

FİZİK VE HESAPLAMA

ARMOND DUWELL

VakıfBank Kültür Yayınları: 0445
Bilim: 009

FİZİK VE HESAPLAMA
ARMOND DUWELL

Özgün Adı
Physics and Computation

Türkçesi
Fazilet Fatıma Alçık

Yayın Danışmanı
Ekrem Demirli

Proje Editörü
Baha Zafer

Sayfa Uygulama
Yümna Sarıkaya

Kapak
Faruk Özcan

VakıfBank Kültür Yayınları
İnkılâp Mahallesi
Dr. Adnan Büyükdizeni Caddesi
No: 7/A1 – Kat 13
34768 Ümraniye / İstanbul
Telefon: 0 216 285 9571
www.vbky.com.tr - info@vbky.com.tr
Sertifika No: 40141

© Vakıf Pazarlama San. ve Tic. A.Ş., 2026
© Armond Duwell

ISBN 978-625-5848-68-0

Kitabın Türkçe yayın hakları Kalem Telif Hakları Ajansı aracılığıyla VakıfBank Kültür Yayınları'na aittir. Tanıtım amacıyla, kaynak göstermek şartıyla yapılacak sınırlı alıntılar dışında, yayıncının yazılı izni olmaksızın hiçbir elektronik veya mekanik araçla çoğaltılamaz. Eser sahiplerinin manevi ve mali hakları saklıdır.

Baskı
Mega Basım Yayın San. ve Tic. A.Ş.
Cihangir Mah. Güvercin Cad. No: 3/1
Baha İş Merkezi A Blok Kat: 2
34310 Haramidere, Avcılar / İstanbul
Tel: 0212 412 1700
www.mega.com.tr - info@mega.com.tr
Sertifika No: 44452

1. Baskı: Ocak 2026

FİZİK VE HESAPLAMA

ARMOND DUWELL

TÜRKÇESİ

FAZİLET FATİMA ALÇIK



ARMOND DUWELL

Armond Duwell Montana Üniversitesi Felsefe bölümünde öğretim üyesi olarak görev yapmaktadır. Fizik Felsefesi, Bilim Felsefesi ve Hesaplama Felsefesi üzerine çalışmalarını yürüten yazar, son 20 yıldır Kuantum bilgi teorisi ve Kuantum hesaplama alanındaki temel konular üzerinde çalışmaktadır. Konu hakkında birçok makalesi ve konferans bildirisi yayımlanmıştır. 2005-2006 yıllarında Erfurt Üniversitesi Felsefe Bölümünde misafir araştırması olarak bulunmuştur. Ayrıca Konstanz Üniversitesi Olasılık, Felsefe ve Modelleme Araştırma Grubunda doktora sonrası bursiyeri olarak görev almıştır. Son yıllarda anlama yetisi merkezli bilim açıklamaları üzerine çalışmalarını devam ettirmektedir.

FAZİLET FATİMA ALÇIK

2015-2019 yılları arasında Fatih Sultan Mehmet Vakıf Üniversitesinde Bilim Tarihi Bölümünde lisans eğitimi aldı. 2019 yılında İstanbul 29 Mayıs Üniversitesinde Felsefe yüksek lisans eğitimine başladı. Prof. Dr. Ayhan Çitil danışmanlığında, “Kant Sonrası Düşüncede Matematiksel Belirsizlikten Metafiziksel Sonsuzluğa Geçişin İmkânı Üzerine” başlıklı tezini 2022 yılında tamamladı. Aynı yıl İstanbul 29 Mayıs Üniversitesinde Felsefe doktora programına başladı. Halihazırda, Prof. Dr. Emre Şan’ın danışmanlığında, “Kant’ın Transandantal Düşüncesi Arkaplanında Çağdaş Fenomenolojide Öne Çıkan Nesnellik Anlayışlarının Eleştirel Bir Değerlendirmesi” başlıklı doktora tezini yazmaktadır. Çağdaş matematik felsefesi, fenomenoloji, bilim felsefesi ve metafizik alanlarında çalışmalarına devam etmektedir.

İÇİNDEKİLER

Özet	7
1 Giriş	9
2 Turing'in 1936 Yılında Yayınladığı Makale	11
3 Church-Turing Tezi ve Fiziksel Church-Turing Tezi	19
4 Hesaplamalı Uygulamaya Dair Açıklamalar	39
5 Kuantum Bilgisayarlar	79
6 Kuantum Hızlandırma	95
Teşekkür	119
Kaynakça	121

ÖZET

Bu kitabın üç ana amacı vardır. İlk olarak, okuyucunun Turing'in geliştirdiği hesaplama kavramını, buna ilişkin Turing'in [elde ettiği] sonuçları ve bu sonuçların hesaplama olasılığının sınırları hakkında neyi gösterdiğini anlamasına yardımcı olmayı amaçlamak. İkincisi, fiziksel bir sistemin hesaplama sistemi olabilmesi için gereken en genel nitelendirmeleri sağlayan fiziksel sistemlerdeki hesaplama analizleri hakkında okuyucuyu bilgilendirmek. Üçüncüsü, okuyucuya farklı türde kuantum bilgisayarları tanıtmayı, kuantum hızlanmasını açıklamayı ve kuantum hızlanmasına ilişkin bazı açıklamalar sunmayı amaçlamaktadır. En son başarılı olursa, bu kitap, okuyucuya bu konuları daha ayrıntılı olarak incelemek için gerekli temel bir bilgi sağlamayı hedeflemektedir.

Anahtar Kelimeler: kuantum hesaplama, kuantum hızlandırma, fiziksel Church-Turing tezi, hesaplama açıklaması, kuantum bilgisayarlar

GİRİŞ

30.000 kelime içinde fizik ve hesaplama alanındaki sorunlara kapsamlı bir giriş sunmak oldukça zor bir görev. Daha fazla uzatmadan, sizi nelerin beklediği [konusunda bilgilendireyim].*

2. Bölüm’de, okuyucuya Turing’in hesaplama kavramı üzerine yaptığı çalışmaları, özellikle 1936 tarihli makalesine odaklanarak tanıtıyorum. 3. Bölüm’de, Church-Turing tezini ve bunun hesaplama olanaklarının fiziksel sınırları üzerindeki etkilerini sunuyorum. 4. Bölüm’de, fiziksel sistemlerde hesaplamayı nasıl niteleyeceğimiz sorununu ve bu sorunu ele almaya çalışan bazı açıklamaları sunuyorum. 5. Bölüm’de, okuyucuya üç farklı tür kuantum bilgisayarı tanıtıyorum. Son olarak 6. Bölüm’de, kuantum hızlanmasının (İng. *quantum speedup*) önerilen açıklamalarını inceliyorum.¹ Umuyorum ki, bu kitabın sonunda okuyucu, yukarıda belirtilen üç farklı alandan herhangi birinde fizik ve hesaplama arasındaki ilişkiyi daha fazla araştırmak için [şu] kaynaklara sahip olacaktır: hesaplama olasılığının sınırları, fiziksel sistemlerdeki hesaplama açıklamaları veya kuantum hızlanma-

* Çeviri boyunca, çevirmenin eklediği kelime ve kelime öbekleri köşeli parantez içinde verilecektir. Ancak alıntılar içindeki köşeli parantezler yazarın kendi eklediği kelime ya da kelime öbeklerini ifade eder. —ç. n.

1. Böyle bir kitapta, n bitlik bilginin silinmesinin her zaman termodinamik entropide $k \ln n$ [k : Boltzmann sabiti, $\ln$: doğal logaritma tabanında] maliyetine yol açtığını belirten Landauer prensibi hakkında bir tartışma bulmayı bekleyebilirsiniz. Ne yazık ki, bu kitapta bu prensibi tartışacak yer yoktur. Landauer prensibi ile ilgili konulara giriş için bkz. O. Maroney (2009).

sının araştırılması. Bununla birlikte, bu kitap sadece giriş niteliğinde değildir. Farklı görüşlere yönelik yeni argümanlar ve özgün eleştiriler [kitap] boyunca yer almaktadır.

TURING'İN 1936 YILINDA YAYINLADIĞI MAKALE

Bu bölümde, Turing'in dönüm noktası niteliğindeki (1936) makalesi "On computable numbers, with an application to the Entscheidungsproblem"dan [Hesaplanabilir Sayılar Üzerine: Entscheidungsproblem'e Bir Uygulama] bazı fikirleri ve sonuçları kısaca sunacağım.* Bu [makale], şüphesiz yirminci yüzyılın en önemli makalelerinden biridir; yaygın olarak alıntılanır ve yaygın olarak yanlış anlaşılır. Bazı kilit noktaları tartışarak okuyucuyu en azından birkaç yanlış anlamadan korumak istiyorum. [Bunlardan] en önemlisi, Turing'in "bilgisayar" terimini kullandığında, "hesaplamalar yapan bir insan"ı kastettiğini vurgulayacağım; ki bu, bizim bugün "bilgisayar"dan anladığımızdan çok farklıdır. Bu temel olgu, genellikle gözden kaçırılır ve hesaplama tartışmalarını etkileyen kilit bir karışıklık kaynağıdır. Tarihsel sahneyi doğru bir şekilde kurmak ve Turing'in (1936) [makalesini] ayrıntılı olarak açıklamak buradaki hedefler arasında değildir. Bunun için okuyucuyu Copeland'ın (2004) çalışmasına yönlendirmek istiyorum. Bunun yerine, okuyucuya Turing'in (1936) [makalesini doğru] anlamının temel hatlarını vererek, fizik ve hesaplamaı genel olarak tartışmak için bir başlangıç noktası sunmak istiyorum.

* Makalenin isminde geçen 'Entscheidungsproblem' kavramı, David Hilbert'in 1928'de ortaya koyduğu bir 'karar problemi'dir. Bu problem, her matematiksel önermenin doğru mu yanlış mı olduğunun algoritmik olarak kararlaştırılıp kararlaştırılamayacağını soran problemdir. —ç. n.

2.1 İNSAN HESAPLAYICILARIN BİÇİMSEL TEMSİLİ

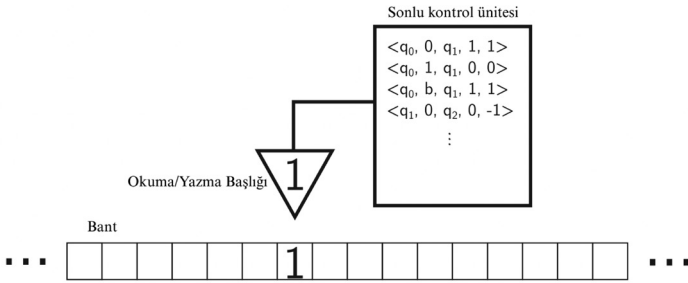
Turing, (1936) makalesinin ilk sayfasında şöyle yazar

Hesaplanabilir sayıların, ondalık kısımları sonlu araçlarla hesaplanabilen sayılar olduğunu söyledik. Bu, daha açık bir tanım gerektirir. [...] Şu an için sadece, bunun gerekçesinin insan [vurgu eklenmiştir] hafızasının zorunlu olarak sınırlı olması olgusunda yattığını söyleyeceğim.

Her şeyden önce, hesaplanabilir sayıları nitelendirme girişiminde, Turing'in niyetinin, ondalık açılımı bir insan tarafından sağlanabilecek sayılar sınıfını nitelendirmek olduğu açıktır. Bunu yapmak için Turing, insanın hesaplama yeteneklerini mümkün kılan ve sınırlayan, insanlara özgü temel özellikler olarak gördüğü şeylerin matematiksel bir temsilini sunar. Turing daha sonra, insanların bu matematiksel temsilini kullanarak hesaplanabilir sayılar sınıfının ne olduğunu gösterir.

Turing'in insan hesaplamasının temelini oluşturan matematiksel temsili, Turing makinesinin ne olduğunu tanımlar. Bir Turing makinesi, gerçek bir makine değildir; ancak daireler veya üçgenler gibi matematiksel bir yapıdır. Bir Turing makinesi, kısmen, semboller taşıyabilen çeşitli hücrelere bölünmüş sonsuz bir banttandır. Bir Turing makinesi, üzerinde bulunduğu banttaki hücrenin üzerindeki sonlu bir kümeden semboller okuyabilen, semboller yazabilen veya silebilen ve bir hücre sola veya sağa kaydırabilen bir okuma/yazma başlığı ile donatılmıştır. Bir Turing makinesi, ayrıca, sonlu bir iç durumlar dizisine sahiptir. Belirli Turing makineleri, şu anda bir program olarak adlandırdığımız şeye karşılık gelen makine tablosu ile nitelendirilir. Makine tablosu, makinenin işleyiş biçimini belirler. Makinenin *yapılandırması* olarak birlikte atıfta

bulunduğumuz bir iç durum ve taranan sembol verildiğinde, program okuma/yazma bant başlığının bir sembolü silip silmeyeceğini veya yazıp yazamayacağını, başlığın hareket edip etmeyeceğini ve son olarak hangi iç durumun güncelleneceğini gösterir. Makine tabloları, $\langle q_i, s_j, q_j, s_j, d \rangle$ biçimindeki komut kümeleri olarak temsil edilebilir; burada, $q_{i/j}$ mevcut/sonraki iç durumlar, $s_{i/j}$ banttaki mevcut/sonraki semboller, boş sembol dahil ve $d \in \{-1, 0, 1\}$ okuma/yazma bant başlığının nasıl hareket etmesi gerektiğini gösterir.¹ Şekil 1'e bakınız.



Şekil 1 Hücrelere bölünmüş sınırsız bir banda, bir hücre sola veya sağa hareket edebilen veya sabit kalabilen bir okuma/yazma bant başlığına ve sonlu kontrol ünitesine sahip bir Turing makinesi.

Turing, makalesinin 9. Bölüm'ünü, Turing makinelerinin hesaplamalar yapan insanların temel özelliklerini yakaladığını savunmaya ayırmıştır. Turing, insanın [yaptığı] hesaplamaların birkaç yönüne dikkatimizi çekmektedir. İlk olarak, insanlar hesaplamalar yaparken genellikle ayırt edi-

1. Bu notasyon Turing'e ait değildir; ancak, Turing'inkinden daha şeffaf olma avantajına sahiptir.

lebilir konumlara sahip uzamsal bir ortam kullanırlar (örneğin, üzerinde düz çizgiler bulunan bir kâğıt parçası). Turing, ortamın boyutlarının sayısının önemsiz olduğunu düşünür; bu nedenle, hesaplamanın bu yönünü ayırt edilebilir hücrelere sahip tek-boyutlu bir bantla temsil eder. İnsanlar, yalnızca sınırlı sayıda sembolü ayırt eder; bu nedenle, Turing makineleri sembollerin sonlu dizisiyle sınırlıdır. İnsanlar, bir bakışta sadece küçük sembol dizilerini ayırt edebilirler. Turing, bu noktayı resmetmek için 9999999999999999 ve 9999999999999999 gibi iki (farklı) sayıyı ikna edici bir örnek olarak kullanır. Bu iki sayıyı ayırt etmek, bir tür prosedür içerir. Turing, bir seferde yalnızca bir sembolü ayırt etmek ve hafızayı kullanarak sayının tamamına erişmek için hesaplama sınırlaması olmadığını düşünür. Bu nedenle, bir Turing makinesi üstündeki okuma/yazma başlığı bir seferde tek bir sembol okur. İnsanlar, bir seferde yalnızca tek bir sembolü değiştirebilir ve okuma/yazma başlığı da aynı şekilde tek bir sembolü değiştirebilir. Turing, insanların yalnızca sınırlı sayıda bir zihin durumuna sahip olduğunu ve dolayısıyla Turing makinelerinin de sınırlı sayıda iç duruma sahip olduğunu belirtir. Bir insan hesaplayıcının zihin durumu ve görünür sembol veya semboller, dikkatin yöneldiği yer ve sayfanın üzerindeki sembollere yapılan işlemler açısından sayfadaki bir sonraki zihin durumunu ve eylemi belirler. Benzer şekilde, iç durum ve taranan sembol, bir Turing makinesinin yapılandırmasını güncellemek için bir sonraki [adımda] ne yapacağını belirler. İnsanlar, bir hesaplama yaparken sonlu bir dizi basit işlem kullanır ve bilgisayarlar da öyle yapar. Bu basit işlemler, olası bir fikir değişikliği ile sayfadaki bir sembol değişikliğini veya fikir değişimi ile birlikte gözlemlenen karelerin olası bir değişikliğini içerir. Bir Turing makinesinin basit işlemleri de [buna] benzerdir. Bunlar, iç durumun olası bir değişik-

liği ile birlikte bant üzerindeki sembolün değiştirilmesini veya i durumdaki bir değişiklik ile birlikte taranan bant hücrelerinin değiştirilmesini içerir. Açıkça [görlüyör ki], Turing, makine-leriyle insan hesaplayıcıların temel özelliklerini matematiksel olarak temsil etmeyi amaçlamıştır.²

2.2 SONUÇLAR

Hesaplanabilir sayılar nedir? Hesaplanabilir sayılar, bir Turing makinesi tarafından üretilebilen ve bir tamsayı ile başlayabilen veya başlayamayan herhangi bir sonsuz ondalık [sayıdır].³ Dolayısıyla, duran (yani, belirli sonlu sayıda temel işlemde sonra duran) Turing makineleri, Turing'in tanımladığı hesaplanabilir sayılara karşılık gelmez. Copeland (2004, s. 33), "hesaplanabilir sayı" teriminin bu şekilde kullanılmasının çok kısıtlayıcı görünebileceğini belirtir. Modern yazarlar, Turing makineleri tarafından üretilen sonlu dizilerin de hesaplanabilir sayılara karşılık geldiğini düşünürler.

Turing, insan hesaplayıcıların bir temsiliini geliştirmek ve hesaplanabilir sayıların tanımını yapmakla kalmayıp, *evrensel* Turing makinesi kavramını da geliştirdi. Evrensel Turing makinesi, bir bant üzerinde belirli bir Turing makinesinin bir tanımını girdi olarak alabilen ve sonra onun çıktı davranışını taklit edebilen makinedir. Yukarıda belirtildiği gibi, Turing makineleri, makine tabloları tarafından tanımlanabilir. Bu tablolar sadece komutla-

2. Turing'in insanın hesaplama yeteneklerine ilişkin tasvirinde; şans, içgörü, sezgi veya yaratıcılık unsurları yer almamaktadır ve [Turing makinesinin] sonuçları da bu şekilde anlaşılmalıdır.

3. Hesaplanabilir sayı kavramının hâlâ oldukça idealize edilmiş olduğunu hatırlayalım. Hesaplanabilir sayılar aslında hesaplanamaz!

rın listeleridir. Turing, her bir komut listesinin *makinenin tanım numarası* olarak adlandırılan ayrı bir sayı ile ilişkilendirilmesi için bir kodlama şeması geliştirdi. Bu sayıdan bir Turing makinesinin *standart tanımını* üretebilmek ve bunu evrensel bir makineye girdi olarak kullanmak [mümkündür]; [böylece evrensel makine], standart tanımla ilişkili makinenin çıktısını üretecektir. Turing, Turing makinelerine tanım numaraları atama yöntemini göstererek, hesaplanabilir sayıların sınıfının sayılabilir olduğunu kanıtladı.

Turing, ayrıca Entscheidungsproblem'ın [karar problemi] çözülemez olduğunu savundu. Entscheidungsproblem [karar problemi], Hilbert ve Ackermann'ın (1928) *Grundzüge der theoretischen Logik* adlı eserinde ortaya konmuştur. Bu kitapta açıklanan problem, yüklem hesabının (İng. *predicate calculus*) verilen bir formülünün evrensel olarak geçerli olup olmadığını, bu formlerin yüklem hesabının aksiyom sisteminden çıkarılabilir olup olmadığını veya yüklem hesabının bir cümlesinin sağlanabilir (İng. *satisfiable*) olup olmadığını belirlemektir. Bunlar, problemi ifade etmenin üç eşdeğer yoludur (Davies, 2013). Sorun, sınırlarımızı sorgulamak olarak anlaşılmıştır. Turing'in Entscheidungsproblem'ının [karar problemi] karar verilemezliğini kanıtlaması, aşağıdakileri göstererek ilerlemiştir (Del Mol, 2019, Bölüm 2.4.2):

1. Her bir Turing makinesi T için, birinci-dereceden mantıkta karşılık gelen bir formül T oluşturmanın nasıl mümkün olduğu ve
2. T 'nin kanıtlanabilir olup olmadığını belirlemek için genel bir yöntem varsa, T 'nin her zaman 0 yazdıracağını kanıtlamak için de genel bir yöntem vardır.