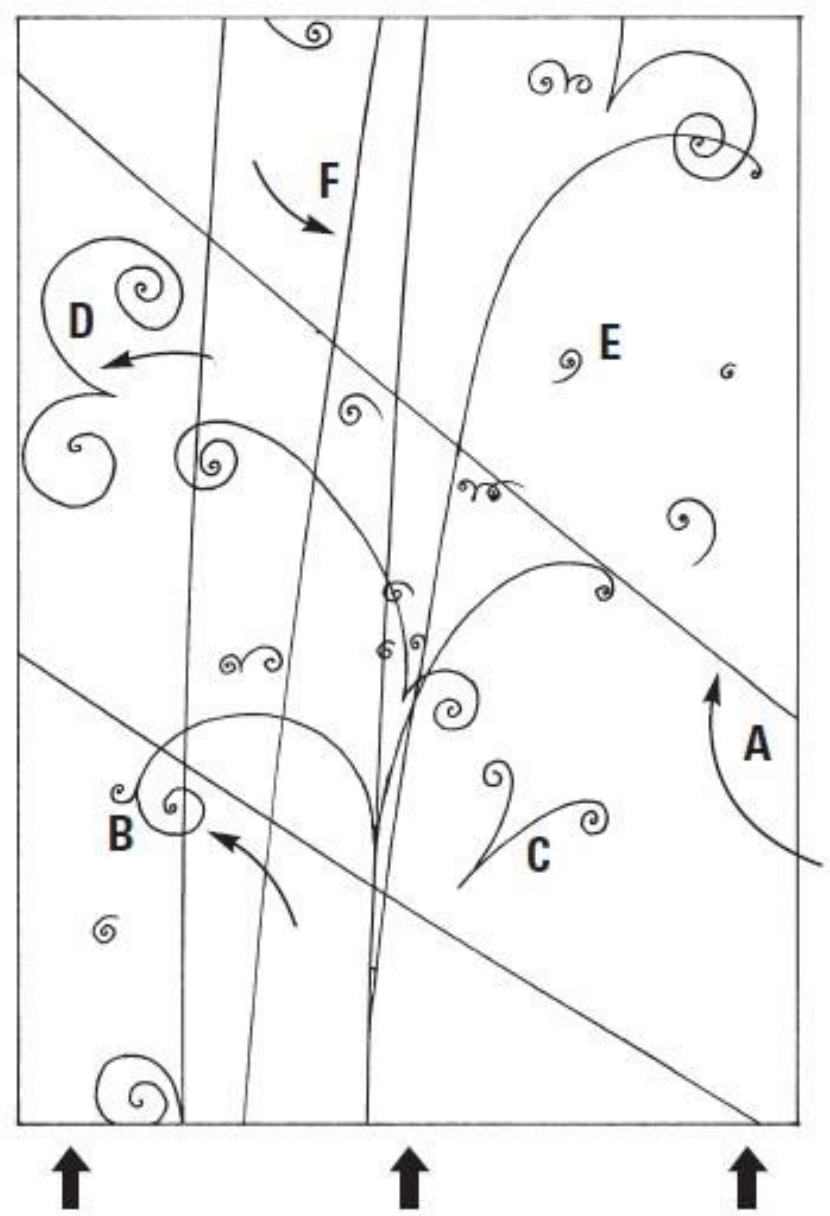
I. AŞAMA

Anti-madde nedir? Anti-madde ya da anti parçacık hakkındaki bilgilerinizi kısaca yazınız.

……
……
……
……
……

II. AŞAMA

Donald Glaser, 1952'de kabarcık odasını icat etti. Kabarcık odasının amacı yüklü parçacıkların davranışlarını incelemektir. Kabarcık odası adını, kaynama noktasında tutulan sıvı hidrojen dolu bir odaya yönlendirilen yüklü parçacıkların, hidrojenin içerisinden geçerken izledikleri yolda oluşturdukları kabarcıklardan almaktadır. Böylece kabarcıklardan oluşan parçacık yörüngelerini gözlemlemek ve yorum yapmak söz konusudur. Sis odasından oldukça zıt çalışır: sıvıda gaz kabarcıkları yerine, gazda sıvı damlacıkları oluşmasına dayanarak çalışır. Kabarcık odası elektronun anti-parçacığı pozitronun keşfini sağlayan deney düzeneğidir.



Şekil 10.1 Parçacık İzleri

Şekil 10.1'de sıvının içerisine pozitif yüklü parçacık demeti alttaki oklarla gösterilen doğrultuda, sayfa düzleminden içe doğru var olan düzgün manyetik alanın içerisine gönderilmektedir. Şekil 10.1'i inceleyiniz ve aşağıda yer alan soruları Şekil 10.1'den yararlanarak yanıtlayınız.



Dikkat! Sağ el kuralını hatırlayınız!

1. Sıvıya gönderilen pozitif yüklü parçacıkların +y yönünde olduğunu unutmayınız. O halde A çizgilerinin nedeni sizce ne olabilir?

……
……

2. Parçacıkların bıraktığı izlerin düz (A ve F) ya da kıvrımlı (B, C, D, E) olmasının nedeni sizce ne olabilir?

……
……

3. Eğri yolların bazılarının pozitif yüklü parçacıkların sıvıya girmesinden hemen sonra (B, C), bir kısmının ise daha uzun yol kat ederek (D) oluşmasının nedeni nedir?

……
……

4. Hiçbir iz olmadığı halde birden V şeklinde izin oluşmasının (C, D) nedeni sizce nedir?

……
……

5. Hiçbir iz olmadığı halde yalnızca E'deki gibi izin oluşma nedeni sizce nedir?

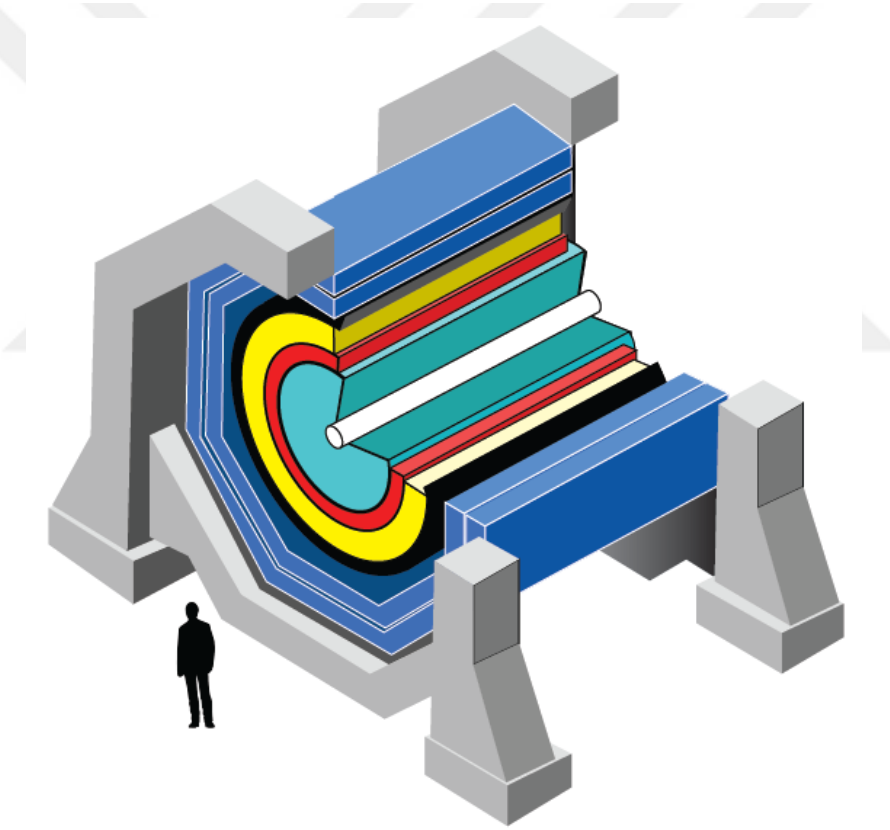
……
……

Parçacıkların İzlerini Sürmek

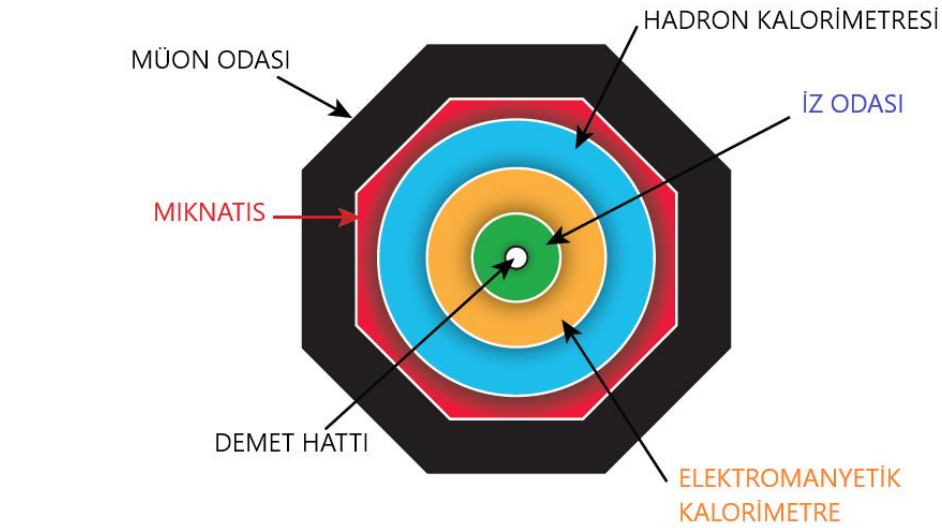
Kabarcık odası ya da sis odası deney düzenekleri yerini atom parçalayıcılar, hızlandırıcılar veya çarpıştırıcılar olarak adlandırılan devasa cihazlara bırakmıştır ve bunların tümünde, iki yüksek enerjili parçacık birbiriyle çarpıştırılarak yeni parçacıklar ortaya çıkartılır.

Bu etkinlik için, bir elektron ve pozitronun seyahat ettiğini hayal edin. Neredeyse ışık hızına yakın hızlarla birbirine doğru gelsinler. Eşit büyüklükte ve zıt yönde momentum taşıyan bu parçacıklar kafa kafaya çarpışırlar ve her yöne yayılan birçok parçacık üretirler. Bu parçacıklar anlık olarak oluşabilirler ayrıca bu parçacıkların gözle görülmesi mümkün değildir. Bu nedenle parçacık hızlandırıcılarda bulunan dedektörlerden yararlanılır.

Şekil 11.1, hızlandırıcıdaki bu parçacıkların çarpışma noktasını çevreleyen, kesit görünümünde gösterilen çok katmanlı bir parçacık dedektörüdür. Dedektörler, bir olayda üretilen parçacıklar hakkında bilgi toplamak için parçacık fizikçilerinin kullandığı sensörlerdir. Dedektörün her katmanı, parçacıkların farklı bir özelliğini algılar.



Şekil 11.1 Bir hızlandırıcının düşey kesiti



Şekil 11.2 Dedektörün Yapısı

İZ ODASI: Yüklü parçacıkların yollarını gösterir. Dedektörün iç bölgesi, çeşitli türlerde oldukça parçalı algılama cihazlarıyla doludur böylece yüklü parçacık yörüngeleri çok doğru bir şekilde belirlenebilir.

Kalorimetre katmanlarında, sadece biriken toplam enerji ölçülür; gerçek parçalar yeniden yapılandırılamaz.

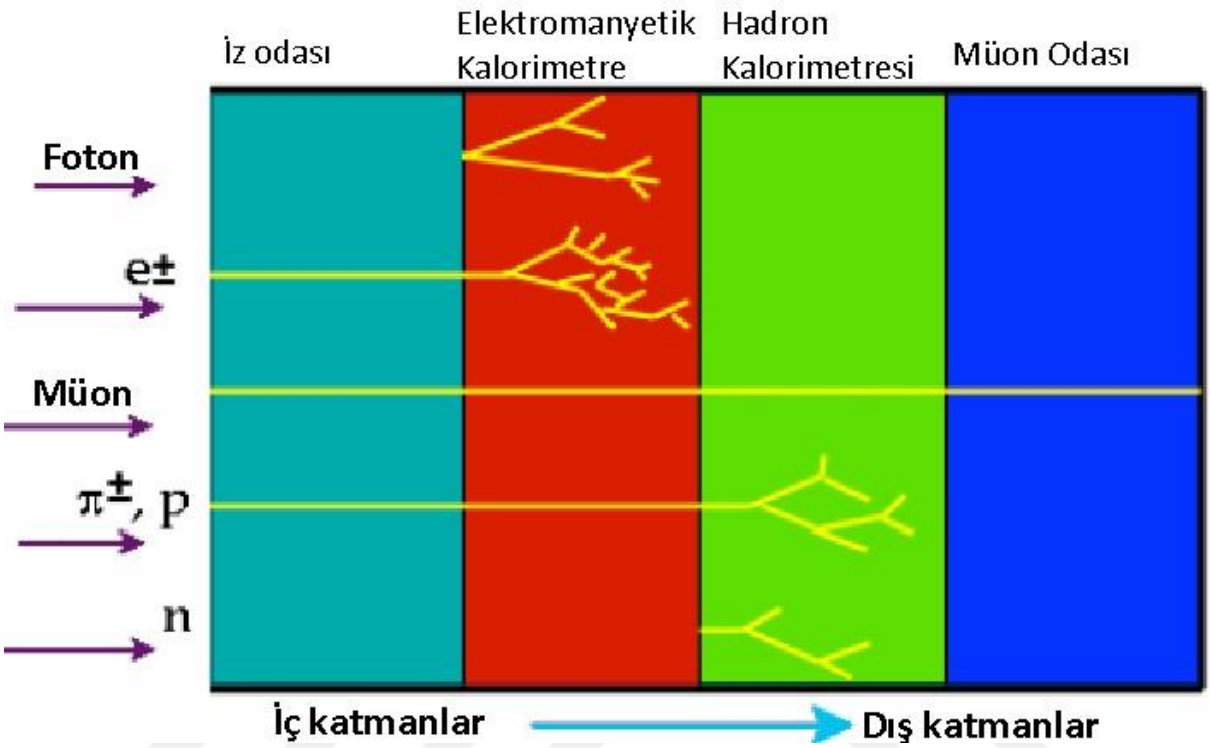
ELEKTROMANYETİK KALORİMETRE: Elektromanyetik kalorimetre fotonlardan, elektronlardan ve pozitronlardan enerji toplar.

HADRON KALORİMETRESİ: Hadronlar enerjilerini hadron kalorimetresinde biriktirirler.

MÜON ODASI: Müon odasında sadece müonlar ve nötrinolar bu kadar uzağa gider. Müonlar burada tespit edilir ancak zayıf etkileşimli nötrinolar kaçar. Nötrinoların varlığı ancak "eksik" enerji ile çıkarılabilir.

MIKNATIS: Yüklü bir parçacığın yolu manyetik bir alanda eğrilir. Eğrilik yarıçapı ve yönü momentumu ve yükün işaretini gösterir. Dedektördeki büyük mıknatısa dikkat edin. Mıknatısın içindeki manyetik alan (demet hattına paralel), yüklü parçacıkların çarpışma noktasından eğriye doğru hareket etmesine neden olur. Pozitif ve negatif yüklü parçacıkların yolları zıt yönlerdeki eğrilerdir.

Şimdi, gerçek denemelerden alınmış, Şekil 11.3'te gösterilen çeşitli olayların izlerini analiz etmeye çalışan bir fizikçi olduğunuzu hayal edin. Bu olayların nedeni olan parçacık isimleri aşağıda verilmiştir (Bu beş olayın aynı anda olması mümkün değildir!).



Şekil 11.3 Dedektörde çeşitli parçacıkların örnek olay izleri

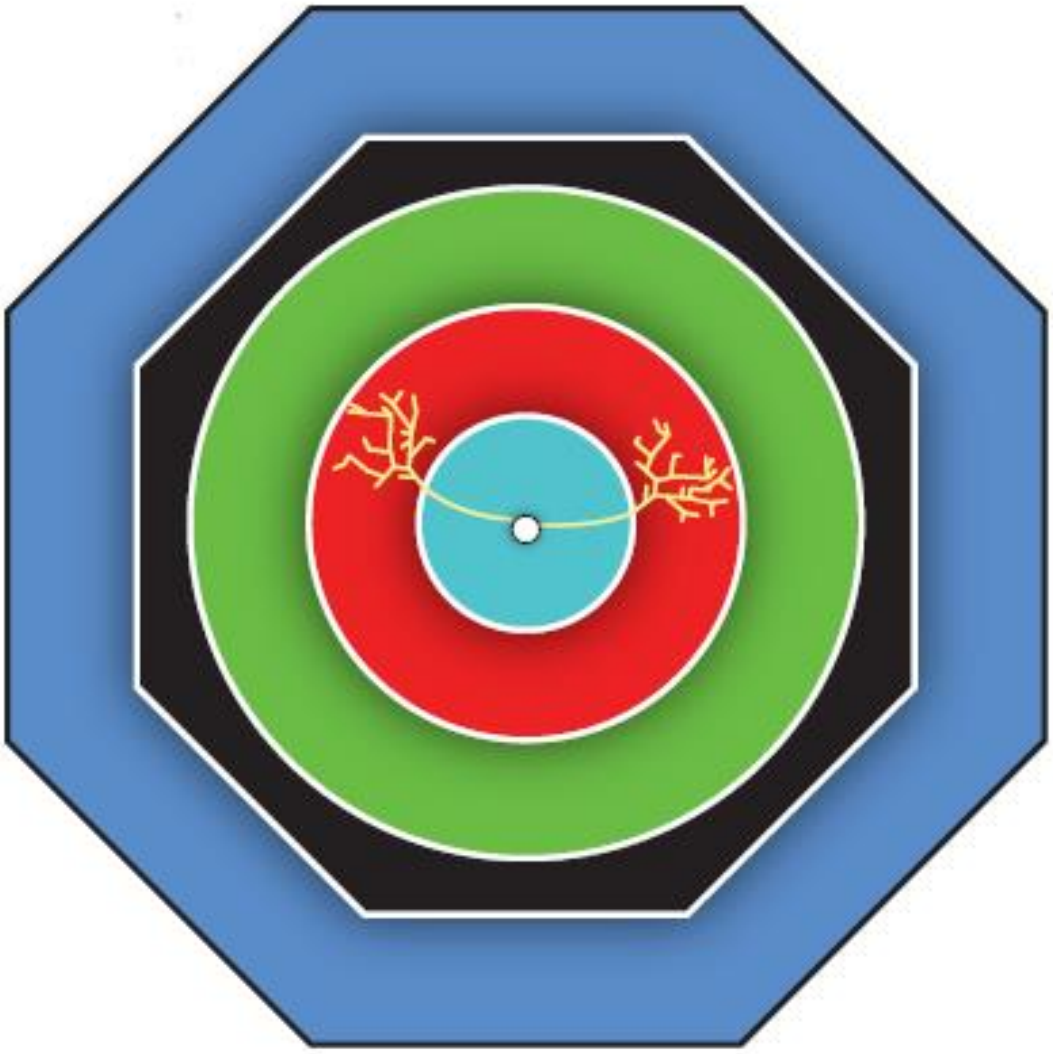
Aşağıda verilen şekillerde bir dedektörün dört olaya ait olan çeşitli izleri verilmiştir. Bir bilim insanı olduğunuzu hayal edip en az üç kişiden gruplar oluşturup fizikçi olan diğer çalışma arkadaşlarınızla bu parçacıkların izlerini sürdüğünüzü düşünün. Bunun için Şekil 11.3'ten yararlanmayı ve aşağıda verilen korunum kurallarına uymayı unutmayınız.

KORUNUM KURALLARI:

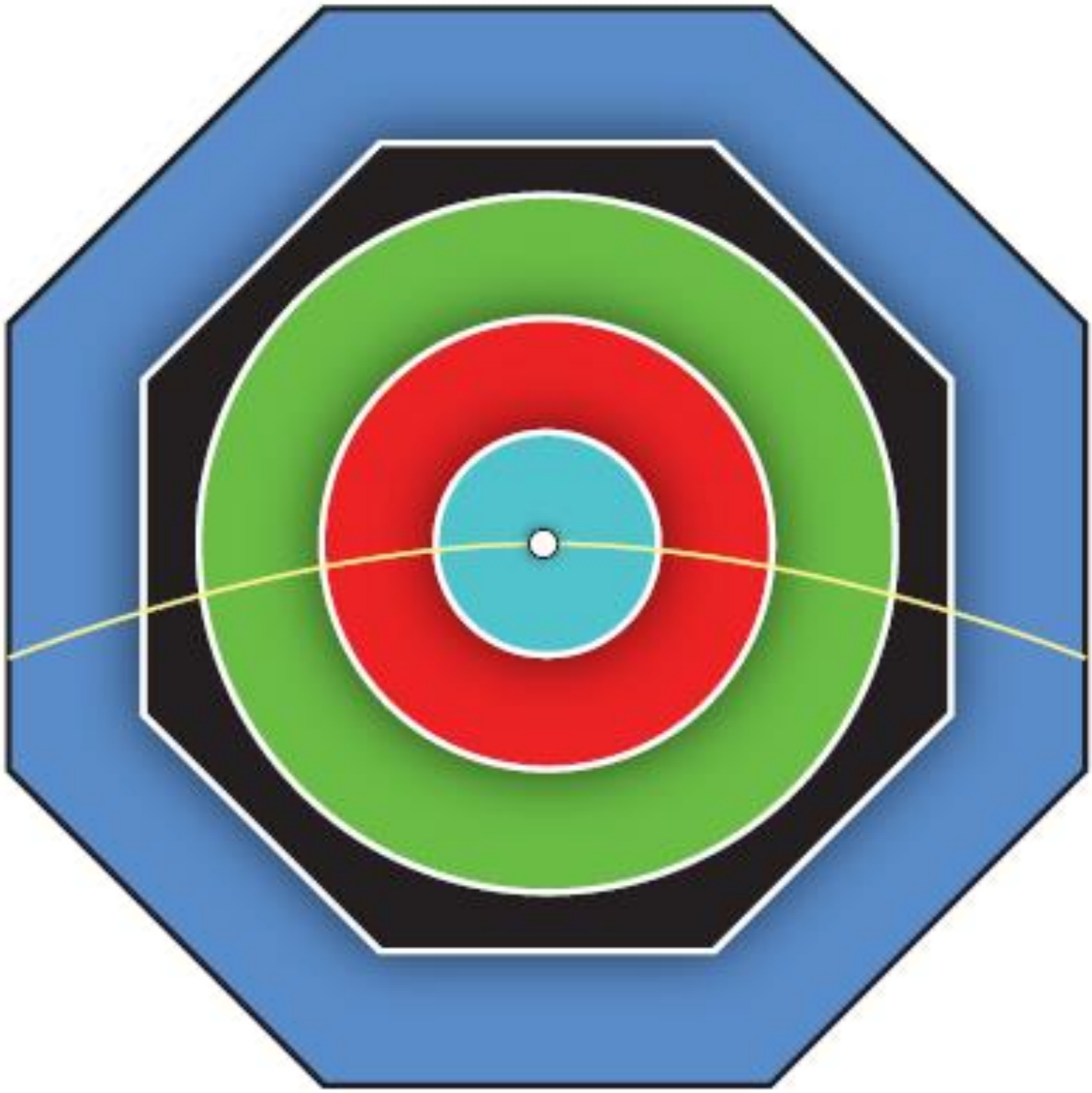
- Yük korunur (Örneğin etkinlik, negatif bir elektron ve pozitif bir pozitronla başladı, bu nedenle toplam yük olayın öncesinde ve sonrasında her zaman sıfırdır).

- Momentum korunur (Olay öncesi parçacıklar eşit ve zıt momentumlara sahiptir, bu yüzden toplam momentum daima sıfırdır.)

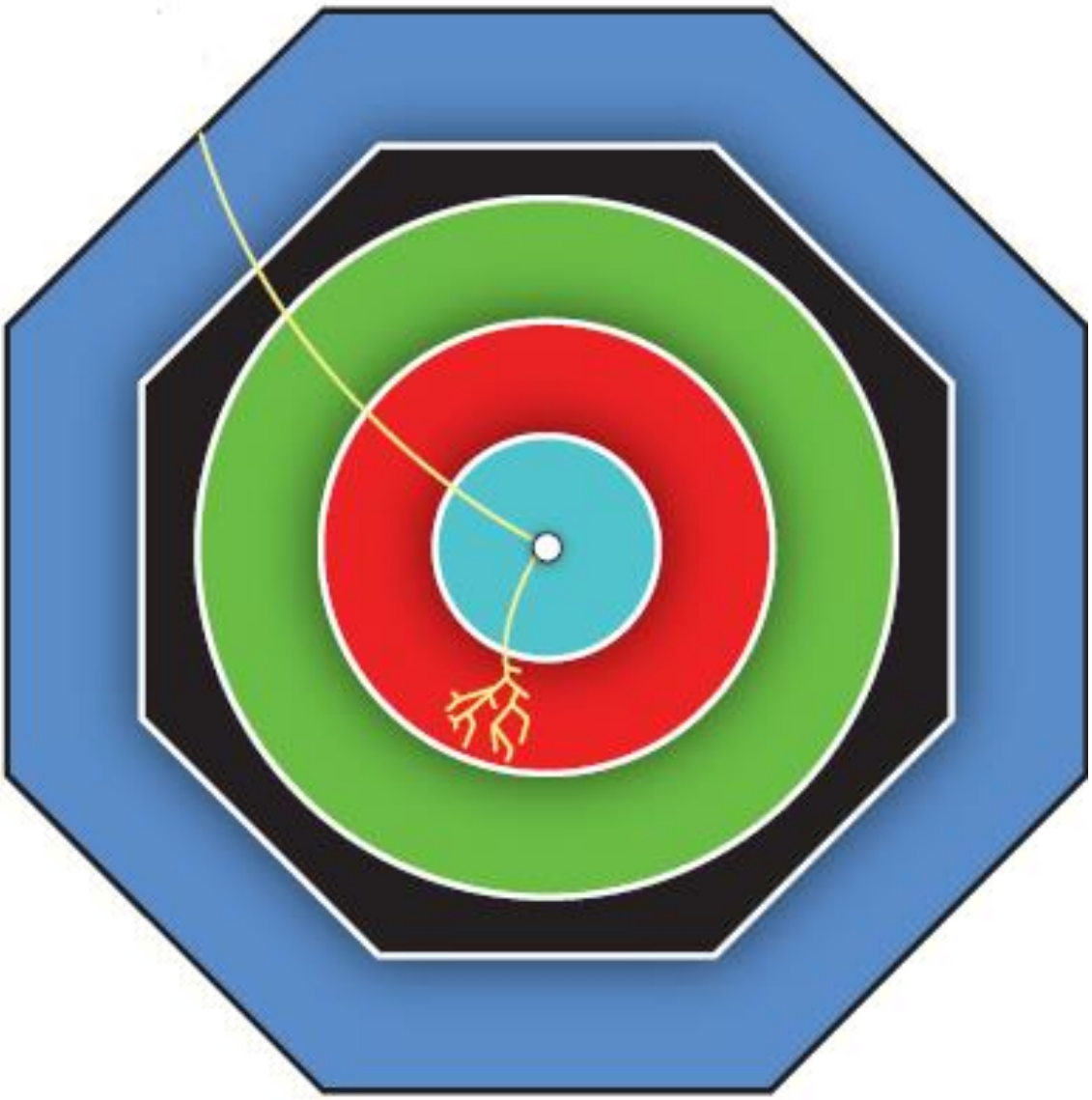
OLAY 1



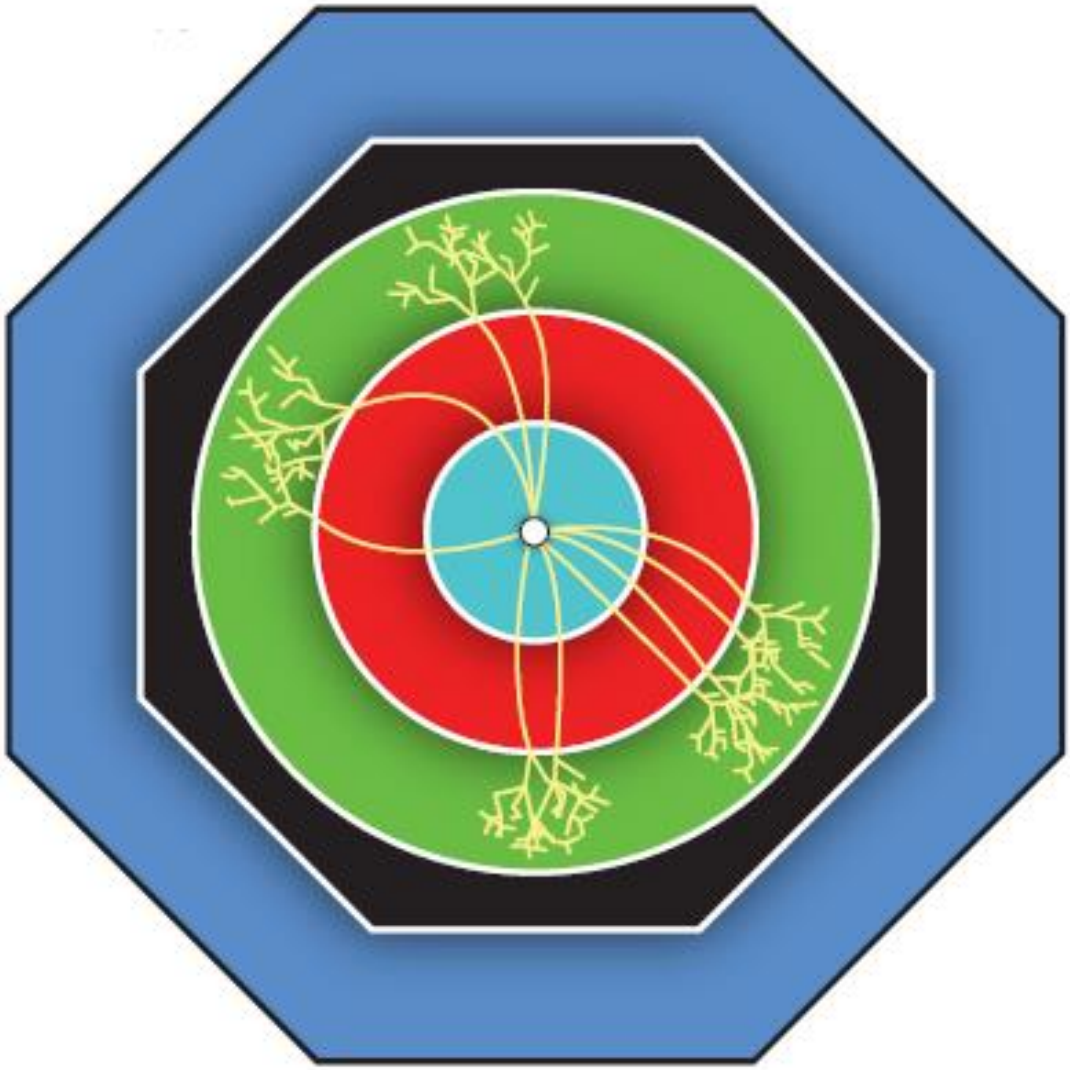
OLAY 2



OLAY 3



OLAY 4



OLAY 1, 2, 3 ve 4'te hangi dedektör katmanında iz görülmüşse, Tablo 11.1'deki ilgili sütunu işaretleyiniz. Bu olaydaki izler hangi parçacıklara ait olabilir?

İzler	İz Odası	Elektromanyetik Kalorimetre	Hadron Kalorimetresi	Müon Odası
OLAY 1				
Dedektörde tespit edilen parçacıklar neler olabilir?				
OLAY 2				
Dedektörde tespit edilen parçacıklar neler olabilir?				
OLAY 3				
Dedektörde tespit edilen parçacıklar neler olabilir?				
OLAY 4				
Dedektörde tespit edilen parçacıklar neler olabilir?				

OLAY 3'te iki parçacık çok farklı açılara sahip. Bu size ne anlatıyor?

……
……

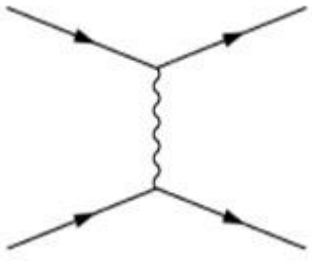
Feynman Diyagramları

İki parçacık arasındaki etkileşme, Amerikalı fizikçi Richard P. Feynman tarafından geliştirilen ve Feynman diyagramları adı verilen basit bir diyagram ile gösterilebilir. Feynman diyagramı düşey eksende zamanın yatay eksendeki uzaya göre nitel grafiğidir. Diyagram uzay ve zamanın gerçek değerleri önemli olmadığından, niteldir, ama grafiğin tümü olayın bir gösterimini verir. Olayın evrimine gözünüzü diyagramın alt kısmından başlayıp yukarı doğru hareket ettirerek, yaklaşım yapılabilir.

Tablo 12.1

Feynman Diyagramına Ait Gösterimler

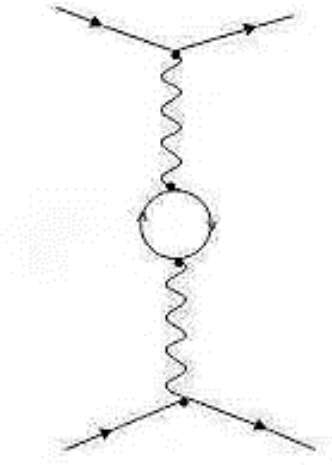
Feynman Diyagramındaki Gösterimi	Diyagramın Açıklaması	Hangi Parçacığı Temsil Ettiği
	Düz sağa giden çizgi	Lepton Kuark Baryon
	Düz sola giden çizgi	Anti-lepton Anti-kuark Anti-baryon
	Dalgalı çizgi	Foton $W^{\pm}$, Z^{0} bozonları
	Sarmal çizgi	Gluon
	Kesikli çizgi (sağa ya da sola giden ok çizilmez)	Mezon



$e^- + e^- \rightarrow e^- + e^-$

Şekil 12.1

Örneğin yukarıdaki diyagramda iki elektron geliyor ve birinden diğerine bir foton geçiyor (hangisinin soğurulduğunun hangisinin yayımlandığının bir önemi yoktur çünkü her ikisi de doğrudur) ve iki elektron çıkıyor. Bir Feynman diyagramını okurken zamanın geçişini temsil eden bir çizgi verilmemişse, bir düşey çizginin sağa doğru ilerlediğini düşünmek bazen yararlı olur. Bu çizgi başlangıçta (sol uçta) iki elektron çizgisini keser, ortada değiş-tokuş edilen fotonla karşılaşır ve sonunda (sağ uçta) tekrar sadece iki elektron vardır. İlk parçacıkların yüklerinin toplamı, son parçacıkların toplamına eşit olmalıdır.



Şekil 12.2

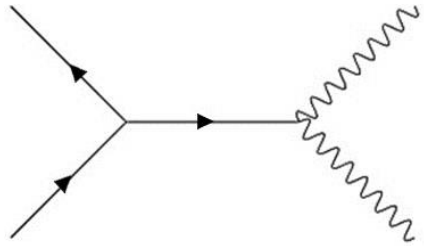
Diyagrama giren ve çıkan çizgiler haricindeki iç çizgilerin bir önemi yoktur. Bu çizgiler süreci tümüyle değiştirmeden gözlenemeyen parçacıkları temsil ederler. Bu tür parçacıklara sanal parçacıklar adı verilir. Sadece dış çizgiler 'gerçek' (gözlenebilir) parçacıkları temsil ederler. Değişim parçacığına bir ok çizilmez. Yalnızca bir akış yönü varsa, çizginin diyagramdaki yönü ile gösterilir.

Zamanda geriye doğru giden (sola yönelmiş bir ok) bir parçacık çizgisi, ileri giden bir anti parçacık olarak yorumlanır (fotonun anti parçacığı kendisi olduğu için foton çizgisi üzerinde oka gerek yoktur).

I. AŞAMA

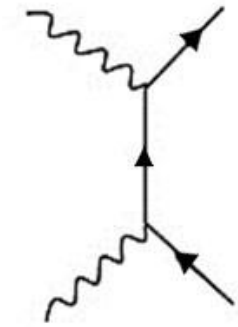
1. Aşağıda Feynman diyagramları ile tarif edilen işlemler nedir? Bozunma denklemini yazınız.

a)



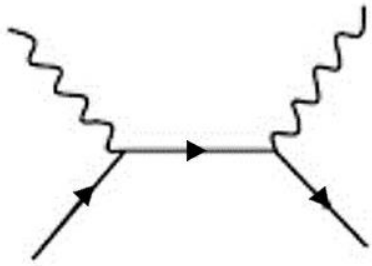
……..

b)



……..

c)



……..

II. AŞAMA

2. Aşağıda bozunma denklemleri verilen olayları inceleyiniz. Her bir olaya ait olan Feynman Diyagramını çiziniz.

a) $p + e^- \rightarrow n + \nu_e$

b) $\bar{\nu}_e + p \rightarrow n + e^+$

c) $n \rightarrow p + e^- + \bar{\nu}_e$

EK 2. Etkinlik Değerlendirme Formu

Stern-Gerlach Deneyi adlı etkinlik" Stern-Gerlach deneyinin sonuçlarının incelenmesi sağlanarak elektron spini kavramı üzerinde durulur (FL)" kazanıma yönelik hazırlanmıştır. Etkinliği aşağıda belirtilen kriterlere göre 1'den 10'a kadar değerlendiriniz. Belirtilen kriter için (10) 'kesinlikle katılıyorum' iken (1) 'kesinlikle katılmıyorum' olarak belirlenmiştir.

Uygulanan etkinlik:	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
Kazanıma uygundur.	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Bende ilgi uyandırdı.	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
İçeriğinde güncel örnekler yer alıyor	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Konu hakkında bilgimi arttırdı.	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
12. sınıf öğrencileri için uygulanabilir.	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

Sis Odası Deneyi adlı etkinlik "Öğrencilerin sis odası deneyini araştırmaları ve üzerinde tartışmaları sağlanır. (FL)" kazanıma yönelik hazırlanmıştır. Etkinliği aşağıda belirtilen kriterlere göre 1'den 10'a kadar değerlendiriniz. Belirtilen kriter için (10) 'kesinlikle katılıyorum' iken (1) 'kesinlikle katılmıyorum' olarak belirlenmiştir.

Uygulanan etkinlik:	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
Kazanıma uygundur.	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Bende ilgi uyandırdı.	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
İçeriğinde güncel örnekler yer alıyor	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Konu hakkında bilgimi arttırdı.	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
12. sınıf öğrencileri için uygulanabilir.	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

CERN'de Yapılan Çalışmalar adlı etkinlik "Öğrencilerin sunumlarında CERN'de yapılan çalışmaların büyük patlama ile bağlantısını tartışmaları sağlanır (FL)" kazanımına yönelik hazırlanmıştır. Etkinliği aşağıda belirtilen kriterlere göre 1'den 10'a kadar değerlendiriniz. Belirtilen kriter için (10) 'kesinlikle katılıyorum' iken (1) 'kesinlikle katılmıyorum' olarak belirlenmiştir.

Uygulanan etkinlik:	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
Kazanıma uygundur.	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Bende ilgi uyandırdı.	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
İçeriğinde güncel örnekler yer alıyor	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Konu hakkında bilgimi arttırdı.	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
12. sınıf öğrencileri için uygulanabilir.	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

Parçacık Bulmacasının Parçaları adlı etkinlik "Öğrencilerin atomaltı parçacıkları standart model çerçevesinde tanımlamaları sağlanır. (AL + FL)" kazanımına yönelik hazırlanmıştır. Etkinliği aşağıda belirtilen kriterlere göre 1'den 10'a kadar değerlendiriniz. Belirtilen kriter için (10) 'kesinlikle katılıyorum' iken (1) 'kesinlikle katılmıyorum' olarak belirlenmiştir.

Uygulanan etkinlik:	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
Kazanıma uygundur.	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Bende ilgi uyandırdı.	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
İçeriğinde güncel örnekler yer alıyor	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Konu hakkında bilgimi arttırdı.	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
12. sınıf öğrencileri için uygulanabilir.	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

Kuark Kart Oyunu adlı etkinlik "Öğrencilerin atom altı parçacıkları standart model çerçevesinde tanımlamaları sağlanır. (AL + FL)" kazanımına yönelik hazırlanmıştır. Etkinliği aşağıda belirtilen kriterlere göre 1'den 10'a kadar değerlendiriniz. Belirtilen kriter için (10) 'kesinlikle katılıyorum' iken (1) 'kesinlikle katılmıyorum' olarak belirlenmiştir.

Uygulanan etkinlik:	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
Kazanıma uygundur.	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Bende ilgi uyandırdı.	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
İçeriğinde güncel örnekler yer alıyor	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Konu hakkında bilgimi arttırdı.	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
12. sınıf öğrencileri için uygulanabilir.	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

Etkileşimlerin Doğası adlı etkinlik "Dört temel kuvvetin açıklanması sağlanır. (AL + FL)" kazanımına yönelik hazırlanmıştır. Etkinliği aşağıda belirtilen kriterlere göre 1'den 10'a kadar değerlendiriniz. Belirtilen kriter için (10) 'kesinlikle katılıyorum' iken (1) 'kesinlikle katılmıyorum' olarak belirlenmiştir.

Uygulanan etkinlik:	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
Kazanıma uygundur.	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Bende ilgi uyandırdı.	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
İçeriğinde güncel örnekler yer alıyor	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Konu hakkında bilgimi arttırdı.	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
12. sınıf öğrencileri için uygulanabilir.	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

Etkileşimlerin Süreci adlı etkinlik “Abdus Salam, Sheldon Lee Glashow ve Steven Weinberg’in Nobel ödülünü elektromanyetik ve zayıf kuvvetin birleşik bir kuvvet görünümünde olduğunu keşfetmeleri üzerine aldıkları vurgulanır. (AL + FL)” kazanımına yönelik hazırlanmıştır. Etkinliği aşağıda belirtilen kriterlere göre 1’den 10’a kadar değerlendiriniz. Belirtilen kriter için (10) ‘kesinlikle katılıyorum’ iken (1) ’kesinlikle katılmıyorum’ olarak belirlenmiştir.

Uygulanan etkinlik:	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
Kazanıma uygundur.	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Bende ilgi uyandırdı.	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
İçeriğinde güncel örnekler yer alıyor	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Konu hakkında bilgimi arttırdı.	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
12. sınıf öğrencileri için uygulanabilir.	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

Atomaltı Parçacıklardan Maddeye adlı etkinlik “Atomaltı parçacıklardan başlayarak madde oluşumunun modelle açıklanması sağlanır. (AL +FL)” kazanımına yönelik hazırlanmıştır. Etkinliği aşağıda belirtilen kriterlere göre 1’den 10’a kadar değerlendiriniz. Belirtilen kriter için (10) ‘kesinlikle katılıyorum’ iken (1) ’kesinlikle katılmıyorum’ olarak belirlenmiştir.

Uygulanan etkinlik:	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
Kazanıma uygundur.	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Bende ilgi uyandırdı.	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
İçeriğinde güncel örnekler yer alıyor	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Konu hakkında bilgimi arttırdı.	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
12. sınıf öğrencileri için uygulanabilir.	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

Higgs Bozonu adlı etkinlik “Higgs bozonuna kısaca değinilir. (AL +FL)” kazanımına yönelik hazırlanmıştır. Etkinliği aşağıda belirtilen kriterlere göre 1’den 10’a kadar değerlendiriniz. Etkinliği aşağıda belirtilen kriterlere göre 1’den 10’a kadar değerlendiriniz. Belirtilen kriter için (10) ‘kesinlikle katılıyorum’ iken (1) ’kesinlikle katılmıyorum’ olarak belirlenmiştir.

Uygulanan etkinlik:	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
Kazanıma uygundur.	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Bende ilgi uyandırdı.	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
İçeriğinde güncel örnekler yer alıyor	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Konu hakkında bilgimi arttırdı.	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
12. sınıf öğrencileri için uygulanabilir.	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

Madde ve Antimadde adlı etkinlik “Madde ve anti-madde kavramlarını açıklar. (AL +FL)” kazanımına yönelik hazırlanmıştır. Etkinliği aşağıda belirtilen kriterlere göre 1’den 10’a kadar değerlendiriniz. Etkinliği aşağıda belirtilen kriterlere göre 1’den 10’a kadar değerlendiriniz. Belirtilen kriter için (10) ‘kesinlikle katılıyorum’ iken (1) ’kesinlikle katılmıyorum’ olarak belirlenmiştir.

Uygulanan etkinlik:	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
Kazanıma uygundur.	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Bende ilgi uyandırdı.	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
İçeriğinde güncel örnekler yer alıyor	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Konu hakkında bilgimi arttırdı.	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
12. sınıf öğrencileri için uygulanabilir.	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

Parçacıkların İzlerini Sürmek adlı etkinlik “Madde ve antimadde kavramlarını açıklar. (FL + AL)” fikrine yönelik hazırlanmıştır. Etkinliği aşağıda belirtilen kriterlere göre 1’den 10’a kadar değerlendiriniz. Etkinliği aşağıda belirtilen kriterlere göre 1’den 10’a kadar değerlendiriniz. Belirtilen kriter için (10) ‘kesinlikle katılıyorum’ iken (1) ’kesinlikle katılmıyorum’ olarak belirlenmiştir.

Uygulanan etkinlik:	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
Kazanıma uygundur.	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Bende ilgi uyandırdı.	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
İçeriğinde güncel örnekler yer alıyor	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Konu hakkında bilgimi arttırdı.	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
12. sınıf öğrencileri için uygulanabilir.	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

Feynman Diyagramları adlı etkinlik “Öğrencilerin, atomaltı parçacıklar arasındaki etkileşim kuvvetini açıklamaları sağlanır. (FL)” fikrine yönelik hazırlanmıştır. Etkinliği aşağıda belirtilen kriterlere göre 1’den 10’a kadar değerlendiriniz. Etkinliği aşağıda belirtilen kriterlere göre 1’den 10’a kadar değerlendiriniz. Belirtilen kriter için (10) ‘kesinlikle katılıyorum’ iken (1) ’kesinlikle katılmıyorum’ olarak belirlenmiştir.

Uygulanan etkinlik:	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
Kazanıma uygundur.	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Bende ilgi uyandırdı.	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
İçeriğinde güncel örnekler yer alıyor	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Konu hakkında bilgimi arttırdı.	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
12. sınıf öğrencileri için uygulanabilir.	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

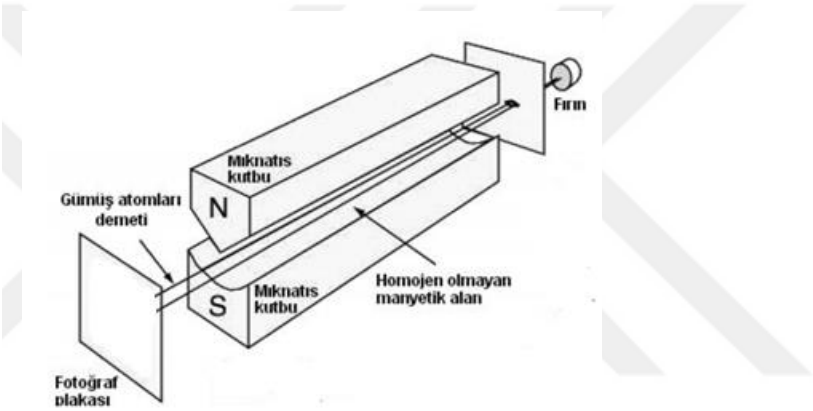
EK 3. Parçacık Fiziği Başarı Testi

1.) Stern-Gerlach deneyi, bir parçacık demetini her yerde aynı yönlü olan fakat şiddeti değişen bir manyetik alan bölgesinden geçirmeye dayanır. Atomun manyetik momentinin, yük dağılımından geldiği fikrine bağlı olarak, homojen olmayan eksen boyunca manyetik momentin izdüşümlerinde demetin sürekli sapmasının beklendiği deney sonucunda, gözlenen ise beklenenden oldukça farklı olmuştur.

Bu deney sonuçlarının açıklanması için bilim insanları hangi kavramı ortaya atmıştır?

……
……..……

2.) Şekilde verilen Stern-Gerlach deney düzeneğinde, fotoğraf plakası üzerinde deneyden önce beklenen izler ve deney sonucunda görülen izler birbirinden oldukça farklı olmuştur.



Şekil. Stern-Gerlach Deney Düzeneği

Buna göre manyetik alan yokken, manyetik alan varken (klasik beklentiye göre) ve deney sonucuna göre görülen izler sizce nasıl olmalıdır? (Çizim yapmanız gerekmektedir)

……
……..……

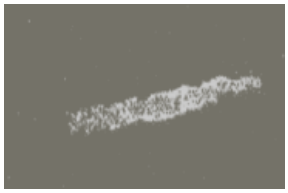
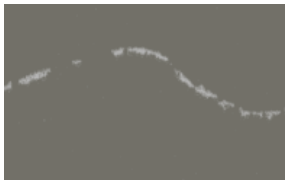
3.) Bulut odası ya da diğer adıyla sis odası deneyi için aşağıda verilen ifadelerde yargılar doğru ise yay ayraç içine "D", yanlış ise "Y" yazınız.

(…) Parçacıkları doğrudan gözlememizi sağlar.

(…) Parçacıkların diğer parçacıklarla etkileşimi sonucunda parçacıkların bıraktıkları izleri gözlememizi sağlar.

(…) Doymuş alkol yerine sıvı olarak su da kullanılabilir.

4.) Bulut odası deneyi yapan öğrenciler aşağıdaki izleri gördüğüne göre, öğrenciler hangi parçacıkları gözlemlemiş olabilirler?

Ali	Ayşe	Veli
		
Çok kısa ve diğer izlere göre kalın olan bir çizgi	Ali'nin gözlemlediği izlere göre uzun ve zikzaklı bir çizgi	Ayşe'nin gözlemlediğine göre uzun ve düz çizgi

……
……

5.) Dünyada doğrusal ya da dairesel olarak çeşitli amaçlarla kurulmuş olan hızlandırıcılar bulunmaktadır. CERN'de yer alan dairesel hızlandırıcı ise Büyük Hadron Çarpıştırıcısı- BHÇ adını almaktadır.

Buna göre BHÇ'nin kuruluş amaçları nedir?

……
……

6.) Standart Modele göre <u>atomun içerisinde</u> hangi temel parçacıkları bulabiliriz?

……
……

7.) Standart Modele göre evrende <u>temel parçacık</u> olarak kabul edilen kaç çeşit kuark vardır?

……
……

8.) Aşağıda evrendeki dört temel kuvvetten X, Y ve Z hakkında kısa açıklamalar verilmektedir.

X →	Temel kuvvetler içerisinde şiddeti en büyük olan kuvvettir.
Y→	Radyoaktif bozunmaların birçoğunda pay sahibidir.
Z →	Temel kuvvetler içerisinde en zayıf olan kuvvettir.

Buna göre yukarıda verilen ifadelerde yer alan X, Y ve Z hangi kuvvetlerdir?

……
……

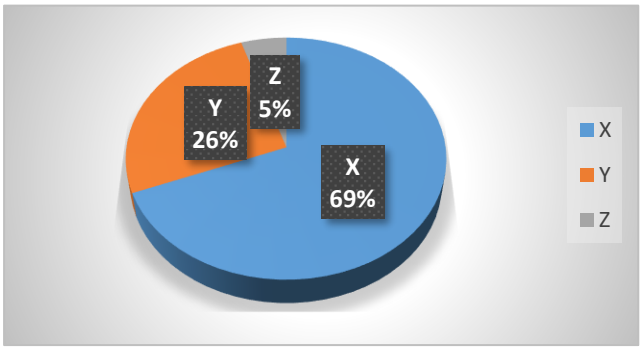
9.) Elektrozayıf etkileşmelerin birleşik teorisi 1960'lı yılların sonlarına doğru kurulmasına rağmen bu etkileşmenin taşıyıcı parçacıkları ise çok geç gözlenmiştir. Bu olayın nedeni ne olabilir?

……
……

10.) Çekirdek içerisinde proton ve nötron yer almaktadır. Nötronlar bilindiği gibi yüksüzdür ancak protonlar yüklüdür ve aynı yükle yüklü olan protonların birbirlerini itmelerini bekleriz. O halde protonların çekirdek içerisinde bir arada kalmalarını sağlayan nedir?

……
……

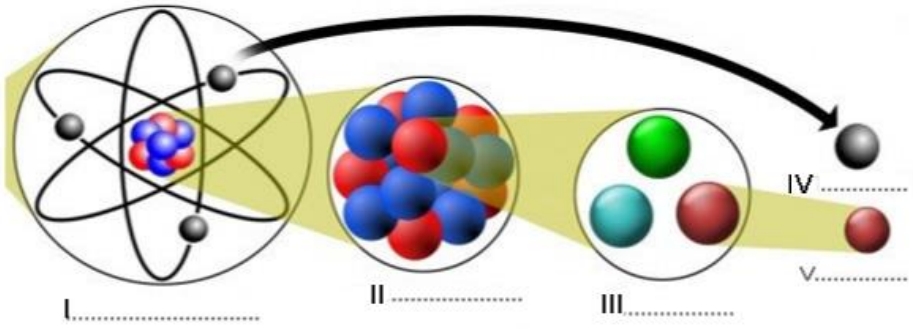
11.) Bilim insanları evrenin nelerden oluştuğuna dair bir araştırma yapmış ve yaklaşık olarak yüzdeleri verilen kavramlardan evrenin tamamının oluştuğunu keşfetmişlerdir.



Buna göre yukarıdaki grafikte verilen X, Y ve Z değerleri hangi kavramlara aittir?

……
……

12.) Günlük yaşamımızdaki maddeyi oluşturan en küçük yapıları modelleyen görsel aşağıdaki gibidir.



Buna göre şekilde verilen numaralarla belirtilen yerlere gelmesi gereken kavramlar nelerdir?

……
……

13.) Kütlesiz parçacık olabilir mi? Eğer varsa hangi parçacıklar standart modele göre kütlesizdir?

……
……

14.) Tüm kuark ve/veya tüm antikuark çeşitlerine sahip olduğunuzu düşünürsek:

•Proton •Antinötron •Tau • Ksi •Lambda

verilen parçacıklardan hangisini <u>oluşturamayız?</u>

……
……..……

15.) Parçacık ve antiparçacığın hangi özellikleri birbirinden farklıdır?

……
……..……

EK 4. Eğitici Kılavuzları

Etkinlik Numarası: 1

Etkinliğin Adı: Stern-Gerlach Deneyi

Etkinliğin Tahmini Uygulama Süresi: 20 dakika

Hedeflenen Kazanım: Stern-Gerlach deneyinin sonuçlarının incelenmesi sağlanarak elektron spini kavramı üzerinde durulur. (FL)

Kullanılan Yöntem ve Teknikler: Anlatım, Boşluk doldurma, Tartışma

Gerekli Araç-Gereçler: Etkinlik Çalışma Yaprağı (EÇY-1)

I. Aşama: Stern-Gerlach deneyinin sonuçlarını tahmin etme

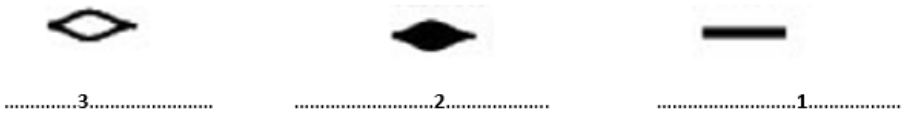
Teknik: Anlatım, Boşluk doldurma, Tartışma

Yönerge: Katılımcılardan EÇY-1'de yer alan 'Stern-Gerlach Deneyi' hakkındaki metni okumaları istenir. Aynı zamanda etkinliği uygulayan eğitici tarafından da sesli okunması dikkat çekici olacaktır.

Metni okuduktan sonra katılımcılardan EÇY-1'in ikinci sayfasındaki Stern-Gerlach deneyinin sonucunda görülen izler hakkındaki "Sizce aşağıda yer alan ve fotoğraf filmi üzerinde oluşan çizgiler hangi durumlara ait olabilir? 1- Klasik fizik görüşüne göre manyetik alan yokken beklenen 2- Klasik fizik görüşüne göre manyetik alan varken beklenen (Bohr modeline göre) 3-Deney sonucunda gerçekte oluşan?" soruyu cevaplamaları istenir. Bunun için EÇY-1'de yer alan üç şeklin verilen numaralardaki durumlarla eşleştirilmesi gereklidir. Cevaplarını bireysel olarak EÇY-1'de verilen boşluğa kaydetmeleri için gerekli zaman verilir.

Katılımcılar eşleştirmeyi bireysel olarak yaptıktan sonra cevaplarını paylaşmaları istenir. Verilen her boşlukla ilgili cevaplar grupla tartışılarak değerlendirilir. Eşleştirmeler hakkında bilgilendirme yapılarak tüm doğru sonuçlar açıklanır. EÇY-1'in üçüncü ve dördüncü sayfasında bulunan ve deney sonucunda görülen izler ve spin kavramı hakkında verilen ayrıntılı metni okumaları da istenebilir. Metnin bu kısmında bilim insanlarının Stern-Gerlach deneyi sonucu hakkında yaptıkları spine dair çalışmalar ve açıklamalar ayrıntılı olarak yer almaktadır.

Stern-Gerlach deneyinde gümüş atomlarının fotoğraf plakası üzerinde olması gerektiği düşünülen ve gerçekte olan izlerin hangi durumlara ait olduğuna dair doğru cevaplar Şekil 1.1'de verilmektedir.



Şekil 1.1. Stern-Gerlach Deneyinde görülen izlere ait doğru cevaplar

Etkinlik Numarası: 2

Etkinliğin Adı: Sis (Bulut) Odası Deneyi

Etkinliğin Tahmini Uygulama Süresi: 60 dakika

Hedeflenen Kazanım: Öğrencilerin sis odası deneyini araştırmaları ve üzerinde tartışmaları sağlanır. (FL)

Kullanılan Yöntem ve Teknikler: Gösteri deneyi (Deney), Anlatım, Gözlem, Soru-Cevap, Tartışma

Gerekli Araç-Gereçler: Etkinlik Çalışma Yaprağı (EÇY-2), üstü açık şeffaf plastik kap (20 x 30 x 15 cm), kalın keçe (20 x 30 x 0.5 cm), raptiye (4 adet), siyah tepsi (20 x 30 cm), katı karbondioksit (10 x 15 cm boyutlarında iki blok), LED Fener, Izopropanol, koruyucu eldiven ve gözlük (1 adet), oyun hamuru (1 adet), karanlık ortam.

NOT: Yukarıdaki malzemeler bir deney setini oluşturmak içindir. Grup sayısı kadar malzeme sayısı arttırılırsa, her grubun deneyi yapması sağlanabilir. Deney yapma imkanı yoksa deney videosu izletilebilir (https://www.youtube.com/watch?v=xky3f1aSkB8&t=118s).

Güvenlik Önlemleri:

Laboratuvar önlüğünüzü giyiniz.

Kuru buza direk temastan kaçınınız. Soğuk yanıklarını önlemek amacıyla koruyucu eldiven kullanınız.

Alkolle keçeyi ıslatma işleminde koruyucu gözlük kullanınız.

I. Aşama: Sis odası deneyinde oluşan izlerin verilen üç parçacıktan hangisine ait olacağını tahmin etme

Teknik: Gösteri deneyi, Anlatım, Gözlem, Soru-cevap, Tartışma

Yönerge: Katılımcılara Etkinlik Çalışma Yaprağı (EÇY-2) dağıtılır. EÇY-2'deki sis odası deneyi hakkında verilen metni okumaları istenir. Aynı zamanda etkinliği uygulayan eğitici tarafından da sesli okunması dikkat çekici olacaktır. EÇY-2'de verilen malzemeler yardımıyla araştırmacı tarafından Şekil 2.1'deki deney düzeneği hazırlanır.

Ortam karartılarak katılımcılardan LED lambaları ile düzeneğin içerisinde oluşan izleri gözlemlemesi istenir. Zeminde bulut şeklinde oluşumlar için bir süre beklenmelidir.



Şekil 2.1 Sis Odası Deney Düzeneği

NOT: Deney için yeterli malzeme varsa katılımcılardan gruplara ayrılması istenir. Her gruba deney için gerekli olan malzemeler verilir ve deney düzeneğinin hazırlanmasına geçilir. Katılımcılardan şu adımları gerçekleştirmesi istenir.

- Kabın içerisine keçeyi yerleştiriniz ve raptiyeler yardımıyla keçeyi kaba dört köşesinden tutturunuz.
- Koruyucu gözlük takarak keçeyi Izopropanol alkol ile ıslatınız. Eğer fazla ıslatırsanız kabın kenarında Izopropanol alkol birikecektir. Bu durumda kabın kenarından fazla alkolü akıtarak boşaltınız.
- Koruyucu eldivenleri giyerek katı karbondioksit bloklarını tepsinin altına yerleştiriniz. Kabı da ters çevirerek tepsinin üzerine yerleştiriniz.
- Kabın içerisindeki alkol buharının dışarıya sızmaması için tepsi ile kabın kenarları oyun hamuru ile sıkıca kapatılmalıdır.
- Odanın karanlık olması sağlandıktan sonra LED fener ile deneyi gözlemlemeniz gereklidir. Deney düzeneği, ışık kaynağını tepsiye paralel olacak şekilde tutularak gözlemlenmelidir.

Katılımcılar deney düzeneğinde parçacıkların nasıl iz bıraktığı hakkında daha fazla bilgiye ihtiyaç duyarsa aşağıdaki açıklama yapılabilir:

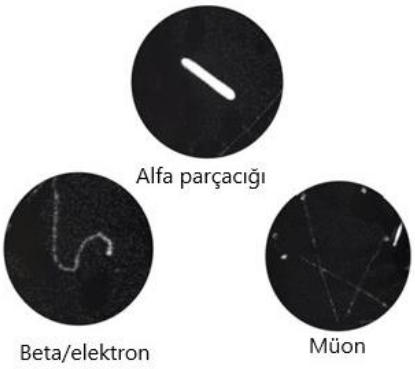
“Sis odası en eski parçacık algıçlarından yani dedöktörlerindedir. Parçacık fiziğinde pek çok keşfe neden olmuştur. Temelde aşırı doymuş alkol buharı içeren kapalı bir ortamdır; bu yüzden benzer gereçler gibi oda adıyla anılır. Odadan içeri giren yüklü parçacıklar, izledikleri yol boyunca enerji bırakarak alkol buharını yoğunlaştırır ve bulut gibi izler bırakır. Bu parçacıklar (müonlar, elektronlar ve helyum çekirdekleri) odanın içinden geçtiğinde, alkol moleküllerini iyonlaştırır. İyonlaşan bu moleküller odanın merkezinde sıvı alkolden oluşmuş çizgiler gibi görünürler (İyonlaşmış bu moleküller ara fazdaki alkole tutunurlar ve parçacıkların izleri gözlemlenir). Her bir parçacık farklı izler bırakır.”

Katılımcıların EÇY-2'nin üçüncü sayfasındaki "Deney sırasında gördüğünüz izlerin şeklini çiziniz. Ayrıca bu parçacıkların ne olduğu hakkında bir tahminde bulununuz: elektron, müon ve alfa?" soruyu bireysel olarak gözlem formuna cevaplamaları istenir.

Katılımcılar gözlem formunda verilen boşlukları bireysel olarak doldurduktan sonra cevaplarını paylaşmaları istenir. Verilen her boşlukla ilgili cevaplar grupla tartışılarak değerlendirilir. Çizimler ve parçacık tahminleri hakkında bilgilendirme yapılarak tüm doğru sonuçlar açıklanır.

"Kısa ve kalın izler atmosferden gelen radon gazından yayılan alfa parçacıklarıdır. Çok düşük enerjili oldukları için çok kısa izler bırakırlar. Uzun ve düz çizgiler kozmik müonların bıraktığı izlerdir. Ağır parçacıklar olduğundan temiz ve uzun izler bırakırlar. Eger izler zig-zag şeklinde ise bu izler elektron ya da pozitrona ait izlerdir."

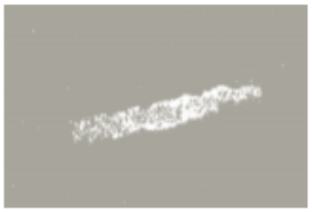
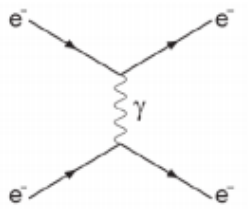
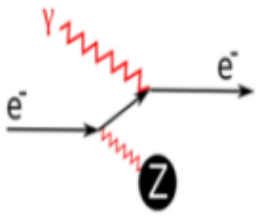
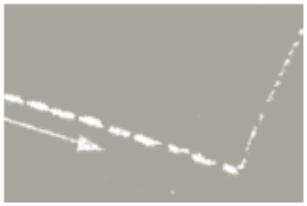
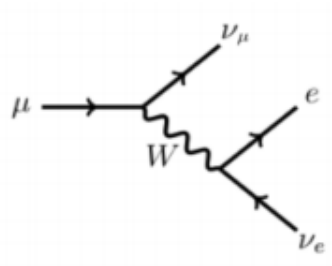
Katılımcılardan beklenen çizimlere örnek Şekil 2.2'de yer almaktadır.

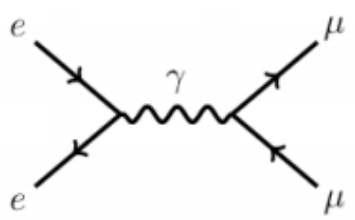


Şekil 2.2. Sis odası deneyinde oluşan izlere ait doğru cevaplar

Katılımcılar bu izler dışında farklı izler hakkında daha ayrıntılı bilgiye ihtiyaç duyması halinde aşağıdaki gerçek izlere ait fotoğraflardan ve açıklamalardan faydalanılabilir.



	α Parçacık Sistemi	Kalın düz izler (yaklaşık 5 cm): - alfa parçacık sistemleri (2p2n) - Yüksek "iyonizasyon yoğunluğu" olan büyük parçacık sistemleri (alfa için: 1 MeV / cm) - kaynak: Radon-222 gazı doğal radyasyon
	Elektron 	Kıvırcık / Kavisli parçıklar: - Yavaş elektronlar elektromanyetik etkileşim yoluyla diğer elektronlarla saçılır - bir parçacık momentumu düştükçe daha çok saçılır
	Fotoelektron 	- Fotoelektronlar, yüksek enerjili fotonlar tarafından serbest bırakılan düşük enerjili elektronlardır (Fotoelektrik etki yoluyla)
	Müon Dönüşümü 	Bu, bir elektron ve iki nötrinoya dönüşen bir müon olabilir! Müon dönüşümü, beta yayıcılar, fotoelektrik etki

Y	Elektron –Müon – Saçılım  	Y-şeklinde: Elektromanyetik saçılım yoluyla atoma bağlı bir elektrona çarpan bir müon olabilir.

Etkinlik Numarası: 3

Etkinliğin Adı: CERN'de Neler Oluyor?

Etkinliğin Tahmini Uygulama Süresi: 20 dakika

Hedeflenen Kazanım: Öğrencilerin sunumlarında CERN'de yapılan çalışmaların büyük patlama ile bağlantısını tartışmaları sağlanır. (FL)

Kullanılan Yöntem ve Teknikler: Anlatım, Boşluk doldurma, Tartışma

Gerekli Araç-Gereçler: Etkinlik Çalışma Yaprağı (EÇY-3)

I. Aşama: CERN'de araştırılan soruların cevaplarını tahmin etme

Teknik: Anlatım, Boşluk doldurma

Yönerge: Katılımcılara EÇY-3 dağıtılarak CERN'i tanıtmak için kısa bir sunum yapılır. Sunumda CERN'in isminin anlamı, nerede ve hangi amaçla kurulduğu bilgisi yer almaktadır. Bu bilgiler aynı zamanda EÇY-3'te de yer almaktadır. CERN'de parçacıkların nasıl hızlandırıldığı kısaca açıklanır. Katılımcılar daha ayrıntılı açıklamalara diğer etkinliklerde ulaşacaklardır. Bu etkinlikte yalnızca CERN'in çalışma alanı ve Büyük Patlama ile ilgili olan ilgisi tartışılacaktır.

Katılımcılara parçacık fiziği alanında çeşitli çalışmalarda bulunan bilim insanlarının hızlandırıcılarda bulmaya çalıştıkları soruların bulunduğu EÇY-3'ün üçüncü sayfasını incelemeleri istenir. Aynı zamanda etkinliği uygulayan eğitici tarafından da sesli okunması dikkat çekici olacaktır. Katılımcılardan numaralandırılmış soruları, harflerle kodlanmış cevaplarla bireysel olarak eşleştirmesi istenir. Katılımcıların cevaplarını EÇY-3'e kaydetmeleri için gerekli zaman verilir.

II Aşama: Bireysel boşluk doldurma çalışmasının değerlendirilmesi

Teknik: Tartışma, Anlatım

Yönerge: Katılımcılar EÇY-3'te verilen boşlukları bireysel olarak doldurduktan sonra cevaplarını paylaşmaları istenir. Verilen her boşlukla ilgili cevaplar grupla tartışılarak değerlendirilir. Katılımcılardan soru için eşleştirdiği metni okuması istenir. Eşleştirmeler hakkında bilgilendirme yapılarak tüm doğru sonuçlar açıklanır. Bilim insanlarının hızlandırıcılarda araştırdıkları numaralandırılmış sorular ve harflerle kodlanmış cevapları eşleştirilme çalışmasına ait doğru cevaplar Şekil 3.1'de verilmektedir.





Şekil 3.1 Hızlandırıcılarda aranan sorularla ilgili doğru cevaplar

Etkinlik Numarası: 4

Etkinliğin Adı: Parçacık Bulmacasının Parçaları

Etkinliğin Tahmini Uygulama Süresi: 20 dakika

Hedeflenen Kazanım: Öğrencilerin atom altı parçacıkları standart model çerçevesinde tanımlamaları sağlanır. (AL + FL)

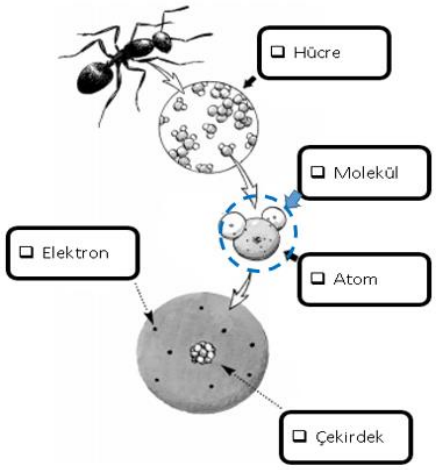
Kullanılan Yöntem ve Teknikler: Boşluk doldurma, Soru-cevap, Anlatım, Tartışma,

Gerekli Araç-Gereçler: Etkinlik Çalışma Yaprağı (EÇY-4)

I. Aşama-a: Katılımcıların elektron, atom, çekirdek, molekül ve hücre kavramları hakkında ön bilgilerini öğrenme

Teknik: Boşluk doldurma

Yönerge: Katılımcılardan EÇY-4'ün ilk sayfasında yer alan "Aşağıdaki şekil bir karıncayı oluşturan ögeleri göstermektedir. Şeklin yanında verilen ögeleri kutucuklara yazınız." sorusunu bireysel olarak cevaplamaları istenir. Bir karıncanın nelerden oluştuğunun bireysel olarak tahmin edilmesi ve verilen ögelerin kutucukları yazılması istenir. Temel parçacık kavramına geçmeden önce elektron, atom, çekirdek, molekül ve hücre kavramları hakkında katılımcıların ön bilgisini tespit etmeye ve konuya olan ilgiyi artırmaya yönelik olan bu boşluk doldurma çalışması ile, katılımcıların zihinlerinde bir soru işareti oluşturulmak istenmiştir. Cevapların yazılması için katılımcılara yeterli zaman verilir. Katılımcılardan cevaplarını paylaşmaları istenmez. Katılımcıların ön bilgilerinin tespit edilmesi amacıyla daha sonra incelenecektir. Katılımcılardan beklenen doğru cevaba yönelik eşleştirme Şekil 4.1'de yerilmektedir.



Şekil 4.1 Karıncayı oluşturan parçalara ait doğru cevaplar

I. Aşama-b: Temel parçacık kavramı hakkındaki tahminleri öğrenme

Teknik: Soru-cevap

Yönerge: Katılımcılardan EÇY-4'ün ilk sayfasında yer alan "Temel parçacık kavramı için tahminlerinizi yazınız." sorusunu bireysel olarak cevaplamaları istenir. Katılımcıların temel parçacık olarak hangi kavrama sahip oldukları öğrenmek için sorulan soruya yönelik tahminlerini EÇY-4'te verilen kısma bireysel olarak yazmaları istenir. Temel parçacık kavramına yönelik

katılımcıların ön bilgisini tespit etmeye ve konuya olan ilgiyi artırmaya yönelik çalışma ile, katılımcıların zihinlerinde bir soru işareti oluşturulmak istenmiştir. Cevapların yazılması için katılımcılara yeterli zaman verilir. Katılımcılardan cevaplarını paylaşmaları istenmez. Katılımcıların ön bilgilerinin tespit edilmesi amacıyla daha sonra incelenecektir. Katılımcılardan beklenen doğru cevaplar Standart Model'de yer alan parçacık isimleri olacaktır. Kendinden daha alt bölümlere ayrılmayan ve günümüz teknolojisine göre henüz bir iç yapısı olduğunun tespit edilemediği parçacık isimleri kabul edilir. Bunlar kuarklar, leptonlar ve kuvvet taşıyıcılarıdır.

II. Aşama: Proton ve nötronun kuark bileşimini tahmin etme

Teknik: Anlatım, Boşluk doldurma, Tartışma

Yönerge: Katılımcılardan EÇY-4'ün ikinci sayfasında yer alan 'Temel Parçacıklar' metnini okumaları istenir. Aynı zamanda etkinliği uygulayan eğitici tarafından da sesli okunması dikkat çekici olacaktır. Kuarkların bir proton ve nötronu nasıl oluşturduğunu öğrenmek için katılımcılardan EÇY-4'te yer alan Kuark Şeması'nı inceleyerek ve Kuark Reçete Kuralları'na uyarak proton ve nötronu oluşturan kuark bileşimini, EÇY-4'te verilen kısma bireysel olarak yazmaları istenir. Katılımcılar Şekil 4.2'de verilen boşlukları bireysel olarak doldurduktan sonra cevaplarını paylaşmaları istenir.

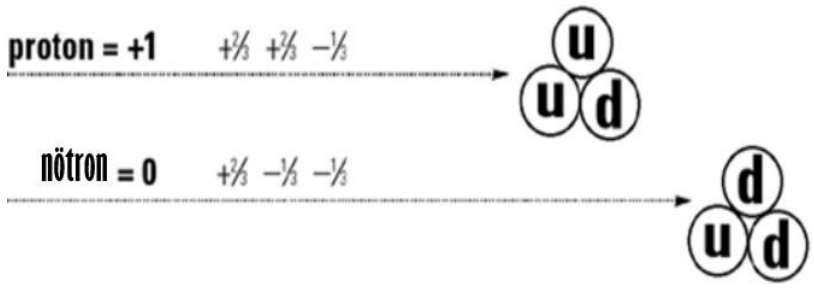
Katılımcılar "Kuark Reçete Kuralları"ndan muhtemelen aşağıdakileri sonuçları çıkaracaktır:

Tariflerinde yalnızca 1. nesil (yukarı ve aşağı) kuarkları kullanmaları gerektiği

Bir proton ve nötron oluşturmak için birden fazla kuark kullanmaları gerektiği

Net tamsayı yükü 1 olan bir proton ve 0 yüklü bir nötron oluşturmaları gerektiği

Elde ettikleri sonuçları kullanarak proton ve nötronların kuark bileşimi grupla tartışılarak değerlendirilir. Proton ve nötronu oluşturan kuarklar hakkında bilgilendirme yapılarak doğru sonuçlar açıklanır. Proton ve nötronu oluşturan kuarkların tahminine yönelik çalışmaya ait doğru cevaplar Şekil 4.2'de verilmektedir.



Şekil 4.2 Proton ve Nötronun kuark bileşimine ait doğru cevaplar

Katılımcılardan EÇY-4'ün son sayfası olan üçüncü sayfasında yer alan metni okumaları istenir. Aynı zamanda etkinliği uygulayan eğitici tarafından da sesli okunması dikkat çekici olacaktır.

"Temel parçacıklar sınıfında yalnızca kuarklar yer almaz. Parçacık fiziği denilen alanla uğraşan fizikçiler temel parçacıkları bulma çabaları sonucunda, bu parçacıkları bir düzen içerisinde

gösteren bir tablo oluşturmuşlardır. Temel parçacıkları içeren fizikteki periyodik cetvelin adına Standart Model denilmiştir.”

Katılımcıların u ve d kuarkları dışında daha fazla kuark ve diğer temel parçacıkların da olduğunu, bunların bilim insanları tarafından yük ve kütle özelliklerine göre bir düzenleme yapıldığından bahsedilir. Buna Standart Model adı verildiği üzerinde durulur. Ancak daha fazla ayrıntılı bilgi verilmez.

Etkinlik Numarası: 5

Etkinliğin Adı: Kuark Kart Oyunu

Etkinliğin Tahmini Uygulama Süresi: 60 dakika

Hedeflenen Kazanım: Öğrencilerin atom altı parçacıkları standart model çerçevesinde tanımlamaları sağlanır. (AL + FL)

Kullanılan Yöntem ve Teknikler: Soru-cevap, Anlatım, Boşluk doldurma, Tartışma, Beyin fırtınası

Gerekli Araç-Gereçler: Etkinlik Çalışma Yaprağı (EÇY-5), Kuark Kart Oyunu kartları (18 farklı renkte kuark, 18 farklı renkte anti kuark (grup sayısı x 36 adet kart)

NOT: Kartları hazırlamak için katılımcıların ellerine sığabilecek boyuttaki kâğıtlara renkli çıktılar alınıp, aynı ebattaki sert kartonlara yapıştırarak oyun kartlarını elde edebilirsiniz. Aşağıda kartların nasıl olabileceğine dair örnekler yer almaktadır.

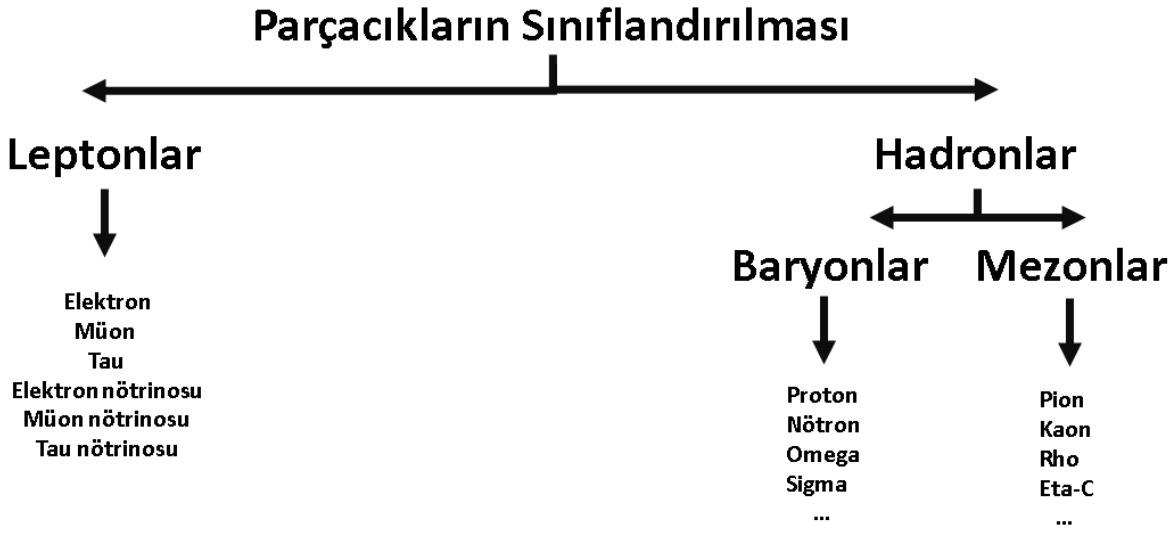
Parçacık İsmi	Kuark Oyun Kartı	Parçacık İsmi	Kuark Oyun Kartı
Yukarı kuark (Renk yükü mavi)		Anti yukarı kuark (Renk yükü anti mavi)	
Aşağı kuark (Renk yükü kırmızı)		Anti aşağı kuark (Renk yükü anti kırmızı)	
Acayip kuark (Renk yükü yeşil)		Anti acayip kuark (Renk yükü anti yeşil)	

I. Aşama-a: Parçacık sınıflarına dair ön bilgileri öğrenme

Teknik: Boşluk doldurma

Yönerge: Katılımcılara EÇY-5 dağıtılır. Katılımcıların EÇY-5'in ilk sayfasında yer alan metni ve Şekil 5.1'i incelemeleri istenir. Aynı zamanda etkinliği uygulayan eğitici tarafından da sesli okunması dikkat çekici olacaktır. Katılımcıların parçacık gruplandırmasına ait olan ön bilgisi öğrenilmek istenmektedir. Bu nedenle EÇK-5'te yer alan "Bilim insanları bu parçacık gruplarını

isimlendirerek bir sınıflandırma yapmıştır. Bu parçacık gruplarının isimleri Şekil 5.1'de yer almaktadır. Bu gruplar içerisinde olduğunu düşündüğünüz parçacık isimlerini yazınız." yönergesi verilerek katılımcıların Şekil 5.1'i bireysel olarak doldurmaları istenir. Cevapların yazılması için katılımcılara yeterli zaman verilir. Katılımcılardan cevaplarını paylaşmaları istenmez. Katılımcıların parçacık sınıflarına ait parçacık isimleri hakkındaki ön bilgilerinin tespit edilmesi amacıyla cevapları daha sonra incelenecektir. Katılımcılardan beklenen doğru yanıtlar Şekil 5.1'de verilmektedir.



Şekil 5.1 Parçacıkların Sınıflandırılması

I. Aşama-b: Verilen mezon ve baryonun yüklerini hesaplama

Teknik: Anlatım, Boşluk doldurma

Yönerge: Katılımcıların EÇY-5'in ikinci sayfasında bulunan Standart Model ile ilgili metni incelemeleri istenir. Aynı zamanda etkinliği uygulayan eğitici tarafından da sesli okunması dikkat çekici olacaktır. Kuarklar, leptonlar ve bozonlar grubuna ait olan parçacıkların isimleri belirtilmelidir. Aynı zamanda spinlerine göre parçacıkların fermiyon ve bozon olarak sınıflandırıldığından da bahsedilir. Bir kuark türünden neden üç farklı rengin olduğu hakkında ise EÇY-5'in üçüncü sayfasında yer alan Kuantum Renk Dinamiği hakkında açıklama yapılır. Katılımcıların Kuark Kart Oyunu'na geçmeden önce bazı mezon ve baryon örneklerini bilmeleri gerekmektedir. Bunun için Standart Model'de verilen kuarkların yük değerlerinden yararlanarak Tablo 5.1'de verilen 6 mezon ve baryonun net yük değerlerinin bireysel olarak hesaplayıp, tabloya yazması istenir.

NOT: Tablo 5.1'de üstü çizili olarak verilen kuarkların anti kuark olduğu belirtilmelidir. Anti parçacık hakkında kısa bir açıklama yapılması gerekebilir. Parçacığın zıt kuantum mekaniksel özelliklere sahip bir kardeşi olduğu söylenebilir. Örneğin elektronun anti parçacığı pozitron adı verilen bir parçacıktır ve elektronun aksine yükü pozitiftir.

Katılımcılar Tablo 5.1'de verilen boşlukları bireysel olarak doldurduktan sonra cevaplarını paylaşmaları istenir. Verilen her boşlukla ilgili cevaplar grupla tartışılarak değerlendirilir. Eşleştirmeler hakkında bilgilendirme yapılarak tüm doğru sonuçlar açıklanır. Verilen mezon ve baryonların net yüklerine ait doğru cevaplar Tablo 5.1'de verilmektedir.

Tablo 5.1

Mezon ve Baryonların Net yükleri

Mezon (Kuark + Anti kuark)

Parçacığın Adı	Parçacığın Simgesi	Parçacığın Bileşimi	Kuark	Parçacığın Net Yükü
Pion	π^+	u$\bar{d}$		+1e
Kaon	K^-	s$\bar{u}$		-1e
B-zero	B^0	$d\bar{b}$		0
Eta-C	η_C	$c\bar{c}$		0
D	D^+	$c\bar{d}$		+1e
Rho	ρ^+	$u\bar{d}$		+1e

Baryon (Kuark + Kuark + Kuark)

Parçacığın Adı	Parçacığın Simgesi	Parçacığın Bileşimi	Kuark	Parçacığın Yükü

Proton	P	uud	+1e
Nötron	N	udd	0
Labmda	Λ	uds	0
Omega	Ω^-	sss	-1e
Sigma	Σ^+	uus	+1e
Sigma	Σ^0	uds	0

II. Aşama: Verilen kuark kartlarının mezon/baryon yapmak amacıyla eşleştirilmesi

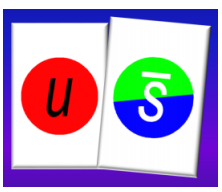
Teknik: Eğitsel oyun

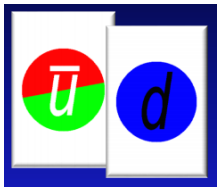
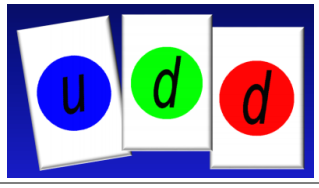
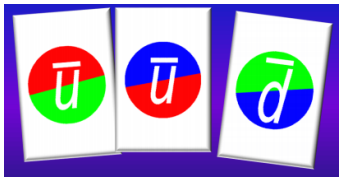
Yönerge: Katılımcıların EÇY-5'in beşinci sayfasında bulunan metni incelemeleri istenir. Etkinliğe adını veren oyuna başlanması için katılımcıların dört kişilik gruplara ayrılması istenir. Her gruba 36 adet kart dağıtılır ve EÇY-5'te yer alan Kuark Kart Oyunu kuralları açıklanır. Oyunun amacına göre oluşturan kuark bileşimlerini EÇY-5'te verilen tabloya not etmeleri gerekmektedir. En fazla doğru birleşimi en kısa sürede yapan oyunu kazanacaktır.

Kuark Kart Oyunu tamamlandıktan sonra katılımcıların EÇY-5'e not ettikleri kuark bileşimlerini kontrol edilmelidir. Tablo 5.1'de verilen baryon ve mezon kuark bileşimleri yanıt olarak kabul edilir. Katılımcılardan beklenen yanıtlar ve kartlara örnek Tablo 5.2'de verilmektedir.

Tablo 5.2

Kuark kart oyununa ait doğru cevaplara örnekler

Parçacığın İsmi	Parçacığı Oluşturan Kartlar
Anti-kaon	

Anti-pion	
Nötron	
Anti-proton	

Etkinlik Numarası: 6

Etkinliğin Adı: Etkileşimlerin Doğası

Etkinliğin Tahmini Uygulama Süresi: 20 dakika

Hedeflenen Kazanım: Dört temel kuvvetin açıklanması sağlanır. (AL + FL)

Öğrencilerin, atom altı parçacıklar arasındaki etkileşim kuvvetini açıklamaları sağlanır. (FL)

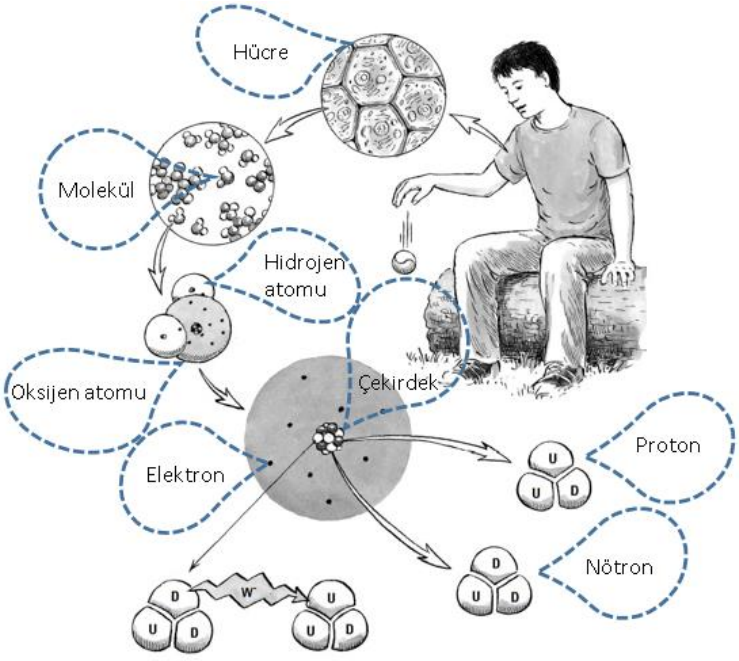
Kullanılan Yöntem ve Teknikler: Boşluk doldurma, Anlatım, Tartışma, Beyin fırtınası

Gerekli Araç-Gereçler: Etkinlik Çalışma Yaprağı (EÇY-7)

I. Aşama: Katılımcıların hücreden kuarka kadar olan kavramlar hakkındaki ön bilgileri öğrenme

Teknik: Boşluk doldurma

Yönerge: Katılımcılara EÇY-6 dağıtılarak, EÇY-6'nın birinci sayfasında bulunan Şekil 6.1'de yer alan boşluklara verilen uygun kavramlar ile doldurmaları istenir. Katılımcıların hücreden kuarka kadar olan kavramlar hakkındaki ön bilgileri tespit etmeye ve konuya olan ilgiyi artırmaya yönelik olan bu soru ile, katılımcıların zihinlerinde bir soru işareti oluşturulmak istenmiştir. Cevapların yazılması için katılımcılara yeterli zaman verilir. Katılımcılardan cevaplarını paylaşmaları istenmez. Katılımcıların makro sistemden mikro sisteme kadar olan kavramlar hakkındaki ön bilgilerinin tespit edilmesi amacıyla daha sonra incelenecektir. Şekil 6.1'de katılımcılardan beklenen doğru cevaplar verilmektedir.



Şekil 6.1 Makro sistemden mikroya

II. Aşama: Etkileşimlerin özelliklerini tahmin etme

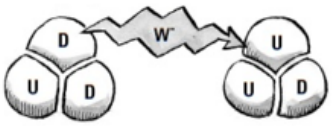
Teknik: Anlatım, Boşluk doldurma, Tartışma

Yönerge: Katılımcılara EÇY-6'nın ikinci sayfasında yer alan 'Dört Temel Etkileşim' hakkındaki metni okumaları istenir. Aynı zamanda etkinliği uygulayan eğitici tarafından da sesli okunması dikkat çekici olacaktır.

Katılımcılardan EÇY-6'nın üçüncü sayfasında yer alan Tablo 6.1 'Etkileşimlerin Doğası'nı incelemeleri ve 'Dört Temel Etkileşim' hakkındaki metinden yararlanarak tabloyu bireysel olarak doldurmaları istenir. Katılımcıların cevaplarını yazmaları için gerekli zaman verilir. Katılımcılar Tablo 6.1'de verilen boşlukları bireysel olarak doldurduktan sonra cevaplarını paylaşmaları istenir. Verilen her boşlukla ilgili cevaplar grupla tartışılarak değerlendirilir. Etkileşimlerin özellikleri hakkında bilgilendirme yapılarak tüm doğru sonuçlar açıklanır. Etkileşimlerin doğası tablosuna ait doğru cevaplar Tablo 6.1'de verilmektedir.

Tablo 6.1

Etkileşimlerin Doğasına ait doğru cevaplar

Etkileşimi Gösteren Şekil	Etkileşimin Adı	Etkileşime aracılık eden (ettiğini düşünülen) parçacık	Etkileşimin Menzili (Sonsuz/Kısa)
	Kütleçekimsel etkileşim	Graviton	Sonsuz
	Elektromanyetik Etkileşim	Foton	Sonsuz
	Güçlü Nükleer Etkileşim	Gluon	Kısa
	Zayıf Nükleer Etkileşim	W^-, W^+, Z^0	Kısa

III. Aşama: Vücudumuzda hangi etkileşimlerin olabileceğinin tartışılması

Teknik: Beyin fırtınası

Yönerge: Katılımcılara EÇY-6'nın üçüncü sayfasında yer alan "Siz nelerden oluşursunuz? Hangi etkileşimler sizi bir arada tutar?" sorusunu bireysel olarak cevaplamaları istenir. Katılımcıların vücudumuzda bulunan etkileşimler hakkında görüş bildirmesi için katılımcılar teşvik edilir. Konu hakkında fikirlerini belirtmeleri için zaman verilir. Tartışmaların bitiminde fikirler analiz edilerek doğru olan kavramlar açıklanır. Katılımcılara şu açıklama yapılabilir: "Vücudumuzda pek çok element ve mineraller bulunur: Oksijen (%65), Karbon (%18), Hidrojen (%10), Azot (%3), Kalsiyum (%1.5), Fosfor (%1.0), Potasyum (%0.35)… Tüm vücudumuz hücrelerden, hücreler ise atom ve moleküllerden oluşur. Atomlar, elektromanyetik etkileşimle bir arada tutulur. Elektromanyetik etkileşim atomları moleküllere de bağlar. Kuarkları protonlara ve nötronlara bağlayan ve protonları ve nötronları bir atomun çekirdeğinde tutan ise güçlü nükleer etkileşimdir."

Etkinlik Numarası: 7

Etkinliğin Adı: Etkileşimlerin Süreci

Etkinliğin Tahmini Uygulama Süresi: 20 dakika

Hedeflenen Kazanım: Abdus Salam, Sheldon Lee Glashow ve Steven Weinberg'in Nobel ödülünü elektromanyetik ve zayıf kuvvetin birleşik bir kuvvet görünümünde olduğunu keşfetmeleri üzerine aldıkları vurgulanır. (AL + FL)

Kullanılan Yöntem ve Teknikler: Soru-cevap, Anlatım, Boşluk doldurma, Tartışma, Beyin fırtınası

Gerekli Araç-Gereçler: Etkinlik Çalışma Yaprağı (EÇY-7)

I. Aşama: Elektrozayıf etkileşim hakkında ön bilgileri öğrenme

Teknik: Soru- Cevap

Yönerge: Katılımcılardan EÇK-7'nin ilk sayfasında yer alan "Elektrozayıf etkileşim hakkında bildiklerinizi kısaca yazınız." sorusunu bireysel olarak cevaplamaları istenir. Evredeki dört temel etkileşimden biri olan elektromanyetik ile zayıf nükleer etkileşimin arasındaki ilişkiden ortaya çıkan elektrozayıf etkileşim hakkında ön bilgileri tespit etmeye ve konuya olan ilgiyi artırmaya yönelik olan bu soru ile, katılımcıların zihinlerinde bir soru işareti oluşturulmak istenmiştir. Cevapların yazılması için katılımcılara yeterli zaman verilir. Katılımcılardan cevaplarını paylaşmaları istenmez. Katılımcıların fizik öğretim programındaki 'elektrozayıf etkileşim' kavramı hakkındaki ön bilgilerinin tespit edilmesi amacıyla daha sonra incelenecektir.

Katılımcıların elektrozayıf etkileşim hakkında yaptıkları MEB 12. Sınıf Fizik ve Fen Lisesi Fizik Ders Kitabı'nda yer alan açıklamalar asgari düzeyde yeterli görülebilir. Ders kitaplarındaki açıklamalar ise şöyledir:

"Abdus Salam, Sheldon Lee Glashow ve Steven Weinberg'in elektromanyetik ve zayıf kuvvetin birleşik bir kuvvet görünümünde olduğunu keşfetmeleri üzerine Nobel ödülünü almışlardır." MEB 12. Sınıf Fizik Ders Kitabı s.169

"Abdus Salam, Sheldon Glashow ve Steven Weinberg isimli üç bilim insanı, parçacıkların yüksek enerji düzeylerine ulaştığı durumlarda elektromanyetik ve zayıf kuvvetin birleşik bir kuvvet görünümünde olduğunu keşfetmişlerdir. Bu üç bilim insanına birlikte yaptıkları bu önemli keşiften dolayı 1979 yılında Nobel Fizik Ödülü verilmiştir. Elektromanyetik etkileşim ve zayıf etkileşimi beraber tanımlayan matematiksel modele elektrozayıf teori denir." MEB 12. Sınıf Fen Lisesi Fizik Ders Kitabı s.211

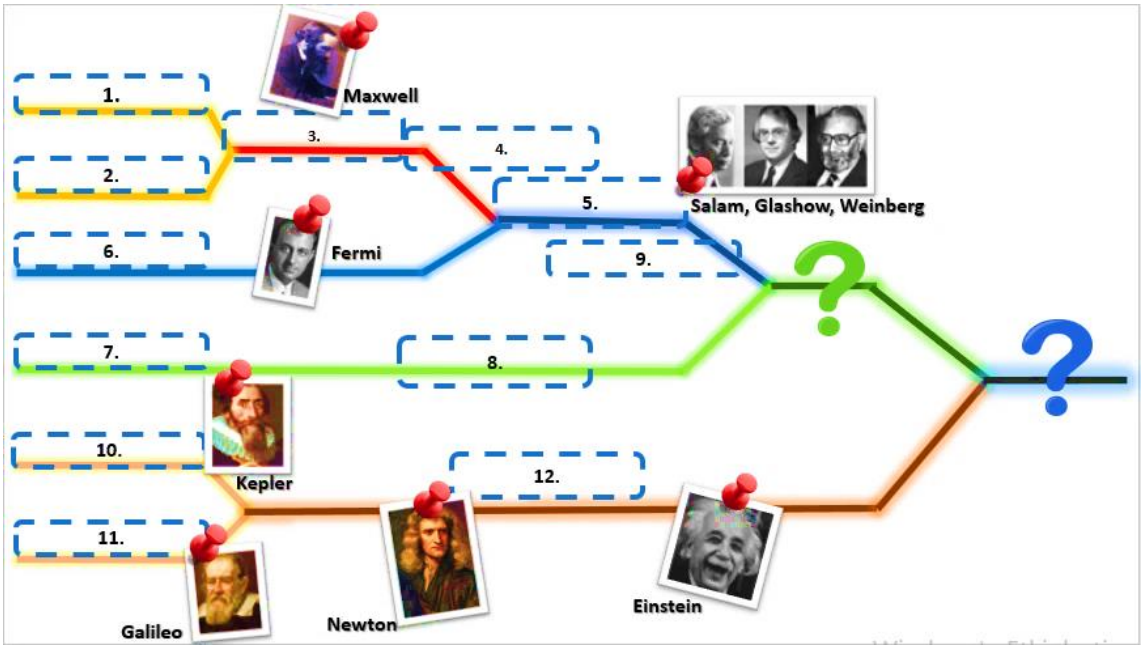
II. Aşama: Temel etkileşimler sürecindeki kavramların tahmin edilmesi

Teknik: Anlatım, Boşluk doldurma, Tartışma

Yönerge: Katılımcılardan EÇK-7'nin ikinci sayfasında yer alan 'Elektrozayıf Etkileşim' hakkındaki metni okumaları istenir. Aynı zamanda etkinliği uygulayan eğitici tarafından da sesli okunması dikkat çekici olacaktır.

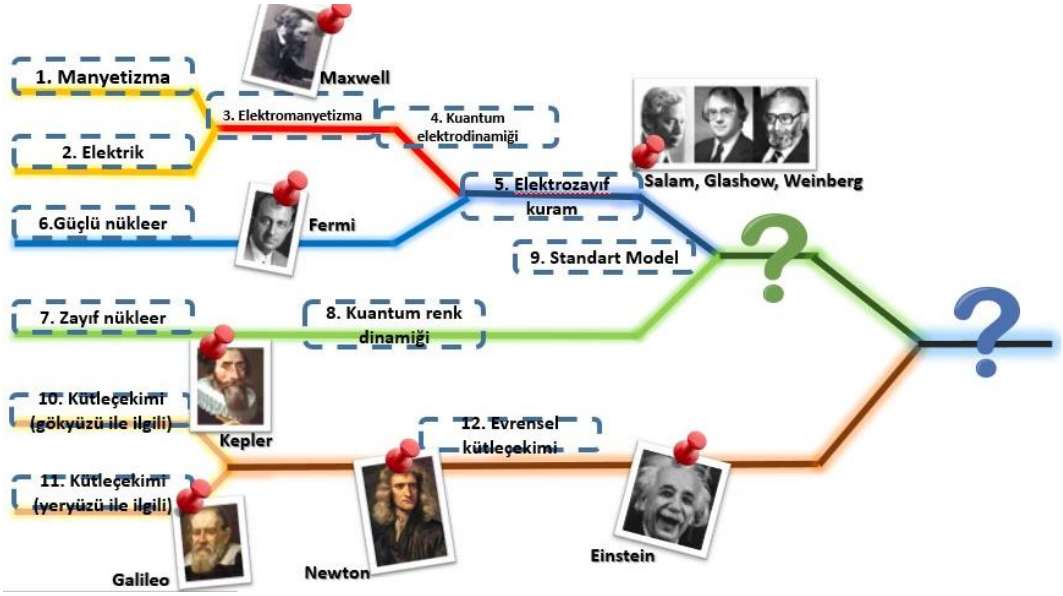
Metni okuduktan sonra katılımcılardan EÇK-7'nin üçüncü sayfasında bulunan Şekil 7.1'deki zaman şeridini incelemeleri istenir. Temel etkileşimlerle bu etkileşimler arasındaki ilişkiyi açıklayan şekildeki numaralandırılmış boşlukları, kendilerine verilen kavramlarla eşleştirmesi

istenir. Bu kavramlar: Manyetizma, Evrensel kütle çekimi, Kuantum elektrodinamiği, Kütle çekimi (yeryüzüyle ilgili), Zayıf nükleer etkileşim, Elektromanyetizma, Elektrozayıf etkileşim, Güçlü nükleer etkileşim, Kütle çekimi (gökyüzü ile ilgili), Standart model, Kuantum renk dinamiği, Elektrik'tir. Bireysel olarak yapılması gereken bu çalışmada 'Elektrozayıf Etkileşim' metninden yararlanabilecekleri belirtilir. Aynı zamanda şekil üzerinde temel etkileşimlerle ilgili çalışmalarda katkıda bulunan bilim insanlarının fotoğraflarının kendilerine yardımcı olması için ilgili kavram üzerine yerleştiği belirtilir.



Şekil 7.1 Zaman Şeridi

Katılımcılar Şekil 7.1'de verilen boşlukları bireysel olarak doldurduktan sonra cevaplarını paylaşmaları istenir. Verilen her boşlukla ilgili cevaplar grupla tartışılarak değerlendirilir. Eşleştirmeler hakkında bilgilendirme yapılarak tüm doğru sonuçlar açıklanır. Zaman şeridindeki numaralandırılmış boşluklarla kavramların eşleştirilme çalışmasına ait doğru cevaplar Şekil 7.2'de verilmektedir.



Şekil 7.2 Zaman Şeridine Ait Cevaplar

III. Aşama: Öğrenilen yeni kavramları farklı durumlarda kullanma

Teknik: Beyin Fırtınası

Yönerge: Şekil 7.1'de yer alan iki soru işaretinin yerine hangi kavramların gelebileceği hakkında görüş bildirilmesi için katılımcılar teşvik edilir. Elektrozayıf etkileşimle güçlü nükleer etkileşimin birleşimiyle, bu kavramla evrensel kütleçekiminin birleşimi hakkında fikirlerini belirtmeleri için zaman verilir. Tartışmaların bitiminde fikirler analiz edilerek doğru olan kavramlar açıklanır. Soru işareti olan yerlere gelmesi gereken doğru cevaplar sırasıyla Büyük Birleşme Kuramı ve Herşeyin Teorisi'dir.

Etkinlik Numarası: 8

Etkinliğin Adı: Atom Altı Parçacıklardan Maddeye

Etkinliğin Tahmini Uygulama Süresi: 30 dakika

Hedeflenen Kazanım: Atom altı parçacıklardan başlayarak madde oluşumunun modelle açıklanması sağlanır. (AL +FL)

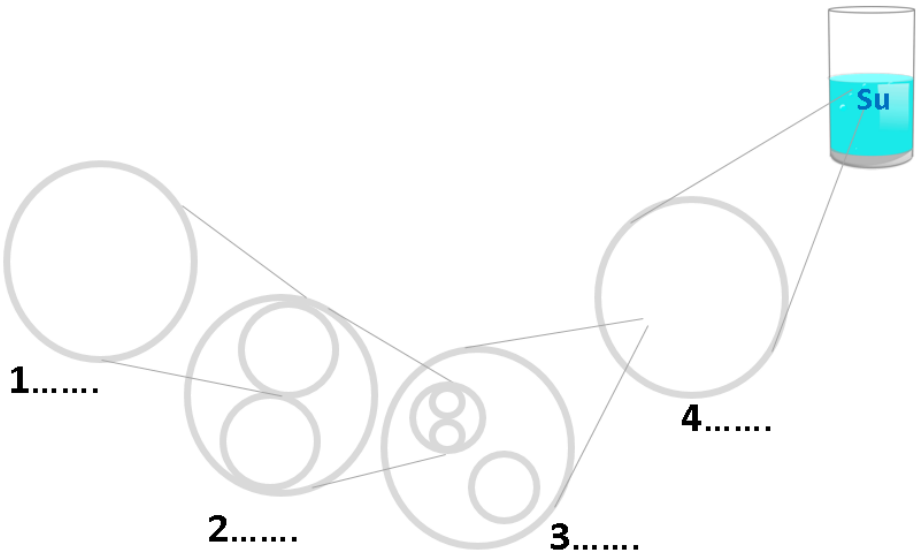
Kullanılan Yöntem ve Teknikler: Boşluk doldurma, Tartışma, Anlatım, Soru-cevap, Beyin fırtınası

Gerekli Araç-Gereçler: Etkinlik Çalışma Yaprağı (EÇY-8), farklı renk ve büyüklükte olan Lego parçaları

I. Aşama: Temel parçacıktan su molekülüne hangi kavramların olduğuna dair ön bilgilerin tespit edilmesi

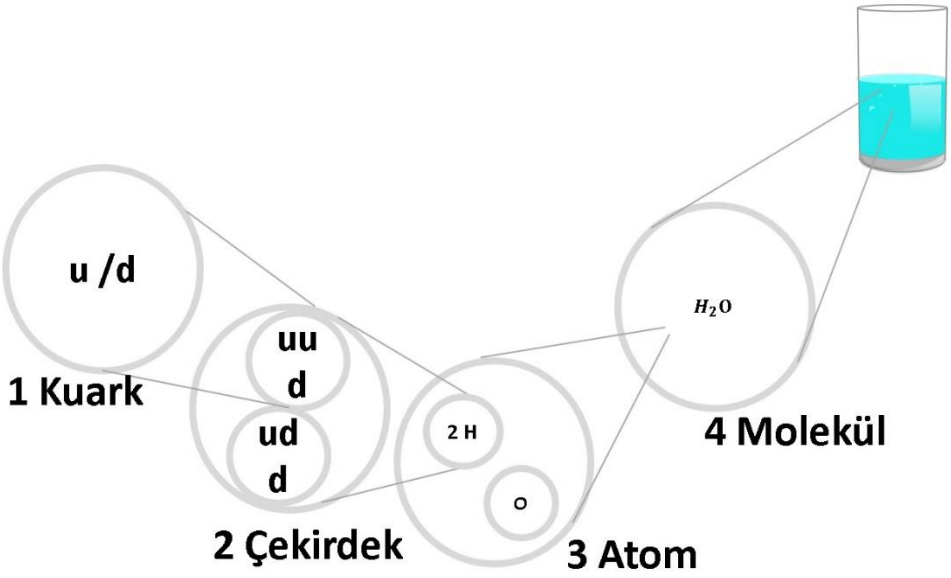
Teknik: Boşluk doldurma, Tartışma

Yönerge: Katılımcılara EÇY-8 dağıtılır. Katılımcıların temel parçacıklardan bir su molekülünün oluşumu için en temelden maddeye doğru kavramlar hakkındaki ön bilgileri tespit edilmek istenmektedir. Bu nedenle EÇY-8'in birinci sayfasında bulunan Şekil 8.1'i incelemeleri ve "Şekil 8.1'de temel parçacıklardan bir su molekülünün oluşumuna kadar numaralandırılmış kısımlara gelmesi gereken kavramları belirtiniz. Bu kavramların hangi parçacıklardan oluştuğunu ise şekillerin içerisindeki kısma yazınız." sorusunu bireysel olarak cevaplamaları istenir.



Şekil 8.1 Atom altı parçacıklardan maddeye

Şekil 8.1'i doldurmaları için katılımcılara gereken zaman verilir. Katılımcılar Şekil 8.1'de yer alan kısımları bireysel olarak doldurulduktan sonra yanıtlarını tartışmaları istenir. Katılımcılarla birlikte tartışılarak doğru yanıtlar paylaşılır. Bir diğer aşamada Şekil 8.1'deki yol haritası takip edileceği için doğru yanıtların anlaşılması önemlidir. Katılımcılardan beklenen doğru yanıtlar Şekil 8.2'de verilmektedir.



Şekil 8.2 Atom altı parçacıklardan maddeye ait doğru cevaplar

II. Aşama: Temel parçacıktan su molekülünün inşa edilmesi için temel parçacık sayısının hesaplanması

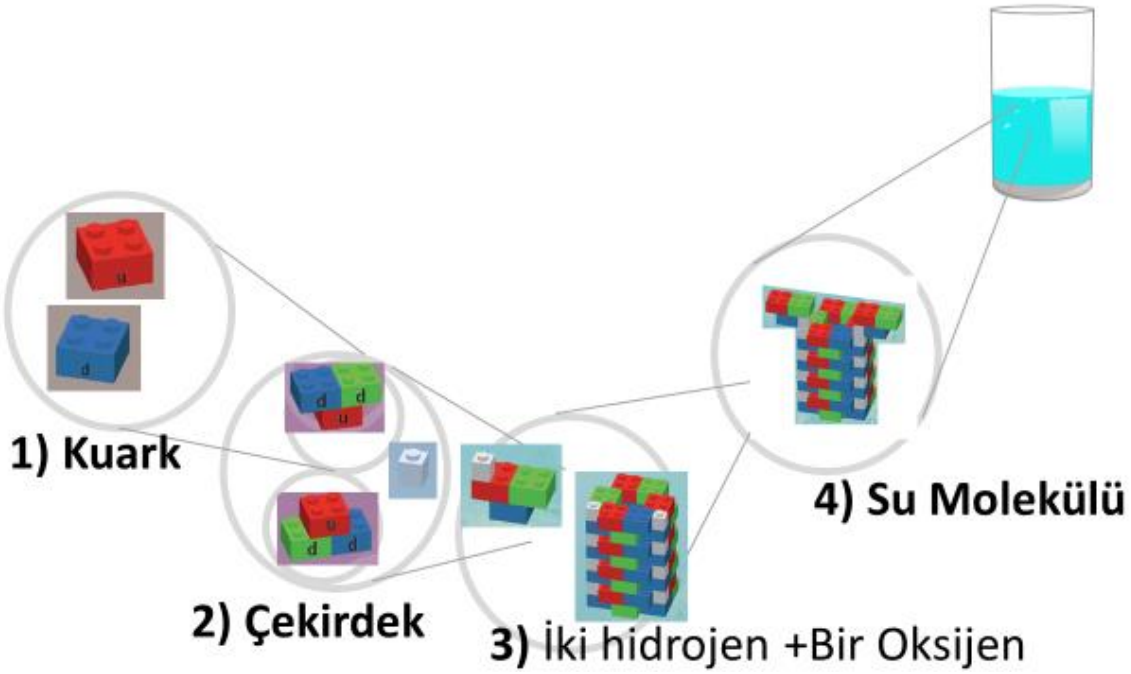
Teknik: Anlatım, Boşluk doldurma, Tartışma

Yönerge: Katılımcılara EÇY-8'in ikinci sayfasında yer alan metni incelemeleri istenir. Aynı zamanda etkinliği uygulayan eğitmen tarafından sesli okunması da dikkat çekici olacaktır. Katılımcılara Standart Model'de yer alan parçacıkların Legolarla temsil edildiği açıklanmalıdır. "Kuarkların renkli Legolarla gösterilmektedir. Kuantum renk dinamiğine göre kuarklara atfedilen üç ana renk yükü kuarklara ait olarak bulunmaktadır. En küçük renkli legolar aşağı ve da yukarı kuraktır çünkü kütlesi en küçük olan kuarklar aşağı (d) ve yukarı (u) kuarklardır. (1. nesil aile) En büyük renkli Legolar ise üst ve alt kuraktır çünkü kütlesi en büyük olan kuarklar üst (u) ve alt (d) kuarklardır. (3. nesil aile) Orta kütleli renkli Legolar ise tılsım (c) ve acayip (s) kuarkı temsil etmektedir. Renk yükü özelliği olmayan ve diğer parçacıklara göre kütleleri daha az olan legolar ise Leptonları temsil etmektedir. Bu gruba giren parçacıkların en bilinen örneği elektrondur. Lepton kelimesi Yunancadaki leptos kelimesinden türetilmiştir. İnce, zarif, hafif, küçük gibi anlamlara gelir. Leptonlar genel olarak adlarının ima ettiği gibi hadronlardan daha hafiftir. Ancak 1975 yılında keşfedilen Tau bu duruma bir istisna teşkil eder. Taunun kütlesi protonunkinin iki katı kadardır."

"Boyutları gittikçe büyüyen üç farklı boyda ve üç farklı renk seçeneği olan Legolarınız kuarkları temsil edecektir. Ayrıca kuarkları temsil eden lego parçalarına göre daha küçük ve beyaz olan altı legoya ihtiyacınız olacaktır. Bunlar da leptonları temsil edecektir. Size yardımcı olması için Şekil 8.1'i inceleyiniz."

Katılımcıların Legolardan bir su molekülünü inşa etmeleri için yeterli süre verilir. Kendilerine hangi lego parçasından kaç adet ihtiyacı olduklarını hesaplamaları gerekmektedir. Katılımcılar kuarkları temsil eden farklı renklerde 54, elektronu temsil eden 10 beyaz, toplam olarak 64 lego

parçası kullanmış olması gereklidir. Katılımcıların inşa ettikleri legoları tamamladıktan sonra sergilemeleri istenir. Katılımcıların farklı çalışmaları inceleyerek tartışmaları istenir. İnşa edilen su molekülleri incelenerek doğru yanıtlar paylaşılır. Su molekülünün nasıl inşa edildiği ise katılımcıların yaratıcılıklarına bağlı olarak değişebilir. Katılımcılardan beklenen doğru cevaplar Şekil 8.3'te aşamalarıyla birlikte verilmektedir.



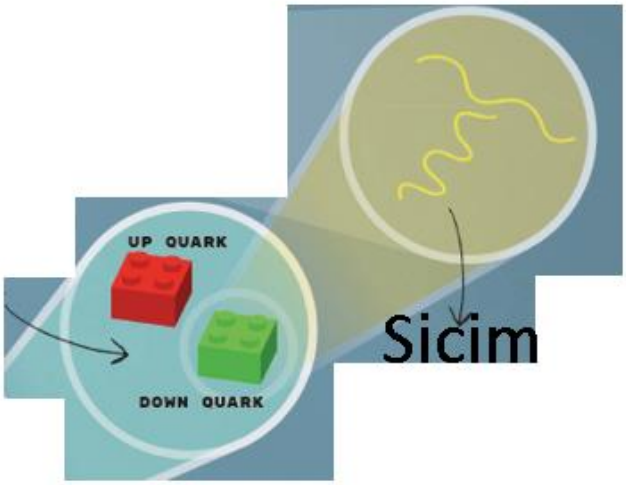
Şekil 8.3 Su molekülünün Legolarla inşa edilmesine ait doğru cevaplar

III. Aşama: Temel parçacık kavramının zamanla değişiminin tartışılması

Teknik: Beyin fırtınası

Yönerge: Katılımcılara EÇY-8'in ikinci sayfasında yer alan "Şekil 8.1'de ilk boşluğa yazdığınız kavramın değişebileceğini düşünüyor musunuz? Bunun için varsa tahminleriniz nelerdir?" sorusunu cevaplamaları istenir. Şekil 8.1'de ilk yazılan kavram u veya d kuarkıdır. Temel kavram olan kuark kavramının zamanla değişebilirliği ya da varsa tahminlerini belritmeleri istenir. Tartışmaların bitiminde fikirler analiz edilerek doğru olan kavram açıklanır.

"Şu anda temel parçacık olarak kuarklar görülmektedir ancak bu bilgi zamanla değişebilir. Tüm stresli yolculuk sonunda elektron ve kuarklar yolculuğun bittiği yer olarak görülmektedir. Hâlihazırdaki bilgilerimize göre kuarklar ve elektron başka bir şeyden yapılmış gibi görünmüyorlar - gerçekten temel görünüyorlar. Bununla birlikte, kuarkların sicim adı verilen daha küçük şeylerden yapıldıklarını öneren teoriler de bulunmaktadır: Sicim teorisi."



Şekil 8.4 Sicim kavramı

"Evreni oluşturan en temel, bölünemeyecek kadar küçük atom altı parçacıkların, tek boyutlu sicimler olduğunu öne süren sicim teorisi kuramı, 1943 yılında Heisenberg tarafından başlatılan bir araştırma programının sonucu olarak ortaya çıkmıştır. 1984-1986 yılları arasında yapılan çalışmalar sonunda bunun, tüm temel parçacıkları ve aralarındaki etkileşimleri açıklayabilecek kadar kapsamlı bir kuram olduğu keşfedilmiştir. Parçacık fiziğinde, kuantum mekaniği ile Einstein in genel görelilik kuramını birleştirme gayretindeki teoridir. Önceleri maddenin en küçük atom altı yapıtaşlarının boyutsuz noktasal parçacıklar olduğu düşünülüyordu. Fakat 1984 yılında Queen Mary Kolejinden Michael Green ile California Teknoloji Enstitüsünden John Schwarz evrenin boyutsuz nokta parçacıklarından değil, sürekli titreşen tek boyutlu planck uzunluğunda olan ipliksilerden oluştuğunu öne sürdüler. Sicim teorisi için maddeler atomlardan, atom proton, nötron ve elektrondan oluşur. Proton ve nötronlar ise kuarklardan oluşur. Kuarklar ve elektronlar sicimlerden (ipliklerden) oluşmaktadır denilmektedir."

Etkinlik Numarası: 9

Etkinliğin Adı: Higgs Bozonu

Etkinliğin Tahmini Uygulama Süresi: 30 dakika

Hedeflenen Kazanım: Higgs bozonuna kısaca değinilir. (AL +FL)

Kullanılan Yöntem ve Teknikler: Anlatım, Soru-cevap, Analoji

Gerekli Araç-Gereçler: Etkinlik Çalışma Yaprağı (EÇY-9)

I. Aşama: Higgs bozonuna dair ön bilgilerin tespit edilmesi

Teknik: Soru-cevap

Yönerge: Katılımcılara EÇY-9 dağıtılır. EÇY-9'un birinci sayfasında yer alan "Higgs Bozonu nedir? Higgs bozonu hakkında bildiklerinizi kısaca yazınız." sorusunu bireysel olarak cevaplamaları istenir. Cevapların EÇY-9'a yazılması için katılımcılara yeterli zaman verilir. Katılımcılardan cevaplarını paylaşmaları istenmez. Katılımcıların fizik öğretim programındaki 'elektrozayıf etkileşim' kavramı hakkındaki ön bilgilerinin tespit edilmesi amacıyla daha sonra incelenecektir.

Katılımcıların Higgs bozonu hakkında yaptıkları MEB 12. Sınıf Fizik ve Fen Lisesi Fizik Ders Kitabı'nda yer alan açıklamalar asgari düzeyde yeterli görülebilir. Ders kitaplarındaki açıklamalar ise şöyledir:

"Standart modeldeki parçacıkların bazıları kütleliyken bazıları kütlesizdir. Standart model bu durumu Higgs mekanizmasıyla açıklar. Tüm uzayın Higgs alanıyla dolu olduğu varsayılır. Fermiyonlar, W ve Z bozonları uzayda hareket ederken bu alanla etkileşerek kütle kazanır. Fotonun ve gluonların kütlesiz olmasının sebebi ise Higgs alanıyla etkileşmemeleridir. Etkileşime aracılık eden parçacığa Higgs bozonu ya da Higgs parçacığı denir. Higgs bozonunun kendisi de Higgs alanıyla etkileşerek kütle kazanır." MEB 12. Sınıf Fizik Ders Kitabı s.170

"Standart modeldeki parçacıklardan bazıları kütleli iken bazıları kütlesizdir. Standart model bu durumu Higgs alanı fikriyle açıklar. Bir bardağın içine küçük bir taş attığınızı düşünün. Bardak suyla dolu iken taşın bardağın dibine inmesi bardağın boş olduğu duruma göre daha uzun sürer. Higgs alanı da bardaktaki su gibi davranır denilebilir. Fermiyonlar ile W ve Z bozonları uzayda hareket ederken bu alanla etkileşerek kütle kazanır. Fotonlar ve gluonlar ise bu alanla etkileşime girmediklerinden kütlesizdir. Etkileşimde aracılık eden parçacığa Higgs bozonu ya da Higgs parçacığı denir. Higgs bozonunun kendisi de Higgs alanıyla etkileşerek kütle kazanır." MEB 12. Sınıf Fen Lisesi Fizik Ders Kitabı s.213

II. Aşama: Higgs analojisindeki öğelerin tahmin edilmesi

Teknik: Anlatım, Soru-cevap

Yönerge: Katılımcıların EÇY-9'un ikinci sayfasında yer alan Higgs Bozonu hakkındaki metni okumaları istenir. Aynı zamanda etkinliği uygulayan eğitici tarafından da sesli okunması dikkat çekici olacaktır. Higgs alanını ve parçacığını anlamak zor olabilir bu nedenle analojilerden yararlanılacaktır. Katılımcılar analoji kavramının anlamını bilmiyorsa EÇY-9'daki açıklama yeterli olacaktır.

Katılımcılardan EÇK-9'un dördüncü sayfasında yer alan Şekil 9.1 ve Şekil 9.2'de yer alan ünlü analojilere ait çizimleri inceledikten sonra, çizimlerin neyi temsil ettiğini verilen kısma cevaplamaları istenir.

Katılımcıların yanıtları dinlenerek katılımcılara aşağıda yer alan doğru açıklama yapılır: "Şekil 9.1'de yer alan analoji Higgs alanında parçacıkların kütle kazanması için kullanılmıştır. Şekil 9.1'de bir oda içerisinde pek çok konuğun birbiri ile sohbet ettiği görülmektedir. Daha sonra bu odaya Einstein girmektedir. Onu gören konuklar onun etrafında toplanır. Böylece Einstein'ın oda içerisindeki hareketi giderek zorlaşmaktadır çünkü etrafında meraklı bir kalabalık toplanmıştır. Bu olay Higgs alanına giren bir parçacığın, Higgs alanı ile etkileşerek kütle kazanmasını açıklamaktadır. Einstein Higgs alanı içerisindeki parçacık, odadaki kalabalık Higgs alanını temsil etmektedir."

"Şekil 9.2'de yer alan bir diğer analoiji de Higgs alanında Higgs parçacığının oluşması ile ilgilidir. Burada da bir oda içerisinde konuklar yer almaktadır. Daha sonra bir kişi bir konuğa odaya Einstein'ın geleceğini haber verir. Bu haberin dedikodusu ise odada kulaktan kulağa yayılmaktadır. Odada yer alan konuklar Higgs alanı, konukların gruplaşarak bir arada bulunması ise Higgs parçacığını temsil etmektedir."

III. Aşama: Higgs hakkında bir analoji oluşturma

Teknik: Analoji

Yönerge: Katılımcıların EÇY-9'un beşinci sayfasında yer alan "Higgs alanında parçacıkların kütle kazanması ya da Higgs alanında Higgs parçacığının oluşması hakkında yaratıcılığınızı kullanarak bir analoji oluşturunuz." sorusuna cevap vermeleri istenir. Katılımcılardan Higgs alanında parçacıkların kütle kazanması ya da Higgs alanında Higgs bozonunun oluşması hakkında bir analoji oluşturmaları istenmektedir. Katılımcılar analojilerini bireysel olarak oluşturduktan sonra cevaplarını katılımcılarla paylaşarak tartışmaları istenir. Katılımcılar analoji oluşturmada zorlanırsa aşağıdaki örnekler verilebilir.

"Higgs alanında parçacıkların kütle kazanması hakkında örneğin su, Higgs alanını temsil etsin. Barakuda (su içerisinde çok hızlı hareket eden bir balık türü) ise Higgs alanı ile zayıf etkileşen ve sonuçta düşük kütleli olan bir parçacık olsun. Suyun içerisinde yürümeye kalkan ve zorlanan insan ise Higgs alanı ile oldukça fazla etkileşen ve sonuçta kütlesi fazla olan bir parçacık olacaktır. Bir diğer analoji kartopunun yuvarlanarak boyutlarının sürekli artması olarak da verilebilir."

Etkinlik Numarası: 10

Etkinliğin Adı: Madde ve Antimadde

Etkinliğin Tahmini Uygulama Süresi: 30 dakika

Hedeflenen Kazanım: Madde ve antimadde kavramlarını açıklar. (AL +FL)

Kullanılan Yöntem ve Teknikler: Anlatım, Soru-cevap

Gerekli Araç-Gereçler: Etkinlik Çalışma Yaprağı (EÇY-9)

I. Aşama: Anti-madde hakkında ön bilgileri öğrenme

Teknik: Soru-cevap

Yönerge: Katılımcılara EÇY-10 dağıtılır. EÇY-10'un birinci sayfasından bulunan "Anti-madde nedir? Anti-madde ya da anti parçacık hakkındaki bilgilerinizi kısaca yazınız." sorusunu bireysel olarak cevaplamaları istenir. Cevaplarını EÇY-10'da verilen kısma yazmaları için yeterli zaman verilir. Katılımcılardan cevaplarını paylaşmaları istenmez. Katılımcıların fizik öğretim programındaki 'anti-madde' kavramı hakkındaki ön bilgilerinin tespit edilmesi amacıyla daha sonra incelenecektir.

Katılımcıların anti-madde hakkında yaptıkları MEB 12. Sınıf Fizik ve Fen Lisesi Fizik Ders Kitabı'nda yer alan açıklamalar asgari düzeyde yeterli görülebilir. Ders kitaplarındaki açıklamalar ise şöyledir:

"Doğada her parçacığın bir karşıt parçacığı (antiparçacık) vardır. 1930 yılında kozmik ışınların incelenmesi sırasında keşfedilen ilk antiparçacık, pozitrondur. Parçacık ve antiparçacıkların kütle ve yük büyüklükleri eşit, yük işaretleri zıttır. Antiparçacıkların bir araya gelmesiyle antimadde oluşur." MEB 12. Sınıf Fizik Ders Kitabı s.171

"Antimadde kavramı ilk kez 1928 yılında Paul Dirac tarafından ortaya atılmıştır. Her maddenin bir antimaddesi olduğu gibi her parçanın da bir antiparçacığı vardır. Dirac, elektron üzerine yaptığı teorik çalışmalar sırasında elektronun bir antiparçacığı olması gerektiğini söylemiştir. Bu antiparçacık, 1932 yılında Carl Anderson tarafından deneysel olarak bulunmuş ve pozitron adını almıştır. Bu antiparçacık elektronla aynı yük miktarına aynı kütleye sahiptir. Ancak yük işareti elektronun zıddıdır. Anderson, bu keşfini sis odasında pozitif yüklü elektron gibi davranan parçacıkların izlerini inceleyerek yapmıştır. Bir sonraki antiparçacığın saptanması 20 sene sürmüştür. Parçacık hızlandırıcıların inşa edilerek parçacıkların yüksek enerjiyle çarpıştırılması bu keşifleri hızlandırmıştır. Bu sayede 1955 yılında antiproton ve ondan kısa bir süre sonra ise antinötron bulunmuştur. Bir parçacık ile o parçacığın antiparçacığı uzun süre bir arada bulunamaz. Birbirlerine temas ettiklerinde bir enerji parlamasıyla yok olurlar. Yani kütle tamamen enerjiye dönüşür. CERN'de bulunan parçacık hızlandırıcılarıyla antimadde üretilebilmektedir. Ancak üretilen bu antimadde çok kısa bir süre içerisinde yok olmaktadır." MEB 12. Sınıf Fen Lisesi Fizik Ders Kitabı s.213

II. Aşama: Kabarcık odasındaki izler hakkındaki soruları cevaplama

Teknik: Anlatım, Soru-cevap

Yönerge: Katılımcıların EÇY-10'un ikinci sayfasındaki kabarcık odası hakkındaki metni okumaları istenir. Aynı zamanda metnin etkinliği uygulayan eğitici tarafından da sesli okunması dikkat çekici

olacaktır. Katılımcılardan metni okuduktan sonra, EÇY-10'un ikinci sayfasında bulunan Şekil 10.1 Parçacıkların İzleri'ni incelemeleri istenir.

Katılımcılara EÇY-10'un üçüncü sayfasında bulunan "Şekil 10.1'de sıvının içerisine pozitif yüklü parçacık demeti alttaki oklarla gösterilen doğrultuda, sayfa düzleminden içe doğru var olan düzgün manyetik alanın içerisine gönderilmektedir. Şekil 10.1'i inceleyiniz ve aşağıda yer alan soruları Şekil 10.1'den yararlanarak yanıtlayınız." sorusuna yönelik yanıtları bireysel olarak cevaplamaları istenir.

NOT: EÇK-10'da sağ kuralına yönelik bulunan uyarıya göre, katılımcılar sağ el kuralının hatırlatılması istenebilir. Burada sağ el kuralına yönelik kısa bir açıklama yapılabilir: sağ el kuralı vektörel çarpımda vektörleri de sırasını dikkate alarak üç boyutlu düşünmemize yardımcı olan bir kuraldır. Örneğin kabarcık odasında parçacığın hızı başparmakla, manyetik alan dört parmakla, avcun içi ise kuvvet vektörünün yönünü gösterir. Bu kural pozitif yüklü parçacıklar için kabul edilmiştir. Eğer yük negatif ise bulunan kuvvet vektörünün tam tersi olan yön alınır.

Katılımcılardan EÇK-10'da yer alan 5 soruyu Şekil 10.1'den yararlanarak cevaplamaları istenir. Katılımcılar soruları bireysel olarak yanıtladıktan sonra yanıtlarını paylaşmaları istenir. Katılımcılarla birlikte tartışılarak doğru yanıtlar paylaşılır. Katılımcılardan beklenen doğru yanıtlar aşağıdaki gibidir.

1. Sıvıya gönderilen pozitif yüklü parçacıkların +y yönünde olduğunu unutmayınız. O halde A çizgilerinin nedeni sizce ne olabilir?

CEVAP: A çizgileri, kabarcık odasına dışarıdan giren parçacıkların sıvıda bıraktığı izlerdir.

2. Parçacıkların bıraktığı izlerin düz (A ve F) ya da kıvrımlı (B, C, D, E) olmasının nedeni sizce ne olabilir?

CEVAP: Haznedeki sıvı boyunca manyetik bir alan parçacığın yörüngesinin bükülmesine neden olur. Karşıt yükleri olan parçacıklar karşıt yönlerde eğri olan yollar üretir. Bu gösterimde, negatif yüklü parçacık izleri sola kıvrılır ve pozitif şekilde yüklü parçacık izleri sağa kıvrılır.

3. Eğri yolların bazılarının pozitif yüklü parçacıkların sıvıya girmesinden hemen sonra (B, C), bir kısmının ise daha uzun yol kat ederek (D) oluşmasının nedeni nedir?

CEVAP: Daha az momentuma sahip parçacıklar veya daha az kütleye sahip olanlar, üretildikleri noktadan daha uzağa giden izler üretirler. Daha büyük momentumlu parçacıklar veya daha büyük kütleli olanlar, üretim noktasından daha az uzakta olan kıvrımlı yollar üretir. Parçacık çifti durumunda, örneğin, daha büyük momentumlu (veya kütleli) bir çift, daha az momentumlu (veya kütleli) bir çiftten daha uzun, daha dar V şeklinde sonuçlanır.

4. Hiçbir iz olmadığı halde birden V şeklinde izin oluşmasının (C, D) nedeni sizce nedir?

CEVAP: Yüksüz bir yüksek enerjili foton yüklü bir parçacıkla etkileşime girdiğinde, bir çift karşılıklı yüklü parçacık üretebilir. Bu genellikle bir elektron-pozitron çifti ile sonuçlanır, V'nin her bir ucunun ters yönde döndüğü ve içeri doğru spiraller aldığı V şeklinde bir iz.

5. Hiçbir iz olmadığı halde yalnızca E'deki gibi izin oluşma nedeni sizce nedir?

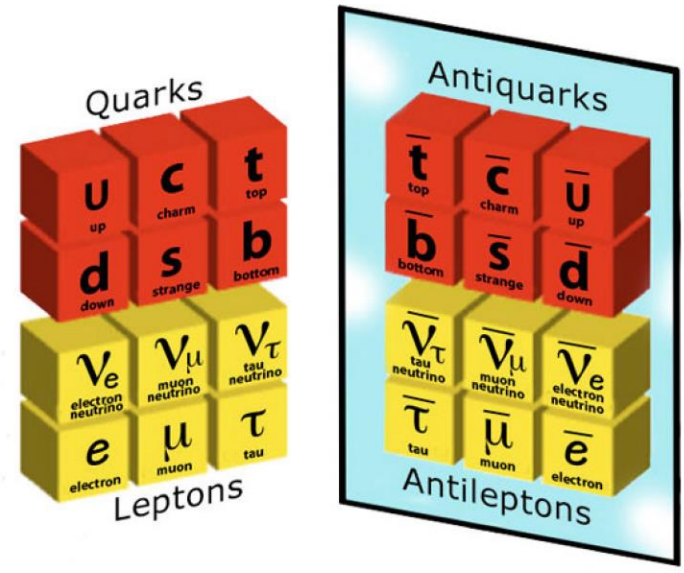
CEVAP: Bir atomun elektronunu uyaran bir foton, sola bükülen ve içe doğru spiralleşen tek bir iz oluşturur. Bu ürüne Compton elektronu denir. (E) Bu elektron foto-elektrik olay sonucunda koparılan bir elektron da olabilir.

NOT: Katılımcıların sorulara olan cevapları alındıktan sonra anti-madde hakkında daha ayrıntılı açıklama yapılması istenmesi halinde, aşağıdaki metinden yararlanılabilir.

Çevremizde gördüğümüz her madde parçacığına karşılık gelen bir anti madde ya da diğer adıyla anti-parçacık bulunur. Anti-parçacıklar, karşıt yükleri dışında, karşılık gelen madde parçacıkları gibi görünür ve davranırlar. Örneğin, bir proton elektriksel olarak pozitif iken, bir anti-proton elektriksel olarak negatiftir. Yerçekimi maddeyi etkiler ve anti-maddeyi aynı şekilde etkiler çünkü yerçekimi yüklü bir özellik değildir ve bir parçacık, anti-parçacık ile aynı kütleye sahiptir. Bir parçacık ile anti-parçacık bir araya geldiğinde, enerjiye dönüşürler.

Bir kabarcık odası fotoğrafında antimadde için kanıt görebilirsiniz. Bu odadaki manyetik alan negatif parçacıkların sola kıvrılmasını ve pozitif parçacıkların sağa kıvrılmasını sağlar. Birçok elektron-pozitron çifti kabarcık odasında iz bırakmaz. Pozitronlar (anti-elektronlar) elektronlar gibi davranırlar ancak ters yönde kıvrılırlar çünkü zıt yükleri vardır. (Böyle bir elektron-pozitron çifti vurgulanır.)

Anti-parçacık, parçacık simgesi üzerine düz bir çizgi konularak ifade edilir. Örneğin Dirac tarafından 1928 yılında varlığı öngörülen ve 1934 yılında Anderson tarafından deneysel olarak keşfedilen elektronun anti-parçacığı, pozitron olarak adlandırılmıştır. Diğer parçacıkların isimleri ise, parçacığın isminin önüne anti kelimesi getirerek ifade edilir.



Etkinlik Numarası: 11

Etkinliğin Adı: Parçacıkların İzlerini Sürmek

Etkinliğin Tahmini Uygulama Süresi: 60 dakika

Hedeflenen Kazanım: Madde ve antimadde kavramlarını açıklar. (AL + FL)

Kullanılan Yöntem ve Teknikler: Anlatım, Soru-cevap

Gerekli Araç-Gereçler: Etkinlik Çalışma Yaprağı (EÇY-11)

I. Aşama: Dedektördeki olayların incelenmesi

Teknik: Soru- Cevap

Yönerge: Katılımcılara EÇY-11 dağıtılır. Katılımcılardan EÇK-11'de yer alan hızlandırıcılar hakkındaki metni okumaları istenir. Hızlandırıcılarda yer alan çeşitli dedektörlerde parçacıkların nasıl iz bıraktığına dair verilen Şekil 11.3'ü incelemeleri ve yorumlamaları istenir.

Katılımcılara EÇK-11'de yer alan çeşitli örnek olay izleri olan OLAY 1, OLAY 2, OLAY 3 ve OLAY 4'ü incelemeleri istenir. Parçacıkların izlerindeki farklılığı ve hangi parçacığın hangi izler bıraktığını incelemeleri istenir. Katılımcıların verilen olayların hangi bozunmaya ait olduğu hakkında tahminde bulunma sürecinde korunum kurallarına uymaları gerekmektedir.

OLAY1, 2, 3 ve 4 incelendikten sonra hangi dedektör katmanında iz görülmüşse, tabloda ilgili sütunu işaretlemeleri istenir. Katılımcılarla birlikte tartışılarak doğru yanıtlar paylaşılır. Katılımcılardan beklenen yanıtlar aşağıdaki gibidir:

İzler	İz Odası	Elektromanyetik Kalorimetre	Hadron Kalorimetresi	Müon Odası
OLAY 1	✓	✓		
	✓	✓		
OLAY 2				✓
				✓
OLAY 3	✓	✓		
	✓	✓	✓	
OLAY 4	✓	✓	✓	

✓	✓	✓	
✓	✓	✓	
✓	✓	✓	
✓	✓	✓	

OLAY 1: Bir elektron ve bir pozitron



OLAY 2: Bir müon ve bir anti müon



OLAY 3: Bir müon ve bir pozitron veya bir antimüon ve bir elektron. Ayrıca momentumun korunumu için ihtiyaç duyulan bazı görünmeyen parçacıklar. Örneğin Z parçacığı Tau ve anti tau, daha sonra Tau müon ve nötrinoya, anti tau ise elektron ve nötrinoya dönüşür.

OLAY 4: Hadronlar (spesifik olarak tanımlamak için daha fazla bilgiye ihtiyaç vardır). Örneğin Z parçacığı bir kuark ve onun anti kuarkına bozunur. Güçlü nükleer etkileşimin alanının enerjisi daha sonra hadronları oluşturacak kuark anti kuark çiftlerini oluşturur.

OLAY 3'te iki parçacık çok farklı açılara sahip olması parçacıkların eşit fakat zıt momentlere sahip olduklarından, toplam momentum sıfırdır. Bu, gözlenen izlerin momentumlarını dengede tutamayacağı için, bu durumda bir miktar momentum taşıyan görünmeyen parçacıkların (nötrinolar) olması gerektiği anlamına gelir.

Etkinlik Numarası: 12

Etkinliğin Adı: Feynman Diyagramları

Etkinliğin Tahmini Uygulama Süresi: 30 dakika

Hedeflenen Kazanım: Öğrencilerin, atom altı parçacıklar arasındaki etkileşim kuvvetini açıklamaları sağlanır. (FL)

Kullanılan Yöntem ve Teknikler: Anlatım, Soru-cevap

Gerekli Araç-Gereçler: Etkinlik Çalışma Yaprağı (EÇY-12)

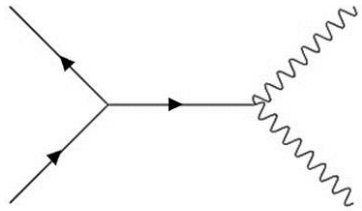
I. Aşama: Feynman diyagramlarına ait bozunmanın tahmin edilmesi

Teknik: Anlatım, Soru-cevap

Yönerge: Katılımcılara EÇY-12 dağıtılır. EÇK-12'de yer alan Feynman Diyagramları hakkındaki metni incelemeleri istenir. Aynı zamanda etkinliği uygulayan eğitmen tarafından da sesli okunması dikkat çekici olacaktır. Tablo 12.1'i incelemeleri istenir ve Feynman diyagramlarında parçacıkların gösterim tablosu açıklanır.

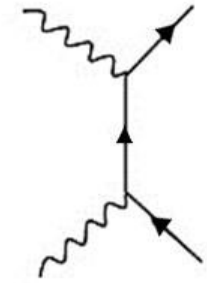
Katılımcıların EÇK-12'nin üçüncü sayfasında verilen "Aşağıda Feynman diyagramları ile tarif edilen işlemler nedir? Bozunma denklemini yazınız." sorusunu cevaplamaları istenir. Verilen üç Feynman diyagramını inceleyerek, bu diyagramlara ait denklemleri bireysel olarak cevaplamaları istenir. Katılımcılardan yanıtlarını paylaşmaları istenir. Katılımcılarla birlikte tartışılarak doğru yanıtlar paylaşılır. Katılımcılardan beklenen doğru yanıtlar aşağıdaki gibidir.

1. a)



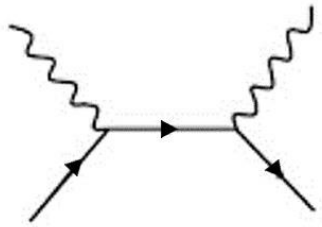
Çift yok olma $e^- + e^+ \rightarrow \gamma + \gamma$

b)



Çift yaratma $\gamma + \gamma \rightarrow e^- + e^+$

c)



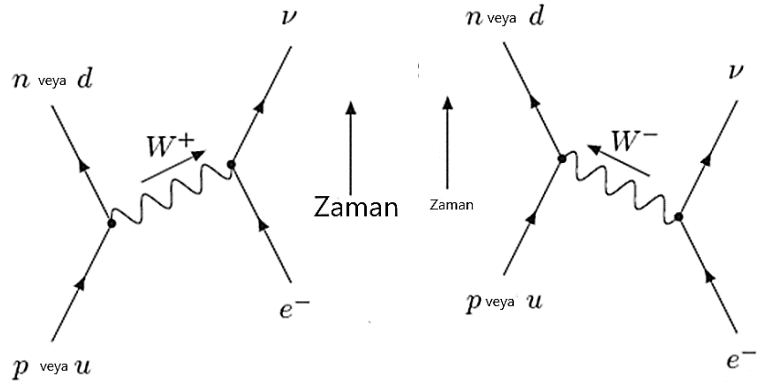
Compton saçılması $e^- + \gamma \rightarrow e^- + \gamma$

II. Aşama: Bozunma denklemlerine ait Feynman diyagramlarının tahmin edilmesi

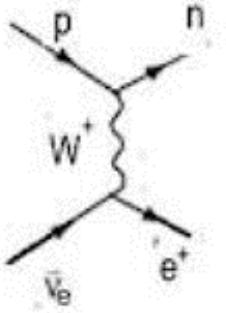
Teknik: Anlatım, Soru-cevap

Yönerge: Katılımcıların EÇK-12'nin dördüncü sayfasında verilen "Aşağıda bozunma denklemleri verilen olayları inceleyiniz. Her bir olaya ait olan Feynman Diyagramını çiziniz." sorusunu cevaplamaları istenir. Verilen üç bozunma denklemini inceleyerek, bozunmaya ait Feynman diyagramını bireysel olarak çizmeleri istenir. Katılımcılardan çizimlerini paylaşmaları istenir. Katılımcılarla birlikte tartışılarak doğru yanıtlar paylaşılır. Katılımcılardan beklenen doğru diyagramlar aşağıdaki gibidir.

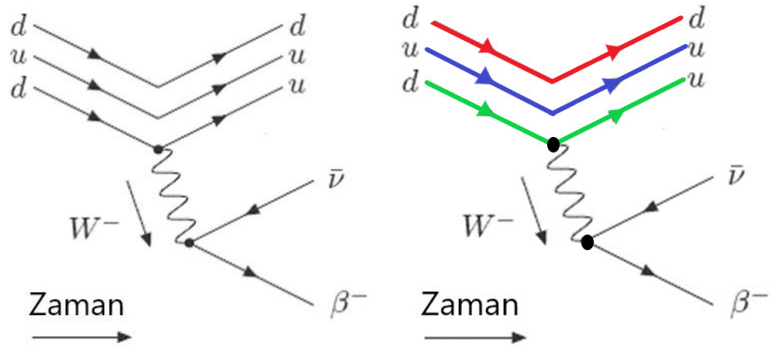
a) $p + e^- \rightarrow n + \nu_e$



b) $\bar{\nu}_e + p \rightarrow n + e^+$(Ters beta-bozunumu)



c) $n \rightarrow p + e^- + \bar{\nu}_e$



EK 5. Etkinlik Çalışma Yaprakları Uzman Görüş Formu

Değerli Konu Alanı Uzmanı:

"Stern Gerlach Deneyi" adlı etkinlik ***"Stern-Gerlach deneyinin sonuçlarının incelenmesi sağlanarak elektron spini kavramı üzerinde durulur (FL*)"*** kazanımına yönelik hazırlanmıştır. Bu etkinliği aşağıdaki tabloda yer alan kriterlere göre değerlendirmenizi rica ederim. Gerekli olduğunu düşündüğünüz düzeltmeleri, etkinlik çalışma yaprağı üzerinde yapabilirsiniz.

Katılımcılardan beklenen yanıtları ve etkinliğe ait yönergeleri içeren Etkinlik Çözüm Yaprağı'na ihtiyaç duymanız halinde incelemeniz için ekte yer almaktadır.

*FL: Fen Lisesine yönelik kazanım

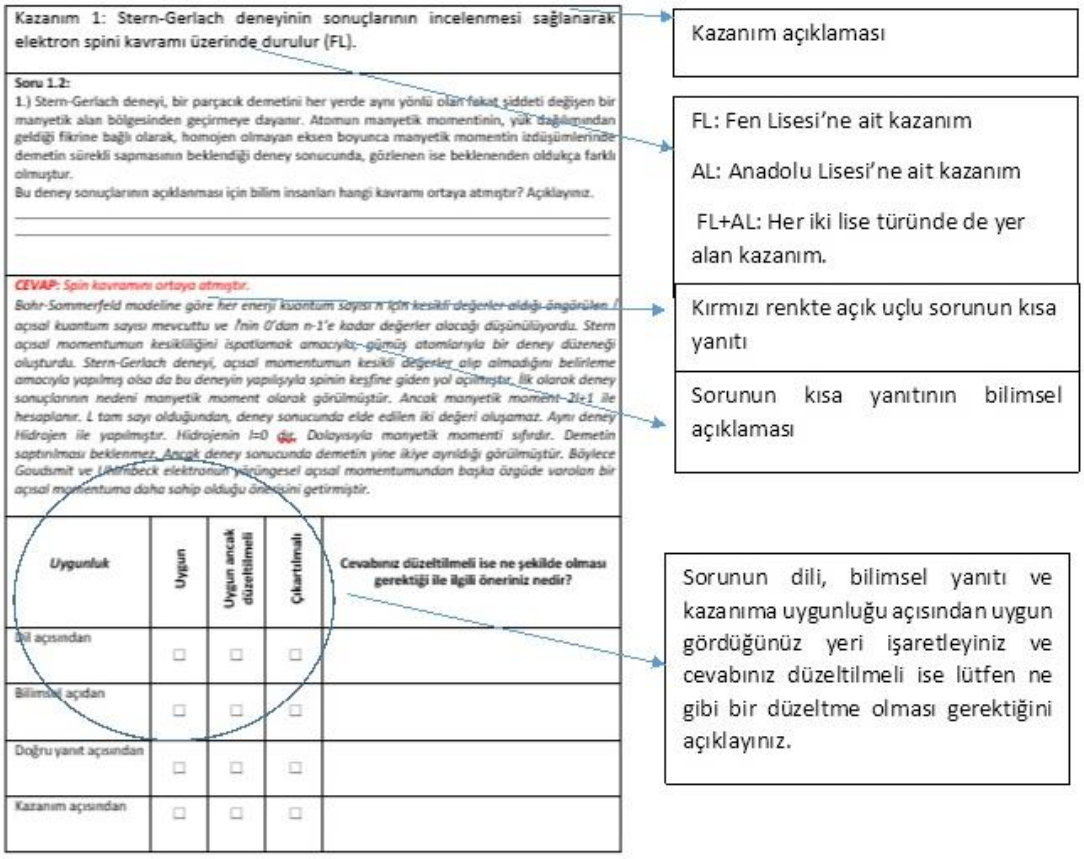
Uygunluk	Uygun	Uygun ancak düzeltilmeli	Uygun değil	Cevabınız uygun değil ya da düzeltilmeli ise önerilerinizi yazınız.
Dil açısından	☐	☐	☐	
Bilimsel açıdan	☐	☐	☐	
Kazanıma uygunluğu açısından	☐	☐	☐	
Kazanımın kazandırılması açısından	☐	☐	☐	

EK 6. Parçacık Fiziği Başarı Testi Uzman Görüş Formu

Değerli Uzman,

Size gönderilen dosyada fizik öğretmenlerinin ve öğretmen adaylarının atom altı parçacıklar hakkındaki bilgilerini tespit etmek amacıyla doktora çalışmam için bir alan testi geliştirilmek istenmiştir. 12. Sınıf Fen Lisesi ve Anadolu Lisesi Öğretim Programı göz önüne alınarak atom altı parçacıklarla ilgili olan kazanımlar belirlenmiş ve bu kazanımlardan yola çıkılarak 30 adet kısa cevap gerektiren açık uçlu sorular hazırlanmıştır.

Size gönderilen dosyada 10 adet belge bulunmaktadır. Bu dosyaların her biri bir kazanım ile ilgilidir. Örneğin:



Kazanım Adı ve Numarası:	Soru Sayısı:
Kazanım 1: Stern-Gerlach deneyinin sonuçlarının incelenmesi sağlanarak elektron spini kavramı üzerinde durulur (FL).	1.1 1.2 1.3
Kazanım 2: Öğrencilerin sis odası deneyini araştırmaları ve üzerinde tartışmaları sağlanır (FL).	2.1 2.2 2.3
Kazanım 3: Öğrencilerin sunumlarında CERN'de yapılan çalışmaların büyük patlama ile bağlantısını tartışmaları sağlanır (FL).	3.1 3.2 3.3
Kazanım 4: Öğrencilerin atom altı parçacıkları standart model çerçevesinde tanımlamaları sağlanır (FL + AL).	4.1 4.2 4.3 4.4
Kazanım 5: Dört temel kuvvetin açıklanması sağlanır (FL + AL).	5.1 5.2 5.3
Kazanım 6: Abdus Salam, Sheldon Lee Glashow ve Steven Weinberg'in Nobel ödülünü elektromanyetik ve zayıf kuvvetin birleşik bir kuvvet görünümünde olduğunu keşfetmeleri üzerine aldıkları vurgulanır (FL + AL).	6.1 6.2
Kazanım 7: Öğrencilerin, atom altı parçacıklar arasındaki etkileşim kuvvetini açıklamaları sağlanır (FL).	7.1 7.2 7.3
Kazanım 8: Atom altı parçacıklardan başlayarak madde oluşumunun modelle açıklanması sağlanır (FL + AL).	8.1 8.2 8.3
Kazanım 9: Higgs bozonuna kısaca değinilir (FL + AL).	9.1 9.2
Kazanım 10: Madde ve anti madde kavramlarını açıklar (FL + AL).	10.1 10.2 10.3 10.4

Formu doldurduktan sonra yine e-posta adresim olan seher.p@gmail.com adresine göndermenizi rica ediyorum. Değerli görüşleriniz ve zaman ayırdığınız için şimdiden teşekkür ederim. İyi günler dilerim.

Seher PERVAN

Gazi Üniversitesi Fizik Eğitimi

Doktora Öğrencisi

EK 7. Etik Kurul İzin Belgesi

Evrak Tarih ve Sayısı: 11.06.2021-E.104812

T.C.
GAZİ ÜNİVERSİTESİ
Etik Komisyonu

Sayı : E-77082166-302.08.01-104812 11.06.2021
Konu : Bilimsel ve Eğitim Amaçlı

EĞİTİM BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜNE

İlgi : 10.11.2020 tarihli ve 80287700-302.08.01- 120208 sayılı yazı.

İlgi yazınız ile göndermiş olduğunuz, Enstitünüz Matematik ve Fen Bilimleri Anabilim Dalı, Fizik Eğitimi Bilim Dalı **Doktora Öğrencisi Seher PERVAN'ın, Prof.Dr.Pervin ÜNLÜ YAVAŞ'ın** danışmanlığında yürüttüğü **"Fizik Öğretim Programındaki Parçacık Fiziği Konusuna Ait Kazanımlara Yönelik Yapılandırmacı Öğrenme Anlayışına Uygun Ders Planı Hazırlama Çalışması"** başlıklı araştırma öneriniz Üniversitemiz "Ölçme Değerlendirme Etik Alt Çalışma Grubu"nun **01.12.2020** tarih ve **12** sayılı toplantısında görüşülmüş olup,

Çalışmanızın, yapılması planlanan yerlerden izin alınması koşuluyla yapılmasında etik açıdan bir sakınca bulunmadığına oybirliği ile karar verilmiş ve karara ilişkin imza listesi ekte gönderilmiştir.

Bilgilerinizi ve gereğini rica ederim.

Araştırma Kod No: 2021- 643

NOT : Daha önce G.Ü.Ölçme Değerlendirme Etik Alt Çalışma Grubu olarak çalışan ve Üniversitemiz Senatosunun 25.12.2020 tarih ve 22 sayılı toplantısında almış olduğu 2020/194 sayılı kararı'nda onaylanan Yönerge gereğince, G.Ü.Etik Komisyonu olarak görevine devam etmektedir.

Prof. Dr. İsmail KARAKAYA
Komisyon Başkanı

Ek:1 Liste

-

Kep Adresi: gaziuniversitesi@hs01.kep.tr
Bu belge,güvenli elektronik imza ile imzalanmıştır.



GAZİLİ OLMAK AYRICALIKTIR