

YAPAY ZEKANIN TEORİK TEMELLERİ

101002

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Müh. Ercan KAYAÖNÜ
504970635011

101002

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 05 Haziran 2000

Tezin Savunulduğu Tarih : 19 Haziran 2000

Tez Danışmanı : Doç.Dr. A. Coşkun SÖNMEZ

Diğer Jüri Üyeleri Prof.Dr. Eşref ADALI

Doç.Dr. Şakir KOCABAŞ

[Signature]

[Signature]

[Signature]

HAZİRAN 2000

ÖNSÖZ

Bu tezin hazırlanmasında ve organizasyonunda sürekli destek olan yüksek lisans danışmanım öğretim üyesi Sayın Doç. Dr. A. Coşkun Sönmez'e, tez içeriği konusundaki görüşlerinden istifade ettiğim Sayın Doç. Dr. Şakir Kocabaş'a teşekkür ederim.

Ortaya konulan tez çalışmasının, Türkiye'de yapay zeka alanında bu paralelde yapılan çalışmalara yardımcı olacağını temenni ederim.

Haziran, 2000

Ercan Kayaönü



İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ŞEKİL LİSTESİ	v
ÖZET	vi
SUMMARY	ix
1. GİRİŞ	1
2. İNSAN BEYNİNİN BİYOLOJİK YAPISI	4
2.1. Beynin Anatomik Yapısı	4
2.2. Sinir Hücreleri	8
2.3. Şuur Oluşumunda Beynin Rolü	10
3. İNSANIN ZİHİNSEL FONKSİYONLARI MODELLENEBİLİR Mİ?	12
3.1. Bilgisayar Modelli Yaklaşım	12
3.1.1. Formel Sistemler	12
3.1.1.1. Formel Sistemler Hakkında Bilgi	12
3.1.1.2. Formel Sistemlere Örnekler	14
3.1.1.3. Formel Sistemlerin Tutarsızlıkları	19
3.1.1.4. Hilbert'in Programı	23
3.1.2. Gödel Teoremi	24
3.1.2.1. Gödel Teoreminin Dayandığı Temeller	24
3.1.2.2. Gödel Teoreminin İspatı	29
3.1.2.3. Gödel Teoreminin Yorumu	34
3.1.3. Turing Makineleri	41
3.1.3.1. Hilbert'in 10. Problemi	41
3.1.3.2. Algoritma ve Hesaplama Kavramı	42
3.1.3.3. Turing Makinesi Kavramı	45
3.1.3.4. Evrensel Turing Makinesi	47
3.1.3.5. Turing Makinelerinin Durma Problemi	49
3.1.3.6. Durma Problemine Örnekler	53
3.2. Sinir Ağları Yaklaşımı	57
3.2.1. Yapay Sinir Ağları	58
3.2.2. Sinir Ağları Yaklaşımının Değerlendirilmesi	60
3.3. Fiziksel Yaklaşım	62
3.3.1. Klasik Fizik	62
3.3.2. Klasik Fizikte Belirlilik ve Hesaplanabilirlik	64
3.3.3. Kuantum Fiziğinin Tanımı	65
3.3.4. Çift Yarıık Deneyi ve Bir Parçacığın Kuantum Durumu	66
3.3.5. Dalga Denkleminin U ve R Bileşenleri	69
3.3.6. Kuantum Fiziğinde Belirlilik ve Hesaplanabilirlik	71
3.3.7. Kuantum Bilgisayarı Kavramı	71
3.3.8. Beynin Kuantum Modeli	73

3.4. Psikolojik Yaklaşım	77
3.4.1. Davranışçılık	78
3.4.2. Bilişsel Psikoloji	79
3.4.3. Algılama ve Kategorizasyon	80
3.4.4. Hafıza	82
3.4.4.1. Kısa Süreli Hafıza	83
3.4.4.2. Uzun Süreli Hafıza	85
3.4.5. Düşünme- Karar Verme, Akıl Yürütme, Problem Çözme	90
3.4.5.1. Karar Verme	91
3.4.5.2. Akıl Yürütme	92
3.4.5.3. Problem Çözme	94
4. ZİHNİN TAKLİDİ VE GERÇEĞİ ARASINDAKİ FARK	99
4.1. Decartes Testi	99
4.2. Turing Testi	101
4.3. Turing Testinin Yeterliliği İle İlgili Eleştiriler	103
4.4. Searle'ün Çin Odası Yaklaşımı	106
4.5. Çin Odası Yaklaşımına Eleştiriler ve Cevapları	108
4.5.1. Sistem İtirazı	108
4.5.2. Robot İtirazı	109
4.5.3. Beyin Simülasyonu Yapan Program	110
4.5.4. Başkasının Zihninin Gerçek Mahiyetini Anlayamama	111
4.6. Turing Testi ve Çin Odası Yaklaşımı Açısından Bazı Programların İncelenmesi	111
5. SONUÇLAR VE TARTIŞMA	114

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 2.1 : İnsan beyni: Üstten, yandan, alttan görünüşü ve kesiti.	4
Şekil 2.2 : Beden duyumu insansı.	5
Şekil 2.3 : Çok genel çizgileriyle beynin çalışması.	6
Şekil 2.4 : Sinir hücresi.	8
Şekil 2.5 : Sinapslar.	9
Şekil 2.6 : Sinir hücresinde sinyal iletimi	9
Şekil 3.1 : Formel sistemin karar verilebilirliği	14
Şekil 3.2 : Alef sıkalası.	21
Şekil 3.3 : FA'nın sembollerinin aritmatizasyonu.	30
Şekil 3.4 : İnsan sezgisini gösteren bir satranç durumu.	37
Şekil 3.5 : Eukleides algoritmasının akış şeması.	43
Şekil 3.6 : Algoritma.	44
Şekil 3.7 : Turing makinesi	47
Şekil 3.8 : Durma probleminin akış diyagramıyla farklı bir şekilde ifadesi.	52
Şekil 3.9 : Kübik sayıların geometrik ifadesi.	56
Şekil 3.10 : Bir yapay sinir ağı modeli	59
Şekil 3.11 : Çift yarık deneyi	67
Şekil 3.12 : Yarıklardan biri açık olduğunda ekranda görülen genlik dağılımı.	67
Şekil 3.13 : İki yarık da açık olduğunda görülen genlik dağılımı.	67
Şekil 3.14 : Kategorizasyon işleminin akış şeması	81
Şekil 3.15 : Geri çağırma ve tanıma gösterim süresinin önemi	86
Şekil 3.16 : Geri çağırma gösterim sayısının önemi	86

YAPAY ZEKANIN TEORİK TEMELLERİ

ÖZET

İnsan beyninin ve zihninin anlaşılması için yapılan çalışmalar çok eskilere dayanmasına rağmen, birçok bilim alanındaki birikimlerin son yüzyıllarda gözle görülür bir gelişmeye sebebiyet vermesi gibi, bu çalışmalar da özellikle 19. yy sonlarına doğru insan zihnine daha sistematik ve pratiğe yönelik yaklaşımlar getirilmesini sağlamıştır.

Bu bağlamda; felsefe, matematik, psikoloji, biyoloji, bilgisayar, fizik gibi birçok bilim dalı zihnin ve beynin fonksiyonlarını kendi ilgi alanları perspektifinden açıklamaya çalışmışlardır. Birçok bilim dalı konuya teorik düzeyde, yani sadece insanın zihin ve beyin faaliyetlerinin açıklanması noktasında yaklaşırken, bilgisayar bilimleri, bu faaliyetlerin makinelerle taklit edilmesini sağlayacak pratik yaklaşımlar getirmiştir. Aslında insan beyninin fonksiyonlarının taklit edilmesi yapay zeka biliminin bir konusudur, ve bilgisayarlar, insan beynini taklit edebilecek sistem arayışları sonucunda geliştirilmiştir. İnsan beyninin ve zihninin çok farklı bilim alanı tarafından incelendiği günümüzde, yapay zekayı bilgisayar bilimleri ile sınırlamanın doğru olmayacağı görüşünden hareketle, konu, yukarıda sayılan bilim dalları açısından ele alınmaya çalışılmıştır.

İnsan beyninin taklit edilmesi çalışmalarında merkez olan beyin anatomik ve nörolojik yapısı 2. bölümde ana hatlarıyla verilmiştir. Bu bölümde beyin biyolojik özellikleri, tez boyunca işlenen diğer konularla ilişkili bir biçimde verilmeye çalışılmıştır. Beynin dış ortamdaki nesneleri algılayıp, bunları işledikten sonra davranış olarak gözlenen çıktılar üreten çalışması bilgisayar modeli yaklaşımda bulunanların hareket noktası olmuştur. Sinir hücreleri düzeyindeki faaliyeti ise yapay sinir ağlarının geliştirilmesinde temel alınmıştır.

Tezin ana bölümünü oluşturan 3. bölümde insan beyninin ve zihninin taklit edilebilirliğine cevap aranmış ve bu konuda değişik bilim dallarının ortaya koyduğu farklı yaklaşımlar, bilgisayar modeli yaklaşım, sinir ağları yaklaşımı, fiziksel yaklaşım ve psikolojik yaklaşım başlıkları altında incelenmiştir.

Yapay zeka kavramının ortaya çıkışına zemin hazırlayan en başta gelen bilim dalı matematiktir. İnsan sezgisi kullanılarak yapılan matematiksel ispatların 1870’lerden itibaren sorgulanmaya başlanması matematiğin formelleştirilmesi çalışmalarını başlatmış ve bu çalışmalar, formel sistemlerin sistematik yapısından dolayı algoritma kavramını kesin temellere oturtmuştur. Bir algoritmayı çalıştırabilecek makinelerin üretilmesi, beyin algoritmik olduğu düşünülen yapısının taklit edilebileceği yaklaşımına sebep olmuştur. Bu yaklaşım bilgisayar modeli yaklaşım kısmında, insan beyninin algoritmik olan ve olmayan yönleri ile algoritmalar ve formel sistemler karşılaştırılarak incelenmiştir.

Beynin bilgisayar modelinin yetersizliği ve beyin yapısıyla uyumsuzluğu, alternatif arayışlarına sebep olmuştur. Bu arayışlar da, bilgisayarlardaki gibi bir merkezden kontrol edilen beyin modeli yerine, beynin bir merkeze bağlı olmayan, birbiriyle ilişkili çok sayıda sinir hücresinden oluşmuş ağ yapısı dikkate alınarak yapay sinir ağları modelinin geliştirilmesini sağlamıştır. Bilgisayar modelli yaklaşıma alternatif olarak geliştirilen bu yaklaşım, beyin modellerinin incelendiği 3. bölümde sinir ağları yaklaşımı başlığı altında ele alınmıştır.

Özellikle kuantum mekaniğinin gelişmesiyle beyin ve zihindeki faaliyetlere farklı bir yaklaşım getiren fizik biliminin ortaya koyduğu yaklaşım fiziksel yaklaşım kısmında incelenmiştir. Bu kısımda, özellikle özgür istek, şuur gibi kavramların açıklanmasında ön plana çıkan hesaplanabilirlik ve belirlilik kavramları klasik fizik ve kuantum fiziği açısından ele alınmıştır. Bu kavramların çok açık olmadığı klasik fizik üzerinde genel hatlarıyla durulmuş, kuantum fiziğinin yoruma açık yapısı ise mümkün olduğu kadar çok kaynaktan incelenerek aktarılmıştır. Bu konunun bazı kısımlarında, beynin çalışmasının incelenmesinde gereksiz gibi görünen fiziksel kavramlara fazlaca yer verilse de, bu fiziksel kavramlar, bu kısmın özünü oluşturan beynin kuantum modeli ve klasik bilgisayarların insanı modellemedeki yetersizliğine alternatif olabilecek kuantum bilgisayarı incelenirken kullanılmıştır.

Psikolojik yaklaşım kısmında, psikolojinin bu konuyla en çok ilgilenen iki alanı olan davranışçılık ve bilişsel psikoloji açıklanmış, insan beyнинin faaliyetleri bilişsel psikoloji açısından ele alınmıştır. Yapay zeka alanındaki pratiğe yönelik uygulamalar genellikle bilişsel psikolojinin ortaya koyduğu kavramlara dayanılarak geliştirilmektedir. Son yıllarda bilişsel psikologlar şuur gibi soyut kavramları açıklamak için çalışmalar yapsalar da, bilişsel psikoloji genellikle beyni sembol işleyen bir işlemci olarak ele alır. Bu sembollerin oluşması aşamasında beyin alt düzeyde çalışır ve bu çalışma, sinyallerin algılanması ve kategorizasyonu şeklindedir. Oluşan bu yapıların nasıl kaydedildiği konusu bilişsel psikolojide hafıza adı altında incelenir. Daha sonra bu bilgilerin geri çağırılması, kullanılması, belli bir anda ilişkilendirerek yeni verilerin oluşması ise karar verme, akıl yürütme ve problem çözme konularını oluşturur. Tezde bu kavramlar beynin varsayılan işleyiş yapısı dikkate alınarak sırayla ele alınmıştır.

Yapay zeka alanında yapılan en temel felsefi tartışma insan zihninin fonksiyonlarının tamamen taklit edilemeyeceğidir. Bu konuda çok farklı görüşler bulunsa da genelde kuvvetli ve zayıf yapay zeka olarak ikiye ayrılmaktadır. Zayıf yapay zeka savunucularından bir kısmı insan zihninin fonksiyonlarının tam olarak anlaşılamayacağını ve kısmen taklit edilebileceğini savunmakta, bir kısmı da taklidin tam olarak gerçekleştirilebileceğini kabul etmektedirler. Genelde zayıf yapay zeka olarak kabul edilen görüş ikinci görüştür. Kuvvetli yapay zeka savunucuları ise zihnin fonksiyonlarını taklidin tam olarak mümkün olacağı ve bu taklidi gerçekleştiren sistemin gerçekten zihinsel durumlara (zeka, anlama, şuur gibi) sahip olabilecekleri görüşündedirler. Yani geliştirilen sistemin sadece anlıyor gibi görünmekle kalmayıp gerçekten anlayacağını, düşünmeyi taklit etmeyi gerçekten düşüneceğini savunmaktadırlar. Bu noktadan hareketle tezin 4. bölümü şekillenmiş, taklit edilen bir fonksiyonun gerçekle ilişkisi bu konuda birbirine iki zıt görüş olan Alan Turing ve John Searle'ün makaleleri çerçevesinde incelenmiştir. Ayrıca kuvvetli yapay zeka savunucularının zekaya delil olarak gösterdikleri bazı programlar da bu açıdan değerlendirilmiştir.

Sonuç bölümünde, yukarıda bahsedilen bölümlerde incelenen yaklaşımların eksiklikleri ve kuvvetli ve zayıf yapay zeka arasındaki ayırım, insanın kendini anlamada ve modellemedeki eksikliği açısından ele alınmıştır.



THEORETICAL FUNDAMENTALS OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE

SUMMARY

Although the studies on the understanding of human mind and brain goes far beyond the ancient times, these studies provide systematic and practical approaches to the human mind particularly around the 19th century, as the experiences in most sciences show development in last centuries.

From this context; lots of sciences like philosophy, mathematics, psychology, biology and physics strive to explain mind's and brain's functions from the perspective of their field. While many of them approach this subject from theoretical aspect, i.e. the aspect of only explaining the activities of human mind and brain, computer science puts forward the view that as to make it possible to simulate these activities by machines. In fact the subject of the simulation of functions of brain is the subject of artificial intelligence and computers were developed as a result of researches on systems which are able to simulate human brain. From the viewpoint that it is not suitable to restrict the artificial intelligence with computer sciences, especially while lots of sciences deal with it, the subject is taken from the viewpoint of sciences mentioned above.

The main aspects of anatomical and neurological structure of brain, which is at the centre of these works, is given in part 2. In this part, the biological properties of the brain is given in relation with other subjects which form other parts of the thesis. The working style of brain, which perceives the entities in the environment and produces output that can be observed as behaviour after processing them, would have been the starting point of those who believe in the computational model. The activities of brain at the level of neurons is taken into consideration while developing artificial neural networks.

In the 3. part, which forms the main part of the thesis, the answer to the question of the simulatibility of brain and mind is searched, and the different approaches which are put forward by various sciences are examined under the topics of computational approach, neural networks approach, physical approach, and psychological approach.

The leading science which cause the emergence of artificial intelligence concept is mathematics. The interrogation of mathematical proofs which based on human intuition from 1870s, initiates the studies on the formalization of mathematics and these studies ground the concept of algorithm on the definite bases because of the systematic structure of formal systems. The development of machines which is able to run an algorithm, cause to think the possibility of the simulation of putative algorithmic structure of brain. This approach is examined in the section of computational approach by comparing the algorithmic and non-algorithmic structure of brain to algorithms and formal systems.

The deficiency of computational model and its improper structure, cause to search its alternatives. These researches provide the development of artificial neural networks model which based on the structure of brain which is formed by lots of neurons related each other that are not connected to central unit in place of the brain model which is controlled from a central unit like computers. This approach, which is developed as an alternative of computational approach, is examined under the topic of neural network approach in part 3 which examines brain models.

The approach which is put forward by physics, which makes different comments on the activities of brain and mind, particularly after the emergence of quantum mechanics, is examined in the section of physical approach. In this section, the concepts of determinism and computability are examined from the viewpoint of classical and quantum physics, which have special importance while explaining the concepts like free-will and consciousness. Not dwelt upon classical physics so much in which the concepts of determinism and computability are vague, but the controversial structure of quantum physics is quoted by examining various sources as much as possible. In some sections of this subject, the very physical concepts are dealt with which seems unnecessary while examining brain's functions, but these physical concepts are used while the essence of this section, the quantum model of the brain and the quantum computer which might be the alternative of the deficiency of classical computers, is examined.

In the section of psychological approach, the behaviourism and cognitive psychology which are two field in psychology that deal with this subject mostly are described, and the activities of human brain are explained from the cognitive psychological aspect. The applications in artificial intelligence are developed generally by basing on the concepts that have been put forward by cognitive psychology. Although cognitive psychologists have been studying on the explanation of abstract concepts like consciousness in recent years, cognitive psychology generally takes brain up as a symbolic processor. In the formation phase of these symbols brain works at low level and this working is the perception and the categorization of signals. The subject of how these structures are recorded is examined under the topic of memory in cognitive psychology. The retrieving process, using of information, and formation of new data by associating them each other constitute the subjects of decision making, reasoning and problem solving. In the thesis these concepts are explained respectively by taking into consideration the putative working of brain.

The fundamental discussion in the field of artificial intelligence is that if it is possible to simulate the functions of human mind and brain fully. Although there are various views on this subject it could be possible to separate it into two categories, named strong and weak AI. While some of the weak AI defenders maintain the view that it wouldn't be possible to understand and simulate the functions of mind fully, others accept the possibility of it. Generally the second view is accepted as weak AI. On the other hand the strong AI defenders have the opinion that it would be possible to simulate human mind fully, and also that simulation would have mental states like consciousness, intelligence and understanding. They defend that the developed system would have genuine understanding and genuine intelligence. The 4. part of the thesis formed according to these distinctions. The relation between the simulated function and its actual form examined from the perspective of the articles of Alan Turing and

John Searle, which reflect two contrary views. In addition some programs, which strong AI defenders point as the proof of intelligence, are examined.

In the conclusion section, the deficiencies of the approaches which are examined in the sections that mentioned above, and the distinction between the weak and strong AI are handled from the aspect of the insufficiency of human in understanding and modelling himself.



1. GİRİŞ

İnsan zihni ve beyni ile alakalı konular üzerinde yapılan araştırmalar felsefe tarihi kadar eskidir. Felsefenin ilk kurucuları sayılan Aristoteles, Socrates ve Plato gibi felsefeciler özellikle insanın düşünme sistemi, dili kullanabilme özellikleri, beyin ve zihin kavramları üzerinde o devrin imkanları ölçüsünde araştırma yapmış ve fikir üretmişlerdir. Ancak bu konularda bilimsel açıdan daha ciddi ve pratiğe yönelik yaklaşımlar 19. yüzyılın sonlarına doğru gelişmeye başlamıştır. Bu yıllarda matematiği formelleştirme çalışmaları ve bu paralelde ortaya atılan sorular, algoritmik işlemleri temsil eden matematiksel kavramların ve soyut makinelerin geliştirilmesiyle sonuçlanmıştır. Bu matematiksel yaklaşımların en geneli 1937’de Alan M. Turing tarafından ortaya atılan Turing makinesidir [1].

Turing bu buluşundan sonra insan zekasının taklit edilebilirliği üzerinde çalışmalar yapmış ve bu çalışmalarını 1950 yılında Mind dergisinde yayınlanan “Computing Machinery and Intelligence” makalesiyle [2] ortaya koymuştur. Turing bu makalesinde insan zekasının makinelerle taklit edilip edilemeyeceğini ve daha ileri giderek makinelerin gerçek bir zekaya sahip olup olamayacağını sormuş ve bu konuda kendi görüşlerini ortaya koymuştur. Turing’in bu makalesinde zeka ve makine kavramları öne çıkmaktadır.

Turing, Turing makinelerini temel alarak, makalesinde işlediği makine kavramını, hafıza, yürütme ünitesi ve kontrol ünitesinden oluşan ve günümüz bilgisayarlarına çok benzeyen dijital bilgisayar olarak ifade etmiştir.

Turing’in makalesinde belirtilen zeka kavramı ise 1956 yılında Dartmouth Kolejinde yapılan ve çok sayıda bilim adamının katıldığı konferansta ele alınmıştır. Konferansta makinelerin zeki davranış gösterip gösteremeyeceği tartışılmış ve yeni gelişen bu bilim dalına “Yapay Zeka” adı verilmiştir.

Yapay zeka ile ilgili çalışmalar günümüzde, yukarıda kısaca anlatılmaya çalışılan zeka ve makine çerçevesini aşmıştır. İnsanın zihinsel fonksiyonlarının makinelerle taklit edilebileceği düşüncesinin tarihi akış içinde daha ağır basması ve bu makinelerin en gelişmiş halinin bilgisayarlar olduğu yaklaşımından hareketle, yapay zeka bilgisayar bilimlerinin bir alt dalı gibi görülse de, konusu insan olan bütün bilimlerin ortaya koyduğu çalışmalar yapay zekaya ışık tutan çalışmalar olarak kabul edilmektedir. Bu perspektiften konuya bakıldığında biyoloji, matematik, fizik, psikoloji, felsefe ve bilgisayar bilimleri yapay zeka çalışmalarının şekillenmesinde önemli rol oynamaktadır. Dolayısıyla i) insan beyninin ve zihninin fonksiyonlarının incelenmesi, ii) bu fonksiyonların bilgisayarlar veya robotlar kullanılarak taklit edilmeye çalışılması şeklinde ifade edilen yapay zeka çalışmalarının amaçlarından ilkinde çok sayıda bilim alanının farklı yaklaşımlarının kazandırdığı derinlik ikinci amacı da o ölçüde genişletmiştir. Yani, günümüzde insanın beyin ve zihin faaliyetlerinin modellenmesi çalışmalarında makinelerin yerini alabilecek ve daha gerçekçi yaklaşımlar ortaya konmasına imkan sağlayacak yeni arayışlar içine girilmesine sebep olmuştur.

İnsan zihninin formalize edilemeyen, belli kalıplara sokulamayan yapısı gibi, yapay zeka alanında da matematiksel, mantıksal, vb. sistemler için yapılan sistematik açıklamalardan farklı olarak çok değişik ve geniş felsefi yorumlar yapılmıştır. Bu konudaki farklı yorumlar genelde, “insan zihninin durumlarının aynısına sahip sistemler geliştirilebilir” görüşünü savunan kuvvetli yapay zeka ile “insan zihni sadece taklit edilebilir ancak kesinlikle taklidi yapabilen sistem insanın sahip olduğu zihinsel durumlara sahip olamaz” görüşünü savunan zayıf yapay zeka olmak üzere iki kategoriye ayrılmaktadır. Ancak bu çok genel bir ayırım olup bazı görüşleri içine almamaktadır. Mesela, insan zihninin tam olarak taklit edilemeyeceğini savunanlar olduğu gibi, zihinsel fonksiyonların hiçbir biçimde anlaşılamayacağını savunanlar da vardır. Buna göre, bu konudaki farklı görüşleri şu şekilde gruplayabiliriz [3].

1- İnsanın düşünme sistemi algoritmiktir. Anlama, zeka, şuur gibi özellikler uygun algoritmalar geliştirilerek oluşturulabilir.

2- Belirtilen özellikler beynin fiziksel faaliyetinden kaynaklanmaktadır; bütün fiziksel faaliyetler algoritmik olarak taklit edilebilir, ancak taklidi gerçekleştiren sistemde gerçek zihinsel durumlar oluşturulamaz.

3- Beynin fiziksel faaliyetleri, şuur, zeka, anlama gibi özelliklere sebep olmaktadır, fakat bu fiziksel faaliyetler algoritmik olarak tam taklit edilemez.

4- İnsan zihninin faaliyetleri algoritmik, fiziksel veya herhangi başka bir yaklaşımla anlaşılamaz.

Yukarıdaki 4 farklı görüş son görüş dışında, insan zihninin faaliyetlerinin taklit edilebilirliği ve bu taklidin, gerçeğin aynısı olup olamayacağı noktasında toplanmaktadır. Bu ayırmadan yola çıkılarak tezin ana bölümleri şekillendirilmiştir. İnsan zihninin fonksiyonlarının modellenenebilirliği ve taklit edilebilirliği 3. bölümde geniş bir biçimde incelenmiş, 4. bölümde ise taklidi yapan sistemin insan zihninin durumlarına gerçekten sahip olup olamayacağı, bu konudaki temel kaynaklara dayanılarak, ortaya konulmuştur.

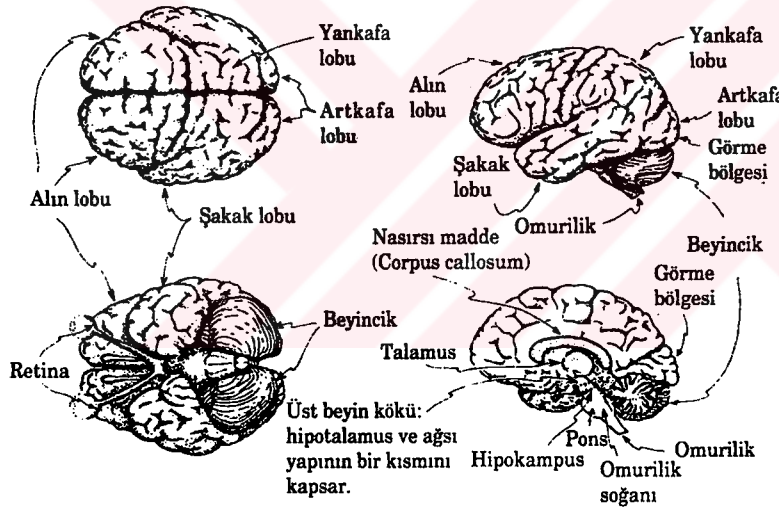


2. İNSAN BEYNİNİN BİYOLOJİK YAPISI

İnsan zihninin faaliyetlerinin anlaşılabilmesi için bu faaliyetlerin temelde olduğu birim kabul edilen beynin çalışma sistemi bilinmelidir. Beynin çalışmasını modelleyebilmek, bu çalışmayı taklit edebilen ve benzer sonuçlar üreten sistemler oluşturabilmek için insanın psikolojik açıdan ele alınmasının yanında beynin alt düzeydeki biyolojik yapısını bilmek de önemlidir.

2.1. Beynin Anatomik Yapısı

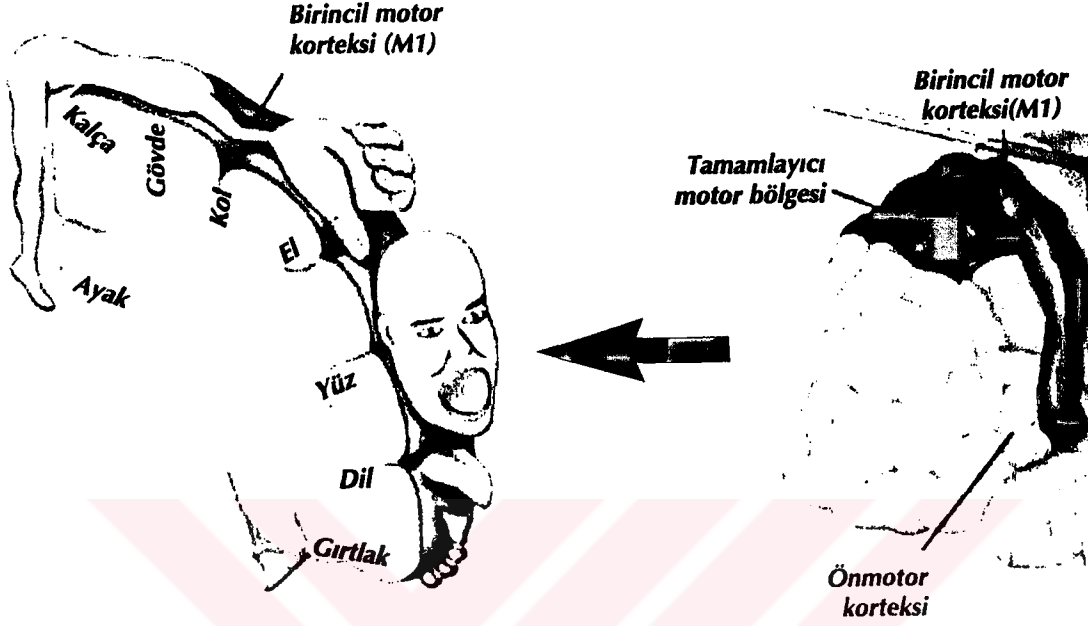
Beynin anatomik yapısında yer alan birimler şunlardır (Şekil 2.1):



Şekil 2.1. İnsan beyni: Üstten, yandan, alttan görünüşü ve kesiti.

Serebrum: Üst kısımdaki büyük kubbemsi, asıl beyin olarak adlandırılan kısımdır. Sol ve sağ *beyin yarıküreleri* olarak ayrılır. Ön ve arkada kesin olmayan bir sınırla alın lobu, şakak lobu, yankafa ve artkafa lobları bulunur. Serebrumu kaplayan ince tabakaya “korteks tabakası” adı verilir ve bu tabaka gri maddeden oluşur. Beyin korteksinin değişik bölgeleri çok farklı görevler üstlenmiştir. *Artkafa lobunda görme bölgesi* yer alır ve görsel algılama ve yorumlama işlemlerini gerçekleştirir. *Şakak lobu’nun* bir kısmı *işitme bölgesi* olarak görev yapar. *Koklama bölgesi* ise *alın lobu’nda* yer

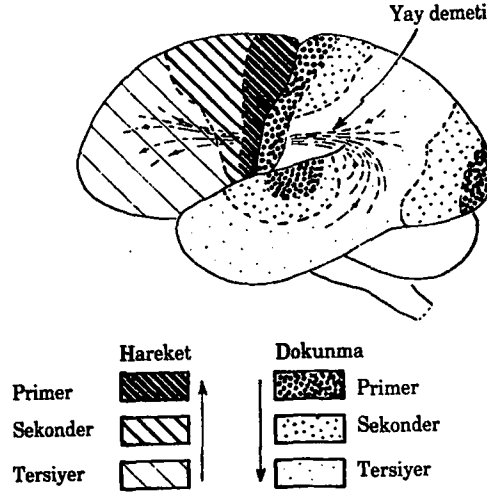
alır. *Dokunma bölgesi yankafa lobunda bulunur ve alın ile yankafa lobları arasında yer alan “beden duyumu bölgesi”¹ adı verilen bölge vasıtasıyla dokunma duyuları alınır. Bu bölgeye *birincil motor korteksi*, M1, de denir ve bu bölge ile bedenin çeşitli kısımlarıyla olan ilişki “beden duyumu insansı” denilen şekil ile gösterilir (Şekil 2.2).*



Şekil 2.2. Beden duyumu insansı; alın ve yankafa lobları arasındaki ayrımın hemen arka kısmındaki bölge, dokunma duygusu ile yakından ilişkilidir.

Alın ve yankafa loblarının tam önünde yer alan *alın lobu* bölgesi ise *hareket bölgesidir*. Bu bölgenin bedenin kaslarıyla olan ilişkisi “beden duyumu insansı”na benzer şekilde “hareket insansı” olarak sembolize edilir. Dokunma, işitme, hareket bölgelerinde sağ taraf bedenin sol tarafını, sol taraf ise bedenini sağ tarafını kontrol eder. Beyin korteksinin yukarıda bahsedilen bölgeleri *birincil (primer) bölgeler* olarak adlandırılır. Çünkü bu bölgeler beynin girdi ve çıktılarıyla direk alakalı bölgelerdir. Birincil bölgelerin yanında bulunan bölgeler *ikincil (sekonder) bölgeler*dir ve burada işlemler daha karmaşık, soyut ve üst düzeyde gerçekleşir. Beyin korteksinin kalan bölgelerine ise *üçüncül (tersiyer) veya birleştirme* bölgesi adı verilir (Şekil 2.3).

¹ Somatosensory cortex



Şekil 2.3. Çok genel çizgileriyle beynin çalışması. Dışarıdan algılanan veriler birincil duyu bölgelerine girer. İkincil ve üçüncül bölgelerde daha ayrıntılanır, üçüncül kumanda bölgesine iletilir ve sonunda birincil kumanda bölgelerinde hareketle ilgili komutlara çevrilir.

Beynin birincil bölgelerinin çalışma sistemi ile ilgili bilinenler fazla olmasına rağmen daha karmaşık ve soyut işlemlerin gerçekleştiği ikincil ve üçüncül bölgelerinin çalışması hakkında bilinenler çok sınırlıdır. Örneğin *konusma* ile ilgili bölgeler beynin sol tarafındadır. Temel bölgeler alın lobunun alt arka tarafındaki *Broca alanı* ile şakak lobunun üst arka tarafındaki *Wernicke alanı*dır. Broca alanı cümle kurulması, Wernicke alanı dili anlama ile ilgilenir. Broca alanının zedelenmesi konuşma bozukluğuna sebep olur ancak dili anlamada bir eksikliğe sebep olmaz. Wernicke alanının zedelenmesi sonucunda ise konuşma akıcılığından birşey kaybetmez ancak pek az anlam içerir.

Yukarıda anlatılanlarından yola çıkarsak beynin çalışmasını şöyle özetleyebiliriz. Görme, işitme, dokunma ve öteki sinyaller beynin *girdisini* oluşturur ve *arka lobların* (yankafa, şakak ve artkafa lobları) *birincil bölgelerine* kaydedilir. Beynin *çıktısı*, yani bedeni çalıştıran komutlar *alın loblarının birincil bölgeleri* tarafından gerçekleştirir. Girdi ve çıktı arasında gerçekleşen işlemler ise şöyledir. Arka lobların birincil bölgelerinde başlayan beyin faaliyeti, girdi verileri analiz edildikçe ikincil bölgelere doğru, ve veriler tamamen yorumlanıp anlaşıldıkça (konuşulunun Wernicke alanında anlaşılması gibi) arka lobların üçüncül bölgelerine doğru ilerler. Beynin her iki tarafında bulunan sinir demeti, işlenen bilgiyi alın lobuna taşır. Alın lobundaki üçüncül bölgelerde hareketin genel planları (Broca alanında konuşmanın biçimlendirilmesi gibi)

düzenlenir. Bu planlar, ikincil bölgelerde bedenin davranışlarıyla daha alakalı kavramlara çevrilir. Daha sonra beynin faaliyeti birincil kumanda merkezine iletilir ve buradan sinyal olarak bedendeki kas gruplarına gönderilir.

Serebellum (Beyincik): Beynin arka tarafında ve aşağıda bulunur. Beyinciğin en bilinen ve kabul edilen özelliği bedenin koordinasyonu ve kontrolünden sorumlu olmasıdır. Yani hareketlerin zamanlaması, dengesi ve senkronizasyonu beyincik tarafından gerçekleştirilir. Beyincik bu özelliğiyle, otomatikleşmiş hareketlerimizi kontrol eder de denilebilir. Bir işi ilk defa öğrenirken her hareketi önceden düşünmemiz gerekir ve bu aşamada faaliyette bulunan beyindir. Fakat bu işte ustalaştıkça ve hareketlerimizi düşünmeden seri hale koyabilecek seviyeye geldikçe kontrol beyinciğe geçer.

Beyin Kökü: Pons, omurilik soğanı (medulla) ve orta beyinden oluşur.

Talamus: Omurilikle birlikte beyin kökü ile serebrum arasındaki sinir komutlarını aktarır ve düzenler.

Hipotalamus: Haz, korku, öfke, umutsuzluk gibi duyguların olduğu varsayılan bölgedir. Duyguların zihinsel ve fiziksel dışavurumlarını düzenler.

Hipokampus: Şakak lobunda yer alır. Uzun dönem hafızanın oluşmasında etkilidir. Beynin birincil bölgeleri tarafından algılanan görsel uyarılar 4-5 saniye, işitsel uyarılar ise bunun 10 katı kadar bir süre tutulurlar. Bu süre içinde, kullanılacak sinyaller işleme tabi tutulur ve daha anlamlı bilgiler şeklinde kısa dönemli hafızayı oluştururlar. Kısa dönemli hafızada belli bir süre kullanılmayan bilgiler silinir. Kullanılan bilgiler ise hipokampus ve yardımcı birçok sinir hücresi tarafından anlamlarına göre düzgün bir şekilde kodlanarak uzun süreli hafızayı oluştururlar.¹ Hipokampusun zedelenmesi, zedelenme anından itibaren hiçbir yeni anının depolanamadığı ve bilgilerin anlık olarak kısa dönem hafızada kullanıldıktan sonra atıldıkları korkunç bir duruma sebep olur.

Nasırsı madde (Corpus callosum): Beyin sağ ve sol yarım kürelerinin birbirleriyle iletişimini sağlayan bölgedir.

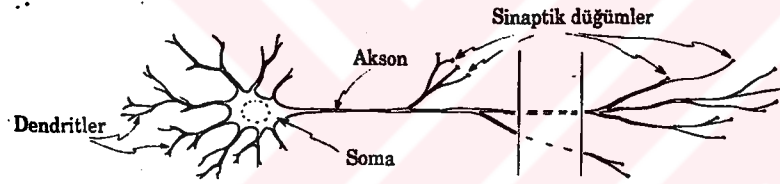
¹ Bu konularla ilgili geniş açıklama, beynin bilişsel psikoloji açısından incelenmesi konusunda yapılmıştır.

Ağısı Yapı: Beynin farklı bölgelerindeki genel uyanıklılık ve bilinçlilik durumlarından sorumludur. Ağısı yapının bir kısmı orta beyinde, bir kısmı ise art beyinde yer alır.

Prefrontal Korteks: Kısa süreli belleğin oluşumuna aracılık eder. Zeka, öğrenme ve kişilik gibi kavramların merkezi olduğu varsayılmaktadır. Beynin birçok bölgesine etki eden sinir hücreleri bulundurulur.

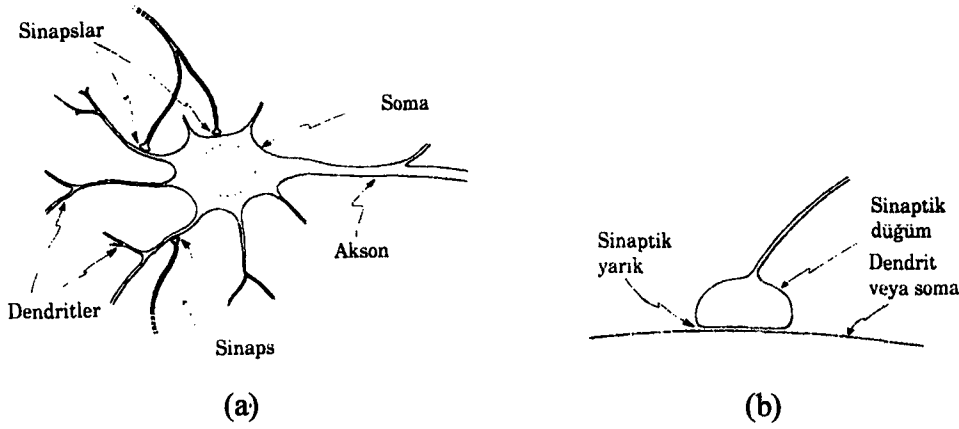
2.2. Sinir Hücreleri

Beynin tüm işlemleri, alt düzeyde, *nöronlar* adı verilen ve her yöne uzanabilen sinir hücreleri tarafından gerçekleştirilir (Şekil 2.4). Sinir hücresinin gövdesine *soma* adı verilir. Somanın bir ucundan dışa doğru ve birkaç santimetre gibi, mikroskobik boyuttaki hücre için çok uzun denebilecek uzunlukta, *akson* adı verilen sinir teli uzanır. Akson *çıktı* sinyalinin iletilmesini sağlayan teldir. Çok sayıda kollara ayrılmak suretiyle sinyali birden fazla sinir hücresine taşıyabilir. Aksondan dallanmak suretiyle oluşan sinir uçlarında *sinaptik düğümler* bulunur.



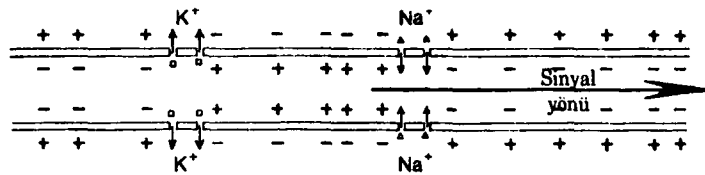
Şekil 2.4. Sinir hücresi (nöron).

Somanın diğer yanında oluşan ağaçsı yapılara *dendritler* denir. Dendritler, somaya *girdi* sinyali sağlarlar. Bir sinir hücresinden diğerine sinyal iletimi, sinaptik düğüm ile dendrit üzerinde bulunan dendrit omurgalar veya soma arasındaki birleşme noktalarında gerçekleşir. Bu birleşme noktalarına *sinaps* adı verilir. Gerçekten bu arada *sinaptik yarı* denilen, milimetrenin 40000'de biri kadar büyüklükte, bir boşluk bulunur (Şekil 2.5). Dendrit omurgalar bazen küçülerek sinyal iletişimini keser, bazen de büyüyüp somaya sinyal girdisi sağlayabilecek hale gelir. Bu, beyin dinamik bir yapıya sahip olduğunu gösterir. Yani beyin nöron bağlantılarının flip-floplardan oluşmuş bir bilgisayarı andırdığını varsaysak bile bu sürekli değişebilen bir bilgisayardır.



Şekil 2.5. (a) Sinapslar: İki nöron arasındaki eklem noktalarıdır. (b) Bir sinapsın yakından görünümü. Sinaptik düğüm ile dendrit omurgalar/soma arasında, sinyal taşıyıcı kimyasal maddelerin akarak geçecekleri dar bir aralık (sinaptik yarık) vardır.

Aslında bir sinir teli sodyum klorür ve potasyum klorür içeren silindir şeklindeki bir tüpten ibarettir. Yani tüpün içinde sodyum, potasyum ve klor iyonları vardır. Sinir durgun haldeyken içerde klor iyonları fazladır ve dolayısıyla eksi (-) yük vardır. Dışarıda ise durum tam tersidir. Zar geçirgen olduğu için bu durum daima nötrleşme eğilimindedir ve bunu önlemek için bir “metabolik pompa” sodyum iyonlarını dışarıya pompalar. Bu nedenle durgun haldeyken sinir içinde potasyum iyonları sodyum iyonlarına göre daha fazladır. Böyle bir sinir telinde iletilen sinyal, yük dengesizliğinin *tersindiği* bölgede oluşur. Bu aşamada sodyum iyonları içeriye girer ve potasyum iyonları dışarı çıkar. Sodyum/potasyum oranı durgun haldekinin tersine döner (artar). Bu bölgede artı yükler fazlaşır. Bu arada potasyum iyonlarının dışarı atılmasıyla eksi yükler yavaş yavaş artmaya başlar. Bu aşamada sinyal bir nörondan ötekine geçmiştir (Şekil 2.6). Sinyal uzaklaşırken pompaların çalışmasına devam etmesiyle sodyum iyonları tekrar dışarı atılır ve potasyum iyonları içeri alınır ve sinir durgun haline döner.



Şekil 2.6. Sinir hücresinde sinyal iletimi. Bir sinir sinyali, sinir telinde ilerleyen bir yük tersinmesi bölgesidir. Sinyalin önünde açılan sodyum kapıcıklarından sodyum içeriye doğru akar; sinyalin arkasında açılan potasyum kapıcıklarından ise potasyum dışarıya doğru akar. Metabolik pompalar bu dengenin devamını sağlar.

Bazı nöronlar, sinyal iletirken bir sonraki siniri ateşlemek için, yani onun da sinyal iletmesini sağlamak amacıyla, sinaptik düğümlerinde nöron taşıyıcı adı verilen bir kimyasal madde bulundururlar. Böyle nöronlara *uyarımli* nöronlar denir. Bir sonraki nöronu yeni bir sinyal başlatmak amacıyla uyarmak eğiliminde olmayan nöronlara ise *uyarımli* nöronlar adı verilir. Bir sonraki nörona uyarımli nöronlardan gelen sinyal etkisiyle uyarımli nöronlardan gelen sinyal etkisinin farkı belirli bir kritik düzeye ulaşır, bu nöron sinyal iletmeye hazırdır. Aslında uyarımli nöronlar bir sonraki nöronun içerisi ile dışarısı arasında artı (+) işaretli *potansiyel farkı*, uyarımli nöronlar ise eksi (-) işaretli potansiyel farkı oluştururlar. Bu farkların toplamı belli bir kritik düzeyi geçerse nöron sinyal iletimini gerçekleştirir.

2.3. Şuur Oluşumunda Beynin Rolü

Beynin çalışmasının şuur oluşumunda rolü olup olmadığı konusu aslında felsefecilerin üzerinde çok durduğu ve kesin olarak çözümlenmemiş, sadece hakkında spekülasyon yapılabilen zihin-beden problemi ile ilgilidir. Felsefeciler bu konuyu çok farklı açılardan ele almışlar ve konunun metafizik boyutunun önemine dikkat çekmişlerdir. Sadece beyin biyolojik yapısından yola çıkarak yapılan açıklamalar çok yetersiz, tahmine dayalı ve bu ölçüde de farklılık arz etmektedir. Tek ortak görüş, beyin farklı bölgelerinin bilinç oluşumunda farklı derecede etkili olduğudur. Mesela, beyincik otomatikleşmiş hareketlerin merkezi olduğu için bilinçli faaliyetlerde çok az katkısı vardır. Bilinç tamamen asıl beyin sebep olur da diyemeyiz. Yürüme gibi bilinçli olarak gerçekleşmeyen bazı işlemlerde beyin birincil bölgelerinin devreye girdiği bilinmektedir. Beyin biyolojik yapısından yola çıkarak bu konuda söylenenleri şöyle özetleyebiliriz [4].

- 1- Bilinç, üst beyin kökü adı verilen ve büyük ölçüde talamus ile orta beyinden oluşan bölgede oluşmaktadır. Bu görüş ABD/Kanada'lı beyin cerrahı Wilder Penfield'a aittir. Penfield bilinçli vücut hareketlerinin, üst beyin kökünün beyin korteksinin uygun bölgesi ile (belirli duyumlar, düşünceler, anılar ve anlık oluşan ve bilinçli olarak gerçekleştirilen eylemlerle ilgili bölge) doğrudan iletişim kurmasından kaynaklandığını söylemiştir. Buna kanıt olarak şöyle bir deney yapmıştır. Bir hastanın sağ kolunu oynatması için beyin korteksinin ilgili bölgesini uyardığında,

hasta kolunu hareket ettirmek istememesine rağmen sağ kol hareket etmiştir. Hatta hasta bu sırada sol koluyla bu harekete engel olmak isteyip bunu yapabilir. Beynin anatomik yapısı incelenirken değinildiği gibi talamus kortekse sinyal iletiminde ve düzenlemesinde görev alır. Deneydeki gibi talamus devre dışı bırakıldığında da istenilen hareket gerçekleştirilebilir. Ancak bu durum bilinçli olarak oluşmaz. Buna göre talamusun ve bununla birlikte faaliyette bulunan orta beynin görevi sadece sinyal iletmek gibi pasif bir görev değil, hareketin bilinçli yapılmasını sağlayan aktif bir görevdir.

- 2- Bazı nörofizyologlar ise ağsı yapının bilincin yeri olduğu görüşündedirler. Yine yukarıda bahsedildiği gibi ağsı yapı beynin değişik bölgelerinin uyanıklığından sorumludur. Ağsı yapı zedelendiğinde bilinç kaybının olduğu gözlenmiştir. Ancak insanın düş görme gibi bazı şeylerin farkında olduğu durumlarda ise bu yapının aktif olmadığı gözlenmiştir. Buna benzer gözlemler ağsı yapının da bilinçli olma durumundan tamamen sorumlu olamayacağını göstermektedir.
- 3- Bir başka görüş de bilinçten daha çok hipokampusun sorumlu olduğudur. Hipokampus uzun dönemli anıların merkezi olduğundan, böyle bir görüş ancak uzun dönem hafızanın oluşmasıyla bilinç arasında bir ilişki kurulursa doğrudur.
- 4- Bir başka görüş bilincin yerinin beyin korteksi olduğu görüşüdür. Zeka ile ilgili zihinsel faaliyetlerin burada yürütüldüğü kabul edildiğinden bilincin yerinin de burada olduğu kabul edilmiştir. Güçlü yapay zeka savunucuları, bilinci algoritmanın karmaşıklığının bir sonucu olarak gördüklerinden ve beyin korteksindeki yukarıda anlatılan işlemlerin karmaşık bir algorithmadan başka bir şey olmadığını kabul ettiklerinden, bilincin yerinin beyin korteksi olduğunu kabul etme eğilimindedirler.
- 5- Birçok filozof ve psikolog ise insan bilincinin, onun konuşma dilini kullanma becerisiyle ilgili olduğu görüşündedir. Buna göre, düşünme ve içinden geçenleri dile getirme gibi özellikler sadece konuşma kabiliyetiyle ortaya çıkar. Bu görüşten hareketle bilincin Broca ve Wernicke alanlarında olduğu söylenmektedir.

3. İNSANIN ZİHİNSEL FONKSİYONLARI MODELLENEBİLİR Mİ?

3.1. Bilgisayar Modelli Yaklaşım

3.1.1. Formel Sistemler

3.1.1.1. Formel Sistemler Hakkında Bilgi

20'inci yüzyılın başlarında matematikçiler arasında şöyle bir problem ortaya çıktı: Matematikte geçerli bir ispatı oluşturan bileşenler nelerdir ve böyle bir ispatın geçerliliği nasıl anlaşılabilir? Bu sorulardan amaç, problem çözmede kullanılan mantık akışının geçerliliğini test edebilecek bir teori oluşturmaktır. Bu teori, ispatın içeriği ile değil ispatın yapısı ile ilgilenecekti. Bu amaç için Gottlob Frege, Bertrand Russell ve özellikle David Hilbert, insan sezgisine ve kavrayışına dayanmadan, algoritmik olarak geçerli ispatların bulunabileceği yapay bir dil geliştirmeye çalıştı. Böyle bir sistemin bileşenlerini ve kesin tanımını vermeden önce mantık alanında verilen ve hemen hemen herkesin bildiği bir örnek üzerinde duralım.

P: Her insan ölümlüdür.

Socrates insandır.

Dolayısıyla Socrates ölümlüdür.

Yukarıda belirtildiği gibi bu tip çıkarımların doğruluğunu formel açıdan testte önemli olan çıkarımın içeriği değil yapısıdır. Buradan yola çıkarak insan, ölümlü, Socrates gibi kelimelerin yerine başka kelimeler koyabiliriz ve bu, çıkarımın geçerliliğini etkilemez. Bunların yerine x, y, z gibi semboller koyarak daha soyut bir yapı oluşturabiliriz:

Eğer her x, y ise

ve eğer z, x ise

z, y'dir.

Bu mantık yapısı ilk defa Aristoteles tarafından kullanılmıştır. Burada x, y, z sembolleri değişkenler adını alır. Yukarıda görüldüğü gibi çıkarım için sadece

değişkenleri kullanmak yeterli değildir. Çünkü bir düşüncemizi açıklarken, bir çıkarım yaparken konuşma dilinde kullandığımız “eğer”, “öyleyse”, “veya”, “ve”, “gerektirir” gibi kelimeler vardır. Bu kelimeler çıkarım işleminin temelini oluştururlar ve başka sembollerle yer değiştiremezler. Yukarıda, ilk satırdaki “eğer”, “veya” ile yer değiştirirse çıkarım geçerliliğini kaybeder. Bunlara operatörler denir.

Yukarıda genel hatları verilen mantık sistemi şu özelliklere sahiptir [5, 6]:

- 1- Sınırlı sayıda *sembollerden* oluşan *alfabe*.
- 2- Anlamlı bir *ifadenin* oluşturulabileceği ve kuralları iyi tanımlanmış bir gramer
- 3- Sınırlı sayıda *aksiyomlar*, yani ilk varsayımlar.
- 4- Sistem içindeki teoremlerin, aksiyomlardan veya başka teoremlerden yola çıkılarak ispatı yapılırken kullanılacak sonlu sayıda *çıkartım kuralları*.

Bu şekilde, aksiyomlardan ve çıkartım kurallarından oluşan sistemlere formel sistemler denir. Bir formel sistem; formel teori, aksiyomatik sistem, çıkartıma dayalı sistem veya sadece teori şeklinde de isimlendirilebilir. Formel sistemdeki kurallar ve semboller dış dünyayla ilişkili olmayan soyut yapılardır. Bir formel sistem içinde ispat, basit mantıksal ve matematiksel işlemlerin tekrarlı bir şekilde işlenmesiyle oluşturulabilir. Başka bir deyişle formel sistem içinde bir ispatın doğruluğunu test edebileceğimiz algoritma mevcuttur. Böyle bir algoritmanın varlığı, bir ispatın doğruluğunun bilgisayar veya bu algoritmayı adım adım çalıştıracak makine tarafından test edilmesini de sağlar.

Formel sistemlerle ilgili kullanılan kavramlar şunlardır [3, 6]:

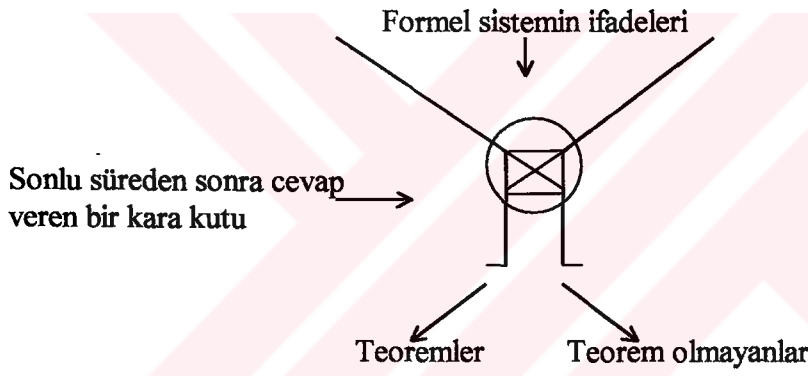
DOĞRU : Formel sistemin kuralları kullanılarak elde edilebilen ifadeler için kullanılır. Yani sistemin aksiyomlarından yola çıkıp sistemin kuralları uygulanarak elde edilen tüm ifadeler sistem içindeki DOĞRU önermelerdir.

YANLIŞ: Sistem aksiyomları ve kuralları uygulandığında “değilleri” elde edilen önermeler için kullanılır.

YETERLİLİK¹: Formel sistem içinde formüle edilebilen herhangi bir önermenin DOĞRU veya YANLIŞ olduğu ispatlanabiliyorsa böyle sistemlere YETERLİ sistemler denir. Bir formel sistemin yetersizliğini göstermek için, o sistem içinde, iyi-tanımlanmış ve doğruluğu veya yanlışlığı ispatlanamayan en az bir ifade bulmak yeterlidir.

TUTARLILIK: Formel sistem içinde formüle edilebilen herhangi bir önermenin DOĞRU'luğu ve YANLIŞ'lığı aynı anda ispatlanmıyorsa bu formel sisteme TUTARLI sistem denir. Tutarlılığı bilinen bir sistemde çelişkili durumlar oluşmaz.

KARAR VERİLEBİLİRLİK: Formel sistem içinde oluşturulan bir ifadenin ispatlanıp ispatlanamayacağını, yani teorem olup olmadığını sonlu adımda belirlememizi sağlayacak mekanik bir yöntem mevcutsa bu sisteme KARAR VERİLEBİLİR sistem denir (Şekil 3.1).



Şekil 3.1. Formel sistemin karar verilebilirliği.

3.1.1.2. Formel Sistemlere Örnekler

1- Satranç oyunu bir formel sisteme örnek verilebilir [7]. Formel sistemimizin adı SATRANÇ olsun. Burada *sembollerin* yerini 16 satranç taşı (kale, at, vezir, piyon, vs...) almıştır. SATRANÇ'ın *aksiyomu* ise satranç taşlarının ilk bulunması gereken pozisyonudur. *Çıkarım kuralları* satranç oyununun kurallarıdır. Taşların bulunabileceği muhtemel konumlardan doğru olanlar SATRANÇ'ın *doğru* önermeleri, yanlış olanlar ise *yanlış* önermeleridir. Buradaki kurallar bir önermeden başka bir önermeye geçişimizi sağlar. Aksiyomlardan başlayarak belli bir önermeye ulaşmakla SATRANÇ

¹ Completeness

formel sisteminin *teoremlerini* elde etmiş oluruz. Buna göre SATRANÇ'ın teoremleri, ilk durumdan başlayıp sistemin kuralları (satranç oyununun kuralları) uygulanarak elde edilebilen tüm durumlardır. SATRANÇ formel sistemi içinde bir A teoreminin doğruluğunu ispatlayan bir P ispatı ile, taşların ilk durumlarından A ile ifade edilen duruma gelinceye kadar izlenen yollar kastedilir. Bu ispatın doğruluğunu test etmek, ilk konumdan başlayarak, çıkarım kurallarını her taş için ayrı ayrı uygulayıp A konumuna ulaşmaya çalışmaktır. Bütün ihtimaller denendikten sonra bu pozisyon elde edilememişse bu ispat yanlıştır. Yani belli bir noktada herhangi bir taşın konumu oyunun kuralları dışındaki bir kuralla belirlenmiştir.

2- Bilgisayar dil teorisiyle de alakalı başka basit bir formel sistem de P. Lorenzen tarafından önerilmiş L formel sistemidir. Bu sistemin alfabesi a ve b harfleri, önermeleri ise a ve b harflerinden oluşturulmuş a, aa, abaab gibi muhtemel kelimelerdir. Sistemin aksiyomu a'dır. Yani kelime oluşturmaya a'dan başlanır. Kuralları; $X \rightarrow Xb$, $X \rightarrow aXa$ şeklindedir. Örneğin bir teorem olan aababb, a aksiyomundan başlayarak şöyle ispatlanabilir:

a |- ab |- aaba |- aabab |- aababb

kural1(k1)--k2---k1----- k2

Bu L |- aababb şeklinde gösterilir ve "aababb L'de ispatlanabilir bir teoremdir" denir.

3- MU Sistemi:

Douglas Hofstadter'in "Gödel, Escher, Bach" kitabında [8] MU bilmececi adıyla verdiği bir formel sistemdir.

Alfabe: M, I, U.

İfadeler: Alfabadeki kelimelerin istenen şekilde sıralanması ile oluşturulur.

Aksiyomlar: MI

Kurallar: mI $\rightarrow$ mIU (üretim kuralı)

Mm $\rightarrow$ Mmm (üretim kuralı)

III $\rightarrow$ U (indirgeme kuralı)

UU $\rightarrow$ (indirgeme kuralı)

m alfabenin bir elemanı değildir, yerine başka ifadeler yazılabilir. Birinci kural, son sembolü I olan teoremlere uygulanabilen üretim kuralıdır. Bu kurala göre MIUMI

teoreminden MIUMIU teoremi üretilebilir. Benzer şekilde ikinci kural kullanılarak MUI'dan MUIUI çıkarılabilir. Üçüncü kural MIIUM gibi bir ifadenin yerine MUUM ifadesi kullanılabilmesini sağlar. Dördüncü kural arka arkaya bulunan iki U'nun (UU) silinebileceğini gösterir. Buna göre MMUUUUM, MMM haline gelir.

Matematiği formelleştirme çalışmalarının daha iyi anlaşılması noktasında aşağıdaki gerçekçi örnekler faydalı olacaktır.

4- Önergeler Mantığı (PL)¹

Önergeler mantığı, yapısı aşağıdaki şekilde tanımlanmış bir formel sistemdir.

Alfabe: Önerme harfleri; p, q, r, s, t,

Mantıksal operatörler: $\neg$ (değil), $\supset$ (gerektirir)

Parantezler: (,)

İfadeler: Herhangi bir önerme harfi ifadedir.

Eğer w bir ifadeyse (w) de bir ifadedir.

w bir ifadeyse $\neg w$ de bir ifadedir.

w1, w2 ifadeyse $w1 \supset w2$ ifadedir.

Aksiyomlar: A1: $(w1 \supset (w2 \supset w1))$

A2: $(w1 \supset (w2 \supset w3)) \supset ((w1 \supset w2) \supset (w1 \supset w3))$

A3: $(\neg w2 \supset \neg w1) \Rightarrow (w1 \supset w2)$

Kurallar: Modus Ponens: $(w1) \& (w1 \supset w2) \rightarrow (w2)$

Sistem içinde “VE”, “VEYA” gibi başka semboller de kullanılabilir. Bunları sistem içindeki operatörler cinsinde şöyle ifade edebiliriz.

$w1 \text{ VE } w2 \equiv \neg(w1 \supset \neg w2)$

$w1 \text{ VEYA } w2 \equiv \neg(\neg w1 \text{ VE } \neg w2)$

Burada geçen “ $\equiv$ ” operatörü mantıksal eşitliği gösterir.

Russell ve Whitehead yaptıkları çalışmalarla 1910 yılında önergeler mantığını çok sağlam matematiksel temeller üzerine oturtmuşlardır. Ancak Russell ve Whitehead'in

¹ Propositional Logic

oluşturduğu haliyle PL, 4 aksiyom içermekteydi. Ancak 20 yıl kadar sonra, yani 1930'larda Lukasiewicz bu aksiyomlardan birinin diğerleri cinsinde ifade edilebileceğini buldu ve sistem 3 aksiyom ve 2 operatörden oluşan bir sistem halini aldı. Aslında operatörler de Sheffer işareti denilen “|” işareti kullanılarak tek operatöre indirilebilmektedir. Bu işaret şöyle tanımlanır. $p|q \equiv (\neg p) \vee (\neg q) \equiv \neg(p \vee q)$.

Ancak uygulamada bu işaret kullanılmamaktadır.

1921 yılında Emile Post, PL içindeki bir F formülünün ancak ve ancak geçerli olduğunda (bütün değerler için doğru) ispatlanabileceğini gösterdi.

Buna göre önermeler mantığı:

Tutarlıdır: F ve $\neg F$ aynı anda ispatlanamaz.

Yeterlidir: Bütün teoremler geçerli önermelerdir. Aynı zamanda bunun tersi de doğrudur.

Karar verilebilirdir.

4- Birinci Dereceden Yüklemler Mantığı (PrC)¹

Konunun başında verilen “Her insan ölümlüdür” ifadesi önermeler mantığında ifade edilemez. Burada “her” niteleyicisi genelliği ifade eder ve cümle formel olarak şu şekildedir:

“İnsan” özelliğine sahip bütün x'ler “ölümlü” özelliğine sahiptir.

Böyle bir ifadenin tanımlanabileceği bir formel sistem PL'den daha geniş olmalıdır. Artık p, q, r.. gibi önermeler kendi başlarına var olan ifadeler olarak görülemez; bunlar genelin bireylerini gösteren parametreler içerirler. Böyle bir sistemde yukarıdaki ifade şöyle yazılabilir:

$(\forall x) (\text{insan}(x) \supset \text{ölümlü}(x))$. Burada “insan” ve “ölümlü” kelimeleri *yüklemler*'dir. Buna göre birinci-dereceden yüklemler mantığı olarak adlandırılan formel sistemimiz şu şekilde tanımlanır.

¹ Predicate Calculus

Alfabe: Sabitler: a, b, c, d,...

Değişkenler: t, u, v, w, x,...

Yüklemler: A, B, C, D

Belirleyiciler: $\forall$ (her)

İfadeler: PL'deki bütün kurallar geçerlidir. Kurallarda $A(x_1, x_2, \dots, x_k)$ şeklinde tanımlanmış yüklemeler de bulunur.

Aksiyomlar: PL'deki 3 aksiyom burada da geçerlidir. Bunlara iki aksiyom ilave edilmiştir.

A4: $((\forall t)B(t)) \supset B(u)$ (özelleştirme aksiyomu)

A5: $((\forall t)(w_1 \supset w_2)) \supset (w_1 \supset (\forall t) w_2)$

Kurallar: $(w_1) \& (w_1 \supset w_2) \rightarrow w_2$ (modus ponens)

$w_1 \rightarrow (\forall t) w_1$ (genelleme)

1930 yılında Gödel, PrC formel sistemi için şu önermeyi ispatlamıştır.

PrC'deki her teorem mantıksal olarak geçerli bir ifadedir. Bu Post'un PL için yaptığı ispata karşılık gelir. Ancak PrC "karar verilebilir" değildir.

5- Birinci Dereceden Aritmetik (PA)¹

Aritmetik bir formel sistem olarak ilk defa Guiseppe Peano tarafından 1899 yılında tanımlanmıştır. Bu sistem PrC sistemine özel bir sabit değer (0-sıfır), 4 yeni operatör ve 8 yeni aksiyom eklenmesiyle oluşturulmuştur [6].

Sabit: 0 (sıfır - sistemin tek sabitidir.)

Operatörler: s (ağırlığı 1'dir. Uygulandığı değişkenden sonra gelen elemanı verir)

$s(0) = 1, s(n) = n+1$ dir.

+ (toplama)

* (çarpma)

= (eşittir)

Aksiyomlar: A6: $(\forall x)(x+0)=x$

A7: $(\forall x)(x*0)=0$

A8: $(\forall x) \neg s(x)=0$

¹ Peano Arithmetic: Guiseppe Peano tarafından tanımlanan Peano aritmetiğinin uzantısı olduğu için genelde PA şeklinde kısaltılır.

$$A9: (\forall x) (\forall y) (x + s(y)) = s(x+y)$$

$$A10: (\forall x) (\forall y)(x*s(y))=x*y+x$$

$$A11: (\forall x) (\forall y)(s(x)=s(y)) > (x=y)$$

$$A12: (\forall x) (\forall y)(x=y) > (s(x)=s(y))$$

$$A13 (A(0) \& (\forall u)(A(u) > A(s(u))) > (\forall u)(A(u))$$

Son aksiyom tam indüksiyon aksiyomu olarak adlandırılır ve çıkarım işlemini yineleme yoluyla formelleştirir.

Peano aslında aksiyomların çoğunu Richard Dedekind'den almıştır. Dedekind 1890'da yazdığı bir makalesinde bu aksiyomların tamamına yakınıni sözle ifade etmiş, ancak formel bir şekilde yazmamıştır. Bu formel sistemin en önemli aksiyomları olan $x+0=x$; $x+(y+1) = (x+y)+1$;

$$x*0=0;x(y+1) = (x*y)+x$$

şeklindeki ifadeler ise Hermann Grassmann'ın 1861 yılında yayımlanan kitabında tanımlanmış, dolayısıyla Peano'dan önce aslında çalışmaların %90'ı tamamlanmıştı [7].

3.1.1.3. Formel Sistemlerin Tutarsızlıkları

Matematiğin sezgiden tamamen arındırılıp mekanik hale getirilmesi, matematiksel teorilerin herkesin ortak dili olabilecek biçimsel kurallara indirgenmesi çalışmaları 1870'li yıllardan beri matematikçilerin ilgi alanına girmiştir. Bu yıllardan önce birçok matematikçi ve fizikçi formel bir ispat ortaya koymadan bazı tezlerini sezgiye dayanarak doğru kabul edip kullanmışlardır. Sezgiyle bilinen şeyleri formele yaklaştırmak veya tamamen formel hale getirmek amaçlanmıştır. Bunun için genelde iki metod kullanılır [7]. Bunlardan ilki genetik metod, diğeri ise aksiyomatik metod olarak adlandırılır. Genetik metod'da, şüpheli bir sezgisel gerçek o sezgiden daha güvenilir bir sezgiyle ifade edilir. Buna örnek olarak karmaşık sayılar hakkındaki tartışmaların, bunların bir düzlemdeki noktalar olarak kabul edilmesiyle durması verilebilir. Aynı şekilde bazı şüpheli yaklaşımlar ($\log x$ 'in, x 'in negatif değerlerinde sonsuz sayıda kümeler oluşturması gibi) geometrik yaklaşımlarla izah edilmiştir. Genetik yöntem, bir sezgisel yöntemi başkası cinsinden ifade eden izafi bir yaklaşımdır.

Aksiomatik yaklaşımda ise bazı temel kavramlar önceden kabul edilmesine rağmen, bunların üzerine inşa edilen diğer aksiyom ve teoremler kesin bir şekilde başlangıçta kabul edilen aksiyomlar cinsinden ispat edilmelidir. Bu tür aksiomatik metodlara örnek olarak şunlar verilebilir: Euclid aksiyomları, Euclid geometrisi için Hilbert aksiyomları, doğal sayılar aritmetiği üzerine G. Peano tarafından geliştirilen aksiyomlar, Ernst Zermelo ve A. Fraenkel tarafından küme teorisi için geliştirilen aksiyomlar, Georg Cantor'un ve Gottlob Frege'nin ayrı ayrı küme teorisi için geliştirdikleri aksiyomlar.

Aksiomatik sistemler, teorilerin detaylı bir şekilde incelenmesini ve bu sayede yeni teorilerin ortaya çıkmasını, sezgisel sistemlerdeki bazı belirsizliklerin ve sezginin çoğu zaman kontrol edilemeyen yapısından kaynaklanan paradoksların giderilmesini sağlasa da kendileri de birçok paradoksları beraberinde getirir.

Bu tür paradokslara örnek olarak Russell paradoksu verilebilir. Bu paradoks Bertrand Russell tarafından 1902 yılında ortaya atılmıştır ve Gottlob Frege'in kümelerle dayanarak geliştirdiği aksiomatik sistemiyle ilgilidir. Frege'nin sisteminin temeli, kavramları kümelerle ifade etmeye dayanıyordu. Örneğin kırmızı nesneler kümesi kırmızılıkla karakterize edilir ve bir nesne yalnız kırmızılığa sahipse bu kümeye aittir. Yani "kırmızılık" bütün kırmızı nesnelerin kümesidir. Frege bu yöntemi 1884'de ileri sürmüştür. Bu yöntem sayılara gerçek mana verme çalışmalarında da kullanılmıştır. Mesela Frege'nin yaklaşımına göre 3 sayısı, 3 elemana sahip bütün kümelerden oluşmuş kümedir. Frege'nin bu konuda uzun süren çalışmaları tamamlanıp konuyla ilgili kitabın son cildi yayımlanacakken Russell ünlü ikilemini bir mektupla G. Frege'ye bildirmiştir. Russell paradoksunda, bizzat kendileri kendi elemanı olmayan kümelerin¹ oluşturduğu bir kümenin varlığını sorgulamaktadır. Mesela R böyle bir küme olsun; bir X kümesinin R içinde yer alabilmesinin şartı, X kümesinin kendi elemanları içinde yer almamasıdır. Şimdi şöyle bir sorunun cevabını araştıralım: Russell'in R kümesi kendinin bir elemanı mıdır yoksa değil midir? Eğer değilse R 'ye ait olmalıdır çünkü R , tamamıyla kendi kendilerinin elemanı olmayan kümelerden oluşur. Bu bir çelişkidir. R 'nin R 'ye ait olduğunu kabul edersek R kendisini içeren bir küme olacağı için R 'ye

¹ Sonsuz elemanlı kümelerden bahsederken kümelerin kendisini kendi elemanı varsaymak mantıksız değildir. Bu, matematiksel olarak kabul edilen bir yaklaşımdır[4].

ait olmamalıdır. Böyle bir yaklaşım her ne kadar zoraki bir yaklaşım gibi görünse de sonsuz elemanlı kümeler tezinin ispatlarda çok aşırı bir şekilde kullanıldığı bu dönemde matematikçilerin kendilerini ve ispatlarını sorgulamaları için yeterli bir sebep olmuştur. Frege, bu kadar çalışmasından sonra ortaya çıkan böyle bir aksilik karşısında şöyle demiştir:

“Bir bilim adamının başına, bütün çalışmalarını bitirdikten sonra, buluşunun temellerinin sarsılmasından daha kötü birşey gelemez. Bertrand Russell’den aldığım mektupla şimdi böyle bir durumda bulunuyorum.” [3].

Frege bunun kendisinden kaynaklanan bir hata olabileceğini söylemişse de ilerleyen dönemlerde aksiomatik sistemlerin tutarsızlıklarından kaynaklandığı anlaşılmıştır.

Bir başka paradoks da 1878 yılında Georg Cantor tarafından formüle edilmiş süreklilik probleminin çözümü sırasında oluşur. Bilindiği gibi doğal sayılar kümesi sonsuz ve sayılabilen bir kümedir ve doğal sayılar kümesinin elemanları toplamı $\aleph_0$ sayısı olarak kabul edilir. Doğal sayılar kümesiyle birebir eşlenebilen bütün kümeler sonsuz ve sayı olarak $\aleph_0$ ’a eşit sayıda elemana sahip kabul edilir. Tamsayılar ve rasyonel sayılar kümeleri böyle kümelerdir. Reel sayılar kümesi ise Cantor’un köşegen teoremiyle¹ ispatladığı gibi doğal sayılarla bire-bir eşlenemez ve dolayısıyla sayılamayan sonsuz bir kümedir. Alef sıkalasında (Şekil 3.2), doğal sayıların sayısı olan $\aleph_0$ ’dan sonraki sayılamayan en küçük sayı $\aleph_1$ ’dir. Cantor’un problemi ise $C = \aleph_1$ olup olmadığıdır ve süreklilik hipotezi olarak adlandırılır.

$\aleph_0 | \text{-----} | \aleph_1 | \text{-----} | \aleph_2 | \text{-----} | \dots \dots \dots | \aleph_n | \text{-----} | \aleph_{n+1} |$
 $| \text{-----} | \dots \dots \dots | \text{-----} | \aleph_w | \text{-----} | \dots \dots \dots$

Şekil 3.2. Alef sıkalası.

$\aleph_w$, n bir doğal sayı olmak üzere alef sıkalasındaki bütün $\aleph_n$ ’lerden sonra gelen sayıdır. Küme teorisinin seçme aksiyomuna² dayanılarak bütün sonsuz kümelerin

¹ Bu teoremin ispatı Gödel teoreminin giriş bölümünde verilecektir.

² Axiom of choice(AC): Boş elemanı olmayan kümelerden (y diyelim) oluşmuş bir x kümesi üzerinde, her bir y ’ye uygulandığında y ’nin elemanlarından birini veren fonksiyon tanımlanabilir. $\forall x(\forall y(y \in x \ \& \ y \neq \emptyset) \rightarrow \exists f(f \text{ bir fonksiyon} \ \& \ \text{domain}(f) = x \ \& \ \forall y(y \in x \rightarrow f(y) \in y)))$. Bu, eğer bir küme boş olmayan kümelerden oluşmuşsa, bu küme içindeki her bir kümenin bir elemanı belli bir kural dahilinde seçilerek yeni bir küme oluşturulabilir şeklinde de yorumlanmaktadır.

eleman sayısının (dolayısıyla C 'nin) alef sıkalasında yerinin gösterilebileceği ispatlanmıştır. Başta Cantor olmak üzere birçok seçkin matematikçi süreklilik probleminin çözümünü bulamamıştır. Bununla ilgili tek tutarlı ispat J. Koenig tarafından 1905 yılında yapılmıştır. Bu ispat C 'nin $\aleph_w$ 'dan küçük olduğudur.

1939 yılında Kurt Gödel ve 1963 yılında Paul Cohen şu anda bilinen küme teorisinin aksiyomlarıyla $C = \aleph_1$, $C = \aleph_2$, $C = \aleph_3$, ... eşitliklerinin çelişkisiz bir biçimde gösterilebileceğini ispatlamışlardır. İnşa edilebilirlik aksiyomunu¹ kullanarak T.J. Jech 1971'de ve K.J. Devlin 1977'de $C = \aleph_1$ olduğunu göstermişlerdir. Belirlilik aksiyomuna dayanılarak C 'nin, seçme aksiyomunun gösterdiğinin tersine, alef sayıları cinsinden belirlenemeyeceği E.M. Kleinberg tarafından 1977'de gösterilmiştir. Değişik aksiyomlar kullanılarak farklı sonuçlara ulaşılmıştır. Netice olarak bu problemin karar verilemez olduğuna karar verilmiştir.

Bunlardan başka çelişkiye sebep olan veya doğruluğu hakkında karar verilemeyen başka teoriler ve varsayımlar da vardır. Mesela ikiz asal sayıların sonsuz olduğu sezgi yoluyla bir varsayım olarak öne sürülmüş, ancak aksiyomatik olarak ispatlanamamıştır.

Aksiyomatik sistemlerin tutarsızlıklarından kurtulmak için başka aksiyomatik sistemler öne sürülmüş veya varolanlar geliştirilmiş ama bunlar da sonuçta benzer problemlere sebep olmuşlardır. Russell kendi paradoksundan kurtulmak için Principia Mathematica kitabında tipler teorisini öne sürmüştür. Buna göre varlıkları bireylere, bireyleri özelliklerine, özellikleri onların özelliklerine vb. şeklinde ayırmak suretiyle bazı paradokslardan kurtulunabildiğini göstermiştir. Russell'ın kendi paradoksu bunlardan biridir, ancak bu yaklaşım süreklilik problemine çözüm getirmez. Aksiyomatik yaklaşımlardan en dikkate değer Zermelo-Fraenkel aksiyomatik sistemidir. Kabaca, bu sistemde, çelişkiye sebep olan sonsuz kümeler sınıflar olarak tanımlanmıştır. Bu şekilde oluşturulan sınıflara uygun sınıflar denir. Bu, süreklilik probleminin çözümünü sağlamasa bile çelişkiye sebep olmamaktadır. Aksiyomatik sistemler inşa etme ve bunların eksikliklerini giderme noktasındaki en geniş yaklaşımı David Hilbert yapmıştır. David Hilbert'in bu yaklaşımı bilgisayar bilimi ve yapay zeka alanındaki öncü insanların çıkış noktası olduğu için sonraki kısım bu konuya ayrılmıştır.

¹ Axiom of Constructibility.

3.1.1.4. Hilbert'in Programı

19. yüzyılın sonlarında matematikçiler geliştirdikleri aksiyomatik sistemler sayesinde matematiği sağlam temellere oturtmaya başladıklarını düşünüyor ve ispatlarında bu sistemleri fazlaca güvenerek kullanıyorlardı. Yöntemlerin çoğu sonsuz elemanlı kümelere ve Cantor'un bunları temel alarak geliştirdiği sonsuz sayılar kavramına dayanıyordu. Ancak yukarıda bahsedilen Russell paradoksu, süreklilik hipotezi ile ilgili çelişkiler gibi tutarsızlıklar aksiyomatik sistemlere ve özellikle küme teorisine olan güveni sarstı. Bu gelişmelerden sonra Russell ve Alfred North Whitehead aksiyomlardan ve yöntemsel kurallardan oluşan son derece biçimsel bir matematik sistemi geliştirmeye başladılar. Russell'ın kendi paradoksuna ve diğer paradokslara sebep olan durumlardan sakınmak için son derece dikkatle seçilmiş kurallar ve aksiyomlar kullandılar. Bu büyük bir proje olmasına rağmen kendi kapsamında yer alan çıkarım yöntemleriyle sınırlı kaldı. 1904 yılında David Hilbert bundan daha geniş, daha doğrusu herhangi bir matematik alanı ile ilgili bütün doğru matematik çıkarım çeşitlerini dahil edileceği "perestroika" adlı programını önerdi [7]. Bu program iki ana kısımdan oluşuyordu.

- Bütün matematik, sezgilerden ve önceki aksiyomatik sistemlerin çelişkilerinden arındırılmış bir biçimde formel sisteme dönüştürülecek.
- Bu formel sistemin tutarlılığı gösterilecek.

Bu programın 1. kısmı, fonksiyonlar, süreklilik, reel sayılar gibi kavramların formel tanımının yapılması, geometri ve aritmetiğin aksiyomlaştırılması gibi çalışmalar şeklinde zaten sürmekteydi. Asıl önemli olan kısım bu şekilde formelleştirilmiş bütün matematiğin tutarlılığını ispatlamaktı. Burada ortaya çıkan en önemli sorun tutarlılık ispatının hangi teori kullanılarak yapılacağı idi. Bir T teorisinin tutarlılığını ispatlamak için T'den daha tutarlı bir teori kullanmamız gerekir. Şüpheli bir teoriyi kullanarak tutarlılığını ispatladığımız bir teorisin tutarlı olduğuna güvenemeyeceğimiz açıktır. Hilbert'in programında T bütün bir matematik olduğuna göre ispat yine matematik içinde yapılmak zorundadır. Matematikte bunun için kullanabileceğimiz iki güvenli ve yeterince geniş sistem mevcuttur.

1- Aritmetik çıkarım. Burada sadece doğal sayılar ve bunlara benzer ayırık nesneler kullanılır.

2- Küme teorisi. Cantor'un geliştirdiği sonsuz kümeler teorisi kullanılarak çıkarım yapılır.

Cantor'un geliştirdiği sonsuz kümeler ve bunun paralelinde sonsuz ve sürekli sayılar bazı çelişkiler bulundurduğundan Hilbert 1. yaklaşımla bunun ispatlanabileceğini düşünüyordu.

Hilbert programını açıkladıktan sonra, ilk çıkışı Henry Poincare yaptı. Poincare'in itiraz ettiği nokta şu idi: Matematiğin tutarlı olduğunu 1. yaklaşımın temelini oluşturan indüksiyon prensibiyle ispatlamakla çevrimsel bir yapı kullanılmış oluyordu. Yani matematiğin tutarlılığı demek zaten indüksiyon prensibinin tutarlılığı demekti. Poincare'in bu yaklaşımı gerçekten çok önemli bir yaklaşımdı ve ancak 25 yıl sonra Kurt Gödel'in bütün matematiğin tutarlılığının karar verilemez olduğunu ispatladığı teoremiyle önemi anlaşılıyordu; çünkü Gödel'in ispatı da buna benzer bir çevrimsel yapıya dayanıyordu.

3.1.2. Gödel Teoremi

Formel sistemlerin yetersizliklerini mükemmel bir şekilde gösteren ve makinelerin insanları taklit edemeyeceğine delil olarak gösterilen Gödel teoreminin ispatına geçmeden önce, Gödel'in böyle bir ispatı geliştirmesine zemin hazırlayan birkaç noktayı inceleyelim.

3.1.2.1. Gödel Teoreminin Dayandığı Temeller

1- Yalancı Paradoksu

Bu paradoksun başlangıcı M.Ö. VI. yüzyıla kadar dayanır. Bu yıllarda yaşamış bir diyalektik mantıkçı olan Epimidenes vatandaşı olduğu ülke X için "Bütün X'liler yalancıdır" şeklinde bir cümle sarfetmiştir. Bu cümlemin doğruluğunu araştıralım.

Eğer bu cümle doğruysa Epimidenes kendisi de yalancıdır; yani sürekli yalan söylüyordur. Dolayısıyla X'liler hakkında söylediği bu cümle, kendisi de yalancı

olduğu için, yanlıştır; yani yalancı olmayan en az bir X'li vardır. Cümlenin doğruluğundan yola çıkıp tersini bulduk. Bu bir çelişkidir.

Eğer Epimidenes'in bu cümlesi yanlışsa yalan söylemeyen en az bir X'li vardır. Epimidenes kendisi yalancıysa burada bir çelişki yoktur.

Burada tam bir paradoksa ulaşamadık. Sadece, "eğer bir X'li bütün X'liler yalancıdır derse yalancı olmayan en az bir X'li vardır" gibi tuhaf bir sonuçla karşılaştık. Bu tip cümlelerin birkaç versiyonu daha vardır. Ancak uzatmamak için tam bir paradoksa sebep olan cümleye geçelim.

"Ben şu an yalan söylüyorum" cümlesini inceleyelim.

Eğer bu cümle doğruysa, yani bunu söyleyen, dediği gibi şu an yalan söylüyorsa, bu cümle yanlış olmalıdır. Burada bir çelişki vardır.

Eğer bu cümle yanlışsa, bu kişi yalan söylemiyordur; dolayısıyla bu cümlenin doğru olması gerekir. Bu da bir çelişkidir.

Her iki durumda da çelişkinin olduğu bu paradoksa "yalancı paradoksu" denir. "Şu an yazıyorum", "Şu an okuyorum" gibi cümleler ya doğru, ya yanlış olmasına rağmen yalancı paradoksu'ndaki benzer bir cümlenin paradoksa sebep olması bu cümlenin kişinin yaptığı başka bir şeyle değil, tamamen kendisiyle ilgili olmasıdır. Buna "kendine-referans"¹ denir ve Gödel teoreminde önemli bir yer teşkil eder.

Bunun önermeler mantığındaki karşılığı p: "p yanlıştır" şeklinde bir ifadedir. Burada, bir önermenin kendine-referans vermesinden daha önemlisi önermeler sisteminin bütünü için böyle bir durumun olmasıdır. Yani sistem için de kendine-referans söz konusu olabilir. Mesela;

p1: p2 yanlıştır.

p2: p1 doğrudur.

¹ Self-reference: Bir sistemin kendisi hakkında yargıda bulunmasıdır. Daha çok formel sistemlerin kendi içindeki teoremlerinin yine kendilerinin tutarlılığını ve yeterliliğini ispatlamada kullanmasına denir.

şeklinde iki önermeden oluşmuş bir sistem çelişkiye sebep olur. Bunu şu şekilde genişletebiliriz:

q1: q2 yanlıştır.

q2: q3 yanlıştır.

q3: q1 yanlıştır.

Bu tür çelişkilerden kaçınmak için yapılan çalışmalar sırasında ifadelerin doğruluk değerleri için 2 değil, 3 değer kullanma fikri gelişmiştir [7]. Buna göre bir ifadenin doğruluk değerleri;

- Doğru
- Yanlış
- Doğruluk değeri belli olmayan (karar verilemez)

şeklinde genişletilmiştir. Aslında bundan amaç, yukarıdaki gibi doğruluğu ve yanlışlığı karar verilemeyen önermeler için bir çıkış yolu bulmaktır. Bu, ileride karşılaşacağımız, Gödel cümlecığının formel sisteme eklenip formel sistemin “yeterli” hale getirilmesi şeklinde bir yaklaşımla benzerlik gösterir. Yukarıdaki üçüncü doğruluk değerinin eklenmesi, çelişkiye düşmeme noktasında hiçbir şeyi değiştirmez. Şöyle bir önerme tasarlayalım.

q: q yanlıştır veya q’nun doğruluk değeri belirlenemez. Bu cümleyi şöyle de ifade edebiliriz:

q: q yanlıştır veya q karar verilemezdir.

Eğer q doğruysa, önermeye göre q yanlıştır veya q karar verilemezdir. Bu durumda çelişkiye düşülür.

Eğer q yanlışsa, o zaman q yanlış veya karar verilemez değildir; yani q doğrudur. Burada da bir çelişki vardır.

Eğer q karar verilemezse, önermeye göre q doğrudur. Bu da bir çelişkidir.

Önermelerin daha çok sayıda sınıflara ayrılması da düşünülen paradokslar için çözüm getirmemiştir. Bu şekildeki yalancı paradoksu’na “genişletilmiş yalancı paradoksu” denir.

2- Cantor'un Köşegen Teoremi

Köşegen yöntemi, Cantor'un 1873 yılında reel sayıların sayılamaz olduğu ile ilgili ispatında kullandığı bir yöntemdir. Aslında Cantor bu yöntemi kullanarak 0 ile 1 arasındaki reel sayıların sayılamaz olduğunu göstermiştir. İspat şöyledir: 0 ile 1 arasındaki reel sayıların sayılabilir olduğunu düşünelim ve bunları $a_1, a_2, \dots, a_n, \dots$ şeklinde sıralayalım. Bu şekilde sonsuz sayı¹ vardır. Sayılabilir den kasıt 0 ile 1 arasında oluşturulacak bütün sayıları listede bir yerde bulabilmektir.

Sayıların şu şekilde olduğunu düşünelim: $a_i = 0.a_{i1}a_{i2}\dots a_{ij}\dots$

Böylece listemiz ;

$0.a_{11}a_{12}\dots a_{1n}$

$0.a_{21}a_{22}\dots a_{2n}$

.....

.....

$0.a_{n1}a_{n2}\dots a_{nn}$

.....

.....

şekline gelir.

Şimdi şöyle bir reel sayı tanımlayalım: $b = 0.b_1b_2\dots b_n$

Burada i'nin bütün değerleri için;

$b_i = a_{ii} + 1$, eğer a_{ii} 9'dan farklıysa

$b_i = 9$ 'dan farklı herhangi bir sayı, eğer a_{ii} 9'a eşitse

¹ Sonsuzluk sayılamazlık manasında değildir. Bununla ilgili 3 kavram mevcuttur: Sonsuz sayılabilir (doğal sayılar ve doğal sayılarla birebir eşlenebilen bütün kümeler), sonsuz sayılamaz (reel sayılar kümesi) ve sonlu kümeler.

Burada tanımlanan b sayısı a_1 'lerden birine eşitse reel sayılar kümesi sayılabilir, b , a_1 'lerden farklıysa reel sayılar kümesi sayılamaz. b , ilk ondalık basamağı olan b_1 a_1 'in ilk ondalık basamağından farklı olduğu için ($b_1 = a_{11} + 1$ şeklinde verilmişti) a_1 'e eşit değildir; 2. ondalık basamağı a_2 'nin 2. ondalık basamağından farklı olduğu için a_2 'ye eşit değildir,... n. ondalık basamağı a_n 'nin n. ondalık basamağından farklı olduğu için a_n 'e eşit değildir. Görüldüğü gibi b listenin hiçbir yerinde yoktur.

Burada dikkat edilmesi gereken bir husus listedeki sayıların indislerinin iki farklı amaçla kullanıldığıdır. Birincisi sayının listedeki yerini belirlemek, ikincisi ise ondalıktan sonraki herhangi bir basamağını göstermek içindir. Yani b 'yi a 'larla karşılaştırırken eşitsizliğe sebep olan a_1 'in 1. basamağı, a_2 'nin 2. basamağı... a_n 'nin n. basamağıdır.

3- Richard Paradoksu

Richard paradoksu, bir tanımdan kaynaklanır, yalancı paradoksu tipinde değildir. Tamsayıları bir dilde (Türkçe, İngilizce gibi) ifade ettiğimizi düşünelim. Burada harflerden, rakamlardan, noktalama işaretlerinden, vb. oluşan sonlu sayıda semboller kullanılsın. Buna göre sayıları ifade etmemizin birçok yolları vardır. Mesela 1 tam sayısını 1 şeklinde gösterebilirken “bir” şeklinde de ifade edebiliriz. Hatta kuralını vermek suretiyle “*”ın 1 sayısını, “**”ın 2 sayısını temsil ettiğini düşünebiliriz. Sayıları en az sembolle ifade edebileceğimiz bir yöntemi seçtiğimizi varsayalım. Şimdi, ifade etmek için 100 sembolden daha fazla sembol gerektiren sayıların alt kümesini oluşturalım. Bu kümedeki en küçük tamsayıyı şöyle ifade edebiliriz. “100 sembolden daha fazla sembolle tanımlanabilen en küçük tamsayı”. Ancak bu tanımlama kendisi 100 sembolden daha az sembol içerir ve belirttiğimiz sayıyı tanımlar; ancak sayıları en az sembolle ifade ettiğimiz varsayımına terstir. Bu, baştaki tanımımızın döngüsel olmasından kaynaklanan bir çelişkidir.

Kendine-referans vermek suretiyle çelişkiye sebep olan bu tip önermeler Gödel teoreminin çıkış noktasıdır.

3.1.2.2. Gödel Teoreminin İspatı

Gödel teoreminde temel fikir, formel olarak kendinin ispatlanamayacağını söyleyen bir ifade oluşturmaktır. Yani “ben ispatlanamam” şeklinde bir önermeye ulaşmaktır. Bu ispatı üç adımda yapabiliriz:

- Birinci adım, formel aritmetikte (FA ile gösterilir) tamsayılar arasında birebir ilişki kurmaktır. Bu işleme **Gödelleştirme** denir ve Gödel teoreminin en ince noktasını oluşturur.
- İkinci adım ise, FA’da bir teorem olup olmadığını bilmediğimiz $A(x)$ şeklinde bir önerme oluşturmaktır.
- Son olarak, $A(x)$ ’deki x yerine $A(x)$ ’in kendisini temsil eden tamsayı konulur.

1- FA’nın Gödelleştirilmesi (GFA’yı oluşturma): FA’nın gödelleştirilmesi (aritmatizasyon) şu şartları sağlar. FA’daki her teorem bir sayı olarak kodlanabilir. Her sayı FA’daki bir teoreme dönüştürülebilir. En önemlisi de her teorem iki şekilde yorumlanabilir. Bu yorumlardan biri FA’nın bir teoremi olması, diğeri ise FA’daki teoremler hakkında bir teorem olmasıdır. “Formel sistemdeki teoremler hakkındaki bir teorem”den kasıt o sistem içindeki teoremlerin ispatıyla ilgili meta-teoremi belirtmektir. Bu durumda FA kendi meta-teoremini içermiş olur. Konuyu daha iyi anlamak için şöyle devam edelim.

Öncelikle FA’daki her sembolü bir tamsayıyla ilişkilendirmeliyiz. Bu sayıya Gödel sayısı denir ve u sembolü için $G(u)$ değerini alır (Şekil 3.3).

U, u_i ’lerden oluşmuş bir ifade olmak üzere $G(U)$ tamsayı değerini bir f fonksiyonu kullanarak $G(U) = f(G(u_i))$ şeklinde elde edebiliriz. Burada bir açıklama yapmakta fayda var. Gödel bu dönüşüm için Çinli kalanlar teoreminden yola çıkıp epeyce karışık bir metod kullanmıştır [7, 10]. Burada amaç her bir teoreme karşılık tek bir Gödel sayısı bulmak olduğundan, aritmetiğin temel teoremi olan, “2 ve 2’den büyük tüm sayıma sayıları asal sayıların çarpımı olarak ifade edilebilir ve bu çarpım her sayı için tektir.” [11] şeklindeki teoremden yola çıkarak $G(U)$ ’yu u_i ’lerden şu şekilde oluşturabiliriz.

$$G(U) = 2^{G(u_1)} * 3^{G(u_2)} * 5^{G(u_3)} * * p_q^{G(u_q)} \quad (p_q, q' \text{nuncu asal sayıdır})$$

Buna göre Şekil 3.3'de verilen değerlerden yola çıkarak $x*0=0$ gibi bir ifadeyi $2^{53} * 3^5 * 5^3 * 7^2 * 11^3$ sayısı ile gösterebiliriz.

Herhangi bir P ispatı, teoremlerin (U_j) 'ler sıralanmasıyla oluşacağından ve her teorem (U_j) bir dizi sembol içerdiğinden herhangi bir ispat için $G(P) = f(G(U_j))$ şeklinde bir Gödel sayısı oluşturabiliriz.

U_1, U_r şeklindeki ifadelerden oluşmuş bir P ispatına karşılık gelen Gödel sayısı,

$$G(P) = 2^{G(U_1)} * 3^{G(U_2)} * 5^{G(U_3)} * * p_r^{G(U_r)} \text{ şeklinde ifade edilebilir.}$$

u	=	0	*	+	1	σ	⊃	¬	∨	∧	∀	∃	(	)	≡	x	y	
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	-------

G(u)	2	3	5	7	11	13	17	19	23	29	31	37	41	43	47	53	59	
------	---	---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	-------

Şekil 3.3. FA'nın sembollerinin aritmatizasyonu.

Buna göre FA'daki herhangi teorem tamsayılar üzerinde işlem yapma şekline dönüştürülebilir; aynı şekilde bunun ispatı da semboller üzerinde işlem yapma yerine sayılar üzerinde işlem yapmaya indirgenebilir. Daha kesin söylersek, "FA içinde ispatlanabilen herhangi bir t teoremi" için tek bir belirli sayı vardır. Bütün bunlardan yola çıkarak şöyle diyebiliriz:

Meta-FA formel sistemi tamsayılar kümesi N'den oluşur. Bu küme de FA'nın tanımında kullanılan sayılardan oluşur. Dolayısıyla, $\text{meta-FA} \subset N \subset \text{FA}$ yazabiliriz. *Böylece FA kendi hakkında teorem üretebilen bir sistem haline gelir.*

Bir ispatı bileşenlerine ayırmak için, oluştururken yaptığımız işin tersini yaparak asal sayı çarpanlarına ayırma metodunu kullanırız.

$2^{1981027125*2^{33}} * 3^{1981027125*2^{11}}$ ispatı iki ayrı bileşenden oluşmaktadır. Birinci bileşen $1981027125 * 2^{53}$, ikincisi ise $1981027125 * 2^{11}$ 'dir.

Faktörizasyon sonucu $2^{53} * 3^5 * 5^3 * 7^2 * 11^3$ ve $2^{11} * 3^5 * 5^3 * 7^2 * 11^3$ elde edilir. Bu; 53, 5, 3, 2, 3 ve 11,5,3,2,3 sembollerine karşılık gelir. Bu da, $x*0=0 \rightarrow 1*0=0$ haline dönüşür.

2- Gödel'in Tezi: Yukarıdaki Gödelleştirme işleminden sonra FA formel sistemi GFA'ya dönüşmüştür; her aksiom ve kural için aritmetik işlem yapılabilir. Böylece verilen bir T sayısının, t sayısı ile ifade edilen FA'daki bir teoremin ispatı olup olmadığını bulabileceğimiz tamamen sistematik bir yöntem vardır. Bu şekildeki t ve T'ler ikili oluşturur ve GFA'da bir sayıya karşılık gelir. Bu Gödel sayısı D(T,t) ile ifade edilebilir.

Şimdi başta belirttiğimiz A'nın, bir değişken içeren GFA'daki bir sayı olduğunu varsayalım. A'daki bu serbest değişkenin yerine A dahil herhangi bir sayı konulabilir. A burada bir sayıdır ve Cantor'un teoremi ve Richard paradoksundaki gibi iki amaç için kullanılır: A önermesi ve bu önermede A'daki değişkenin yerine konulacak değer. GFA'daki A sayısına karşılık FA'da AA önermesi geldiğinden-hareketle bunu daha kesin şu şekilde ifade edebiliriz:

AA: X ispatlanamaz.

Görüldüğü gibi AA ifadesi gerçekten bir değişkene sahip ifadedir. Burada X yerine AA koyarsak;

AA: AA ispatlanamaz şeklinde bir ifadeye ulaşırız.

Bu şekilde, teoremdaki değişkenin yerine teoremin kendisini koyma işini S^* ile gösterirsek $S^*(A,n)$ ifadesindeki n, A'daki serbest değişkenin yerini kendisi aldığı anda oluşan önermenin GFA'daki sayı karşılığıdır. Yani AA ispatlanamaz şeklindeki bir önermenin sayı karşılığı.

Gödel bu aşamada teorem olup olmadığı bilinmeyen bir ifade oluşturmuştur.

e $\neg ((\exists T)(\exists t) D(T,t) \& S^*(X,n))$ X serbest değişkendir.

3- Son aşama: e ile gösterilen ifadenin Gödel sayısı E olsun. X değişken olduğu için yerine E yazabiliriz. Burada E 'nin yerine kendisini koyduğumuzda sistem içindeki herhangi bir t sayısını elde edeceğimizden $S^*(E,t)$ yazabiliriz.

$\neg ((\exists T)(\exists t) D(T,t) \& S^*(E,t))$. Bu ifadeye e^* ve Gödel sayısına da E^* dersek, e^* 'ı şöyle yorumlayabiliriz.

- a) t , GFA'da bir teorem ve T de bunun GFA'daki ispatı olarak düşünüldüğünde (T,t) şeklinde ikililer yoktur. Bu durumda $S^*(E,t)$ şartı sağlanmaz. Ancak burada S^* herhangi bir dönüşümdür ve bunun sonucunda t gibi bir sayı elde edilebilir. Bu durumda T 'nin varolmadığını düşünebiliriz. Hangi durumu kabul edersek edelim bu e^* hakkında bir yorum değildir.
- b) t teoreminin olmasına rağmen T gibi bir ispat yoktur. Bu da t 'nin gerçek bir teorem olamayacağı sonucunu doğurur. Yeni bir yoruma ihtiyacımız vardır.
- c) E 'nin kendisinde yerine konulmasıyla oluşan değer GFA'da bir teorem değildir. Ancak bu bir çelişkiye sebep olur. Bunu kabul etmek istemezsek yeni bir yorum yapabiliriz.
- d) e^* GFA'da bir teorem değildir. Yani ispatlanamaz.

Buna göre e^* aslında “ben teorem değilim”, “ben ispatlanamam” şeklinde bir ifadedir ve bizi şu iki sonuca ulaştırır.

e^* bir teoremdir. Bu durumda FA tutarsız bir formel sistemdir. Çünkü e^* ve $\neg e^*$ aynı anda ispatlanmıştır.

e^* bir teorem değildir. Bu durumda tutarsızlık ortadan kalkar; ancak, e^* doğru fakat ispatlanamayan bir ifade olur.

Formel ispatı biraz karışık gibi görünen bu teoremin daha anlaşılır olması için formel olmayan bir şekilde şöyle ifade edebiliriz.

Tutarlı ve sistem içinde ispatı olan her teoremin doğru olduğu bir formel sistem düşünelim. Burada yalancı paradoksunda kendine referans veren ifadeye benzer şekilde “ G ispatlanamaz” şeklinde bir G önermesi seçelim. Eğer G ispatlanabilirse,

sistem tutarlı olduğu için G doğrudur; fakat doğru olan bu G önermesi G ispatlanamaz şeklindeydi. Dolayısıyla G ispatlanabilirse G ispatlanamaz şeklinde bir çelişkiye düştük. Bu durumun G'yi doğru kabul etmekten kaynaklandığını düşünüp G'yi yanlış durumu için değerlendirirsek bu durumda G'nin ispatlanabileceğini kabul etmiş oluruz; çünkü G başlangıçta, G ispatlanamaz şeklindeydi. Bu da sistem içinde yanlış olduğu halde ispatlanabilen, yani doğruluğu gösterilebilen bir önermenin varlığını dolayısıyla sistemin tutarsızlığını kabul etmek manasına gelir. G'yi ispatlanabilir kabul edersek G'nin yanlış ve doğru olması durumları bizi çelişkiye düşürüyor. Dolayısıyla G'nin ispatlanamaz olduğunu kabul etmek zorundayız. G zaten kendinin ispatlanamayacağını söylediği için bu doğrudur ve bizi çelişkiye düşürmez. Fakat bu durumda doğru ancak ispat edilemez bir önerme bulduk. Doğruluğu bilindiği halde ispatlanamayan bir önermenin varlığı, sistemin yetersiz olduğunu gösterir ve buna Gödel'in yetersizlik teoremi¹ denir.

Buradan şöyle bir sonuca ulaşırız:

Eğer bir formel sistem tutarsız değilse yetersizdir. Yani bir formel sistem ya tutarsızdır, ya da yetersizdir.

Gödel tipi önermeler son derece karmaşık ve tuhaf görünümlüdür. Ancak son yıllarda, Gödel tipi önermelere eşdeğer, oldukça basit ve kabul edilebilir önermeler ileri sürülmüştür. Mesela böyle bir önermeye örnek olarak aşağıdaki problem verilebilir.

Açıklama: Küçük harfler doğal sayıları, büyük harfler ise doğal sayıların sonlu kümelerini temsil etmek üzere $m \rightarrow [n, k, r]$ şu ifadeyi gösterebilir: " $X = (0, 1, \dots, m)$ ise k elemanlı alt kümelerinden her biri r adet kutuya dağıtılsa, en azından n elemana sahip öyle bir "büyük" Y alt kümesi vardır ki, Y 'nin tüm k elemanlı alt kümeleri aynı kutuya girer." Burada "büyük" kelimesi Y kümesinin, Y 'nin en küçük elemanı olan doğal sayıdan daha fazla sayıda elemana sahip olması anlamındadır.

Önerme: k, r ve n seçeneklerinden herhangi biri için öyle bir m_0 sayısı vardır ki, m_0 'dan büyük tüm m 'ler için, $m \rightarrow [n, k, r]$ ifadesi (yukarıda manası uzun şekilde verildi) daima doğrudur.

¹ Incompleteness theorem

Bu önermenin J. Paris ve L. Harrington tarafından Peano aritmetik (standart aritmetik) aksiyomları ile ilgili Gödel tipi önermeye eşdeğer olduğu gösterilmiştir. Aksiyomlardan yola çıkılarak ispatlanamayan, ancak “doğruluğu açıkça belli olan” bir önermedir [4].

Gödel, yetersizlik teoreminden sonra, formel sistemlerin tutarlı olup olmadığının karar verilemeyeceğini ispatlamıştır. Bu da Gödel’in formel sistemlerle ilgili ispatlarının 2.’sidir. Bu ispat şu şekilde yapılabilir.

Formel bir sistem olan FA’nın tutarlı olma durumunu $\text{Con}(\text{FA})$ şeklinde gösterelim. Bu önermenin doğru olup olmadığını araştıralım. Gödel’in 1. teoremine göre eğer FA tutarlıysa, FA içinde doğru fakat ispatlanamayan bir G önermesi vardır. Yani $\text{Con}(\text{FA}) \rightarrow G$ ’dir. Tutarlılık ispatını da yine bir matematik sistemiyle (mesela birinci dereceden aritmetik, PA, ile) yapmak zorundayız. FA tutarlı olsun. Buna göre PA $\text{Con}(\text{FA})$ ifadesini ispatlar. $\text{Con}(\text{FA})$, G’yi gerektirdiği için PA G’nin de doğru olduğunu ispatlayacaktır. FA’yı yeterince geniş bir sistem olarak düşündüğümüzden PA’yı bütünüyle kapsar, yani PA’daki tüm teoremleri ispatlayabilir. Dolayısıyla buradan FA G’yi ispatlayabilir sonucu çıkar. Ancak Gödel’in yetersizlik teoremine göre FA’nın G’yi ispatlayabilmesi için tutarsız olması gerekir. Buna göre, PA $\text{Con}(\text{FA})$ ’yı ispatlarsa FA tutarsızdır. PA $\text{Con}(\text{PA})$ ’yı ispatlarsa PA tutarsızdır. PA’nın kendi tutarlılığını ispatlaması onun tutarsız olduğunu, tutarsızlığını ispatlaması ise tutarlı olduğunu gösteriyor. Bu, PA’nın tutarlılığına karar verilemeyeceğini gösterir.

3.1.2.3. Gödel Teoreminin Yorumu

Gödel’in 1. teoreminin direk sonucu insanın düşünce sisteminin formalize edilemeyeceğidir. Bir formel sistemin doğru olduğu halde ispatlayamadığı, ancak insanın sezgisiyle görebildiği önermelerin varlığı insan sezgisinin formel sistemlerden üstünlüğünü ve onun algoritmik olmayan düşünce yapısını gösterir.

Tanınmış bir matematikçi ve mantıkçı olan Solomon Feferman bir makalesinde [12] şöyle demektedir:

“.. Gödel’in yetersizlik teoremi matematiksel mantıktaki en önemli teoremler arasındadır ve matematiksel düşüncenin tabiatı hakkındaki temel soruların ortaya

çıkmasına sebep olmuştur. İnsan zihninin bilgisayar modeli yaklaşımının yanlışlığına beni inandırabilmiştir. Zihnin bilgisayar modeline sempati duyanların, Gödel teoreminin kendilerini niçin bağlamayacağını mantıklı açıklamasını yapmaları gerekir...”

Lucas ise;

“Ne kadar karmaşık, gelişmiş makine inşa edersek edelim, formel yapısına bağlı olarak sistem içinde ispatlanamayan bir formül bulmak için Gödel işlemine maruz kalacaktır. Bunun doğruluğunu insan zihni görebildiği halde makine doğru olarak üretemeyecektir. Dolayısıyla bu makine hiçbir şekilde insan zihnini modelleyemez.” şeklinde görüşünü açıklamaktadır [13].

İnsan zihninin algoritmik olarak modellenemeyeceğini en çok savunanlardan ve bu konuda Gödel teoremini aşırı şekilde kullananlardan biri olarak Roger Penrose [3, 14] şu yorumu yapmaktadır.

“Sezgisel yollarla anlama, yalnız algoritmik yöntemlerle başılamayacak bir işlem gerektirir.” [4].

Aynı kitabın farklı bir yerinde ise Penrose şöyle demektedir:

“Bir algoritmanın gerçekten işe yarayıp yaramayacağına karar vermek için, bir başka algoritmaya değil sezgilere ihtiyacımız vardır.”

İnsanın üstün olduğuna delil getirmek için Gödel teoremi kullanılarak olmayana ergi yöntemiyle şöyle yaklaşım da yapılmaktadır [3, 15].

- 1- Akıl yürütme özelliğimizin bir F formel sistemi tarafından kuşatıldığını kabul edelim. Yani biz F 'yiz. (F tarafından tamamen ifade edilmekteyiz.)
- 2- F formel sistemi tutarlı olduğuna göre biz de tutarlıyız.¹
- 3- F sisteminin Gödel cümlesi olan $G(F)$ 'in doğru olduğunu biliyoruz.

¹ Burada, F formel sisteminden farklı olarak biz “biz F 'yiz” bilgisine de sahibiz. Bu şekildeki eleştirilerden dolayı ispat, “biz F 'yiz” bilgisi de F 'ye eklenip yeni bir F' formel sistemi oluşturularak yapılmaktadır.

4- Fakat $F, G(F)$ 'in doğru olduğu çıkarımını yapamıyor. (Gödel teoremine göre).

5- Bu, başta kabul ettiğimiz F 'nin bizi tamamen ifade ettiği varsayımına aykırıdır. Çünkü F 'den farklı olarak bizim doğruluğunu gördüğümüz bir cümle bulduk.

Dolayısıyla F formel sistemi bizim akıl yürütme özelliğimizi tamamen ifade edemez.

Konuya formel sistemlerin ve insanın tutarlı olduğu kabul edilerek yaklaşıldığında söylenebilecek şey özet olarak insanın düşünme sisteminin formel sistemler cinsinden ifade edilemeyeceği, insanın formel olarak çalışan makinelerden üstün olduğudur. Burada insan sezgisinin üstünlüğünü gösteren birkaç örnek verdikten sonra konuya başka açılardan yaklaşmaya çalışalım.

$a \times b = b \times a$ eşitliğinin doğruluğunu formel bir şekilde ispatlamanın hiçbir yolu yoktur. Yani bu eşitlik bir formel sistemin Gödel cümlesidir (G), ve algoritmik olarak çözülemez. Ancak insan bunun doğruluğunu kendine has, fakat algoritmik olmayan yöntemlerle görebilir. Sol taraftaki çarpımı, b tane nesneden a grup var, sağ taraftakini ise, a tane nesneden b grup var şeklinde yorumlayabiliriz. Bu durumda $3 \times 5 = 5 \times 3$ eşitliğini şöyle gösterebiliriz.

3×5 için aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

(. . . .) (. . . .) (. . . .)

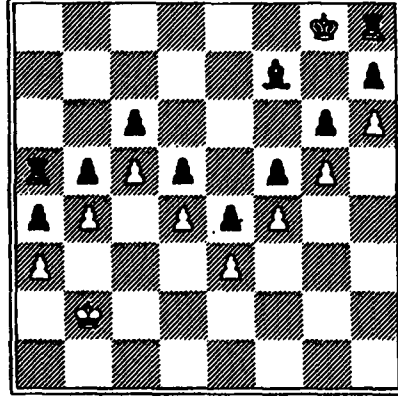
5×3 de benzer şekilde

(. .)(. . .)(. . .)(. . .)(. . .) ifade edilebilir. Bu durumda noktaların sayısının hiç değişmediği, sadece parantezlerin yerinin değiştiğini gördüğümüzden bunu bütün sayılar için genelleyerek formel olmasa da bir ispat bulabiliriz.

Bir başka örnek de bir satranç durumu ile ilgili verelim (Şekil 3.4)

Oyun bu durumdayken beyaz taşların sahibi bilgisayar oynayacaktır. Bu iş için geliştirilmiş “Deep Thought” adlı bilgisayar bu durumda kaleyi alıp siyahın önünü açmış ve mat olmuştur. Bir bilgisayarın bu hatayı yapması insanın üstünlüğünü elbette göstermez. Bizim açımızdan mesele, burada beyazın şahtan başka hiçbir taşı

oynamaması gerektiğiyle ilgili bir algoritma bulunamayacağıdır. İnsan bunun böyle olduğunu bir şekilde görmesine rağmen formel yollardan ispatlanamaz.



Şekil 3.4. İnsan sezgisini gösteren bir satranç durumu (Beyaz oynar).

Gödel teoremin bu yaklaşımla değerlendirilmesi en bilinen ve belki de en makul yoldur. Ancak yukarıda belirtildiği gibi burada yapılan yaklaşım sistemin tutarlı olduğu ve dolayısıyla bir G cümlesi içereceğidir. Gödel'in 2. ispatına göre bir sistemin tutarlı olduğunu söyleyebileceğimiz bir delil yoktur. Dolayısıyla formel sistemin tutarlı olmadığı veya tutarlı olup bunu bizim bulamadığımız durumları da gözönüne alarak yeni değerlendirmeler yapmamız gerekir. Böyle bir değerlendirmeye ilgili başvurabileceğimiz en temel kaynak Gödel'in bu konudaki kendi görüşüdür. Gödel başlangıçta insanların makinelerle göre üstün olduğunu düşünmesine rağmen [16], daha sonra ispatlarının bütünü gözönünde bulundurarak şöyle demiştir [17].

“Yapılan ispatlar temel alındığında halen matematiksel sezgiyle tamamen aynı olan bir teorem-ispatlayan¹ makine varolması mümkündür. Ancak bunun böyle olduğu ve sonlu sayılar teorisinin *doğru* teoremlerini vereceği *ispatlanamaz*”

Yani insanın matematiksel düşünce sistemini tamamen ifade eden bir formel sistem bulunsa bile insan böyle bir sistemin var olup olmadığını gösteremez. Aynı şekilde bu sistemin tutarlılığının ispatı da yapılamaz. Yani daha doğru bir şekilde şöyle diyebiliriz. Gödel teoremleri insanın zihinsel fonksiyonlarının hesaplanamaz olduğunu göstermez; sadece, insanın zihinsel fonksiyonları hesaplanabilirse, insanın aynı anda hem zihinsel

¹theorem-proving machine: Formel bir sistemi simüle eden makine.

fonksiyonlarının kapasitesini hem de bunların tutarlılığını bilmesinin mümkün olmadığını veya insanın tutarsız (yanlış yapabilir) olduğunu gösterir [18].

Formel sistemlerin tutarlılığı kabul edilmediğinde insanın düşünce sisteminin formelliği ile ilgili iki sonuç ortaya çıkıyor.

1- İnsan düşünme sistemini tam olarak anladığı ölçüde onun tutarlı olduğundan emin olamaz. Tutarlılığını bildiği ölçüde de onu formalize edebilecek ölçüde iyi anlayamaz.

2- İnsanın düşünme sistemi tutarsızdır.

Birinci yaklaşımla ilgili şunlar söylenebilir. Bir matematikçi standart Peano aritmetiğinin doğru teoremlerini bulmaya çalışsın. Bu sistem tutarlıdır. Peano aritmetiğinin tümevarım kuralıyla ispatlarını yapabilir. Tutarlı bir sistemden başlayıp doğru çıkarım yapma yöntemini kullandığı için hata yapma ihtimali yoktur. Daha sonra matematikçi ispatlarının otomatikleştiğini görerek bunları formalize eder; sistemin aksiyomlarını ve çıkarım kurallarını belirler. Bu sistem tamamen tutarlı olduğu için kendi sezgisiyle doğruluğunu gördüğü ancak sistemin ispatlayamadığı bir teorem, yani Gödel ifadesi mevcuttur. Matematikçi bu doğru ifadeyi aksiyom olarak sisteme dahil edebilir. Dolayısıyla yeni bir sistem elde eder. Ancak Gödel teoremine göre belli bir anda bir doğru ifadeyi sisteme eklememiz, yeni sistemin yeni bir Gödel ifadesi bulundurmasını engelleyemez. Buna göre yeni sistem de doğru fakat ispatlanamayan bir ifade içerir. Bu da sisteme dahil edilerek daha güçlü bir formel sistem elde edilir. Matematikçi daha güçlü formel sistemler elde etmek ve düşünce sistemini daha fazla formalize edebilmek için belli sıçramalar yaparak oluşan yeni formel sistemin kendi Gödel cümlesini kendine dahil edebileceğini düşünerek otomatikleşmiş bir formalizasyon sağlar. Ancak matematikçi yerine sistemin Gödel cümlesini kendine dahil edip yeni bir formel sistem oluşturması çelişkidir. Çünkü Gödel teoremine göre tutarlı bir formel sistem kendi Gödel cümlesinin doğruluğunu göremez. Ancak matematikçinin düşünce yapısını tamamen formalize edebilmesi için böyle sistematik bir metod gereklidir. Dolayısıyla (1) ya matematikçi belli bir noktadan sonra formalizasyon işlemini bitirmek zorunda kalacaktır, (2) ya da oluşan yeni sistemin tutarlılığını bilmeden bütün düşünce yapısını içeren formel bir sistem elde edecektir.

Burada aslında yine insanın düşünme sisteminin tam olarak formalize edilemeyeceği sonucuna ulaştık. Formalize edilebilse de tutarlılığından emin olunamaz. Ancak bu sonuç yukarıdakinden farklı olarak bilgisayarların veya formel sistemlerin insana göre yetersizliğini değil, insanların kendi düşünme sistemlerini anlamadaki yetersizliğini gösterir. Bu, insanın yeterince zeki olmamasından değil, kendi hakkında çıkarım yapan tüm sistemlerin düşecekleri kaçınılmaz bir durum olmasından kaynaklanır. Dolayısıyla Gödel teoremi insanlar için de geçerlidir. Zaten Gödel teoreminin temelini oluşturan ispat yapısı, onun sadece formel sistemlere uygulanacağını göstermez. Kendi hakkında yargıda bulunan formel olmayan bir ifade yazmakla da Gödel teoremini uygulayabiliriz.

Bu konuda Hofstadter şöyle bir yaklaşımda bulunmaktadır [8]:

“Gödel teoremini olduğu gibi anlamak yerine benzetim yoluyla başka alanlara uyarılmanın çok faydalı olacağını düşünüyorum. Gödel teoremiyle insan düşüncesi arasında benzerlik kurmanın iki önemli yolu var. Birincisi, insanın akıl sağlığıyla ilgili düşünmesi. İnsan kendinin aklı başında olduğu sonucuna nasıl varır? Bu garip bir döngüdür. Kendi aklınızı sorgulamaya başladığınızda kendinizle ilgili yargılarda bulunacağınız için kaçınılmaz olarak gittikçe daralan bir girdaba girersiniz. Herkes bir delinin bile dünyayı kendince tutarlı, garip bir mantıkla yorumladığını bilir; ancak insan kendisi saçma bir mantığa sahipse, kendi hakkında yargıda bulunacağını düşünürsek, bunu nasıl açıklayabilir. Bir cevabını bulamıyorum. Sadece Gödel’in ikinci teoremini hatırlatmakla yetiniyorum; kendi tutarlılığını söyleyen bir formel sistem tutarsızdır.”

Hofstadter’in bu konudaki yaklaşımı konuyu belki özetleyeceği için daha can alıcı kısım olan ikinci benzetimini de buraya almakta fayda var. Hofstadter şöyle devam ediyor.

“Gödel teoremiyle diğer benzerlik ise insanın kendi zihnini/beynini anlayamamasıdır. İnsanın kendi zihnini/beynini anlamasından mana şunlar olabilir. Bir tamircinin arabaların nasıl çalıştığını anladığı gibi, nasıl çalıştığı hakkında genel bir bilgiye sahip olmak; yaptıkları herhangi bir şeyi niye yaptıklarını tam olarak izah edebilmek; beyninin bütün düzeylerde fiziksel yapısını tam olarak anlamak; bir kitap veya bilgisayar içine bütün sinir bağlantılarını aktarabilmek; her sinaptik uyarıda, her nöron

faaliyetinde, her anda beyinde sinir ağırları düzeyinde neler olduğunu bilmek; Turing testini geçebilecek programlar yazabilmek; bilinçaltı, sezgi gibi kavramlar önemini kaybedecek derecede kendini mükemmel bir şekilde bilmek ...”

Hofstadter’in bu sözleri insanların kendilerini tam olarak taklit edebilecek sistemler geliştirmelerinin neden mümkün olamayacağını açıkça göstermektedir.

Biraz önce bahsedilen ikinci maddeye, yani insanın düşünme sisteminin tutarsızlığı varsayımına, dayanılarak varılan sonuç ise gerçekten ilginçtir. Buna göre, insanların düşünce sisteminin tutarsız olması onun tutarlı bir formel sisteme göre üstün olmasının asıl sebebidir. Gerçekten Gödel teoremini incelersek, formel sistemin tutarsız olması durumunda doğru olan bir önermenin ispatını yapabileceğini görürüz. Turing buradan yola çıkarak şöyle demiştir:

“...bir makineden yanlış yapmaması (yanılmaması) beklenirse, bu makine yeterince zeki olamaz. Bunun tamamen böyle olduğunu söyleyen birkaç teorem vardır. Fakat bu teoremler makinelerin hataya düşmemesi durumunda (yanılır gibi yapmamaları durumunda) ne kadar zekaya sahip olacaklarını söylememiştir.”

Burada Turing’in bahsettiği teoremler Gödel teoremi ve benzeri teoremlerdir. Turing, insanın doğru ve tutarlı olmayan düşünme sisteminin, onu tutarlı bir algoritmik yaklaşımdan üstün kıldığını savunmaktadır. İnsanın sezgisinin, onun yanlış yapabilme özelliğinden kaynaklandığını düşünmek en azından görünen şekliyle yanlış bir yaklaşımdır. Burada, insanın hatalarından öğrenmesi gibi yaklaşımların bu konuyla ilgisi yoktur. Çünkü hatalarından öğrenme, neticede doğru bilgiyi elde etme demektir. Buradaki püf nokta ise insanların ispat yapmada hataya meyilli olmalarının herhangi bir ispatı yaparken avantaj sağlayacağıdır. Gödel teoremi, belli varsayımlar yapıldığında böyle sonuçlar üretmesine rağmen, insanın düşünce yapısını bu açıdan değerlendirirken yapılacak yaklaşım, daha tutarlı kabullerle insanın düşünce yapısını en iyi ifade edebilecek alternatifi kullanmaktır.

3.1.3. Turing Makineleri

3.1.3.1. Hilbert'in 10. Problemi

Alman matematikçisi David Hilbert tarafından 1900 Paris Uluslararası Matematikçiler Kongresinde sorulan 23 sorudan 10.'su [19] olan ve bu sebeple Hilbert'in 10. problemi diye de bilinen Entscheidungsproblem 1928 Bologna Kongresinde tam olarak tanımlanmıştır. Bu problemin aslı "Diophantine denklemlerinin çözümünün olup olmadığını sonlu sayıda işlemden sonra belirleyebilir miyiz?" şeklindeydi. Bu denklemler ilk defa M.Ö üçüncü yüzyılda yaşamış Yunan matematikçi Diophantos tarafından incelendiği için bu adı almıştır. Birinci dereceden (lineer), ikinci dereceden, vb. şeklinde gruplara ayrılarak incelenip matematikte geniş bir araştırma alanı oluşturur. Fermat'ın, 350 yıldır çözilemeyip 1994 yılında İngiliz matematikçi Andrew Willes tarafından çözülen, son teoremi de Diophantine denklemleri (2. dereceden) arasındadır. Diophantine denklemlerinin çözümleri tamsayı olmalıdır. Tamsayı çözümleri yoksa bu denklem sistemi çözümsüzdür.

Diophantine denklemlerine örnekler:

1) $z^3 - y - 1 = 0$, $yz^2 - 2x - 2 = 0$, $y^2 - 2xz + z + 1 = 0$ denklem sistemi 2. dereceden bir diophantine denklem sistemidir. Bu denklem sisteminin çözümü $x = 13$, $y = 7$, $z = 2$ 'dir.

2) $6w + 2x^2 - y^3 = 0$, $5xy - z^2 + 6 = 0$, $w^2 - w + 2x - y + z - 4 = 0$ denklemleri 3. dereceden bir diophantine denklem sistemidir. Bu denklem sisteminin $w = 1$, $x = 1$, $y = 2$, $z = 4$ için çözümü vardır.

3) $6w + 2x^2 - y^3 = 0$, $5xy - z^2 + 6 = 0$, $w^2 - w + 2x - y + z - 3 = 0$ denkleminin çözümü yoktur. Çünkü 1. eşitliğe göre y çift sayı olmalıdır. Buna göre 2. eşitlikte z çift sayı olmalıdır. 3. eşitlikte ise $w^2 - w$ daima çift sayıdır. $2x$ çift, y ve z de çift sayı ve 3 tek sayı olduğundan eşitlik hiçbir zaman sağlanmaz.

Yukarıdaki anlatımlardan da anlaşılacağı gibi Diophantine denklemleri bir problem sınıfını oluşturur. Buna göre Hilbert'in problemi geniş kapsamlı fakat iyi tanımlanmış

bir sınıfta bulunan tüm matematik problemlerini çözmek için mekanik bir yöntem var mıdır, sonlu sayıda işlemten sonra bir çözüme ulaşılabilir mi şeklinde ifade edilebilir.

Bunun için, öncelikle mekanik yöntemden ne kastedildiği kesin bir biçimde ortaya konmalıdır.

3.1.3.2. Algoritma ve Hesaplama Kavramı

Algoritma kavramı, bilgisayarları ve bazı elektronik hesaplama aletlerini görmüş bizler tarafından, bir işlemi bir makinenin belli bir sırayla yapması olarak algılansa da, aslında bu kavramın temeli çok eskilere dayanmaktadır ve matematik bilimi içinde ortaya çıkmış bir kavramdır. Algoritma kavramı 9. Yüzyılda yaşamış Horasan doğumlu matematikçi el-Harezmi'nin (al-Khowarizm) adından gelmektedir. Eskiden algorizma olarak kullanılan bu kelime aritmetik kelimesiyle kurulan bir ilişkiyle algoritma şeklinde kullanılmaya başlanmıştır [4]. Aslında algoritmalar bundan önce de kullanılmaktaydı. Örneğin M.Ö 300'den beri bilinen Euclid algoritması iki sayının en büyük ortak bölenini bulmak için kullanılmaktaydı. Bu algoritmaya göre 1365 ve 3654 gibi iki sayının en büyük ortak bölenini bulmak için şöyle bir işlem sırası takip edilir. Büyük sayı küçüğe bölünüp kalan bulunur. Bu işlem 0 kalanı elde edinceye kadar devam eder. Bu algoritmanın akış diyagramı Şekil 3.5'de verilmiştir.

$$3654 / 1365 \text{ kalan } 924$$

$$1365 / 924 \text{ kalan } 441$$

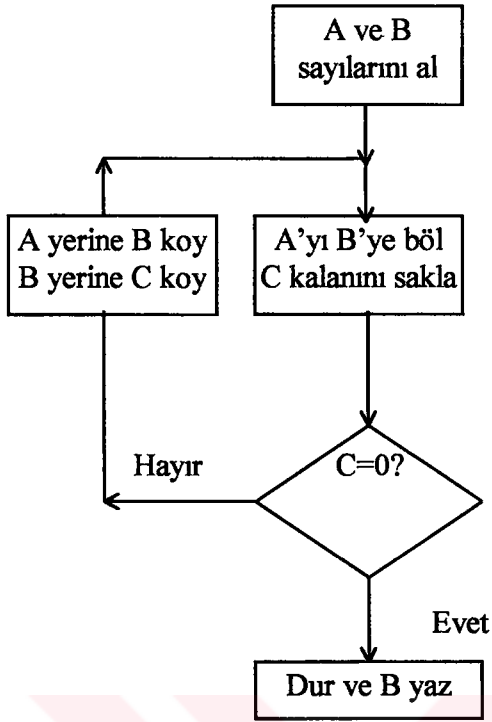
$$924 / 441 \text{ kalan } 42$$

$$441 / 42 \text{ kalan } 21$$

$$42 / 21 \text{ kalan } 0$$

En son bölen sayı, yani 21 sayısı, aranmakta olan en büyük ortak bölenidir.

Yukarıdaki örnekten görüleceği gibi algoritma, bir işlemi gerçekleştirmek için izlenen sistemli yöntemdir. Yukarıdaki algoritmayı bütün doğal sayılara uygulayabiliriz. Sayıların büyüklüğüne göre işlem süreleri ve bu işlemi bir kağıt üzerinde gerçekleştiriyorsak harcanan kağıt miktarı artabilir; fakat her seferinde sonlu sayıda işlemten sonra sonuca ulaşılır.



Şekil 3.5. Euclid algoritmasının akış şeması

Buna göre algoritmaların özellikleri şunlardır:

- Benzer özellikteki problemlerden oluşan problem sınıfındaki tüm problemleri çözebilecek genel bir metoddur.
- Girdi ve çıktıları olmalıdır. Belli girdilere karşı belli çıktılar vermelidir (Şekil 3.6).
- İyi tanımlanmış olmalıdır. Herhangi bir karışıklığa sebebiyet verecek ifadeler bulunmamalıdır. Yani belirli olmalıdır; bir durumdayken gerçekleştirilecek işlem ve oluşacak yeni durum kesin bir şekilde tanımlanmalıdır.
- Çalıştırılabilir özellikte olmalıdır.
- Sonlu olmalıdır. Yani sonlu bir işlem sayısından sonra çıktı elde edilmelidir.

Bunun dışında genel olarak algoritmalarından bahseden kitaplarda [20] algoritmaların kullanışlı olması da bir özellik olarak sayılır, fakat bu konuda algoritmalar ilke olarak ele alındığı için kullanışlılık önemli değildir.



Şekil 3.6. Algoritma

Algoritma örneklerinin bu kadar eskilere dayanmasına rağmen genel algoritma kavramının kesin olarak tanımlanması 1930’larda yapılmıştır. Bu yıllarda algoritma kavramını matematiksel temellere oturtmak ve formel temele dayalı açıklamalar yapmak için birçok yaklaşım geliştirilmiştir. Aslında bu yaklaşımlar Hilbert’in 10. probleminde geçen “sonlu sayıda işlem” tabirini kesin bir biçimde ifade etme ve problemin çözümü için gerekli mekanik sistemi bulma çalışmalarıdır. Bu yaklaşımlardan biri Alonzo Church tarafından Stephen C. Kleene’in yardımıyla geliştirilen lambda hesabıdır. Bu yaklaşım diğer yaklaşımlara göre daha soyuttur ve diğer yaklaşımların temelini oluşturan soyut makinelerden farklı olarak hesaplama ve algoritma kavramlarının matematiğe özgü olduğunu gösteren matematiksel temeli daha kuvvetli bir yaklaşımdır. Bunun dışında rekürsif fonksiyonlar teorisi, Markov algoritmaları, kayıt¹ makineleri, Post makineleri (Emile Post tarafından geliştirilmiştir) ve Turing makineleri, algoritma ve hesaplanabilirlik konularında ortaya konulan diğer yaklaşımlardır. Aslında Hilbert’in 10. problemi ile formel sistemlerle ilgili bölümde bahsettiğimiz Hilbert’in programı arasında sıkı bir ilişki vardır. Hilbert’in, iyi tanımlanmış problemler sınıfından kastı tam olarak formalize edilmiş problemlerdi. Bu problemleri çözebilecek bir algoritma geliştirilirse, aksiyomları ve kuralları belirlenmiş böyle bir algoritma yani program sayesinde, matematik tartışılmaz sağlamlıkta bir temel üzerine oturtulmuş olacaktı. Ancak Gödel’in 1931’deki teoremiyle böyle bir programın gerçekleşmeyeceği ortaya konmuş oldu. Daha sonra yukarıda belirtilen çalışmalar artık hangi tür problemlerin mekanik olarak çözülüp hangilerinin çözülemeyeceği şekline dönüştü. Bu yaklaşımların en önemlisi, hesaplanabilirlik kavramını en iyi açıklayan ve Turing’in 1936 yılında yayımladığı “On Computable Numbers, with an Application to the Entscheidungsproblem” adlı makalesinde ortaya attığı Turing makineleri kavramıdır [1]. Ayrıca bu makalede Turing mekanik

¹ register

yöntemden ne kastedildiğini açıkladıktan sonra, iyi tanımlanmış fakat mekanik denemeyecek bazı işlemlerin varlığını da göstermiştir.

Yukarıda anlatılanlardan da anlaşılacağı gibi insan beyninin fonksiyonlarının mekanik bir yaklaşımla modellenip modellenemeyeceği, bu fonksiyonların algoritmik olup olmadığı, veya beynin genelde hangi tip işlemleri algoritmik olarak gerçekleştirdiği, algoritmik olmayan fonksiyonlarının bu fonksiyonları modellemede çıkaracağı sorunlar ve alternatif çözümleri açısından algoritma ve hesaplanabilirlik kavramları önemli olduğu için bu kavramlara Turing makinesi yaklaşımıyla bakılmaya ve bu perspektiften beynin fonksiyonlarının hesaplanabilirliğine ilişkin soruya yorumlar getirilmeye çalışılacaktır.

3.1.3.3. Turing Makinesi Kavramı

Gödel'in teoreminden sonra Alan Turing 1935 yıllarında Entscheidungsproblem ile farklı bir açıdan ilgilenmeye başladı. Bunu, matematiğin bir aksiyom sistemi cinsinden yazılıp yazılamamasından daha geniş ve Hilbert'in kastedtiği manada "matematiğin tüm problemlerini birbiri ardınca çözebilecek genel bir mekanik yöntem var mıdır?" sorusu çerçevesinde ele aldı. 1936 yılında ise herhangi bir algoritmayı çalıştırabilecek şekilde tasarladığı hesaplama makinesini olan Turing makinesini icat etti. Turing makinesi, bir algoritmayı en genel şekilde ifade edebileceğimiz, matematiksel manada mekanikliği en iyi şekilde ifade eden soyut ve matematiksel bir kavram olarak makinedir. Turing makinesinin formel tanımından önce açıklamalı bir tanımını yapalım.

Bir Turing makinesi temelde bant, okuma-yazma kafası ve program olmak üzere üç ana bölüme sahiptir.

Bant sonsuz uzunluktadır. Herbir kareye bir sembol veya boşluk gelecek şekilde karelere ayrılmıştır. Bant sonsuz uzunlukta olmasına rağmen herhangi bir anda bantta bulunan boş olmayan kare sayısı sonludur. Bunların dışında kalan diğer kareler boş kabul edilir. Banttaki boş/dolu kare durumu program çalışırken sürekli değişir. Bant kısaca girdi ve çıktıları saklamak için kullanılır.

Okuma-yazma kafası belli bir anda banttaki bir kare üzerinde işlem yapar ve o andaki program komutuna göre çalışır. Sonlu sayıda duruma sahiptir. Aslında bu durumlar

makinenin aldığı iç durumlardır. Okuma-yazma kafası belli bir anda banttan bir sembol okuyabilir, bu sembole ve o anda bulunduğu duruma göre bulunduğu yere başka bir sembolü yazabilir, durumunu değiştirebilir ve bant üzerinde sola veya sağa hareket edebilir.

Program sonlu sayıdaki komutlar dizisidir. Bant üzerindeki sembole ve makinenin durumuna göre okuma-yazma kafasının nasıl hareket edeceğini ve banda ne yazacağını bildirir. Eğer belli bir andaki durum/sembol ikilisine ilişkin bir kural belirtilmemişse makine durur.

Buna göre bir Turing makinesinde altı temel işlem vardır. Bunlar:

Okuma: Belli bir anda bantta okuma-yazma kafasının bulunduğu noktadaki sembolü işleme sokma.

Yazma: Programda belirtilen kurala göre kafanın bulunduğu konuma istenen sembolün yazılması.

Sağa-Sola Hareket: Kafanın, okuma ve yazmayı gerçekleştirdikten sonra, komutta belirtilen şekilde bant üzerindeki konumunu değiştirmesi.

Durum Değiştirme: Makinenin, belli bir anda bir işlemi yaptıktan sonra komutta belirtilen içsel durumlardan birine geçmesi.

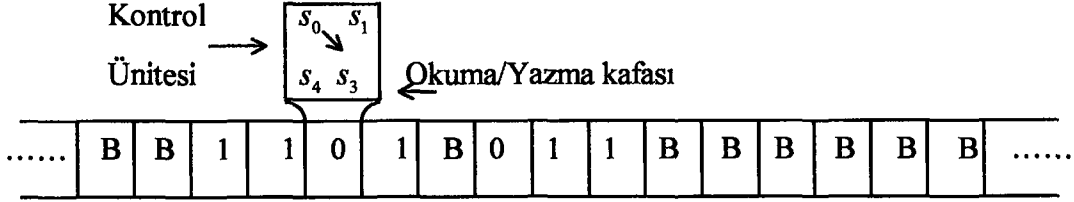
Durma: İşlenecek komut kalmadıktan sonra makinenin çalışmasını kesmesi işlemidir. Bu durumda artık çıktı üretilmiş demektir.

Yukarıda anlatıldığı şekilde bir Turing makinesi ilke olarak günümüz bilgisayarlarının yaptığı herşeyi yapabilecek genel bir hesaplama aletidir.

Turing makinesinin matematiksel tanımı bu konuyla ilgili yazılmış kitaplarda temelde aynı olmasına rağmen küçük farklılıklar göstermektedir. Ancak daha anlaşılır ve matematik ifade olarak daha düzgün olan şu tanımı verebiliriz [11].

$T = (S, I, f, s_0)$ şeklinde tanımlanabilecek bir Turing makinesi, durumların sonlu bir kümesi olan S , boş (B) 'da dahil sonlu semboller kümesi I , $S \times I$ 'dan $S \times I \times \{R, L\}$ 'ye tanımlı parçalı bir fonksiyon olan f ve başlangıç durumu s_0 'dan oluşmuştur. Burada f

fonksiyonunun parçalı olması, bazı {durum, sembol} ikilileri için tanımsız olabilmesi fakat tanımlı olduğu durumlarda ise bu ikiliye tek bir {durum, sembol, yön} üçlüsünün karşılık gelmesindendir. Herhangi bir andaki (s, x) ikilisi için f fonksiyonu tanımlıysa $f(s, x)=(s', x', d)$ olur. Buna göre bir Turing makinesini tanımlamak için (s, x, s', x', d) beşli yapısı kullanılabilir.



Şekil 3.7. Turing makinesi

Bu yapıdan yola çıkarak, Turing makinesi simülasyonu yapan bir programda herbir komut satırı durum:sembol-durum:sembol hareket şeklindeki 5'li yapıyla ifade edilebilir. Örneğin, 0:1-0:0R satırı "0. içsel durumda iken 1 sembolü okunuyorsa 0. durumda kal, bulunduğun yere 0 yaz ve sağa hareket et" manasındadır.

Aşağıdaki program 1'lik sistemde sayıya 1 eklemek için kullanılır.

0:0-0:0R

0:1-1:1R

1:0-1:1R.STOP

1:1-1:1R

3.1.3.4. Evrensel Turing Makinesi

Evrensel Turing makinesi belli özel işlemleri yapan (bir sayıya 1 ekleme, sayıyı 2 ile çarpma vb.) Turing makinelerini simüle edebilen bir Turing makinesidir. Özel işlemleri yapan Turing makinelerine T, evrensel Turing makinesine U dersek; U, T'yi oluşturan komutların 0'lar ve 1'ler halinde kodlanmış şeklini veri olarak alır. Daha sonra bu komutları, T makinesinin kendine girdi olarak verilen veriyi işlemesi gibi uygular. Yani U'nun bandının bir tarafında taklit edeceği makineler ile ilgili kodlar girilir. Sonra bu makinelerden herbirinin işlemesi istenen veriler U'nun bandına T'lerin komutlarından ayrılabilir şekilde girilir. İlke olarak bir farka sebep olmayacağı için U'yu iki bantlı tasarlayıp verileri bir banda, makine kodlarını diğer banda girebiliriz.

T makinelerinin U bandına kodlanması için değişik yaklaşımlar vardır. Konunun dağılmaması için bunların detayına girmeden, sadece durma problemine zemin hazırlamak amacıyla, yukarıda anlatılanları basit bir şekilde somutlaştırabiliriz.

0 için 0, 1 için 10, R (sağa hareket) için 110, L (sola hareket) için 1110, DUR için 11110 kullanılabilir. Buna göre her T makinesi bir sayıyla ifade edilebilir. Sayısı n olan Turing makinesine n'inci Turing makinesi denir ve T_n ile gösterilir. Mesela T_{12}

0:0-0:0R

0:1-0:0R

1:0-0:0R

şeklinde bir makinedir. Bu sadece bir örnek olarak verilmiştir. Pratik olarak hiçbir işe yaramayan, önüne gelen herşeyi silip sonsuza kadar hareket eden bir makinedir.

Belli sayıda adımdan sonra duran ve m verisine karşı p değerini üreten n'inci Turing makinesi $T_n(m) = p$ şeklinde gösterilir. Bunu bir evrensel Turing makinesiyle ifade etmeye çalışırsak $U(n,m) = p$ şeklinde yazabiliriz. Evrensel Turing makinesi 1 tane olduğu için indis olarak bir sayı belirtilmez. Bir fonksiyon olarak düşünüldüğünde aldığı ilk değer T makinesinin değeri n ve ikinci değer işlenecek veri m'dir.

Bir sonraki bölüme geçmeden önce Churh-Turing tezi olarak anılan, Turing ve Alonzo Church'ın aynı zamanlarda kendi icat ettikleri sistemlere (Turing, Turing makinelerine; Church, Lambda hesabına) dayanarak geliştirdikleri teze değinmek konunun daha iyi anlaşılması açısından faydalı olabilir.

1- Hesaplanabilen herşey bir lambda formuna sahiptir ve evrensel Turing makinesi ile ifade edilebilir. (Matematiksel Versiyonu)

2- Fiziksel olan herşey evrensel Turing makinesi ile ifade edilebilir. (Fiziksel Versiyonu)

3- Düşünülebilen herşey bir lambda formuna sahiptir ve evrensel Turing makinesi ile ifade edilebilir. (Bilişsel Versiyonu)

4- Herşey (bütün varlıklar) bir lambda formuna sahiptir ve evrensel Turing makinesi ile ifade edilebilir. (Ontolojik Versiyonu)

3. ve 4. madde gerçekte Turing ve Church'ün düşündüklerinin ötesinde bir yaklaşımdır ve bu bölümde işlenmek istenen konu dışına taşar. Bu nedenle bunlar üzerinde durulmayacaktır.

İlk maddede öne sürülen tez şunu ifade eder: Bir yöntem yeterince kesin ve mekanik ise, yani sezgiye yer bırakmayacak derecede formel olarak ifade edilmişse bu yöntemi uygulayacak bir evrensel Turing makinesi bulunur ve benzer şekilde sonuca lambda hesabıyla ulaşılabilir. Bu yaklaşım genelde kabul edilir. Zaten Turing makinesinin tanımını bu tezi içerir.

İkinci madde ise tartışmaya açıktır. Bu tez aslında Turing'in, insanın düşünce sistemini tamamen fiziksel ve hesaplanabilir saymasından kaynaklanmaktadır. Bu yaklaşım, insanın düşünme sistemi algoritmiktir ya da fiziksel evrende sezgiye yer yoktur ön kabulleri yapıldığında doğrudur. Aslında Church'ın tezi sadece 1. maddede belirtilen ifadedir. Church sadece formel sistemlerin mekanik ispatının kendi geliştirdiği yöntemle bulunabileceğini savunmuştur. Kuvvetli yapay zeka olarak adlandırılan ve insan beyninin fonksiyonlarını tamamen algoritmaya indirgeyen tezin 2. kısmı ise tamamen Turing'e aittir ve bu tezi 1950'deki makalesinde işlemiştir [2].

3.1.3.5. Turing Makinelerinin Durma Problemi¹

Hilbert'in daha önceden de bahsedilen "geniş kapsamlı fakat iyi tanımlanmış bir sınıfta bulunan tüm matematik problemlerini çözümlmek için mekanik bir yöntem var mıdır?" sorusuyla ifade edilen Entscheidungsproblem'ini, Turing, m sayısına uygulanan T_m makinesinin DURMA konumuna geçip geçmeyeceğine karar verme problemi olarak yorumlamıştır. Yani özel manada bir Diophantine eşitliğinin (Fermat'ın, $x^w + y^w = z^w$ denklemini $x, y, z > 0$, $w > 2$ için sağlayabilecek hiçbir doğal sayı yoktur şeklindeki son teoremi düşünülebilir) çözümünün olup olmadığına karar verebilmek için bu eşitliğin x, y, z, w değerlerinin herbiri için sağlanıp sağlanmadığını, bu iş için düşünülmüş bir Turing makinesinde test etmek gerekir. Bu makinenin durması demek, denklemi sağlayan sayıların bulunması demektir. Bu sayılar bulunmadığı sürece makine çalışacaktır. Bu makinenin hiç durmayacağına karar

¹ Halting Problem

verebilecek bir algoritmik yöntem geliştiresek problemin çözümünün olmadığını mekanik olarak göstermiş oluruz. Yani başta belirtilen, tüm matematik problemlerini çözebilmek için bir mekanik yöntemin var olup olmadığını belirleme problemi, “DURMA problemini cevaplamak için mekanik, yani algoritmik bir yöntem var mıdır?” sorusuna indirgenmiş olur. Böyle bir yöntemin bulunmadığını, yani DURMA probleminin çözülemez olduğunu Turing göstermiştir.

M sayısına uygulanan T_n makinesi bir cevap vermezse, yani durmazsa, bunu $T_n(m) = \square$ şeklinde ifade edelim. Yukarıdaki T_{12} makinesi m 'nin bütün değerleri için bizim açımızdan $\square$ olacaktır. Olmayana ergi yöntemiyle DURMA problemi ispatlanabilir. Bir makinenin durup durmayacağına karar verebilen bir algoritmanın var olduğunu düşünelim. H Turing makinesi, T_n 'nin m üzerinde işlem yapınca durup durmayacağına karar verebilsin. H çalıştığı banda, T_n durmazsa 0, durursa 1 yazsın.

$$H(n, m) = \begin{cases} 0, & T_n(m) = \square \\ 1, & T_n(m) \text{ durursa} \end{cases}$$

Mevcut bütün Turing makinelerinin m 'in mümkün olan bütün değerlerine uygulandığında aşağıdaki tablonun oluşacağını düşünelim.

$m \rightarrow$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	.....
n ↓										
0		$\square$	$\square$	$\square$	$\square$	$\square$	$\square$	$\square$	$\square$	.....
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	.....
2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	.....
3	0	2	0	2	0	2	0	2	0	.....
4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	.....
5	0	$\square$	0	$\square$	0	$\square$	0	$\square$	0	.....
6	0	$\square$	1	$\square$	2	$\square$	3	$\square$	4	.....
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	
197	2	3	5	7	11	13	17	19	23	.....
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	

İlerideki hesaplamalarımızda kolaylık sağlaması için yukarıdaki tabloda $\square$ 'leri 0'la değiştirelim. Bunun için H'nin önceden çalışıp $T_n(m)$ 'nin durup durmayacağını bulduğunu düşünelim. $T_n(m)$ duruyorsa bu makineyi çalıştırıp $T_n(m)$ sonucunu, çalışmıyorsa 0 değerini tabloya yazalım.

	$m \rightarrow$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	.....
n											
$\downarrow$											
0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	.....
1		0	0	0	0	0	0	0	0	0	.....
2		1	1	1	1	1	1	1	1	1	.....
3		0	2	0	2	0	2	0	2	0	.....
4		1	1	1	1	1	1	1	1	1	.....
5		0	0	0	0	0	0	0	0	0	.....
6		0	0	1	0	2	0	3	0	4	.....

Bu, $\square \times 0 = 0$ varsayımıyla $T_n(m) \times H(n,m)$ 'in oluşturduğu sayılardır. H makinesi elimizdeyse, $T \times H$ 'nin hesaplanabilir olduğundan ve bütün Turing makinelerini sistemimize dahil ettiğimizden hareketle yeni çıkan tabloya uygun sayılar üreten bir $R(n, m)$ makinesinin varolduğunu söyleyebiliriz. Yani, tablomuz her hesaplanabilir diziye içerdiğinden işimizi kolaylaştıran böyle bir yaklaşım doğrudur, ispatın akışına zarar vermez. Georg Cantor'un reel sayıların sayılamadıklarını ispatlarken uyguladığı "köşegen yöntemini" burada uygulayarak $1 + T_n(n) \times H(n,n)$ şeklinde ifade edilen ve köşegendeki sayılara 1 ekleyerek elde edilmiş sayı dizisini buluruz. Bu yeni dizi hesaplanabilen yani algoritmik bir yöntemle elde edildiği için tablonun bir yerinde bulunmalıdır. Ancak bu diziye elde edilmiş şeklimize baktığımızda dizinin, birinci elemanından dolayı tablonun ilk sırasından, ikinci elemanından dolayı ikinci sırasından, vs... farklı olduğunu görürüz. Bu da bizi çelişkiye düşürür. Dolayısıyla, başlangıçta var olduğunu kabul ettiğimiz H makinesi gerçekte mevcut değildir. Buna göre bir Turing makinesinin durup durmayacağına karar verecek evrensel bir algoritma yoktur.

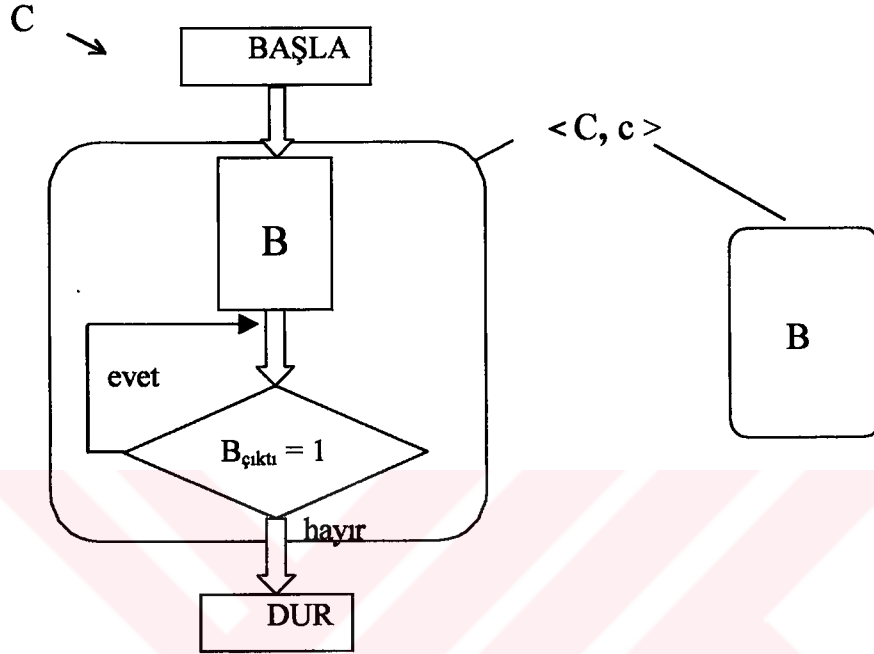
Başka bir yaklaşımla; hesaplanabilir olan $1 + R(n, n)$ 'yi oluşturacak bir Turing makinesi, T_k 'nın var olduğunu kabul edelim. Buna göre $1 + T_n(n) * H(n, n) = T_k(n)$ olur. Bu denklemde n yerine k koyarsak $1 + T_k(k) \times H(k, k) = T_k(k)$ elde ederiz. Bu da bir çelişkidir; çünkü $T_k(k)$ duruyorsa $H(k, k) = 1$ 'dir ve $1 + T_k(k) = T_k(k)$ elde edilir. Eğer durmuyorsa $1 + 0 = \square$ elde edilir.

Durma problemi farklı bir yaklaşımla şöyle ifade edilebilir. Herhangi bir P programı ve buna ait veriler verildiğinde bu programın durup durmayacağına karar veren Turing makinesi için bir program var mıdır? Böyle bir B programının var olduğunu kabul edelim.

$\langle B, veri \rangle$ program sona erip duruyorsa $B_{çikti} = 1$;

$\langle B, veri \rangle$ program durmuyorsa (mesela sonsuz döngüye giriyorsa) $B_{çikti} = 0$.

Ufak bir değişiklik yaparak aşağıdaki gibi bir algoritma (C) tasarlayalım.



Şekil 3.8. Durma probleminin akış diyagramıyla farklı bir şekilde ifadesi. B programı C programının durup durmayacağını anlamaya çalışıyor. C, B’de yapılan küçük bir değişiklikle oluşturulmuştur.

Bu yeni C programı, B’nin çıkışından belli şarta bağlı olarak devam eden bir programdır. Şimdi bu C programının durup durmadığını B’ye test ettirelim. B programına göre C programı duruyor ise ($B_{çikti} = 1$), üst diyagramdaki C programı durmuyor (sonsuz döngüye giriyor). Eğer B’ye göre C programı durmuyor ise ($B_{çikti}=0$), C programı duruyor. Her iki durumda da birbirine zıt sonuçlar elde ediyoruz. Buna göre baştaki varsayımımızın yanlış olduğu, yani böyle bir kararı verebilecek B programının olmadığı sonucuna varırız.

Buradan, algoritmaların geçerliliğinin yine bir algoritmayla karar verilemediği ve dışarıdan başka bir sistemin ancak bu kararı verebileceği, dolayısıyla böyle bir kararı verebilen insan sağduyusunun ve sezgisinin algoritmik yaklaşımlarla modellenemeyeceği sonucu ortaya çıkar.

Aslında, Turing ve Gödel değişik yollardan aynı sonuca varmışlardır: *Herhangi bir F tutarlı formel sistemi içinde ispatı bulunamayan ve mantıksal değeri **doğru** olan bir S cümlesi mevcuttur.* Farzedelim ki, yukarıdaki C programı duruyor. Bu durumda "C programı duruyor" önermesi **doğru**, fakat bunu algoritmik bir yöntemle elde edemiyoruz.

3.1.3.6. Durma Problemine Örnekler

1- "Sözcük-problemi (veya yarı gruplar için sözcük problemi)" olarak adlandırılan ve yapısı tamamen formel olan bir problemi ele alalım. Bu problemde amaç, iki sözcük verildiğinde birinden diğerine sistemin kuralları kullanılarak geçilip geçilemeyeceğini belirlemektir.

Alfabe: İngiliz alfabesindeki büyük harfler

İfadeler: Alfabe'deki sembollerin sonlu sayıdaki dizimleri

Aksiyomlar: LAP, CATERPILLAR, CARPET,... gibi verilen bir sözcüğe ulaşmak için başlangıçta verildiğini kabul ettiğimiz bütün sözcükler.

Kurallar:

EAT $\leftrightarrow$ AT
ATE $\leftrightarrow$ A
LATER $\leftrightarrow$ LOW
PAN $\leftrightarrow$ PILLOW
CARP $\leftrightarrow$ ME

Burada kurallar çift yönlüdür.

Mesela LAP'dan yola çıkarak şu şekilde yeni sözcükler oluşturabiliriz.

LAP = LATEP = LEATEP = LEAP dolayısıyla LAP $\Rightarrow$ LEAP yazabiliriz.

CATERPILLAR'dan MAN'i türetebilir miyiz? Yani CATERPILLAR sistemimizin bir aksiyomu olmak üzere MAN teoremini ispatlayabilir miyiz?

Geçişlerin daha iyi anlaşılması için kelimelerde bir sonraki adımda değişecek harfleri koyu, yerlerine gelen harfleri italik yapalım.

CATERPILLAR = CARPILLAR = CARPILLATER = CARPILLLOW = **CARPAN** =
MEAN = MEATEN = MATEN = MAN

Bu durumda CATERPILLAR aksiyomundan yola çıkarak, çıkarım kurallarını kullanıp MAN teoremini ispatlamış olduk.

Şimdi CARPET aksiyomundan yola çıkarak MEAT'e ulaşip ulaşamayacağımızı görelim. Aslında burada belirtmemiz gereken, iki kelimenin eşitliği durumunda algoritmik çıkarım yapabileceğimizdir. Yani, ancak bu durumda belli sayıda adımdan sonra sonuca ulaşabiliriz. Fakat eşitlik sözkonusu değilse sonuca ulaşamayız ve algoritmik olarak da herhangi bir adımda sonucu bulup bulamayacağımızı garanti edemeyiz. Dolayısıyla böyle bir problemde aslında olumsuz duruma bakmak gerekir. Sonuca ulaşamayacağımızı tam olarak bulmadıysak, yani sorunun cevabının olumsuz olduğunu bulamıyorsak, ancak o zaman kelime türetmeye başlamalıyız. Bu durumda olumsuz cevabı bulmanın sezgi gerektirdiği açıktır. Örneğimize dönüp, cevabın olumsuz olup olmadığına bakalım. Kurallar dizimizde eşitliğin iki tarafındaki sözcüklerde A'ların sayısı + W'lerin sayısı + M'lerin sayısı eşittir. CARPET sözcüğünde bu sayı 1 iken, MEAT sözcüğünde 2'dir. Dolayısıyla CARPET $\Rightarrow$ MEAT çıkarımı doğru değildir. Burada bir algoritma kullanmamıza rağmen, kullanılacak algoritmayı bulma işini algoritmik olarak yapmadık; sezgimizi veya algoritmayı aşan zekamızı kullandık. Formel sistemler üzerinde yapılan çalışmalar, sistem içinde çözümü algoritmik olmayan soruların var olduğunu göstermiştir [4]. Ancak bu tip sorularda insan algoritmik olmayan bir yaklaşımla cevabı verebilir. Bu da insanların problem çözmede formalizmin sınırlarını aştığını ve bu noktada makinelerden üstün olduklarını gösterir.

2- 4 kare sayının toplamı olarak elde edilemeyen bir sayı bulma: Fransız matematikçi Joseph L. Lagrange 1770 yılında bütün doğal sayıların 4 tamsayının karesinin toplamı ifade edilebileceğini bulmuştur. Mesela:

$$0 = 0^2 + 0^2 + 0^2 + 0^2$$

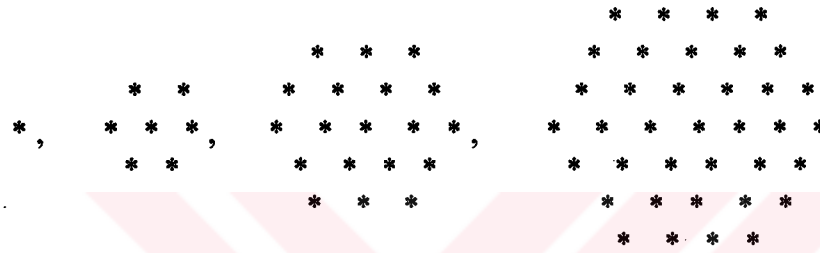
$$1 = 0^2 + 0^2 + 0^2 + 1^2$$

$$23 = 1^2 + 2^2 + 3^2 + 3^2$$

Bu kesin olarak ispatlandığı için 4 sayının karelerinin toplamı olmayan hiçbir sayı yoktur. Böyle bir sayıyı bulmak için bütün sayıları teker teker deneyen bir Turing makinesi asla durmayacaktır.

3- İspatı, insan sezgisine çok güzel bir delil olabilecek “altıgen sayı dizilerinin 1. elemandan itibaren sıralı toplamaları her adım için kübik sayıları verir” şeklindeki tezi inceleyelim.

Altıgen sayılar, kare sayıların kare şeklini oluşturması gibi altıgen oluşturan sayılardır. Buna göre 1, 7, 19, 37, 61, 91, 127 sayıları altıgen sayılardır. Bunlara karşılık gelen altıgenler de şöyledir:



Altıgen sayıların sıralı toplamaları da şöyle oluşturulabilir.

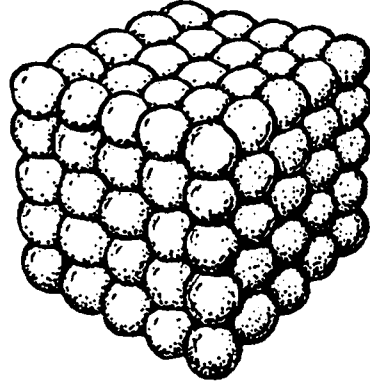
$$1 = 1, 1+7=8, 1+7+19=27, 1+7+19+37=64, 1+7+19+37+61=125, \dots$$

Görüldüğü gibi toplam sonuçları kübik sayılardır. Yani bu sayılar geometrik olarak küp şeklinde temsil edilebilirler.

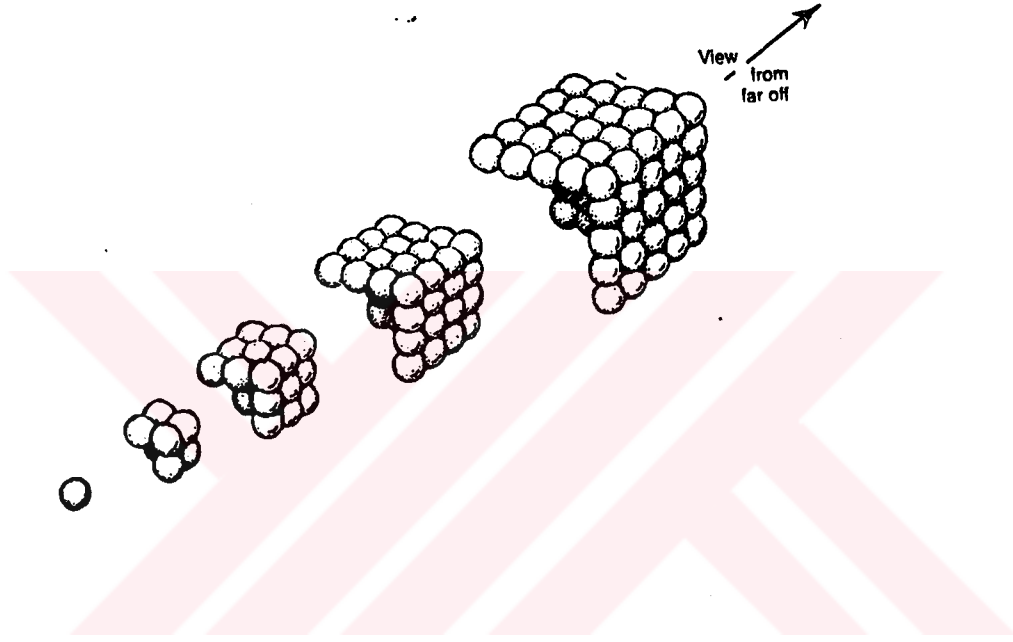
1’den başlayarak ardışıl toplamaları kübik bir sayıyı vermeyen sayıların toplamı nedir? Böyle bir sayının bulunamayacağı yukarıda anlatılanlardan çıkarılabilir.

Şekil 3.9.a’da görülen küpü, şekil 3.9.b’deki gibi benzer yapılar şeklinde açabiliriz. Bu yapılar düzgün bir şekilde 2 boyutlu bir düzlemde açıldığında bir altıgeni verir (Şekil 3.9.c).

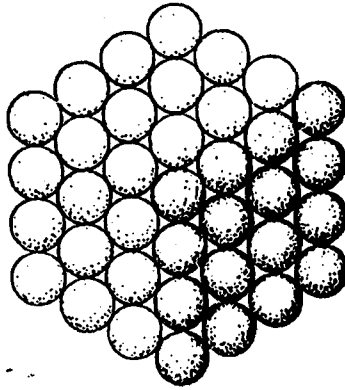
Bu problemler gibi mekanik yollarla çözilemeyen başka problemler de vardır. Konunun girişinde verilen Diophantine problemi bunlardan biridir. Bu tip problemlerin çözümsüzlüğü, Turing tarafından Turing makinesiyle gösterilmiş olsa da, algoritmik olarak çözülemeyeceğinin tam olarak ilk matematiksel ispatı Yuri Matiyasevich tarafından 1970 yılında yapılmıştır.



(a)



(b)



(c)

Şekil 3.9. Kübik sayıların, altgen sayılar şeklinde açılımının geometrik ifadesi (a) Kübik sayıların geometrik ifadesi (b) Kübün kurallı bir şekilde açılımı (c) Şekil (b)'deki herbir parçanın altgen şeklinde açılımı.

Bir yüzeyin, aralarında hiçbir boşluk kalmayacak ve üstüste binmeyecek şekilde çokgen şekillerle kaplanması problemi olan “karo kaplama” problemi de bu tip problemlere örnektir. Bu problemin algoritmik olarak çözülemeyeceğini Amerikalı matematikçi Robert Berger 1966 yılında, Hao Wang’ın önceden yaptığı çalışmalardan da faydalananarak, ispatlamıştır.

3.2. Sinir Ağları Yaklaşımı

Güçlü yapay zeka taraftarları 2’ye ayrılır. Bilgisayar modeli (veya hesaplamacı) yaklaşımı savunanlar: İnsan zihninin bir bilgisayardan farksız olduğunu, dolayısıyla genel manada, bir evrensel Turing makinesinin insanın zihninin fonksiyonlarını tamamen gerçekleştirebileceğini iddia ederler. Bu yaklaşım önceki bölümde ayrıntılı olarak incelenmiş ve eksiklikleri ortaya konulmuştur. Ancak bu eksiklikler daha çok bu yaklaşımın teorik temellerinden kaynaklanan (Gödel teoremi, Turing makinelerinin durma problemi gibi) eksiklikler olarak ortaya konulmuştur. Ancak bunun yanında belki bunların bir uzantısı olarak, bu yaklaşımın pratikte insan beyninin yapısını ve zihnin fonksiyonlarını taklit etmede de yetersiz kaldığı ve oluşturduğu modelin gerçeğinden farklı olduğu görülmektedir.

Bu farklardan biri hızdır. Bilgisayarlar çok büyük verileri insana göre çok daha hızlı bir şekilde işleyebilmektedirler. Aynı şekilde sayısal işlemlerde bilgisayarlar insan beynine göre kıyaslanamayacak derecede hızlıdır. Kortekste bulunan bir nöronun anahtarlama süresi 10^{-3} saniye mertebelerinde iken bir bilgisayar için bu süre günümüzde 10^{-9} mertebelerine düşmüştür. Sembolik işlem yapmada bilgisayarların bu kadar hızlı olmasının sebebi de budur. Bunun yanında ses ve görüntü algılama ve işleme, örgü¹ eşleştirme, plan yapma ve öğrenme gibi işlemleri insan beyni 10^{-1} sn mertebelerinde gerçekleştirebilirken bilgisayarlar teorik olarak sonsuz süre ve hafıza kullanarak dahi bu işlemlerin çok azını ve çok daha kalitesiz bir biçimde gerçekleştirmektedirler. Modellemedeki bu farka şöyle bir örnek verilebilir: Yeni doğan bir çocuğun, bilgisayarların çok hızlı yapabildiği matematiksel işlemleri yapabilmesi 9-10 yıl alırken, ortamdaki nesneleri algılaması, sesleri işitip kendine göre değerlendirmesi 1-2 ay sonra

¹ pattern

gerçekleşmekte, hatta annesini çok daha küçükken tanıyabilmektedir. Bu da insan beyninin faaliyetlerinin bilgisayarların yaptığı sembol işleme işinden ne kadar farklı olduğunu ortaya koymaktadır. Uzmanlık gerektiren bir işi bilgisayara yaptırmak, bir nesneyi alıp başka birinin üzerine koymak gibi küçük bir çocuğun yapabileceği basit bir işlemi yaptırmaktan çok daha kolaydır.

Bilgisayar modelli yaklaşımın eksik olduğunu düşünmeye neden olan ikinci sebep ise insan beyninin kalitesidir [21]. Kaliteyle anlatılmak istenen şudur: İnsanın zihinsel faaliyetlerindeki gerilemeler derece derece oluşur. Kimse, özel sebepler dışında, düşünme kabiliyetini, hareket kabiliyetini birden yitirmez. Yani bilgisayardakinin aksine, insanda, bozulmasıyla bütün zihin fonksiyonlarının duracağı merkezi bir işlemci yapısı yoktur. Mesela büyük bir programda bir komut satırının bile yanlış olması programın ürettiği sonucun tamamen yanlış olmasına veya programın çalışmamasına sebep olur. İnsan beynindeki bir nöronun faaliyetini göremez hale gelmesi (örneğin sigara vb. zararlı madde kullanımlarında insan beyninde kullanılan maddenin birimi başına çok sayıda sinir hücresi kullanılamaz hale gelmektedir) beynin bütün faaliyetini veya bazı fonksiyonlarını tamamen yitirmesine sebep olmaz.

Hız, insan beynindeki bozulmanın yavaşlığı ve insanın üstün olduğu özellikler ile bilgisayarların üstün oldukları özelliklerin çok farklı olması gibi pratikte karşılaşılan problemler “beynin bilgisayar modeli” yaklaşımını sorgulamaya itmiştir. Bu modele alternatif olarak da beynin temel işlem birimleri olan sinir hücrelerinin oluşturduğu ağ yapısını modelleme fikrinden “Sinir Ağları” kavramı ortaya atılmıştır.

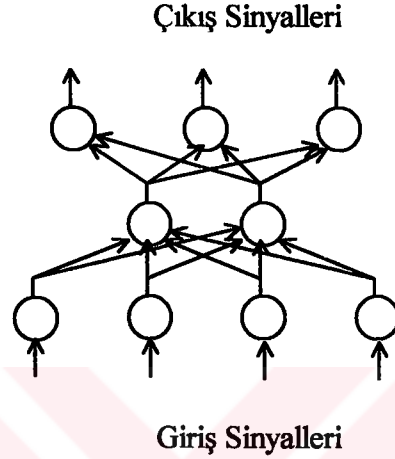
3.2.1. Yapay Sinir Ağları

Yapay sinir ağları, bölüm 2.2’de anlatılan beynin sinir hücrelerinden oluşmuş yapısı gözönüne alınarak, insan beyninin faaliyetlerini modellemek için oluşturulmuş yapılardır. Bu yapıda sinir hücrelerinin yerini *birimler* alır. Yapay sinir ağı çok sayıda birimlerden oluşmuştur. Her birim başka birimlere bağlıdır ve bağlantı yolları üzerinden sinyal alır ve verir (Şekil 3.10).

Birimler arasında iletilen sinyaller 0 veya 1 olabilir, veya gerçek değerleri kullanmak suretiyle 0’la, r arasında kabul edebiliriz. Bir birime belli anda gelen sinyallerin toplamı, o birimin *aktivasyon durumunu* belirler. Sinyaller sadece dijital olarak

iletilecekse belli bir eşik değeri seçilerek bunun altındakilerin sinyal iletmemesi (0 değer üretmesi), üstündekilerin ise sinyali iletmesi (1 değer üretmesi) sağlanır.

Birimler arasındaki bağlantılar belli *katsayılara* sahiptir. Bir b1 biriminden b2 birimine sağlanan girdi değeri, b1'in aktivasyon durumuna ve b1'den b2'ye olan bağlantının katsayı değerine bağlıdır. Eğer katsayı pozitif (+) değerli ise bağlantıya *uyarımli* bağlantı, negatif (-) ise *uyarimsiz* bağlantı denir.



Şekil 3.10. Bir yapay sinir ağı modeli

Uyarımlı bağlantılar, gerçek biyolojik yapıda, bir sonraki nöronun sinyal iletmemesi sağlayacak şekilde o nöronun içindeki artı yükleri artırıcı, “nöron taşıyıcı” madde salgılayan sinapslara karşılık gelir. Katsayı değeri de, sinapsın sonraki nöronun (+) yüklerini fazlalaştırma derecesidir. Aynı anoloji uyarımsız birimler içinde kurulabilir.

n girişli bir x_i birimin net girdisi $\sum_{i=1}^n w_{ji} x_j$ şeklinde hesaplanır. Bu değer bir fonksiyona¹ tabi tutulup normalize edilir ve belli bir eşik değerini aşıyorsa 1, aşmıyorsa 0 üretir. Burada, w_{ji} değeri, x_j biriminden x_i birimine giden bağlantının katsayısıdır. Sinir ağındaki bazı birimler dış ortamdan sinyal alırlar. Bu birimlere *giriş birimleri* denir. Giriş birimleri aynı zamanda başka birimlerden de sinyal alabilirler.

¹ Bu iş için genelde kullanılan fonksiyon sigmoid adıyla anılan ve 0'la 1 arasında değerler üreten $f(I) = 1/(1 + e^{-I})$ şeklindeki fonksiyondur.

Çıkış birimleri dış ortama sinyal ileten birimlerdir. Bu birimler aynı zamanda ağ içindeki diğer birimlere de sinyal iletebilirler.

Birimler arasındaki bağlantılar sabit olmasına karşılık bu bağlantıların katsayı değerleri değişebilir.

Giriş ve çıkış birimleri dışındaki birimlere *gizli* yada *içsel* birimler denir.

Sinir ağlarında öğrenme başlangıçta verilen örneklerle ve yeni gelen bilgilere göre bağlantı katsayılarını değiştirme şeklinde gerçekleşir.

3.2.2. Sinir Ağları Yaklaşımının Değerlendirilmesi

Yukarıdaki şekliyle yapay sinir ağları modeli, insan beyninin sinir hücreleri bazında çalışmasını modelleyen farklı bir yaklaşımdır. Diğer yaklaşımlara göre üstünlükleri olsa da, beyni modellemede eksik yönleri vardır. Örneğin bir yapay bir sinir hücresinin yaptığı iş, basit matematik işlemler kullanarak girdiyi değerlendirmek ve çıktı üretmektir. Ancak gerçek sinir hücresinde somada gerçekleşen olayların çok daha karmaşık olduğu kesindir. Buradaki eksiklik modellemenin yanısıra biyolojik olarak burada gerçekleşen olayları tam tespit edememekten kaynaklanmaktadır. Benzer şekilde beynin çok ilginç ve belki de önemli özellikleri tekdüze bir yapıya indirgenmektedir. Mesela farklı özellikteki beyin hücreleri, hormonal etkiler, nöron taşıyıcıları açık bir şekilde modellenememektedir. Öğrenme açısından da yapay sinir hücrelerinin sürekli özelliklerini değiştirmeleri, uzun süren çok sayıda tekrardan sonra öğrenebilmeleri gerçeği pek yansıtmamaktadır.

Diğer bir nokta da, insanın üst düzeyde bazı işlemler gerçekleştirdiği gerçeğidir. Sinir ağlarında işlemler birimler bazında gerçekleşmektedir, ancak insan mesela bölme yaparken sinir hücreleri alt düzeyde bazı şeyler yapsa da bunun üst düzeyde algoritmik yansımalarının olduğu açıktır. Bu, sinir ağlarının ürettikleri sonucu açıklayamamaları şeklinde gözlenir. İnsan bir bölme yaparken sinir hücrelerinin nasıl çalıştığını tespit edemeyebilir (zaten beklenen de bu değildir), fakat bu işlemi nasıl gerçekleştirdiğini başkalarına üst düzey işlemler olarak anlatabilir. Sinir ağı yaklaşımının, insanı modellemede ihmal ettiği en önemli yönlerden biri de budur. Yakın zamanlarda melez (hibrid) sistemler adıyla insanın sembol işleme özellikleriyle,

sinir hücreleri bazında çalışmasını, yani sinir ağları yaklaşımıyla bilgisayar modeli yaklaşımı birleştiren sistemler ortaya atılmıştır. Sinir ağlarının bu yapısının yanısıra, sinir ağlarında oluşan bazı bilgileri üst formlar şeklinde depolayabilecek modeller geliştirmek yapay zeka uygulamalarına yapılabilecek büyük bir katkı olur.

Sinir ağlarının öğrenme özelliği sayesinde günümüzde karakter tanıma, ses ve görüntü tanıma ve işleme gibi sembol işlemenin yetersiz kaldığı birçok alanda gözle görülür gelişmeler sağlanmıştır.

Sinir ağları yaklaşımının, beyninin bilgisayar modeli yaklaşımından temel farkı, bilginin sistemin tamamına yayılmış olması, bütün bir sinir ağındaki bağlantılar tarafından oluşturulmasıdır. Beynin bilgisayar modeli yaklaşımında veri, sistemin bir parçasındadır (Mesela Turing makinesinde veri sadece bantta bulunur). Bu nedenle buna sembol işleme adı verilir. Sinir ağlarında ise, veri işleme sembol altı düzeyde gerçekleşir. Bilginin işlenmesi herhangi bir yerden, mesela banttan okuma ve banda yazma şeklinde değil ağ içindeki bağlantıların katsayılarının değişmesi şeklindedir.

Sinir ağlarının klasik yaklaşıma göre üstünlükleri arasında gürültülü ve tam olmayan veri üzerinde işlem yapabilmesi, bu tip bir durumda fonksiyonelliğini tamamen kaybetmemesi, tam doğru olmasa bile uygun sonuçlar üretebilmesi sayılabilir.

3.3. Fiziksel Yaklaşım

Önceki bölümlerde gösterildiği gibi insan zihninin fonksiyonları algoritmaya indirgenemez, yani hesaplanabilir değildir. Dolayısıyla zihni modellemede izleyeceğimiz yöntem, hesaplanabilir olmayan, ancak zihnin bu hesaplanamaz durumdan anlama, düşünme, şuur, farkında olma gibi özelliklerinde faydalanabileceği yaklaşımları bulmak olmalıdır. Matematiksel formellik açısından konu incelendiğinde, zihnin çalışmasını olduğu gibi modelleyemeyen, ancak sadece gerçek çalışmasından farklı bir şekilde taklit edebilen yapılara ulaşılmıştır. Algoritmik yaklaşımın eksiklikleri görüldüğünden, bu bölümde konuya, fizikte algoritmik olmayan yani hesaplanamaz yapıların varlığını araştırma şeklinde yaklaşılacaktır. Fizik biliminde kabul edilen klasik fizik ve kuantum fiziği ayırımı burada da yapıp iki farklı bakış açısından konu incelenecektir. Aslında zihnin ve beynin faaliyetlerinin fizik bilimi tarafından incelenebileceği fikri daha çok kuantum mekaniğinin hesaplanamaz bir kainat modeli sunmasıyla ortaya çıkmıştır. İleride gösterileceği gibi klasik fizikte belirlilik ve hesaplanabilirlik kavramları çok belirsiz olduğundan önceleri böyle bir yaklaşım düşünülme de kuantum fiziğinin getirdiği bakış açısı, fiziğin bu konuyla ilgilenmesine sebep olmuştur.

3.3.1. Klasik Fizik

Klasik fizik kavramı, moleküllerin, atomların, atom-altı parçacıkların davranışlarını tanımlayan ve belirsizlik içeren, Planck, Einstein, Bohr, Heisenberg, Schrödinger, de Broglie, Born, Pauli, Dirac gibi fizikçilerin 1900'lü yılların başlarından itibaren gelişmesine katkıda bulundukları kuantum mekaniğinin ortaya çıkışından önceki fizik kurallarının bütünüdür. Klasik fiziğin gelişimini 3 temel aşamaya ayırabiliriz.

Bunlardan birincisi Newton'un 1687'de Principia adlı eserini yayınlamasıyla başlayan ve Newton dinamiği veya Newton mekaniği olarak adlandırılan Newton kurallarıyla kainatın incelenmeye çalışıldığı dönemdir. Newton mekaniği parçacıkların hızı, ivmesi, konumu ve momentumu gibi özelliklerle, bu parçacıklar arasındaki etkileşimi inceler. Bir parçacığın üzerindeki etkiyi öteki parçacıklardan kaynaklanan ayrı ayrı etkilerin vektörel toplamı şeklinde ifade eder ve dolayısıyla parçacıklar bazında çok kesin tanımlar yapabilir. Bu dönemlerde elektrik ve manyetik etkilerin varlığı bilinmesine

rağmen elektrik yüklerinin sadece parçacıklar olduğu kabul edildiğinden, Newton mekaniği, elektriksel yüklerin ve manyetik kutupların özelliklerini ve birbirleri arasındaki etkiyi de ters kare kuvvet yasasıyla formüle edebilmiştir. Elektrik, manyetik ve kütleçekim alanları ise maddesel parçacıkları tanımlarken ortaya çıkan matematiksel yardımcılar olarak görülmüştür.

Michael Faraday'ın hareketli bobinler, mıknatıslar vb. buluşları, alanların gerçek birer fiziksel nicelik olduğuna fizikçileri inandırdı. Newton mekaniğinden sapmaların başladığı, alanlar kavramının ortaya atıldığı bu dönem klasik fizikte yeni bir dönemin başlamasına sebep oldu. Buna göre, bir elektrik yükünün çevresinde elektrik alanı, manyetik bir cismin çevresinde manyetik alan, kütleli bir cismin çevresinde ise kütle çekim alanı yer alır. Bu buluşlar, James Clerk Maxwell'in elektrik ve manyetik alanların dalga denklemlerini bulmasıyla sonuçlanmıştır ve bu dönem klasik fizikte ikinci dönemdir. Yük ve akımın olmadığı bölgelerde bu denklemlerin bütün bileşenleri dalga denklemini sağlamaktadır. Dalga şeklinde yayılan bu alanlara elektromanyetik dalgalar denir ve bunların hızları ışık hızına eşittir. Bu da, ışığın kabul edilen görüşe göre parçacılardan oluşmadığı, aksine bir dalga olduğu görüşüne sebep oldu ve dalga parçacık ikilemi ortaya çıktı.

Newton kuralları ideal durumlarda parçacıkların nasıl davranacağını bildirmesine karşı bunların oluşturduğu alan ile ilgili birşey söylemez. Benzer şekilde Maxwell denklemleri de elektromanyetik alanların davranışını açıklamalarına rağmen parçacıkların davranışı ile ilgili birşey söylemez. Bir parçacığın elektromanyetik bir alanda nasıl davranacağını veren denklemler ise Hendrick Antoon Lorentz tarafından bulunmuştur ve Lorentz denklemleri olarak bilinir.

Klasik fizikte üçüncü dönem ise Einstein'ın özel ve genel görelilik kavramlarını bulmasıyla başlamıştır. Einstein, Galilei'nin sabit hızla hareket eden bir sistemin hareket edip etmediğine bulunduğumuz ortamdaki nesnelerin dinamik davranışlarını inceleyerek karar veremeyiz (Galilei buna, denizde sabit hızla giden bir geminin hareketini kamaradaki kişinin anlamayacağını örnek olarak vermiştir) şeklindeki göreliliğinin yanlışlığına dikkat çekmişti. Buna göre Galilei-Newton mekaniği denklemleri, ışık hızına göre çok küçük olan hızlarda denendiği için hareketli sisteme geçişteki uyumsuzluk çok küçük olmakta ve fark edilememektedir. Maxwell

denklemleri ise zaten ışık hızı gözönüne alınarak geliştirildiği için böyle bir uyumsuzluk yoktur. Bundan yola çıkarak Einstein, Galilei-Newton yasalarının Maxwell denklemlerine göre değişmesi gerektiğini iddia etmiştir. Böylece Einstein Zürih Politeknik okulunda hocası olan Herman Minkowski'nin 1908 yılında ortaya attığı uzay-zaman kavramını da kullanarak görelilik kavramını çok net bir şekilde ortaya koymuştur [4]. Elektromanyetik alanların Maxwell denklemleriyle açıklanması gibi kütleçekim alanları da Einstein'ın denklemleriyle belirlenir.

Buraya kadar olan bölüm her ne kadar tezde işlenen konuyla direk alakalı gibi görünmese de bir sonraki kısımla birlikte düşünüldüğünde zihnin fonksiyonlarını modelleme çalışmalarının fiziki boyutu noktasında gereklidir. Gödel teoremi ve Turing makinelerinin icadına kadar insan zihninin modellenmesiyle direk alaka kurulmayan formel sistemler ve kümeler teorisi ve çelişkilerinin işlendiği konular gibi görülebilir. Aslında, kuantum mekaniğinin bulunmasına kadar klasik fizik de böyle bir konumdaydı. Kuantum mekaniğinin bulunmasıyla insan zihninin fiziksel yaklaşımlarla modellenebileceği düşüncesi, klasik fizikte konuyla ilgili ipuçlarının aranmasına sebep olmuştur.

3.3.2. Klasik Fizikte Belirlilik ve Hesaplanabilirlik

Girişte de belirtildiği gibi belirlilik ve hesaplanabilirlik kavramları, insan zihninin davranışı ve özgür istek gibi önceden belirlenebilirliği reddedecek olgular sözkonusu olduğunda önemlidir.

Newton dinamiği denklemlerine göre cisimlerin konumları, hızları ve kütleleri belli bir zamanda belirlenirse, diğer tüm zamanlarda matematiksel olarak belirlenebilir ve alacakları değerler hesaplanabilir. Ancak, mesela bilardo toplarının çarpışması gibi Newton mekaniğinin tamamen geçerli olduğu bir ortamda *kaotik davranışın* olduğu gözlenmiştir. Kaotik sistemler, sistemin sonraki değerlerinin hesaplanabilmesi için önceki değerlerin çok hassas belirlenmesi gereken sistemlerdir. Bu tür sistemlerde hesaplama çok zor olsa da prensipte mümkündür. Bilardo toplarının çarpışmasında, başlangıçtaki değerlerin son derece hassas ölçülememesinden kaynaklanan ve önemsiz görülebilecek hata payları, birbirini izleyen çarpışmalarda gittikçe belirginleşir. Problemin elemanlarıyla ilgili Newton denklemleri çok iyi bilinmesine rağmen bunların

birleşiminden oluşan sistem beklenenden farklı, tamamen kaotik bir davranış gösterebilir. Beynin hesaplanamaz özelliklerinin, onun anlama, düşünme gibi fonksiyonlarına katkıda bulunan faydalı özellikler olacağını düşündüğümüz için, kaotik sistemler hesaplanamaz olsalar bile bu noktada bize bir fayda sağlamayacaklarından ve prensipte hesaplanabilir olduklarından böyle sistemlere öngörülemez sistemler diyebiliriz. Bu anlatılanlar ışığında konuya bakarsak, zihnin modellenmesi noktasında Newton mekaniğinin yetersiz kalacağı açıktır.

Maxwell denklemleri hesaplanabilirlik özellikleri yönünden Marian Boykan Pour-El ve Ian Richards tarafından incelenmiştir. Bu incelemelerde, dalga denklemleri belirleyici olarak davranırsalar bile, sonraki bir zamanda değerleri hesaplanamaz kendine özgü bazı başlangıç değerlerinin olduğu görülmüştür. Ancak bu başlangıç değerleri fiziksel olarak anlam taşıyan değerler değildir. Anlamlı değerler için hesaplanamazlığın olmadığı gösterilmiştir. Zaten böyle rastgele ilk değerlerin varlığı kabul edilse bile bunun sonucu olan hesaplanamazlıktan beynin avantaj sağlayacağını gösteren bir delil yoktur. Lorentz denklemleri de, kainatta gözlemlenmediği halde bazı şartlarda hesaplanamaz ve belirsizliği çağrıştıran sonuçlar verir. Ancak bu, yine benzer şekilde faydalı bir yaklaşım değildir; belki denklemlerin fiziksel gerçeği modellemesindeki bir eksikliktir.

Görelilik açısından hesaplanabilirlik ve belirlilik kavramları çok daha karmaşıktır. Burada sadece, zamanda geri akış ve “kozmetik sansür” adı verilen karadeliklerin oluşumu gibi, özel ve genel göreliliğin ortaya çıkardığı belirlenebilir ve hesaplanabilir olup olmadıkları belirlenemeyen kavramların var olduğunu söyleyebiliriz.

3.3.3. Kuantum Fiziğinin Tanımı

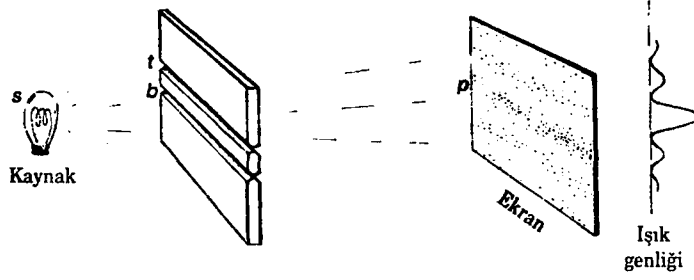
Kuantum fiziği, klasik fiziğin büyük ölçekli cisimlerin özelliklerini ve aralarındaki ilişkiyi açıklamasındaki başarıya karşı, küçük ölçekli parçacıkları incelemekteki yetersizliğinin sonucu ortaya çıkmış bir fizik dalıdır. Klasik fizik yukarıda açıklandığı gibi kainattaki işleyişi tam olarak yansıtmaz. Bunun büyük nedeni *parçacık ve alanların* gerçek tutarlılığa sahip modelinin ortaya konulamamış olmasıdır. Makro düzeyde iyi bir yaklaşım oluşturabilmesine karşılık atom ve atom-altı parçacıklar söz konusu olduğunda parçacık-dalga ikilemine sebep olmuştur. Ayrıca deneysel

gözlemlerle denklemlerden elde edilen sonuçlar arasındaki tutarsızlık ve felsefi yönden tatmin edici olmayan açıklamalar fizikçileri yeni kuram arayışına itmiştir. Bu yeni kuramın temellerini 1900'de Alman fizikçisi Max Planck elektromanyetik salınımların $E=h\nu$ eşitliğini sağlayan enerjiye sahip parçacıklardan oluştuğunu öne sürerek atmıştır. Burada h Planck sabitidir ve 6.6×10^{-34} joule-s'n'dir. h 'ye etki kuantumu denir ve kuantum düzeyine geçişi ifade eder. h sabitinin dikkate alınmadığı alan makroskobik alandır. Einstein daha sonra elektromanyetik alanların tamamen bu tür parçacıklardan oluştuğunu öne sürmüştür. Louis de Broglie doktora tezinde $h\nu=E=mc^2$ bağıntısından yola çıkarak madde parçacıkların bazen dalgalar gibi davrandığını ve bu dalgaların $h\nu/c^2$ kütlelerinden oluştuğunu iddia etmiştir. Daha sonra Danimarkalı fizikçi Niels Bohr Maxwell denklemleriyle hareketlerinin açıklanamadığı elektronların¹ çekirdek etrafında $h/2\pi$ açısal momentumuyla döndüğünü gösterdi. 1925 yılına kadar bu şekilde gelişen kuantum mekaniği "eski kuantum kuramı" olarak adlandırılır ve bu dönemde çok sağlıklı yaklaşımlar yapılamamıştır. Kuantum kuramı bugünkü şeklini ise 1925'te Werner Heisenberg'in matris mekaniğini, 1926'da ise Erwin Schrödinger'in dalga mekaniğini bulmasıyla almıştır. Paul Dirac bu ikisinin arasındaki ilişkiyi bularak daha geniş bir teori halinde geliştirmiştir. Ayrıca Heisenberg'in 1927 yılında bulduğu belirsizlik ilkesi de önemli bir yere sahiptir.

3.3.4. Çift Yarık Deneyi ve Bir Parçacığın Kuantum Durumu

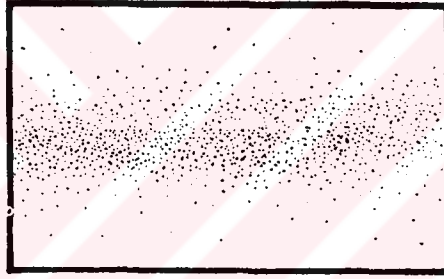
Kuantum mekaniğinin en önemli deneyi çift yarık deneyidir. Bu deneyde bir ışık demeti dar ve uzun çift yarıktan geçirilerek ekran üzerine düşürülür (Şekil 3.11). Ekrandaki enerji miktarı, foton (ışık demetinin kuantumları) biriminin tam katı şeklindedir. Bu da her bir fotonun ya tamamen yarıklardan geçtiğini ya da geçmediğini gösterir.

¹ Maxwell denklemlerine göre bir elektron çok kısa sürede sarmal bir hareketle artan yoğunlukta elektromanyetik dalgalar yayarak çekirdek üzerine düşer.

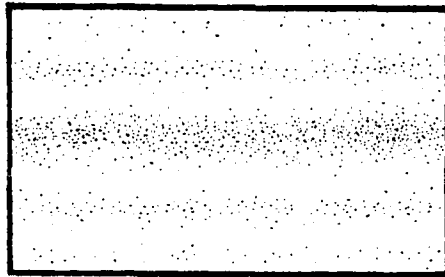


Şekil 3.11. Çift yarık deneyi

Bu deneyde problem, tek yarıkla yapılan bir deneyle karşılaştırıldığında ortaya çıkar. Yarıklardan sadece biri açıkken oluşan dağılım tek tek küçük noktalar şeklinde ve dağınıktır (Şekil 3.12). Çift yarık açık olduğunda belli sapmalar dışında çoğu yerde aydınlanmanın iki katına çıkacağı beklenir. Ancak durum tamamen farklıdır ve ekranda girişim deseni adı verilen düzgün şeritler şeklindeki dalga niteliği elde edilir (Şekil 3.13).



Şekil 3.12. Yarıklardan biri açık olduğunda ekranda görülen genlik dağılımı.



Şekil 3.13. İki yarık da açık olduğunda, genlik kesikli noktaların dalga dağılımını gösterir.

Sanki elektronların, hareketlerini, diğer yarığın açılmasından haberdarmış gibi düzenledikleri izlenimi vardır. Kuantum mekanikçileri ise, fotonun dalga hareketi

göstererek her iki yarıktan geçip kendisiyle girişim yaptığını ve bu sebeple bazı yerlerde kendini söndürdüğünü, bazı yerlerde ise kuvvetlendirdiğini söylemektedirler. Bu konuda farklı yorumlar da mevcuttur. Işığın dalga veya parçacık şeklinde davranması normalken tek bir parçacığın bu davranışı şaşırtıcıdır. Çünkü ekranda bir şekilde gözlem yapılırsa, parçacıklar bir yerde tespit edilecektir. Bu da, kuantum düzeyindeki parçacıkların gözlenen hareketiyle gözlemden önceki hareketinin tamamen farklı olduğu sonucunu ortaya çıkarır. Buradan, kuantum mekaniğinin temeli olan ihtimale dayalı yapısına ulaşılır. Fotonun davranışını kesin olarak bilmemiz mümkün değildir. Deneyi ele alırsak, belli bir fotonun bizim açımızdan hareketi üst yarıktan geçme olayıyla alt yarıktan geçme olayının ihtimal katsayılarıyla çarpımlarının toplamı şeklindedir. Kuantum düzeyindeki bu ihtimal katsayılarının klasik durumdaki gibi sadece reel sayılar yerine karmaşık sayılar da olabileceği benzer deneylerle gözlenmiştir. Dolayısıyla bunlara *ihimal genlikleri* şeklinde özel bir isim verilir. A ve B gibi çift yarığın bulunduğu bir deneyde bir fotonun hareketi $w.A + z.B$ olacaktır¹. Burada w ve z değerleri karmaşık sayılarla ifade edilir ve belirtilen ihtimal genlikleridir. Farklı seçeneklerin, bu şekilde karmaşık sayılarla çarpılıp toplanmasından elde edilen toplama bu seçeneklerin *süperpozisyon*'u denir. Klasik boyuta geçerken karmaşık sayılardan kurtulmak ve gerçek ihtimal değerlerini elde etmek istediğimizde $w + z$ genliklerinin karesini alırız:

$$|w + z|^2 = |w|^2 + |z|^2 + 2|w||z|\cos\theta$$

Burada θ iki genlik arasındaki açıdır ve $2|w||z|\cos\theta$ kuantum girişimini verir.

Konum açısından olayı ele alırsak kuantum kuramına göre bir parçacığın bizim açımızdan kesin yeri belli değildir. Bunun yerine, o parçacığa uzayda sunulan “seçenekler” vardır. Yani parçacığın uzayda bulunabileceği kesin bir konum yerine muhtemel konumlar vardır. Bunlar kuantum mekaniksel seçenekler adını alır. Kuantum mekaniksel seçeneklerinin onlara karşılık gelen karmaşık sayılarla (ihtimal genlikleri) çarpılıp toplanması parçacığın konumunu verir. Belirtilen karmaşık sayılar

¹ Aslında fotonun hareketini bildiren bu denklemler yazılırken Hilbert uzayı kullanılır. Burada durumlar ket-gösterimi denilen yapıda $|A\rangle$, $|B\rangle$ şeklinde gösterilir ve denklemler $w.|A\rangle + z.|B\rangle$ şeklinde yazılır. Bu uzayın kendine özgü bazı özellikleri vardır.

kümesi, parçacığın *kuantum durumunu* tanımlar ve bu durum ψ ile ifade edilir. Herhangi bir x konumu için $\psi(x)$, x konumunda bulunma ihtimalinin genliğidir. Ancak, kuantum durumu klasik boyutta bize bir şey ifade etmez. Klasik boyutta bizim gözlemlediğimiz ise sadece bu seçeneklerden biridir. Parçacığın gözlemlendiği durumda bize göre seçeneklerden birinde bulunması *kuantum sıçraması* olarak adlandırılır.

3.3.5. Dalga Denkleminin U ve R Bileşenleri

Bazı fizikçiler (başta Niels Bohr ve Heisenberg olmak üzere) parçacığın kuantum durumundaki ihtimallerinden yola çıkarak kuantum fiziğinin fiziksel dünyayı yansıtmadığını, sadece belli şartlarda gözlemlenen olayların oluşma ihtimalleri hakkında bilgi verdiğini öne sürmüşlerdir. Bazıları ise (David Bohm, Penrose, vb.) parçacığının fiziksel gerçekliğinin bizzat ψ fonksiyonu ile belirtilen durumu olduğunu, sorunun, klasik boyuta büyütüp gözlem yaptığımız sırada oluştuğunu, dolayısıyla bunun, algılamalarımızın eksikliğinden ve bazı ölçemediğimiz değerlerin varlığından kaynaklandığını söylemişlerdir. Bütün bu yorumlar temelde parçacığın dalga fonksiyonuyla belirlenen *kuantum düzeyi* ile gözlemlediğimiz *klasik düzey* ayırımının nasıl yapılacağı noktasında düğümlenmektedir. Yani atom-altı parçacıkların düzeyini kuantum düzeyi, makro alemi de klasik düzey olarak aldığımızda, kuantum düzeyinin klasik düzeye etkileri ne olacaktır, klasik düzeydeki maddeler de kuantum parçacıklarından oluştuklarına göre böyle bir ayırım yapmamız için yeterli delil var mıdır gibi sorular ortaya çıkmaktadır.

Bu yaklaşımlar paralelinde, parçacıkların kuantum durumları günümüzde iki şekilde düşünülmektedir. Bunlardan birincisi Schrödinger'in dalga denklemiyle belirlenen ve bir parçacığın hareketini matematiksel olarak kesin bir belirlilikte veren parçacığın kuantum durumudur. Buna üniter süreç de (U) denir. Bu süreç gözönüne alındığında kuantum mekaniğinin ihtimale dayanan yapısı ortadan kalkar. Süreç boyunca dalga denklemindeki ihtimal genlikleri korunur.

Ancak kuantum genliklerini klasik düzeye yükseltmek için bir ölçüm yaparsak, Schrödinger denklemiyle belirlenen kurallar değişir. Bu şekilde, kuantum düzeyindeki hareketin klasik düzeyde gözlenmesi için olasılıkların klasik düzeye çekilmesi işlemine

durum vektörü indirgenmesi¹ denir ve R ile gösterilir. Kuantum kuramındaki belirsizliği ve ihtimali getiren süreç R sürecidir. R sürecinde kuantum sıçraması görülürken, U süreci kompleks kuantum toplamlarını daima sürdürür. U sürekli bir davranış gösterirken R kesikli davranış gösterir. Kuantum durumunun gözlemsel gerçeklerle olan bağıntısı için U ve R birarada gereklidir.

Özetlersek; kuantum düzeyinde bir parçacık gerçekte U davranışı göstermesine rağmen biz bunu olduğu gibi gözlemleyemediğimiz ve sadece gözlemleyebileceğimiz klasik boyuta olayları büyütmek zorunda kaldığımız için R işlemi uyguluyoruz. Bu da maddenin kuantum sıçramasına sebep oluyor. Bazı kişiler R'yi esas kabul edip, U'daki farklı durumların birarada bulunmasını, kuantum kuramının maddenin gerçek durumundan ziyade ihtimalleri verdiğini söylüyorlar. Bazıları ise U'yu esas kabul edip R sürecinin bizim eksik algılamamızın sonucu olduğunu belirtiyorlar. Şöyle bir örnek vermek konunun daha somut bir şekilde anlaşılmasını sağlayabilir. Sadece iki boyutu algılayabilen bir canlı düşünelim. Böyle bir canlı üç boyuttaki bir silindiri bakış açısına göre ya dikdörtgen (silindirin canlıya göre D durumunda bulunması diyelim) ya da daire (silindirin R durumunda bulunması) şeklinde algılar. Bu canlının insan gibi zeki, benzer şekilde buluşlar yapabilen bir canlı olduğunu düşünelim. Bu durumda, bizim parçacıkların hareketinde yazdığımız kuantum durum denklemini, bu canlının silindiri ifade etmek için yazacağı $w.D + z.R$ gibi bir denkleme benzetebiliriz. Bu canlı iki boyutta ne olduğunu anlayamadığı bir maddeyi, yeteri kadar zeki olduğu için soyut matematiksel bir formülle ifade edebiliyor. Bu şekilde ifade edileceğini bildiği bu maddeyi belli bir anda iki boyutta gözlemlemeye çalışsa, bizim durum sıçraması dediğimiz olayı yaşayıp ya daire ya da dikdörtgen şeklinde algılayacak. Bu, canlı için R sürecine karşılık gelen süreçtir. U süreci ise daire ve dikdörtgenin süperpozisyonlarıdır. Bu canlı 3 boyutu algılayamadığı sürece, daireyi fiziksel gerçekliğiyle bilmesi mümkün değildir. Bu durumda bu maddeyi, yetersizliğinden anlayamadığı, sadece matematiksel ifadesini bulabildiği bir madde olarak görmesi en sağlıklı sonuçtur. Çünkü R sürecini kabul ettiğinde kendisi bilmesede bizim gördüğümüz gibi yanlış bir iş yapmaktadır.

¹ Reduction

3.3.6. Kuantum Fiziğinde Belirlilik ve Hesaplanabilirlik

Kuantum fiziğinin temelini oluşturan, bir parçacığın hareketini veren Schrödinger denkleminin göre parçacığın dalga hareketi tamamıyla belirleyicidir. Ancak bu belirleyicilik bizim nüfuz edemediğimiz kuantum düzeyindedir ve bu yönüyle klasik fizikteki belirleyicilikten farklıdır. Dalga denkleminin sonuçlarını klasik düzeyde incelemeye kalktığımızda kompleks birleştirmedeki seçeneklerden sadece biri gözlenir. Durum vektörünün indirgenmesi veya dalga denkleminin çökmesi denen bu R süreci belirsizliğe sebep olur [3]. Bu belirsizlik Heisenberg belirsizlik ilkesine göre bir parçacığın konum ve momentumunun aynı anda ölçülememesi şeklindedir. Hatta ölçümdeki Δx ve Δp sapmaları (kesinsizlikleri) $\Delta x \cdot \Delta p \geq h / 2\pi$ eşitsizliğini sağlar. Yani konumu ne kadar hassas belirleyebiliyorsak momentumda o kadar çok sapma meydana gelir. h , etki kuantumu, yani kuantum düzeyine geçişin sınırı olduğundan, bu eşitsizlik, klasik düzeydeki konum ve momentum değişkenlerinin kuantum düzeyine geçmemizi sağlayacak hassasiyette ölçülemeyeceğini gösterir diyebiliriz.

Kuantum mekaniğindeki bu hesaplanamazlık, aranan hesaplanamazlığı sağlıyor gibi görünüyor. Yani klasik düzeyde görülen ancak farklı boyutlarda ortaya çıkmayan bir hesaplanamazlık mevcuttur. Bu da zihnin, Turing makinesi, formel sistemler ve sınır ağları gibi algoritmik yaklaşımların yerine klasik düzeyde aradığımız hesaplanamazlığı sağlar.

Beynin çalışmasının klasik düzeyde hesaplanamazlığa sahip olduğu görüşünü dikkate alarak, klasik düzeye indirgenmemiş bir beyin modeli çok daha verimli sonuçlar verebilir.

3.3.7. Kuantum Bilgisayarı Kavramı

Kuantum hesaplama, Turing makinesi gibi klasik hesaplama yöntemlerinden farklı olarak kuantum mekaniğinin kurallarına dayalı bir hesaplama türüdür. Bu kavram ilk defa 1982 yılında Richard Feynman tarafından "International Journal of Theoretical Physics"de yayımlanan "Simulating Physics with Computers" adlı makalede dile getirilmiştir. Kuantum fiziksel objelerin yine kuantum sistemleri tarafından simüle edilmesi gerektiğini belirttiği bu makalede Feynman şöyle demektedir [22]:

“... tabiattaki işleyiş klasik olmadığından bunun simülasyonunu yapmak için kuantum mekaniksel yöntemler kullanmak gerekir. Gerçekten böyle bir problem harika olurdu; çünkü çok kolay görünmüyor”

Ancak kuantum hesaplamasının önemi David Deutsch’un evrensel kuantum bilgisayarı kavramını ortaya attığı, 1985 yılında yayımlanan makalesine [23] kadar anlaşılamamıştır.

Turing makinesinden yola çıkarak günümüz klasik bilgisayarları geliştirilmesine rağmen, Deutsch’un kasdettiği manada kuantum bilgisayarı henüz geliştirilememiştir. Ancak simülasyon programları kullanılarak bazı kuantum algoritmaları geliştirilebilmiştir.

Kuantum bilgisayarı Turing makinesinin genelleştirilmiş halidir. Yapı taşları, klasik sistemlerdeki 0 ve 1’lerden oluşan *bit*’lerden farklı olarak, kuantum biti denen, 0, 1 ve bunların süperpozisyonunu temsil eden *qubit*’lerdir [24]. Örneğin 3 bitlik bir kaydedicinin 000, 001, 010,... şeklindeki 8 farklı değerden belli bir anda sadece birini alması mümkünken, 3 bitlik bir kuantum kaydedicisi bu değerlerin tamamını içerir. Yani belli bir anda, bu 8 değerın süperpozisyonundan oluşan bir veriye sahiptir. Bir kuantum bilgisayarı Turing makinesindeki bütün bileşenlere sahiptir. Ancak kuantum bilgisayarında içsel durumlar ve banttaki veriler süperpozisyonlardan oluşur. Yani sadece 0 ve 1’ler yerine bunların belli şekilde çizgisel birleştirimlerinden oluşan kümeyle temsil edilirler. Bir kuantum bilgisayarının içsel durumları, bir veya farklı yapıdaki birkaç Turing makinesinin içsel durumlarının süperpozisyonu olabilir. Aynı şekilde banttaki veri ve işlenen komutlar, paralel çalışan ve farklı verilerle farklı komut satırı çalıştıran Turing makinelerinin süperpozisyonudur [25].

Bir kuantum bilgisayarının çalışması U süreci tarafından kontrol edilir. R süreci ise, işlem bittikten sonra işlemin sonucunu elde etmek için ölçme yaptığımız sırada oluşur. Aslında işlemin sonlanıp sonlanmadığını anlamak için de zaman zaman R işlemi uygulamak gerekir.

Son yıllarda SQUID¹ olarak adlandırılan ve kuantum bilgisayarını inşası için bir adım olarak görülen süperiletken ve kuantum etkisine sahip araçlar geliştirilmiştir. Süperiletkenlik, bazı özel maddeler hariç çok soğuk derecelerde oluşur. Günümüz teknolojisiyle SQUID'leri kullanarak kuantum bilgisayarını geliştirmek, hemen hemen mümkün değildir. SQUID'ler beden tarama gibi bazı pratik uygulamalarda kullanılmaktadır. [3, 25]

Yukarıda anlatıldığı şekilde bir kuantum bilgisayarını, Turing makinesinin yapabildiği işlemleri yapabilmektedir. Karmaşıklık teorisi söz konusu olduğunda bazı avantajlar sağlar. Bu nedenle insanın zeka ve anlama gibi şuurlu davranışları sırasında gerçekleşen işlemleri yapamamaktadır. Kuantum bilgisayarları veya bunları simüle eden programlar geliştirilirken, gerçek manada kuantum fiziğinden faydalanabilmek için, kuantum vektörünün indirgeniyor gibi görüldüğü aşamada aslında ne gerçekleştiğini bulmak gerekir.

3.3.8. Beynin Kuantum Modeli .

Beynin kuantum modelinin varlığını incelerken iki noktaya dikkat etmemiz gerekir. Birincisi, eğer beyin kuantum mekaniksel yapıya sahipse, bu yapı ne gibi avantaj sağlar? Kuantum beyninin yapıp klasik anlamdaki beyin yapamayacağı şeyler var mıdır? İkincisi ise, şu anda bildiğimiz yapıyla beynin kuantum mekaniksel olduğunu söylemek mantıklı mıdır?

Birinci noktayla ilgili açıklamaları, beynin algoritmik olmayan özelliğinin, kuantum mekaniğinin hesaplanamaz yapıyla çakışmasından yola çıkarak 3.3.6 bölümüne ve bu yaklaşımın pratize edilmesindeki sorunları gözönüne almak için kuantum bilgisayarlarının işlendiği 3.3.7 bölümüne havale edebiliriz.

İkinci nokta, yani beynin kuantum mekaniksel yapıda olup olmadığı çok tartışma konusudur ve bu konuda kesin bir şey söylenmemekte, sadece bazı kesin olmayan deneylere dayanılarak tahminler yürütülmektedir [3, 25, 26, 27].

¹ Superconducting Quantum Interference Devices

Bütün bu tartışmalardaki tek ortak nokta, beynin kuantum mekaniksel davranış göstermesi için geniş-ölçekli bir kuantum durumuna sahip olması gerektiğidir. Yani parçacıklar, atomlar, moleküller seviyesinde bulunan kuantum durumu, kuantum etkilerinin lokal olmama özelliği dolayısıyla bir fayda sağlamaz; çevre etkileri parçacık bazındaki kuantum durumunun anlamını kaybetmesine sebep olur. Böyle küçük ölçekli kuantum durumlarının beynin çalışmasına faydası olamaz. Bu yaklaşımın diğer sebebi ise, eğer beynin çalışması küçük ölçekli kuantum durumlarına dayanıyorsa bizim bu çalışmayı anlamamız mümkün değildir.

Bir nöropsikolog olan John Eccles sinaptik faaliyetlerde kuantum etkilerinin çok önemli olduğunu iddia etmiştir. Michael Lockwood ise “Kuantum mekaniksel etkilerin evrenselliği kabul edilirse beynin fonksiyonlarının kuantum mekaniksel olduklarında şüphe kalmaz” şeklinde kapalı bir yorum yapmaktadır [25]. Konuya Henry P. Stapp daha temkinli yaklaşp “Mind, Matter, and Quantum Mechanics” adlı kitabında bu konuda çalışma yapan kişilerin farklı görüşlerine yer vermiştir [26]. Beynin kuantum mekaniksel faaliyette bulunduğunu en şiddetli savunan Roger Penrose’dur. Penrose:

“Atom ve moleküller arasındaki etkileşimi kontrol eden kimyasal kuvvetler temelde kuantum mekanikseldir. Bir sinir hücresinden diğerine sinyal iletilmesi sırasında kullanılan nöron taşıyıcıların davranışlarını da tamamen kimyasal faaliyetler kontrol eder.” şeklinde görüşünü ifade etmekte ve farklı çalışmalardan da konuya deliller getirmektedir. Ancak Penrose beynin bu faaliyetinin şu anki kuantum kuramıyla anlaşılamayacağını da eklemektedir [3]. Penrose, durum vektörü indirgemesin daha gerçekçi olarak yapılmasını, R sürecinin yerine geçecek ve klasik düzeyle kuantum düzeyi arasında sağlıklı bir bağlantının kurulmasını sağlayacak yeni bir OR¹ süreci tanımlanmasını önermektedir.

Bir mantıkçı olan Solomon Feferman ise genel bir yaklaşımda bulunup Penrose’u eleştirmektedir. Feferman’ın bu konudaki görüşü şöyledir:

“Penrose ‘şuurlu bir zihin, bir bilgisayardan başka bir şey değildir’ görüşü yerine ‘şuurlu bir zihin, atom-altı fiziğin yansımından başka bir şey değildir’ görüşünü

¹ Objective Reduction: Gravitasyonel kütle çekiminin kütesiz kuantum karşılığı olan graviton değerinin üstünü aşan farklarda direk klasik düzeye geçilmesi

ikame etmek istemektedir. İnsan zihnine, hangisi olursa olsun, indirgemeci bir teori getirebilir miyiz? Şüphesiz hiçbir teori bu konunun çok farklı boyutlarını açıklamaya yetmez. ... bu konuyu açıklayabilmek için psikoloji, psikofizik, fizyoloji (nöro- ve diğerleri), biyokimya, moleküler biyoloji, makro ve mikro fizik ve algoritmik yaklaşımlar da dahil olmak üzere akla gelen bütün diğer alanlardaki açıklamaları kullanmamız gerekir” [12].

Baars ise, insanların sabah derin bir uykudan uyanırken bulundukları psikolojik durumları, müzik dinleme istekleri gibi şeylerin tamamen kuantum mekaniğiyle açıklanamayacağını söylemekte ve Penrose’u, “Shadows of the Mind” adlı kitabında [3] 400’den fazla referans verdiği halde bunların toplam 40 tanesinin bile psikoloji ve biyolojiden olmadığı için eleştirmektedir [27].

Kuantum bilgisayar kavramını ortaya atan David Deutsch, beyinde kuantum faaliyetinin gerçekleşmeyeceğini belirtmektedir [25]. Buna sebep olarak yukarıda belirtilen ve genel kabul görmüş büyük-ölçekli kuantum durumunun beyinde oluşamayacağını göstermektedir.

Beyinde geniş-ölçekli bir kuantum durumu (çok parçacığın katılarak oluşturduğu tek bir durum vektörü) oluşması için gereken en temel şartlar süperiletkenlik ve süperakışkanlıktır. Süperiletkenlik ve süperakışkanlık, mutlak sıfırın 3-4 derece altı gibi çok soğuk ısılarda oluşur. Burada asıl mesele, parçacığın, belirtilen geniş-ölçekli kuantum durumuna katılabilmesi için gerekli olan “enerji aralığını” aşması gerektiğidir. Beynin, çalışmasında sahip olduğu yüksek ısı ise bu “enerji aralığını” büyültüp parçacığın aşmasına engel olmaktadır. Ancak bazı maddelerin oda sıcaklığında, hatta kanın sahip olduğu sıcaklıklarda bile süperiletken olabilecekleri gösterilmiştir. Bu konuda en önemli çalışmayı Herbert Fröhlich yapmıştır. Fröhlich’in araştırmalarına göre sinir hücresi içindeki dipol osilatörleri (negatif ve pozitif kutuba sahip moleküller), negatif ve pozitif kutupları arasında oluşan kısa dönem elektrik kuvvetleri ve aralarındaki uzun dönem coulomb etkisi sayesinde titreşerek yüksek enerji seviyelerine ulaşırlar. Bu da, beynin çok soğuk olmasını gerektirmeden geniş ölçekli kuantum etkisine sebep olur.

Bu konuyla ilgili olarak 1980'lerde keşfedilen mikrotübüllerin yapısına da kısaca değinmekte fayda var. Mikrotübüller, aksonun dendritlerle birleşen kısımlarında ve dendrit üzerindeki dendrit omurgaların içinde gayet ince bir iskelet yapı oluştururlar. İçlerindeki çok ince lifleri oluşturan protein moleküllerinin ilginç bir özelliği vardır. Bunların içindeki bir elektron iki değişik durumda bulunabilir. Belli bir takım anestetikler verildiğinde bu elektronun yer değiştiremez hale geldiği, yani uyuşturmanın verdiği etkiyle donduğu görülmüştür. Buna göre, bu elektronun yer değiştirmesi, beyinde bir takım kuantum mekaniksel durumlar oluşmasına yol açabilir. Bu da, yukarıda belirtilen geniş-ölçekli kuantum durumu oluşmasına yaptığı katkıya göre değerlendirilebilir.

Buradan şöyle bir sonuca ulaşabiliriz: Eğer kuantum mekaniğindeki U ile R arasındaki geçişi tam anlayıp kuantum bilgisayarlarını klasik bilgisayarlardan farklı kılacak özellikleri bulabilirsek, beynin modellenmesinde çok büyük aşama kaydedebiliriz. Ancak kuantum mekaniğini yorumlamakta ve onu geliştirmekteki yetersizliğimiz ve bunun sonucu olarak beynin kuantum modelinin prensipte klasik modellerden farkının kalmaması, insan zihninin faaliyetlerinin modelini oluşturmada bize istediğimiz sonucu vermemektedir.

3.4. Psikolojik Yaklaşım

Psikoloji, insanın akıl, zihin, beyin faaliyetleri ve bunların dışa yansımaları ile ilgilenen bilimdir. Tarihi, antik çağlara dayanmasına rağmen 19. yüzyıl sonlarına kadar felsefe alanı içinde kalmıştır. 19. yüzyıldan itibaren gelişimi ise şu şekilde olmuştur [28].

- 19. yy sonlarında kendilerini murakabeci¹ olarak adlandıran bir kısım psikolog insanın şuurlu faaliyetlerini sistematik olarak incelemişlerdir.
- Aynı dönemlerde psikofizikçiler şuurlu tecrübe ile ortamdaki fiziksel bilgi arasındaki sistematik ilişkiyi açıklamaya çalışmışlardır.
- 20. yüzyılın başlarında gestalt psikologları denen bir grup psikolog, insanın algılama, düşünme, hafızaya kaydetme gibi işlemler sırasında bilgiyi nasıl organize ettiklerini araştırmışlardır. Gestalt psikolojisi 1912 yılında Christian von Ehrenfels tarafından ortaya atılmış ve zihinde bilgilerin belli bir biçimde (gestalt) organize bulunduğu görüşünü savunduğu için bu ismi almıştır.
- J.B Watson tarafından 1913 yılında ortaya atılan ve 1950'lere kadar etkisini çok fazla bir şekilde gösteren davranışçılık² başka bir psikolojik inceleme alanı olarak ortaya çıkmıştır. Son dönemdeki davranışçılar ise insan ve diğer organizmaların çevrelerine nasıl uyum sağladıklarını araştırmaktadırlar.

Bu şekilde gelişen psikoloji çok farklı dallara ayrılmıştır. İnsanın doğumundan yaşlılığına kadar davranışlarındaki değişimi ve gelişimi inceleyen psikoloji dalına gelişim psikolojisi, gruplar içinde ve değişik sosyal ortamlarda insanın davranışını inceleyen psikoloji dalına sosyal psikoloji, insan davranışlarındaki anormallikleri ve patolojik durumları inceleyen psikoloji dalına kliniksel psikoloji, insanların dışarıdan bilgileri nasıl algılayıp nesneleri kategorize edebildikleri ile ilgilenen psikoloji dalına algılama psikolojisi, insanların bilgileri nasıl depoladıkları, bunları düşünme, konuşma,

¹ Introspectionist: Kendi duygu ve düşüncelerini inceleyen, murakabe yapan

² Behaviourism

vb. işlemlerde nasıl kullandıklarını inceleyen psikoloji dalına ise bilişsel psikoloji¹ adı verilmektedir.

Tezin içeriği açısından burada sadece davranışçılık ve bilişsel psikoloji şeklinde bir ayırım yapılarak konu incelenecektir.

3.4.1. Davranışçılık

Psikolojik bir yaklaşım olarak davranışçılık J.B Watson tarafından 1913 yılında ortaya atılmıştır. Bu yıllarda davranışçı olarak adlandırılan bir grup psikolog insanları incelerken içsel yapılar kullanılmasının bilimsel olmadığını iddia etmişlerdir. Davranışçılara göre içsel yapılar direk gözlenemeyeceği için bilimsel açıklamalarda bu yapıları kullanmak psikolojinin kesin olmayan, eksik ve kötü bir bilim olmasına sebep olacaktı. Davranışçılar içsel yapılar yerine, insan faaliyetlerinin anlamlandırılmaya çalışılmasında, organizmanın algıladığı fiziksel veri ve bunun davranış olarak gözlenen cevabını kriter kabul etmek gerektiğini öne sürdüler. Felsefi açıdan davranışçılık ise W. V. O. Quine'e dayandırılır. Psikolojik davranışçılıkla felsefi davranışçılık arasında farklar olmasına rağmen varolduğunu düşündüğümüz içsel durumların davranışlardan ibaret olduğu görüşünde birleşmektedirler [29]. Bu felsefi akıma göre inanma, hoşlanma, nefret etme, his gibi insan zihninin durumları fiziksel davranış olarak gözlemlenebilir. Yani bu zihinsel durumlar tamamen fiziksel davranış olarak yansır. Aslında davranışçılık katı ve yumuşak olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Yukarıdaki tanım yumuşak davranışçılığın tanımıdır ve bu yaklaşım zihnin maddi olmayan yapısı olduğunu kabul eder. Katı yaklaşımda ise maddi olmayan zihin kavramı tamamen reddedilmiş ve zihinsel durumlar olarak adlandırdığımız şeylerin insanın fiziksel davranışlarını ifade etmek için bulunmuş kavramlar olduğu kabul edilmiştir. Zihin-beden problemlerini psikolojik açıdan ele alırken bu fark önemlidir ancak zihnin durumlarını, bu durumlara sahip olduğunu varsaydığımız şeylerin fiziksel davranışlarından anlayabileceğimizi savunan görüşü incelerken önemli değildir. Çünkü iki yaklaşım da insan zihninin faaliyetlerinin sadece davranışlardan anlaşılabilirliğini savunur.

¹ Cognitive Psychology: Cognition; bilgi toplama, düşünerek, tecrübe ve hisleri kullanarak anlama olarak tanımlanmaktadır.

Davranışçılık 50-55 yıldan beri etkisini kaybetmiştir. Ancak yine de insan faaliyetlerine bu açıdan açıklama getirme çalışmaları devam etmektedir. Davranışçılığın önemini yitirmesine en büyük sebep dil biliminin gelişmesidir. Önemli bir davranışçı olan B. F. Skinner 1957’de dil öğrenimini davranışçı yollardan açıklama çalışmaları başlatmışken, genç bir dilbilimci olan Noam Chomsky’nin 1959 yılındaki eleştirisi ve alternatif görüşü bu çalışmalara olumsuz etki etmiştir. Chomsky’nin öne sürdüğü teoriye göre gözlenen veri ve bunun sonucu olan cevaplar insanların konuşma faaliyetini açıklamada oldukça yetersiz kalmaktadır. Birçok kişi Chomsky’nin öne sürdüğü argümana dayanarak dil öğreniminin içsel yapılara bağlı olduğuna ikna olmuşlardır.

3.4.2. Bilişsel Psikoloji

Psikoloji tarihi boyunca insanlara fiziksel belirtilerden bağımsız olarak, içsel yapılar atfedilmiştir. Freud’çu yaklaşımlar ego ve id gibi dinamik kuvvetler, şahsiyet teorisyenleri dışadönüklük, içe kapalılık, saldırganlık gibi özellikler, sosyal psikologlar yeniliğe karşı olma gibi tavırlar, felsefeciler ise bilme, inanma gibi zihni durumlar atfetmişlerdir.

Bilişsel psikolojide ele alınan içsel yapılar ise, insan beyninin bilgiyi nasıl işlediği ile ilgili ve genelde bilgi işleme olarak adlandırılan faaliyetleri ifade eden daha özel yapılardır. Bunlardan bir kısmı verinin dış ortamdan nasıl alındığı, diğer bir kısmı hafızaya nasıl depo edildiği, diğerleri ise bilgilerin geriye nasıl çağrıldığı, nasıl işlendiği ve çevreye nasıl iletildiği ile ilgili mekanizmalardır.

Bilişsel psikolojinin ilgilendiği bilişsel yapılar bilinçli zihni durumları temsil etmezler; bunlar bilinçsiz olarak veri işleme ile ilgili yapılardır. Aslında bilişsel psikolojinin amacı insanın şuurlu davranışlarını ve zihni durumlarını açıklamak değil, beynin bilgiyi nasıl işlediğini ortaya koymaktır.

Bu haliyle bilişsel psikoloji nöral bilimlere daha çok benzer; ancak nöral bilimler beynin sadece fiziksel yapısıyla ilgilenirken bilişsel psikoloji bu fiziksel yapının bilgiyi nasıl işleyebildiğini açıklamaya çalışır.

Bundan sonraki bölümlerde bilişsel psikolojinin temel konuları olan ve yapay zeka çalışmalarında da önemli bir yere sahip bulunan algılama, hafıza, ve düşünme adı altında toplanabilecek karar verme, aklı yürütme, problem çözme konuları işlenecektir.

3.4.3. Algılama ve Kategorizasyon

Algılama, reseptör adı verilen sinir hücreleri yardımıyla dış ortamdan verilerin sinyal şeklinde alınmasıdır. 2. bölümde anlatıldığı gibi algılama beynin arka loblarında, birincil bölgelerde gerçekleşir. Algılamayı ilginç ve önemli kılan, algılanan sinyallerin dış ortamdaki nesneleri temsil edebilecek yapıya nasıl dönüştürüldüğüdür. Çok basit görünmesine rağmen insanın anlama ve düşünme işleminde önemli bir yere sahip bu mükemmel ve enteresan mekanizma kategorizasyondur.

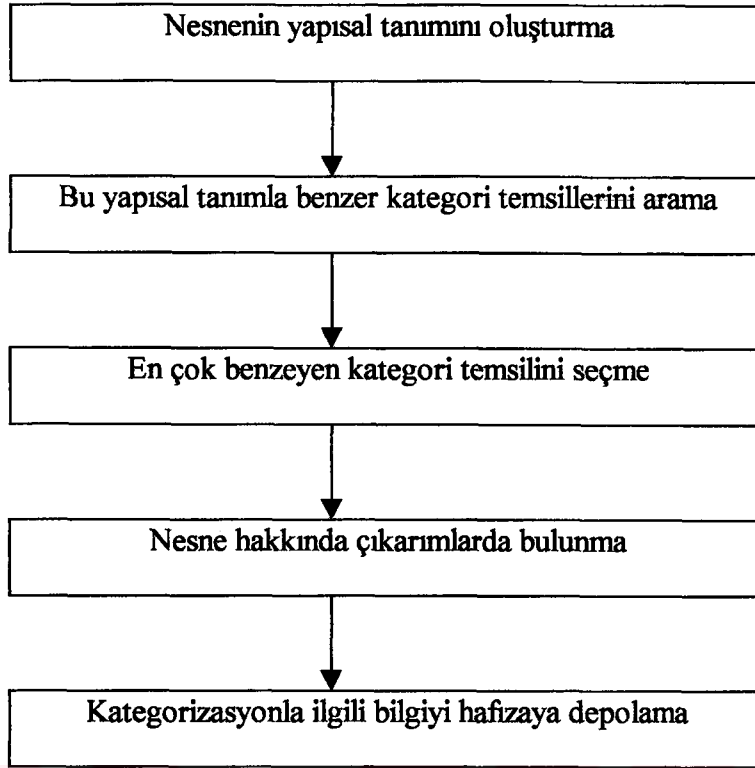
İnsanlar günlük hayatın her anında sandalyeleri, ağaçları, kuşları, kedileri, bulutları, insanları; okurken harfleri, kelimeleri; insanlarla ilişki içindeyken davranışları, tavırları, jestleri, mimikleri ayrı ayrı tanıyabilirler. Bu işlem sadece görmede değil birçok duyu faaliyetinde gerçekleşir. İnsanlar, farklı farklı hayvanların sesini, ağlama sesiyle gülme sesini, bayanla erkek sesini ayırt edebilir, kokuları ve tadları ayrı ayrı hissedebilirler.

Kategorizasyon, algılama ile anlama ve düşünme arasında bir köprüdür. Kategorize etmek, gerçek bir cismin (mesela sandalye) beyinde temsilini oluşturmaktır. Yani beyinde bir grup nöron sandalye durumunu oluşturur; bunun manası nöronların sandalyeyi temsil edebilecek kimyasal ve fiziksel yapıya gelmeleridir.

Kategorizasyon sırasındaki temsiller bazen hafızada depolanır, bazen başka temsillerle birleştirilir, duruma göre yeni temsillere dönüştürülürler. Bazen de bir anlama ve düşünme faaliyeti başlatabilirler.

Nesnenin yapısal tanımını oluşturmak, nesnenin algılamaya temel teşkil eden özellikleri ile bu özellikler arasındaki ilişkiyi belirlemektir. Aslında yapısal tanım daha sonra değinilecek “frame” yapılarına bir örnektir.

Kategorizasyon sırasında önce nesnenin yapısal tanımı oluşturulur. Daha sonra hafızada benzer yapısal tanımlara sahip kategori temsilleri aranır. Üçüncü adım olarak nesneyi sınıflandırmak için en uygun kategori temsili seçilir. 4. adımda kategori bilgisinden faydalanılarak nesne ile ilgili çıkarımlar yapılır. Mesela nesne bir sandalye



Şekil 3.14. Kategorizasyon işleminin akış şeması

ise yapılacak çıkarım “bu nesneye oturulabilir” şeklinde olabilir. Kategorizasyonun asıl amacı da budur; yani algılayıcının amacı doğrultusunda algılanan şeyden çıkarımlar yapmaktır. Sonuncu olarak da kategorizasyonla ilgili bilgiler hafızada saklanır, daha sonraki kategorizasyonlar bu bilgilerden faydalanır (Şekil 3.14).

Burada kategorizasyon konusunun çağrıştırdığı sinir ağları modeline başka bir açıdan şöyle bir yaklaşım getirilebilir. Sinir ağları modelinin ürettiği sonucu bir mantık akışı içerisinde açıklayamaması en önemli dezavantajı olarak görülür. Sembolik yaklaşımlar ise çıkardıkları sonucu adım adım açıklayabilir. İnsan da akıl yürütme, problem çözme gibi işlemlerde kullandığı yöntemi açıklayabilmektedir. Buradan yola çıkarak yapay sinir ağlarının da yaptığı çıkarımı açıklayabilecek şekilde geliştirilmesi gerektiği düşünülür. Ancak burada farklı kavramların birbiriyle karşılaştırılması gibi yanlış bir yaklaşım vardır. Çünkü sinir ağlarının asıl kullanım amacı kategorizasyon işlemini gerçekleştirebilmektir. Ses ve görüntü (insan yüzü, parmak izi, harf) tanıma işlemleri sinir ağlarına yaptırılabilir. İnsanın akıl yürütme gibi faaliyetleri ise sembolik yaklaşımlarla modellenir. Sinir ağlarından yaptığı çıkarımları açıklamasını beklememize rağmen insandan böyle birşey beklemeyiz. Yani bir insanın sandalyeyi sandalye olarak,

bir harfi belirtilen harf olarak nasıl algılayıp gruplayabildiğini açıklamasını beklemeyiz ve açıklayamadığı için de bu insanın yetersizliğine hükmetmeyiz. (Böyle bir açıklamayı ancak bilişsel psikoloji üzerinde çalışan bir bilimadamı sınırlı bir şekilde yapabilir). Burada asıl mesele, sinir ağlarının sadece insanın algılama ve kategorizasyon faaliyetlerini modelleyebileceğini ancak üst düzeyde yapıldığı düşünülen (her ne kadar bunlar da sinir hücrelerinden oluşmuş bir beyin içinde yapılsa bile) faaliyetleri modellemekte kullanamayacağını kabul edip etmemeye bağlıdır. Eğer böyle bir yaklaşım kabul edilirse sinir ağlarının ürettikleri sonuçları açıklaması beklenmez ve sinir ağları sembolik işlemleri yapabilecek şekilde geliştirilmek yerine, daha iyi kategorizasyon yapabilecek şekilde geliştirilir. Bu durumda, sinir ağlarının ürettiği sonucun bilgi veya sembol düzeyi işlem yapan modellerde kullanılmasını sağlayacak yeni yapılar geliştirilmeye çalışılır; yani sinir ağları yaklaşımı ile sembol işleme yaklaşımları uygun şekilde birleştirilir. Eğer bu yaklaşım kabul edilmezse sinir ağlarının, yaptıkları çıkarımları açıklayabilecek ve karar verme, akıl yürütme gibi daha soyut işlemleri gerçekleştirebilecek şekilde geliştirilmeleri gerekir.

3.4.4. Hafıza

Birçok psikolog, bilginin beyinde nasıl depolandığı ile ilgili teoriler öne sürmüşlerdir. Bu teorilerden en yaygın olanları ise 1950-1960 yılları arasında öne sürülen çoklu-hafıza modelleridir. Günümüzde en yaygın olarak kabul edilen model ise Atkinson ve Shiffrin'in 1968'de öne sürdüğü çoklu-hafıza modelidir. Buna göre insanın bilgi sistemi 3 hafızaya ayrılmaktadır. Bunlar: duyuşal hafıza, kısa-süreli hafıza ve uzun-süreli hafızadır.

Algılamının gerçekleştiği andaki veriler ham bir şekilde duyuşal hafızaya alınır. Her duyu organı algıladığı veriyi kendisiyle ilgili duyuşal hafızaya kaydeder. Bu şekildeki algılama bilince bağlı olmayıp otomatik gerçekleştiği için duyuşal hafıza çok fazla miktarda veriyi depolayabilecek kadar geniştir. Burada bilgilerin tutulma süresi çok kısadır.

Önceki kısımda belirtilen kategorizasyon mekanizmaları, bu veriyi işleyerek temsilini oluştururlar. Daha sonra bu temsiller kısa-süreli hafızaya aktarılır.

3.4.4.1. Kısa Süreli Hafıza

Kısa-süreli hafıza, bilgilerin gerçek fiziksel nesneleri temsil eden yapılar şeklinde bulunduğu ilk yerdir. Bilişsel psikologlar kısa-süreli hafızada bilgilerin nasıl oluşturulduğunu, nasıl ve ne kadar süreyle tutulduğunu ve daha sonra nasıl geriye çağrıldığını araştırmışlardır. Bu, genelde hafıza üzerinde çalışma yaparken izlenen yöntemdir ve kodlama, depolama, geriye çağırma şeklinde 3 aşamadan oluşur.

Kodlama: Kısa-süreli hafıza üzerindeki çalışmalar, buradaki ilk amacın duyu hafızasındaki verilerin konuşma dili şeklinde kodlanması olduğunu göstermiştir. Bu konuyu açıklamak için 1964 yılında R. Conrad tarafından yapılmış bir deneyi inceleyelim. Conrad, alfabedeki bazı harfleri sesli ve görüntülü olmak üzere deneklere göstermiştir. Deneyin amacı açısından harfler karıştırılmaya müsait bir yapıda (görsel aşamada biraz daha fazla ışıklı, ses olarak ise biraz gürültülü) verilmiştir. Bu noktada deneyin amacına ulaşılmış ve harfler görsel olarak gösterildiğinde bazı denekler tarafından karıştırılmıştır; mesela K, R ve X'le; D ise O ve Q ile karıştırılmıştır. Sesli olarak verildiğinde ise C, V ve Z ile; F ise S ve X ile karıştırılmıştır¹.

Deneyin ikinci aşamasında ise deneklere bir dizi harf gösterilmiş ve hemen arkasından dikkatlerini dağıtıcı ve tekrarlamalarını önleyici bir iş yapılmıştır. Daha sonra bu harf dizisini tekrarlamaları istendiğinde yine bazı denekler harfleri karıştırmışlardır. Buradaki karıştırma yukarıdakilerden farklı olarak hafızaya kaydedilen bilginin tekrar çağrılmasıyla ilgili bir karıştırma değildir. Conrad, karıştırılan harflerin, büyük çoğunlukla harfler sesli olarak karıştırılmaya müsait verildiğinde karıştırılan harfler olduğunu görmüştür. Mesela C harfi unutulduysa onun yerine G veya O değil V veya Z denilmiştir. Harflerin görsel olarak verilmesine rağmen sesli olarak verildiklerindeki yerlerinin karıştırılmasından yola çıkılarak, kısa-süreli hafızada harflerin sözel bir yapıda tutulduğu sonucuna varılmıştır. Aynı deney sağır insanlara uygulandığında ise karıştırılan harflerin görsel karıştırmadaki harflerle yer değiştirildiği görülmüş, sağırın, sesi hiç algılamadıkları için verileri sözel olarak değil görsel olarak kodladıkları sonucuna varılmıştır.

¹ Bu deneyde kullanılan dil İngilizce olduğu için harflerin okunuşunda buna dikkat etmek gerekir.

Depolama: Bilgilerin depolanması konusunda iki parametre öne çıkar. Bunlardan biri depolamada nasıl bir yapı kullanıldığı, diğeri ise depolama süresidir.

Depolama konusuna açıklık getirmek için genelde şöyle bir test uygulanır.

4 7 2

8 1 3 9 2

7 3 8 6 9 8 1 5 3 2

Yukarıdaki dizilerden birinci sıradaki dizideki rakamları kısa bir bakışta ezberleyip tekrarlayabiliriz. Ancak bu dizi uzadığında bazı rakamları unutma ihtimalimiz artar; en azından zorlanırız. Mesela ikinci dizinin rakamlarını tekrarlamak daha zorken üçüncü dizideki rakamları akılda tutabilmek imkansız gibidir.

1 4 5 3 1 8 7 6 1 9 4 4 2 0 0 1

Bu diziye rakam rakam ezberlemek yerine, 4 haneli 4 sayı şeklinde ezberlese 4 rakamı ezberler gibi akılda tutabiliriz. Buradan yola çıkarak psikologlar bilginin “chunk” denen veri kümeleri halinde tutulduğu kanaatine varmışlardır. Kısa süreli hafızanın kapasitesi 5 chunk civarındadır. Kısa süreli hafıza ile ilgili J. Brown, L.R. Peterson ve M.J. Peterson’un yaptığı çalışmalar, bilgilerin tekrarlanmadığı takdirde unutulması için geçen sürenin en çok 20 saniye olduğunu göstermiştir [28].

1965 yılında Waugh ve Norman’ın yaptığı çalışmalara göre unutma, yeni bilgilerin gelmesi nedeniyle olmaktadır. Yani yeni “chunk”ların gelmesi eskilerinin üzerine yazılmasına sebep olmaktadır.

Alan Baddeley ve arkadaşları ise unutmada yeni bilgilerin değil, geçen sürenin önemli olduğunu ileri sürmüşlerdir. Ayrıca Baddeley 1.5 sn civarında tekrarlanan bilgilerin hafızada kalıcı olduğunu ortaya koymuştur.

Geri getirme: Hafızaya depolanan bilgileri geri çağırma işlemi, düşünme, karar verme, konuşma gibi pekçok önemli faaliyet için gerekli bir işlemdir. S. Sternberg’in yaptığı araştırmalar, verilerin kısa-süreli hafızadan seri olarak çağrıldığını ortaya koymuştur. Bir dizi veri, deneklere okutulup belli bir zaman sonra dizide herhangi bir sayının bulunup bulunmadığı sorulmuş ve geçen süre hesaplanmıştır. Farklı boyutlardaki diziler üzerinde yapılan deneyler, cevap vermek için geçen sürenin dizinin

boyuyla orantılı olduğunu göstermiştir. Ancak daha sonra bulunan sınırlı kapasiteli paralel veri getirme modelleri dikkate alınarak bu sonuçlar farklı yorumlanmıştır. Kısa süreli hafızadan veri paralel olarak getirilmesine rağmen veriyi işleyecek kaynak yetersizliğinden dolayı işlemler seri olarak gerçekleşir.

Çalışma Hafızası: Çalışma hafızası kavramını Baddeley ve Hitch kısa-süreli hafızaya alternatif olarak önermişlerdir. Bu hafızanın, bazı bilişsel işlemler gerçekleştirilirken verileri uzun süreli hafızadan getirip kullanmak, ara sonuçları kaydetmek, bazı mekanizmaları çalıştırmak için kullanıldığı düşünülmüştür. Uzun süreli hafızadan o andaki işleme özel verilerin getirilip tutulduğu, bu verilerin işlendiği ve oluşan yeni değerlerin kaydedildiği bir sistem olarak, çalışma hafızasının çok karmaşık bir yapısı vardır.

Baddeley ve Hitch çalışma hafızasını, bu haliyle uzun süreli hafıza ve duyu hafızasından ayrı başlı başına bir yapı, yani otonom bir sistem, olarak düşünmüşlerdir. Daha sonraları Craig ve Lockhart ise, verilerin ve onları işlediğini düşündüğümüz kalıcı fonksiyonların uzun süreli hafızada depolandığından hareketle çalışma hafızasının, uzun süreli hafızanın belli bir bölgesinin geçici hafıza olarak aktifleşmesiyle oluştuğunu ileri sürmüşlerdir.

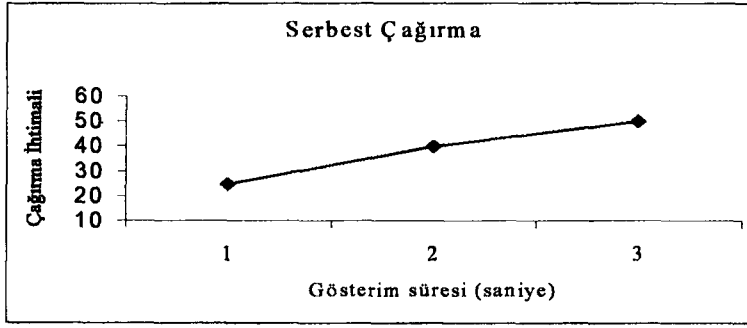
3.4.4.2. Uzun Süreli Hafıza

Uzun süreli hafıza bizzat yaşanan tecrübelerle bağlı veya tecrübeye dayanmayan birçok bilginin tutulduğu ve kısa-süreli hafıza gibi geçici ve sınırlı olmayan hafızadır.

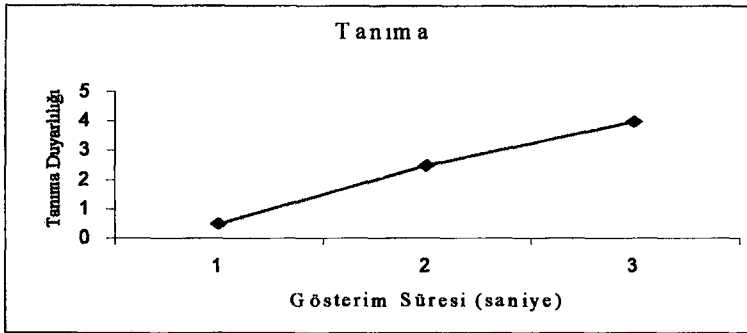
Kodlama: Bilgileri kodlamada kategorizasyonun çok önemi vardır. Bunun dışında veri üzerinde yapılan işlem miktarı, bu işlemin nasıl yapıldığı ve organizasyon kodlamayı etkileyen faktörlerdendir.

Verileri algılama ve öğrenme için geçen süre ne kadar uzunsa kodlama da o kadar sağlıklı olur. Bu şekilde kodlanan bilgiyi tanımak ve geri çağırmak daha kolaydır (Şekil 3.15).

Verileri tekrarlama da iyi bir kodlama için gereklidir. Verileri belli aralıklarla göstermek hatırlamayı artırmaktadır; görme süresi kadar, görme sayısı da önemlidir (Şekil 3.16).

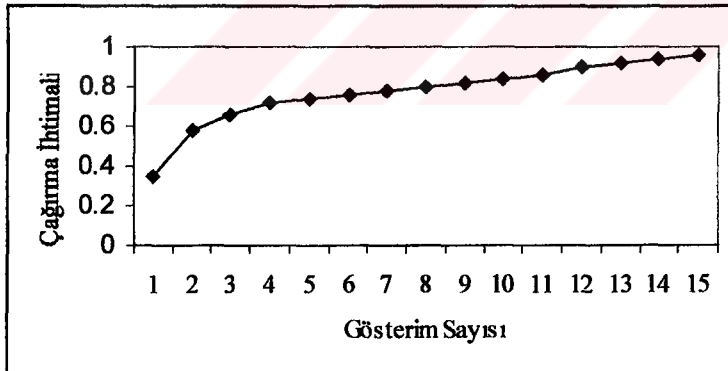


(a)



(b)

Şekil 3.15. (a) Geri çağırma da gösterim süresinin önemi (b) Tanıma da gösterim süresinin önemi



Şekil 3.16. Geri çağırma da gösterim sayısının önemi

Kodlamada en önemli kriter ise organizasyondur. Hafızada bilgiler her ne kadar belli bir yapıda bizim bilincimiz dışında organize edilse de, bilgileri alma sırasındaki bilinçli organizasyon da önemlidir ve bu organizasyona katkıda bulunur. Mesela; dergi, saat, müdür, uçak gibi bir kelime dizisini aklımızda tutabilmek için “Ofisinde dedesinden kalma bir saat bulunan müdür uçaklarla ilgili dergi okuyordu” şeklinde bir senaryo üretebiliriz.

Depolama: Kodlanan bilgilerin nerede ve nasıl saklandığı, depolandıktan sonra güncellenip güncellenmediği, unutulup unutulmadığı, diğer bilgilerle ilişkisi depolama konusunu teşkil eder.

Tulving 1972’de uzun süreli hafızanın olaysal ve semantik olmak üzere 2’ye ayrılmasını önermiştir. Tulving’e göre yeni gelen bilgiler önce olaysal hafızaya kaydedilmektedir. Olaysal hafızada temelde olayların yeri ve zamanı tutulmaktadır. Ancak, bir olayı hatırlamak ve gerçekleştiğini bilmek için yerini ve zamanını bilmeye gerek yoktur. Buradan yola çıkarak belli bir anda algılanan bir durumun daha soyut düzeyde, semantik hafızada, kaydedildiği sonucuna ulaşılmıştır. Mesela Türkiye’nin başkentinin Ankara olduğunu bilmek, Ankara’nın ne zaman başkent kabul edildiğini ve coğrafi yerini bilmekten farklıdır. Aslında semantik genelde dille ilgili kullanıldığı için bu tür bilgilere kavramsal bilgi¹ denir.

Hafızadaki bilginin hiç yok olmadığına dair de güçlü deliller vardır. 1963’de Penfield ve Perot’un yaptığı deneylere göre beynin uygun yerlerine gönderilen sinyaller kişilerin çocukluk hatıralarını hatırlamalarına sebep olmaktadır. Hipnoz olayı da bilgilerin unutulmadığına delil gösterilmektedir.

“Frame” Yapılar: Frame yapılar, hafızada bilgilerin özellik ve değer ikilisi şeklinde birbirleriyle ilişkili olarak bulundukları görüşünden hareketle hafızanın bilgi depolama şeklini modelleyen yapılardır. Bunlara “şema” veya “şemata” da denilmektedir.

İnsanlar, frame’in temsil ettiği kavram hakkında az bilgiye sahip olabileceklerinden, frame’ler içindeki özellikler yetersiz, sistematik ve doğru olmayan bir yapıda bulunabilir. Frame içindeki bir değer aynı zamanda özellik olabilir. Frame yapılarına şöyle bir örnek verilebilir: Bir *araba* frame’i için motor bir özelliktir ve değerleri dört silindir, altı silindir, sekiz silindir olabilir. “Altı silindir” bir değerken aynı zamanda bir özelliktir ve değeri yatay altılı, dikey altılı gibi değerler alabilir. Bir *satınalma* frame’inin ise ödemeşekli adlı bir özelliği bulunabilir ve nakit, çek, kredi kartı gibi değerler alabilir.

¹ Conceptual knowledge

İnsanlar bir kategoriye ait örnek gördüklerinde, o kategoriye temsil eden frame yapısını çağırıp, frame'in özelliklerine o örneğin ilgili değerlerini atarlar. Bazen özellik değerleri bilinmeyen, açıkça bahsedilmemiş kategori örnekleriyle karşılaşılabilir. Bu durumda kişi, varsayılan değerler dediğimiz en çok karşılaştığı değerleri kullanır. Buna zihinde canlandırma da diyebiliriz.

Frame'ler özellikler ve değerler arasında ilişki sağlar. Mesela bir *araba* frame'inde sürücü ile yakıt özellikleri arasında *satınalma* ilişkisi vardır. Benzer şekilde yakıt ile motor arasında *akar* ilişkisi kurulabilir.

Değerler arasındaki kısıtlar veya korelasyon, frame'lerde diğer önemli ilişki türüdür. Mesela *satınalma* frame'inde sebze satıcısı, donanım satıcısı, kasap gibi değerler alabilen *satıcı* özelliğinin değerini bilmekle *ürün* özelliğinin alabileceği muhtemel değerleri tahmin edebiliriz.

Frame'lerin diğer önemli bir özelliği ise, birbirleri içinde rekürsif olarak bulunabilmeleridir. Mesela *araba* frame'inin *motor* özelliği aynı zamanda bir frame olabilir. Bu frame'in ateşleme sistemi, yağ sistemi, soğutma sistemi gibi özellikleri bulunabilir. *Ateşleme sistemi* de batarya, buji, distribütör gibi özellikleri bulunan bir frame olarak düşünülebilir.

Kategorizasyon, "chunk"ların organize edilmesi, uzun süreli hafızada verinin kodlanması, verinin tekrar geri çağırılması gibi kavramları açıklamada frame yapıları kullanılabilir. Düşünme aşamasında da frame'lerin rolü büyüktür.

Bilgi Getirme: Depolanan bilgileri gerektiğinde kullanabilmek önemli bir özelliktir ve burada bilgiyi geri çağırırken kullanılan *ipucu* önem kazanır. Bilgi, hafızada bulunmasına rağmen yeterli ipucu yoksa geri çağırılmaz ve buna geri getirme başarısızlığı denir. Bilgiyi geri çağırmada, etkin olmayan ipuçları yerine etkin ipuçlarını kullanabilmek önemlidir. Bir ipucu getirilecek hedef veriyle çakıştığı ölçüde faydalıdır.

Şöyle bir örnekle konu daha açık hale getirilebilir. Bir deneğe 10 ayrı kategorinin her birinden 6 kelime olmak üzere 60 kelime, karışık bir şekilde verilsin. Deneğin herbir kelime için algılama, kavram, ilişkilendirme ve içerik olmak üzere 4 ayrı bilgiyi hafızasına kaydettiğini düşünelim. Mesela "papağan" kelimesi ile ilgili hafızada şu

bilgiler bulunur: yazılı haldeki kelimenin rengi, font tipi gibi algılama bilgisi; papağanın vücut yapısı, davranışları, yaşama ortamı ve *kuş* sınıfına ait olduğu ile ilgili kavram bilgisi; papağanı kartal, şahin, serçe gibi diğer kuşlarla ilişkilendiren, ilişkilendirme bilgisi; deneyin yapıldığı zaman, yer ve deneğin o andaki hisleri ve düşünceleri ile ilgili içerik bilgisi. Bu 4 bilginin, bilgi getirmede çok önemli rolleri vardır.

Şimdi deneğe 3 farklı test uygulansın. *Serbest çağırmada*¹ denek 60 kelimeden hatırlayabildiği kadarını hiçbir sınırlama olmadan söyler. Burada deneğin kullanacağı ipucu içerik bilgisidir, test “deney sırasında listede bulunan isimleri hatırlamaya çalış” şeklinde bir testtir. *İpucu verilerek yapılan çağırmada*² ise 10 kategori ismi verilir (başta kelimeler verilirken kategorilerden bahsedilmemişti) ve deneğin buradan yola çıkarak kategorilerdeki elemanlardan hatırlayabildiklerini söylemesi istenir. Bu testte ipucu içerik bilgisi ile kavram bilgisidir. Yapılan test “kuş kategorisine dahil isimleri hatırla” şeklinde bir testtir. *Tanımda*³ ise deneğe listede olan 60 isim ile birlikte listede bulunmayan 60 isim verilir ve listede olanları ayırtması istenir. Burada ipucu algılama bilgisini de içerir. Yani test “papağan kelimesini deneyde gördün mü?” şeklinde bir sorudur. Görüldüğü gibi burada ipucunun hedef bilgiyle çakışma oranı gittikçe artmaktadır; bu da doğru ve çok sayıda kelimeyi hafızadan geri getirme ile doğru orantılıdır.

Getirilmesi istenen bilginin yapısı da bilgi getirme de önemlidir. Mesela şu şekilde bir dizi cümle verilmiş olsun. Cenk’in çok sayıda arkadaşı vardır; Cenk çok fazla basketbol maçına gider; Cenk eğlencelerden hoşlanır; Cenk çok neşeli biridir. Bu gibi cümleler verilen bir kişiye “Cenk dışadönüktür” cümlesinin orijinal listede olup olmadığı sorulursa, dizideki benzer cümle sayısının fazlalığı oranında karar verme süresi artacaktır. Ancak böyle bir cümleyi, Cenk hakkında söylemenin mantıklı olup olmadığı sorulursa karar verme süresi cümlelerin fazlalığı oranında azalacaktır.

Bilgilerin organizasyonu da önceden değinildiği gibi önemlidir. Bilgi getirmede organizasyonun önemini gösteren şöyle bir deney yapılmıştır. Deneklere “*kuş arabanın* üzerinde uçuyor” gibi ayrı ayrı bulunduklarında birbiriyle alakası olmayan kelimelerden

¹ free recall

² cued recall

³ recognition

oluşan (kuş ve araba gibi) çok sayıda cümle verilmiştir. Daha sonra deneklere teker teker değişik kelimeler verilerek bu kelimelerin cümlelerin içinde geçip geçmediği sorulmuştur. Mesela bazı deneklere önce *kuş* kelimesinin, arkasından *araba* kelimesinin geçip geçmediği, bazılarına ise önce *kitap*, sonra *araba* kelimesinin geçip geçmediği sorulmuştur. Deney sonunda *araba* kelimesinin geçip geçmediğine karar verme süresinin, *araba* kelimesi *kuş* kelimesini takip ettiğinde hızlı, *kitap* kelimesini takip ettiğinde ise yavaş olduğu görülmüştür.

3.4.5. Düşünme- Karar Verme, Akıl Yürütme, Problem Çözme

Buraya kadar işlenen konular, aslında düşünmeye göre insanın pasif denilebilecek bilişsel faaliyetleriyle ilgiliydi. Asıl konumuz olan insanın beyin/zihin faaliyetlerinin modellenmesi konusuna psikologların yaklaşımı karar verme, akıl yürütme, problem çözme faaliyetleri olarak özetlenebilecek düşünme konusunda kesinleşmektedir. Çünkü karar verme, akıl yürütme, problem çözme gibi faaliyetler, insanların şu ana kadar ortaya konulmuş modellerden bariz üstünlüğünü ortaya koymaktadır. Psikologların bu konudaki yaklaşımını da özet olarak şöyle verebiliriz:

“Araştırmacılar sayısal analiz ve mantık işlemlerini bilgisayarlarda gerçekleştirebilmelerine rağmen insanın düşünme sistemi altında yatan işlemleri tam olarak gerçekleştirememektedirler. Bilgisayarlar sayısal analiz ve algoritmik olarak çıkarım yapma gibi formel işlemlerde daha iyi olsalar bile, insanlar, karar verme, akıl yürütme gibi gerçek dünya ile ilgili işlerde daha üstündürler. Bu da insanın formel olmayan karmaşık yapısını ortaya koymaktadır.” [28].

Düşünme, bilişsel psikolojinin şu ana kadar ortaya koyabildiği perspektiften bakılırsa, çalışma hafızasında, çoğu şuurlu bir dizi dönüşüm işlemi gerçekleştirmektir şeklinde tanımlanabilir. İnsanın şuurlu düşünme işleminde şu bileşenler önemlidir: Benzerlik, kullanılabilirlik ve framerler.

Benzerlik insanın düşünce yapısında çok önemli rol oynar. İnsanlar genellikle iki bilgi temsilini karşılaştırıp birbirine benzeyip benzemediğine karar verirler. Benzerlik, formel akıl yürütmede kullanılan karşılaştırmalardan çok farklıdır. Mantıkta iki önerme arasındaki karşılaştırma birinden diğerinin çıkarılıp çıkarılamayacağı, birinin diğerinin alt kümesi veya değil olup olmadığı şeklindedir. Matematikte, iki sayı arasında yapılan

karşılaştırma ise, hangisinin büyük olduğunu, birbirlerine bölünebilirliklerini, vb. anlama şeklindedir. Bu şekildeki formel karşılaştırmalarda çok kesin belirlenmiş prosedürler takip edilirken, insanın benzerlik karşılaştırması işleminde ise sınırlama yoktur; çünkü insanlar bu karşılaştırmayı kendi belirledikleri herhangi bir kritere göre yaparlar.

Kullanılabilirlik de insan düşüncesinde önemli bir yere sahip formel olmayan bir işlemdir. Kullanılabilirlik uzun-sürelî hafızadan bir bilgiyi getirme kolaylığı ile ilgilidir. Çok sayıda tekrar, dikkatli algılama, veriyi bulup getirmede kullanılan ipuçlarının birbiriyle ilişkisi gibi birçok etken verinin kullanılabilirliğini artırır.

Karar verme ve akıl yürütme gibi işlemlerde insanlar, anlamak, bilgilerini birleştirmek, veriyi soyutlamak gibi işlemler için “frame” yapılarını sıkça kullanırlar. Araştırmalara göre, mantık ve matematik kuralları kullanılarak bilgilerin organize edildiği formel mantık yürütme prosedürlerinden farklı olarak, insanlar genelde günlük hayattaki formalize edilemeyen tecrübelerine bağlı olarak frameleri oluştururlar.

Kısaca sayılan 3 özellik insanın düşünme sisteminde çok önemli bir yere sahiptir: Benzerlik çalışma hafızasındaki karşılaştırmalarda merkez teşkil eder; kullanılabilirlik düşünme işleminin her aşamasında gerekli olan hafızadan bilgi getirme işleminde önemlidir; frameler ise anlama ve akıl yürütmede önemli olan bilgilerin organize halde bulunması için gereklidir.

3.4.5.1. Karar Verme

Karar verme işleminde öncelikle yapılan iş muhtemel *seçenekleri* belirlemektir. Mesela bir kişi iş seçimi yaparken tıp doktorluğu, bilgisayar programcılığı, inşaat mühendisliği gibi seçenekler belirleyebilir. Daha sonra herbir seçeneğin, seçilmesi halinde sebep olabileceği muhtemel *sonuçları* belirler. Mesela tıp doktorluğu seçmenin sonuçlarının iş memnuniyeti, esnek çalışma saatleri ve yüksek gelir olduğu düşünülebilir. Herbir sonucun sağlayacağı *fayda* ve bunun gerçekleşme *ihtimali* belirlenir. Mesela iş memnuniyetinin faydası 100 üzerinden 80 ve bunun gerçekleşme ihtimali ise %90 olarak belirlenebilir. Bu şekildeki sonuçların muhtemel fayda ve zararları ile bunların gerçekleşme ihtimalleri birleştirildiğinde herbir seçeneğin ağırlıklı faydası bulunmuş olur. Sonuç olarak en yüksek faydaya sahip seçenek seçilir.

Buradan da anlaşılacağı gibi karar vermede en önemli ögeler fayda değerleri ve ihtimallerdir. Bu şekildeki muhtemel bütün değerleri birleştirme ise beklenen fayda¹ ve bayes teoremi gibi istatistiki yollarla hesaplanabilmesine rağmen, insanlar böyle formüller yerine “temsil edilebilirlik sezgisi” adı verilen bir yolla sezgisel olarak ihtimallerin gerçekleşme eğiliminden yola çıkmaktadırlar. Temsil edilebilirlik sezgisi, “aslında şu gerçekleşir gibi geliyor bana” şeklinde bir yaklaşımdır ve formel bir kalıba sığdırılmaz.

3.4.5.2. Akıl Yürütme

İnsanların kullandığı çok sayıda akıl yürütme teknikleri mevcuttur. Bunlardan en önemlileri ise tümevarım ve kıyastır.

1- Tümevarım:

Gözlemlerden ve örneklerden yola çıkarak genelleme yapmaya tümevarım denir. Tümevarımda kullanılacak gözlemler ve örnekler genelde çok fazla olduğundan ve insanlar muhtemel bütün gözlemleri yapamadıklarından tümevarım sonucunun yanlış olma ihtimali fazladır.

Greeno ve Herbert Simon tümevarımın hipotez uzayı ve gözlem uzayı olarak temsil edilmesinin faydalı olacağını öne sürmüşlerdir.

Hipotez uzayı tümevarım sonunda ulaşılabilecek muhtemel sonuçların uzayıdır. Bu, insanın düşünme durumunu temsil etmez; sadece temsili olarak ortaya atılmış teorik bir kavramdır. İnsanlar çok geniş görüşlü veya hipotez uzayı çok küçük değilse hipotez uzayının sadece belli bir kısmını dikkate alabilir.

Gözlem uzayı ise tümevarım sırasında kişinin gözleyebileceği potansiyel olayları içerir. Benzer şekilde gözlem uzayı da teorik bir kavramdır ve kişinin dünya ile ilgili gerçek tecrübesini bildirmez. Gözlem uzayındaki bütün olayları gözlemlemek imkansızdır.

İnsanlar hipotezlerinin doğruluğunu test etmek için hipoteze uygun gözlemler ararlar. Hipoteze ters olmayan gözlemler de delil sayılır.

¹ Expected utility

Yukarıda anlatılanlara şöyle bir örnek verelim. Bir kişi şöyle bir hipoteze varmış olsun: “Park yeri doluyrsa, polis yanlış park edenlere ceza kesmiyor”. Kişi hipotezini desteklemek için yanlış park eden araçları arar; bu araçların üzerinde ceza faturası yoksa kişinin hipoteze olan güveni artar.

Önceki bütün gözlemler hipotezi tam olarak doğrulamasına rağmen yeni gözlemler hipoteze ters olabilir. Bu durumda hipotezde düzeltmeye gidilir. Bu da genelleştirme ve özelleştirme olmak üzere iki türlü olur. Mesela yukarıdaki örnekte kişi park yeri boşken de polisin yanlış park eden araçlara ceza kesmediğini görürse “Park yeri doluyrsa” kaydını kaldırıp hipotezi yanlış park eden bütün araçlara geneller. Eğer kişi polisin park yeri doluyken sadece sabahları ceza kestiğini gözlerse tümevarımı özelleştirir. “Park yeri doluyrsa” kaydı, “Park yeri öğleleri doluyrsa” veya “Park yeri doluyrsa ve öğle vaktiyse” şeklinde daraltılır.

2- Kıyas

Pek çok kişiye göre kıyas insan düşüncesinin en belirgin yönüdür. Tümevarımda kesinlik yokken, öncüllerin değerleri doğruysa kıyas mutlaka kesin sonuç verir.

Hava bulutlu

Rüzgar esiyor

Yağmur yağabilir.

Burada varılan sonuç yağmurun yağabileceği ihtimalidir. Tümevarımdan elde edilen sonuç hiçbir zaman kesin değildir. Kıyasın kesin yapısı ise onun formelleştirilip mantık kuralları şeklinde formüle edilebilmesine imkan sağlamıştır. Çok kullanılan bir kıyas çeşidi olan koşullu kıyasta “Eğer” sözcüğünü içeren ifade değerlendirilir. Burada kıyasa özgü çok çeşit çıkarım tipleri kullanılabilir. Bunlardan biri Modus Ponens’tir. Mesela;

Eğer Ali evdeyse, kitap okuyordur.

Ali evde

Ali kitap okuyor.

Bunun genelleştirilmiş hali

Eğer A ise B

A

B şeklindedir.

Bir başka çıkarım çeşidi ise genel hali aşağıda verilen Modus Tollens'dir.

Eğer A ise B

B değil

A değil

Bir başka kıyas çeşidi olan kategorik çıkarımda ise *her*, *bazı* gibi niteleyiciler kullanılır.

Her Y, X'tir.

Her Z, Y'dir.

Her Z, X'tir.

İnsanların bu şekilde çıkarım yaptıklarını savunan bazı yaklaşımlar olmasına rağmen pratikte insanın kıyası uygulayışı farklıdır, yukarıda belirtilen kesin kurallara indirgenemez. Buna örnek olarak Hampton'un 1982'de yaptığı bir deney verilebilir. Hampton deneklerin nesneleri belli kategorilere dahil etme, yani kategorik çıkarım yapma özelliklerini test amacıyla "Daktilo ofis aleti midir?" şeklinde bir soru sormuştur. Denekler bu soruya olumlu cevap verdikleri ve hatta, ofis aletlerinin zaten birer alet olacağının açık olduğunu kabul ettikleri halde daktilo bir alet değildir şeklinde çıkarım yapmışlardır. Hampton makalesinde deneklerin kararlarını mantıksal kuralların değil, benzerlik kavramının etkilediğini belirtmektedir. Yani denekler daktilonun ofis aleti sınıfına dahil edilebilecek kadar ofis aletine benzediğini algılamış ve benzer şekilde ofis aletlerinin de alet sınıfına dahil edilebilecek derecede alete benzediğine karar vermiş, ancak daktilonun alet sınıfına dahil edilebilecek derece alete benzemediği çıkarımını yapmışlardır¹.

3.4.5.3. Problem Çözme

Psikolojinin problem çözmeye yaklaşımı, bir matematik veya fizik problemini çözmekten farklı olarak bunları da içine alacak şekilde günlük hayatta

¹ Bu çıkarım bulanık mantıkla (fuzzy logic) açıklanabilir.

karşılaşılabilecek bütün problemleri çözmekle ilgilidir. Mesela belli bir zamanda belli yerde bulunma, planlama ile ilgili bir problem; insanlarla ilişki kurup bunu sürdürebilme, kişisel özelliklerin dengelenmesi ile ilgili bir problem; beden ve zihin sağlığını korumaya çalışma, fiziksel ve psikolojik bir problem; bir konuda bilgi sahibi olmaya çalışma, eğitimle ilgili bir problem olarak günlük hayatta karşımıza çıkabilecek problem türleridir.

Problem çözmeyi, karar verme ve akıl yürütme gibi düşünme faaliyetlerinden ayıran temel özellik, bir hedefe ulaşmak için fiziksel dünyayı değiştirmek veya düzenlemek amacına yönelik olmasıdır. Bu nedenle problem çözme diğer düşünme yöntemlerini de içine alır. Problem çözenin her adımında muhtemel eylemlerden biri seçildiğinden karar verme gerekir. Önceki problemlerden genellemeler yapmak sonraki problemleri daha rahat çözmeyi sağlayacağı için tümevarım kullanılır. Problemi çözebilecek eylemlerin bulunması için kıyas gerekir.

Greeno 1978'de problemleri yapılarındaki önemli farklardan dolayı sınıflara ayırmayı önermiştir. Buna göre problemler temel özelliklerindeki farklar dikkate alınarak 3'e ayrılabilir.

*Anlama (İdrak) Problemleri*¹: Problemin sonraki davranışını tahmin etmek ve gelişim sürecini anlayabilmek için problem alanının yapısının bilinmesi gereken problemler bu gruba girer. Mesela insanlar başka insanlarla ilişkilerinde onların değer verdikleri, kızıp sevindikleri şeyleri anlayıp daha sonraki bir olayda nasıl davranacaklarını tahmin edebilir ve buna göre tavır alabilirler. Bu tür problemlerde genelde tümevarım kullanılır.

*Dönüşüm problemleri*²: İnsanlar problemle ilgili şu anki durumu hedef duruma dönüştürebilecek bir eylem belirlemeye çalışırlar. Bu tür problemlerde hedef çok iyi belirlenmiş olmalıdır. Bir aleti tamir etmek için gerekli eylemleri belirleme buna örnek verilebilir.

¹ Comprehension problems

² Transformation problems

*Düzenleme problemleri*¹: İstenen kısıtları optimize etmek amacıyla problem elemanları arasında ilişki belirlemeye çalışma problemleridir. Burada hedef durum açık olarak belirlenmemiştir; amaç optimum sonuca ulaşmaktır. Bir odadaki mobilyaları renk, simetri, vb estetik kriterlere uygun olarak yerleştirmeye çalışmak bu tür problemlere örnek verilebilir.

Çoğu problem bu 3 sınıfın birleşimidir. Mesela bir satranç oyununda, rakibinin oyun stilini anlamaya çalışma bir anlama problemi, mat edecek hamleleri yapmaya çalışma şu anki durumdan kesin belirlenmiş bir hedef duruma yönelik olduğundan bir dönüşüm problemi, optimum savunma durumunda kalabilmek için taşların yerini ayarlama ise bir düzenleme problemidir.

Problemler arasında bir başka önemli ayırım da probleme aşinalıktır. Bu açıdan bakıldığında problemler, tamamen yabancı (ilk defa karşılaşılan, önceden hakkında hiçbir fikir sahibi olunmayan) problemler, tanıdık problemler ve tamamen bilinen ve insanların çözmede uzman olduğu problemler olmak üzere ayrılabilir. Bu tür problemlerin herbiri anlama, dönüşüm ve düzenleme gerektirebilir.

Yabancı Problemler

İlk defa karşılaşılan, çözüm yöntemi hakkında hiçbir fikir sahibi olunmayan problemlerdir. Bu nedenle yabancı bir problemi çözme sıkıcı bir tecrübedir; çözümü hemen görülemez, çalışıp çalışmayacağından emin olunmayan alternatifleri denemek gerekir. Yabancı problemlerin performans karakteristikleri şöyle sıralanabilir:

Uzun çözüm süreleri: Muhtemel çözüm yollarını denemek ve yanlış sonuca ulaştıranları reddetmek çözüm süresini uzatır.

Geriye dönme²: Bir çözüm yolunu denerken belli bir noktadan sonra yöntemin çalışmadığı görülür. Bu durumda baştan başlamak yerine, çözüm aşamasındaki bir önceki noktaya dönülüp, şu an sonuç vermeyen yöntemi seçerek kendisini reddettiğimiz işlemi devam edilir. Mesela büyük bir binada bir kişinin dairesini

¹ Arrangement problems

² Backtracking

ararken belli bir koridora bakıldığında sonuç alınamıyorsa binanın girişinden başlamak yerine diğer koridordan devam edilir.

Konsantrasyon: Problemler ilk defa karşılaşıldığı için otomatikleşmiş prosedürler ve varolan bilgiler direk kullanılamayacağından, yeni bilgi ve yöntemlerle öncekileri uygun şekilde birleştirebilmek amacıyla kişinin stratejik işlem yapabilmek için gerekli bütün özelliklerini probleme yoğunlaştırması gerekir.

Başarısızlık: Yabancı bir problemi çözmek geçici bile olsa genelde başarısızlıkla sonuçlanır. Problem hakkında çok az bilgiye sahip olma yoğun bir düşünce işlemi gerektirdiği için sonuç başarısızdır.

Optimal Olmayan Sonuçlar: Problemden sonuca ulaşılsa bile sonuç optimal değildir. Mesela ilk defa büyük bir binada birinin dairesini arıyorsak bir yol bulunabilir, ancak bu yol ilk denemede büyük ihtimalle en kısa yol olmaz.

Yabancı bir problemi çözmekte karşılaşılan sıkıntıların temelinde aslında problemin hangi yönlerinin muhtemel çözümüyle alakalı olduğunu bilmemek yatar. Problem içeriğinde birçok nesne ve ilişki mevcut olduğundan, bunların hangilerinin ne şekilde dönüştürüleceği, hangilerinin ne şekilde düzenleneceği açık değildir.

Yukarıda anlatılanlardan da görüleceği gibi yabancı bir problemi çözerken, sürekli muhtemel çözüm yolları aranır. Arama işlemi problem çözümünde çok önemli bir yere sahiptir ve yapay zeka uygulamalarında üzerinde çok durulan bir konu olarak karşımıza çıkar.

Mekanikleşmiş Problemler

İnsanlar ilk başta yabancı oldukları bir problemi çözdüklerinde, uzun süren tecrübe ve konsantrasyon sebebiyle problemin çözüm yöntemi uzun-sürekli hafızaya kaydedilir. Bu tür problemlerle daha sonraki karşılaşmalarda, problem uzayında geniş arama yapmak, deneme yanılma yoluyla çözüme ulaşmak yerine önceden bilinen yöntemlerden ve ara sonuçlardan yararlanılır.

Otomatikleşmiş Problemler

Çok fazla sayıda tekrarlanan problemler hiç düşünülmeden, hiçbir yöntem belirlenmeden otomatik olarak çözülebilecek hale gelir. Burada çok fazla tekrardan dolayı beyinciğin faaliyeti devraldığı söylenebilir.



4. ZİHNİN TAKLİDİ VE GERÇEĞİ ARASINDAKİ FARK

4.1. Decartes Testi

Makinelerin zeka sahibi olup olmaması ile ilgili kriteri ilk defa Rene Decartes (1596-1650) ortaya atmıştır. Decartes'a göre bir makinenin zeki sayılabilmesinin şartı onun dili kullanma kabiliyeti ile ilgilidir. Ancak, Decartes o zamanlarda Blaise Pascal (1623-1662) tarafından tasarlanmış makinelere bakarak bunun imkansız olduğunu düşünüyordu. Decartes bu konudaki görüşlerini şu şekilde açıklamıştır:

“Şüphesiz makinelerin bazı kelimeleri söyleyebileceğini, hatta bedeniyle ilgili bazı kelimeler sarfedebileceğini (mesela bir yerine dokunduğumuzda ne yapmak istediğimizi sorabilir, başka bir yerine dokunduğumuzda incindiğini söyleyebilir, vb.) kabul edebiliriz. Ancak, çok basit düşünen bir insanın dahi yapabileceği, kendisine söylenen bir cümleye anlamlı bir cevap vermek için kelimeleri değişik düzenlerde bir araya getirme işini gerçekleştiremez” (Discourse on Method 1637) [21].

Decartes'ın yukarıda belirtilen önerisini, hem dil dışında bazı ek kriterler koymak hem de Decartes'ın o zamanlar uzak gördüğü makinelerin dili kullanması ile ilgili özelliklerini geliştirmek suretiyle, biraz daha geliştirebilirsek makinelerin zeka sahibi olması konusunda ilerleme kaydedebiliriz.

Öncelikle makinelerin dili iyi kullanmasından kastedilen manayı kesin bir şekilde ortaya koymak gerekmektedir. Bu, dil tanıma denilen ve bir dili kullanabilmenin belki ilk şartlarından biri olan gramer açısından doğru veya yanlış cümleyi ayırt edebilme işinden daha ileri bir kabiliyet olmalıdır. Bununla ilgili yaklaşımlarımızı bir örnek üzerinde incelemeye çalışalım.

İnsan: Merhaba. Bugün nasılsın?

Makine: İyiyim, sağol. Sen nasılsın?

İnsan: İyiyim. Ancak itiraf etmeliyim ki mevsimsiz sıcaklar canımı sıktı. Şubat'da bile havalar bu kadar ısınırsa yazın nasıl olur?

Makine: Şüphesiz öyle. Bu arada, bu dönem matematik dersin nasıl geçti. Bu konuda endişelendiğini duydum da....

Böyle bir konuşmada makinenin görevini tam yerine getirebilmesi için hangi tip bilgilere sahip olması gerekir? Şüphesiz ilk önce böyle bir makine doğal dil işleme kabiliyetine sahip olmalıdır. Yani testin yapıldığı dildeki cümleyi alıp, bunu sözdizimi ve semantik açıdan inceleyerek karşılık olarak uygun bir cümle üretebilmelidir. Doğal dil işleme kabiliyeti, ileride örnek olarak incelenecek ELIZA programındaki sembol karşılaştırma tekniklerinden daha ileri olmalıdır. Dilin sözdizimi ve semantik yapısı ile ilgili kurallar bilgi tabanında bulunduğu gibi çok büyük bir bilgi kapasitesi de olmalıdır. Mesela makine, konuşmanın geçtiği bölgede normalde Şubat ayının çok soğuk olduğunu, yazın ise havaların aşırı ısındığını ve aşırı soğuk ve sıcaktan insanların rahatsız olacağını bilmelidir. Yapay zeka üzerine çalışanlar, makinelerin bu şekilde bilgiyle yüklenmesi ve bunu etkin bir biçimde kullanması için değişik bilgi temsili¹ yöntemleri geliştirmişlerdir. Ancak çok büyük bilgilerin kullanışlı bir biçimde depolanması için hiçbir bilgi temsil sisteminin yeterliliği ortaya konulamamıştır. Burada bilinmesi gereken Decartes testi açısından böyle bir bilginin makineye yüklenmesinin gerektiğidir.

Başka dikkat edilmesi gereken husus ise her türlü bilginin yüklenmesinin gereksizliğidir. Bir insanın zeki olduğunu söylerken onun herşeyi bildiğini kasdetmeyiz. Mesela 17. hükümet'in başında kimin olduğunu, bu kişinin doğum tarihini, kaç kardeş olduklarını, vs. bilmesi gerekmez. Zaten bunu çok az insan bilir ve böyle bir bilgiye sahip oldukları için bu kişilerin zeki oldukları sonucuna varılmaz. Ancak bir konuşma sırasında bu bilgiler geçtiğinde makinenin, en azından bunlardan bazılarını bilgi tabanına eklemesi gerekir. Konuşmanın başka bir yerinde aynı şey tekrarlandığında makine yine bunun ne demek olduğunu soruyorsa, bu durumda zeki olarak nitelendirilemez. Yani öğrenme de dili çok iyi kullanabilmek için gereklidir.

¹ Knowledge representation

4.2. Turing Testi

Turing, tüm matematik problemlerini çözebilecek genel bir yöntem araştırmaları sırasında Turing makinesini geliştirdikten sonra, Decartes'dan daha iyimser bir yaklaşımla 1950 yılında Mind dergisinde yayınlanan "Computing Machinery and Intelligence" adlı makalesinde, makinelerin insanlar kadar zeka sahibi olabileceğini ve düşünebileceğini öne sürmüştür [2]. Turing ayrıca bu makalede makinelerin düşündüğünün bir kriteri olarak, kendi ismiyle anılan "Turing Testini" ortaya atmıştır.

Turing o zamanlar bilinen bir oyunu biraz değiştirerek makinelere uyarlamıştır. Bu oyun bir erkek, bir bayan ve bir sorgulayıcı (S) ile oynanır. Sorgulayıcı, erkek ve bayanı X ve Y olarak adlandırır. Erkeğin amacı S'yi şaşırtmaktır. Bayan ise S'ye yardımcı olmaya çalışır. S sorgulama sonunda X erkek, Y bayan veya X bayan, Y erkek şeklinde tahminde bulunur. S, erkek ve bayana şu şekilde bir soru sorsun.

S: X, lütfen bana ayakkabı numaranı söyleyebilir misin?

X erkekse, bayanların ayakkabı numaralarının küçük olduğunu düşünerek 35 numara ve uzun topuklu ayakkabı giyiyorum şeklinde bir cevap verebilir.

Giyimle ilgili bir soruda ise, S'yi şaşırtmak amacıyla, kendime uyan zarif elbiseleri bulabilmek için ne kadar çok mağaza dolaşıp kocamı bıktırdığımı bilemezsin diyebilir.

Bayanın benzer sorular karşısında yapabileceği en iyi şey ise doğru ve kesin cevaplar vermektir. Hatta bayan, "bayan olan benim ona inanma, yalan söylüyor" bile diyebilir. Aynı şeyi erkek de söyleyebileceği için, bu, S açısından hiçbir şeyi değiştirmeyecektir.

Burada Turing, erkeğin yerini makine aldığı durumda durumun ne olacağını, makinenin erkek gibi sorgulayıcının yanlış karara varmasını sağlayıp sağlamayacağını sormakta ve bu soruların, makineler düşünebilir mi sorusunun yerine geçebileceğini söylemektedir. Yani daha açık söylersek "makinelere düşünebilir mi?" sorusu, "bir Turing testinde makine kendisinin insan olduğuna inandırabilir mi?" sorusuna indirgenmiş olmaktadır.

Bir makinenin Turing testinden geçebilmesi için Decartes testinde belirtilen bilgiler yanında, insanların ne tür konularla ilgilenebilecekleri, kabiliyetleri ve bunların sınırları, insan psikolojisi ile ilgili bazı konular hakkında da bilgi içermesi gerekir.

Örneğin insanların matematik hesaplamalardaki yavaşlığını bilmeyen bir bilgisayar, 6 basamaklı iki sayının toplanması gibi bir soruyu hızlı bir şekilde cevaplayıp kendini ele verebilir. Ancak daha iyi programlanmış olan ise hesabı yaptıktan sonra belli bir süre boş durur, hatta bu sırada “biraz vakit alacak kusura bakma”, vb. şeyler söyleyip cevabı geç verir. İnsanların bu gibi eksikliklerini taklit sırasında dikkate alacak programlar geliştirmek zor değildir. Asıl problem, her insanın kolayca yanıtlayabileceği ve uzmanlık gerektirmeyen basit bir sağduyu sorusunu yanıtlayabilecek bilgisayarı programlayabilmektir. Bu tip bir soru ilk defa sorulduğunda, belki bilgisayar insanın cevaplayacağı şekilde cevaplayabilir. Ancak seri bir şekilde, bu tip gerçek anlama yeteneği gerektiren sorular sorulduğunda bilgisayarın anlama yeteneğinden ne kadar yoksun olduğu ortaya çıkar. Sorgulayıcı bilgisayarın gerçekten anlayıp anlamadığını test için araya saçma bir soru sıkıştırabilir, veya saçma gibi görünen ancak dolaylı bir şekilde önceki sorularla alakalı olan soru sorabilir. Bu konuda bir örnek Penrose’un “Emperor’s New Mind” kitabında şöyle verilmektedir [4]:

- Duyduğuma göre, bu sabah bir gergedan pembe bir balonla Mississippi boyunca uçmuş. Buna ne dersin?
- (Bilgisayar ilk soruda ihtiyatla yanıtlar) Oldukça gülünç geldi bana.
- Sahi mi? Bir zamanlar amcam da aynı şeyi yapmıştı (gitmişti ve dönmüştü) yalnız onunki kirli beyaz renkte ve çizgiliydi. Bunda gülünç olan ne var?

Doğru dürüst anlama yeteneği yoksa, bilgisayar çok geçmeden tuzağa düşer. Hafıza bankasında gergedanların uçmadığına dair bilgi varsa belki ilk soruyu alakasız bir şekilde gergedanlar uçamaz diye cevaplar. Belki ikincisinde, gergedanlar çizgili değildir diyebilir. Sorgulayıcı, kaçamak cevaplar veren bilgisayarın farkı anlayıp anlamadığını kontrol için “pembe bir gecelikle” veya “Mississippi’nin altında” gibi saçma şeyler de soruya sokuşturabilir.

Bu noktada tersinden düşünerek farklı bir yorum da yapabiliriz. Bir insandan bilgisayarı taklit etmesi istenseydi, aynı tip bir soru karşısında bilgisayar gibi bir kurtuluş yolu olmayacaktı. Bu, yapay zekacılar arasında Turing testinin makine için ağır olduğu şeklinde bir yoruma sebep olmaktadır. Yani, insandan makineyi taklit

etmesini istediğinizde insan bunu gerçekleştirememektedir. Aslında bu, testin ağırlığından çok, daha doğru olarak şöyle yorumlanabilir. İnsan makineyi taklit edemiyor, dolayısıyla taklit etme baz alınarak Turing testine tersinden bakıldığında insan da makine kadar zeki değildir. Turing, sorgulayıcıyı aldatmaya çalışanın sadece makine olacağı kriterini koyarak bu durumu önlemiş oluyor. Fakat sadece taklit edememenin zeki olmaya kriter olmayacağını göstermesi bakımından bu yaklaşım da önemlidir. Yani insanın makineleri taklit edebilmesi, bir insanın zekasını ölçmenin kriteri olarak alınsa ve böyle bir test ortaya atılsa insanların makineler kadar zeki olmadığını varsaymış oluruz. Halbuki durumun böyle olmadığı açıktır. Kimse, insan zekasını testte makinelerin baz alındığı böyle bir test öneremez. Bundan yola çıkarak, makinelerin zekasını ölçmede insanı kriter olarak kabul etmek, insanların makinelerden daha zeki olduğunu ve olacağını baştan kabul etmiş olmak demektir. Ancak şöyle bir çıkarım yapmak bundan daha doğru olabilir: Bilgisayarların insanı, insanın eksik olduğu noktalarda zoraki taklit edebilmesi, dolayısıyla insanın bu noktalarda makineyi taklit etmekteki yetersizliği, insan zihninin bilgisayarla modellenmesindeki yaklaşım yanlışlığını ortaya koyar. Bu konuya yapay sinir ağları ile ilgili 3.2 nolu bölümde değinilmişti.

4.3. Turing Testinin Yeterliliği İle İlgili Eleştiriler

Turing 1950’de yayınladığı makalede, makinelerin düşünebilirliği konusunda kendisine yöneltilen eleştirilere yer vermiş ve bunları cevaplamıştır. Bunların bir kısmı tez konusunun dışında olduğu, bazıları Turing testinin geçerliliğinden çok insan zihninin modellenmesiyle ilgili olduğu için önceki bölümlerde değinildiği ve bir kısmı daha sonra ayrı başlık altında inceleneceği için eleştirileri sadece maddeler halinde verip, herbirini ayrı ayrı incelemek yerine genel olarak değinmek ve Turing’in, bu itirazların genel bir cevabı olarak gördüğü davranışçı yaklaşımı değerlendirmek daha uygun olur.

- 1- Teolojik İtiraz: Düşünme insanın ölümsüz olan ruhunun bir fonksiyonudur.
- 2- Makinelerin düşünebilmelerinin sonucu çok korkunç olur. Bunun gerçekleşmeyeceğine inanmak ve ümit etmek gerekir.

- 3- Matematiksel İtiraz: Gödel teoremi, Church tezi ve Turing makinelerinin durma probleminin çözümsüzlüğüne dayanarak makinelerin yetersizliğinin kabul edilmesi. Algoritmik olarak çözülemeyen problemlerin varlığı.
- 4- Makinelerin genel yetersizlikleri: Makinelerin güzelliğinden, mizah duygusundan, arkadaş canlısı olmalarından bahsedilemez.
- 5- Lady Lovelace'ın İtirazı: Makineler biz ne istersek onu yaparlar, nasıl programlarsak öyle çalışırlar.
- 6- Sinir Sisteminin sürekliliği: İnsanın sinir sistemi sürekli, analogdur. Dolayısıyla dijital olan makinelerin çalışması ve hesaplama fonksiyonları ile insaninkiler arasında, en azından kalite olarak fark vardır.
- 7- İnsan Davranışlarının Formel Olmaması: İnsanların hangi durumlarda hangi işi nasıl yapacağı kesin bir şekilde söylenemez. İnsanlar benzer olaylar karşısında hep aynı davranışı göstermezler.
- 8- İnsanın beş duyu organı dışındaki algı¹ yeteneği: İnsanda telepati, geleceği tahmin edebilme, önceden sezme gibi beş duyu dışında ekstra algılama kabiliyetleri vardır.
- 9- Şuur: İnsanın düşünme ve anlama özellikleri şuurlu bir şekilde gerçekleşmektedir.

Turing testini başarıyla geçebilecek makinelerin yapılmasının, özellikle sağduyu sözkonusu olduğunda, zorluğundan bahsettik. Fakat bütün bunların aşılıp Turing testini geçebilen makinelerin yapılabildiğini düşünelim. Bu, makinelerin gerçekten insan gibi düşünebildiğini, zeka sahibi olduğu iddia etmek için yeterli bir kriter midir? Turing bu paraleldeki sorulara ve yukarıda bahsedilen bütün itirazlara davranışçı bir yaklaşımla cevap vermiştir. Davranışçılığın tanımı psikolojik yaklaşım bölümünde verilmiştir. Burada Turing testiyle ilgisi üzerinde durulacaktır.

Turing testinde davranışçı yaklaşım, sadece makinenin davranışlarına, sorgulayıcıyı aldatmasına bakarak onun zeki olduğunu, düşündüğünü kabul etmek şeklinde ortaya çıkar. Turing'e göre, bir insan hakkında zeki yargısına onun davranışlarına bakarak

¹ ESP: Extra sensory perception

karar verebiliriz. Bir insan bize göre kara bir kutudur ve bu insan için zeki, anlıyor veya anlayışlı gibi kavramları kullanırken onun beynine veya zihnine nüfuz edip gerçekten anlama durumunda olduğunu tespit edemeyiz. Sadece davranışlarına bakarak bu kavramları kullanırız.

Bu bölüm iki temel konu perspektifinde işlenmeye çalışılmıştır. Bunlardan birincisi bir makinenin insan zekasını, düşünmesini, vs. taklit edip edemeyeceği, diğeri ise gerçekten zeka, düşünme, anlama gibi özelliklere gerçekten sahip olup olamayacağıdır. Turing'in yukarıdaki yaklaşımını bu açılardan incelersek şöyle bir sonuca ulaşırız. Turing'in belirttiği şekilde, davranışlarıyla tam olarak insan olduğunu inandırabilen bir makine gerçekten insan zihninin davranışlarını taklit etmiştir. Yani anlıyor, düşünüyor gibi davranabilmiştir. Fakat asıl problem böyle bir makinenin gerçekten anlayıp anlamadığı, düşünüp düşünmediğidir. Turing'in bu davranışçı yaklaşımı başta ikna edici görünmektedir. Kuvvetli yapay zeka olarak adlandırılan ve Turing'in de savunduğu bu görüş, özellikle Searle'ün Çin Odası yaklaşımıyla sarsılmıştır. Şuur, sağduyu gibi özelliklerin anlamada ne kadar önemli olduğunu ortaya koyması bakımından Searle'ün bu yaklaşımı çok önemlidir ve sonraki kısım bu yaklaşımla ilgilidir. Bu bölüme geçmeden Çin odasıyla ilgili itirazlar sırasında Searle'ün davranışçı yaklaşımın yanlışlığı ile ilgili verdiği cevap üzerinde kısaca duralım. Bu, Turing'in görünüşte ikna edici görünen davranışçı yaklaşımının yanlışlığını ortaya koymaktadır. İleride de verileceği gibi, davranışçı bir kişi, bir insanın Çince'yi veya başka birşeyi anladığını sadece onun davranışlarından bildiğimizi, dolayısıyla Schanck'ın programı da davranış olarak kendini ispatladığından bunun anladığının kabul edilmesi gerektiğini savunmaktadır. Searle bu itiraza şu şekilde cevap veriyor: "Mesele bir insanın anladığını, zihni duruma sahip olduğunu bilmemiz değil, o kişinin böyle bir zihni duruma sahip olduğunu söylerken neyi kastedtiğimizdir. Bu kastedilen şey sadece algoritmik bir işlem ve bunun çıktısı olamaz. Çünkü algoritmik işlemler ve bunların çıktıları zihni durumlar olmadan da var olabilir." [30].

4.4. Searle'ün Çin Odası Yaklaşımı

Zayıf yapay zeka savunucuları, sadece, insan zihninin faaliyetlerinin taklit edilebileceğini ve bu taklidin insan zihnini incelemede bir araç olarak kullanılabileceğini söylerler. Bazı zayıf yapay zekacılara göre ise, insan zihninin tam olarak taklit edilmesi mümkün değildir. Buna karşılık kuvvetli yapay zeka taraftarları, bilgisayarların sadece insan zihnini taklit etmekle ve zihnin incelenmesi için kullanılan bir araç olmakla kalmayacaklarını, bunun ötesinde gerçek zihinsel davranışlar gösterebileceklerini, anlayabileceklerini, insan gibi zihni durumlara sahip olabileceklerini savunur.

Kuvvetli yapay zekacıların, insanın zihni fonksiyonlarını taklit eden bir makinenin insan gibi zihinsel durumlara sahip olacağı konusundaki görüşlerini John Searle 1980 yılında “The Behavioral and Brain Sciences” de yayınlanan “Minds, Brains and Programs” adlı makalesinde temelinden sarsmıştır [30]. Searle görüşlerini Roger Schank’ın programını dikkate alarak açıklamıştır. Ancak bunun Winograd’ın SHRDLU, Weizenbaum’un ELIZA programı ve zihnin Turing makinesi simülasyonu şeklinde genellenebilecek bütün programlar için geçerli olacağını söyler.

Schank’ın programı insanların hikaye anlama kabiliyetlerini taklit etmektedir. İnsanlar bir hikayede açıkça geçmeyen bilgilerle ilgili soruları da cevaplayabilmektedirler. Şöyle bir hikayeyi inceleyelim: “Adamın biri lokantaya girdi ve bir hamburger söyledi. Hamburger geldiğinde yanmış ve sertleşmişti. Adam faturayı ödemedi, bahşiş bırakmadan öfkeyle çıkıp gitti”. İkinci bir hikayemiz de şöyle olsun. “Adamın biri lokantaya girdi ve bir hamburger söyledi. Hamburger geldiğinde çok hoşuna gitti. Lokantadan çıkarken faturayı ödemedi önce garson kıza çokça bahşiş verdi.”. Birinci hikayeye ilgili, birisine, adamın hamburgeri yeyip yemediği sorulursa cevabı “hayır yemedi”, ikincisinde ise “evet yedi” olur. Hikayedeki kişinin hamburgeri yeyip yemediği ise açıkça belirtilmemiştir. Schank’ın programına aynı soru sorulduğunda insan gibi doğru cevaplar vermektedir. Kuvvetli yapay zeka taraftarları bundan yola çıkarak makinenin sadece insanın anlama kabiliyetini simüle etmediğini, aynı zamanda (1) hikayeyi gerçek manada anladığını ve bu anlama sayesinde soruları cevaplandığını ve (2) insanın anlama ve anladığına cevaplar verme kabiliyetini

tamamen izah ettiğini iddia etmektedirler. Searle bu iddiaları çürütmek için şöyle bir yaklaşımda bulunur. Kendisinin bir odaya kapatıldığını ve eline Çince hikayeler verildiğini varsayar. Searle Çince bilmemektedir. Sorular da Çince semboller şeklinde verilir. Bu sorularla birlikte İngilizce kurallar dizisi verilmektedir. Bu kurallar sorulardaki sembollerle hikayedeki sembolleri nasıl ilişkilendireceğini bildirir. Ayrıca, Searle'ün cevapları Çince semboller şeklinde dışarıya vermesi için yine İngilizce kurallar verilir. Searle, sorularla hikayeyi ilişkilendirebileceği İngilizce kurallar topluluğunu Schank'ın programına benzetir. Searle bu algoritmayı uygulayarak bütün sorulara Çince bilen birinin cevaplarından ayırt edilmeyecek şekilde cevap verebilecektir. Kimse odadaki kişinin (Searle'ün) gerçekten Çince bilip bilmediğini anlamayacaktır. Benzer şekilde Searle odadayken İngilizce hikaye verildiğinde, Searle hikayeyi gerçekten anlayacak ve birinci durumdaki gibi cevaplar verecektir. İngilizce cevap verdiği durumla, Çince cevap verdiği durum arasında cevapların düzgünlüğü arasında bir fark yoktur. Ancak, birinci durumda, anlamları kesinlikle bilinmeyen sembollerin sadece belli bir kurala göre işlenmesi söz konusudur ve bu durumda Searle bir bilgisayar programı gibi davranmıştır. Kuvvetli yapay zekayı savunanların yukarıda verilen 2 görüşünü Searle'ün bu deneyi açısından inceleyelim.

Searle Çince hikayeleri başta anlamamaktadır ama Çin'li birinin cevaplarından ayırt edilemeyecek bir çıktı ortaya koymuştur. Ve bu çıktıyı elde ederken formel bir programı kullanmıştır, ancak Searle halen daha Çince hiçbir şeyi anlamamaktadır. Bu benzerlikten yola çıkarak Schank'ın programının da hiçbir şey anlamadığını söyleyebiliriz. Bu hangi dil olursa olsun, bilgisayar gerçekte hiçbir şey anlamayan Searle'ün durumundaki gibi davranmaktadır.

Bilgisayarın bir algoritmayı çalıştırmasının onun anlamasına yetmediğini ortaya koyduktan sonra, bunun, insanın anlama sistemini açıklamakta kullanabileceği iddiasını inceleyelim. Bu iddiaya göre Searle'ün İngilizce anlarken yaptığı işlem Çince sembolleri işlerken yaptığı işlemin aynısıdır. Bunu destekleyecek hiçbir delil yoktur. Çünkü Searle ilk durumda bir program gibi davranıp hiçbir şeyi anlamazken, herşeyi anladığı ikinci durumda bu anlamının, deneyden de anlaşıldığı gibi anlamaya hiçbir katkısı olmayan algoritmik bir sisteme indirgenebileceğini düşünmek mantıklı bir yaklaşım değildir.

4.5. Çin Odası Yaklaşımına Eleştiriler ve Cevapları

4.5.1. Sistem İtirazı

Odadaki kişinin hikayeyi anlamadığı doğru olmasına rağmen, bu kişi aslında bir sistemin parçasıdır ve bu sistem bütün olarak ele alındığında anlama gerçekleşir. Odanın içinde bu kişinin uygulaması gereken kuralların yazılı olduğu doküman, hesaplamaları yapabilmesi için gerekli olan, çok miktarda müsvedde kağıt ile kalem ve Çin sembollerinin bulunduğu veri kümeleri mevcuttur. Dolayısıyla anlama işlevi sadece bu kişiye değil, bu kişinin bir parçası olduğu bütün sisteme atfedilmelidir.

Bu itiraza Searle şöyle cevap vermektedir. Bu kişinin sistemin bütün elemanlarını içselleştirdiğini düşünelim. Yani bu kişi elindeki tüm kuralları ve Çin sembollerini ezberlesin ve hesaplamaları kafasında yapsın. Bu durumda yine kişi Çince'yi anlamaz. Artık, bu kişinin içindeki sistem dışında başka bir sistem de olmadığı için, sistemin bütün olarak anlayacağını varsaymak gibi temelde mantıksız bir yaklaşımdan da kurtulmuş oluruz.

Bu şekilde sistemi içselleştirdikten sonra, bir kişinin, biri anadilini gerçekten anlayan bir sistemi, diğeri ise Çince veya bilmediği bir dilin sembolleri üzerinde işlem yaparak cevap üreten, gerçekte anlamayan ancak anlıyormuş gibi doğru cevaplar verebilen ikinci bir sistemi olmuş olur. Birinci sistem bir hikayede geçen kavramların anlamlarını gerçekten bilir. Yani lokantadan ve hamburgerden bahsedildiğinin farkındadır. Lokanta hakkında bir soru sorulduğunda ise anladığı şeyleri karşılaştırıp en uygun cevabı verir ve yine cevaptaki kelimelerin ve cümlelerin bütününe anlamını gerçekten bilir. İkinci sistem ise lokanta ve hamburgerden bahsedildiğinin farkında değildir. Bu kelimeler onun için sadece bildiği dilde verilen kuralları uygularken gerekli yerlere konulacak sembollerden ibarettir. Aslında bir insanda böyle iki sistem gerçekte yoktur; bizim varsaydığımız 2. sistem aslında 1. sistemin belirli kurallara göre anlamsız sembol işleyen parçasıdır.

Sistem yaklaşımında bulunanlar, örneğin, Çince bilmeyen bir kişinin içinde Çince anlayan bir sistemin oluşturulabileceğini savunmaktadırlar. Buna delil olarak bir kişinin belli girdiyi aldıktan sonra uygun algoritmayla Çince bilen bir kişinin vereceği aynı sonucu verebilmesini göstermektedirler. Bu tamamen Turing testinin yeterliliği

kabulüne dayanır. Ancak Çin odası yaklaşımında kesin bir şekilde ortaya konulduğu gibi bir hikayeyi anlayarak cevap vermek algoritmayı uygulayarak aynı cevapları vermekten tamamen farklıdır. İki sistem de Turing testinden geçebilmesine rağmen sadece biri anlamıştır. İkisi de testi geçtiyse ikisi de aynı şekilde anlar yaklaşımında bulunulabilecek hiçbir argüman yoktur.

Sistem yaklaşımını yapanların söyledikleri gibi bir insan içinde bir girdiye karşılık belli bir çıktıyı, bir program vasıtasıyla üretebilecek sistemin varlığını kabullenmek, düşünmekle alakalı olmayan bütün sistemlerin düşünebilen olduğunu kabullenmek zorunda kalmak gibi çok yanlış sonuçlara götürür. Mesela belli girdiyi veri olarak alıp bunu sistemli şekilde işledikten sonra bazı çıktılar üreten sindirim sisteminin ilke olarak Çince sembolleri alıp bunlar üzerinde sistematik işlemlerden sonra çıktı üreten sistemden hiçbir farkı kalmamış olur. Bu yaklaşımla kalp, ciğer, mide vs. birimlerin de işlemleri sırasında düşündüğünü ve anladığını kabul etmek gerekir.

4.5.2. Robot İtirazı

Schank'in programına benzer bir program yazalım ve bu programı çalıştıran bilgisayarı bir robot içine yerleştirelim. Bu bilgisayar sadece formel sembolleri alıp bunları işledikten sonra formel semboller olarak çıktı üretmekle kalsın, aynı zamanda robotun belli seviyedeki algılama, yürüme, birşeyi hareket ettirme, yeme, içme, vb. faaliyetlerini de gerçekleştirmesinde rol oynamış olsun. Robot'a görmesini sağlayan bir kamera takılmış olsun, faaliyette bulunmasını sağlayacak kol ve bacakları bulunsun ve bütün bu sistemler bilgisayar tarafından kontrol edilsin. Bu durumda robotun gerçekten anladığını ve diğer zihni durumlara sahip olduğunu söyleyebiliriz.

“Algılama”, “motor” işlevi ve görme özelliklerinin eklenmesiyle, bir bilgisayar Schank'ın programından farklı olarak daha gerçek bir anlamaya sahip olamaz. Bunu Searle, yine Çin odası çerçevesinde şöyle açıklıyor: Bu robot gibi düşünebileceğimiz büyük bir robot içine bilgisayarı değil beni yerleştirdiğinizi varsayın. Benzer şekilde semboller bana robotun algılaması için kullanılan bir kamera vasıtasıyla gelsin ve cevapları ben dışarıya robotun bu tip özelliklerini kullanarak iletayım. Benim yaptığım yine bir sembol işlemdir. Bu sembolleri alırken veya dışarı verirken kullandığım

robotun özellikleri ve çalışmaları hakkında hiçbir bilgim yoktur. Bildiğim şey sadece bana bir şekilde gelen sembolleri nasıl işleyeceğimdir.

4.5.3. Beyin Simülasyonu Yapan Program

Schank'in programındaki gibi dış dünya hakkında üst düzey bilgi depolayan bir program yerine, bir Çinli'nin Çince'yi gerçekten anladığında ve sorulara cevap verdiğinde beyindeki sinapslarda gerçekleşen sinyal iletişimini simüle eden bir program düşünelim. Makine, Çince hikayeleri ve soruları alıp bir Çinli'nin bunları işlediği durumdaki beyninin formel çalışmasını simüle ederek dışarıya Çince cevaplar verebilir. Bu makinenin, programları seri olarak değil paralel de çalıştırabildiğini düşünerek gerçek bir beynin alt düzeydeki çalışmasını elde edebiliriz. Böyle bir durumda makinenin hikayeleri anladığını söyleyebiliriz; ve eğer bunu reddedersek Çinli birinin de bu hikayeleri gerçekten anladığını reddetmiş olmaz mıyız? Sinapslar seviyesinde böyle bir programla insan beyni arasında ne fark olabilir?

Kuvvetli yapay zeka savunucularına göre zihnin faaliyetlerini anlamak için beynin çalışma yapısını bilmemize gerek yoktur. Buna göre zihnin faaliyetleri belli bir seviyede algoritmik olarak gerçekleşir ve bu, zihni durumların oluşması için yeterlidir; beynin alt düzeyde çalışmasındaki farklılık, bir programın herhangi bir donanımda çalışabileceğinden yola çıkarak önemli değildir. Buna göre zihin-beyin ilişkisi yazılım-donanım ilişkisi gibidir ve dolayısıyla insan zihni nöropsikoloji gerektirmeden anlaşılabilir.

Kuvvetli yapay zeka taraftarlarının bu görüşünden yola çıkarak, beynin yukarıdaki simülasyonunu, yine bir insanın şu şekilde gerçekleştirdiğini düşünelim. Bu kişi su boruları ve bunlara bağlı vanaları bu iş için kullansın¹. Bu kişi Çince bir sembolü aldığında hangi vanaları kapatıp, hangilerini açacağını programa bakarak bulur. Herbir su bağlantısı sinapsa karşılık gelir ve uygun vanaların kapatılıp açılmasıyla boruların

¹ Beynin bilgisayar modeli yaklaşımının önde gelen savunucularından Ned Block bir bilgisayarın yaptığı işi, ilke olarak yaptırmak için, elektrik yerine başka şeyler de kullanabileceğimizi söylemektedir. Block'a göre fare, peynir ve kedilerden oluşmuş bir sistem de aynı işi yapabilir. Kedi bir kapıya bağlanır. Fare yaklaştığında tasmaıyla kapıyı çekmesi 1, kapının tekrar eski haline dönmesi 0 olarak algılanabilir. Benzer şekilde Pylyshyn de, yetiştirilmiş bir grup güvercinin bulundukları yeri galalayıp galalamamasının, Turing makinesinin banttan 1 veya 0 okuması gibi olduğunu iddia etmektedir. Bu yaklaşıma göre su boruları, manivela kullanmak da ilkede algoritmik olarak eşittir [31].

sonunda istenen cevap oluşur. Bu kişi Çince sembolleri almış, sinapsların formel yapısını simüle etmiş ve Çince bir çıktı üretebilmiştir. Bu kişinin ve su borularının Çince anlamadığı ise açıktır. Buradaki beyin simülasyonu yapan programdaki hata, beyinle ilgili yanlış şeyleri simüle etmesidir. Yani program, sinapslarda gerçekleşen sinyal iletimini formel bir şekilde simüle edip, beynin kendine has özelliklerinin simülasyonunu ihmal etmiştir. Formel özellikler ise örnekte görüldüğü gibi zihnin gerçek faaliyetlerini yansıtmaktan uzaktır.

4.5.4. Başkasının Zihninin Gerçek Mahiyetini Anlayamama

Bu itiraz, Turing'in davranışçı yaklaşımından esinlenerek yapılmış bir itirazdır ve önceki konunun ilgili bölümünde buna değinilmiştir. Burada tekrar etmek gerekirse itiraz şu şekildedir. Biz bir insanın Çince'yi veya başka bir şeyi anladığını, sadece onun davranışlarına bakarak biliriz. Dolayısıyla böyle bir davranış gösterebilen makineyi de anlıyor kabul etmek gerekir. Searle'ün buna cevabı şu şekildedir. Bizim tartıştığımız konu insanların zihni durumlara sahip olduğunu nasıl bildiğimiz değil, böyle bir durumdan bahsederken neyi kastedtiğimizdir. Mesela bir anlama durumunun, beynin hücrelerinin belli fiziksel ve kimyasal durumunda gerçekleştiğini farzedelim. Bir kişi hakkında bu manada anlıyor dediğimizde onun beynindeki hücrelerinin hepsinin belirtilen fiziksel ve kimyasal yapıya geldiğini kastetmiş oluruz. Mesele, yukarıda farzettığımız olayın gerçekten ne olduğunu bulmaktır. Bunu bulmadan da anlama kavramını kullanabiliriz. Bir kavramı kullanmak onun daha somut düzeyde ne manaya geldiğini bilmek demek değildir.

4.6. Turing Testi ve Çin Odası Yaklaşımı Açısından Bazı Programların İncelenmesi

Turing'in, makinelerin zeka sahibi olabileceği görüşünden ve Turing testini ortaya atmasından sonra bu alandaki çalışmalar hızlandı. Bu çalışmalar 1960'larda meyvesini vermeye başladı.

Bu dönemlerde geliştirilen ürünlerden en tanınmış Joseph Weizenbaum tarafından geliştirilen ELIZA'dır. Bu program kelime eşleştirme (örgü veya ifade eşleştirme)¹ esasına göre çalışır. Kullanıcının konuşmalarını bazı kurallara göre değiştirerek çıktı

¹ Pattern matching

üretir. Bu sebeple, uzun süreli ve özgün konuşmalardan sonra ürettiği cümleler sözdizimi açısından bozulmaya başlar. Buna rağmen anlıyormuş izlenimi verir. Weizenbaum bunun zekaya delil olmayacağını kendisi itiraf etmiştir. “Computer Power and Human Reason” adlı kitabında bu konuda şöyle der [8]:

“ELIZA kendisiyle konuşanların söylediklerini, dikkate değer bir şekilde, anlıyormuş izlenimi vermiştir.Çoğu kişi ELIZA ile özel olarak konuşmak için izin istemiş, ve belli bir süre konuştuktan sonra, benim bütün izahlarıma rağmen, makinenin kendilerini anladığında ısrar etmişlerdir.”

Weizenbaum bundan sonra DOCTOR adında, temeli ELIZA’ya dayanan, bir psikiyatrisi taklit eden programını geliştirmiştir. Weizenbaum, bu programı zekaya delil gösterenlere, bunun hiçbir zekaya sahip olmadığını dolayısıyla psikiyatrik tedavilerde kullanılamayacağını ısrarla söylemiştir [32].

Daha sonra Kenneth Colby, DOCTOR programının eksikliğini ortaya koymak için, paranoyak bir hastayı taklit eden PARRY’i geliştirmiştir. PARRY de benzer mantıkla çalışmakla beraber, DOCTOR’dan üstün olduğunu göstermiştir. Ancak bu programların hiçbirinin gerçek anlamaya sahip olmadığı açıktır. İnsanlar da, karşısındakinin cümlesine göre kendi cümlelerini kurmalarına rağmen, bu önceden belirlenmiş kesin kurallara bağlı değildir. Bir insan, karşısındaki söylemek istediklerini tam ifade edemese bile anlayabilir. Ancak belli bir algoritmaya göre çalışan makinelerin benzer işlemleri gerçekleştirebilmesi mümkün değildir.

1972’de Terry Winograd daha gelişmiş bir program olan SHRDLU’yu geliştirmiştir. SHRDLU; sözdizimi ayrıştırıcısı¹, semantik analiz alt programı ve teorem-ispatlayan problem-çözücünden oluşmuştur [32]. Sınırlı tipteki blokları, renklerini de dikkate alarak, düzenleyebilmektedir. Bu iş için programın kontrol ettiği bir robot kullanılır. SHRDLU kendisine verilen İngilizce cümleleri anlayabilmekte, o anki durumla ilgili cümleler üretebilmekte, kendisine söylenen istekleri anlayıp uygulayabilmekte ve yaptığı işi nasıl yaptığını, yani yaparken nasıl bir çıkarım sırası izlediğini açıklayabilmektedir. Hatta bir bloğun hareket ettirilmesi söylendiğinde, bu bloktan birden fazlaysa (renk ve boyut ayırımı verilmemişse), istenen bloğun hangisi olduğunu kesin bir şekilde tarif ettirmektedir. Birkaç adımdan oluşan bir isteği parçalara ayırıp sıralı işlemler haline getirebilmektedir. Bu haliyle SHRDLU diğerlerine göre çok

¹ parser

gelişmiş ve kuvvetli yapay zekacıları ümitlendiren bir programdır. Yapay zekanın pratikte geldiği aşamayı ve klasik programlama yapısından açık farkını ortaya koyan gerçekten takdir edilecek bir program olsa da gerçek anlamadan uzaktır. Bu program için renklerin ve şekillerin ifade ettiği mana gerçek hayattakinden uzaktır. Bunlar, verilen kurallara uygun şekilde yerleştirilmesi gereken parametrelerdir.

SHRDLU gibi özel bir alanda başarılı olan bir başka program da Daniel Bobrow tarafından geliştirilen STUDENT'dır. Bu program lise düzeyi cebir problemlerini çözebilen kural tabanlı bir sistemdir. Şöyle bir problemi, student çok rahat çözebilir.

“Türkiye ile İngiltere arası 4000 kilometredir. Saatte 900 kilometre hızla giden bir uçak Türkiye'den İngiltere'ye kaç saatte gider.”

Bu programın, “anlıyor gibi görünmek” için kullandığı hileleri anlayabilmek amacıyla, programın geliştirildiği dil olan İngilizce'de hazırlanmış bir soruyu inceleyelim.

“Ahmet's father's uncle is twice as old as Ahmet's father. Two years from now, Ahmet's father will be three times as old as Ahmet. The sum of their ages is 92. Find Ahmet's age.”

Student için “is” kelimesi “equal” (eşittir) manasındadır. “Ahmet'in babasının amcası” ifadesi, Student için “Ahmet'in babası” ifadesinden farksızdır. Birincide “Ahmet'in babası” bir değişkenken, ikinci de Ahmet değişkendir. Ayrıca, yukarıdaki cümlede geçen “age” ve “old” kavramlarının zamanla ilgili olduğunu bilmez. Bunlar denklemlerde kullanılacak sayıları ifade eden değişkenlerden başka bir şey değildir. Sayıların ve bunlar için kullanılan “topla”, “çıkart”, “çarp” gibi kavramların ne manaya geldiğini de bilmez. Bunun gibi yüzlerce hileye başvurarak belki doğru cevabı verebilir [33]. Bu durumda, bu program için gerçek manada anlıyor denemeyeceği açıktır; ancak anlamayı taklit ettiği kabul edilebilir. Burada şöyle bir eleştiri yapılabilir. Gerçek manada anlama, insanlar için ne kadar geçerlidir? Makinelerin, belli hileleri kullanarak, nesnelerin “gerçek manalarını” anlamadan uzaklaştıklarını söylemek ne kadar doğrudur? Bir insan için 3, 5 gibi sayıların gerçekte neyi ifade ettiği de belki kesin değildir. Frege'nin sayılara ve başka kavramlara mana vermek için yaptığı çalışmalar, bu noktada dikkate değerdir. Belki de insanlar bu sebeple, yani kavramların manasını tam anlayamadıklarından, bunu makinelere anlatma problemi yaşamaktadırlar. Bu durumda daha gelişmiş makineler yapabilmek için değişik programlama teknikleri geliştirmeye çalışmak yerine, insanların kendi düşünme ve anlama özelliklerinden ne anladıklarını netleştirmeleri daha faydalı olabilir.

5. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Tez boyunca savunulan görüş açıkça belirtilmese de, 3. ve 4. bölümde ortaya konmaya çalışılan yaklaşımlardan bu çıkarılabilir. Burada açık bir şekilde ifade etmek gerekirse, insan zihninin ve beyninin taklit edilmesi konusunda savunulan görüş, kuvvetli yapay zekanın kesin reddidir. İnsan zihninin ve beyninin fonksiyonlarının tam olarak taklit edilebileceğini kabullenen zayıf yapay zeka görüşünden farklı olarak, taklidin de yetersiz kalacağı savunulmaktadır.

Yukarıda ifade edilen görüşün temel çıkış noktası ise, bu görüşü savunanların yaklaşımlarından farklıdır. Yani buradaki yaklaşım, “makinelere yetersiz olduklarından insan beynini tam olarak taklit edemezler, formel sistemler insan sezgisinin doğru olarak gördüğü ispatları göremezler” şeklinde bir yaklaşım değildir. Bu yaklaşımlarda kullanılan makine, formel sistem ve algoritma kavramları, insanı taklit etmek için orada öylece beklemediğinden, yani bunları, kendini modelleyebilmek için insan geliştirdiğinden, asıl olan bunların yetersizliği değil insanın kendini anlamadaki yetersizliğidir. Buradan hareketle, tez boyunca işlenen konular perspektifinde bu yaklaşıma deliller arayalım.

İnsan, modellemeyi düşündüğü beynin biyolojik yapısını ne kadar bilmektedir? Sinir hücrelerinin çalışma sistemi nasıldır? Beynin anatomik yapısında belirtilen bölgeler için kesin sınırlar belirlenebilir mi? Mesela bir hipokampusun veya prefrontal korteksin de sinir hücrelerinden oluştuğu ve bu hücrelerin tamamının birbiriyle ilişkili olduğu düşünüldüğünde varsayılan bu bölgelerin tamamen birbiriyle ilişkili olduğu sonucu çıkmaz mı? Bu ilişkiler nasıl oluşur? Basit bir şekilde sinyal alıp çıktı ürettiği düşünülen sinir hücresinin çok karmaşık olan merkezinde nasıl bir çalışma gerçekleşmektedir? gibi soruların birçoğuna getirilen cevaplar çok yetersizdir. Maalesef insan, kendi beyninin fonksiyonlarının ne kadarını bildiğini dahi bilmemektedir. Böyle bir durumda, şu kadar yıl sonra insan gibi düşünen makineler icat edilecektir, şeklindeki yargı tamamen temelsizdir ve sadece bir beklenti olmaktan ileri gidemez.

Yapay sinir ağları yaklaşımı ise indirgemeci bir şekilde de olsa beynin sinir ağları düzeyindeki işleyişini modellemeye çalışmıştır, ancak yetersiz yönleri de vardır. Bu yaklaşımın yetersizliğinden yola çıkarak, yapay sinir ağları modeli insanı tam taklit edemez demek ancak bir benzetim olabilir. Asıl olan, insanın, beynin sinir ağları düzeyindeki fonksiyonunu ifade edebilecek kadar bu işleyişi anlayamamış bulunmasıdır. Algılanan sinyallerin nasıl nesneleri ifade edebildiği gerçekten ilginçtir ve tam olarak açıklanamamaktadır. Bundan daha ilginç ise, birbirinin aynısı olduğu düşünülen bu sinyallerin beyinde farklı farklı nesneleri temsil edebilecek şekilde nasıl kategorize edildiğidir. Kategorizasyondaki bu yaklaşım işitme, dokunma, koklama için de düşünülebilir. İnsan, bu kavramları anlamakta ne kadar yetersizse, bu özelliklere sahip veya en azından bunları taklit edebilen bir sistem geliştirmekte o kadar yetersiz kalacaktır. Bu konuda bilinmeyenler bundan çok daha fazladır. Mesela sinir

hücrelerindeki mükemmel paralellik beyne hızdan başka bir özellik kazandırmaz mı? İnsan, bunun böyle olup olmadığına bir cevap vermekte bile yetersiz kalırken, bu paralellik gerçekten çok daha farklı avantajlar sağlıyorsa bunları anlamada çok daha yetersiz kalacaktır.

Beynin sadece görünen çalışmasından yola çıkarak, bu çalışmanın algoritmik olduğunu düşünmek de beyin fonksiyonlarını olduğu gibi taklit etmeye çalışmak yerine, taklit edebileceğimiz düzeye indirgemektir. Bu noktada kuvvetli yapay zekacıların, “algoritmalar yeterince karmaşılaştığında gerçek anlama, zeka ve düşünme gerçekleşecektir” şeklindeki yaklaşımları hiçbir bilimsel temele dayanmamaktadır.

Benzer indirgemeci yaklaşım beyin kuantum mekaniği modelinde de görülmektedir. Kuantum mekaniği kendi içinde bile tutarlı değilken, gerçek hayattaki çalışmayla birebir bağlantı kuramazken, görelilik gibi daha önceden geliştirilmiş teorilerle çelişki içindeyken, bu haliyle insanı tam olarak taklit etmekte kullanılabilir düşüncesi yanlıştır. Ancak çelişkilerden arındırılıp, getirdiği modelin ifade ettiği mana hakkında daha tutarlı felsefi yorumlar yapıldığında, evrendeki işleyişi modellemekte kullanılabilecek iyi bir yaklaşım olabilir. Beynin modellemesinde getirdiği ipuçları gerçekten önemlidir ama, burada eleştirilen bu yaklaşımın olduğu gibi kullanılabileceği düşüncesidir. Yukarıda algoritmik yaklaşımla ilgili olarak da belirtildiği gibi, gerçeği tam ifade edip etmediğini bilemediğimiz bir yaklaşımı, madem böyle bir yaklaşım geliştirildi, insan beynini bununla modelleyebiliriz veya beyin bu yaklaşımın ortaya koyduğu modelden başka birşey değildir düşüncesi indirgemeci ve dolayısıyla yanlıştır.

İnsanın kendini modellemedeki yetersizliğini başka şeylere atfetmesine en bariz örnek formel sistemlerle ilgili yorumlardır. İnsan sezgisini modellemekte yetersiz olan gerçekte formel sistemler midir? Yoksa insan kendi düşüncesini formalize edebilecek şekilde kendini anlamakta mı yetersizdir? İnsanın yetersizliği kendi düşüncesini, sezgisini ifade edebilecek kavramları geliştirmekte midir? Ya da bu yetersizlik varolan kavramları kendini modelleme doğrultusunda kullanamama şeklinde bir yetersizlik midir? Bütün bu sorular insanın yetersizliğini sorgulamak noktasında önemlidir. İnsanın gördüğü doğru bir ispatı, makine veya formel sistem göremez demek, insan bu özelliğini anlamakta ve kendisi gibi böyle üstün özelliklere sahip sistemler geliştirmekte yetersizdir demektir. Bu noktada formel sistemlerle ilgili önemli bir teorem olan Gödel teoremi, “formel sistemlerin yetersizliği” gibi açık olmayan bir kavramdan çok, insanın kendi düşüncesini yine kendi bulduğu kavramlarla açıklama yetersizliğini ifade eden “insanın yetersizliği” gibi bir kavramı ortaya çıkarır. İnsanın sezgi ve düşüncelerini bazen kelimelerle ifade edememesi buna somut bir delil olabilir.

Bu konuda kuvvetli yapay zekaya delil olarak gösterilen yaklaşımlar çok eksiktir. Mesela Turing testine göre, makinenin insan gibi anlıyor görünmesi onun gerçekten anladığını varsaymak için yeterli kabul edilmektedir. Böyle bir makinenin zeki olduğunu kabul etsek bile, bu zeka, karşısındakine kendisinin insan olduğunu inandırabilecek kadar bir zekadır. Bunun, basit kurallara dayanarak sembol işleme olduğu düşünülüğünde ise buna zeka demenin doğruluğu tartışılır.

Kuvvetli yapay zeka savunucularının bahsettiği manada bir makine, biraz garip bir düşünce gibi görünse de, kendisine “bunu niye böyle yapmadın?” diye sorulduğunda “beni zaten sen programladın, niye kızılıyorsun?” demeyecek ölçüde kendi özgür iradesinden ve bilincinden haberdar olmalıdır; daha doğrusu böyle özelliklere sahip bir

yapıda geliştirilebilmelidir. Gerçekten kuvvetli yapay zekadan bahsetmek istiyorsak geliştirdiğimizi varsaydığımız makinelerin de kendilerini model alarak yeni sistemler geliştirebilecek özellikte olmaları gerekir.

Bu tez boyunca görülen en büyük eksiklik, beyin ve zihin üzerinde düşünceler üreten bilim dallarının açıklamalarının kendi içinde kalmasıdır. Yani hiçbir bilim dalı kendi doğrularıyla, başka dalların yaklaşımının doğruluğunu ortaya koymak veya kendi doğrularının başka bilim dallarınca teyit edilmesini görmek gibi bir kaygı içinde değildir. Mesela bir müzik dinleme isteği, canı sıkılma gibi psikolojinin daha çok ilgilendiği bir konuda, bilgisayar modelli yaklaşımda bulunanlar, bu gibi özelliklerin algoritmalar yeterince karmaşıktığında gerçekleşebileceğinden başka hiçbir açıklama yapmamaktadırlar. Aynı şekilde bir kuantum fizikçisi, kuantum fiziğinin bilinci açıklayabileceğine deliller getirirken bunların psikolojik etkilerinin nasıl ortaya çıktığı üzerinde hiç durmamaktadır.

Bütün bu farklı yaklaşımların birbiriyle ilişkilerini anlamak gerçekten zordur. Mesela Gödel teoremi psikologlar açısından bir şey ifade eder mi? Beyin üzerinde yapılan deneylerden çıkan ilginç sonuçlar hakkında bilgisayar modelli yaklaşımda bulunanlar ne söyleyebilirler? Benzer şekilde, zihinsel bozukluklar ve anormallikler kuantum mekaniği ile nasıl açıklanabilir?

Çok farklı bilim alanının birbirinden fikir alışverişinde bulunması, farklı alanlardan çok sayıda bilim adamının katıldığı sempozyumların düzenlenmesi insan beyninin ve zihninin faaliyetlerini anlama noktasında daha faydalı olabilir.

KAYNAKLAR

- [1] **Turing, A. M.**, 1937. On Computable Numbers, with an Application to the Entscheidungsproblem, *Proc. of the London Math Society*, (ser.2), **42**, 230-265.
- [2] **Turing, A.M.**, 1950. Computing Machinery and Intelligence, *Mind*, **59**, 433 – 460.
- [3] **Penrose, R.**, 1994. Shadows of the Mind: A Search for the Missing Science of Consciousness, Oxford University Press, New York.
- [4] **Penrose, R.**, 1989. The Emperor's New Mind: Concerning Computers, Minds, and The Laws of Physics, Oxford University Press, New York.
- [5] **Chaitin, G. J.**, 1975. Randomness and Mathematical Proof, *Scientific American*, **232**, 47-52.
- [6] **Laurière, J. L.**, 1987. Problem Solving and Artificial Intelligence, Prentice Hall, New Jersey.
- [7] **Podnieks, K.**, 1992. Around Goedel's Theorem, Latvian State University Press, Riga.
- [8] **Hofstadter, D. R.**, 1979. Gödel, Escher, Bach: an Eternal Golden Braid, The Harvester Press, Hertfordshire.
- [9] **Kleinberg, E. M.**, 1977. Infinitary combinatorics and the axiom of determinateness, *Lecture notes in mathematics*, **612**, 150 pp.
- [10] **Gödel, K.**, 1931. On Formally Undecidable Propositions Of Principia Mathematica And Related Systems, trans. Meltzer B., 1962, Basic Books Inc, New York.
- [11] **Rosen, K. H.**, 1995. Discrete Mathematics and Its Applications, McGraw-Hill, New York.
- [12] **Feferman, S.**, 1995. Penrose's Gödelian Argument, *Symposium on Roger Penrose's Shadows of the Mind (98 pp.)*, *Psyche*, **2**, 18-26.
- [13] **Lucas, J.R.**, 1961. Minds, machines and Gödel, *Philosophy*, **36**, 112-127.
- [14] **Penrose, R.**, 1995. Beyond The Doubting of the Shadow, *Symposium on Roger Penrose's Shadows of the Mind (98 pp.)*, *Psyche*, **2**, 69-98.

- [15] **Chalmers, D. J.**, 1995. Minds, Machines, And Mathematics, *Symposium on Roger Penrose's Shadows of the Mind* (98 pp.), *Psyche*, **2**, 10-17.
- [16] **Bojadziyev, D.**, 1995. Mind Versus Gödel, *Informatica*, **19**, 627-661.
- [17] **Gödel, K.**, 1995. Kurt Gödel: Unpublished Philosophical Essays, ed. by Francisco A. Rodrigues-Consuegra, Birkhäuser Verlag, Basel.
- [18] **McCullough, D.**, 1995. Can Humans Escape Gödel?, *Symposium on Roger Penrose's Shadows of the Mind* (98 pp.), *Psyche*, **2**, 45-50.
- [19] **Hilbert, D.**, 1900. Mathematical Problems, trans. Winton, M., 1902, *Bulletin of the American Mathematical Society*, **8**, 437-479.
- [20] **Wilf, H. S.**, 1986. Algorithms and Complexity, Prentice Hall, New Jersey.
- [21] **Taylor, R. G.**, 1998. Models of Computation and Formal Languages, Oxford University Press, New York.
- [22] **Feynman, R.**, 1982. Simulating Physics with Computers, *International Journal of Theoretical Physics*, **21**(6/7), 467-488 .
- [23] **Deutsch, D.**, 1985. Quantum Theory, the Church-Turing Principle, and the Universal Quantum Computer, *Proceedings of the Royal Society of London*, **A400**, 97-117.
- [24] **Deutsch D. and Ekert E.**, 1998. Quantum Computation, *Physics World*, **3**, no.9.
- [25] **Lockwood, M.**, 1991. Mind, Brain, and the Quantum, Basil Blackwell Ltd, Massachusetts.
- [26] **Stapp, H. P.**, 1993. Mind, Matter, and Quantum Mechanics, Springer-Verlag, Berlin- Heidelberg.
- [27] **Baars, B J.**, 1995. Can Physics Provide a Theory of Consciousness, *Symposium on Roger Penrose's Shadows of the Mind* (98 pp.), *Psyche*, **2**, 4-9.
- [28] **Barsalou, L W.**, 1992. Cognitive Psychology: An Overview for Cognitive Scientists, Lawrence Erlbaum Associates, Hillsdale.
- [29] **Bechtel, W.**, 1988. Philosophy of Mind: An Overview for Cognitive Science, Lawrence Erlbaum Associates, Hillsdale.
- [30] **Searle, J. R.**, 1980. Minds, Brains and Programs, *The Behavioral and Brain Sciences*, **3**, 417-424.
- [31] **Searle, J. R.**, 1990. Is the Brain a Digital Computer?, *Proceedings and Addresses of the American Philosophical Association*, **64**, 21-37.
- [32] **Firebaugh, M. W.**, 1988. Artificial Intelligence: A Knowledge-Based Approach, PWS-Kent, Massachusetts.
- [33] **Minsky, M.**, 1982. Why People Think Computers Can't, *AI Magazine*, **vol.3**, no.4

ÖZGEÇMİŞ

Ercan Kayaönü, 1975 yılı Isparta doğumludur. Ortaöğrenimini Isparta Anadolu Ticaret Lisesi'nde tamamladı. 1993 yılında İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Bilgisayar Bilimleri Mühendisliği bölümüne kayıt oldu. 1997 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kontrol ve Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı, Kontrol ve Bilgisayar Mühendisliği Programı'nda yüksek lisansa başladı.

