

HİTİT İLAHİYAT DERGİSİ

Hitit Theology Journal

e-ISSN: 2757-6949

Cilt | Volume 23 • Sayı | Number 1

Haziran | June 2024

Kuantum Fiziğinin Bulanık Mantık Perspektifinden Tasviri

Description of Quantum Physics from the Perspective of Fuzzy Logic

Metin KOÇHAN

Dr.

Bağımsız Araştırmacı

Independent Researcher

Mardin, Türkiye

metinkochan@artuklu.edu.tr

<https://orcid.org/0000-0003-1258-5352>

Makale Bilgisi | Article Information

Makale Türü | Article Type: Araştırma Makalesi | Research Article

Geliş Tarihi | Received: 04.02.2024

Kabul Tarihi | Accepted: 30.05.2024

Yayın Tarihi | Published: 30.06.2024

Atıf | Cite As

Koçhan, Metin. "Kuantum Fiziğinin Bulanık Mantık Perspektifinden Tasviri". *Hitit İlahiyat Dergisi* 23/1 (2024), 300-335.
<https://doi.org/10.14395/hid.1431547>

Değerlendirme: Bu makalenin ön incelemesi iki iç hakem (editörler - yayın kurulu üyeleri) içerik incelemesi ise iki dış hakem tarafından çift taraflı kör hakemlik modeliyle incelendi.

Benzerlik taraması yapılarak (Turnitin) intihal içermediği teyit edildi.

Etik Beyan: Bu çalışmanın hazırlanma sürecinde bilimsel ve etik ilkelere uyulduğu ve yararlanılan tüm çalışmaların kaynakçada belirtildiği beyan olunur.

Etik Bildirim: ilafdergi@hitit.edu.tr | <https://dergipark.org.tr/tr/pub/hid/policy>

Çıkar Çatışması: Çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

Finansman: Bu araştırmayı desteklemek için dış fon kullanılmamıştır.

Telif Hakkı & Lisans: Yazarlar dergide yayınlanan çalışmalarının telif hakkına sahiptirler ve çalışmalarını CC BY-NC 4.0 lisansı altında yayımlanmaktadır.

Review: Single anonymized - Two Internal (Editorial board members) and Double anonymized - Two External Double-blind Peer Review
It was confirmed that it did not contain plagiarism by similarity scanning (Turnitin).

Ethical Statement: It is declared that scientific and ethical principles have been followed while conducting and writing this study and that all the sources used have been properly cited.

Complaints: ilafdergi@hitit.edu.tr | <https://dergipark.org.tr/en/pub/hid/policy>

Conflicts of Interest: The author(s) has no conflict of interest to declare.

Grant Support: The author(s) acknowledge that they received no external funding to support this research.

Copyright & License: Authors publishing with the journal retain the copyright to their work licensed under the CC BY-NC 4.0.

Description of Quantum Physics from the Perspective of Fuzzy Logic*

Abstract

The end of the 19th century corresponds to a period in which different problem areas emerged in the field of physics, characterised as classical or modern physics, which contain different structural features that cannot be explained with the assumptions of Newtonian physics. As a result of the studies carried out to solve these problems, a new type of physics, called “-quantum physics-“, emerged at the beginning of the 20th century, based on principles different from those of classical physics. The study of the behaviour of objects in the subatomic universe was the interest of quantum physics. The atom, once regarded as indivisible by Newton, became the object of quantum physics studies, which enabled it to be broken down into smaller parts and thus penetrated. Quantum physics changed the approach of modern physics to the universe, which was based on the assumption that it consisted of fixed and completely isolated fundamental particles, and led to the emergence of the idea that relational processes, not isolation, were dominant among the particles that made up the universe. This physics discovered the existence of new phenomena in the subatomic universe that did not fit the mechanistic-deterministic approach considered characteristic of the macro-universe. The emergence of these discoveries required a radical change in the fundamental concepts of “space”, “time”, “object”, “observer”, “measurement”, “effect”, “locality” and “interaction”, which classical physics was based on. This is because the nature of the phenomena that quantum physics draws attention to in the micro-universe does not coincide with the assumptions of classical physics regarding these concepts. This non-overlapping situation is essentially because the phenomena occurring in both fields arise according to different logical schemes. Classical mechanics is based on the fundamental principles of classical logic. However, the phenomena to which quantum physics refers do not conform to the basic principles of classical logic. In this respect, the findings of quantum physics cannot be understood using the structure of thought based on classical logical principles. Today, however, it seems possible to make this interpretation from the perspective of the fuzzy logic paradigm, which puts vagueness, the main focus of quantum physics, on its agenda. Today, the concept of vagueness has been incorporated into the scientific process. Parallel to quantum theory’s positioning of vagueness as a principle, fuzzy logic has also integrated vagueness in all knowledge processes and included it in its structure not as a situation to be avoided, but as a situation to be evaluated. In this sense, this study aims to demonstrate that the basic principles of quantum physics, which cannot be adequately described by the classical mode of thought shaped by the principles of classical logic, can instead be depicted from the perspective of fuzzy logic, which has created a significant area of application in the field of engineering, especially in artificial intelligence studies. In this direction, this study first discusses the process that led to the emergence of quantum physics in general and proceeds to present its basic principles based on the views of the Copenhagen School, which has become the standard view of quantum physics. After mentioning that the phenomena outlined by quantum physics cannot be described within the limits of the three basic principles of classical logic, this study presents the fuzzy logic system as it makes such a description possible. Finally, this study attempts to illustrate in which contexts the basic principles of quantum physics can be associated with fuzzy logic theory. As a result of this investigation, this study reiterates that quantum physics can sufficiently be described from the perspective of fuzzy logic. One of the main goals of revealing this relationship is to create an important basis for philosophical activity. Just as Newtonian physics, one of the major developments that determined the paradigm of modern science, was based on classical logic, and in turn, classical logic provided a framework for philosophical ways of thinking influenced by classical physics, revealing the relationship between quantum physics and fuzzy logic will indicate that fuzzy logic can provide a framework for philosophical ways of thinking that will complement quantum physics. In this respect, this study aims to demonstrate that quantum physics and fuzzy logic accompany each other in the scientific realm.

Keywords: Logic, Physics, Quantum Physics, Fuzzy Logic, Vagueness, Uncertainty.

Kuantum Fiziğinin Bulanık Mantık Perspektifinden Tasviri**

Öz

19. yüzyılın sonu, fizik alanında klasik veya modern fizik olarak nitelenen Newton fiziği kabulleri ile anlamlandırılmayan farklı yapısal özellikleri bünyesinde barındıran çeşitli problem alanlarının ortaya çıktığı bir döneme karşılık gelmektedir. Bu problemleri çözme adına yapılan çalışmalar neticesinde 20. yüzyılın başlarında klasik fizik prensiplerinden farklı prensiplere sahip olan yeni bir fizik ortaya çıkmıştır. Bu yeni fizik kuantum

* This study, which was presented as an oral presentation at “the Ankara International Congress on Scientific Research-VII”, was prepared based on the author’s doctoral thesis titled “The Role of Fuzzy Logic in Description of New Physics and Its Relationship with Philosophy”.

** “Ankara International Congress On Scientific Research-VII” kongresinde sözlü bildiri olarak sunulan bu çalışma, yazarın “Bulanık Mantığın Yeni Fiziği Betimlemedeki Rolü ve Felsefeyle İlişkisi” adlı doktora tezine dayanılarak üretilmiştir.

fiziğidir. Atom-altı evrendeki nesnelerin davranış biçimlerinin soruşturulması, kuantum fiziğinin ilgisini teşkil etmektedir. Newton'un, hiçbir parçaya bölünemez olarak kabul ettiği atom, kuantum fiziği çalışmalarıyla daha küçük parçalara ayrıştırılabilen ve bu bakımdan da içine nüfuz edilebilen bir soruşturmanın konusu kılınmıştır. Kuantum fiziği, modern fiziğin sabit, birbirinden tamamen yalıtılmış temel parçacıklardan oluştuğu varsayımına dayanan evren tasavvurunu değiştirmiş; evreni oluşturan parçacıklar arasında yalıtılmışlığın değil, ilişkisel süreçlerin hâkim olduğu yönünde bir görüşün ortaya çıkmasını sağlamıştır. Bu fizik ile birlikte atom-altı evrende, makro evrenin karakteristiği olarak kabul edilen mekanikçi-determinist yaklaşım biçimine uymayan yeni olguların varlığı keşfedilmiştir. Bu keşiflerin varlığı, klasik fiziğin dayandığı "uzay", "zaman", "nesne", "gözlemci", "ölçüm", "etki", "yerellik" ve "etkileşim" gibi temel kavramlarda köklü bir değişimi zorunlu kılmıştır. Zira kuantum fiziğinin mikro evrende dikkat çektiği olguların mahiyeti, klasik fiziğin bu kavramlar bağlamında oluşturduğu kabuller ile örtüşmemektedir. Bu örtüşmeme durumu ise temelde her iki alanda meydana gelen olguların farklı bir mantıksal şemaya göre ortaya çıkıyor olmasından kaynaklanmaktadır. Zira klasik mekanik, klasik mantığın temel ilkelerine dayanarak etkinlikte bulunmuştur. Fakat kuantum fiziğinin gönderimde bulunduğu olgu durumları, klasik mantığın bu temel ilkelerine uymamaktadır. Bu açıdan, kuantum fiziği bulguları, klasik mantıksal ilkelere dayalı düşünce yapısı ile anlamlandırılmamaktadır. Fakat günümüzde kuantum fiziğinin temel vurgusu olan belirsizliği gündemine alan bulanık mantık perspektifinden bu anlamlandırmayı yapmak olanak dâhilinde görünmektedir. Günümüzde belirsizlik kavramı artık bilimsel sürece dâhil olmuştur. Kuantum kuramının, kesinsizliği bir ilke olarak içeren belirsizliğe gönderim yapmasına paralel olarak, bulanık mantık da belirsizliği tüm bilgi süreçlerine dâhil etmiş, belirsizliği, kaçınılması gereken bir durum olarak değil aksine değerlendirilmesi gereken bir durum olarak bünyesine almıştır. Bu bakımdan bu çalışmanın amacı klasik mantık ilkeleri bağlamında şekillenen klasik düşünce tarzı ile tasviri yetersiz kalan kuantum fiziğinin ortaya koyduğu temel ilkeleri, günümüzde başta yapay zekâ çalışmaları olmak üzere mühendislik alanında önemli uygulama alanı yaratan bulanık mantık perspektifinden tasvir edilebileceğini ortaya koymaktır. Bu doğrultuda çalışmamızda ilk olarak kuantum fiziğinin ortaya çıkmasına sebep olan süreç genel hatları ile ele alınmış, devamında kuantum fiziğinin standart görüşü haline gelmiş Kopenhag Okulu'nun görüşleri baz alınarak temel ilkeleri ortaya konulmuştur. Genel çerçevesi çizilen kuantum fiziğinin gönderimde bulunduğu olguların, klasik mantığın üç temel ilkesi ile sınırlı kalındığında tasvir edilemeyeceğine değinildikten sonra bu tasviri yapmayı mümkün kıldığını düşündüğümüz bulanık mantık sistemi ortaya konulmuştur. Nihayetinde kuantum fiziğinin temel ilkelerinin hangi bağlamlarda bulanık mantık teorisi ile ilişkilendirilebilir olduğu gösterilmeye çalışılmıştır. Bu minvalde yapılan soruşturma neticesinde kuantum fiziğinin bulanık mantık perspektifinden tasvir edilebileceği sonucuna varılmıştır. Bu ilişkiyi ortaya koymanın temel hedeflerinden biri felsefi etkinlik açısından önemli bir zemin oluşturmak olmuştur. Zira nasıl ki modern bilim paradigmasını belirleyen önemli gelişmelerden olan Newton fiziği, klasik mantığa temel oluşturmuş ve bu bakımdan da klasik mantık, klasik fizikten etkilenen felsefi düşünüş biçimlerine bir çerçeve çizmiş ise, benzer biçimde kuantum fiziğinin bulanık mantık ile ilişkisini ortaya koymak, bulanık mantığın da kuantum fiziğine eşlik edecek felsefi düşünüş biçimlerine bir çerçeve çizebileceğini gösterecektir. Bu bakımdan bu çalışma, kuantum fiziği ile bulanık mantığın bilim zemininde birbirine eşlik ettiğini göstermeyi amaç edinmiştir.

Anahtar Kelimeler: Mantık, Fizik, Kuantum Fiziği, Bulanık Mantık, Belirsizlik, Kesinsizlik.

Giriş

Kuantum fiziğinin kurucularından Heisenberg (1901-1976), "... kuantum teorisinin yapısı, klasik fiziğin kavramsal yapısından çok farklıdır... klasik fiziğin kavramlarıyla düşünüldüğünde, tamamıyla yanlış sonuçlara varılabilir..."¹ diyerek kuantum fiziği ile birlikte klasik fiziğin ortaya koyduğu kavramlarda bir değişimin yapılması gerektiğine dikkat çekmiştir. Kuantum fiziği ile birlikte klasik fiziğin kavramları bir dönüşüme uğrarken diğer taraftan bu kavramlar bağlamında gerçekleştirdiğimiz düşünce yapısında da bir değişimin yapılması gerekliliği gündeme gelmiştir.² Zira gelinen nokta itibarıyla atom fiziğinin ortaya koyduğu bulgular, "ussallığın (veya mantığın) ilkeleri" ile anlaşılammaktadır.³

Klasik fizik, klasik mantığın temel ilkelerine göre şekil almıştır. Klasik mantığın temel ilkelerine dayalı bir bilim anlayışı ile şekil almış klasik fiziğin kabulleri de yeni fiziğin mikro evrende ilgilendiği olguların sahip olduğu gerçekliği temellendirilmede yetersiz kalmaktadır. Fakat klasik

¹ Werner Heisenberg, *Parça ve Bütün*, çev. Ayşe Atalay (İstanbul: Düzlem Yayınları, 1990), 227.

² Fritjof Capra, *Batı Düşüncesinde Dönüm Noktası*, çev. Mustafa Armağan (İstanbul: İnsan Yayınları, 1992), 80.

³ Şevki Işık, *Kuantum Mekaniği İlkelerinin Felsefi İçerimleri* (Ankara: Ankara Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Doktora Tezi, 2011), 7.

mantık bakış açısından farklı bir yaklaşımla sistemleşen günümüzde önemli bir mantık sistemi olan bulanık mantık bu yetersizliği giderebilir bir mahiyete sahip gözükmemektedir. Bu açıdan çalışmamızda kuantum fiziğinin bulgularının, bulanık mantık perspektifinden tasvir edilebileceğini göstermeye çalışacağız. Bunun için öncelikle kuantum fiziğinin temel kabulleri ortaya konulacak, devamında ise bulanık mantık anlayışına değinilecektir. Nihayetinde bulanık mantık ile kuantum fiziğinin temel dayanaklarının hangi bağlamlar üzerinde ilişkilendirilebilir olduğu gösterilmeye çalışılacaktır.

Bu ilişkinin gösterilmesi çabası temelde bilim, mantık ve felsefe ilişkisinin günümüzdeki bilimsel ve mantıksal gelişmeler dikkate alınarak tekrardan bir değerlendirmeye tabi tutulması gerekliliğini göstermeye yöneliktir. Zira kesinlik ideali ile etkinlikte bulunmuş modern bilim anlayışı, belirsizliği önermelerden ayıklayabilecek mantıksal bir zemin üzerinden iş görmüş, bu ilişkiye bağlı olarak da modern felsefe etkinliğini şekillendirmiştir. Fakat bilimdeki kesinlik ideali kuantum fiziği ile birlikte yerini kesinsizliğe bırakmış, belirsizliği ayıklamaya çalışan mantıksal yaklaşım biçimi de bulanık mantık yaklaşımıyla gereksiz bir yaklaşıma dönüşmüştür. Belirsizlik veya kesin olmayış günümüzde artık bilim ve mantık alanını şekillendiren temel unsura dönüşmüştür. Bu açıdan, kuantum fiziği ile bulanık mantığın hangi bağlamlarda ilişkilendirilebileceğinin gösterimi, modern felsefeyi şekillendiren klasik fizik ile klasik mantığın birbirine hangi bağlamlarda eşlik ettiği kadar önemli bir çabaya karşılık gelecektir. Zira bu ilişkinin gösterilebilmesine bağlı olarak felsefi etkinlik de bu ilişkiye, yeni bir bilimsel-mantıksal arka planla meşru bir biçimde eşlik edebilecektir.

Kuantum fiziğinin dikkat çektiği olgu durumlarının tasviri açısından klasik mantık ilkelerinin yetersiz olduğuna dikkat çeken çalışmalardan biri, Alan Woods ve Ted Grant'ın ortaya koyduğu *Akılın İsyanı: Marksist Felsefe ve Modern Bilim* adlı çalışmadır.⁴ Bu çalışma kuantum evrendeki olguların klasik mantık bağlamında anlaşılamayacağına vurgu yapması çalışmamız açısından önemlidir. Fakat bu çalışma kuantum olguların tasviri için bulanık mantık ile ilgili herhangi bir ilişkiye atıf yapmamış, daha ziyade diyalektik mantığı bu tasvir için gündeme taşımıştır. Fakat diyalektik mantık, sözgelimi kuantum fiziğinde bir parçacığın hız ve konumuna dair ortaya çıkan belirsizlik durumunun olasılık yorumunu tam manasıyla tarif edemez. Zira kuantum evrendeki olasılık durumu söz konusu olduğunda, olasılığın da bulanık versiyonuna ihtiyaç duyulduğu görülmektedir.

Çalışmamızı motive eden önemli bir diğer çalışmanın da ülkemizde Şevki Işıklı'nın ortaya koyduğu *Kuantum Mekaniği İlkelerinin Felsefi İçerimleri* adlı eser olduğunu ifade etmek mümkündür. Zira Işıklı, bu çalışmasında kuantum fiziğinin ortaya koyduğu ilkelerin, klasik mantığın temel ilkeleri ile sınırlı kalındığında anlaşılamayacağını "Kuantal olgular ve yeni mantık gereksinimi" başlığı altında irdeler.⁵ Ona göre "Kuantal olguların bulanık mantıkla tasvirinin imkânı" alt başlığı altında da "Kuantal olguların tasvirinde biçimsel mantığın yetersizliği ve yeni mantığa duyulan gereksinim ortadadır. Bulanık mantığın temel kavramları ile kuantum mantığının temel ilkelerinin karşılaştırılabilir olup olmadığı, aralarında bir eş-değerlilik ilişkisinin bulunup bulunmadığı gereğince sorgulanmış değildir. Karşılaştırılabilir olan temel özellik ve işlevler neler olabilir?"⁶ ifadelerine yer vererek kendisi doğrudan bu ilişkiyi ele almamış olsa da

⁴ Alan Woods-Ted Grant, *Akılın İsyanı: Marksist Felsefe ve Modern Bilim*, çev. Ufuk Demirsoy-Ömer Gemicci (İstanbul: Yordam Kitap, 2018).

⁵ Işıklı, *Kuantum Mekaniği İlkelerinin Felsefi İçerimleri*, 256-270.

⁶ Işıklı, *Kuantum Mekaniği İlkelerinin Felsefi İçerimleri*, 270.

bu ilişkinin irdelenmesi gerektiğini bir soruşturma konusu olarak ortaya koymuştur. Biz de bu çalışmada söz konusu irdelenmeyi yapmaya çalıştık. Benzer biçimde Metin Arslan, kuantum fiziği ile bulanık mantık teorisi arasında hangi bağlamlarda bir ilişkinin kurulabileceğini irdelenmemiş olsa da “Karmaşıklığın Bilimi, Postmodern Söylem ve Yükselen Paradigmaların Metafizik Arkapları: Kaos, Gödel Sonrası Matematik, Fuzzy Mantık, Sanal Gerçeklik ve Gaia Hipotezi-Ortak Lisan ve Kategorik Değişimi Araştırmak” adlı çalışması da⁷, “kuantum mekanik dünyanın “fuzzy bir dünya” olduğu” ve “eşyanın bu düzlemdeki tezahürlerinin fuzzy mantıkla kavranabileceği”nin yaygın olarak iddia edildiğini ifade ederek⁸ bu ilişkinin kurulabileceğine işaret eden bir diğer çalışma olmuştur.

Zadeh'nin bulanık mantık ile olasılık teorisinin birbirine yapacağı katkı bağlamında ortaya koyduğu bulanık olasılık teorisi ile ilintili olarak Stanley Gudder, “Fuzzy Probability Theory” adlı çalışmasında, kuantum fiziğinde bazı kavramlara gönderme yaparak bulanık olasılık teorisinin matematiksel gösterimini ortaya koymaya çalışmıştır.⁹ Benzer biçimde Sławomir Bugajski'nin Enrico G. Beltrametti ile birlikte ortaya koyduğu “The Bell Phenomenon in A Probabilistic Approach” adlı çalışması da olasılığın bulanık teorisinin, fizik alanına kuantum üzerinden uyarılmanın meşru olabileceğine işaret etmiştir.¹⁰ Bu bağlamla ilintili olarak Roman Frič ve Martin Papčo da, “Probability: From Classical To Fuzzy” adlı araştırmasında¹¹ Zadeh'nin olasılığı bulanıklaştırma çabasının haklı gerekçesini, kuantum fiziğinin fenomenlerinin sahip olduğu yapıya gönderimde bulunarak ortaya koymaya çalışmış, kuantum evrendeki nesnelerin sahip olduğu davranış biçiminin, olasılığın bulanıklaştırılması çabasını motive eden bir içerime sahip olduğunu ifade etmiştir.¹² Tüm bu çalışmaların odak noktası temelde olasılığın bulanıklaştırılması çabasını matematiksel olarak temellendirmeye yönelik olmuştur. Biz de bu temellendirme üzerinden kuantum fiziğindeki olasılık yoğunluğu durumunu bulanıklaştırılmış bir olasılık yorumuna bağlı olarak tasvir edilebileceğini ortaya koymaya çalışacağız. Diğer taraftan Rudolf Seising'in “Can Fuzzy Sets Be Useful In The (Re)Interpretation Of Uncertainty In Quantum Mechanics” adlı çalışmasında¹³, kuantum belirsizliklerin bulanık kümeler bağlamında yorumlanabileceğine yönelik ortaya koyduğu değerlendirme, çalışmamızın da göstermeye çalıştığı bağlamlar arasında yer alan bağlamlardan bir tanesi olması açısından önemli bir çalışma olarak değerlendirilmiştir. Biz de kuantum fiziğinin ortaya koyduğu kavramların belirsizlik özelliği dolayısıyla bulanık kümelerin oluşturulma gerekçesini oluşturabileceğini göstermeye çalıştık. Fakat bu ilişki kurabilmek için öncelikle kuantum fiziğinin gönderimde bulunduğu belirsizlik durumunun bulanık mantığın ilgisine giren müphem durumları örnekleyip örneklememesinin de ortaya konulması gerekmektedir. Bu çalışmada bu ilişki gösterilmeye çalışılmış, bu ilişkiye bağlı olarak kuantum önerme biçimleri, bulanık önermeler yaklaşımıyla değerlendirilmeye alınmıştır.

⁷ Metin Arslan, “Karmaşıklığın Bilimi, Postmodern Söylem ve Yükselen Paradigmaların Metafizik Arkapları: Kaos, Gödel Sonrası Matematik, Fuzzy Mantık, Sanal Gerçeklik ve Gaia Hipotezi-Ortak Lisan ve Kategorik Değişimi Araştırmak”, *Journal of Istanbul Kültür University* 4/2 (2006), 201-208.

⁸ Arslan, “Karmaşıklığın Bilimi”, 206.

⁹ Stanley Gudder, “Fuzzy Probability Theory”, *Demonstratio Mathematica* 31/1 (1998), 235-254.

¹⁰ Enrico G. Beltrametti-Sławomir Bugajski, “The Bell Phenomenon in a Probabilistic Approach”, *Non-locality and Modality*, ed. Tomasz Placek-Jeremy Butterfield (Dordrecht: NATO Science Series, 2002), 205-220.

¹¹ Roman Frič-Martin Papčo, “Probability: From Classical to Fuzzy”, *Fuzzy Sets and Systems* 326 (2017), 106-114.

¹² Frič-Papčo, “Probability: From Classical to Fuzzy”, 107.

¹³ Rudolf Seising, “Can Fuzzy Sets Be Useful in the (Re)Interpretation of Uncertainty in Quantum Mechanics?”, *NAFIPS 2006 - 2006 Annual Meeting of the North American Fuzzy Information Processing Society* (Montreal: IEEE, 2006), 414-419.

1. Kuantum Fiziği

Determinist bir yapıya sahip Newton fiziği, makro âlemden uygulamaya düzeyinde başarılı neticeler ortaya koymuştur. Pratikte sağladığı başarı, bu fiziğin prensiplerinin diğer bilim alanlarına da uygulanabilmesine meşru bir zemin sağlamıştır. Sebep-sonuç ilişkisine bağlı bu mekanistik anlayış, 18. yüzyılda insan ve toplum bilimlerine de uyarlanmaya çalışılarak kapsamını daha da genişletmiştir.¹⁴ Fakat 19. yüzyılın sonlarına doğru bu mekanik anlayış çerçevesinde bütün bilimleri açıklamaya çalışma girişimi ile “bilimin evrenin ‘gerçeğini’ eninde sonunda su yüzüne çıkartacağı inancı” sarsıntı geçirmiştir.¹⁵ Zira bu dönemde özellikle elektrik ve manyetizma, mutlak uzay ve zaman anlayışı ve ışığın yapısı gibi konular, Newton mekaniği anlayışı çerçevesinde izah edilememiş ve bu mekanik yasalarla sınırlı kalındıkça ortaya çıkan yapısal sorunların giderilemeyeceği fark edilmiştir. Diğer tüm bilimleri mekanikçi yapıya indirgemeye çalışmada yaşanan başarısızlık yanında fizik alanında da gün yüzüne çıkan bu sorunlar, modern fizik anlayışı açısından bir bunalımın yaşanmasına sebep olmuştur. Ortaya çıkan problemleri Newton mekaniği kabulleri ile bir çözüme kavuşturma adına ortaya konulan soruşturma süreci, fizik alanında iki önemli gelişmeyi doğurmuştur. İlki mutlak uzay ve zaman tasavvurumuzu dönüştüren izafiyet teorisi iken ikincisi ise kuantum fiziği olmuştur.¹⁶ Kuantum fiziğinin doğuşunu mümkün kılan önemli bir sorun alanı ise ışığın sahip olduğu yapının ne olduğuna yönelik soruşturma süreci olmuştur.

1.1. Işık Olgusunun Mahiyeti

Kuantum fiziğine giden yolda ışık olgusunun sahip olduğu yapının neliği tartışması önemli bir yer tutar. Işık, dalga karakterine mi yoksa parçacık özelliğine mi sahiptir? Işığın dalga karakterine mi yoksa parçacık özelliğine mi sahip olduğu yönündeki tartışma, klasik fizik ile kuantum fiziği arasındaki farklılaşmayı da görünür kılan bir mahiyete sahip olmuştur. Zira daha 17. yüzyıldayken ışığın doğası hakkında kapsamlı bir tartışma yaşanmıştır. Bu dönemde Newton (1643-1727), ışığın da madde gibi parçacıklardan oluştuğu savunurken Huygens (1629-1695) gibi fizikçiler ise ışığın dalga özelliğine sahip olduğunu savunmuştur.¹⁷ Huygens’in iddiasını ise Thomas Young (1773-1829), güçlendirmiştir. 19. yüzyılın başlarında Young, güneş ışınları kullanarak “çift yarık deneyi” (*double-slit experiment*) olarak literatüre giren deneyi gerçekleştirir ve ışığın girişim yapma karakterine sahip olduğunu gösterir. Girişim olgusunun ortaya çıkması da ışığın dalga karakterinin sonucu olarak yorumlanır ve böylece ışığın dalga modeli de yeniden canlandırılır.¹⁸

Young’ın çift yarık deneyini şu şekilde açıklamak mümkündür: Öncelikle deneyi daha iyi anlamak için deneyde parçacık özelliği sergileyen bir nesne kullanılarak deney gerçekleştirilsin ve deney düzeneği için art arda aynı hizaya yerleştirilmiş iki duvar hazırlanmış olsun. Bu duvarların ilkinde iki yarık açılsın. İki yarığı bulunan bu duvara da rastgele tenis topları fırlatılsın. Fırlatılan bu tenis toplarından yarıklara denk gelmeyenler geri sekecek, yarıklara denk gelenler de arka duvarda yarıkların tam karşısındaki alana çarpacaktır. Buradaki çarpım izlerini birer nokta ile işaretlersek arka duvarda kabaca yarık şeklini almış iki işaret şeridi çizilmiş bir parçacık deseni görülmüş olacaktır.¹⁹

¹⁴ Capra, *Batı Düşüncesinde Dönüm Noktası*, 70.

¹⁵ Philipp Frank, *Doğa Bilimlerinde Pozitivizm*, çev. Yılmaz Öner (İstanbul: Metis Yayınları, 1985), 62.

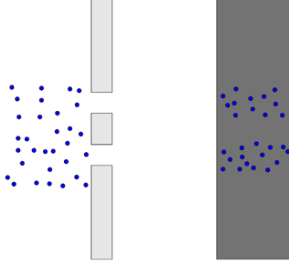
¹⁶ İshak Arslan, *Günümüz Tabiat Felsefesinde Bilim-Felsefe-Din İlişkisi* (İstanbul: Marmara Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Doktora Tezi, 2007), 40, 42.

¹⁷ Tekin Dereli, *Kuantum Dünyası*, ed. İlhami Buğdaycı (Ankara: ABRA Dergisi Eki, 1994), 14-15.

¹⁸ Işık, *Kuantum Mekaniği İlkelerinin Felsefi İçerimleri*, 36.

¹⁹ Plus, “Physics in a Minute: The Double Slit Experiment” (Erişim 10 Aralık 2021).

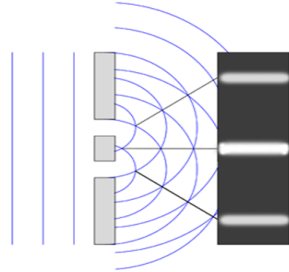
Şekil 1. Parçacık Deseni



Kaynak: <https://plus.maths.org/content/physics-minute-double-slit-experiment-0> (Erişim 10 Aralık 2021).

Şimdi de deney, tenis topları yerine tek bir dalga boyuna sahip bir ışık kaynağı kullanılarak tekrar edilsin. Yarıklar arasındaki mesafe de kabaca ışığın dalga boyu ile aynı olsun. Bu sefer de ışık kaynağından çıkan ışık, yarıkların arkasına yerleştirilmiş ikinci duvarda girişim desenine karşılık gelen çizgili bir desen oluşturur.²⁰

Şekil 2. Girişim Deseni



Kaynak: <https://plus.maths.org/content/physics-minute-double-slit-experiment-0> (Erişim 10 Aralık 2021).

Çizgili desene karşılık gelen girişim olgusu da ışığın dalga karakterine gönderme yapar.²¹ Young'un yapmış olduğu çift yarık deneyinde ortaya çıkan sonuç, "Işık ya dalga olmalıdır ya da parçacık olmalıdır" biçimindeki "ya..., ya da..." kalıbı ile oluşturulmuş soruşturma biçimini dalga lehine çevirmiştir.

Işığın mahiyeti ile ilgili bu tartışmalar devam ederken kuantum teorisinin ortaya çıkış sürecinin ilk aşaması bu tartışmaya yeni bir boyut getirmiştir. Kuantum teorisinin doğuşunda, Max Planck'ın (1858-1947) 1900 yılında fizikte siyah cisim ışıması olarak bilinen soruna dair soruşturmada ulaştığı sonuçlar önemli bir yere sahiptir. Zira Planck "kırmızı-sıcak parlayan bir cisimden gelen radyasyonun, ışığın yalnızca "kuanta" adı verilen ayrı paketler halinde geldiğinde yayılabileceği veya emilebileceği takdirde açıklanabileceği" fikrini ortaya koymak suretiyle kuantum fiziğine giden yolda ilk adımı atmış oldu.²²

Newton fiziği madde ve enerjinin sürekliliği kabulüne göre temellendirilmiş, maddenin çevresine yaydığı enerjinin herhangi bir kesintiye uğramadan sürekli olarak salınım gerçekleştirdiği kabul edilmiştir.²³ Süreklilik, enerji olgusunu tanımlamanın koşulunu meydana getirmiştir. Fakat enerjinin süreklilik özelliği Planck'ın siyah cisim ışıması olayı üzerine gerçekleştirdiği çalışmalar neticesinde sorguya açılmıştır. Planck'ın yaptığı çalışmalar neticesinde derinleşmesiyle fizikte yaşanan gelişmeler, klasik fiziğin geçerli olabileceği alanların sınırlı kalabileceğini göstermiş, doğanın yorumlanması açısından başvurduğumuz klasik fiziğin temel kavramlarını da derinden

²⁰ Plus, "Physics in a Minute: The Double Slit Experiment".

²¹ Victor Gijssbers, "Philosophy of Quantum Mechanics for Everyone" (Erişim 20 Eylül 2020).

²² Stephen Hawking, *The Universe in A Nutshell* (New York: Bantam Books, 2001), 24.

²³ Işıklı, *Kuantum Mekaniği İlkelerinin Felsefi İçerimleri*, 12.

etkilemiştir. Bizim doğa tanımlamalarımızın temellerine dokunan bu gelişmeler, yeni temellere ihtiyaç duyulduğunu göstermiştir.²⁴ Zira Planck'ın incelemeleri neticesinde ulaştığı matematiksel formülasyon, enerjinin süreksiz bir niteliğe sahip olduğunu ortaya koymuş ve bu süreksizlik de enerjiyi tanımlamanın koşulunu “kuantum”²⁵ betimlemesi üzerinden ortaya koymayı mümkün kılmıştır. Kısacası Planck'ın ortaya koymuş olduğu formülasyon, radyasyonu sağlayan atomun yaydığı ışımaya olayında, ışık enerjisinin kuantum adını verdiğimiz enerji paketçikleri şeklinde değiştiğine gönderme yapmıştır.²⁶

Enerjinin sonsuz küçük ölçüde bölünemez olmasına gönderme yapan “enerjinin süreksizliği”ni içeren formülasyon, klasik fizik paradigmasından bir kopuşa işaret etmesi bakımından önemlidir. Artık enerjinin en küçük biriminden bahsedilmekte ve bu birimlere “kuanta” adı verilmektedir. Elektromanyetik enerji, enerji birimleri olarak adlandırılan enerji kuantumları ile aktarılır. Tek tek her bir ışık kuantumunun sahip olduğu enerji, ışığın frekansı ile doğru orantılıdır ve bu orantı, Planck Sabiti'ne karşılık gelmektedir. Planck Sabiti, fiziksel bir sistemin kuantum bir sistem olduğuna gönderimde bulunması açısından önemli bir yere sahiptir. Planck formülasyonu, dalga frekansı ile parçacığın enerjisini tek bir denklemde birleştirir. Bu bağlantı, dalga ile parçacık arasındaki geçiş sınırını ifade edecek niceliksel bir sabite ile kuantum alana girdiğimizi ilan eder. Parçacığın enerjisi E, dalganın frekansı ν , Planck Sabiti h olmak üzere Planck bağlantısı $E=h \cdot \nu$ ile gösterilir.²⁷

Planck'ın yaptığı çalışmalarla açtığı yolda Einstein (1879-1955) yürüdü. Einstein, Planck'ın eriştiği sonuçları kullanarak fotoelektrik etkiyi çözmeyi başardı. Klasik fizik yasaları çerçevesinde anlaşılabilen fotoelektrik etki, metal yüzeyine düşen bir ışığın metalden elektronlar koparılması olayına karışık gelmektedir.²⁸ Einstein'ın erişmiş olduğu bu veriler bize ışığın yapısı ile ilgili yürütülen tartışmaya da bir açıklama imkânı vermiştir. Zira bu veriler kullanılarak ışığın enerjisinin enerji paketçiklerinden meydana geldiği gösterilmiş olmaktadır. Işığın sahip olduğu her bir enerji paketçicine de “foton” adı verilir.²⁹ Fotoelektrik olayı ışığın enerji dalgalarından değil, enerji paketçikleri olarak kabul edilen fotonlardan oluştuğunu da ortaya koymuştur: “Işık bir foton sağanağıdır ve fotonlar ışık enerjisinin temel kuantumlarıdır.”³⁰ Böylece Einstein'ın ortaya koymuş olduğu bu sonuç, Planck'ın ulaştığı sonuçları da teyit etmiştir.

Einstein, Planck'ın ulaştığı sonuçları teyit etse de ışığın dalga özelliğine de gönderme yapan girişim ve kırınım olayını da sağlayabildiğinin farkındaydı. Bir taraftan fotoelektrik etki sonucu ışığın foton adı verilen enerji paketçikleri ile betimlenirken diğer taraftan aynı ışık olgusu dalga özelliğine gönderme yapan girişim olayını da gerçekleştirebilmekteydi. Peki, ışığın yapısı iki ayrı karakter sergileyebilir mi? Işık olgusu özünde hangi karaktere tekabül etmektedir? Klasik fizik bilimi açısından çelişkili bir duruma işaret eden bu iki yapının birlikte değerlendirilmesi gerekliliği gün yüzüne çıkmıştır. Bu tuhaf iki çelişik durumla karşılaşılmasını bilim açısından yeni bir zorluk

²⁴ Werner Heisenberg, *Physics and Philosophy*, ed. Rurth Nanda Anshen (New York: Happer & Brothers Publishers, 1958), 31.

²⁵ Enerjiyi, “miktar” üzerinden değerlendirmemize imkân veren “quantum” ifadesi Latince “miktar” anlamına gelir. Enerji olgusu üzerinden ifadesini bulan kuantum, süreklilik algısını dönüştüren bir tanımlamanın karşılığıdır. Enerjinin süreksizliğine gönderme yapan en küçük enerji parçası anlamına gelir. Mikro evrendeki nesnelere arasındaki enerji, ancak belli miktarlarda alınıp verilebilir; bk. Arslan, *Günümüz Tabiat Felsefesinde Bilim-Felsefe-Din İlişkisi*, 63, 153 nolu dipnot.

²⁶ Heisenberg, *Physics and Philosophy*, 31.

²⁷ Dereli, *Kuantum Dünyası*, 17-18.

²⁸ Albert Einstein-Leopold Infeld, *Fiziğin Evrimi: İlk Kavramlardan İlişkinliğe ve Kuantumlara*, çev. Öner Ünalın (İstanbul: Onur Yayınları, 1994), 218.

²⁹ Einstein-Infeld, *Fiziğin Evrimi*, 220.

³⁰ Einstein-Infeld, *Fiziğin Evrimi*, 221.

olarak ifade eden Einstein, *Fiziğin Evrimi* adlı çalışmasında bu zorluğun üstesinden gelinebilmesi için iki durumun birlikte ele alınması yönünde bir çözüm önerir:

Yeni bir güçlkle karşı karşıyayız. Elimizde gerçeğin birbiri ile çelişen iki tanımı var; tek başına hiçbiri ışık görüngülerini tümüyle açıklamıyor, ama ikisi birlikte bu işi başarıyor! Bu iki tanım nasıl birleştirilebilir? Işığın birbirinden kesinlikle farklı olan bu iki görünüşünü nasıl anlayabiliriz? Bu yeni güçlüğü gidermek kolay değildir. Gene köklü bir problemle karşı karşıyayız.³¹

Kuantum teorisi atom-altı âlemde ışığın bu iki yapısının birlikte değerlendirilebilme zeminini yaratmıştır. Işığın dalga özelliği, parçacık niteliği olarak değerlendirilebilirken, parçacık özelliğinin de aynı biçimde dalga özelliğine bürünebileceği ortaya konulmuştur. Kuantum fiziğinde bu sonucu ortaya çıkaran deney Young'ın yapmış olduğu çift yarık deneyinin daha ayrıntılı bir biçimde tekrarı neticesinde olmuştur. Young'ın güneş ışınları kullanarak yaptığı deney kuantum fiziğinde atom-altı evrende bir kaynaktan foton veya elektron fırlatılacak bir mekanizmanın kurulmasıyla tekrar edilmiştir. Böylece ışığın yapısı gibi atom-altı evrendeki parçacıkların karakteri de çift yarık deneyiyle teste tabi tutulmuştur. Acaba parçacık olarak ele alınan elektron da dalga özelliğini gösteren girişim olayını gerçekleştirebilir mi? Bu sorunun yanıtını Gijbers, yapılan deneylerin ortaya çıkan sonuçlarını ayrıntılandırarak şu şekilde aktarır ve kuantum fiziği ile özdeşleşen dalga-parçacık ikiliğini de açıklamış olur:

19. yüzyılın son on yıllarında ve 20. yüzyılın ilk yıllarında, ışığın 'fotonlar' olarak adlandırılan parçacıklardan oluştuğunu kanıtlayan bir dizi deney yapıldı. Örneğin çok düşük yoğunluklu bir ışık demeti, bir fotoğraf yaprağını her seferinde bir nokta olarak renklendirir. Işık dalgalarından oluşuyorsa, tabaka tüm alanı yavaşça renklendirmelidir; fakat bunun yerine renklendirmenin, siyahlaşan ayrık fotografik taneciklerin birbirini takip ettiği görülüyor. Bu keşifler paradoksal bir duruma yol açtı: Bazı deneyler ışığın parçacıklardan oluştuğunu, diğerleri ise dalgalarından oluştuğunu kanıtladı! Elektronlar gibi küçük parçacıkların çift yarık deneyinde kullanıldıklarında girişim desenleri oluşturduğu gösterildiğinde işler daha da kötüleşti. Fotonlar, elektronlar, vb. bir durumda dalgalar, diğerinde parçacıklar gibi davranırlar. Gerçeğin bu garip yönüne "dalga-parçacık ikiliği" denir.³²

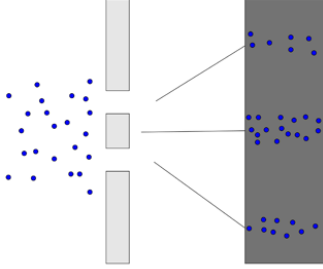
Atom-altı evrende elektron parçacıkları kullanılarak gerçekleştirilen çift yarık deneyinin sonucunu bir şekil üzerinden göstermek mümkündür. İki yarığı bulunan fakat bu yarıklardan herhangi birisi kapalıyken kaynaktan elektron parçacıkları gönderildiğinde elektronların bazıları açık yarıktan geçerek yarıkların arkasındaki duvarda tıpkı tenis topları fırlatılırken duvarda bırakılan şeklin aynısını oluştururlar. Her iki yarık da açılıp deney tekrarlandığında ise beklentimiz, -elektron parçacık olduğu için- arka duvarda her iki yarık açıkken fırlatılan tenis topları sonucu duvarda çıkan desen olması yönünde olur. Zira klasik mantıksal düşünce tarzımız parçacıkların arka duvarda yarıkların tam karşılarında birer çarpma deseni oluşması gerektiğini bize ön kabul olarak dayatır. Fakat deney sonucunda gerçekte deneyimlenen şey bu düşünce tarzımızın beklentisinin aksine çok farklı bir biçimdedir: Elektronların arka duvarda bıraktığı şekil,

³¹ Einstein-Infield, *Fiziğin Evrimi*, 222.

³² Gijbers, "Philosophy of Quantum Mechanics for Everyone" (Erişim 20 Eylül 2020).

girişim yapmış bir ışık dalgasının duvarda sergilemiş olduğu girişim deseni ile benzer bir biçime sahiptir.³³

Şekil 3. Elektronlar Kullanılarak Yapılan Deney



Kaynak: <https://plus.maths.org/content/physics-minute-double-slit-experiment-0> (Erişim 10 Aralık 2021).

Kaynaktan fırlatılan elektron parçacıkları, sadece bir yarık açıkken arka duvarda parçacık karakterinin çiziceği deseni oluştururken, her iki yarık açıkken ise dalga özelliği sergileyerek bizi paradoksal bir durumla karşı karşıya bırakır. Tek yarık açıkken sağduyumuzla uyumlu bir görüntü ile karşılaşırken, iki yarık açıkken sağduyumuza aykırı bir sonuç ile karşı karşıya kalmış oluruz: Elektronlar arka duvarda her iki yarığın tam orta noktasına denk gelecek şekilde bir noktada şekil çizmiş olur. İki yarık ortasında oluşan şekil, parçacık olarak yola çıkan elektronun girişim yaptığına işaret eder. Girişim de elektronun dalga özelliğine büründüğünü gösterir. John Gribbin bu tuhaf duruma Ralph Baierlein'in şu sözlerini aktararak dikkat çeker: “*Işık dalga olarak yol alır fakat yola bir parçacık olarak çıkar ve hedefe parçacık olarak varır.*”³⁴ Fizik literatürüne giren çift yarık deneyi eşsiz bir tuhaflıkla atom altı evrende maddeyi oluşturan küçük parçacıkların kendilerinde dalga gibi bir şey olduğunu ve ölçme etkinliğini gerçekleştirmek üzere başvurulmuş gözlemlene eyleminin bu parçacıkların davranışları üzerinde bir etkiye sahip olduğunu gösteren bir deney olarak yerini almıştır.³⁵ Çift yarık deneyinin bize tuhaf gelmesinin sebebi ise klasik mantık ilkeleri ile örtüşmeyen bir sonucu göstermesi olmuştur. Bu bağlamda ünlü fizikçi Richard Feynman bu deneyin bizi karşılaştırdığı olgular için; “klasik bir şekilde açıklamak imkânsız, kesinlikle imkânsız” der ve bu deneyi de “kuantum mekaniğinin kalbi” olarak niteleyerek onu kuantum fiziğiyle özdeşleştirir.³⁶ Deney sonucunu önümüze koyan ise gözlemci ve dolayısıyla gözlemcinin ölçme etkinliğidir.

1.2. Kuantum Fiziğinde Ölçme Etkinliği

Klasik fizik açısından ölçüm işlemi en önemli bilimsellik ölçütü parametresidir. Fiziksel bir büyüklüğün değerine dair bilgi elde edebilmek için bu fiziksel büyüklüğün ölçülmesi gerekir. Belli bir düzeneğe gerek duyulan bu süreçte uygun önlemler alınarak ölçüm öncesi durumu önemli düzeyde bozmayacak şekilde, daima ölçüm işleminin gerçekleştirilebileceği a priori olarak kabul edilir. Bununla birlikte bir diğer kabul ise ayarlanan koşullar altında yapılan ölçüm etkinliğinin sadece mevcut durumu saptadığıdır.³⁷

Newton mekaniği, elektromanyetik kuram, istatistiksel fizik gibi klasik teoriler, ölçüm yapan cihazların davranışını belirlemiştir. Bu teoriler, ölçüm süresince çevrenin ölçüm etkinliğine yaptığı etkinin belirlenebilir olduğunu ve bu belirlenebilirlik dolayısıyla ölçüm etkinliğinin ortaya

³³ Bk. Plus, “Physics in a Minute: The Double Slit Experiment”.

³⁴ John Gribbin, *Schrödinger's Kittens and The Search for Reality* (Boston, New York, London: Back Bay Books, 1995), 6.

³⁵ Plus, “Physics in a Minute: The Double Slit Experiment”.

³⁶ Natalie Wolchover, “Famous Experiment Dooms Alternative to Quantum Weirdness” (Erişim 02 Ağustos 2021).

³⁷ Arslan, *Günümüz Tabiat Felsefesinde Bilim-Felsefe-Din İlişkisi*, 85.

koyduğu sonucunun kesin olduğu kabulüne göre uygulama alanı bulmuştur. Fakat kuantum fiziği, durumun bu şekilde olmadığını bize gösterir. Atom altı evrende yapılan ölçüm, kesin bir sonucu değil, ancak olası sonuçlara ve bu olası durumlara karşılık gelen olasılık değerlerine atıfta bulunur.³⁸ Zira kuantum teorisinde ölçme işlemin temel bir soruna dönüştüğü görülmüş ölçme işleminin sanıldığı gibi olgulara dair kesin sonuçlar ortaya koymadığı vurgulanmıştır.³⁹ Klasik mekanikte hem ölçülen dinamik bir değişkenin değeri ölçüm öncesinde kesin bir şekilde bilindiği hem de ölçüm faaliyeti sonrasında dair sistemin durumunun da kesin öngörüler ortaya koyabileceği kabul edilmiştir. Kuantum fiziği, klasik fiziğin bu sayılığını değiştirmiştir. Kuantum teorisinin tanımladığı fiziksel dünya, temelde bulanık bir yapıya sahiptir ve bu bakımdan da klasik fiziğin varsaydığı başlangıç koşullarının net veya kesin bilgisi elde edilemez.⁴⁰ Zira Kuantum fiziği, ölçme etkinliğinin yapılabilmesi için gerçekleştirilen gözlem eyleminin klasik fizik varsayımında olduğu gibi gözlemlenen nesne üzerinde herhangi bir etki yaratmadığı yönündeki varsayımı dönüştürmüştür. Bu hususla ilgili olarak Schiller şu ifadeleri kullanır:

Kuantum sistemi her ölçümde dedektörle etkileşime girer. Eylemin büyüklüğü için minimum bir değer olduğundan, her gözlem gözlemleneni etkiler. Bu nedenle her ölçüm kuantum sistemini bozar. Gözlemlerin herhangi bir kesin tanımı, bu tedirgin etmenin tanımını da içermelidir... Bir hal değişimi veya bir bozulma olmaksızın, kuantum sisteminde bir ölçüm yapmak mümkün değildir.⁴¹

Her gözlem eyleminin gözlemleneni etkilemesi bakımından gözlem sonuçları da artık kesin bir değere işaret etmeyecektir. Bu konuyla ilgili olarak kuantum fiziğinde Kesinsizlik İlkesini⁴² ortaya koyan Heisenberg ise şu ifadeleri kullanır:

Bir gözlemden çıkarsanan şey, bir olasılık fonksiyonudur, olasılıklar ya da eğilimler hakkındaki ifadeleri gerçeklere dair bilgimiz hakkındaki ifadelerle birleştiren matematiksel bir ifadedir. Dolayısıyla bir gözlemin sonucunu tamamen nesnelleştiremeyiz, bu gözlem ile bir sonraki arasında “ne olduğunu” tanımlayamayız. Bu, teoriye bir öznelcilik unsuru katmış gibi görünüyor, sanki şunu söylemek istiyorduk: ne olduğu, onu gözlemlenme tarzımıza veya onu gözlemlenemize bağlıdır.⁴³

Kuantum mekaniğinde serbest bir taneciğin dinamiği, matematiksel olarak dalga fonksiyonu bağlamında formülasyona kavuşmuştur. Atom altı evrende bulunan bir parçacığın sözelimi bir elektronun dinamiğini tasvir eden dalga fonksiyonu ise $\psi(x, t)$ şeklinde gösterilir. Bu fonksiyon, ilgili parçacığın herhangi bir anını betimler ve ψ fonksiyonu, dinamik sistemin tanımını

³⁸ M. E. Burgos, “The Measurement Problem in Quantum Mechanics Revisited”, *Selected Topics in Applications of Quantum Mechanics*, ed. Mohammad Reza Pahlavani (Croatia: InTech, 2015), 137.

³⁹ Arslan, *Günümüz Tabiat Felsefesinde Bilim-Felsefe-Din İlişkisi*, 85.

⁴⁰ John C. Polkinghorne, *Exploring Reality: The Intertwining of Science and Religion* (New Haven: Yale University Press, 2005), 12.

⁴¹ Christoph Schiller. “Motion Mountain: The Adventure of Physics -Vol. IV- The Quantum of Change”, 166, www.motionmountain.net (Erişim 03 Eylül 2021).

⁴² Belirsizlik İlkesi olarak da ifade edilmiş bu ilke (bk. Yalçın Koç, *Doğanın Kuvantum Mekaniksel Betimlemesi ve Ölçme Sorunu* (İstanbul: İstanbul Üniversitesi Fen Fakültesi Yayınları, 1983), 81, 85, 87, 132; Dereli, *Kuantum Dünyası*, 35, 45, 46, 47; Arslan, *Günümüz Tabiat Felsefesinde Bilim-Felsefe-Din İlişkisi*, 89), bu metinde doğrudan yapılan alıntılar dışında *Uncertainty Principle* kavramının karşılığı olarak Kesinsizlik İlkesi biçiminde ifade edilecektir. Kavramı, Kesinsizlik İlkesi olarak ifade eden bir çalışma için bk. Işıklı, *Kuantum Mekaniği İlkelerinin Felsefi İçerimleri*, 32, 59, 61, 70, 85. Ayrıca kuantum mekaniği ile ilgili Türkçeye yapılan çeviri kitaplarında bu ilkeyi Kesinsizlik İlkesi/Yasası olarak da çeviren kaynaklar için bk. Max Planck, *Modern Doğa Anlayışı ve Kuantum Teorisine Giriş*, çev. Yılmaz Öner (İstanbul: Spartaküs Yayınları, 1996), 105; Werner Heisenberg, *Fizik ve Felsefe*, çev. Yılmaz Öner (İstanbul: Belge Yayınları), 20-25.

⁴³ Heisenberg, *Physics and Philosophy*, 50.

yapabilmek için seçilen cebirsel x ve t değişkenlerine bağlıdır.⁴⁴ Ψ , reel ve sanal değeri olan karmaşık bir sayı hükmündedir.⁴⁵ Ψ 'nin mutlak değer karesi, olasılık dağılım fonksiyonunu verir. Böylelikle olasılık yoğunluğuna karşılık gelen $|\Psi|^2$, mikro evrendeki bir nesnenin, t anında x noktasında bulunabilme olasılığını verir. 0 ile 1 arasında bir reel sayıya tekabül eden olasılık dağılım fonksiyonunun niceliksel değeri, ψ dalga fonksiyonunun gösterimini anlamlandırır. Zira ψ fonksiyonu, Kopenhag Okulu temsilcileri⁴⁶ açısından tek başına bir anlam üretecek fiziksel olarak ölçülebilir niceliksel bir değere sahip değildir. Dolayısıyla dalga fonksiyonun anlamlı olabilmesini sağlayan şey, üzerinde olasılık tanımını yapabilme olanağıdır.⁴⁷ Olasılık yoğunluğu $|\Psi|^2$, klasik mantığın çelişmezlik ilkesinin zorunlu gördüğü durumların varlığına muhalefet edecek bir kombinasyona sahiptir.⁴⁸ Kuantum mekaniği dili ile ifade edilecek olursa, gerçekleşmesi mümkün tüm olası durumlar üst üste binmiştir (*süperpozisyon durum*). Süperpoze durumda bulunan bu olası durumların birini indirgeyecek etkinlik ise Kopenhag Yorumuna⁴⁹ göre ölçüm etkinliğidir.⁵⁰ Ölçüm etkinliğini gerçekleştiren ise gözlemcidir. Gözlemci, kendinde gerçeklik durumunu fenomene döndüren kişi olması açısından sistemin bütünlüğünü oluşturan unsurların arasına eklenmiştir. Bir kuantum sisteminde gözlem ile birlikte başlayan ölçüm etkinliği, belirsizlik taşıyan sistemi, üretilecek sonuç açısından klasik mantıksal bir zemine indirgemeyi sağlar.

Gözlemci artık kuantum fiziğinde olgu durumunu görünür kılan bir konuma yerleşmiştir. Gözlem eylemi, olası durumları “oldu” durumuna çevirir.⁵¹ Bu bağlamda Rauscher, Wheeler’in “hiçbir temel fenomen, kuantum teorisi dünyasında kaydedilip analiz edilinceye kadar bir fenomen değildir.” dediğini aktarır.⁵² Bu açıdan kuantum bir sistemde gözlemden önce hem dalga hem de parçacık olarak içerilen elektronlar gözlem eylemi veya ölçüm anı ile birlikte dalga veya parçacık karakterine dönüşür.⁵³ Bohr’a göre dalga fonksiyonunda içerilen olasılık durumları gözlemle birlikte indirgenir.⁵⁴ Böylelikle “hem... hem de ...” kalıbı gözlem ile birlikte “ya... ya da ...” kalıbının işe koyulduğu bilimsel bir önermenin ifade edilmesini sağlar.

Ölçüm etkinliğini etkileyen temel hususlardan biri de Planck’ın enerjinin sonsuz küçük ölçüde bölünemeyeceği, enerjinin yayılımı kesintili değerler ile sınırlandırılmasına bağlı olarak ortaya çıkar. Enerjinin yayılımı süreksiz olduğu için iki fiziksel olay arasında gerçekleşecek enerji değişimi de süreksiz veya başka bir deyişle kesikli olacaktır. Dolayısıyla enerji paketçiklerinin bir aralıktan diğer bir aralığa geçerken arada oluşan kesikli noktada hangi olayların gerçekleştiği bilinemediği için ortaya çıkan belirsizlik mikro evrene ait bir nesneye dair yapılacak ölçümü de

⁴⁴ Yalçın Koç, *Doğanın Kuantum Mekaniksel Betimlemesi ve Ölçme Sorunu* (İstanbul: İstanbul Üniversitesi Fen Fakültesi Yayınları, 1983), 14.

⁴⁵ Cihan Saçlıoğlu, “Kuantum Mekaniğinin Felsefi Sorunları”, *Bilim ve Teknik* 405 (1994), 15.

⁴⁶ Kopenhag Okulu’nun başlıca temsilcileri Bohr (1885-1962), Heisenberg (1901-1976), Pauli (1900- 1958) ve Born (1882-1970)’dur; bk. Barry Loewer, “Copenhagen versus Bohmian Interpretations of Quantum Theory”, *The British Journal for the Philosophy of Science* 49/2 (1998), 317.

⁴⁷ Dereli, *Kuantum Dünyası*, 33-35.

⁴⁸ Işıklı, *Kuantum Mekaniği İlkelerinin Felsefi İçerimleri*, 39.

⁴⁹ Niels Bohr’un öncüsü olduğu Kopenhag ekolünün ortaya koyduğu kuantum fiziğinin ilkeleri dünya genelinde standart bir kuantum mekaniği dersinin temellerini oluşturmuştur; bk. Cihan Saçlıoğlu, “Kuantum Mekaniğinin Felsefi Sorunları”, 17; Dereli, *Kuantum Dünyası*, 33, 36; Arthur W. Burks, *Chance, Cause, Reason: An Inquiry Into the Nature of Scientific Evidence* (Chicago: University of Chicago Press, 1977), 590.

⁵⁰ Işıklı, *Kuantum Mekaniği İlkelerinin Felsefi İçerimleri*, 39.

⁵¹ Arslan, *Günümüz Tabiat Felsefesinde Bilim-Felsefe-Din İlişkisi*, 86.

⁵² Elizabeth A. Rauscher, “Non-Locality as a Fundamental Principle of Reality: Bell’s Theorem and Space-Like Interconnectedness”, *Cosmos and History: The Journal of Natural and Social Philosophy* 13/2 (2017), 208.

⁵³ Arslan, *Günümüz Tabiat Felsefesinde Bilim-Felsefe-Din İlişkisi*, 85.

⁵⁴ Işıklı, *Kuantum Mekaniği İlkelerinin Felsefi İçerimleri*, 55.

etkilemektedir.⁵⁵ Bu konuyu Einstein ile Heisenberg de ele alır ve Einstein, Heisenberg'e, "Acaba ışığın ışın yayması sırasında ne oluyor? ... Duraklı bir durumdan diğerine geçiş sürecini tam olarak tanımlayabilir misiniz?"⁵⁶ diye sorular yöneltir. Heisenberg'in Einstein'a verdiği cevap ise klasik fiziğin başvurduğu kavramlar bağlamında bir açıklama girişimini yapılamayacağı yönünde olmuştur: "... bu tür bir geçiş hakkında şimdiye kadar sahip olduğumuz kavramlardan yola çıkarak konuşamayız. Bu geçişi - (sürecini) mekânda ve zamanda olan bir olay olarak tanımlayamayız... belki de atomun yukarı durumda mı yoksa aşağı durumda mı olduğunun bilinmediği bir ara durum (*Zwischenzustand*) vardır."⁵⁷

1.3. Kuantum Fiziğinde Kesinsizlik İlkesi

Kesinsizlik İlkesi, 1927'de Werner Heisenberg tarafından formülasyona kavuşturulmuştur. Heisenberg, bu ilkenin kaynaklandığı durumu klasik fiziğin kabulü ile karşılaştırarak temel içeriğini şöyle aktarır:

Çağdaş fizik ile eski fizik arasındaki ayrılığı, "belirsizlik bağlantısı" denen şey ile dile getirebiliriz. Bir atom parçacığının konumunun (position) ve hızının bir arada, istenildiği zaman ve kesinlikle gösterilemeyeceği ispatlanmıştır. Konum tam olarak ölçülebilir; ama o zaman da gözlem araçlarının araya karışması, hız'ın ölçülmesini, bir dereceye kadar, önler. Böyle yapmayıp da önce hız ölçülürse, o zaman da konum kesinlikle öğrenilemez olur. Öyle ki, Planck'ın konstant'ı bu iki belirsizlikten çıkan sonuç için bir alt yaklaşıklık sınırı meydana getirmiştir. Bu formül Newton mekaniğine bağlı kavramların artık bizi niçin daha uzağa götüremediğini göstermektedir. Çünkü bir mekanik süreci hesaplamak için, bir cisimciğin, belli bir andaki konumunu ve hızını aynı zamanda bilmek gerekir ki, Quanta kuramı böyle bir şey olamayacağını ortaya koymuştur.⁵⁸

Heisenberg, konum ile momentum arasındaki ilişkinin formülasyonunu hata payını Planck Sabiti ile sınırlayarak ortaya koyar. x , mikro evrene ait taneciğin uzay koordinatını gösteren konum, Δx , x 'in uzay koordinatındaki konumuna dair belirsizlik ve Δp_x de x uzay koordinatına tekabül eden P_x momentum (*impuls*) koordinatındaki belirsizliğe karşılık gelmek üzere kesinsizlik bağıntısı, $\Delta x \cdot \Delta p_x \geq h/4\pi$ olarak gösterilebilir.⁵⁹ Buradaki Heisenberg'in ortaya koyduğu kesinsizlik ilişkisi, ölçüm kesinliğinin sınırlı olduğuna gönderme yapar. Ölçüme dair kesinliğin sınırlılığı nedeniyle bir miktarı ancak "mümkün olduğu kadar kesin" olarak ölçebiliriz. Bir miktarı "mümkün olduğu kadar kesin" olarak ölçebilmek için ise kuantum teorisi gereklidir. Kuantum alana geçtiğimizi ise yukarıda gösterilen belirsizlik bağıntısında geçen Planck sabiti olan h gösterir. Zira belirsizliği h düzeyinde olan herhangi bir sistem, bir kuantum sistemine işaret eder.⁶⁰

Kesinsizlik İlkesinde alt yaklaşıklık sınırı tayin edebilen sabiteyi ortaya koyan Planck da Kesinsizlik İlkesini yorumlar. Planck bu yorumunda mikro evrene ait bir parçacığın uzay ve zamandaki durumunu da, klasik mekaniğin belirlenimci karakterini mümkün kılan klasik mantığın temel ilkelerinin de ihlal edildiği bir biçimde tasvir eder.

Dalga mekaniğinin ilkelerinden biri olan Heisenberg Kesinsizlik yasasına göre, belli bir hıza sahip bir elektronun konumu (yeri) tamamıyla belirsizdir. Yalnız elektronun yerini saptamanın olanaksızlığı anlamında

⁵⁵ Arslan, *Günümüz Tabiat Felsefesinde Bilim-Felsefe-Din İlişkisi*, 86-87.

⁵⁶ Heisenberg, *Parça ve Bütün*, 82.

⁵⁷ Heisenberg, *Parça ve Bütün*, 82-83.

⁵⁸ Werner Heisenberg, *Çağdaş Fizikte Doğa*, çev. Vedat Günyol-Orhan Duru (İstanbul: Çan Yayınları, 1968), 45.

⁵⁹ Koç, *Doğanın Kuantum Mekaniksel Betimlemesi ve Ölçme Sorunu*, 43.

⁶⁰ Schiller, "Motion Mountain: The Adventure of Physics - Vol. IV - The Quantum of Change", 26.

değil, aynı zamanda belirli hiçbir yeri (konumu) olmadığı anlamındadır bu belirsizlik. Şöyle ki, belirli hızı olan bir elektrona basit periyodik bir madde dalgası tekabül ediyor. Böyle bir dalganın ise ne uzayda ne de zaman içinde sınırları var, yoksa basit periyodik bir dalga olmazdı bu. Kısacası elektron hiçbir yerde bulunmuyor ya da şöyle diyelim, her yerde aynı zamanda bulunuyor.⁶¹

Hız ve konum gibi değişkenlerin değerini tespit edebilmek için gözlem etkinliğine başvurulmalıdır. Gözlem için de görme olayının gerçekleşmesi gerekir. Görme olayı bir şeye bakarak başlar. Fakat bakılan şeyin görülebilmesi için de o şeyin ışık yayması gerekir. Bu bakımdan karanlık bir ortamı gözlemlemek için o ortam aydınlatılmalıdır. Mikro evreni gözlemlemek için de o ortamın karanlığını ışık kullanarak aydınlatmak gerekir. Mikro evrende meydana gelen olguları gözlemlemek için bir ışık kaynağından çıkan ışık ışınına (fotona) ve mikro evreni iyi görmemizi mümkün kılacak güçlü bir mikroskoba gereksinim vardır. Bu gereksinimler karşılandıktan sonra bir elektronun konumu tespit edilmeye çalışılsın. Kaynaktan çıkan foton elektronun konum bilgisini mikroskoba taşıyabilmesi için belli bir süreye ihtiyaç duyulacaktır. Zira bu süre şu olayları kapsar: Foton kaynaktan çıkar, gözleme konu olan elektrona çarpar ve sonra mikroskoba döner. Olay, ışık hızına nispet edilse bile yine de belli bir süre alacaktır. Olayın gerçekleşme süresi ne kadar az olursa elektronun konumu da o kadar kesin bir değer taşıyacaktır. Olayın gerçekleşme süresi ise kaynaktan çıkan ışığın dalga boyuna bağlıdır. Dalga boyu ne kadar kısa ise olayın deneyimlenme süresi de o nispette kısaldır. Tersine uzun dalga boyu da uzun süre demek olacaktır. Fakat eğer elektronun konumunu değil de momentumunu ölçmek istersek bu sefer de kullanılan ışık ışınının sahip olduğu dalga boyunun daha büyük olması hedeflenecektir. Çünkü daha büyük dalga boylu fotonun momentumu daha düşük olacak ve bu düşük momentumlu fotonun çarpacağı elektronun momentumu da daha az etkiye maruz kalacaktır. Daha az etkiye maruz kalan elektronun momentum değeri de daha fazla kesin bir değere sahip olabilecektir. Bu açıdan olabildiğince düşük momentuma sahip fotonun kullanılması tercih edilmelidir. Fakat kullanılan çok düşük momentumlu foton ise bu sefer çarptığı elektrondan tekrar mikroskoba dönmesini sağlayan kırınım açısının daha büyük olmasına sebebiyet verecektir. Bu durumda da elektronun konum değeri daha da kesinsizleşecektir. Çünkü belirtildiği üzere düşük momentumlu dalga uzun dalga demek, uzun dalga ise olayın deneyimlenme süresini daha da artıracaktır.⁶²

Buradan da anlaşıldığı üzere konum değerini “daha” da keskinleştirme çabası, momentumun değerinin “daha da” bulanıklaşmasına yol açar. Momentum değerini “daha da” keskinleştirme çabası ise konum değerinin “daha da” bulanıklaştırılmasına sebep olur.⁶³ Dolayısıyla klasik fizikte iki niceliğe dair bilginin aynı anda tam bir kesinlikle elde edilebileceği kabullü kuantum fiziği ile ortadan kalkmıştır.

2. Kuantum Evrende Klasik Mantık İlkelerinin Yetersizliği

Klasik mantık bağlamında kuantum fiziğinin ortaya koyduğu ilkeleri anlamlandırmak zordur. Klasik fizik, ışık olgusunun karakter analizinde bazı durumlarda parçacık bazı durumlarda da dalga özelliğine sahip olarak değerlendirmiştir. Işığın “ya dalga ya da paracık” olması gerektiği yönündeki bir anlayışı doğuran temel saik de klasik mantığın temel ilkeleridir. Zira özdeşlik ilkesinden türetilen çelişmezlik ilkesi bir şeyin aynı anda hem kendisi hem de kendisinden

⁶¹ Max Planck, *Modern Doğa Anlayışı ve Kuantum Teorisine Giriş*, çev. Yılmaz Öner (İstanbul: Spartaküs Yayınları, 1996), 105.

⁶² Işıklı, *Kuantum Mekaniği İlkelerinin Felsefi İçerimleri*, 92-93.

⁶³ Işıklı, *Kuantum Mekaniği İlkelerinin Felsefi İçerimleri*, 93, 252 nolu dipnot.

başka bir şey olmasına engel koyarken, üçüncü durumun olanaksızlığı ilkesi ise bir şeyin ya kendisi ya da kendisinden başka bir şey olacağını, üçüncü bir durumun olamayacağını ilan eder. Kuantum fiziği ise mikro evrendeki bir nesnenin, tasvir edildiği dalga fonksiyonunda aynı anda hem dalga hem de parçacık özelliğine sahip olabildiğini ortaya koymuştur.

Diğer taraftan kuantum fiziği ile birlikte gözlemci veya özne artık, klasik fizik anlayışında olduğu şekliyle sadece olguyu gözlemleyip ölçen ve bu ölçüm sonuçlarını önermeler üzerinden değerlendiren bir konumda değildir. Özne artık, gözlemlenilen durumu neticesinde ortaya çıkan olguya da “katılan” bir unsur haline gelmiştir. Mikro evrende gözlemci, gözlemini yaptığı durumdan kendini ayıramaz, kendini izole edilmiş sınırlara çekmeyi başaramaz. Olası durumlardan birini olgu durumuna çeviren özne,⁶⁴ gösterdiği bu etki dolayısıyla olguyu tasvir edecek önermelerin biçimselliğe de içkin olmuştur. Bu açıdan kuantum fiziğinde biçimsel bir mantık, yeni bir “biçimsel” tanımlamanın yapılması şartıyla işe yarayabilir. Klasik mantık ilkelerinin öznenin ayrık varlık ilkelerinin izdüşümleri olduğu kabul edilmiş olması dolayısıyla, öznenin varlığı, öznenin olguya denk düşürmeye çalıştığı önerme kalıplarının varlığını ortaya çıkarması bakımından bir anlam taşır. Klasik fizikte olgu, özne veya gözlemciden bağımsız dışsal bir gerçeklik olarak vardır. Bu bakımdan da özne, olgunun içeriğine veya kendisine değil, sadece olgunun tarif edildiği yasaların soyutlanımına eklenildiği kabul edilmiştir. Fakat kuantum evrende ortaya çıkan olgu, özne ve nesnenin bütünselleşmesinin ürünü olarak görüldüğü için özne artık “katılımcı” olarak nitelendirilir ve “önermenin doğruluğunun kaynağı ve kriteri” biçiminde değerlendirilmeye alınır.⁶⁵ Bu açıdan klasik mantık ilkelerinin içkin olduğu biçimsel bir mantık, olgunun tasviri için ortaya konulan önermelerin kriteri haline gelen katılımcı özne vurgusu yapan kuantum mekaniğinde daha baştan başarısızlıkla sonuçlanır.

Klasik fizik, bir nesnenin hız ve konum değerinin aynı anda tam bir kesinlikle ortaya konulabileceği kabulüne göre etkinlikte bulunur. Ölçüme konu edilen nesnelere belli bir uzay ve zaman bağlamında ele alır. Nesnenin konumunu verecek belirlenebilir bir uzay koordinatı vardır. Bu uzay koordinatında aynı anda başka bir nesnenin bulunması da mümkün değildir. Zira bu ön varsayım klasik mantığın özdeşlik ilkesinden türer. Çünkü birbirinden farklı iki nesne aynı anda, aynı konumu işgal edemez. Fakat bu husus kuantal evren için geçerli değildir. Zira Planck’ın ifade ettiği üzere kuantal evrende bir elektron “aynı zamanda her yerde bulunur.”⁶⁶ Aynı zamanda her yerde bulunabilme durumu ise, klasik mantığın temel ilkelerini ihlal eder.

Kuantum fiziğinin ortaya koyduğu bir diğer önemli ilke de Kesinsizlik İlkesidir. Daha önce de ifade edildiği gibi Kesinsizlik İlkesi kuantal evrene ait bir nesnenin aynı anda hız ve konumunun tam bir kesinlikle bilinemeyeceğini bildirir. Hıza dair değerlerin kesin bir biçimde elde edilmesine yönelik teşebbüs, konum değerini daha da belirsizliğe sürüklerken konuma dair değerlerin kesin bir biçimde elde edilmesine yönelik teşebbüs de hıza dair değerlerin daha da belirsizliğe sürükleneneceğini bildirir.⁶⁷ Bu husus, kuantal nesnelere tasvir eden dalga fonksiyonunda içerilmiştir. Dalga fonksiyonu da kuantal parçacıkların konumunun bir olasılık genliği içerisinde tasvir edilebilir olduğunu gösterir. Olasılık genliği, kuantal parçacığın tanımlanmış uzay bölgesinin hangi noktalarında “daha fazla” veya “daha az” bulunabileceğine dair bir bilgiyi ortaya koyar. Böylece olasılık genliği, klasik mantığın özdeşlik ilkesini sekteye uğratacak biçimde

⁶⁴ Arslan, *Günümüz Tabiat Felsefesinde Bilim-Felsefe-Din İlişkisi*, 86.

⁶⁵ Işık, *Kuantum Mekaniği İlkelerinin Felsefi İçerimleri*, 270.

⁶⁶ Planck, *Modern Doğa Anlayışı ve Kuantum Teorisine Giriş*, 105.

⁶⁷ Heisenberg, *Çağdaş Fizikte Doğa*, 45.

bir parçacığın aynı zaman diliminde uzay bölgesinin her yerinde olabileceğine gönderimde bulunur.

Özdeşlik ilkesi, klasik fiziğin ölçülen niceliklerin birbirinden ayrı olduğuna temellenen bir ölçüm mekanizmasını da mümkün kılmıştır. Fakat kuantal evrende bir parçacığın hız ve konum ölçümünde hızın sadece hız, konumun da sadece konum olarak ölçülebilmesi mümkün değildir. Bu bakımdan da kuantum fiziği, klasik mekaniğin niceliklerin birbirinden “ayrılabilirliği ilkesi”⁶⁸ yerine “niceliklerin eşlenikselliği ilkesi”ni⁶⁹ ortaya koymuştur. “Niceliklerin eşlenikselliği” ilkesi, kuantal-evrene ait bir nesnenin konumuna dair yapılacak bir ölçümün “büyük oranda” bir konum ölçümü olduğuna işaret ederken, aynı zamanda bu nesneye dair “bir miktar” da hız ölçümü olduğuna gönderimde bulunur.⁷⁰

Mikro evren, sözgelimi bir A elektronunun bir B elektronu ile çeşitli oranlarla bir karışım meydana getirecek şekilde karşılıklı iç içe geçtiği bir sürecin cereyan ettiği bir evren tablosuna karşılık gelir.⁷¹ Bu bakımdan “bir atom için kuantum dalga fonksiyonları bir bütün olarak yazılmalıdır; ayrı elektronlar kimliklerini kaybederler, bu nedenle elektron A ve elektron B hakkında ayırt edilebilirlermiş gibi konuşulamaz bile.”⁷² Aynı bağlam üzerine Woods ve Grant da klasik mantık ilkelerinin temellendiği biçimsel mantığın düşünce kalıplarının kuantal evrendeki olguları anlamlandıramayacağını şu şekilde vurgular: “Biçimsel mantık, normal, basit, gündelik olgulara gayet iyi uyar. Ama hareket, ani sıçramalar, nitel değişimler içeren daha karmaşık olgularla uğraşırken bütünüyle yetersizdir ve aslında tamamen çöker.”⁷³ Kısacası; “mikro (veya kuantum) nesnelere, klasik mantığın ayırım ilkesini de ihlal ederler.”⁷⁴ Zira;

Kuantal evren, klasik evrenin uyduğu yasalardan farklı yasalar tarafından yönetilir. Kuantum nesnelere, klasik mantığın temel ilkelerini ihlal ederler. Bu yüzden klasik us (biçimsel uslamama), aralarında ayırım olmayan elektronlara, aynı anda farklı (hatta tüm) yönlerde doğru hareket eden veya hem dalga hem de parçacık karakterlerine sahip olan parçacıklara uygulanamaz.⁷⁵

Bir fotonun başka bir fotondan ayırt edilebilir hiçbir fiziksel nicelik, nitelik ve işlevi yoktur. Parçacıklar, birbirlerinden ayırt edilerek etiketlenilemezler, kimliklendirilemezler. Aynı gerekçeyle özdeşlikleri de iddia edilemez. Ayrıca parçacıkların örneğin protondan nötrona, nötrondan tekrar protona dönüşmesi nedeniyle sürekli bir akış halinde olmaları nedeniyle kendi karşıtlarına dönüşen bir süreçte bir parçacık *hem A'dır hem de B'dir. Hem A'dır hem de A-değildir. Hem parçacıktır hem dalgadır.*⁷⁶

Klasik mantığın ilkelerini ihlal eden kuantal evreni tasvir edebildiğini düşündüğümüz mantık ise bulanık mantık sistemidir. Bu açıdan şimdi de burada bulanık mantık sistemini genel hatları ile ortaya koymaya çalışacağız.

⁶⁸ Işıklı, *Kuantum Mekaniği İlkelerinin Felsefi İçerimleri*, 268.

⁶⁹ Işıklı, *Kuantum Mekaniği İlkelerinin Felsefi İçerimleri*, 269.

⁷⁰ Işıklı, *Kuantum Mekaniği İlkelerinin Felsefi İçerimleri*, 268-269.

⁷¹ Alan Woods-Ted Grant, *Aklın İsyanı: Marksist Felsefe ve Modern Bilim*, 119-120.

⁷² Ian G. Barbour, “Commentary on Theological Resources From the Physical Sciences”, *Zygon: Journal of Religion & Science* 40/2 (2005), 503.

⁷³ Woods-Grant, *Aklın İsyanı*, 116.

⁷⁴ Işıklı, *Kuantum Mekaniği İlkelerinin Felsefi İçerimleri*, 268.

⁷⁵ Işıklı, *Kuantum Mekaniği İlkelerinin Felsefi İçerimleri*, 266.

⁷⁶ Işıklı, *Kuantum Mekaniği İlkelerinin Felsefi İçerimleri*, 268.

3. Bulanık Mantık

Bulanık mantık teorisi, Bakü asıllı Kaliforniya Üniversitesi'nde Bilgisayar Bilimleri Bölümü'nde uzun yıllar çalışmış bir bilim insanı olan Zadeh⁷⁷ (1921-2017) tarafından ortaya konulmuştur. Zadeh, insan akıl yürütmesini modellemek için klasik mantığın, kesin olmayan durumlarda yetersiz olduğunu ileri sürmüş ve bu yetersizliği giderecek mantığı da, insanın herhangi bir ölçüm ve hesaplama yapmaksızın çok çeşitli fiziksel ve zihinsel görevleri yerine getirebilme gibi olağanüstü yeteneğinden aldığı ilhamla geliştirmiştir.⁷⁸ Zadeh, sistem teorileri üzerine çalışmalar gerçekleştirirken bazı teknik sorunlarla karşılaşmıştır. Karşılaşılan teknik sorunların çoğu Zadeh'e göre modellenmek istenen gerçek dünya olgularının sahip olduğu karmaşıklık ve beraberinde getirdiği belirsizliklerden kaynaklanmaktadır. Bu açıdan gerçek dünya sorunlarını çözmek adına klasik küme ve bu küme yapısı üzerine oluşturulan klasik mantık bakış açısı ile geliştirilmeye çalışılan sistem analiz tekniklerinin başarısız olduğunu ifade eden Zadeh, bu doğrultuda alternatif bir teknik ortaya koyma çabasına bağlı olarak bulanık küme yapısını ve bu küme yapısına da dayandırdığı bulanık mantık sistemini ortaya koymuştur.⁷⁹

3.1. Bulanık Küme Anlayışı

Klasik mantığın klasik küme anlayışına dayanması gibi bulanık mantık da bulanık küme anlayışı üzerine temellendirilmiştir. Bulanık mantığı anlamak için bulanık küme yapısını bilmek gerekmektedir. Bu mahiyeti bize açık kılacak şey, klasik mantığın üzerinde temellendiği klasik küme kavramının sahip olduğu özelliklerin kapsamıdır.⁸⁰ Modern dönemdeki küme anlayışı genel itibarıyla tanımı yapılabilen elemanlara sahip olma özelliği bağlamında kesin bir sınırın çizildiği kabulüne bağlı olarak değerlendirilmiştir.⁸¹ Kümeler teorisini geliştiren Cantor (1845-1918)⁸² kümeyi "Sezgimizin veya düşüncemizin belirli, farklı nesnelere bir bütünü halinde yapılan her derleme" olarak niteleyerek⁸³ nesnenin sahip olduğu belirli ve ayırt edilebilirlik niteliğine sahip olarak kavranılabilen bütün nesnelere toplamının oluşturduğu bir topluluk olarak tanımlar.⁸⁴ Nesnenin elde edilebileceği kabul edilen "belirli" ve "ayırt edilebilir" özelliği ise onun bir kümenin elemanı olup olmadığını belirlemeyi mümkün kılar. Bu açıdan da küme kavramı, klasik görüş açısından kesin bir kavram hükmünde olmuştur.⁸⁵ Klasik küme için bir elemanın kümeye ait olup olmamasının koşulu, ilgili elemanın kesin bir tanımının yapıldığı kabulüne bağlıdır. Klasik mantığın klasik kümelerle olan ilişkisi de bu tanımlama bağlamında kurulur. Zira herhangi bir elemanın, şartları belirlenmiş herhangi bir kümeye ait olup olmadığının kararı, iki değerli mantığın temelini oluşturur. Özne ile yüklem arasında bir ilişkinin var olup olmaması veya özne ile yüklem oluşturduğu önermelerin doğru ya da yanlış değerini alması, bir elemanın kümeye ait olup olmamasına karşılık gelmesinin bir sonucudur.⁸⁶

⁷⁷ Yücel Yüksel, "Kesinlik ve Puslu Mantık", *İstanbul Üniversitesi Sosyoloji Dergisi* 3/22 (2011), 518, 2 nolu dipnot.

⁷⁸ Masoud Nikravesh, "Evolution of Fuzzy Logic: From Intelligent Systems and Computation to Human Mind", *Soft Comput* 12 (2008), 207.

⁷⁹ Yüksel, "Kesinlik ve Puslu Mantık", 525.

⁸⁰ Şafak Ural, "Puslu (Fuzzy) Mantık", *Mantık, Matematik ve Felsefe 1. Ulusal Sempozyumu - 26-28 Eylül 2003 Assos-Çanakkale*, ed. Şafak Ural vd. (İstanbul: İstanbul Kültür Üniversitesi Yayınları, 2004), 43.

⁸¹ Ural, "Puslu (Fuzzy) Mantık", 46.

⁸² Yüksel, "Kesinlik ve Puslu Mantık", 525.

⁸³ Didier Dubois vd. "Part I Fuzzy Sets: History and Basic Notions", *Fundamentals of Fuzzy Sets*, ed. Didier Dubois-Henri Prade (New York: Kluwer Academic Publishers, 2000), 37.

⁸⁴ Tansu Küçüköncü, "Evrensel Küme, Boş Küme ve Yararcılık", (Erişim 30 Ocak 2020).

⁸⁵ Zdzislaw Pawlak-Andrzej Skowron, "Rudiments of Rough Sets", *Information Sciences* 177 (2007), 5.

⁸⁶ Yüksel, "Kesinlik ve Puslu Mantık", 524.

Klasik mantığın klasik küme yapısına dayanmasındakine benzer biçimde bulanık mantık da, bulanık küme anlayışına temellenmiştir. Bulanık⁸⁷ bir küme Zadeh açısından, “süremlî üyelik dereceleri olan nesnelerin bir sınıfıdır. Böyle bir küme, her nesneye sıfır ve bir arasında bir üyelik derecesinin atıldığı bir üyelik (karakteristik) fonksiyonuyla nitelendirilir.”⁸⁸ Zadeh’nin bulanık kümeye dair ortaya koyduğu bu tanımı klasik kümelerle de uygulamak mümkündür. Zira klasik bir kümeyi, üyelik derecelerinin 1 ya da 0 olan üyelerden oluşan bulanık bir küme olarak değerlendirmek olanaklıdır. Dolayısıyla klasik kümeler, “bulanık kümelerin özel bir durumu” olarak ele alınabilmektedir.⁸⁹ Bu bakış açısıyla klasik küme üyeleri için üyelik dereceleri 1 ve 0 olurken bulanık küme öğeleri ise $[0, 1]$ arasındaki herhangi bir üyelik derecesiyle kümeye dâhil edilebilir.⁹⁰

İfade edilen önermeye bağlı olarak, bir elemanın klasik kümeye ait olup olmaması, kümenin karakteristik değeri tarafından belirlenir. Klasik kümeler söz konusu olduğunda karakteristik değer, elemanların $\{0, 1\}$ kümesine aidiyetini sorgularken, bulanık kümelerde ise bu sorgu $[0, 1]$ aralığında gerçekleştirilir. $[0, 1]$ aralığı, karakteristik değeri bir fonksiyon aracılığıyla belirleyebilme olanağı yaratır. Bulanık mantıkta yaratılabilen bu fonksiyona da üyelik fonksiyonu adı verilir.⁹¹ X evrensel bir küme, A da X ’ bir alt kümesi olmak üzere; x , A kümesinin bir elemanı olmak kadıyla, x üyesinin A kümesi içerisindeki üyelik derecesini gösteren fonksiyon $f_A(x)$ şeklinde gösterilir. Klasik küme açısından üyelik fonksiyonu $f_A: X \rightarrow \{0, 1\}$ olarak gösterilirken bulanık kümeler için bu gösterim $f_A: X \rightarrow [0, 1]$ şeklindeki bir eşleme ile ifade edilir. Böylece $f_A(x)$ fonksiyonu, bir x elemanının, A kümesine hangi dereceyle ait olduğunu veren fonksiyona karşılık gelmektedir.⁹²

Bulanık mantıktaki bu gösterim öğelerin kümeye aidiyetlerine de yeni bir bakış açısı getirmiştir. Zira bir eleman, klasik kümeler açısından kümeye ya dâhildir ya da değildir. Fakat bulanık kümeler üzerinden tanımlanan üyelik fonksiyonu bir kümeye ait olan bir elemanın farklı üyelik derecesiyle başka bir kümeye de ait olabileceğini ifade eder. Yani bulanık bir kümeye ait olan bir öğe aynı zamanda başka bir kümenin de öğesi olarak değerlendirilebilir.⁹³

Bulanık küme, kümeye dâhil edilecek bir öğenin özelliklerinin kesin olarak belirlenmesi gerekliliğine göre değil aksine öğenin bir özelliği taşıyıp taşımadığına dair bir belirsizliğin daima olabileceği göz önüne alınarak oluşturulur. Kısacası klasik küme oluşumu açısından göz ardı edilen belirsizlik durumu, bulanık kümeyi oluşturan esas unsur haline gelmiştir. Zadeh, bu duruma şu şekilde dikkat çeker:

Genellikle, gerçek fiziksel dünyada karşılaşılan nesne sınıfları kesin şekilde tanımlanmış üyelik ölçütüne sahip değildirler. Örnek olarak hayvanlar sınıfı açık bir şekilde onun üyeleri olarak köpekleri, atları, kuşları vb. içerir ve açık bir şekilde de kaya, akışkan, bitki gibi nesnelere de dışarıda bırakır. Ancak deniz yıldızı, bakteri vb. nesnelere hayvanlar sınıfı açısından muğlak bir

⁸⁷ “Fuzzy” kelimesi, Türkçeye bazen “puslu”, bazen de “bulanık” kavramı ile çevrilmiştir. Alıntı yaptığımız çeviride fuzzy terimi “puslu” olarak geçmektedir; bk. Lotfi A. Zadeh, “Puslu Kümeler”, çev. Yücel Yüksel, *Kutadgubilig Felsefe-Bilim Araştırmaları Dergisi* 13 (2008), 137-153. Biz ise alıntılar dışında çalışmamın genelinde “bulanık” kavramını kullanacağız.

⁸⁸ Lotfi A. Zadeh, “Puslu Kümeler”, 138.

⁸⁹ Zadeh, “Puslu Kümeler”, 139; Ronald R. Yager-Dimitar P. Filev, *Essentials of Fuzzy Modeling and Control* (New York: John Wiley & Sons, Inc., 1994), 4.

⁹⁰ Zadeh, “Puslu Kümeler”, 139.

⁹¹ Zadeh, “Puslu Kümeler”, 139.

⁹² Yücel Yüksel, *Puslu Mantık ve Felsefi Arka Planı* (İstanbul: İstanbul Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Doktora Tezi, 2006), 33.

⁹³ Zekâi Şen, *Bulanık Mantık İlkeleri ve Modelleme* (İstanbul: Su Vakfı, 2009), 73.

duruma sahiptirler. Aynı türden muğlaklık 1'den çok daha büyük tüm gerçek sayıların sınıfı ile 10 gibi bir sayı arasındaki bağıntı durumunda da ortaya çıkar. Açıkça "1'den çok daha büyük tüm gerçek sayıların sınıfı" ya da "güzel kadınlar sınıfı" ya da "uzun erkekler sınıfı" bu terimlerin alışlagelmiş matematiksel anlamıyla sınıf ya da kümeler oluşturmazlar. Fakat bu tür kesin olmayan tanımlı "sınıflar" insan düşüncesinde, özellikle örüntü tanıma, enformasyon iletimi, özetleme gibi alanlarda önemli bir rol oynar.⁹⁴

Zadeh'in bu yaklaşım biçimi bulanık küme kavramının ortaya çıkmasında etkili olan iki temel unsur ön plana çıkarmaktadır. Bunlardan ilki, gerçek dünyada karşılaşılan durumların sahip oldukları yapıdır. Diğer ise bu yapıları tanımlamak için ortaya konulan kavramların insan faktörüne olan bağılılığıdır:

Bulanık kümeler teorisi, dereceli yapılar teorisi olarak da özetlenebilir. Bu yaklaşımın,

- Dünyada gerçek durumların (*states*) belirgin (*crisp*) olmadığı, yani tam (*exact*) olarak ifade edilemez oldukları,
- Tam (*complete*) tanımlamalar, insanların kıyaslama ve algılama için kullandıklarından öte, verilerin çok detaylı incelenmesine bağlı oldukları, dayandığı iki temel kabuldür.⁹⁵

3.2. Belirsizlik ve Bulanık Mantık

Bulanık mantık sistemi nesnenin sahip olduğu bütün özellikleri ile kavranılamayacağı iddiasıyla oluşturulan bulanık kümeler üzerine sistemleşmiştir. Bu açıdan bulanık mantık teorisinin önemli bir özelliği, belirsizlik ile ilgili ortaya koymuş olduğu yaklaşım tarzıdır. Bu teori, bilgiyi belirsizliğin eşlik ettiği bir yapıda değerlendirir. Bilgimiz bakımından gerçek dünyanın olgularının her zaman az veya çok bir belirsizliği bünyesinde taşıdığı varsayımıyla hareket eder.⁹⁶ Belirsizliği bulanık mantık sistemine dâhil etmenin kriterini de Zadeh ortaya koymuştur. *Minimum belirlilik prensibi* bu kriter karşılık gelir:

Sözel değişkenlerin kullanımının nedeni *minimum belirlilik prensibi* olarak adlandırılan şeydir. Bu prensibin altında yatan temel fikir kesinlik ve bu nedenle belirliliğin bir maliyetinin olduğu ve gereksiz yere kullanılmaması gerektiği fikridir. Örnek olarak bana "Mary kaç yaşındadır?" diye sorulmuşsa normal şartlarda bu soruya *yirmi üç yıl, beş ay ve beş gün* şeklinde cevap vermem. Çünkü böyle bir belirlilik derecesi gerekli değildir. Genellikle, eğer bu terimlerin belirliliği amaç için yeterli olacaksa benim cevabım *genç* ya da *çok genç* olacaktır. O halde temel ilke zorunlu olandan daha fazla belirli olmamaktır. Bu minimum belirlilik prensibinin esasıdır.⁹⁷

Bulanık mantık herhangi bir durum ile ilgili ortaya konulan bilginin, gerekli olduğundan daha fazla kesinlik içerecek bir yapıya kavuşturulması çabasının gereksizliğine vurgu yapan bir anlayış bağlamında şekillenmiştir. Bu açıdan da klasik mantık üzerine kurulan bilimlerin ulaşmayı amaç edindiği kesinlik, bulanık mantık açısından erişilecek "bir amaç değil, gerektiği kadar ve sadece

⁹⁴ Zadeh, "Puslu Kümeler", 138.

⁹⁵ Hasan Tatlı-Zekâi Şen, "Günlük En Büyük Sıcaklıkların Bulanık Kümeler ile Kestirimi", *Turkish Journal of Engineering and Environmental Science* 25 (2001), 2.

⁹⁶ Yüksel, "Kesinlik ve Puslu Mantık", 527.

⁹⁷ Lotfi A. Zadeh, "Puslu Mantığın Doğuşu ve Evrimi", çev. Yücel Yüksel, *Kutadgubilig Felsefe-Bilim Araştırmaları Dergisi* 12 (2007), 182.

bir araç” olmuştur.⁹⁸ Bu bağlamda Daniel Mcneill ve Paul Freiberger, Zadeh’in bulanık mantığın üç sıra dışı özelliğini ortaya koymaya çalıştığını aktarır:⁹⁹

Bulanık doğruluk değerleri sayılar değil kelimelerdir. *Çok doğru, oldukça doğru ve çok yanlış değil* gibi terimleri içerirler. Bu doğruluk değerlerinin her biri 0’dan 1’e doğru bir bulanık kümedir.

Bulanık doğruluk tabloları kesin değildir.

Bulanık çıkarım kurallarının geçerliliği yaklaşıktır, bire bir aynı değildir.

Kuantum fiziğinin atom-altı evrende ortaya koyduğu belirsizliği, bulanık mantık kavramlar ve bu kavramlarla oluşturulan önermeler bağlamında değerlendirmiştir. Zadeh ölçüm işlemini “kelimelerle yapılan işlemler” (*computing with words*) ile fiziksel nesne bağlamında ortaya çıkan “algıların ölçümü” (*computational theory of perceptions*)¹⁰⁰ çerçevesinde ele almıştır. Kelimelerle yapılan işlemler ise, bulanık mantıkta *minimum belirlilik prensibine* göre “sözel değişken” (*linguistic variable*) denilen yapı üzerinden oluşturulan bulanık kümeler baz alınarak yapılır. “Sözel değişken” kavramı, doğal veya yapay bir dilde geçen sözcük veya cümlelerin değer olarak atanabildiği değişkenlere karşılık gelmektedir.¹⁰¹ “Bulanık kümeler ve dil değişkenleri, akıl yürütme yöntemi olarak sayılarla hesaplama yapmak yerine kelimelerle hesaplama için teorik çerçeve sağlar.”¹⁰² Bu değişkenler de, derecelendirmeyi sağlayan unsurlar olan sözel eşikler bağlamında daha da bulanıklaştırılabilir veya daha da durulaştırılabilir.¹⁰³ Bulanık mantıkta önemli bir yer tutan netleştirme veya durulaştırma (*defuzzification*) işlemi, bulanık mantık denetleyicilerinde, denetleyicinin bulanık çıktısından “uygun bir kesin değer” seçmeyi mümkün kılan bir tekniktir. Durulaştırma tekniğinin bu işlevi sayesinde, bulanık veya belirsiz bir durum içerisinden kesin deterministik bir eyleme dair karar verebilmemiz olanaklı olur. Zira durulaştırılmış değer, belirli bir alternatife dair inancımızı “mümkün olan en iyi şekilde” yansıtmayı mümkün kılar.¹⁰⁴ Bulanık mantıktaki bu işlem klasik mantıksal uslamlama biçimimize de gönderimde bulunur. Zira üçüncü bir durumun olabilirliği ile gündeme gelen belirsizlik durumu, karar verebilmemizi mümkün kılan bu teknik sayesinde ortadan kaldırılmaya çalışılır. Bulanıklaştırma (*fuzzification*) tekniği ise durulaştırma işleminin tersine net bir miktarın bulanıklaştırılması işlemine karşılık gelir. Bulanıklaştırma işleminin uygulanma gerekçesi de kesin ve deterministik olduğunu düşündüğümüz niceliklerin çoğunun temelde hiç de deterministik olmadığı ve bundan dolayı da bu niceliklerin önemli ölçüde belirsizlik taşıdıklarının kabul edilmesidir.¹⁰⁵

Bulanık mantığın belirsizlik vurgusu önermelerin doğruluk değerlerinin de derecelendirilmesi gerekliliğini beraberinde getirmiştir. Zira bulanık mantık bakış açısından, gerçek dünya olgularında kesinliği yakalamak mümkün değildir: “Kesinlik diye bir şey yoktur. Mutlak kesin olan

⁹⁸ Yüksel, “Kesinlik ve Puslu Mantık”, 530.

⁹⁹ Daniel Mcneill-Paul Freiberger, *Fuzzy Logic: The Discovery of A Revolutionary Computer Technology - And How It Is Changing Our World* (New York: Simon & Schuster, 1993), 72.

¹⁰⁰ Lotfi A. Zadeh, “From Computing with Numbers to Computing with Words-From Manipulation of Measurements to Manipulation of Perceptions”, *IEEE Transactions on Circuits and Systems-I: Fundamental Theory and Applications* 45/1 (1999), 105.

¹⁰¹ Zadeh, “Puslu Mantığın Doğuşu ve Evrimi”, 175, 182.

¹⁰² Seising, “Can Fuzzy Sets Be Useful in the (Re)Interpretation of Uncertainty in Quantum Mechanics?”, 417.

¹⁰³ Osman Pala, *Bulanık Mantık ve Çok Kriterli Karar Verme Uygulaması* (İzmir: Dokuz Eylül Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2013), 21.

¹⁰⁴ Dimitar P. Filev-Ronald R. Yager, “A Generalized Defuzzification Method via Bad Distributions”, *International Journal of Intelligent Systems* 6 (1991), 687.

¹⁰⁵ Timothy J. Ross, *Fuzzy Logic With Engineering Application* (New York: McGraw-Hill, 1995), 90.

hiçbir şey yoktur. Her şeyi, matematiksel olarak ifade edersek, sıfır ile bir arasındaki sınırdaki değişmektedir.”¹⁰⁶ “Doğal fenomenler, kendi duyularımız ve dış olaylara verdiğimiz tepkiler, sürekli bir olası değerler yelpazesi ile ilişkilidir. Kesin evet veya hayır yanıtları, mutlak doğruluk veya yanlışlık, büyük bir gölge ölçeğini kabul eden tahminlerden başka bir şey değildir.”¹⁰⁷

Tıbbi gelişmeler, doğumda veya ölümden yaşam ile yaşam dışı arasındaki çizgiyi çizmeyi kolaylaştırmamıştır. Dünya'nın atmosfer molekülünü tanımlasaydık, yine de atmosferi uzaydan ayıran bir çizgi bulamazdık. Dünya, Mars ve Ay'ın yüzeyinin ayrıntılı haritaları bize tepelerin nerede bittiğini ve dağların nerede başladığını söylemez. Yine de sahip olduğumuz bilim, matematik, mantık ve kültürümüzün çoğunda değişmeyen bir siyahlar ve beyazlar dünyası varsaydık.¹⁰⁸

Zadeh klasik mantığın kesinliği ile gerçek dünyanın kesin olmayışı arasında aşırı geniş bir boşluk olduğunu ifade ederek bu durumun sorunun özünü oluşturduğunu belirtir¹⁰⁹ ve bu çerçevede bulanık mantığı, geleneksel mantık sitemlerinden ayıran veya onlara üstünlük gösterdiğini ifade ettiği çeşitli özellikler ortaya koyar:¹¹⁰

a) Klasik mantıktaki doğru-yanlış değerlendirilişi, bulanık mantıkta çeşitli derecelendirmelere tabi tutulur. Doğruluk; *doğru, tamamen doğru, çok doğru, aşağı yukarı doğru, genellikle doğru* gibi bulanık küme oluşturabilen bir yargının tanımına dönüşür.

b) Klasik mantıkta “bütün” ve “bazı” şeklinde iki niceleyici varken bulanık mantık niceleyicileri de derecelendirir. *Çok, çoğu, birkaç, kimi, genellikle* vb. niceleyiciler bunlara örnek olarak verilebilir.

c) İnsanın sahip olduğu “sağduyu muhakemesi” kesin sonuç verdiği iddia edilen yargılar yerine temelde bulanık mantıksal niceleyiciler dolayımında doğruluk açısından daha muhtemel olan bir yargıya varmamıza imkân tanır. Hatta doğruluk değeri açısından muhtemel olan bir yargıyı da derecelendirmeyi mümkün kılar; yargılarımızın “*muhtemel değil*”, “*çok muhtemel değil*” “*çok muhtemel*” şeklindeki bulanık bir ihtimal mekanizmasını ortaya koyar.

d) Gündelik veya metafizik dilde olduğu iddia edilen muğlaklığın ideal bir dil üzerinden giderilmesi çabası, bulanık mantık açısından tamamen gereksiz hatta yanlıştır. Zira geleneksel yüklem mantığının yaklaşım biçimi, yüklemi derecelendiren zarfların içerildiği yargıları değerlendirme dışı tutmaya sebep olmuştur. Fakat bu yaklaşım bulanık mantık açısından doğru değildir. Bundan kaçınmak için bulanık mantık, “*oldukça*”, “*aşağı yukarı*”, “*son derece*”, “*tamamen*” gibi zarfların nitelediği yüklemeleri de kendi bağlamında gerçeğe daha yakın bir şekilde tasvir edebilmeyi sağlayan bir yapıyı ortaya koymuştur.

e) Klasik mantıksal sistemlerde olasılık, sayısal veya aralık değerli iken bulanık mantık, dilsel veya daha genel olarak *olası, çok olası, yaklaşık* gibi bulanık olasılıkları da kullanabilme seçeneğini ortaya koymuştur.

f) Klasik sistemlerde tek yüklem değiştiricisi *değil* olumsuzlaması iken bulanık mantık, *çok, az ya da çok, oldukça, oldukça aşırı* gibi çeşitli yüklem değiştiricilerine de alan açar.

¹⁰⁶ Möhbeddin Samed, *Dünya Dâhileriz Yaşayamaz*, çev. Babek Kurbanov-Şevki Işıklı (İstanbul: Emre Yayınları, 2005), 82.

¹⁰⁷ Illuminada Baturone vd. *Microelectronic Design of Fuzzy Logic-Based Systems* (Boca Raton: FL: CRC Press, 2000), 1.

¹⁰⁸ Bart Kosko, *Fuzzy Thinking: The New Science of Fuzzy Logic* (New York: Hyperion, 1993), 5.

¹⁰⁹ Lotfi A. Zadeh, “Gerçek Dünyanın Kesin Olmayışının Üstesinden Gelmek: Lütüf A. Zade ile Bir Röportaj”, çev. Yücel Yüksel, *Kutadgubilig Felsefe-Bilim Araştırmaları Dergisi* 12 (2007), 205.

¹¹⁰ Lotfi A. Zadeh, “Knowledge Representation in Fuzzy Logic”, *EEE Transactions on Knowledge and Data Engineering* 1/1 (1989), 89-90; Zadeh, “Puslu Mantığın Doğuşu ve Evrimi”, 180-181.

Zadeh açısından bulanık mantığın bu özellikleri, geleneksel mantıksal sistemler tarafından göz ardı edilen belirsiz ifadelerin değerlendirilmesini sağlamıştır. Bulanık mantık bakış açısına göre belirsizlik taşıyan ifadeler göz ardı edilmemelidir, saf dışı bırakılmamalıdır. Tersine, bu bulanık yapıları sisteme daha etkin dâhil edebilecek mekanizmaları geliştirmeye gayret edilmelidir. Kısacası yüklem bulanıklaşmalı, doğruluk değerleri bulanıklaşmalı, niceleyiciler, zarflar, hatta ihtimaller bile kendi içinde bulanıklaşmalıdır.¹¹¹

4. Kuantum Fiziği-Bulanık Mantık İlişkisi

Kesinlik idealinin peşinden koşan geleneksel bilim anlayışı, belirsizliği saf dışı bırakacağını düşündüğü metotlarla etkinlikte bulunmuştur. Zira “yalnızca kesin formülasyon ve analize uygun olan akıl yürütme tarzlarıyla ilgilenen” bu geleneğin düşünme biçimi temelde mantıkta derinlere kök salmış bir geleneğe karşılık gelmektedir.¹¹² Fakat 19. yüzyılın sonlarına doğru, fizik alanında belirsizliklerin varlığının giderilemediği yeni problemler gün yüzüne çıkmış, 20. yüzyılda kuantum fiziği ile birlikte belirsizlik bilim etkinliğinin temel bir bileşeni olmuştur. Geleneksel yaklaşım açısından kendisinden kaçınılması gereken belirsizlik, artık bilimin odağına girmiştir. Artık sorun, belirsizliğin bulaştığı etkinliğin bilimsel olup olmaması değil, bu potansiyelin nasıl değerlendirilmesi gerektiğini belirlemek olmuştur. Zira belirsizlik, artık bilimsel çabanın devam ettirilmesi için itici bir faktör, değerlendirilmesi gereken bir unsur olmuştur.

Kuantum fiziğinin olgunluğu ulaştığı bir zaman diliminde ortaya çıkan bulanık mantık sistemi de belirsizliği daha fazla bilimsel etkinliğe dâhil etmenin yollarını aramıştır. Kuantum fiziği belirsizliğe işaret etmiş, bulanık mantık ise belirsizliği değerlendirmiştir. İki alan arasındaki ilişkiyi sağlayan temel de bu olmuştur. Bu açıdan öncelikle her iki alanın ele aldığı belirsizlik durumlarının örtüşüp örtüşmeyeceğini ele almaya çalışacağız. Kuantum olguların sahip olduğu müphemlik¹¹³, bulanık mantığın değerlendirmeye aldığı “müphem durumlara”¹¹⁴ örneklik teşkil edebilir mi?

4.1. Kuantum Belirsizlikler ve Bulanık Mantıksal Müphemlikler

Kuantum mekaniğine dair ortaya konulan görüşlerde genel olarak belirsizliğin doğaya dair bir realite olduğu bildirilmiştir. Kuantum mekaniğinde ifade edilen “belirsizliğin” ise iki kaynağı vardır. Birincisi kesinliğin ihlalini bildiren kesinsizlik, diğeri de belirlenimciliğin ihlalini bildiren belirlenimsizliktir. Dolayısıyla belirsizlik, “kesinsizlik” ve “belirlenimsizlik” olarak iki ilkeyi içerir. Bu ilkeler kuantal olgularda bir çeşit “belirsizliğe” gönderimde bulunur.¹¹⁵ Fakat belirsizlik,

¹¹¹ Zadeh, “Puslu Mantığın Doğuşu ve Evrimi”, 181.

¹¹² Zadeh, “Knowledge Representation in Fuzzy Logic”, 89.

¹¹³ Kuantum müphemliğinde, kuantum fiziğinde standart bir yorum haline gelen Kopenhag Yorumunun görüşü baz alınmıştır. Bulanık mantığın müphem durumları ile karşılaştırılmaya konu edilen müphemlik, Kopenhag Ekolünün bahsini ettiği belirsizliktir.

¹¹⁴ Yücel Yüksel, “Puslu Mantık ve Felsefi Arka Planı” adlı çalışmasında bulanık mantığın değerlendirmeye aldığı müphem durumları “Müphemlik Sorunu” başlığı altında detaylı bir biçimde ele almıştır; bk. Yüksel, *Puslu Mantık ve Felsefi Arka Planı*, 10-28. Yüksel, müphem durumların çeşitli olduğuna vurgu yaparak *uncertainty* teriminin müphem durumlardan sadece bir tanesi olduğuna dikkat çeker ve müphem durumları karşılayan terimlerin Türkçeye yapılacak çevirisinde terminolojideki farka dikkat etmemiz gerektiğine vurgu yapar; bk. Yüksel, *Puslu Mantık ve Felsefi Arka Planı*, 10, 40 nolu dipnot. Bu bağlamda *belirsizlik*, *kesin olmayış*, *tam doğru olmama*, *şüphelilik* gibi kavramların birbirinden farklı müphem durumlara işaret ettiğini ifade ederek hepsini tümüyle aynı müphem durumu ifade edecek şekilde ele almanın yanlış olacağına ve dolayısıyla bulanık mantık açısından hangi müphem durumların söz konusu edileceğinin tespit edilmesi gerektiğine dikkat çeker. Neticede de “belirsizlik” ile “kesin olmayış”ı bulanık mantığın ilgisine konu olan müphem durumlara örnek olarak tespit eder; bk. Yüksel, *Puslu Mantık ve Felsefi Arka Planı*, 11, 14. Bu açıdan metinde geçen müphemlik kavramı, bulanık mantık açısından sadece Türkçe karşılığı “belirsizlik” olarak değerlendirilmemeli, “kesin olmayış” durumuna da gönderme yapabilen bir muhtevaya sahip olarak göz önüne alınmalıdır.

¹¹⁵ Işıklı, *Kuantum Mekaniği İlkelerinin Felsefi İçerimleri*, 85. Çalışmamızda kuantum mekaniği ile ilintili olarak ifade edilen “belirsizliğin” bu iki ilkeyi içeren bir anlamla ifade edildiği dikkate alınmalıdır.

müphem durumlardan sadece bir tanesidir.¹¹⁶ Mantık açısından değerlendirildiğinde belirsizlik, genel olarak dile ilişkin bir unsur olarak ele alınır. Dilin anlatımsal işlevi üzerinden değerlendirilen belirsizlik, özellikle Russell (1872-1970) ile işlenmiştir. Russell bu bağlamda şu ifadeleri ortaya koyar: “Belirsizlik ve kesinlik (*precision*) sadece bir ifadeye (*representation*) ait olabilecek özelliklerdir ve bunun bir örneği dildir. Bunlar, bir ifade ile onun belirttiği şey arasındaki bağıntıyla (*relation*) ilgilidir. İfadenin dışında, ister bilişsel ister mekanik olsun belirsiz ya da kesin şeyler olamaz; onlar ne ise odur ve bir sonu vardır.”¹¹⁷ Bu açıklamaları dile getiren Russell açısından yapısında belirsizlik bulunduğu kabul edilen kavramlar, mantık-dışı olarak nitelendirilmiş ve bu kavramlardan oluşturulan önermelerin doğruluk değerlerinin de belirsizlik taşıyacağı kabul edilmiştir.¹¹⁸

Bulanık mantık açısından da belirsizlik, kesin bir tanımlamanın yapılamadığı durumlara ilişkin, dilin sembollerinin içerdiği anlam üzerinden ortaya çıkmaktadır. Fakat bulanık mantık anlayışı açısından sınırı keskinleştirilemeyen belirsiz ifadelerin bir önermede geçmesi ve bu önermenin bir çıkarım mekanizmasına dâhil olması bir problem değildir. Aksine bu tür yapıların olabildiğince değerlendirilmesi sağlanmalıdır. Belirsizliğin karıştığı önermeyi sınamada kullanmak, mantık-dışı değil, mantıksal açıdan tamamlayıcı bir unsur olmalıdır.

Doğada cereyan eden olgulara bulaşan belirsizlik, önermeyi ifade edecek öznenin dilsel kavramları ile mantık sistemine girer. Olguya ilişen bu belirsizliği de bulanık mantık sistemine dâhil etmiştir. Kuantum fiziğinin ortaya koyduğu ölçme etkinliği yaklaşımına göre Kesinsizlik İlkesi gereğince kesin değerler elde edilemez. Kesin değerlerin elde edilemeyişi ise “kesin olmayışa” işaret eder. Bulanık mantığın esas aldığı bir başka müphem durum ise bu “kesin olmayış” halidir.¹¹⁹ Kesin olmama durumu temelde ölçüm etkinliği sonucunda ortaya konulan değerlerin doğruluğunun sınırlı oluşuna dairdir.¹²⁰ Ölçüm neticesinde elde edilen sonuç, doğruluk değeri bakımından kesin bir karşılığı sağlayamıyorsa kesin olmayış belirir. Kuantum evrendeki kesin olmayış durumunun yanında, bir de ‘ölçümü sağlayan unsurlara karşılık gelen kavramların belirsizliği’¹²¹ de göz önüne alındığında öznenin olguyu tasvir etmek için ortaya koyduğu önermelerin doğruluk değerlerinin derecelendirilmesi gerekliliği de ortaya çıkar. Doğruluk değerlerinin derecelendirmesini ise bulanık mantık sağlamaya çalışır. Böylece kuantum fiziğinde olgulara dair ortaya çıkan “belirsizliğin” ilkelerinden biri olan kesinsizlik,¹²² bulanık mantığın esasını oluşturan “kesin olmayış” biçimindeki bir müphem duruma da kaynaklık etmiş olur.

Müphem durumlardan bir diğeri de “şüphelilik” halidir. Şüphelilik durumu, önermeler mantığı ile olasılık teorisinin temelinde yer alır. Şüphe, bir önermenin doğruluk değeri bakımından doğru olup olmadığı ile ilgili ortaya çıkabilirken, gözlemlenebilen, çelişik bilgi üretebilen tesadüfi durum veya olgulara dair de ortaya çıkabilir. İlk şüphe durumunu, modal mantık modellerken ikinci karakterdeki şüpheleri ise olasılık teorisi modellemeye çalışır.¹²³

Zadeh’e göre olasılık dağılımları üyelik fonksiyonu ile temelde aynı olmasına rağmen, olasılığın kendisi bulanıklıktan ayrı bir teoridir.¹²⁴ Fakat ayrı teoriler olsa da Zadeh açısından birbirlerine

¹¹⁶ Yüksel, *Puslu Mantık ve Felsefi Arka Planı*, 14.

¹¹⁷ Bertrand Russell, “Belirsizlik”. çev. Yücel Yüksel, *Felsefe Arkivi* 31 (2007), 155.

¹¹⁸ Russell, “Belirsizlik”, 158.

¹¹⁹ Yüksel, *Puslu Mantık ve Felsefi Arka Planı*, 19.

¹²⁰ Dubois vd. “Part I Fuzzy Sets: History and Basic Notions”, 29.

¹²¹ Yüksel, *Puslu Mantık ve Felsefi Arka Planı*, 20.

¹²² Işıklı, *Kuantum Mekaniği İlkelerinin Felsefi İçerimleri*, 85.

¹²³ Yüksel, *Puslu Mantık ve Felsefi Arka Planı*, 20.

¹²⁴ McNeill-Freiberger, *Fuzzy Logic*, 70.

yapabilecekleri katkıları da mevcuttur. Zira “Discussion: Probability Theory and Fuzzy Logic Are Complementary Rather Than Competitive” adlı çalışmasında bulanık mantık ve olasılık teorisi arasındaki ilişkileri irdeleyen Zadeh, neticede olasılık teorisi ile bulanık mantık sisteminin rekabet eden teorilerden ziyade birbirini tamamlayan birer teori olarak değerlendirilmesi gerektiğini ifade eder.¹²⁵ Zadeh, bu iki teori arasındaki tamamlayıcılığı gösterme adına, “Probability Measures of Fuzzy Events” adlı çalışmasında da bulanık küme kavramı kullanılarak, bir olay ve bu olayın gerçekleşme olasılığını bulanık olaylara genişletilebileceğini, bulanıklığın yaygın bir fenomen olduğu alanlarda, olasılık teorisinin uygulanabilirlik alanını önemli ölçüde genişletebileceğini ortaya koyar.¹²⁶ Zadeh bu çalışmasıyla klasik kesin rastgele olayları ölçülebilir bulanık rastgele olaylara genişletilebilir olduğunu, “yumuşak hesaplama” uygulamalarını göz önünde bulundurmamak suretiyle bulanık rastgele olaylar üzerinde bulanık işlemler önererek, temel bulanıklaştırılmış olasılık kavramlarını ortaya koyar, klasik olasılığın bulanıklaştırılmasını başlatır.¹²⁷

Olasılığın bulanıklaştırılması teorisi ile birlikte klasik olasılık açısından olayın sayısal olasılık değerleri, yerini *az olası*, *olası*, *yaklaşık*, *çok olası*, *pek çok olası* gibi olasılığı bulanıklaştıracak durumlara bırakmıştır.¹²⁸ Olasılık teorisinin bulanık mantıktan aldığı kavramlar yardımıyla geniş uygulama alanı bulan yeni biçimi, kuantum fiziğinin olasılık yorumunu önemli ölçü de anlamlandırmıştır. Zira kuantum evrende bir parçacığın durumuna dair tüm ihtimalleri içeren “olasılık genliği”¹²⁹, temelde olasılığın da derecelendirildiğine gönderme yapar. Kuantum evrende bir parçacık, ancak belirli bir “olasılıkla” belirli bir noktada “olabilir”. Parçacık bazı noktalarda daha çok bazı noktalarda ise daha az bulunabilir. Parçacığın bazı noktalarda bulunma olasılığının “daha yoğun” olduğunu, bazı noktalarda ise “daha az yoğun” olduğunu ifade edebilmeyi mümkün kılan husus da bulanık mantığın ilgisine giren sözel değişkenlerin, olasılık ifadelerine bulaştırılabilmesini sağlayan bulanık olasılık yaklaşımıdır.

Bulanık mantığın katkısından eksik bir olasılık teorisi, kuantum fiziğinin tasvirini yapmada eksik kalacaktır. Zira kuantum fiziği söz konusu olduğunda olasılığın da derecelendirilmesi zorunlu görünmektedir. Çünkü temelde “kuantum mekaniği, klasik olasılıklarla matematiksel olarak modellenemeyen fiziksel bir teoridir.”¹³⁰ Bu çerçevede Frič ve Papčo da Zadeh’nin olasılığı bulanıklaştırma çabasının haklı gerekçesini, kuantum fiziğinin fenomenlerinin sahip olduğu bu yapı üzerinden örnekleyerek ortaya koyamaya çalışır. Kuantum evrendeki nesnelere sahip olduğu davranış biçiminin, olasılığın bulanıklaştırılması çabasını motive eden bir içerime sahip olduğunu ifade eden Frič ve Papčo¹³¹ olasılığın bulanık teorisi ile kuantum nesnelere karakteristiği arasında bir ilgi kurmaya çalışır. Bu bağlamda Frič ve Papčo, Stanley Gudder ile Sławomir Bugajski tarafından olasılığın bulanıklaştırılması işleminin, kuantum fiziği olaylarını yakalamak adına başarılı bir şekilde ortaya konulduğunu ifade eder.¹³² Gerçekten de Gudder, “Fuzzy Probability Theory” adlı çalışmasında bulanık olasılık teorisini matematiksel olarak detaylandırmaya çalışırken kuantum mekaniğinde “gözlemlenebilir” ve “etki” gibi kullanılan bazı

¹²⁵ Lotfi A. Zadeh, “Discussion: Probability Theory and Fuzzy Logic Are Complementary Rather Than Competitive”. *Technometrics* 37/3 (1995), 271.

¹²⁶ Lotfi A. Zadeh, “Probability Measures of Fuzzy Events”, *Journal of Mathematical Analysis and Applications* 23/2 (1968), 421.

¹²⁷ Frič-Papčo, “Probability: From Classical To Fuzzy”, 106-107.

¹²⁸ Zadeh, “Knowledge Representation in Fuzzy Logic”, 90.

¹²⁹ Işıklı, *Kuantum Mekaniği İlkelerinin Felsefi İçerimleri*, 39.

¹³⁰ Seising, “Can Fuzzy Sets Be Useful in the (Re)Interpretation of Uncertainty in Quantum Mechanics?”, 418.

¹³¹ Frič-Papčo, “Probability: From Classical To Fuzzy”, 107.

¹³² Frič-Papčo, “Probability: From Classical To Fuzzy”, 107.

terminolojilere başvurur ve bulanık olayı “etki” ve bulanık rastgele değişkeni de “gözlenebilir” biçiminde adlandırma yoluna gider.¹³³ Böylelikle de bulanık olasılık teorisi ile kuantum fiziği fenomenleri arasında kurulabilecek ilgiye dikkat çekmiş olur. Diğer taraftan Bugajski de Enrico G. Beltrametti ile birlikte ortaya koyduğu “The Bell Phenomenon in A Probabilistic Approach” adlı çalışmasında operasyonel olasılık teorisi (*operational probability theory*) olarak isimlendirmeyi tercih ettiği bulanık olasılık teorisinin bir uygulamasını, kuantum mekaniği ile ilişkilendirerek sunmaya çalışmıştır. Bugajski ve Beltrametti kuantum fiziği bağlamında gündeme gelen EPR korelasyonunda, Bell eşitsizliklerinin ihlalinin, Bell fenomeninin bir örneği olduğunu¹³⁴ göstermek suretiyle olasılığın bulanık teorisini, fizik alanına uyarılmanın meşru olabileceğine gönderme yapar.

4.2. Kuantum Önergeler-Bulanık Önergeler

Kuantum fiziğinde gözlem ile birlikte ortaya çıkan olgu, öznenin dâhil olduğu bir olgudur. Kuantum önermeler, öznenin olgu üzerinde belirleyici bir etkiye sahip olduğu bu statü nedeniyle aslında fenomenal düzeyde varoluşun önermeleridir. Kuantum evrende, olguyu görünüşler âleminde görünür kılan etkiyi yapan özne, aynı zamanda bu olguları tasvir edecek önermelerin de failidir. Klasik mantıksal ilkelerin içkin olmadığı¹³⁵ ve belirsizliğin bir ilke olarak baştan konulduğu biçimsel kuantum formalizmi,¹³⁶ öznenin gözlem ve dolayısıyla ölçme etkinliğini varlığını dikkate alarak biçim kazanmıştır.

Klasik mekanikte makro evrene ait nesnelere fiziksel halini ifade etmek için ortaya konulan önermeler, ampirik ve teorik olmak üzere iki tür bilgi taşırlar. Klasik fizik açısından bu iki bilginin de belirsizlikten arınmış olduğu kabul edilir. Ampirik bilginin kesin olmasını sağladığı düşünülen temel husus da bu bilgiyi elde edebilmeyi mümkün kılan ölçmenin, üzerinde gerçekleştiği nesneye verdiği etki değerinin tespit edilebildiğinin kabulüdür. Kesin olduğu kabul edilen bu ampirik bilgi baz alınarak dinamik evrim yasalarının kullanılması ile birlikte taneciğin fiziksel hali, sonraki bir zaman için kestirilmeye çalışılır. Taneciğin fiziksel halinin kestiriminde yer alan bilgi de teorik bilgiye karşılık gelir. Fakat kuantum fiziğinin standart görüşü haline gelen Kopenhag Yorumu, mikro evrendeki bir taneciğin fiziksel halinin, sıkı determinist bir mekanik kuramında taneciğin halini ifade eden ‘belirsizlikten arınmış, kesin olarak bilinebilir olduğu varsayılan önermeler’ gibi belirsizlikten arınamayacağını, dolayısıyla da kesinlik düzeyinde bilinmeyeceğine işaret eder.¹³⁷

Klasik determinist anlayış, makro evrendeki nesnelere dair ampirik ve teorik bilgiyi dile getiren önermelerin iç yapılarının aynı olduğu kabul eder. Oysa makro evren için geçerli olan bu durum, Kopenhag Yorumuna göre, mikro evrendeki bilgiyi dile getirecek önermeler açısından geçerli değildir. Zira mikro evrenden elde edilen bilgi, içyapıları farklı olan önermelerle anlatılmak zorundadır. Bu önermelerin karakteri, Kopenhag Okulunun ‘ampirik bilginin elde edilmesini sağlayan ölçme süreci’ ile ‘teorik bilginin edinildiği kestirim süreci’ne dair görüşleri bağlamında şekillenmiştir. Burada mikro evrendeki bir nesnenin hali hakkında ampirik bilgi sağlayan önermeler, ölçümden kaynaklı problemler dolayısıyla açık önerme¹³⁸ statüsüne dönüşürken,

¹³³ Gudder, “Fuzzy Probability Theory”, 235.

¹³⁴ Beltrametti-Bugajski, “The Bell Phenomenon in a Probabilistic Approach”, 205-206.

¹³⁵ Işıkli, *Kuantum Mekaniği İlkelerinin Felsefi İçerimleri*, 270.

¹³⁶ Dereli, *Kuantum Dünyası*, 47, 48.

¹³⁷ Koç, *Doğanın Kuantum Mekaniksel Betimlemesi ve Ölçme Sorunu*, 88.

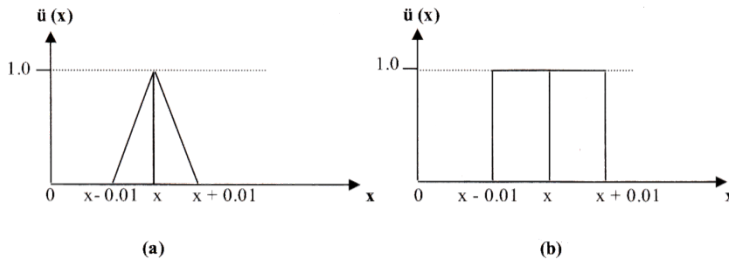
¹³⁸ “Bir ya da daha fazla “ad” yerine, “ad değişkeni” geçen önerme.”; bk. Koç, *Doğanın Kuantum Mekaniksel Betimlemesi ve Ölçme Sorunu*, 57, 1 nolu dipnot.

kestirimi sağlayan teorik önermeler de olasılık karakteri taşıyan açık önermelere denk gelir. Ölçmeler ile ilgili açık önermeler, mikro evrensel nesnelere belirsizlikten arınmamış bilgisini dile getirirken, olasılıklar ile ilgili açık önermeler ise belirsizlikten arınmamış bir bilgi olan ampirik bilgiden hareket edilerek gerçekleştirilen kestirim sonucu elde edilen teorik bilgiye karşılık gelir.¹³⁹ Kavramlar bağlamında belirsizliğin iliştiği önermeleri değerlendirmeye alan teknikler ise bulanık mantık sisteminde mevcuttur.

Bu çerçevede mikro evrene dair bir taneciğin gösterimi Σ olmak üzere, Σ 'ye dair yapılacak ölçümlerden edinilecek ampirik bilgiyi veren bir önermeyi şu biçimde ifade etmek mümkündür: “ Σ 'nin herhangi bir ölçümü m, N niceliğini k hassaslığı ve s sonucu ile ölçer.”¹⁴⁰ Bu önermede ifade edilen “k” hassaslığı, sonucun kaderini değiştirebilen bir etkiye sahiptir. “Hassaslık” ölçme sürecinde ölçen ile ölçülen arasında geçen etkileşimin değerine ışık tutar. Klasik bir ölçme işlemi ölçme aygıtının ölçen üzerindeki etkisi göz ardı edilebilecek olması bu etkinin değerinin bilinebileceğinin kabul edilmesinden ileri gelir. Fakat ölçüm aygıtının ölçtüğü nesne üzerindeki etkisini sınırlayabilmek, kuantum fiziği açısından mümkün değildir. Kopenhag Yorumu, mikro evrende gerçekleşecek bir ölçüm etkinliğinde ölçen ile ölçülen arasındaki etkileşim değerinin ne ampirik ne de teorik olarak bilmenin mümkün olduğuna işaret eder.¹⁴¹

Burada kuantum fiziğinin mikro nesneye dair ortaya koyduğu önermelerde geçen kavramların mahiyeti bulanık mantığın temelini oluşturan bulanık kümelerle gönderme yapar. Zira hassaslık, bulanık bir kümeyi oluşturan bir kapsama sahiptir. Duyarlılığı bulanık olarak tanımlamak daha yararlı sonuçlar doğuracaktır.¹⁴² Bu bakımdan kuantum önermede hassaslığı nitelendiren “k”, bulanıklaştırılabilme potansiyeline sahip olarak değerlendirilebilir. Sözelimi aygıt hassasiyetinin ± 1 olarak varsayılması, ölçülen N niceliğinin, $N+0.01$ ve $N-0.01$ değerleri arasında değişebileceğini gösterir. Bu açıdan bulanık mantığın üyelik fonksiyonu anlayışı bu aralıkta hassasiyet derecesinin minimize edilebilmesini mümkün kılabilen bir hassaslık derecelendirmesini ortaya koyabilir. Duyarlılığı ölçülen bir x büyüklüğe bağlı olarak üyelik fonksiyonunun üyelik derecelerini klasik ve bulanık kümelerde gösterimini aşağıdaki grafiklerle göstermek mümkündür.¹⁴³

Şekil 4. Duyarlılık (a) Bulanık (b) Klasik



Kaynak: Şen, Bulanık Mantık İlkeleri ve Modelleme, 46.

Klasik küme yaklaşımı ile bulanık küme yaklaşımı bağlamında değerlendirilen duyarlılık durumunu gösteren bu iki grafik, klasik bir gösterimde duyarlılığın var ya da yokluğunu gösterir ve üyelik derecesine de 0 ya da 1 atar. Fakat bulanık mantık bakımından duyarlılığın varlığı ve

¹³⁹ Koç, *Doğanın Kuantum Mekaniksel Betimlemesi ve Ölçme Sorunu*, 89.

¹⁴⁰ Koç, *Doğanın Kuantum Mekaniksel Betimlemesi ve Ölçme Sorunu*, 92.

¹⁴¹ Koç, *Doğanın Kuantum Mekaniksel Betimlemesi ve Ölçme Sorunu*, 93.

¹⁴² Şen, *Bulanık Mantık İlkeleri ve Modelleme*, 46.

¹⁴³ Şen, *Bulanık Mantık İlkeleri ve Modelleme*, 46.

yokluğu sahip olduğu duyarlılık üyelik derecesine bağlı olarak değerlendirilerek gerçeğe daha fazla yaklaşabilmemizi mümkün kılar.

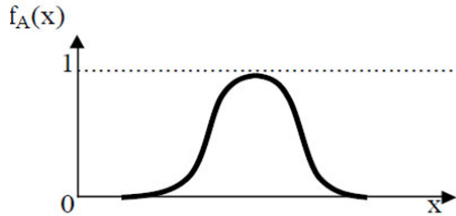
4.3. Bulanık Kümeyi Oluşturan Bir Kuantum Durum: Dalga-Parçacık

Klasik fizik, ışık olgusunu ya dalga ya da tanecik olarak ele almış, ikisini “birlikte” değerlendirmeyi mümkün kılan bir yapıya sahip olmamıştır. Zira klasik düşünce açısından bir şey ya A ya da B olmak zorundadır, aynı anda ikisi birden olamaz. Fakat kuantum fiziği, çift yarık deneyiyle, ışığın “hem dalga hem de tanecik” karakteri ile bir mikro nesneyi tasvir eden dalga fonksiyonunda içerebileceğinin mümkün olduğunu göstermiştir.

Klasik kümelerin oluşturulma mantığı açısından kuantum evrende deneyime konu olan foton veya bir elektron tüm zamanlarda ya tanecik özelliğini taşıyan kümeye ya da dalga özelliği taşıyan nesnelere özelliğini gösteren kümeye dâhil olur. Örneğin parçacık özelliğine karşılık gelen kümeyi T, dalga karakterini sergileyen nesnelere klasik kümesini de D ile gösterdiğimizde foton, parçacık olarak kabul edildiğinde, T kümesinde bulunma derecesi 1 D kümesindeki üyelik derecesi ise 0 olacaktır. Dalga karakteri olarak ele alındığında ise D kümesinde bulunma derecesi 1, T de bulunma derecesi ise 0 olur. Klasik mantık açısından her iki durumu birden karşılayabilecek küme yoktur. Fakat ‘bir özelliğe sahip olup olmadığı’ kesin olarak belirleyemeyen olgu veya durumları tarif edecek kesin bir tanımlı sağlayamayan kavramları değerlendirmeye alan bulanık kümeler¹⁴⁴ dikkate alındığında, kuantum teorisinin dikkat çektiği dalga-parçacık durumunu tasvir etmek olanaklı hale gelir.

Elektron kaynaktan ilk çıkma anında T kümesine ait olurken, D dalga kümesine aidiyetini ise, iki yarığın aynı anda açık olması durumuna bağlı olarak ilan eder. Ölçüm etkinliği ile beraber elektron, tekrar T kümesine olan aidiyetine kavuşur. Böylelikle de elektron önce tanecik, sonra dalga, nihayetinde de tanecik olarak hem T hem de D kümesine dâhil olur. Elektron kaynaktan tanecik olarak çıktığı anda, ışık olgusunu tanımlayan kümedeki üyelik derecesi 1 olacakken, dalga olgusu kümesindeki derecesi ise henüz sıfır olacaktır. Çift yarık deneyinde iki yarığın birlikte açık olma durumunda taneciğin plakada bıraktığı görüntüyü deneyimleme sürecine bağlı olarak kaynaktan çıkan parçacık karakterinin üyelik derecesi ise yol boyunca 0 ile 1 arasında olmak üzere hem tanecik hem de dalga kümesinden değer alacak biçimde olacaktır. İki yarığın açık olma durumuna bağlı olarak elektronun yol boyunca büründüğü karakter, dalga ve parçacık kümesi dikkate alınarak oluşturulacak üyelik fonksiyonunun alacağı üyelik dereceleri üzerinden aşağıdaki grafikte gösterilebilir.

Şekil 5. Çan Eğrisi Biçimli Üyelik Fonksiyonu



Kaynak: Yüksel, Puslu Mantık ve Felsefi Arka Planı, 34.

Bir süperpozisyon durumu içeren dalga fonksiyonunun¹⁴⁵ indirgenmesini mümkün kılan ölçme işlemi, bulanık bir kümenin üzerinde işlem yapılabilmenin kriterine de denk düşer. Zira bulanık

¹⁴⁴ Yager-Filev, *Essentials of Fuzzy Modeling and Control*, 1.

¹⁴⁵ Işıklı, *Kuantum Mekaniği İlkelerinin Felsefi İçerimleri*, 39.

bir küme üzerinde işlem yapılabilmesi için üyelik derecesi 1 olarak kabul edilen en az bir elemanın varlığına ihtiyaç duyulur.¹⁴⁶ Kaynaktan tanecik olarak çıkan elektronun iki yarığın açıklık durumuna göre sergilediği dinamik özelliğin nihai karakteri, ölçüm anında belirir. Ölçüm anı sağduyumuzla örtüşecek biçim de “ya dalga ya da parçacık” karakterini deneyimlememizi sağlar. Bunlardan hangisi olursa olsun, indirgeme, ilgili küme üyelik derecesi açısından derecesi 1 olan bir niteliği mümkün kılar. Bu da bulanık bir küme üzerinde işlem yapılabilmenin asgari şartını bize verir.

Bir elektronun sahip olduğu dalga-parçacık karakteri için başvurduğumuz bulanık kümelere, bir atomun çekirdeğinde meydana gelen dinamik süreçlerin tasviri için de başvurma gerekliliği ortaya çıkmaktadır. Zira;

Elektronlar arasındaki kimlik değiş tokuşu basit bir konum değişimi anlamına değil, A elektronunun B elektronuyla, diyelim yüzde 60 A ve yüzde 40 B (ya da tersi) oranında bir “karışım” oluşturmak üzere karşılıklı iç içe geçtiği karmaşık bir süreç anlamına gelir. Daha sonra onlar, bir yanda A ve diğer yanda B olmak üzere kimliklerini tümüyle değiştirebilirler. O zaman akış, elektronların kimliklerinin belirsiz bir biçimde sürüp giden ritmik bir karşılıklı değiş tokuşuyla birlikte, sürekli bir salınım içinde tersine döner. Eski katı, Özdeşlik Yasası, tüm varlığın temelinde yatan ve bilimsel ifadesine Pauli dışlama ilkesinde kavuşan bu tür gelgitli bir değişken kimlik karşısında bütünüyle kaybolup gider.¹⁴⁷

Sürekli bir değiş tokuşun belirsiz bir biçim üzerinde gerçekleşmesi, tanımı itibari ile sınırları belirsiz bir kavramın varlığına işaret eder. “Taneciklerin etkileşimi” artık özdeş varlıklarının dolayımında birbirinden ayrıştırılabilecek bir süreç değildir. Parçacıkların etkileşimi ile ortaya çıkan yeni durumu, parçacıkların karışım kümesine karşılık getirdiğimizde, parçacıkların ilgili karışımda yapılarından ne kadarını sürece dâhil ettiğini, bulanık mantığın üyelik derecesi kabulü ile ifade etmek mümkün hale gelecektir. Zira bu karışım, ifade edildiği gibi basit bir konum değişiminin sonucu ile değil, parçacıkların birbiri içinde belli oranlarda eridiği ve yeni bir taneciğin ortaya çıktığı bir sürece bağlı olarak oluşur. Örneğin ortaya çıkan yeni tanecik, A elektronundan 0, 6 birim dereceyi, B elektronundan da 0, 4 birim dereceyi bünyesine dâhil eder. Bu arada A elektronunun geriye kalan 0, 4 lük derecesi ise başka bir oranla başka bir elektronun yapısına dâhil olabilir. A elektronu, fiziksel özellikleri aynı, fakat dinamikleri farklı olan başka elektronlar tarafından farklı oranlarla bütünleşmiştir. Dolayısıyla A elektronu sözgelimi B ile etkileşiminden ortaya çıkan C elektronunun yapısında olabileceği gibi, başka bir D elektronunun belli bir yapısıyla etkileşiminde ortaya çıkan bir E elektronunun bünyesine de katılabilir.

4.4. Kesinsizlik İlkesini Gösteren Deney Sürecinin Tasviri

Mikro evrendeki bir varlığa dair yapılmış bir ölçümün bilgisini aktaran açık önermelerin temel karakteristiği, ölçüme konu edinmiş varlık hakkında kesin bir bilgi verecek iddialardan yoksun oluşlarıdır. Bu yoksunluğu dile getiren de Kesinsizlik İlkesidir. Bu ilke, ölçme sonucunda gözlemcinin edinebileceği ampirik bilginin kesinlik bakımından erişebileceği bir üst-sınırın varlığına gönderimde bulunur. Bilginin kesinliğini bu üst sınır çizgisinin üzerine çıkartacak hiçbir etkinlik yoktur. Kesinlik arayışı, belli bir sınır çizgisinin varlığı nedeniyle kesinsizliğin varlığına çarpmaktadır. Bu sınır çizgisi olguya dair yapılan ölçümün bize sağlayabileceği maksimum

¹⁴⁶ En az bir elemanın üyelik derecesi 1 olan bulanık bir kümeye, “normal bir bulanık küme” denir. Herhangi bir elemanın üyelik derecesi 1 olmayan bulanık bir kümeye de “normal-altı (subnormal) bir bulanık küme” denir; bk. Şen, *Bulanık Mantık İlkeleri ve Modellene*, 42, 43.

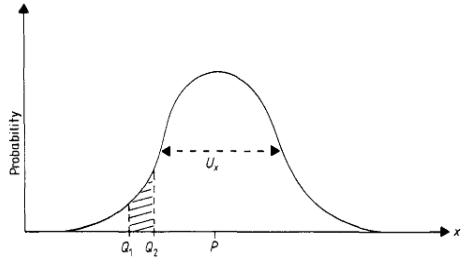
¹⁴⁷ Woods-Grant, *Aklın İsyanı*, 120.

kesinliğin belirtisidir. Nihai kesinliğin elde edileceği kabulü çöker, kesinsizlik belirir. Artık sonucun “kesin” olduğu değil “daha çok kesin” olduğu telaffuz edilmektedir.

Kuantum fiziğinde “daha kesin” bir konum veya hız ölçümü, deneyde kullanılacak ışığın sahip olduğu dalga boyuna bağlıdır. Daha önce de ifade edildiği üzere daha kısa boylu bir dalga, konumun “daha kesin” bir değerini sağlayabilirken, daha uzun bir dalga boyu da “daha kesin” bir momentum değerini sağlar. Fakat hem konum hem de momentuma dair aynı anda kesin bir değer elde edilme girişimi, kullanılan fotonun dalga boyu ile sahip olduğu momentum arasındaki ilişkiye bağlı olarak başarıya erişemez. Zira “kısa” boylu dalga “büyük” momentum, “uzun” dalga boyu da “küçük” momentum anlamına gelir. Büyük momentumlu foton taneciğinin hızını, kısa momentumlu foton da onun konumunu etkiler.¹⁴⁸

Kuantum-evrendeki bir parçacığın belirlenmiş bir noktaya göre konumunu ifade etmek için Euan Squires tarafından oluşturulan aşağıdaki grafik,¹⁴⁹ bulanık bir kümenin üyelik fonksiyonları cinsinden gösterimini ifade eden yukarıdaki Şekil 5'te ifade edilen gauss eğrisi ile olan benzerliği dikkat çeker.

Şekil 6. Bir Parçacığın P noktasına Yakın Olma Olasılığı



Kaynak: Squires, *The Mystery of the Quantum World*, 20.

Squires, bu grafikte kuantum-evrendeki bir parçacığın belirlenmiş bir noktanın “yakınında” olma olasılığını, U_x ile belirtilen bölgedeki dağılımı üzerinden göstermeye çalışmıştır. Aralık içinde parçacığın bulunma ihtimalinin arttığı bölgeyi gösteren olasılık dağılım grafiği, çizeceği tepe noktası bakımından konum ve momentumunun aynı anda tam bir kestirimle tespit edilemeyeceğini görmemize yardım eder. U_x dağılım genişliği, parçacığın konumu hakkında bilgiyi içerir:

[Bu grafik] P noktasına yakın olan bir parçacık için tipik bir olasılık grafiğidir. Parçacığın herhangi bir noktanın yakınında bulma olasılığı, o noktadaki eğrinin yüksekliği ile orantılıdır. Eğrinin altındaki toplam alan bir olacak şekilde alanı birimler halinde ölçersek, parçacığın Q_1 ile Q_2 aralığında olma olasılığı taralı alana eşittir. Bu formun basit bir tepe noktası için konumdaki belirsizlik, burada U_x ile gösterilen tepenin genişliğidir.¹⁵⁰

U_x genişliğinin azalması, grafiğin tepe noktasının daralmasına, artması da tepe noktasında bir genişlemeye sebep olur. Tepe noktasının daralma derecesine bağlı olarak da parçacığın konumuna dair bilgi değişecektir. En dar tepe noktası, iyi bir konum tasviri verebilirken, hızın değerini daha da belirsizleştirir. En geniş tepe noktası ise hıza dair daha keskin bir değeri sağlarken konumun da daha fazla belirsizleşmesine sebep olacaktır:

¹⁴⁸ Işıklı, *Kuantum Mekaniği İlkelerinin Felsefi İçerimleri*, 93.

¹⁴⁹ Euan Squires, *The Mystery of the Quantum World* (Bristol: Adam Hilger, 1986), 20.

¹⁵⁰ Squires, *The Mystery of the Quantum World*, 20.

Yeterince dar tepe noktaları ile çalışarak, parçacıkların kesin konumlara sahip olduğu klasik yaklaşımı her zaman kullanabileceğimiz düşünülebilir. Ancak bunu yaparsak başka bir şeyi kaybederiz. Zirvenin genişliği aynı zamanda parçacığın hızındaki belirsizlikle, daha açık olarak O ve P noktaları arasındaki çizgi yönündeki hız ile de ilişkili olduğu ortaya çıkmıştır, fakat burada ilişki tam tersidir: zirve ne kadar dar olursa, belirsizlik o kadar büyük olur.¹⁵¹

Görüldüğü üzere Squires'in parçacığın konumuna dair gösterdiği grafiğin bu fiziksel yorumu, klasik fizik yaklaşımıyla yapılamaz. Fizikteki bu yeni duruma, bulanık mantığın sözel değişkenlere attığı rol göz önünde bulundurularak yaklaşmak olanaklı gözükmektedir. Zira gerçekliği yakın bir konum ve hız tespiti için “daha çok”, “daha geniş”, “daha dar” gibi bulanık mantığın ‘döbilimsel değişkenlerine’ başvurulduğu görülmektedir.¹⁵²

Işıklı, kuantum fiziğinin ortaya koyduğu bu yeni bilgi üzerinden, serbest bir parçacığa dair konum ve momentum değerinin kesin tespiti için yapılan çalışma sonuçlarının, bulanık mantığın diline konu edilen “olabildiğince”, “daha”, “en düşük”, “en büyük” gibi ifadeleri içerdiğine dikkat çeker. Fiziksel bir sistemde bu ifadelerin kullanımı belirlenimcilik bakımından bir değişime işaret eder. Zira belirlenimci anlayış bakımından ölçümün sonucunu kesinlik düzeyinde elde edebilmede engel herhangi bir şey yoktur. Işıklı'nın bu bakış açısına göre klasik mekaniğin olgularını anlamlandıran klasik mantık iken, doğanın olgularının dereceli yapısını görmemize yardım ederek bunu anlamlandıran bulanık mantık da kuantum mekaniğinin dikkat çektiği olgulara karşılık getirilebilir.¹⁵³ Aynı bağlamda Seising de “kuantum mekaniğinin nesnelere dönüştürmek için bulanık kümeleri ve dil değişkenlerini kullanabiliriz” der.¹⁵⁴ Bu sözel değişkenler, olasılık teorisinin bulanık modelini de mümkün kılarak yukarıda bir parçacığın nerede bulunacağına dair oluşturulan olasılık dağılım grafiğindeki görüntüyü yaratan kuantum durumunun yorumlanmasını anlamlandırır. Zira bu anlamlandırmayı, bulanık mantıkta sözel eşikler bağlamında uygulanan “daraltma” ve “genişletme” işlemlerinin yapısı sağlayabilmektedir. Bulanık bir kümenin eşikler yardımıyla ‘belirginleştirilmesi’ ya da ‘puslulaştırılması’, “daraltma” (*concentration*), “genişletme” (*dilation*) ve “yoğunlaştırma” (*intensification*) denilen işlemlerle gerçekleştirilmektedir.¹⁵⁵ Burada kuantum evrendeki bir parçacığın konumuna dair bilgi için ortaya konulan yukarıdaki grafiğin niteliğini, bulanık mantıkta sözel eşikler dolayımında yapılan bu “daraltma” ve “genişletme” işlemlerinin uygulanışı ile değiştirmek mümkündür. Genişletme işlemi olasılık dağılım grafiğinin tepesini genişletecekken, daraltma işlemi ise tepeyi

¹⁵¹ Squires, *The Mystery of the Quantum World*, 20.

¹⁵² Işıklı, *Kuantum Mekaniği İlkelerinin Felsefi İçerimleri*, 95, 258 nolu dipnot.

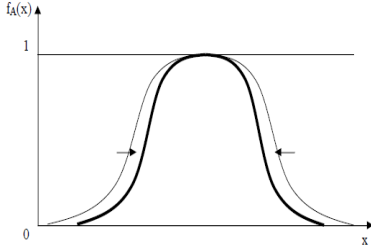
¹⁵³ Işıklı, *Kuantum Mekaniği İlkelerinin Felsefi İçerimleri*, 93, 252 nolu dipnot.

¹⁵⁴ Seising, “Can Fuzzy Sets Be Useful in the (Re)Interpretation of Uncertainty in Quantum Mechanics?”, 418.

¹⁵⁵ Yüksel, *Puslu Mantık ve Felsefi Arka Planı*, 42. Yüksel, bulanık bir kümenin “belirginleştirilmesi” ya da “puslulaştırılması” (bulanıklaştırılması) için “daraltma” ve “genişletme” işlemlerine vurgu yapar. Yüksel'in bu vurgusu, durulaştırma işlemi “daraltma” ile bulanıklaştırma işlemi de “genişletme” olarak adlandırdığı anlamına gelmemekte, daraltma ve genişletme işlemlerinin bulanık bir kümeyi “belirginleştirmesini” ya da “bulanıklaştırmasını” sağlayabildiğine yönelik bir anlam içermektedir. Zira durulaştırma işlemi, bulanık işlemler sonucu oluşan bulanık kümenin kesin bir değere dönüştürülmesine karşılık gelirken (Paksoy vd. *Bulanık Küme Teorisi*, 65), bulanıklaştırma işlemi de net bir miktarın bulanıklaştırılması işlemine karşılık gelir (Ross, *Fuzzy Logic With Engineering Application*, 90). Daraltma ve genişletme işlemleri ise sırasıyla bir bulanık kümenin üyelik derecelerinin tümünü düşüren ve arttıran işlemlere karşılık gelmektedir. Daraltma işlemiyle, üyelik derecelerinin tümünün karesi alınarak üyelik dereceleri azaltılırken, genişletme işlemiyle de üyelik derecelerinin tümünün karekökü alınarak üyelik dereceleri artırılmış olur (Yüksel, *Puslu Mantık ve Felsefi Arka Planı*, 43-44). Bulanık mantık sisteminde işlevsel olarak birbirinden ayrılmaları dolayısıyla Yüksel de daraltma ve genişletme işlemlerini, “ağırlık merkezi yöntemi”, “ağırlıklı ortalama yöntemi” gibi birden fazla yöntemi bulunan durulaştırma işleminden ve de bulanıklaştırma işleminden haklı olarak ayırmıştır.

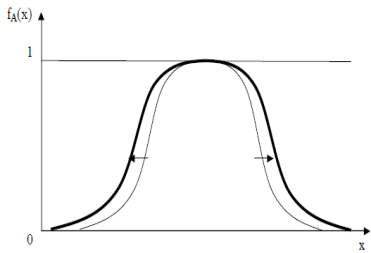
daraltacaktır. Bulanık mantıkta bir üyelik fonksiyonunun genişletilmesi ve daraltılması işlemlerini aşağıdaki grafikler ile göstermek mümkündür:¹⁵⁶

Şekil 7. Üyelik Fonksiyonunun Daraltılması



Kaynak: Yüksel, *Puslu Mantık ve Felsefi Arka Planı*, 43

Şekil 8. Üyelik Fonksiyonunun Genişletilmesi



Kaynak: Yüksel, *Puslu Mantık ve Felsefi Arka Planı*, 44.

Konuma dair grafiği daraltma veya genişletme işlemine tabi tutmak mümkündür. Konum grafiğine dair böyle bir uygulamada hıza dair grafiğin niteliğini de değiştireceğimize dikkat etmek gerekir. Konum grafiğinin daraltılma işlemi, hız grafiğinin bulanıklaştırılmasına sebep olacakken tersine konum grafiğinin genişletilmesi de hıza dair grafiğin belirginleştirilmesini mümkün kılacaktır.

Sözel eşikler bağlamında uygulanan daraltma ve genişletme işlemleri yanında, bir de bulanık sayılar ile yapılan işlemler neticesinde ortaya çıkan bulanık kümeden bir çıkarım yapmayı mümkün kılan durulaştırma işlemi de mevcuttur. Durulaştırma işlemi kuantum fiziğinde gözlemciye atfedilen rolü tasvir etmemizi mümkün kılan bir işleve sahiptir. Zira durulaştırma işlemi temelde hassas konular üzerine çalışan “karar vericiler”in yaklaşık değerlerle işlem yapmaktan kaçınmasını sağlayan bir tekniktir. Karar vericiler bu doğrultuda bulanık işlemler sonucu oluşan bulanık kümeden bir çıkarım yapmayı gerekli görürler. Bu çıkarım işlemi, elde edilen bulanık kümenin kesin bir değere dönüştürülmesine karşılık gelir. Bu işleme durulaştırma (*defuzzification*) denir.¹⁵⁷ Kısacası, durulaştırma işlemi “tek bir skaler değere ihtiyaç duyulduğunda, bulanık üyelik fonksiyonunun, işlevi en iyi özetleyen tek bir skaler niceliğe indirildiği matematiksel sürece” karşılık gelir.¹⁵⁸ Bulanık mantığın bu durulaştırma tekniği kuantum fiziğinde ölçme etkinliği ile birlikte bütün olasılıkları birlikte taşıyan süperpoze durumları içeren dalga fonksiyonunun indirgeme eylemine de mantıksal bir zemin sunar. Zira bulanık mantıksal uslamlamadaki *defuzzification* işlemi, olasılık genliğinde tasvir edilen

¹⁵⁶ Bu grafiklerin gösterimi için bk. Yüksel, *Puslu Mantık ve Felsefi Arka Planı*, 43-44.

¹⁵⁷ Turan Paksoy vd. *Bulanık Küme Teorisi* (Ankara: Nobel Yayınları, 2013), 65.

¹⁵⁸ Binoy Pichalakkattu SJ, *Bridging Mathematics, Philosophy and Theology: Fuzzy Logical Thinking for Science-Religion Dialogue* (India: Christian World Imprints, 2017), 65.

süperpoze durumların gözlemci etkisiyle süperimpoze yani klasik durumlara dönüştürüldüğü sürece de gönderimde bulunur.

Sonuç

Klasik mantık ve modern fizik “kesinlik” unsuru bağlamında birbirlerine eşlik etmiştir. Gelişimleri aynı yüzyıla denk gelen kuantum fiziği ile bulanık mantık da “belirsizliğe” vurgu yapmıştır. Kuantum fiziği, belirsizliğin kaçınılmaz bir durum olduğuna işaret ederken, bulanık mantık da belirsizliği değerlendirilmesi gereken bir unsur olarak yapısına dâhil etmiştir. Dolayısıyla belirsizlik, temelde bu iki alanı birlikte değerlendirebilme imkânı sağlamıştır.

Kuantum fiziği ile birlikte atom-altı evrende ortaya konulan, makro evrenin karakteristiği olarak kabul edilmiş mekanikçi-determinist yaklaşım biçimine uymayan yeni olguların keşfi, klasik fiziğin bazı temel kavramlarında bir dönüşümü zorunlu kılmıştır. Klasik fiziğin kavramlarında köklü değişikliğin yapılması gerekliliği bu kavramlar bağlamında gerçekleştirdiğimiz düşünce yapısında da bir değişimin yapılması gerekliliği gündeme getirmiştir. Klasik düşünce biçimine uymayan mikro evrende keşfedilen olgulara dair bir anlamlandırma yapılabilmesi için yeni bir düşünce tarzına ihtiyaç duyulmaktadır. Zira klasik fiziğin kabulleri, kavramları ve düşünme biçimini şekillendiren klasik mantık ilkelerine bağlı bir mantık sistemi, kuantum fiziğinin mikro evrende ilgilendiği olguların sahip olduğu gerçekliği tasvir etmede yetersiz kalmaktadır. Bu gerçekliği tasvir ettiğini düşündüğümüz mantık sistemi bulanık mantıktır. Kuantum fiziğinin temel ilkeleri ile bulanık mantık bakış açısını birlikte göz önüne aldığımızda bu anlamlandırmanın yapılabilir olduğu ortaya çıkmaktadır. Zira; (1) Kuantum fiziğinin mikro evrendeki nesnelere davranış biçiminde işaret ettiği belirsizlik durumunu, bulanık mantığın temel ilgisini oluşturan “müphem” durumlara örneklik teşkil etmektedir. (2) Kuantum evrendeki nesnelere sergilediği davranış biçimlerini tasvir etmek için ortaya konulan yeni bilimsel kavramlar, bulanık mantığın temelini oluşturan bulanık kümelerin oluşma koşullarını gündeme taşıyacak karakterdedir. (3) Mikro evrendeki nesnelere karakteristiğine dair öne sürülen açık önermeler, kavramların belirsizliği dolayısıyla önermelerin de belirsizlik taşıyacağı kabulü ile etkinlikte bulunan bulanık mantığın ilgisine aldığı önermeleri karşılayacak biçimdedir. (4) Kuantum fiziğinde bir ilke olarak konumlandırılan kesinsizlik ilkesini gündeme getiren deney sürecinde karşılaşılan yeni durum, bulanık mantığın sözel değişkenler kabulü üzerinden betimlenebilir bir yapıya sahiptir.

Kesinlik unsuru bağlamında birbirine eşlik eden klasik mantık ve modern fiziğe modern felsefe de katılmıştır. Zira modern felsefe genel olarak klasik mantık ilkelerinin içkin olduğu bir düşünce biçimi ile sistemleşirken bu ilkelere eşlik eden modern fiziğin öne sürdüğü bilimsel bir arka plandan da beslenmeye çalışmıştır. Fakat artık günümüzde belirsizlik unsurunu dikkate alarak felsefi etkinliği gerçekleştirme giderek ağırlık kazanmıştır. Modern felsefeye kendi içinden yapılan felsefi eleştiriler, mantıkçı pozitivistlerin ideal bir dil sağlamaya dönük girişimlerine karşı ortaya çıkan yeni dil felsefesi ve bu çerçevede dil oyunlarının merkeze alındığı yeni felsefi perspektif ile modern felsefeye yönelik yapı sökücü ve postmodernist gibi daha radikal karşı çıkışlar, belirsizlik niteliğini daha da ön plana çıkarmıştır. Bu açıdan da bilim alanında kuantum fiziği ile kesinsizliği bir ilke olarak içeren ve mantık alanında da bulanık mantıkla işlenen belirsizlik, felsefe alanına da taşınmış gözükmektedir. Fakat belirsizliği odağa alacak felsefi bir etkinlik belirsizliğe mantıksal bir çerçeve çizen bir mantığa da dayanmalıdır. Aksi takdirde yapılan etkinliğin, felsefi bir etkinlik olup olmadığı tartışmaya açık olacaktır. Çünkü felsefi düşünüşü karakterize eden şey temelde ilgili düşünüşün kendi içinde tutarlı olmasını sağlayan bir mantığa dayalı oluşudur. Belirsizlik zemininde yürütülecek düşünüş biçimi, bu zeminde etkinliğini gösteren bilim ve mantıktan beslenebilir. Nasıl ki klasik mantık ve modern fiziğe

modern felsefe eşlik etmişse, kuantum fiziği ile bulanık mantığın birbirine eşlik etmesine de yeni felsefi etkinlikler de eşlik edebilir. Felsefi etkinliğin bu duruma eşlik etmesinin meşru olabilmesi için de öncelikle kuantum fiziğinin bulanık mantıkla tasvirinin yapılabileceği ortaya konulmalıdır. Bu çalışmada bu soruşturma yapılmaya çalışılmış ve nihayetinde de kuantum fiziğinin bulanık mantık perspektifinden tasvir edilebileceği sonucuna varılmıştır.

Kaynakça

- Arslan, İshak. *Günümüz Tabiat Felsefesinde Bilim-Felsefe-Din İlişkisi*. İstanbul: Marmara Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Doktora Tezi, 2007.
- Arslan, Metin. "Karmaşıklığın Bilimi, Postmodern Söylem ve Yükselen Paradigmaların Metafizik Arkapları: Kaos, Gödel Sonrası Matematik, Fuzzy Mantık, Sanal Gerçeklik ve Gaia Hipotezi-Ortak Lisan ve Kategorik Değişimi Araştırmak". *Journal of Istanbul Kültür University* 4/2 (2006), 201-208.
- Barbour, Ian G. "Commentary on Theological Resources From the Physical Sciences". *Zygon: Journal of Religion & Science* 40/2 (2005), 503-506.
- Baturone, Illuminada vd. *Microelectronic Design of Fuzzy Logic-Based Systems*. Boca Raton: FL: CRC Press, 2000.
- Beltrametti, Enrico G.-Bugajski, Sławomir. "The Bell Phenomenon in a Probabilistic Approach". *Non-locality and Modality*. ed. Tomasz Placek-Jeremy Butterfield. 205-220. Dordrecht: NATO Science Series, 2002.
- Burgos, M. E. "The Measurement Problem in Quantum Mechanics Revisited". *Selected Topics in Applications of Quantum Mechanics*. ed. Mohammad Reza Pahlavani. 137-174. Croatia: InTech, 2015.
- Burks, Arthur W. *Chance, Cause, Reason: An Inquiry Into the Nature of Scientific Evidence*. (Chicago: University of Chicago Press, 1977).
- Capra, Fritjof. *Batı Düşüncesinde Dönüm Noktası*. çev. Mustafa Armağan. İstanbul: İnsan Yayınları, 1992.
- Dereli, Tekin. *Kuantum Dünyası*. ed. İlhami Buğdaycı. Ankara: ABRA Dergisi Eki, 1994.
- Dubois, Didier-Prade, Henri. "Part I Fuzzy Sets: History and Basic Notions". *Fundamentals of Fuzzy Sets*. ed. Didier Dubois-Henri Prade. 21-124. New York: Kluwer Academic Publishers, 2000.
- Einstein, Albert-Infield, Leopold. *Fiziğin Evrimi: İlk Kavramlardan İlişkinliğe ve Kuantumlara*. çev. Öner Ünalın. İstanbul: Onur Yayınları, 1994.
- Filev, Dimitar P.-Yager, Ronald R. "A Generalized Defuzzification Method via Bad Distributions". *International Journal of Intelligent Systems* 6 (1991), 687-697. <https://doi.org/10.1002/int.4550060702>
- Frank, Philipp. *Doğa Bilimlerinde Pozitivizm*. çev. Yılmaz Öner. İstanbul: Metis Yayınları, 1985. "lilith.gotdns.org". <http://lilith.gotdns.org/~victor/writings/0029qm.pdf>
- Frič, Roman-Papčo, Martin. "Probability: From Classical to Fuzzy", *Fuzzy Sets and Systems*, 326. 106-114. (b.y. 2017),
- Gijsbers, Victor. "Philosophy of Quantum Mechanics for Everyone". Erişim 20 Eylül 2020. <https://lilith.cc/~victor/writings/0029qm.pdf>
- Gribbin, John. *Schrödinger's Kittens and The Search for Reality*. Boston, New York, London: Back Bay Books, 1995.
- Gudder, Stanley. "Fuzzy Probability Theory". *Demonstratio Mathematica* 31/1 (1998), 235-254.
- Hawking, Stephen. *The Universe in A Nutshell*. New York: Bantam Books, 2001.
- Heisenberg, Werner. *Physics and Philosophy*. ed. Rurth Nanda Anshen. Happer & Brothers Publishers: New York, 1958.
- Heisenberg, Werner. *Çağdaş Fizikte Doğa*. çev. Vedat Günyol-Orhan Duru. İstanbul: Çan Yayınları, 1968.
- Heisenberg, Werner. *Parça ve Bütün*. çev. Ayşe Atalay. İstanbul: Düzlem Yayınları, 1990.
- Plus. "Physics in a Minute: The Double Slit Experiment". Erişim 10 Aralık 2021. <https://plus.maths.org/content/physics-minute-double-slit-experiment-0>
- Işıkli, Şevki. *Kuantum Mekaniği İlkelerinin Felsefi İçerimleri*. Ankara: Ankara Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Doktora Tezi, 2011.
- Arslan, İshak. *Günümüz Tabiat Felsefesinde Bilim-Felsefe-Din İlişkisi*. İstanbul: Marmara Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Doktora Tezi, 2007.
- Koç, Yalçın. *Doğanın Kuantum Mekaniksel Betimlemesi ve Ölçme Sorunu*. İstanbul: İstanbul Üniversitesi Fen Fakültesi Yayınları, 1983.
- Kosko, Bart. *Fuzzy Thinking: The New Science of Fuzzy Logic*. New York: Hyperion, 1993.

- Küçüköncü, Tansu. "Evrensel Küme, Boş Küme ve Yararcılık". Erişim 30 Ocak 2020. <http://80.251.40.59/science.ankara.edu.tr/ozbek/evrensellik.htm>
- Loewer, Barry. "Copenhagen versus Bohmian Interpretations of Quantum Theory". *The British Journal for the Philosophy of Science* 49/2 (1998), 317-328.
- Mcneill, Daniel-Freiberger, Paul. *Fuzzy Logic: The Discovery of A Revolutionary Computer Technology - And How It Is Changing Our World*. New York: Simon & Schuster, 1993.
- Nikravesh, Masoud. "Evolution of Fuzzy Logic: From Intelligent Systems and Computation to Human Mind". *Soft Comput* 12 (2008), 207-214.
- Paksoy, Turan-Pehlivan, Nimet Yapıcı. *Bulanık Küme Teorisi*. Ankara: Nobel Yayınları, 2013.
- Pala, Osman. *Bulanık Mantık Ve Çok Kriterli Karar Verme Uygulaması*. İzmir: Dokuz Eylül Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2013.
- Pawlak, Zdzislaw-Skowron, Andrzej. "Rudiments of Rough Sets". *Information Sciences* 177 (2007): 3-27.
- Pichalakkattu SJ, Binoy. *Bridging Mathematics, Philosophy and Theology: Fuzzy Logical Thinking for Science-Religion Dialogue*. India: Christian World Imprints, 2017.
- Planck, Max. *Modern Doğa Anlayışı ve Kuantum Teorisine Giriş*. çev. Yılmaz Öner. İstanbul: Spartaküs Yayınları, 1996.
- Polkinghorne, John C. *Exploring Reality: The Intertwining of Science and Religion*. New Haven: Yale University Press, 2005.
- Rauscher, Elizabeth A. "Non-Locality as a Fundamental Principle of Reality: Bell's Theorem and Space-Like Interconnectedness". *Cosmos and History: The Journal of Natural and Social Philosophy* 13/2 (2017), 204-216.
- Ross, Timothy J. *Fuzzy Logic With Engineering Application*. New York: McGraw-Hill, 1995.
- Russell, Bertrand. "Belirsizlik". çev. Yücel Yüksel. *Felsefe Arkivi* 31 (2007), 154-162.
- Saçlıoğlu, Cihan. "Kuantum Mekaniğinin Felsefi Sorunları". *Bilim ve Teknik* 405 (1994), 14-22.
- Schiller, Christoph. "Motion Mountain: The Adventure of Physics -Vol. IV- The Quantum of Change". Erişim 03 Eylül 2021. <https://www.motionmountain.net/motionmountain-volume4.pdf>
- Seising, Rudolf. "Can Fuzzy Sets Be Useful in the (Re)Interpretation of Uncertainty in Quantum Mechanics?" *NAFIPS 2006 - 2006 Annual Meeting of the North American Fuzzy Information Processing Society*. 414-419. Montreal: IEEE, 2006. <https://doi.org/10.1109/NAFIPS.2006.365445>
- Semed, Möhbeddin. *Dünya Dâhilersiz Yaşayamaz*. çev. Babek Kurbanov-Şevki Işıklı. İstanbul: Emre Yayınları, 2005.
- Squires, Euan. *The Mystery of the Quantum World*. Bristol: Adam Hilger, 1986.
- Şen, Zekâi. *Bulanık Mantık İlkeleri ve Modelleme*. İstanbul: Su Vakfı, 2009.
- Tatlı, Hasan-Şen, Zekâi. "Günlük En Büyük Sıcaklıkların Bulanık Kümeler ile Kestirimi". *Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences*. 25 (2001), 1-9.
- Ural, Şafak. "Puslu (Fuzzy) Mantık". *Mantık, Matematik ve Felsefe 1. Ulusal Sempozyumu - 26-28 Eylül 2003 Assos-Çanakkale*. ed. Şafak Ural vd. 43-58. İstanbul: T.C. İstanbul Kültür Üniversitesi Yayınları, 2004.
- Wolchover, Natalie. "Famous Experiment Dooms Alternative to Quantum Weirdness". Erişim 02 Ağustos 2021. <https://www.quantamagazine.org/famous-experiment-dooms-pilot-wave-alternative-to-quantum-weirdness-20181011>
- Woods, Alan-Grant, Ted. *Akılın İsyanı: Marksist Felsefe ve Modern Bilim*. çev. Ufuk Demirsoy ve Ömer Gemici. İstanbul: Yordam Kitap, 2018.
- Yager, Ronald R.-Filev, Dimitar P. *Essentials of Fuzzy Modeling and Control*. New York: John Wiley & Sons, Inc., 1994.
- Yüksel, Yücel. *Puslu Mantık ve Felsefi Arka Planı*. İstanbul: İstanbul Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Doktora Tezi, 2006.
- Yüksel, Yücel. "Kesinlik ve Puslu Mantık". *İstanbul Üniversitesi Sosyoloji Dergisi* 3/22 (2011), 517-531.

- Zadeh, Lotfi A. "Probability Measures of Fuzzy Events". *Journal of Mathematical Analysis and Applications* 23/2 (1968), 421-427. [https://doi.org/10.1016/0022-247X\(68\)90078-4](https://doi.org/10.1016/0022-247X(68)90078-4)
- Zadeh, Lotfi A. "Knowledge Representation in Fuzzy Logic". *EEE Transactions on Knowledge and Data Engineering* 1/1 (1989), 89-100.
- Zadeh, Lotfi A. "Discussion: Probability Theory and Fuzzy Logic Are Complementary Rather Than Competitive". *Technometrics* 37/3 (1995), 271-276.
- Zadeh, Lotfi A. "From Computing with Numbers to Computing with Words-From Manipulation of Measurements to Manipulation of Perceptions". *IEEE Transactions on Circuits and Systems-I: Fundamental Theory and Applications* 45/1 (1999), 105-119. <https://doi.org/10.1109/81.739259>
- Zadeh, Lotfi A. "Gerçek Dünyanın Kesin Olmayışının Üstesinden Gelmek: Lütfü A. Zade ile Bir Röportaj". çev. Yücel Yüksel. *Kutadgubilig Felsefe-Bilim Araştırmaları Dergisi* 12 (2007), 197-212.
- Zadeh, Lotfi A. "Puslu Mantığın Doğuşu ve Evrimi". çev. Yücel Yüksel. *Kutadgubilig Felsefe-Bilim Araştırmaları Dergisi* 12 (2007), 173-184.
- Zadeh, Lotfi A. "Puslu Kümeler". çev. Yücel Yüksel. *Kutadgubilig Felsefe-Bilim Araştırmaları Dergisi* 13 (2008), 137-153.