

Tellekt

Yapay Öğrenme

Yeni Yapay Zekâ



Ethem Alpaydın

3. BASKI

ÇEVİRİ: AYLIN AĞAR



YAPAY ÖĞRENME:

YENİ YAPAY ZEKÂ

Tellekt_20

Yapay Öğrenme: Yeni Yapay Zekâ

Çeviri: Aylin Ağar

Machine Learning: The New AI (The MIT Press Essential Knowledge Series)

İlk basım (çeviriye kaynak alınan basım): MIT Press, 2018

© 2018, Massachusetts Institute of Technology

© 2019, Can Sanat Yayınları A.Ş.

Bu kitap ilk kez 2019 yılında QNB Finansbank işbirliğiyle yapılan Ufuk Açan Yayınları dizisinde yayımlanmıştır.

Bu eserin Türkçe yayın hakları Kayı Telif Hakları ajansı aracılığıyla alınmıştır.

Tüm hakları saklıdır. Tanıtım için yapılacak kısa alıntılar dışında yayıncının yazılı izni olmaksızın hiçbir yolla çoğaltılamaz.

1. basım: 2020

3. basım: Şubat 2022, İstanbul

Bu kitabın 3. baskısı 2000 adet yapılmıştır.

Yayına hazırlayan: Didem Bayındır

Düzeltili: Melis Ofilas

Mizanpaj: Bahar Kuru Yerek

Kapak Tasarımı ve Uygulama: Bora Başkan

İç Kapak Görseli: Frank Cone

Baskı ve cilt: Türkmenler Matbaacılık Reklam San. ve Tic. Ltd. Şti.

Maltepe Mah. Gümüşsuyu Cad. No: 16-18

Topkapı, İstanbul

Sertifika No: 43087

ISBN 978-625-7118-09-5

Tellekt

tellekt.com • bilgi@tellekt.com

Maslak Mah. Eski Büyükdere Cad. İz Plaza Giz, No: 9/25 Sarıyer / İstanbul

Telefon: (0212) 252 56 75 / 252 59 88 / 252 59 89 Faks: (0212) 252 72 33

Sertifika No: 43514

Tellekt, Can Sanat Yayınları Yapım ve Dağıtım Ticaret ve Sanayi A.Ş.'nin markasıdır.

twitter.com/tellekt • facebook.com/tellekt • instagram.com/tellekt

YAPAY ÖĞRENME:

YENİ YAPAY ZEKÂ

ETHEM ALPAYDIN

ÇEVİRİ:

AYLİN AĞAR

Tellekt

ETHEM ALPAYDIN, lisans derecesini 1987'de Boğaziçi Üniversitesi Bilgisayar Mühendisliği Bölümü'nden, doktora derecesini ise 1990'da İsviçre, École Polytechnique Fédérale de Lausanne, Bilgisayar Bilimleri Bölümü'nden almıştır. 1991-2019 yılları arasında Boğaziçi Üniversitesi Bilgisayar Mühendisliği Bölümü'nde öğretim üyesi ve bu süre içinde yurtdışında farklı üniversitelerde misafir araştırmacı olarak çalışmıştır. *Yapay Öğrenme: Yeni Yapay Zekâ* kitabı 2016 yılında MIT Press tarafından basılmış; Çince, Japonca, Korece ve Rusçaya çevrilmiştir. *Introduction to Machine Learning* (Yapay Öğrenmeye Giriş) adlı kitabının dördüncü baskısı 2020 yılında yapılmış, bu kitabın önceki baskıları da Çince, Almanca ve Türkçeye çevrilmiştir. Ethem Alpaydın, Bilim Akademisi üyesidir ve Özyeğin Üniversitesi Bilgisayar Mühendisliği Bölümü'nde öğretim üyesi olarak çalışmaktadır.

AYLIN AĞAR, 1982'de İstanbul'da doğdu. İstanbul Üniversitesi İngilizce Mütercim Tercümanlık Bölümü'nden mezun olduktan sonra yüksek lisans eğitimini Boğaziçi Üniversitesi'nde çeviribilim alanında tamamladı. Mesleki İngilizce dersleri vermekte ve yükseköğretim kurumlarında okutman olarak görev yapmaktadır.

İÇİNDEKİLER

| | |
|--|-----|
| TEŞEKKÜR | 9 |
| ÖNSÖZ | 11 |
| 1. YAPAY ÖĞRENMEYLE NEDEN İLGİLENİYORUZ? | 17 |
| 2. YAPAY ÖĞRENME, İSTATİSTİK VE VERİ ANALİZİ | 37 |
| 3. ÖRÜNTÜ TANIMA | 55 |
| 4. YAPAY SİNİR AĞLARI VE DERİN ÖĞRENME | 77 |
| 5. ÖBEKLERİ VE ÖNERİLERİ ÖĞRENME | 93 |
| 6. EYLEM YAPMAYI ÖĞRENME | 103 |
| 7. GELECEKTE BİZİ NE BEKLİYOR? | 113 |
| SÖZLÜKÇE | 133 |
| İLERİ OKUMALAR | 143 |
| KAYNAKÇA | 145 |
| DİZİN | 149 |

TEŞEKKÜR

Yapıcı yorum ve tavsiyeleri için anonim hakemlere minnettarım. MIT Press'le çalışmak her zaman olduğu gibi bir zevkti. Ayrıca Kathleen Caruso, Kathleen Hensley ve Marie Lufkin Lee'ye destekleri için teşekkür ederim.

Bu kitabı Türkçeye çeviren Aylin Ağar'a ve başta Didem Bayındır olmak üzere kitabı yayımlayan Tellekt çalışanlarına teşekkür ederim.

ÖNSÖZ

Son yirmi yıldır bilgisayar bilimlerinde sessiz bir devrim gerçekleşiyor. Bugünlerde, giderek daha çok sayıda “öğrenen bilgisayar programı”, yani görevinin gereklerine daha iyi uyması için davranışlarını otomatik olarak uyarlayabilen yazılım görüyoruz. Artık insanları yüzlerinden tanımayı öğrenen, konuşmayı anlayan, otomobil süren ya da film öneren programlarımız var. Gelecekte daha da fazlasını yapmayı vaat ediyorlar.

Bir zamanlar, bilgisayara ne yapması gerektiğini bir programlama dilinde program yazarak tanımlayan programcıydı. Şimdi ise bazı görevler için program yazmak yerine veri topluyoruz. Veri, ne yapılması gerektiğini söyleyen örnekler içeriyor; öğrenme algoritması da öğrenen programı, bu verinin tanımladığı gerekliliklerle uyuşacak biçimde otomatik olarak ayarlıyor.

Bilgisayarların geçen yüzyılın ortasında ortaya çıkışından bu yana, yaşamlarımız giderek artan biçimde sayısallaşiyor. Artık bilgisayarlar, bir zamanlar oldukları gibi salt hesap makinesi değiller. Veritabanları [*database*] ve sayısal ortam, bilgi saklamanın ana ortamı olarak kâğıda baskı almanın yerine geçti ve bilgisayar ağları üstünden sayısal iletişim, bilgi aktarımının ana biçimi olarak postayı gölgede bıraktı. Önce kullanımı kolay grafik arayüze sahip kişisel bilgisayarlar, ardından telefon ve diğer akıllı aygıtlar içinde gömülü halde, bilgisayar her yerde bulunan, televizyon ya da mikrodalga fırın

gibi bir ev eşyası haline geldi. Şimdilerde, yalnızca rakamlar ve harfler değil, görüntü, video, ses ve benzeri her tür bilgi sayısal olarak saklanıyor, işleniyor ve çevrimiçi bağlantı sayesinde bir yerden bir yere aktarılabilir. Tüm bu sayısal işlem çok miktarda veri doğuruyor. Veri analizi ile yapay öğrenmeye olan yaygın ilginin tetiklenmesine yol açan işte bu veri taşmasıdır; buna “veri sarsıntısı” [*dataquake*] da diyebiliriz.

Görüntü tanımadan konuşma tanımaya, çeviriden robotiğe çok sayıda uygulama için 1950’lerden beri yapılan onlarca yıllık araştırmaya rağmen yeterince iyi algoritma bulamadık. Fakat tüm bu görevler için veri toplamak kolay ve buradaki düşünce, programcıları öğrenen programlarla değiştirmek ve bu görevler için gereken algoritmaları veriden otomatik olarak öğrenmektir. Bu yapay öğrenmenin alanıdır ve son yirmi yılda yalnızca veri sürekli olarak büyümekle kalmadı, bu veriyi bilgiye dönüştürmeye yönelik yapay öğrenme teorisi de önemli ölçüde gelişti.

Bugün, perakende ve finanstan imalata, farklı iş türlerinde sistemlerimiz bilgisayarlaştıkça, durmaksızın daha fazla veri üretilip toplanıyor. Bu durum astronomiden biyolojiye kadar bilimin çeşitli alanları için de geçerli. Günlük yaşamlarımızda da sayısal teknoloji varoluşumuza sızdıkça, sayısal ayak izimiz derinleştikçe, yalnızca tüketiciler ve kullanıcılar olarak değil, sosyal medya aracılığıyla da yaşamlarımızın giderek artan bir kısmı kaydediliyor ve veri haline geliyor. Kaynağı ne olursa olsun –ticari, bilimsel ya da kişisel– pasif bir şekilde öylece duran veri bir işe yaramaz ve akıllı insanlar her geçen gün bu veriyi işe yarar kılmanın ve kullanışlı bir ürüne ya da hizmete dönüştürmenin yeni yollarını buluyorlar.

Tüm bu görünüşte karmaşık ve hacimli verinin berisinde basit bir açıklamanın yattığı inancındayız. Verinin, büyük olmasına rağmen, az sayıda saklı etken ve bu etkenlerin etkileşimini içeren görece basit bir modelle açıklanabileceğini düşünüyoruz. Çevrimiçi olarak ya da yerel süpermarketlerden her gün binlerce ürün alan milyonlarca tüketiciyi düşünelim. Bu oldukça büyük bir işlem veritabanı demektir. Fakat bizi kurtaran ve yardımcı olan gerçek, bu verilerin bir örüntüye sahip olmasıdır. İnsanlar rasgele alışveriş yapmaz.

Parti veren biri belli bir ürün altkümesini, evde bebeği olan biriye farklı bir altkümeyi satın alır. Tüketici davranışını açıklayan bu tür saklı etkenler vardır. Yapay öğrenmenin merkezinde olan da bu, yani gözlenen veriden saklı bir modelin –altta yatan etkenlerin ve onların veriyi oluşturmadaki etkileşiminin– çıkarılmasıdır.

Yapay öğrenme, yalnızca veriden bilgi çıkaran ticari uygulama yöntemleri değildir: Öğrenme ayrıca zekânın bir gereğidir. Zeki bir sistem çevresine uyum sağlayabilir olmalıdır; hatalarını tekrar etmemeyi, başarılarını tekrar etmeyi öğrenmelidir. Önceleri araştırmacılar yapay zekânın gerçekliğe dönüşmesi için yeni bir paradigmaya, yeni bir düşünme tarzına, yeni bir hesaplama [*computation*] modeline ya da bütünüyle yeni bir algoritma kümesine ihtiyacımız olduğuna inanıyorlardı. Farklı alanlarda yapay öğrenmenin yakın zamanlı başarıları dikkate alındığında, ihtiyacımız olanın yepyeni algoritmalar değil, içinden doğru kuralları çıkarmayı sağlayacak kadar çok veri ve bu kadar çok veriyi işleyebilecek yeterlilikte bilgisayar gücü olduğu iddia edilebilir.

Yapay çeviri ve planlama gibi uygulamaların, görel olarak basit ancak büyük miktarda veri örneğinden öğrenebilen böyle yöntemlerle gerçekleştirilebileceği varsayılabilir. Derin öğrenmedeki [*deep learning*] yakın zamanlı başarılar da bu iddiayı destekliyor. Zekâ, bazı karmaşık formüllerden değil; basit, anlaşılır algoritmaların sabırlı ve sürekli kullanımından kaynaklanıyor gibi görünüyor.

Teknoloji geliştikçe ve biz daha hızlı bilgisayarlara ve daha fazla veriye sahip oldukça, öğrenen algoritmalar yavaş yavaş daha yüksek zekâ üretecek ve gittikçe daha zeki aygıtlarda ve yazılımlarda kullanım alanı bulacaklar gibi görünüyor. Bu tür öğrenilen zekânın, bu yüzyıl sona ermeden insan zekâsı düzeyine erişmesi şaşırtıcı olmayacaktır.

Ben bu kitap üzerinde çalışırken, en prestijli bilim dergilerinden biri olan *Science*, 15 Temmuz 2015 tarihli sayısında (cilt 349, sayı 6245), yapay zekâ üzerine özel bir bölüm yayımladı. Başlık, yapay zekâyâ odaklanılacağını duyursa da asıl tema yapay öğrenmeydi. Bu da yapay öğrenmenin artık yapay zekâda itici güç olduğunu göster-

ren bir başka işarettir. Mantık temelli, programlanmış uzman sistemlerin 1980'lerde yarattığı hayal kırıklığının ardından yapay öğrenme, kayda değer sonuçlar sağlayarak alanı yeniden canlandırmıştır.

Bu kitabın amacı okura, yapay öğrenmenin ne olduğu, bazı önemli öğrenme algoritmalarının temelleri ve bir dizi örnek uygulama hakkında genel bir fikir vermektir. Kitap genel okura yöneliktir ve herhangi bir matematiksel ya da programlama ayrıntısı verilmeksizin yalnızca öğrenme yöntemlerinin anafikirleri tartışılmaktadır. Kitapta yapay öğrenme uygulamaları da aşırı ayrıntılı olarak verilmemekte ve bir dizi örnek, yalnızca konunun ana noktalarını aktarmaya yetecek biçimde ele alınmaktadır.

Okur, yapay öğrenme algoritmaları hakkında daha fazla bilgi edinmek için, aynı konu üzerine yazdığım ve büyük oranda bu kitabın da dayanağı olan ders kitabıma başvurabilir.*

Elinizdeki kitabın içeriği şu şekilde düzenlenmiştir:

Birinci bölümde yapay öğrenmeye olan ilgiyi yaratan şu anki durumu bir bağlama yerleştirmek için, bilgisayar bilimi ile uygulamalarının zaman içindeki gelişimini kısaca ele alıyoruz. Yani sayısal teknolojinin yoğun hesaplamalı büyük bilgisayarlardan [*number-crunching mainframes*] masaüstü kişisel bilgisayarlara ve ardından çevrimiçi ve mobil akıllı aygıtlara evrimini inceliyoruz.

İkinci bölüm, yapay öğrenmenin temellerini tanıtıyor ve bazı basit uygulamalar üzerinde model uydurma ve istatistikle nasıl ilişkili olduğunu ele alıyor.

Çoğu yapay öğrenme algoritması gözetimlidir [*supervised*] ve üçüncü bölümde böyle algoritmaların yüz ve konuşma gibi örüntüleri tanımada nasıl kullanıldığından bahsediyoruz.

Dördüncü bölüm, insan beyninden esinlenen yapay sinir ağlarını [*artificial neural networks*], nasıl eğitildiklerini ve “derin” çok kat-

* Ethem Alpaydın, *Introduction to Machine Learning*, MIT Press, Cambridge, MA, 2014. [Aksi belirtilmedikçe dipnotlar yazara aittir. (Y.N.)]

manlı ağların farklı soyutlama düzeylerindeki hiyerarşileri nasıl öğrenebildiklerini ele alıyor.

Başka bir yapay öğrenme türü, örnekler arasındaki bağıntıların öğrenilmesini amaçlayan gözetimsiz öğrenmedir. Beşinci bölümde, bu türün yaygın uygulamalarına örnek olarak bölütleme ve önerilerin öğrenilmesinden bahsediyoruz.

Altıncı bölüm, otonom bir etmenin –sözgelimi sürücüsüz [*self-driven*] bir otomobilin– belli bir çevre içinde ödülü en yüksek, ceza-yı en az yapacak biçimde eylem yapmayı öğrendiği pekiştirmeli öğrenme üzerinde duruyor.

Yedinci bölüm, yapay bulut hesaplamayı da içeren “veri bilimi” alanını tartışarak kitabı sonlandırıyor. Bu bölümde ayrıca bu alanın, veri mahremiyeti ve güvenliği gibi etik ve yasal boyutlarını ele alıyoruz.

Bu kitabın amacı, yapay öğrenmede günümüzde ne olup bittiği üzerine kısa bir giriş sunmaktır ve umudum gelecekte ne yapılabileceği konusunda okuru düşünmeye teşvik etmektir. Yapay öğrenme kesinlikle günümüzün en heyecan verici bilimsel alanlarından biridir, çeşitli alanlarda teknolojiyi geliştirmiştir ve halihazırda tüm yaşam alanlarını etkileyen çarpıcı uygulamalar üretmiştir. Ben bu kitabı yazmaktan çok keyif aldım, umarım siz de okurken keyif alırsınız!

YAPAY ÖĞRENMEYLE NEDEN İLGİLENİYORUZ?

Sayısalın Gücü

Son yarım yüzyılda yaşamlarımızdaki en büyük dönüşümlerden bazıları bilgi işlem ve sayısal teknoloji sayesinde oldu. Önceki yüzyıllarda icat ettiğimiz ve geliştirdiğimiz araç, aygıt ve hizmetler, her gün artan oranda bilgisayarlaşmış “e-” sürümleriyle yer değiştirmekte ve biz de aynı zamanda bu yeni sayısal çevreye uyum sağlamaktayız.

Bu dönüşüm çok hızlı oldu: Bir zamanlar –her şeyin ışık hızında gerçekleştiği sayısal alanda elli yıl efsanevi bir geçmiştir– bilgisayarlar pahalıydı ve yalnızca hükümetler, büyük şirketler, üniversiteler, araştırma merkezleri gibi büyük kuruluşlar onlara sahip olabiliyordu. O zamanlar yalnızca bu kuruluşların bilgisayar satın alıp işletmenin getirdiği yüksek maliyeti haklı çıkarabilecek ölçüde önemli işleri vardı. Ayrı katlar ya da binalardaki bilgisayar “merkez”leri bu güç düşkünün canavarlara ev sahipliği yaparken büyük salonların içinde manyetik bantlar döndürülüyor, kartlar deliniyor, sayılar hesaplanıyordu; o zamanlar hatalar gerçekten böcekti.*

* Yazar burada bilgisayar biliminde “hata” anlamına gelen “bug” sözcüğünün asıl anlamıyla (böcek) sözcük oyunu yapıyor. (Ç.N.)

Bilgisayarlar ucuzladıkça nüfusun daha büyük bir kesimi için erişilebilir oldular ve bununla birlikte uygulama alanları genişledi. Başlangıçta bilgisayarlar yalnızca hesap makineleriydi. Yeni sayılar elde etmek için sayıları topluyor, çıkartıyor, çarpıyor ve bölüyorlardı. Hesaplama teknolojisinin büyük itici gücünün, her bilgi [*information*] parçasının sayı olarak temsil edilebileceğinin anlaşılması olduğunu söyleyebiliriz. Bu da o zamana dek yalnızca sayıları işlemekte kullanılan bilgisayarın *her* türden bilgiyi işlemek için kullanılabileceğini göstermiştir.

Daha kesin bir ifadeyle, bir bilgisayar her sayıyı 0 ya da 1'den oluşan belirli bir ikili hane [*digit*] (bit) dizisi olarak temsil eder ve bu tür bit dizileri başka bilgi türlerini de temsil edebilir. Örneğin "101100", ondalık sayı 44'ü temsil etmek için kullanılabilir *ve* ayrıca virgölün de kodudur. Benzer şekilde, "1000001" hem 65 hem de büyük "A" harfidir.* Bilgisayar programı bağlama göre diziyi nasıl yorumlayacağını bilir ve ona uygun olarak işler.

Aslında böyle bit dizileri yalnızca sayıları ve metinleri değil, bambaşka bilgi türlerini, örneğin bir fotoğraftaki renkleri ya da bir şarkıdaki tonları da temsil edebilir. Bilgisayar programlarının kendileri de bit dizileridir. En az bunun kadar önemli bir başka nokta da bir görüntüyü daha parlak yapmak ya da bir fotoğraftaki yüzü bulmak gibi bu bilgi türleriyle ilişkili işlemlerin de bit dizilerini işleyen komutlara çevrilebilmesidir.

Bilgisayarlar Veri Saklar

Bilgisayarın gücü, her bilgi parçasının sayısal –yani bir bit dizisi– olarak temsil edilebilmesi ve her türden bilginin işlenmesinin böylesi sayısal gösterimleri [*representation*] işleyen bilgisayar komutları olarak yazılabilmesi gerçeğinde yatar.

* Burada İngilizce alfabe ve noktalama işaretleri için tasarlanan ASCII kodunu kullanıyoruz. Günümüzde kullandığımız karakter kodlama şemaları, farklı dillerin farklı alfabelerini kapsıyor.

Bunun sonuçlarından biri 1960'larda ortaya çıkan *veritabanlarıdır*. Bunlar *veri*yi –sayısal olarak temsil edilmiş bilgiyi– saklayıp işleyen özelleştirilmiş bilgisayar programlarıdır. Bant ya da disk gibi çevre aygıtları bitleri manyetik olarak kaydettiği için bilgisayarın elektriği kesildiğinde içerikleri silinmez.

Veritabanlarıyla birlikte bilgisayarlar, işlemenin ötesine geçmiş ve sayısal gösterimli bilgiyi saklama araçları haline gelmiştir. Sayısal ortam zamanla öylesine hızlı, ucuz ve güvenilir oldu ki, insanlığın ana bilgi saklama aracı olan kâğıda baskının yerine geçti.

Mikroişlemcinin [*microprocessor*] icadı ve elektronik devrelerde küçükleştirmeye birlikte maliyetler düştü ve bu sayede 1980'lerin başlarından itibaren kişisel bilgisayarlar giderek daha erişilebilir oldu. *Kişisel bilgisayar*, hesaplamayı küçük işletmeler için erişilebilir kıldı. Fakat en önemlisi, kişisel bilgisayar ev aleti olmasına yetecek kadar küçük ve ucuzdu. Artık büyük bir şirket olmanıza gerek yoktu, bilgisayar sizin de hayatınızda yardımcı bir rol üstlenebilirdi. Kişisel bilgisayar herkesin bilgisayarda yapılmaya değer işleri olduğunu gösterdi ve sayısal teknolojinin demokratikleştiği bu dönemde uygulamalar da bu teknolojiyle birlikte büyüdü.

Grafik kullanıcı arayüzleri [*graphical user interface*] ve fare, kişisel bilgisayarın kullanımını kolaylaştırdı. Bunlar sayesinde bilgisayarı kullanmak için programlama öğrenmemize, farklı bir sözdizimindeki komutları hatırlamamıza gerek kalmıyordu. Dosyaları, ikonları ve hatta çöp kutusuyla bir sanal masaüstünü gösteren ekran, çalışma alanımızın sayısal bir canlandırmasıdır. Fare ise okumak ya da düzenlemek için bu unsurları tutan sanal elimizdir.

Bu gelişmelere paralel olarak kişisel bilgisayar yazılımları, daha çok veri türünü işleyerek ve yaşamlarımızı daha fazla sayısallaştırarak ticari uygulamalardan kişisel uygulamalara yöneldi. Artık mektuplarımız ve diğer kişisel belgelerimiz için bir sözcük işlemcimiz, evimizle ilgili hesaplarımız için bir elektronik tablomuz, müzik ya da fotoğrafçılık gibi hobilerimiz için yazılımlarımız var. İstersek oyun bile oynayabiliriz! Hesaplama gündelik ve eğlenceli hale geldi.

Böyle bir gündelik uygulamalar paletine sahip zevkli ve davet



Ethem Alpaydın, *Yapay Öğrenme* adlı kitabında günümüzün en heyecan verici alanlarından biri olan yapay öğrenmenin temellerini, veriden öğrenen sistemlerin gelişen teknolojilerle birlikte, yüz tanımadan göförsüz arabalara, konuşma tanımadan otomatik çeviriye dek yaşamlarımızın her alanına nasıl girdiğini tartışıyor. Bilgisayar biliminin evriminden derin sinir ağılarına, yapay zekâdan veri mahremiyeti ve güvenliğinin etik boyutlarına uzanan geniş çerçevede yapay öğrenmenin sınırlarına ve kullanımlarına ilişkin çok boyutlu ve kapsamlı bir araştırma sunuyor.



Tellekt

www.tellekt.com

ISBN 978-625-7118-00-5



9 786257 118095