

ÖĞRENCİLERİN BAKIŞ AÇISIYLA KUANTUM FİZİĞİ: NİTEL ÇALIŞMA

QUANTUM PHYSICS FROM STUDENTS' PERSPECTIVE: A QUALITATIVE STUDY

Nilüfer DİDİŞ*, Özgür ÖZCAN**, Mehmet ABAK***

ÖZET: Bu çalışmada öğrencilerin kuantum fiziğini betimleme ve betimleme yollarındaki çeşitlilik ortaya çıkartılmıştır. Çalışmanın katılımcıları amaçsal örneklem yöntemine göre belirlenmiştir. Çalışmaya Orta Doğu Teknik Üniversitesi ve Hacettepe Üniversitesi'nde öğrenim gören 65 öğrenci katılmıştır. Öğrenciler üç temel sorunun bulunduğu açık uçlu testi yaklaşık 30 dakika sürede yanıtlamışlardır. Nitel veriler fenomenografik analiz yoluyla analiz edilmiştir. Veriler araştırmacılar tarafından aşamalı olarak analiz edilmiştir. Verilerden öğrencilerin kuantum fiziğini betimlemelerine ilişkin iki kategori ('Kuantum fiziği bir derstir' ve 'Kuantum fiziği fiziğin bir dalıdır'), betimleme yollarına ilişkin üç kategori ('diğer derslerle ilişkilendirerek', 'operasyonel olmayan betimlemeler' ve 'operasyonel betimlemeler') belirlenmiştir. Ayrıca öğrencilerin betimlemelerinde en çok kullandıkları fiziksel kavramlar tespit edilmiştir ve öğrencilerin önemli gördükleri kavramlar ile karşılaştırılmıştır. Çalışmada, 'mikroskopik sistem' betimlemede en çok kullanılan kavram, 'Heisenberg belirsizlik ilkesi' ise öğrencilerin kuantum fiziğinde en önemli olarak niteledikleri kavram olarak ortaya çıkmıştır. Bu çalışma, öğrencilerin kavramların içinde bulunduğu yapının bütününi nasıl algıladıklarını işaret etmektedir. Bulgular kuantum fiziğinin öğretilmesine ilişkin yeni öğretim tasarımlarında ve materyal geliştirilmesinde yardımcı rol oynayabilir.

Anahtar sözcükler: kuantum fiziği, fenomenografik analiz, fizik eğitimi.

ABSTRACT: In this study, variation in students' description of quantum physics and ways of description were identified. Participants of the study were selected purposely. 65 students from Middle East Technical University and Hacettepe University participated to this study. Students answered the related test with three open ended questions in almost 30 minutes. The qualitative data was analyzed via phenomenographic analysis. The data analyzed by the researchers gradually. Two categories ('quantum physics as a course' and 'quantum physics as a branch of physics') for description of quantum physics and three categories ('descriptions by connection with other courses', 'non-operational descriptions' and 'operational descriptions') for description ways were determined in the light of the data. In addition, most used concepts in the descriptions were identified and they were compared with the most important concepts according to the students perspective. 'Microscopic system' was identified as most used concept and 'Heisenberg uncertainty principle' was identified as the most important concept. This study indicates how students perceive the whole of the phenomenon. The findings may be used in new instructional designs and material developments for teaching quantum physics.

Keywords: quantum physics, phenomenographic analysis, physics education.

1. GİRİŞ

1800'lü yılların sonunda ardarda yapılan deneylere klasik fiziğin açıklık getirememesi modern fizik çağını başlatmıştır. Modern fizik gelişimi sürecinde relativistik fizik ve kuantum fiziğinin gelişmesine olanak sağlamıştır. 1920-1930'lu yıllarda ise farklı bilim insanlarının kuantum teorisine ilişkin yaptıkları hesapların birbiriyle örtüşmesi kuantum teorisinin ne kadar mükemmel bir teori olduğunu göstermiştir. Kuantum fiziği, atom, atom çekirdeği ve elementer parçacıklar ve bunlar arasındaki yasaları açıklayan bir alandır. Kuantum mekaniği ise, kuantum fiziğinin matematiksel formalizmini ortaya koyar. Kuantum fiziğinin üniversitelerin fizik/fizik eğitimi bölümlerinde öğretilmesi ilk olarak "matematiksel yapı ve deneyler", "Hermityen operatörler", "zamana bağımlı-zamandan bağımsız Schrödinger dalga denklemi", "tek boyutta potansiyel kuyu" vs. ile başlar ve bu konular üniversitelerin müfredatları arasında farklılık göstermez.

Kuantum fiziğinin öğrenilmesi ve öğretimi ile ilgili çalışmalar son yıllarda fizik eğitimi araştırmacılarının yoğun olarak ilgilendikleri bir alan haline gelmiştir. Bu konudaki pedagojik çalışmaların kavramsal öğrenme, görselleştirme, matematiksel düşünme ve problem çözme üzerinde

* Araş. Gör.Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Fizik Eğitimi A.B.D. dnilufer@metu.edu.tr

** Araş. Gör., Hacettepe Üniversitesi, Fizik Eğitimi A.B.D. ozcano@hacettepe.edu.tr

*** Prof. Dr., Hacettepe Üniversitesi, Fizik Eğitimi A.B.D. mabak@hacettepe.edu.tr

yoğunlaştığı görülmektedir. Styer (1996) öğrencilerin ‘kuantum durumları, ölçüm, özdeş parçacıklar ve diğer kuantum kavramları hakkındaki kavram yanlışlarını tespit etmiştir. Singh, Belloni ve Christian (2006) Schrödinger dalga denklemi ile ilgili kavram yanlışlarını araştırmışlar, bu kavram yanlışlarının yanlış genellemeler sonucu ortaya çıktığını ileri sürmüşlerdir. Müller ve Wiesner (1999) fizik öğretmen adaylarıyla yaptıkları çalışmada atom, lokalize olma, Heisenberg Belirsizlik ilkesi gibi kavramların nasıl öğrenildiğini araştırmış, asıl alanı fizik olmayan öğrencilerin kuantum fiziğinin kavramlarını asla öğrenme şansı olmadığını vurgulamışlardır. Şen (2000) kuantum fiziği dersleri üzerine yaptığı çalışmada, konuların lise düzeyindeki fizik derslerinde anlatılmasının önemli olacağı üzerinde durmuştur. Bu çalışmada, Almanya’da kuantum fiziği öğretimi üzerine sunulan önemli öneriler incelenmiş ve Türkiye için de bu önerilerin gerekliliği üzerinde durulmuştur. Didiş, Eryılmaz ve Erkoç (2007) fizik öğretmenliği öğrencilerinin kuantum mekaniği postüllarının açıklanmasına imkan veren bazı kavramların nasıl kavrandığını nitel bir çalışma ile araştırmış, öğretmen adaylarının temel kavramları açıklama, ayırtma, ilişkilendirme ve matematiksel olarak ifade etmede zorlandıklarını ortaya koymuşlardır. Mashhadi ve Woolnough (1999) lise öğrencilerinin zihinlerinde elektron ve foton kavramlarını nasıl canlandırdıklarını araştırmışlardır. Bunun sonucunda öğrencilerin zihinlerinde çok çeşitli, bilimsel olmayan temsillerin olduğu ortaya konulmuştur. Görselleştirmeyle ilgili diğer bir çalışma da Çataloğlu (2002) tarafından yapılmıştır. Bu çalışmada öğrencilerin kuantum mekaniğindeki görsel temsilleri nasıl anladıkları araştırmacı tarafından geliştirilen kuantum mekaniği görselleştirme aracı (Quantum Mechanics Visualization Instrument) kullanılarak yapılmıştır. Çalışmada öğrencilerin görsel temsilleri matematiksel ve sözel ifadelerle bağdaştırabildikleri tespit edilmiştir. Pospiech (2000) kuantum fiziğinin matematiksel yapısının teorisinin felsefi noktalarını gizlediğini öne sürmektedir. Ireson (2000) matematiksel yapının bir sorun teşkil etmediğini, asıl sorunun yorumla ilgili olduğunu işaret etmektedir. Strnad (1981) öğrencilere lisede kuantum fiziğini öğretmenin zorluğunu öğrencilerin yetersiz matematiksel alt yapısına bağlar. Çünkü kuantum fiziğinin matematiksel formalizmi olan kuantum mekaniği derslerinde sorulan sorular ileri derecede matematiksel beceriler gerektirir. Ke, Monk ve Duschl (2005) öğrencilerin bu sınavlarda matematiksel denklemleri çözmelerinin kuantum mekaniği kavramlarını anladıklarının bir göstergesi olmadığını belirlemişlerdir. Singh ve diğerleri (2006) çalışmalarında öğrencilerin matematiksel problemleri çözmelerine rağmen sorulara nitel açıklamalar getiremediklerini tespit etmişlerdir.

Bu çalışmada öğrencilerin kuantum fiziğini betimleme ve betimleme yollarındaki çeşitlilik açık uçlu sorular ile araştırılmıştır. Kuantum fiziğinin kavramlarına yönelik öğrenme zorlukları birçok araştırmaya konu olmasına rağmen, öğrencilerin kuantum fiziğini bir bütün olarak nasıl algıladıkları fizik eğitimi literatüründe bir boşluk olarak görülmektedir. Bu çalışmada ise bu boşluğun doldurulması amaçlanmaktadır.

2. YÖNTEM

2.1. Fenomenografik Araştırma Yöntemi

Bu çalışmada, araştırma sorularına yanıt aramak için yöntem veya araştırma stratejisi olarak fenomenografik yöntem seçilmiştir. Fenomenografi 1980li yıllardan bu yana eğitim araştırmalarında kullanılan yeni bir yaklaşım olarak kabul edilmektedir (Akerlind 2005). Yaklaşımın öncülerinden olan Marton (1981), fenomenografik araştırma yaklaşımını “insanların bir fenomeni anlama, anlamlandırma, kavrama, haberdarlık veya deneyimleme yollarındaki çeşitliliğin ortaya çıkartılması” olarak tanımlar (Akerlind 2002). Bu yöntem eğitim araştırmalarında farklı bireylerin aynı kavramdan neleri anladıklarını veya algıladıklarını ortaya koymakta kullanılan oldukça kabul gören bir yöntem haline gelmiştir (Entvistle 1997; Prosser & Trigwell 1999; Wihlborg 2004). Bu yöntem, zaman içinde yapılan eğitim araştırmalarında bazı öğrencilerin neden diğerlerinden daha iyi öğrendiklerini anlamakta kullanılan bir yöntem olarak değişmiş ve gelişmiştir. Fenomenografik analiz yönteminde, veri analizi boyunca araştırmacı nitel fark kategorilerini belirlemeye çalışır. Oluşturulan kategoriler farklı bireylerin farklı kavramları nasıl algıladıkları ve tecrübe ettiklerini ortaya koyar. Bu yöntem, her bir kavram için sınırlı sayıda kategorinin elde edileceği ve bu kategorilerin çalışmada toplanan verilerin analiz edilmesiyle oluşturulacağı esasına dayanır. Araştırmacı, çalışmaya katılan bireylerin

ifadeleri arasındaki benzerlikler ve farklılıkları karşılaştırarak kategorileri oluşturmaya başlar. Çalışmada öncelikle öncü kategoriler oluşturulur. Elde edilen verilerin ikinci kez gözden geçirilmesiyle ya tanım kategorileri oluşturulur ya da mevcut kategoriler değiştirilir. Bu süreç, oluşturulan kategorilerin çalışmada elde edilen verilerle uyumlu hale gelene kadar devam eder. Hasselgren ve Beach (1997) fenomenografik analizi keşif süreci olarak niteler (Akerlind 2002). Bu yaklaşımda, analizle elde edilen çeşitlilik haritalandırılır. Marton ve Booth (1997) fenomenografik analizin niteliği ile ilgili bazı kriterler ortaya sürmüştür. Oluşturulan kategoriler fenomenle mantıklı ve net bir şekilde ve birbirleriyle hiyerarşik olarak ilişkili olmalıdır. Her bir kategoride, fenomeni anlama yollarındaki ayırt edicilik ortaya konulmalıdır ve kategoriler mümkün olduğunca az sayıda olmalıdır (Marton & Booth 1997).

Buna rağmen fenomenoloji ile fenomenografi arasındaki ilişki açık olarak dikkate alınmamaktadır ve çoğu zaman fenomenografi fenomenolojinin bir alt başlığı olarak görülmektedir (Arons 1982; Hasselgren & Beach 1997). Ayrıca bu yöntem fenomenolojiden ortaya çıkmış veya türetilmiş değildir (Uljen 1996). Bu yöntemin uygulanmasında çoğunlukla klinik görüşme yoluyla verilerin toplanması söz konusudur, ancak bireylerin deneyimlerini veya kavramlara yönelik düşüncelerini gurup görüşmeleri, gözlemler, açık uçlu sorulara verilen yanıtlar, çizimler ve tarihsel dokümanlar yoluyla toplamak mümkündür (Marton 1994).

2.2. Çalışmanın Grubu

Çalışmanın grubu amaçsal örneklem yöntemine göre belirlenmiştir. Çalışmaya Orta Doğu Teknik Üniversitesi (ODTÜ) ve Hacettepe Üniversitesi'nde (HÜ) öğrenim gören 65 öğrenci katılmaktadır. Çalışmaya katılan tüm öğrenciler kuantum fiziği zorunlu dersini tamamlamış olup, bu öğrencilerden 25'i Fizik Eğitimi Bölümünde (10 ODTÜ + 15 HÜ) ile 40'ı ise Fizik Bölümünde (40 ODTÜ) öğrenim görmektedir.

2.3. Araştırma Soruları

Bu çalışmada aşağıdaki araştırma soruları incelenmiştir:

- Üniversite fizik öğrencileri kuantum fiziğini nasıl ve hangi yollarla betimlemektedirler?
- Öğrenciler fiziksel kavramları yaptıkları betimlemelerde hangi sıklıkta kullanıyorlar ve hangi kavramları önemli kavramlar olarak nitelendiriyorlar?

2.4. Veri Toplama Aracı

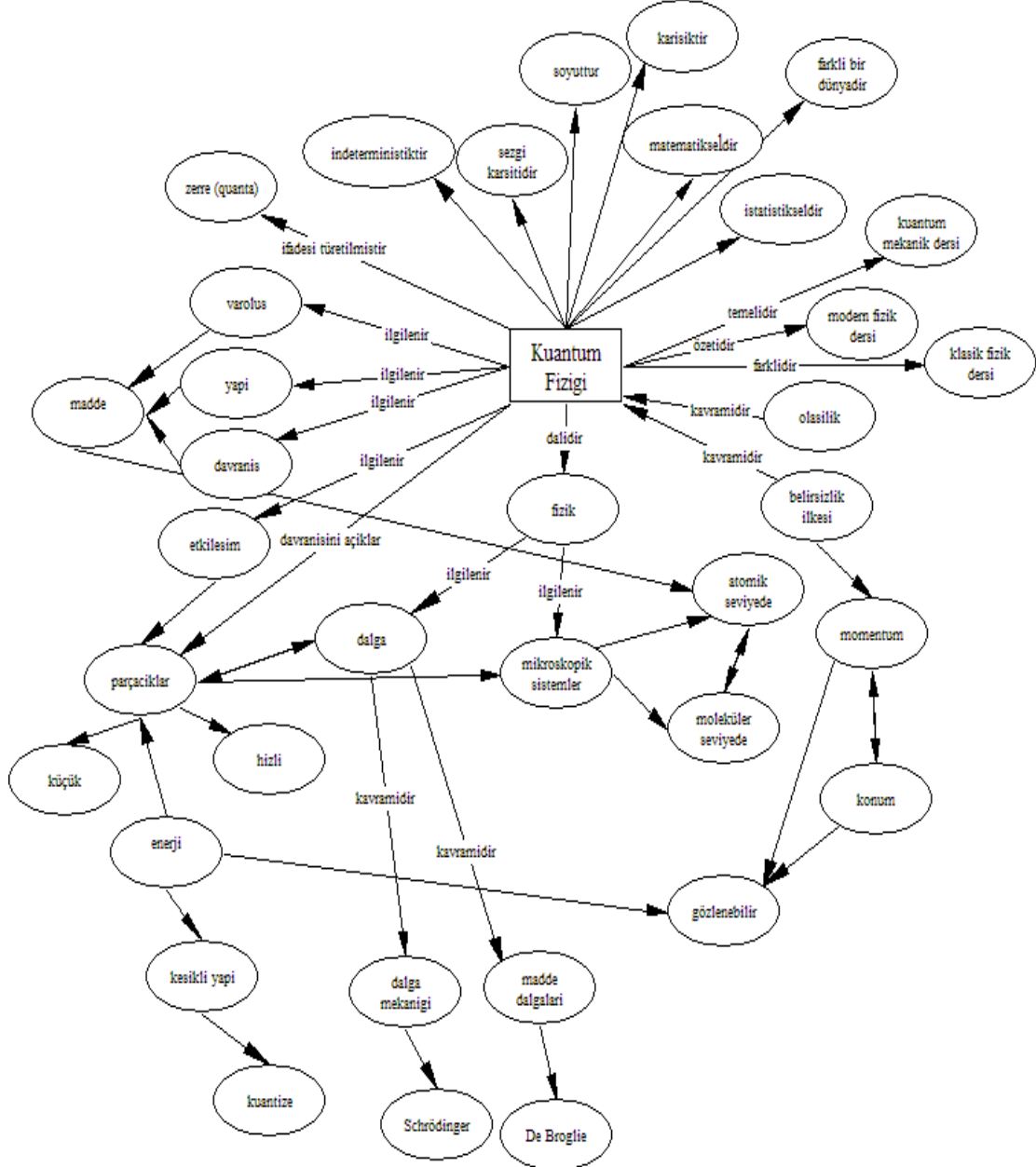
Çalışmanın verileri, öğrencilerin sınırsız açıklamalarını sağlamak amacıyla kuantum fiziğinin tamamına ilişkin açık uçlu üç temel sorunun uygulanmasıyla elde edilmiştir. Kuantum fiziğinin betimlenmesi ve öneminin belirtilmesi; klasik fizikten farklarının belirtilmesi; temel kavramların ve bu kavramların öneminin belirtilmesi testteki üç sorunun temelini oluşturmaktadır. Test yaklaşık 30 dakikalık süre içerisinde araştırmacılar tarafından uygulanmıştır.

2.5. Veri Analizi

Bu çalışmada, açık uçlu sorular yardımıyla toplanan nitel veriler 'fenomenografik analiz' yöntemine göre analiz edilmiştir. Araştırma sonunda elde edilen veriler önce kodlanmış, daha sonra her araştırmacı tarafından bireysel olarak kategoriler oluşturulmuş ve elde edilen sonuçlar aşamalı olarak birlikte değerlendirilmiştir. Araştırmada toplanan verilerin üçüncü kez incelenmesi oluşturulan kategorilerin iç tutarlılığı içindir. Öğrencilerin kuantum fiziğini betimleme yollarındaki çeşitliliği ortaya koyan açıklamalar haritalandırılmış ve hiyerarşik olarak tablo haline getirilmiştir. Buna ek olarak öğrencilerin betimlemede en çok kullandıkları kavramlar frekanslarıyla birlikte tablo halinde verilmiştir. Bu kavramlar öğrencilerin önemli gördükleri kuantum fiziği kavramlarıyla karşılaştırılmıştır.

3. BULGULAR VE SONUÇLAR

Analiz sonucunda öğrencilerin kuantum fiziğini betimlemeleri Şekil 1'deki gibi haritalandırılmıştır. Temel olarak iki çeşit betimleme kategorisi görülmektedir, bunlar 'Kuantum fiziği bir derstir' ve 'Kuantum fiziği fiziğin bir dalıdır' kategorileridir. Öğrencilerin betimleme yollarında ise üç kategori tespit edilmiştir. Bu kategoriler ise 'diğer derslerle (klasik fizik, modern fizik, kuantum mekaniği) ilişkilendirilerek', 'Kuantum fiziğinin bazı özellikleri ile operasyonel olmayan betimlemeler' ve 'Kuantum fiziğinin kavramları ile operasyonel betimlemeler'dir.



Şekil 1. Öğrencilerin kuantum fiziğini betimlemeleri

Tablo 1 de öğrencilerin kuantum fiziğini betimleme ve betimleme yollarındaki kategorilere ve öğrencilerin ifadelerine yer verilmiştir.

Tablo 1: Öğrencilerin Kuantum Fiziğini Betimleme ve Betimleme Yolları

Betimleme Kategorisi	Betimleme Yolu Kategorisi	Kategori Açıklamaları (Sıralı)	Öğrenci Betimlemelerinden Örnekler
Kuantum fiziği bir derstir	Diğer derslerle (klasik fizik, modern fizik, kuantum mekaniği) ilişkilendirerek betimleme	(1) Kuantum fiziğini sadece müfredatta olan bir ders olarak ve diğer derslerle ilişkilendirerek açıklamak	“Kuantum fiziği kuantum mekaniği dersinin temelidir, matematiksel altyapı sağlar” “Kuantum fiziği modern fizik dersini daha anlaşılır yapan bir derstir ve onu özetler”
Kuantum fiziği fiziğin bir dalıdır	Kuantum fiziğinin bazı özellikleri ile betimleme	(2) Kuantum fiziğini fiziğin bir dalı olarak düşünüp, <i>fizik kavramları kullanmadan</i> kuantum fiziğini açıklamak	“Kuantum fiziği farklı bir dünyadır” “Kuantum fiziği, fiziğin küçük nesnelere sistemlerini açıklayan deterministik olmayan bir modelidir” “Kuantum fiziği fiziğin istatistiksel yorumudur” “Kuantum fiziği matematiksel bir yapıdadır”
	Kuantum fiziğinin kavramları ile betimleme	(3) Kuantum fiziğini fiziğin bir dalı olarak düşünüp, <i>fizik kavramları kullanarak</i> kuantum fiziğini açıklamak	“Kuantum fiziği maddenin ve madde davranışının küçük boyutlarda tanımlanmasıdır” “Kuantum fiziği mikroskobik sistemlerin fiziğidir” “Kuantum fiziği mikro dünyada gözlediğimiz fiziktir, olasılıklı yapıdadır” “Kuantum fiziği dalga ve parçacıkların, onların enerji, momentum ve pozisyonlarının fiziğidir”

Öğrenciler “Kuantum fiziği bir derstir” betimleme kategorisinde, kuantum fiziği ile diğer dersler arasında ilişkiler kurmuşlardır. Bu kategorideki öğrenciler kuantum fiziğini sadece üniversite ders programlarında yer alan bir ders olarak görmektedirler. Buna rağmen bazı öğrencilerin “Kuantum fiziği, kuantum mekaniğinin temelidir ve matematiksel alt yapı sağlar” şeklinde betimlemeleri vardır. Bu kategoride bulunan öğrencilerin, yukarıda yaptıkları tanımda kısmen yanıldıkları görülmektedir. Çünkü kuantum fiziğinin matematiksel formalizmi kuantum mekaniği olarak adlandırılır (Wichmann, 1989). Ayrıca bu kategorideki bazı öğrenciler, kuantum fiziği dersinin modern fizik dersini daha anlaşılır hale getirdiğini belirtmişlerdir. Modern fizik derslerinin içeriği, kuantum fiziği ve görelilik ilkesinin yüzeysel incelendiği kısa bir özet niteliğindedir. Bu nedenle öğrenciler bu betimlemelerinde kuantum fiziğinin yoğun ve detaylı incelenmesi nedeniyle bu sayede modern fizik derslerinde tam olarak anlaşılmayan kavramların daha da anlaşılır hale geldiğini belirtmişlerdir.

Çalışma sonucunda toplanan verilerle oluşturulan diğer betimleme kategorisi, “Kuantum fiziği fiziğin bir dalıdır” kategorisidir. Bu kategori ise kuantum fiziğinin bazı özellikleri ile operasyonel olmayan ve kuantum fiziğinin kavramları ile operasyonel betimlemelerden oluşmaktadır. Her iki betimleme yollarında öğrenciler, kuantum fiziğini, fiziğin bir alt dalı olarak düşünmüşlerdir. Öğrenciler operasyonel olmayan betimlemelerindeki örneklerde genel anlamda kuantum fiziğinin bakış açısı ve felsefi yapısıyla ilgili noktaları fiziksel kavramlar kullanmadan işaret etmişlerdir. Kuantum fiziğinin öngörülerıyla olasılıkçı bir yapıda olduğuna aynı şekilde değinmişlerdir. Başka bir örnekte ise “*Kuantum fiziği, fiziğin istatistiksel yorumudur*” görülmektedir. Öğrenciler tarafından yapılan bu betimlemede yine, fiziksel bir kavram kullanmadan kuantum fiziğinin öngörülerini ile olasılıkçı ve çok parçacıklı sistemlerden oluşan yapıları inceleyen bir alan olduğunu ifade etmeye çalışmışlardır. “*Kuantum fiziği matematiksel bir yapıdadır*” betimlemesine bakıldığında öğrenciler kuantum fiziğinde kullanılan matematiksel yapıların, klasik fizikten farklı, anlaşılması zor ve sıra – değışmeli olmayan yapılar olduğunu düşünerek bu tanıımı yapmışlardır. Betimleme yolu bu kategorideki diğer örnekler gibi kavram kullanılmayarak yapılmış ve pek açıklayıcı değildir. Klasik fizikten tamamen farklı matematiksel ve kavramsal bakış açısından dolayı da kuantum fiziğini farklı bir dünya olarak betimlemiş olabilirler. Kuantum fiziğini betimleme yollarındaki üçüncü kategori öğrencilerin hangi fiziksel kavramları kullandıklarını göstermektedir. Bu kavramlar madde dalgaları, Schrödinger dalga mekaniği, parçacık, dalga, Heisenberg belirsizlik ilkesi, mikroskobik sistem, madde, enerji, momentum, konum, durum, atom, dalga-parçacık ikilemi, atomik yapı, kuantumlanma, foton, dalga fonksiyonu ve olasılık kavramlarıdır. Öğrenciler kuantum fiziği betimlemelerinde bu kavramları birçok kere birlikte kullanmışlardır. Bu çalışmada ayrıca öğrencilerden kuantum teorisinde önemli gördükleri kavramları belirtmeleri istenmiştir. Bu kavramlar ise dalga, parçacık, Hilbert uzayı, üstüste gelme prensibi, Schrödinger dalga denklemi, dalga fonksiyonu, dalga fonksiyonunun çökmesi, ölçüm, kuantumlanma, işlemci, Heisenberg belirsizlik ilkesi, enerji, momentum, simetri, dalga-parçacık ikilemi, Planck sabiti, durum, sıradığışım ilişkileri, olasılık, foton, atomik sistem, ortalama değeri, beklenen değeri, özdeğeri, özfonksiyon, fotoelektrik olay, Compton saçılması, harmonik salınıcı, normalizasyon, spin, pertürbasyon, Pauli dışarlama ilkesi, potansiyel kuyuları ve de Broglie dalgasıdır. Tablo 2 de öğrencilerin kuantum fiziğini betimlemede en çok kullandıkları kavramlar ve kuantum teorisinin önemli olduğunu düşündükleri bazı kavramlar frekanslarıyla birlikte verilmiştir.

Tablo 2: Kullanılan Fiziksel Kavramlar

Fiziksel Kavramlar	
Betimlemede Kullanılan Kavramlar (frekans)	Öğrencilerin Önemli Gördükleri Kuantum Teorisi Kavramları (frekans)
Mikroskobik sistem (15)	Heisenberg Belirsizlik İlkesi (20)
Parçacık (15)	<i>Olasılık (14)</i>
<i>Olasılık (7)</i>	Schrödinger Dalga Denklemi (9)
Enerji (7)	Dalga Fonksiyonu (9)
Madde (7)	<i>Kuantumlama (8)</i>
<i>Kuantumlama (5)</i>	İşlemci (7)

Tablo 2 de görüldüğü gibi, öğrenciler kuantum fiziğini betimlemede bahsedilen kavramlardan en çok *Mikroskobik sistem (15)*, *Parçacık (15)*, *Olasılık (7)*, *Enerji (7)*, *Madde (7)* ve *Kuantumlama (5)* kavramlarını kullanmışlardır. Bu kavramlara göre öğrenciler kuantum fiziğini temel olarak “mikroskobik sistemlerin fiziği” olarak düşünmektedirler. Betimlemede kullanılan tüm kavramlara

bakıldığında, öğrenciler klasik fizikte olmayan sadece kuantum teorisine özgü olan dalga fonksiyonu, dalga-parçacık ikilemi gibi kavramları kullanmışlardır. Öğrenciler çoğunlukla kuantum teorisinin en önemli kavramı olarak *Heisenberg belirsizlik ilkesini* (20) söylemişlerdir. Heisenberg' in bir bilim adamı olarak kuantum fiziğindeki önemi, fizik müfredatında ilkeyi açıklamaya harcanan ders süresi, derslerde konuya yapılan vurgu bu açıklamalara olanak sağlamış olabilir. 'Olasılık' ve 'Kuantumlama' kavramları ise hem öğrencilerin en çok kullandıkları hem de önemli gördükleri kavramlardır.

Özet olarak, bu çalışmada 65 öğrencinin kuantum fiziğini nasıl ve hangi yollarla betimledikleri fenomenografik analiz yoluyla ortaya çıkartılmıştır. Öğrenciler Kuantum fiziğini 'ders olarak' ve 'fiziğin bir dalı' olarak betimlemektedirler. Bu iki çeşit betimleme, öğrencilerin farklı üç yolla betimleme yapmalarına fırsat vermiştir. Bu betimleme yolları ise 'diğer derslerle (klasik fizik, modern fizik, kuantum mekaniği) ilişkilendirerek', 'Kuantum fiziğinin bazı özellikleri ile operasyonel olmayan betimleme' ve 'Kuantum fiziğinin kavramları ile operasyonel betimlemelerdir. Çalışmada, 'mikroskopik sistem' betimlemede en çok kullanılan kavram, 'Heisenberg belirsizlik ilkesi' ise öğrencilerin kuantum fiziğinde en önemli olarak niteledikleri kavram olarak ortaya çıkmıştır. Betimlemek kelime anlamıyla bir kavramın ifadesi olarak düşünüldüğünde bilişsel açıdan alt seviyelerde düşünmeyi işaret edebilir. Fakat, çoğunlukla soyut birden çok kavramı içinde bulunduran, eskiden var olan klasik fizik bilgilerini kısmen kullanarak tamamen yeni fiziksel açıklamaları ortaya koyan, fiziğin en başarılı teorilerinden olarak görülen kuantum teorisini içeren kuantum fiziğini tam anlamıyla betimlemek bilişsel açıdan her kavramın, ilişkinin ve durumun analiz ve sentezinden sonra bir değerlendirmeye varılmasını gerektirir. Bu çalışma, öğrencilerin kavramların içinde bulunduğu yapının bütününe nasıl algıladıklarını işaret etmektedir. Mesela, birinci kategoride öğrenciler şekilsel yaklaşarak yalnızca ders bazında açıklamaktadırlar. İkinci kategoride kuantum fiziğini fiziksel kavramlar kullanmadan, popüler anlamda bazı özellikleri işaret ederek betimlemeler mevcuttur. Üçüncü kategori de ise, kuantum fiziği kavramlarının, kavramlar arası ilişkilerin, durumların göz önüne alınması, analiz, sentez ve değerlendirilmelerine ilişkin izler görülmektedir. Bu kategoride diğer kategorilere göre, bahsedilen bilişsel düzeylerden üst kısımlara kadar ulaşabildikleri söylenebilir.

Bu nitel çalışmada genelleme amacı olmaksızın, durumu tanımlayıcı ve açıklayıcı olmaya çalışılmıştır. Bulgular kuantum fiziğinin öğretilmesine ilişkin yeni öğretim tasarımları ve materyal geliştirilmesinde yardımcı rol oynayabilir. Bu bağlamda kuantum fiziği dersinin verildiği belirli aralıklarda (akademik dönem başı, sonu ya da özel belirlenmiş zamanlarda) ön organize ediciler ile kavramlar, kavramlar arası ilişkiler, felsefi, matematiksel vs. gibi noktalara özellikle vurgu yapılabilir. Bu çalışma, öğrencilerin kuantum fiziğini algılayış biçimleri hakkında fikir verdiği için bundan sonra yapılacak araştırmalara ve bu dersin öğretiminde üzerinde sıklıkla durulması gereken kavramların neler olabileceği konusunda faydalı olabilir.

KAYNAKLAR

- Akerlind, G. S. (2002). *Principles and practice in phenomenographic research*. Çalışma International Symposium on Current Issues in Phenomenography sempozyumunda bildiri olarak sunulmuştur, Australia.
- Akerlind, G. S. (2005). Variation and commonality in phenomenographic research methods. *Higher Education Research & Development*, 24(4), 321-334.
- Arons, A. B. (1982). Phenomenology and logical reasoning in introductory physics courses. *Am. J. Phys.* 50, 13.
- Cataloğlu, E. (2002). *Development and validation of an achievement test in introductory Quantum Mechanics: The Quantum Mechanics Visualization Instrument (QMVI)*. Unpublished doctoral dissertation, Pennsylvania State University, US.
- Didiş, N., Eryılmaz, A., & Erkoç, Ş. (2007). *Students' Comprehension of Fundamental Concepts in Quantum Mechanics: A Qualitative Study*. Çalışma GIREP-EPEC Conference- Frontiers of Physics Education konferansında bildiri olarak sunulmuştur, Croatia.
- Entwistle, N. (1997). Introduction: Phenomenography in higher education. *Higher Educ. Res. Dev.* 16, 127.
- Hasselgren, B. & Beach, D. (1997). Phenomenography "a good looking brother" of phenomenology? *Higher Educ. Res. Dev.* 16, 191.
- Ireson, G. (2000). The quantum understanding of pre university physics students. *Physics Education*, 35(1), 15-21.
- Ke, J. L., Monk, M. & Duschl, R. (2005). Learning introductory quantum mechanics. *International Journal of Science Education*, 27(13), 1571-1594.

- Marton, F. (1981). Phenomenography - describing conceptions of the world around us. *Instructional Science*, 10, 177–200.
- Marton, F. (1994). In the International Encyclopedia of Education. Second edition , Volume 8. Eds. Torsten Husén & T. Neville Postlethwaite. Pergamon, 4424 – 4429. 02.04.2008 tarihinde <http://www.ped.gu.se/biorn/phgraph/civil/main/2res.appr.htm> adresinden alınmıştır.
- Marton, F. & Booth, S. (1997). *Learning and awareness*, Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Ass.
- Mashhadi, A. & Woolnough, B. (1999). Insights into students' understanding of quantum physics: visualizing quantum entities. *European Journal of Physics*, 20, 511–516.
- Müller, R. & Wiesner, H. (1999). Students' conceptions of quantum physics. In D. Zollman (Ed.), *NARST 1999: Research on Teaching and Learning Quantum Mechanics*. 18.11.2005 tarihinde http://web.phys.ksu.edu/papers/narst/OM_papers.pdf adresinden alınmıştır.
- Pospiech, G. (2000). Uncertainty and complementarity: The hearth of quantum physics. *Physics Education*, 35(6), 393–399.
- Prosser, M. & Trigwell, K. (1999). *Understanding Learning and Teaching. The Experience in Higher Education*, Buckingham, U.K.
- Singh, C., Belloni, M. & Christian, W. (2006). Improving students' understanding of quantum mechanics. *Physics Today*, 59(8), 43–49.
- Strnad, J. (1981). Quantum physics for beginners. *Physics Education*, 16, 88–92.
- Styer, D. F. (1996). Common misconceptions regarding quantum mechanics. *American Journal of Physics*, 64, 31–34.
- Şen, A. İ. (2000). Kuantum fiziği alan öğretimi konusunda Almanya'da yapılan tartışmaların son durumu. *Hacettepe Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 19, 122–127.
- Uljens, M. (1996). On the philosophical foundation of phenomenography, in *Reflections on Pheomenography – Towards a methodology?* G. Dall'Alba & B. Hasselgren (Eds.) Göteborg: Acta Universitatis Gothoburgensis, 105–130. 07.04.2008 tarihinde <http://www.ped.gu.se/biorn/phgraph/misc/const/phlo.phgr.html> adresinden alınmıştır.
- Wichmann, E. H. (1989). *Quantenphysik*, Berkeley Physik Kurs 4, Friedr. Vieweg+Sohn, Braunschweig.
- Wihlborg, M. (2004). Student nurses' conceptions of internationalism in general and as an essential part of Swedish nurses' education. *Higher Educ. Res. Dev.* 23, 433.

EXTENDED ABSTRACT

In this study, variation in students' description of quantum physics and ways of description were identified. Participants of the study were selected purposively. 65 students from Middle East Technical University and Hacettepe University participated to this study. The data of the study were collected by the researchers' application of three questioned, extended response item test to students to get unlimited explanations. Obtained qualitative data were analyzed via phenomenographic analysis. The data was analyzed by the researchers gradually. The categories which indicate variation in descriptions of quantum physics were mapped and hierarchically tabulated with the ways of descriptions and students' explanations. In addition, the most used concepts in descriptions were tabulated by showing the frequencies of students who used these concepts to explain quantum physics. These concepts were compared with the important concepts of quantum theory which were stated by students. Microscopic system is identified by mostly used concept and Heisenberg uncertainty principle is identified the most important concept. This study indicates how students perceive the whole of the phenomenon. The findings may be used in new instructional designs and material developments about teaching it.

There is an increase in studies about learning of quantum theory. The pedagogical studies about quantum physics focus on conceptual understanding of concepts, visualization and mathematical thinking and problem solving. This study is a phenomenographic study that indicates the variation of descriptions and ways of descriptions of quantum physics. Phenomenography is accepted as a new approach which is used in educational researches since 1980s (Akerlind 2005). Marton (1981) defines phenomenographic research as investigation of the variation in human understanding, meaning, conceptions and awareness or ways of experience of phenomenon (Akerlind 2002). Hasselgren and Beach (1997) describe phenomenographic analysis as a process of discovery (as cited in Akerlind, 2002). In this approach, the variations obtained in the analysis are mapped. Marton and Booth (1997) describe some criteria for the quality of phenomenographic analysis. Individual categories should be logically related with the phenomenon clearly and related with each other in hierarchical order. Each category should reveal distinctive about a particular way of experiencing the phenomenon and the

categories in outcome spaces should be in small numbers of category as possible (Marton & Booth 1997).

In the analysis, some differences in the descriptions and the ways description of the students were investigated. There are basically two types of description as ‘Quantum physics as a course’ and ‘Quantum physics as a branch of physics’. And three types of description ways such as ‘descriptions by connection with other courses’, ‘non-operational descriptions with some features (informal)’ and ‘operational descriptions with some physical concepts (formal)’.

Students used “matter waves, Schrödinger Wave Mechanics, particle, wave, Heisenberg uncertainty principle, microscopic system, matter, energy, momentum, position, state, atom, wave-particle duality, atomic structure, quanta/quantization, photon, wavefunction and probability” concepts. Some of the students who describe quantum physics with concepts used more than one concept in their descriptions. In addition to these concepts, students characterized some concepts as important concepts. These are “wave, particle, Hilbert space, superposition, Schrödinger wave equation, wavefunction, collapse of wavefunction, measurement, quantization, operator, Heisenberg uncertainty principle, energy, momentum, position, symmetry, wave-particle duality, Planck constant, state, commutation relations, probability, photon, atomic system, average value, expectation value, eigenvalue, eigenfunction, Photoelectric effect, Compton scattering, harmonic oscillator, normalization, spin, perturbation, Pauli Exclusion principle, potential wells and deBroglie wave”. In consideration of the characterization of the important concepts, students think that the most important concept of Quantum theory is Heisenberg uncertainty principle. The other concepts characterized as important are “probability, Schrödinger wave equation, wavefunction, quantization and operator”. Students used “probability” and “quantization” concepts both in their descriptions and in the characterization of important concepts.