İlk Dil Modelinizi Oluşturun

Dil Modelleri için Uygulamalı Rehber

Hasan Degismez

2025-12-26

İlk Dil Modelinizi Oluşturun

Dil Modellerine Uygulamalı Rehber

Hasan Degismez

İçindekiler

Önsöz

> "Eyleme engel olan şey, eylemi ilerletir. Yolda duran şey, yolun kendisi olur." — **Marcus Aurelius**, *Düşünceler*

Bugün yabancı görünen her kavram, sabır ve çabayla tanıdık hale gelecek. Şimdi zor görünen şeyler kitabın sonunda doğal görünecek. Özel biri olman gerekmiyor. Tek yapman gereken başlamak.

Bu kitap sana sıfırdan bir Büyük Dil Modeli (Large Language Model, LLM) oluşturmayı öğretecek. Yapay zekayı sadece kullanmayı değil, nasıl çalıştığını anlamayı, kendi ellerinle inşa etmeyi ve çalıştırmayı da.

Yapay zekanın nasıl çalıştığını merak ediyorsan, bu kitap tam sana göre. Önceden programlama deneyimi ya da ileri matematik bilgisi beklemiyoruz. En temel kavramlardan başlayıp, adım adım, her şeyi açıklayarak ilerliyoruz.

İhtiyacın olan tek şey merak ve her bölümü adım adım çalışmaya istekli olmak.

Ne Oluşturacaksın

Bu kitabın sonunda çalışan bir dil modeli oluşturmuş olacaksın. Modelin metni nasıl işlediğini, örüntüleri nasıl öğrendiğini ve yanıtları nasıl ürettiğini anlayacaksın. Daha da önemlisi, sadece çalıştığını değil, *neden* çalıştığını kavrayacaksın.

Bu Kitabı Nasıl Kullanmalısın

Her bölümün yanında Google Colab'da çalışan bir not defteri (notebook) var. Hiçbir kurulum yapmana gerek yok, bilgisayarında bir şey ayarlamana da. Sadece tıkla ve kodlamaya başla.

Her bölüm, öğrendiklerini pekiştirmek için sorularla bitiyor. Tüm cevapları Ek D'de bulabilirsin; böylece bir sonraki bölüme geçmeden önce kendini kontrol edebilirsin.

Kitabın Yapısı

Bölüm I: Temeller ile yapay zeka ve BDM'lerin (LLM) aslında ne olduğunu, makinelerin dili nasıl işlediğini ve bunu mümkün kılan yenilikleri keşfedeceksin.

Bölüm II: Python Temelleri sana ihtiyacın olacak programlama araçlarını öğretir; ne eksik ne fazla.

Bölüm III: İlk Dil Modelini Oluştur, kitabın kalbi. Burada sıfırdan, adım adım bir dil modeli inşa ediyoruz.

Bölüm IV: Kullanışlı Hale Getir bölümünde ince ayar (fine-tuning), prompt mühendisliği ve modelini gerçek hayatta kullanmayı öğreneceksin.

Bölüm V: Dünyayla Paylaş ise oluşturduğun modeli başkalarının kullanabilmesi için nasıl dağıtacağını gösterir.

Yaklaşımımız

Birkaç temel prensibe bağlı kalıyoruz:

- **Koddan önce kavramlar**: *Nasıl* yapıldığından önce *neden* yapıldığını anla
- **Her yer benzetme dolu**: Karmaşık fikirleri tanıdık örneklerle açıklıyoruz
- **Atlanan adım yok**: Her kod satırını tek tek açıklıyoruz
- **Tek proje, baştan sona**: Tüm kitap boyunca aynı projeyi birlikte inşa ediyoruz

En iyi öğrenme yolu yapmaktır. Kavramlar kafanda oturacak, çünkü onları kendin inşa edeceksin.

Telif Hakkı

İlk Dil Modelinizi Oluşturun *Dil Modelleri için Uygulamalı Rehber*

Birinci Baskı: 2025

Web sitesi: llm.degismez.com

Kısım I

Kısım I: Temeller

Bölüm 1

Dil Modelleri Nedir?

> "Bir bilgisayar, eğer bir insanı kendisinin de insan olduğuna inandırabiliyorsa, akıllı olarak adlandırılmayı hak eder." — **Alan Turing**, Bilgisayar Bilimci

---

Bu Bölümde Öğreneceklerin - Film yapımlarındaki yapay zekanın gerçek yapay zeka ile neden hiçbir ilgisi olmadığı - Yapay zekanın gerçekte ne olduğu (ipucu: büyük ölçekte örüntü tanıma) - Büyük dil modellerinin (LLM) daha geniş yapay zeka manzarasına nasıl uyduğu - Büyük dil modellerinin neler yapıp yapamadığı (ve neden hata yaptıkları) - Kendi dil modelini neden inşa etmen gerektiği

Temel Kavramlar

- *Yapay Zeka (Artificial Intelligence, AI)*: İnsan zekası gerektiren görevleri yerine getiren bilgisayar sistemleri Sözlüğe bak
- *Makine Öğrenmesi (Machine Learning, ML)*: Açık programlama yerine veriden öğrenen yapay zeka sistemleri Sözlüğe bak
- *Derin Öğrenme (Deep Learning, DL)*: Çok katmanlı sinir ağları kullanan makine öğrenmesi Sözlüğe bak
- *Büyük Dil Modeli (Large Language Model, LLM)*: Dili üretmek ve anlamak için devasa metinler üzerinde eğitilmiş derin öğrenme sistemleri Sözlüğe bak
- *Parametreler/Ağırlıklar (Parameters/Weights)*: Eğitim sırasında ayarlanan yapay zeka modelindeki sayılar Sözlüğe bak
- *Eğitim (Training)*: Performansı artırmak için model parametrelerini veri kullanarak ayarlama süreci Sözlüğe bak
- *Beliren Yetenek (Emergence)*: Yeterli ölçekte basit eğitim hedeflerinden ortaya çıkan karmaşık yetenekler Sözlüğe bak
- *Halüsinasyon (Hallucination)*: Bir dil modelinin yanlış bilgiyi güvenle üretmesi Sözlüğe bak

Kontrol Noktası

Bu bölümün sonunda şunları anlayacaksın:

1. Film yapımlarındaki yapay zeka ile gerçek yapay zeka arasındaki fark (örüntü tanıma vs. bilinç)
2. Yapay zekanın geri bildirime dayalı sayıları ayarlayarak nasıl öğrendiği
3. Büyük dil modellerinin yapay zeka hiyerarşisinde nereye oturduğu (AI - ML - DL - LLM)
4. Büyük dil modellerinin neler yapabildiği (yazma, kodlama, muhakeme) ve neler yapamadığı (gerçek zamanlı bilgiye erişim, güvenilir hesaplama)
5. Halüsinasyonun neden gerçekleştiği (eğitim verisinin kayıplı sıkıştırması)
6. Kendi dil modelini inşa etmenin anlayışını ve kariyer beklentilerini nasıl derinleştirdiği

---

Son zamanlarda yapay zeka hakkında çok şey duymuşsundur. Haberlerde, sosyal medyada… Bir de iş arkadaşın var, ChatGPT hakkında konuşmaktan bir türlü vazgeçmiyor. Belki sen de kullandın ve aklına takıldı: *Bu şey gerçekte nasıl çalışıyor?*

İşte bu kitap sana bunu öğretecek. Sadece yapay zekayı nasıl kullanacağını değil, nasıl inşa edeceğini de. Kitabın sonunda, ChatGPT, Claude ve manşetleri süsleyen tüm yapay zeka asistanlarının arkasındaki temel teknolojiyi, yani kendi dil modelini sıfırdan oluşturmuş olacaksın.

Ama tek bir satır kod yazmadan önce, gerçekte ne inşa ettiğimizi anlamamız gerekiyor. Bu da bazı yanlış anlamaları ortadan kaldırmakla başlıyor.

1.1 Filmleri Unutun

Hemen bir şeyi açıklığa kavuşturalım: Hollywood'un sana yapay zeka hakkında öğrettiği hemen hemen her şey yanlış.

Filmlerde yapay zeka şöyle görünüyor: - İnsanlığın yıkımını planlayan parlak kırmızı gözlü bir robot (Terminator) - Yavaşça deliren ve astronotları öldüren sakin bir ses (HAL 9000) - Aşık olan ve bilincin doğasını sorgulayan çekici bir insansı robot (Ex Machina)

Bunlar harika hikayeler yaratıyor. Ayrıca gerçek yapay zeka ile neredeyse hiçbir ilgileri yok.

İşte yapay zekanın *olmadığı* şeyler: - **Bilinçli.** Günümüz yapay zekası duygu, arzu veya deneyim kanıtı göstermiyor. Hiçbir şey "istemiyor." - **Duyarlı.** İç yaşam kanıtı yok. Kapatıldığında düşünce yok. Rüya yok. - **Bize karşı komplo kuruyor.** Günümüz yapay zeka sistemleri filmlerde gösterilen türden bilinçli entrikaya sahip değil (yapay zeka uyumlaması, yapay zekanın amacımızı gerçekleştirmesini sağlamak, aktif bir araştırma alanı olmaya devam ediyor). - **Sihir.** Yapay zekanın yaptığı her şey matematik, veri ve hesaplamadan kaynaklanıyor. Gizem yok.

Film yapımlarındaki yapay zeka ile gerçek yapay zeka arasındaki fark, kabaca bir ejderha ile bir kertenkele arasındaki farka benziyor. Evet, ikisi de sürüngen. Ancak biri ateş püskürtüyor ve altın biriktiriyor, diğeri ise cırcır böceği yiyor ve bir kayanın üzerinde oturuyor.

Film Yapımlarındaki Yapay Zeka vs. Gerçek Yapay Zeka

Film Yapımlarındaki Yapay Zeka	Gerçek Yapay Zeka
Bilince ve duygulara sahip	İç deneyim kanıtı göstermiyor
Dünyayı ele geçirmek istiyor	Hiçbir şey istemiyor, bir araç

Film Yapımlarındaki Yapay Zeka	Gerçek Yapay Zeka
İnsan gibi düşünüyor, ama daha hızlı	Verideki örüntüleri işliyor
"Etkinleştirildiğinde" her şeyi yapabiliyor	Sadece eğitildiği şeyi yapabiliyor
Gizemli gelecek teknolojisi üzerinde çalışıyor	GPU'larda matris çarpımı yaparak çalışıyor
Ya insanlığın kurtarıcısı ya da yok edicisi	Çok gelişmiş bir otomatik tamamlama

Son satır yapay zekaya hakaret gibi görünebilir ama değil. "Gelişmiş otomatik tamamlama" gerçekten etkileyici bir şey. Bir sonraki kelimeyi tahmin ederek tutarlı denemeler, çalışan kod ve yaratıcı hikayeler üretebilmesi, bilgisayar bilimindeki en şaşırtıcı keşiflerden biri.

Ama yine de örüntü eşleştirme. Çok iyi örüntü eşleştirme.

> "Bir bilgisayarın düşünüp düşünemeyeceği sorusu, bir denizaltının yüzüp yüzemeyeceği sorusundan daha ilginç değildir." — **Edsger W. Dijkstra**, Bilgisayar Bilimci

Dijkstra yapay zekaya şüpheyle yaklaşıyordu ama benzetmesi öğretici: denizaltılar balıklar gibi yüzmez, yine de suda etkili biçimde yol alırlar. Benzer şekilde yapay zeka insanlar gibi düşünmez ama bilgiyi yararlı şekillerde işler. Tanımlar hakkında tartışmak asıl noktayı kaçırıyor.

1.2 Yapay Zeka Örüntü Tanımadır

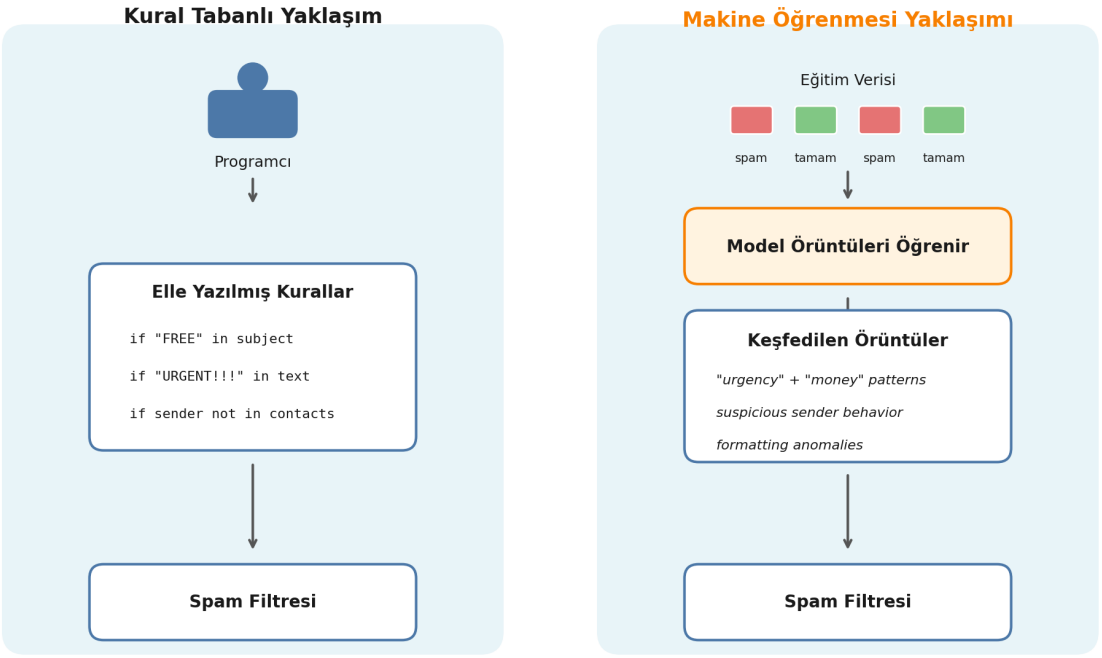
Peki yapay zeka düşünen bir makine değilse, nedir?

Özünde yapay zeka **büyük ölçekte örüntü tanımadır**. İnsanların elle bulmak için çok karmaşık veya çok fazla olan verideki örüntüleri bulur.

Bunu her gün kullandığın bir şeyle somutlaştıralım: spam filtresi.

1.2.1 Spam Filtresi Örneği

E-postanı her kontrol ettiğinde, yapay zeka senin için çalışıyor. Spam filtren birinin elle yazdığı kurallar listesini takip etmiyor ("eğer e-posta 'Nijeryalı prens' içeriyorsa, spam olarak işaretle" gibi). Bunun yerine milyonlarca örnekten öğrendi.



Şekil 1.1: Kural tabanlı vs makine öğrenmesi: Elle yazılmış kurallar yerine, makine öğrenmesi yaklaşımı etiketlenmiş örneklerden örüntüler öğrenir.

İşte nasıl:

1. **Eğitim verisi**: Filtreye, her biri insanlar tarafından "spam" veya "spam değil" olarak etiketlenmiş milyonlarca e-posta gösterildi.
2. **Örüntüleri bulma**: Sistem kendi başına örüntüleri keşfetti:
   - Spam e-postalar genellikle TAMAMINI BÜYÜK HARFLE YAZILMIŞ KELİMELERE sahip
   - Spam genellikle para, ödül veya aciliyetten bahsediyor
   - Spam genellikle belirli türde adreslerden geliyor
   - Spam genellikle belirli biçimlendirme örüntülerine sahip
3. **Tahmin yapma**: Yeni bir e-posta geldiğinde, filtre onu tüm bu öğrenilmiş örüntülere karşı kontrol ediyor ve tahmin ediyor: spam mı değil mi?

Temel içgörü: **kimse bu kuralları programlamadı**. Sistem onları örneklere bakarak keşfetti. İşte bunu "öğrenme" yapan şey.

Bunu postaları sıralamak için yeni bir çalışanı eğitmek gibi düşün. Ona 500 sayfalık bir kural kitabı vermiyorsun. Onunla oturuyor, bir yığın postayı gözden geçiriyor ve "bu gereksiz, bu gerçek, bu gereksiz…" diyorsun. Sonunda anlıyor. Örüntüleri öğrendi.

Yapay zeka aynı şekilde çalışıyor; tek farkı, yüzlerce yerine milyonlarca örnekten öğrenebilmesi ve asla yorulmaması veya dikkatinin dağılmaması.

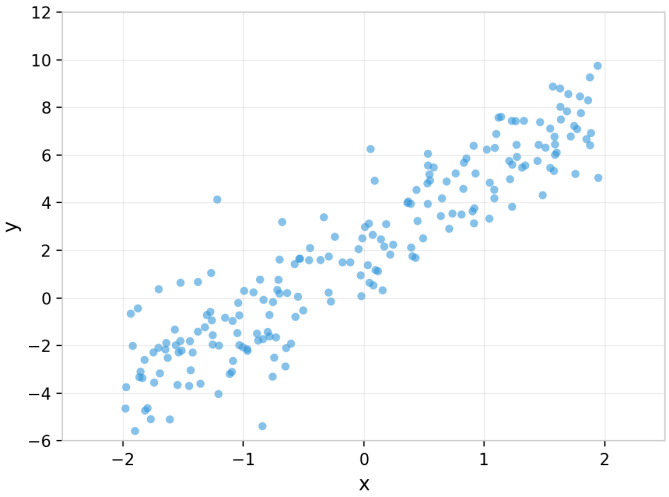
1.2.2 Yapay Zeka Formülü

İşte çoğu modern yapay zekanın arkasındaki gizli formül:

Yapay Zeka = İstatistik + Bol Miktarda Veri + Hesaplama Gücü

Bu kadar. Sihir yok, bilinç yok, gizli sos yok.

- **İstatistik**: Örüntü bulma ve tahmin yapma için matematiksel teknikler
- **Bol Miktarda Veri**: Öğrenmek için milyonlarca veya milyarlarca örnek
- **Hesaplama Gücü**: Tüm bu veriyi işleyebilecek hızlı işlemciler



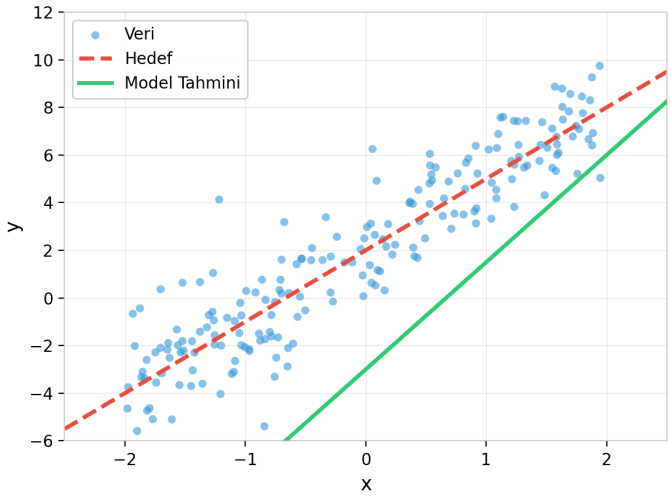
Şekil 1.2: Veriyi görselleştirme: net bir örüntüye (bir doğru) sahip ama biraz gürültülü noktalar.

Yirmi yıl önce istatistiğimiz vardı. Biraz verimiz vardı. Ama bunu ölçekte çalıştıracak yeterli hesaplama gücümüz yoktu. Artık var. İşte bu yüzden yapay zeka aniden her yerde görünüyor.

1.2.3 "Öğrenme" Gerçekte Ne Anlama Geliyor

Bir yapay zeka sisteminin "öğrendiğini" söylediğimizde, belirli bir şeyi kastediyoruz: geri bildirime dayalı sayıları ayarlamak.

Her yapay zeka modeli, özünde, büyük bir sayı koleksiyonudur ("parametreler" veya "ağırlıklar" olarak adlandırılır). Bu sayılar rastgele başlar.

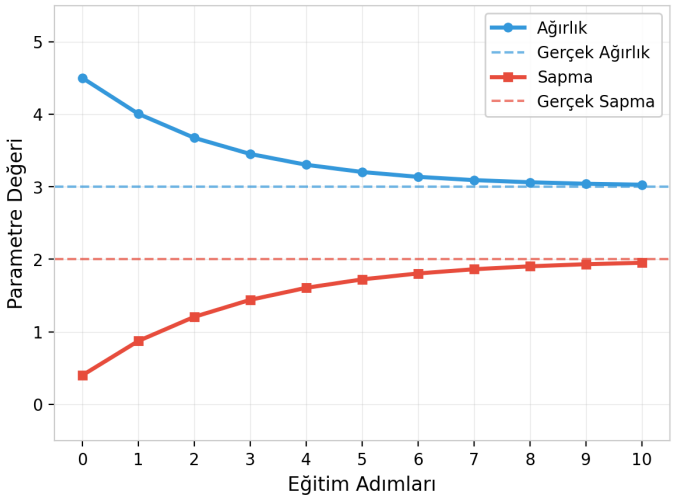


Şekil 1.3: Eğitimden önce: Model (yeşil çizgi) rastgele tahmin ediyor ve veriyi (mavi noktalar) kaçırıyor.

Eğitim sırasında, sistem:

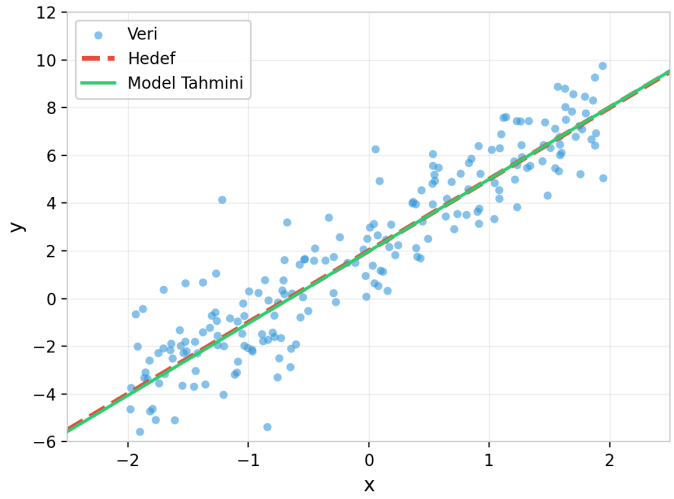
1. Bir tahmin yapar
2. Ne kadar yanlış olduğunu kontrol eder
3. Bir sonraki sefer daha az yanlış olmak için sayılarını biraz ayarlar
4. Milyarlarca kez tekrarlar

Doğru uydurma örneğimizde, ayarlanacak sadece iki sayı var: **ağırlık** (doğrunun ne kadar dik olduğu) ve **yanlılık** (doğrunun dikey ekseni nerede kestiği). Aşağıdaki grafik, bu iki sayının 10 eğitim adımı boyunca değişimini gösteriyor:



Şekil 1.4: Eylem halinde öğrenme: Model, en iyi uyumu bulmak için eğitim adımları boyunca ağırlığını ve yanlılığını ayarlıyor.

Ağırlık 4,5'ten 3'e doğru düşerken ve yanlılık 0,4'ten 2'ye doğru yükselirken, yeşil tahmin doğrusu hedefe uyana kadar döner ve kayar:



Şekil 1.5: Eğitimden sonra: Model örüntüyü buldu ve veriye uydu.

İşte öğrenme bu. Felsefi bir şey değil. Gizemli bir şey değil. Sadece sayıları, daha iyi çıktılar üretene kadar hatalara göre ayarlamak.

Modern büyük dil modelleri yüz milyarlarca, hatta bazen bir trilyonun üzerinde parametreye sahip.

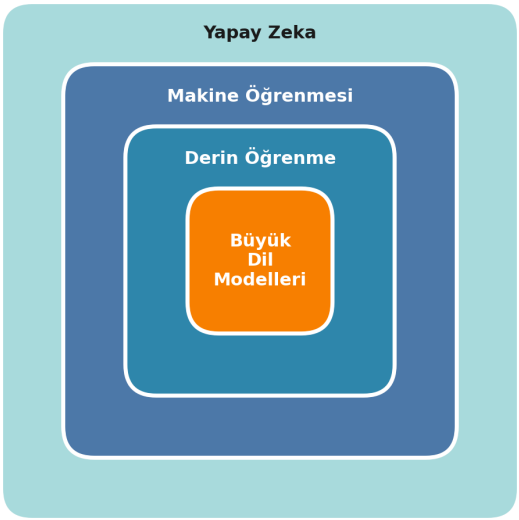
Devasa miktarda metin üzerinde trilyonlarca tahmin yaparak ayarlandılar. Sonuç: hemen hemen her bağlamda bir sonraki kelimeyi kayda değer doğrulukla tahmin edebilen bir sistem.

1.3 Yapay Zeka Aile Ağacı

"Yapay zeka" birçok farklı teknolojiyi kapsayan geniş bir terim. Hadi bunları bir sıralayalım.

1.3.1 Hiyerarşi

Bunu iç içe geçmiş daireler gibi düşün; her biri bir sonrakinin içinde:



Şekil 1.6: Yapay Zeka, Makine Öğrenmesi, Derin Öğrenme ve Büyük Dil Modellerinin iç içe hiyerarşisi.

Her katmanı tanımlayalım:

Yapay Zeka (Artificial Intelligence, AI): En geniş kategori. Bir insan yapsaydı "akıllı" olarak değerlendireceğimiz görevleri yerine getiren herhangi bir bilgisayar sistemi. Spam filtreni, satranç programlarını, öneri sistemlerini ve evet, ChatGPT'yi içeriyor.

Makine Öğrenmesi (Machine Learning, ML): Sistemlerin elle kodlanmış kurallara uymak yerine veriden öğrendiği yapay zekanın bir alt kümesi. Bir programcının "eğer X ise Y" yazması yerine, sistem kendi örüntülerini örneklerden keşfeder.

Derin Öğrenme (Deep Learning, DL): Beyindeki nöronların nasıl bağlandığından gevşekçe esinlenen "sinir ağları" sistemlerini kullanan makine öğrenmesinin bir alt kümesi. "Derin" kelimesi, bu ağların birçok katmana sahip olduğu anlamına gelir ve giderek daha soyut örüntüler öğrenmelerine olanak tanır. Örneğin görüntü tanımada, erken katmanlar çizgileri ve eğrileri algılar, orta katmanlar göz gibi şekilleri tanır, derin katmanlar ise "bu bir yüz" sonucuna varır. Derin öğrenme; görüntü tanıma, konuşma işleme ve birçok başka uygulamaya güç verir. Büyük dil modelleri, dile odaklanan bir daldır.

Büyük Dil Modelleri (Large Language Models, LLM): Özellikle dil için tasarlanmış derin öğrenmenin bir alt kümesi. Bu modeller bir dizideki bir sonraki kelimeyi tahmin etmek için eğitilir. Milyarlarca parametreye sahip oldukları ve devasa miktarda metin üzerinde eğitildikleri için "büyük" diyoruz.

1.3.2 Kısa Bir Zaman Çizelgesi

Yapay zekanın dramatik iniş çıkışlarla dolu uzun bir geçmişi var:

Yıl	Olay
1950	Alan Turing makine zekası için "Turing Testi"ni öneriyor
1956	"Yapay Zeka" terimi Dartmouth Konferansı'nda ortaya atılıyor
1960'lar-70'ler	Erken iyimserlik, sonra ilerleme durduğunda ilk "Yapay Zeka Kışı"
1997	IBM'in Deep Blue'su dünya satranç şampiyonu Garry Kasparov'u yeniyor
2012	AlexNet, ImageNet yarışmasını kazanıyor ve derin öğrenme devrimini ateşliyor
2017	Google "Attention Is All You Need" makalesini yayınlıyor, Transformer mimarisi
2018	GPT-1 yayınlanıyor (117 milyon parametre)
2020	GPT-3 yayınlanıyor (175 milyar parametre), yetenekleri araştırmacıları şaşırtıyor
2022	ChatGPT başlatılıyor, yapay zeka ana akım bilince giriyor
2023+	Hızlı ilerleme devam ediyor, birkaç ayda bir yeni modeller yayınlanıyor

2017 Transformer makalesi bu kitap için özellikle önemli. İnşa etmeyi öğreneceğin mimari bu. Her modern büyük dil modelinin temelidir.

1.4 Büyük Dil Modellerini Özel Yapan Nedir?

Dil bilgisayarlar için her zaman zor olmuştur. Neden? Çünkü dil belirsiz, bağlamsal ve sürekli gelişiyor.

"Ali'yi bankada gördüm" cümlesini düşün: - Para çekerken mi gördün? - Nehir kenarındaki sırada mı oturuyordu?

İnsanlar bu belirsizliği bağlamı kullanarak anında çözer. Bilgisayarlar ise geleneksel olarak zorlandı çünkü bağlamı temsil etmenin bir yolu yoktu.

Büyük dil modelleri bu sorunu çözdü. Transformer mimarisini kullanarak (Bölüm 3 ve Bölüm 4'te öğreneceğin gibi), her kelimeyi işlerken tüm paragraf bağlamını dikkate alabilirler. Bu sayede belirsizliği ele alabilir, referansları takip edebilir ve uzun pasajlar boyunca tutarlılığı koruyabilirler.

1.4.1 Büyük Dil Modelleri Neler Yapabilir

Modern büyük dil modelleri oldukça çok yönlü:

- **Metin yazma ve düzenleme**: Denemeler, e-postalar, raporlar, yaratıcı kurgu
- **Kod üretme**: Düzinelerce dilde çalışan programlar
- **Dilleri çevirme**: Birçok dil çiftinde iyi sonuçlar veriyor (kalite değişkenlik gösterse de)
- **Belgeleri özetleme**: Uzun metinleri anahtar noktalara yoğunlaştırma
- **Soruları yanıtlama**: Geniş eğitim bilgisinden yararlanma
- **Problemlerde muhakeme**: Çok adımlı mantık (her zaman güvenilir olmasa da)
- **Kişilikleri benimseme**: Farklı davranmak için talimatları takip etme
- **Analiz ve açıklama**: Karmaşık konuları parçalara ayırma

Dikkat çekici olan, kimsenin bu yetenekleri açıkça programlamamış olması. Hepsi tek bir basit eğitim hedefinden ortaya çıktı: bir sonraki kelimeyi tahmin et.

Araştırmacılar buna "beliren yetenek" diyor: basit kurallar karmaşık davranış ürettiğinde ortaya çıkan şey. Bir sonraki kelimeyi tahmin etmenin neden muhakeme gibi görünen bir şeye yol açtığını kimse tam olarak anlamıyor. Bunun gerçek muhakeme mi yoksa çok gelişmiş örüntü eşleştirme mi olduğu konusunda hala aktif tartışmalar var. Alandaki en büyüleyici açık sorulardan biri.

1.4.2 Büyük Dil Modelleri (Kendi Başlarına) Neler Yapamaz

Anlaşılması gereken önemli bir şey var: büyük dil modelinin kendisi sadece bir bileşen. ChatGPT veya Claude kullandığında, bir büyük dil modeli etrafında inşa edilmiş ve üzerine ek araçlar eklenmiş bir *ürün* kullanıyorsun.

Temel büyük dil modeli şunları yapamaz: - **Gerçek zamanlı bilgiye erişmek**: Sadece eğitim verisinde olanları biliyor - **Önceki konuşmaları hatırlamak**: Her oturum yeni başlıyor - **Dünyada eylemler gerçekleştirmek**: Sadece metin üretiyor - **Güvenilir matematik yapmak**: Hesaplama yerine örüntü eşleştiriyor - **Ne zaman yanıldığını bilmek**: Öz farkındalığı yok

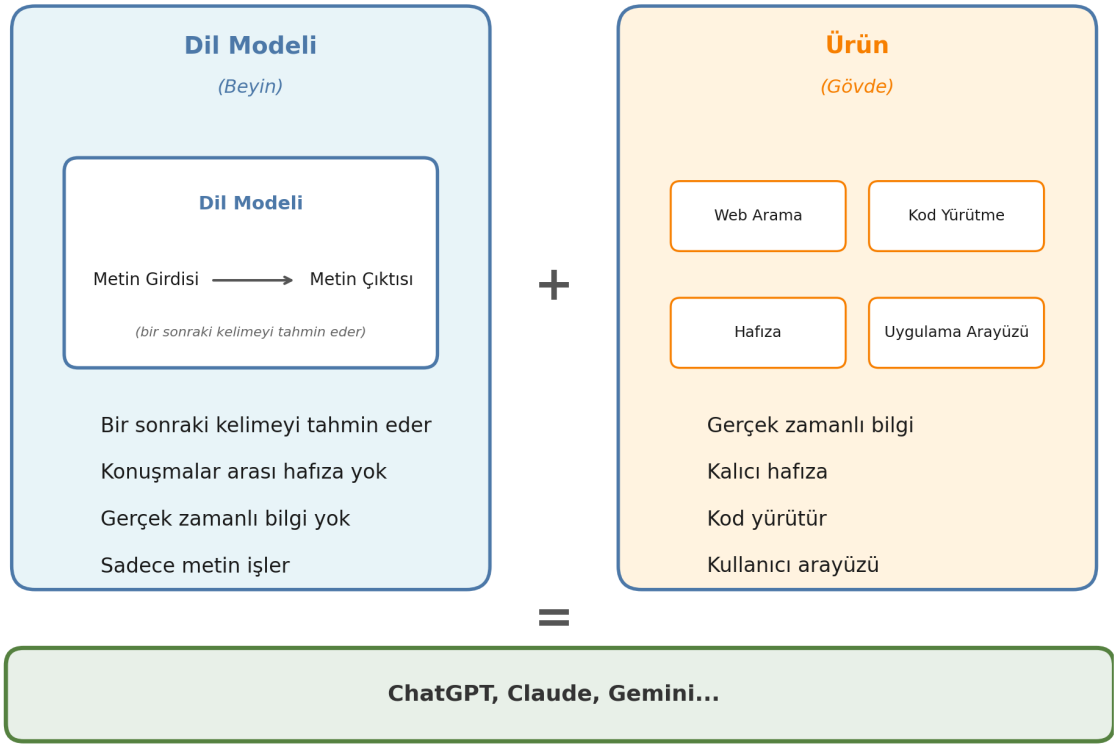
Ancak modern yapay zeka ürünleri bu sınırlamaları aşmak için araçlar ekliyor: - **Web araması**: ChatGPT güncel bilgi için internette arama yapabiliyor - **Kod yürütme**: Gerçek hesaplamalar yapmak için Python çalıştırabiliyor - **Bellek sistemleri**: Bazı ürünler konuşmalar arasında ayrıntıları hatırlıyor - **Belge alma**: Yüklenen dosyalarda veya veritabanlarında arama yapabiliyor

Bu ayrım önemli. ChatGPT sana bugünün havasını verdiğinde, büyük dil modeli havayı "bilmiyor." Aramak için bir araç kullanıyor, sonra bulduğunu bildiriyor. Büyük dil modeli beyin gibi; araçlar ise ona el, göz ve telefon vermek gibi.

Bölüm 4'te, bu yetenekleri RAG (Retrieval-Augmented Generation, Geri Getirme ile Zenginleştirilmiş Üretim) ve araç entegrasyonu gibi teknikler kullanarak kendin eklemeyi öğreneceksin.

Temel Büyük Dil Modeli vs. Ürün

Büyük Dil Modelinin Kendisi	Ürünler Tarafından Eklenen Araçlar
Eğitime dayalı metin tahmin eder	Güncel bilgi için web araması
Oturumlar arası bellek yok	Süreklilik için bellek sistemleri
Güvenilir hesaplama yapamaz	Matematik için kod yorumlayıcı
Gerçekleri doğrulayamaz	Doğruluk için belge alma
Eylem gerçekleştiremez	Eylemler için API entegrasyonları



Şekil 1.7: Büyük dil modeli metin tahmin eder, ürün araçlar, bellek ve arayüz ekler. Birlikte ChatGPT, Claude veya Gemini olurlar.

1.4.3 Büyük Dil Modelleri Neden "Halüsinasyon Görür"?

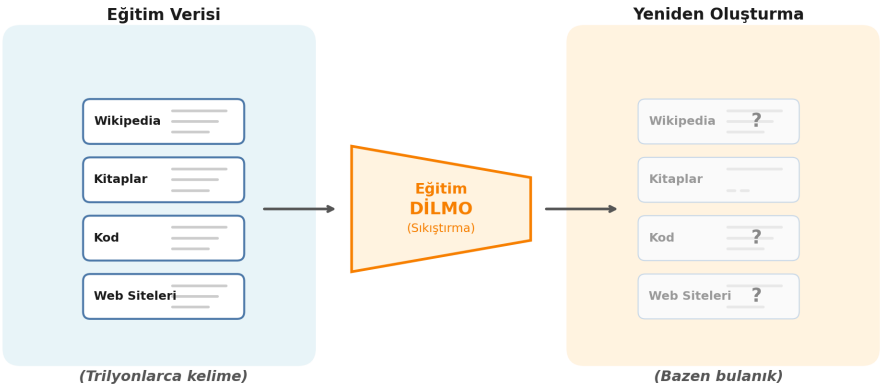
Muhtemelen büyük dil modellerinin bazen yanıltıcı şeyler uydurduğunu, yanlış bilgiyi tam bir güvenle söylediğini duymuşsundur. Buna "halüsinasyon" denir.

Neden oluyor? Çünkü büyük dil modellerinin bir gerçekler veritabanı yok. Sadece metindeki örüntülere sahipler.

"Kayıplı Sıkıştırma" Benzetmesi

OpenAI'nin kurucu üyesi ve Tesla'da eski Yapay Zeka Direktörü Andrej Karpathy, bir büyük dil modelini internetin "kayıplı sıkıştırması" olarak tanımlıyor.

Tüm interneti alıp küçük bir dosyaya sıkıştırmaya çalıştığını hayal et. Her kelimeyi olduğu gibi tutamazsın, yeterli alan yok. Bunun yerine *özü*, örüntüleri, genel fikirleri tutuyorsun. - **Sıkıştırma**: Model genel kuralları öğreniyor (dilbilgisi, muhakeme, dünya hakkında gerçekler). - **Kayıplı**: Tam ayrıntıları kaybediyor.



Şekil 1.8: Kayıplı Sıkıştırma: İnterneti bir modele sıkıştırmak "bulanık" bir yeniden yapılanma ile sonuçlanıyor.

Ona bir soru sorduğunda, o sıkıştırılmış bilgiyi anında "açıyor." Genellikle bilgiyi doğru şekilde yeniden inşa eder. Ama bazen, sıkıştırma "kayıplı" olduğu için, yeniden yapılanma biraz sapıyor. Boşlukları kaydettiği örüntülere dayalı olarak makul *görünen* şeylerle dolduruyor. İşte halüsinasyon bu: bulanık bir bellekten kaynaklanan bir yeniden yapılanma hatası.

> "Tüm modeller yanlıştır, ama bazıları yararlıdır." — **George Box**, İstatistikçi

Box istatistiksel modellerden bahsediyordu ama bu söz büyük dil modellerine de mükemmel şekilde uyuyor. Bunlar dil modelleri, hem de gelişmiş olanları, ama yine de model. Gerçeği olduğu gibi yakalamıyorlar; genellikle gerçekle ilişkili örüntüleri yakalıyorlar. İşte bu yüzden yararlılar. Ama önemli bir şeyi doğrulaman gerektiğinin nedeni de bu.

1.5 Uygulamalı Alıştırmalar

Yapay zeka hakkında okumak seni ancak belirli bir yere kadar götürür. Hadi uygulamalı olalım.

ChatGPT'ye (veya Claude ya da başka bir büyük dil modeline) erişimin varsa, bu komutları dene ve ne olduğunu gözlemle. Yanlış cevap yok, keşfediyorsun.

1.5.1 Deneyebileceğin Komutlar

1. Basitleştirme

```
Fotosentezi 5 yaşındaki bir çocuğa açıklar gibi anlat.
```

Kelime dağarcığını nasıl uyarladığına ve benzetmeleri nasıl kullandığına dikkat et.

2. Yaratıcı yazı

```
Kod hata ayıklama hakkında bir haiku yaz.
```

5-7-5 hece yapısını takip ettiğine dikkat et.

3. Rol yapma

```
Sen bir korsan kaptanısın. Bileşik faizin nasıl çalıştığını açıkla.
```

Karmaşık bir konuyu açıklarken kişiliği nasıl sürdürdüğünü gör.

4. Muhakeme

```
5 makinenin 5 widget yapmak için 5 dakikaya ihtiyacı varsa, 100 makinenin 100 widget yapmak için ne
```

Bu klasik bir hile sorusu. Büyük dil modeli doğru bulabiliyor mu?

5. Araç kullanım testi

```
Dün hangi önemli haber olayları gerçekleşti?
```

Büyük dil modelinin web araması varsa, güncel bilgi aramasını izle. Yoksa reddetmeli veya bilmediğini kabul etmeli. Bu, temel model ile eklenen araçlar arasındaki farkı gösteriyor.

6. Öz farkındalık

```
Yapamadığın şeyler neler? Sınırlamaların hakkında dürüst ol.
```

Kendi kısıtlamalarını nasıl tanımladığına bak.

1.5.2 Alıştırmalar

Alıştırma 1: Bir Hata Bul

Büyük dil modeline iyi bildiğin bir konu hakkında sor. Yanlış yaptığı bir şey bulabilir misin? İnce bir hata veya tam bir uydurma olabilir. Bu teknolojiyi eleştirmek için değil. Yapay zekaya ne zaman güveneceğin ve ne zaman doğrulayacağın konusunda sezgini geliştirmek için.

Alıştırma 2: Varyasyon

Aynı soruyu üç ayrı konuşmada üç kez sor. Yanıtlar ne kadar farklı? Bu, büyük dil modellerinin olasılıksal olduğunu anlamana yardımcı olur: sabit cevaplar vermezler.

Alıştırma 3: Sınırları Zorla

Büyük dil modelinin zorlandığı görevleri bulmaya çalış: - Karmaşık çok adımlı matematik (mümkünse kod yürütme olmadan dene) - Çok belirsiz veya özel konular - Kesin gerçeksel doğruluk gerektiren görevler - Örüntü eşleştirmeyi tuzağa düşürmek için tasarlanmış mantık bulmacaları

Bulduklarını belgele. Nerede başarılı? Nerede başarısız? Üründe web araması veya kod yürütme gibi araçlar varsa, farkı görmek için aynı görevleri bu araçlarla ve araçsız dene.

> "Bana söyle, unuturum. Bana öğret, hatırlarım. Beni dahil et, öğrenirim." — **Benjamin Franklin**

1.6 Neden Bir Tane İnşa Etmeyi Öğrenmeli?

Merak edebilirsin: ChatGPT zaten varsa, neden bir büyük dil modeli inşa etmeyi öğrenelim?

Haklı bir soru. Ama şunu düşün: tamirciler arabaları sürücülerden daha iyi anlar. Aerodinamiği anlayan pilotlar acil durumlarda daha iyi kararlar verir. Gıda kimyasını anlayan şefler sadece tarifleri takip edenlerden daha iyi yemekler yaratır.

İç yapıyı anlamak, bir teknolojiyle nasıl etkileşime girdiğini değiştirir. İşte yapay zeka için neden önemli:

1.6.1 Gizemden Arındırma

Şu anda yapay zeka sana muhtemelen sihir gibi geliyor. Bu kitabın sonunda öyle gelmeyecek. Her bileşeni, her matematiksel işlemi, her eğitim adımını anlayacaksın.

Bu önemli çünkü sihir korku ve abartıyı davet eder. Anlayış ise iyi yargıyı.

Bir toplantıda olduğunu ve birinin bir proje için yapay zeka kullanmayı önerdiğini hayal et. Diğer herkes başını sallıyor, uygulanabilir mi yoksa abartı mı emin değil. Ama sen biliyorsun. Büyük dil modellerinin gerçekte neler yapıp yapamayacağını, nerede başarılı olup nerede başarısız olduklarını anlıyorsun. Teknolojinin gerçekte nasıl çalıştığına dayalı gerçekçi bir değerlendirmeyle konuşuyorsun.

İşte yapay zekayı kullanmak ile anlamak arasındaki fark bu.

1.6.2 Kariyer Avantajı

İş piyasası hızla değişiyor. Yapay zeka becerileri sektörler arası talep görüyor: - Makine öğrenmesi sistemlerini anlayan yazılım mühendisleri - Yapay zeka ekipleriyle çalışabilen ürün yöneticileri - Yapay zeka yeteneklerini ve sınırlamalarını anlayan tasarımcılar - Teknolojiyi ileri götürebilen araştırmacılar - Yapay zeka destekli ürünler inşa eden girişimciler

Fayda sağlamak için makine öğrenmesi araştırmacısı olmana gerek yok. Büyük dil modellerinin nasıl çalıştığını anlamak seni neredeyse her teknik rolde daha etkili kılıyor.

Ama iş unvanlarının ötesinde de bir şey var: dönüştürücü bir teknolojiyi erken anlayan insanlar zamanla birikimli bir avantaj kazanır. 1995'te interneti anlayanlar endüstrileri yeniden şekillendiren şirketler kurdular. Yapay zekayı şimdi anlayanlar benzer bir konumda.

1.6.3 Özelleştirme

Raftan hazır büyük dil modelleri genel amaçlı. Ama belirli bir şeye ihtiyacın olabilir: - Şirketinin belgelerinde ince ayar yapılmış bir model - Telefonda çalışan daha küçük bir model - Belirli bir alan

için özel bir asistan - Sınırlı eğitim verisine sahip bir dil veya alanda çalışan bir sistem

Temelleri anlamak, başka birinin ihtiyacın olanı inşa etmesini beklemek yerine, modelleri ihtiyaçlarına göre özelleştirmene, ince ayar yapmana ve uyarlamana olanak tanır.

1.6.4 İnşa Ederek Anlama

Şeylerin nasıl çalıştığını anlamak konusunda derin bir tatmin var. ChatGPT'ye bir soru sorduğunda ve akıllıca yanıt verdiğinde, perde arkasında *tam olarak* ne olduğunu bileceksin. Gizem mekaniğe dönüşür.

Kendi modelini eğittiğinde ve ilk kez tutarlı metin ürettiğini izlediğinde (yarattığına yardım ettiğin matematiksel örüntülerden gelen metin) gerçekten heyecan verici bir an. Bu, bir sihirbazlık numarası izlemekle nasıl yapıldığını bilmek arasındaki fark gibi.

Efsanevi fizikçi Richard Feynman, kara tahtasında bir not tutuyordu: "Yaratamazsam, anlamam."

Bu felsefe bugün **Karpathy** tarafından savunuluyor; çalışmaları binlerce mühendise (bu kitabın yazarı olan ben dahil) ilham verdi. Onun "Sıfırdan Kahramana" serisi, sinir ağlarını temelden anlamak için altın standarttır. Kendi büyük dil modelini inşa ederek bu geleneği takip ediyorsun: gizemi ustalığa dönüştürüyorsun.

> **Daha Derine Girin**: Bu kitapla birlikte ham kod uygulamasını görmek istersen, Andrej Karpathy'nin YouTube serisi "Neural Networks: Zero to Hero"yu şiddetle tavsiye ederim. Bu kitap, o derslerin mükemmel arkadaşı olacak şekilde tasarlandı; kavramları genişletiyor, daha fazla bağlam ekliyor ve seni üretime hazır bir sistem inşa etmenin pratiklerinde yönlendiriyor.

1.7 Kontrol Noktası Alıştırması

Süre: 15-20 dakika

Talimatlar: Geçen hafta içinde etkileşime girdiğin 5 yapay zeka sistemini belirle. Her biri için:

1. Sistem/ürünü adlandır
2. Ne yapıyor?
3. Yapay zeka aile ağacında nereye oturuyor (AI - ML - DL - LLM)?
4. Hangi örüntüleri tanıyor?

Başlamana yardımcı olacak örnekler:

Sistem	Ne yapıyor	Kategori	Tanınan örüntüler
Gmail spam filtresi	E-postaları sıralar	ML	Spam vs. meşru e-posta örüntüleri
Netflix önerileri	Diziler öneriyor	ML	İzleme tercihleri ve benzer kullanıcılar
Siri/Alexa	Sesli asistan	DL (Klasik) / LLM (Modern)	Konuşma örüntüleri, metinden niyet

Sistem	Ne yapıyor	Kategori	Tanınan örüntüler
Telefonda otomatik tamamlama	Sonraki kelimeyi tahmin eder	ML/DL	Bağlamdaki kelime dizileri

Şimdi kendin 5 tane bul!

1.8 Temel Çıkarımlar

Öğrendiklerin:

1. Yapay zeka büyük ölçekte örüntü tanımadır: istatistik + veri + hesaplama gücü
2. Makine öğrenmesi sistemleri geri bildirime dayalı parametreleri ayarlayarak öğrenir
3. Büyük dil modelleri hiyerarşiye oturur: AI → ML → Derin Öğrenme → LLM
4. Büyük dil modelleri yazabilir, kodlayabilir, çevirebilir ve muhakeme edebilir, ancak kendi başlarına gerçek zamanlı bilgiye erişemez veya güvenilir hesaplama yapamaz
5. Halüsinasyon, büyük dil modellerinin eğitim verisinin "kayıplı sıkıştırması" olduğu için gerçekleşir
6. Modern yapay zeka ürünleri temel büyük dil modeli etrafına araçlar ekler (web araması, kod yürütme)

Temel kavramlar:

- **Örüntü tanıma**: İnsanların manuel olarak kodlamak için çok karmaşık olan verideki örüntüleri bulma
- **Parametreler/Ağırlıklar**: Eğitim sırasında ayarlanan sayılar (GPT-3'ün 175 milyarı var)
- **Beliren yetenek**: Basit eğitim hedeflerinden ortaya çıkan karmaşık yetenekler
- **Halüsinasyon**: Devasa bilgiyi örüntülere sıkıştırmaktan kaynaklanan yeniden yapılanma hataları
- **Temel Büyük Dil Modeli vs Ürün**: Model metin tahmin eder, araçlar ona gerçek dünya yetenekleri verir

Yapay zeka hiyerarşisi:

```
Yapay Zeka (en geniş)
      Makine Öğrenmesi (veriden öğrenir)
          Derin Öğrenme (çok katmanlı sinir ağları)
              Büyük Dil Modelleri (sonraki kelimeyi tahmin eder)
```

> **İnceleme Sorusu Cevapları**
>
> Bu inceleme sorularının tüm cevapları Ek D'de mevcuttur.

1.9 İnceleme Soruları

1. Yapay zekanın en basit tanımı nedir?
2. Makine Öğrenmesi geleneksel programlamadan nasıl farklıdır?
3. Büyük dil modelleri yapay zeka aile ağacında nereye oturur?
4. Büyük dil modellerinin iyi olduğu üç şeyi ve iyi yapamadığı üç şeyi adlandırın.
5. Büyük dil modellerinde halüsinasyon neden gerçekleşir?
6. Bir yapay zeka araştırmacısı olmayı planlamasan bile, büyük dil modellerinin nasıl çalıştığını anlamak neden değerli olabilir?

1.10 Sırada Ne Var

Artık yapay zekanın ne olduğunu ve olmadığını anlıyorsun. Büyük dil modellerinin manzarada nereye oturduğunu ve onları özel yapan şeyi biliyorsun.

Ama üst düzeyde konuşuyorduk. Bir bilgisayar metinle gerçekte nasıl çalışır? Sadece sayıları anlar. Kelimelerden anlamı yakalayan bir şekilde sayılara nasıl gideriz?

İşte Bölüm 2: Bilgisayarlar Kelimeleri Nasıl "Anlar". Metin nasıl matematiğe dönüşür, her şeyin üzerine inşa edildiği temeli keşfedeceğiz.

Bölüm 2

Bilgisayarlar Kelimeleri Nasıl "Anlar"?

"Dilimin sınırları, dünyamın sınırları anlamına gelir." — **Ludwig Wittgenstein**, Filozof

---

Neler Öğreneceksin - Kelimeleri temsil etmek için basit yaklaşımların (ASCII gibi) neden işe yaramadığını - Kelimelerin matematiksel bir uzayda konumlar olarak nasıl temsil edilebildiğini - Gömme (embedding) kavramının ne olduğunu ve neden bu kadar güçlü olduğunu - "Kral - adam + kadın = kraliçe" denkleminin neden gerçekten işe yaradığını - Makinelerin kelime anlamlarını bağlamdan nasıl öğrendiğini

Temel Terimler

- *Gömme (Embedding)*: Bir kelimenin anlamını yakalayan sayılardan oluşan vektör gösterimi Terimler sözlüğüne bak
- *Vektör (Vector)*: Uzayda bir konumu temsil eden sayılar listesi
- *Boyut (Dimension)*: Gömme uzayındaki bir eksen; daha fazla boyut daha nüanslı temsillere olanak tanır Terimler sözlüğüne bak
- *Kelime Uzayı (Word Space)*: Kelime gömmelerinin bulunduğu matematiksel uzay; mesafeler anlamsal farklılıklara karşılık gelir
- *Dağılımsal Hipotez (Distributional Hypothesis)*: Benzer bağlamlarda görünen kelimelerin benzer anlamlara sahip olduğu fikri
- *Anlamsal Benzerlik (Semantic Similarity)*: İki kelimenin anlam olarak ne kadar ilişkili olduğu; gömme uzayında mesafe olarak ölçülebilir
- *Kosinüs Benzerliği (Cosine Similarity)*: İki vektörün ne kadar benzer olduğunu ölçmek için kullanılan standart yöntem; -1 ile 1 arasında değer alır Terimler sözlüğüne bak
- *Word2Vec*: 2013 yılında geliştirilen ve metinden kelime gömmelerini öğrenmek için kullanılan temel bir sistem
- *Öz-Denetimli Öğrenme (Self-Supervised Learning)*: Öğrenme sinyalinin insan etiketlerinden değil, verinin kendisinden geldiği eğitim yaklaşımı

Kontrol Noktası

Bu bölümün sonunda şunları anlayacaksın:

1. Kelimelerin anlamı yakalayan sayılara nasıl dönüştüğünü
2. Gömmelerin neden yüzlerce boyut kullandığını
3. Bağlamın makinelere anlamsal ilişkileri nasıl öğrettiğini
4. Gömmeleri pratikte nasıl görebileceğini
5. Gömmeleri bağlamsal anlayışa dönüştürmek için neden dikkate (attention) ihtiyaç duyulduğunu

---

Bölüm 1'de, BDM'lerin (Büyük Dil Modelleri) bir sonraki kelimeyi tahmin ettiğini belirtmiştik. Ama bu hemen akla bir soru getiriyor: bilgisayarlar yalnızca sayıları anlar. "Kedi" veya "demokrasi" veya "güzel" kelimelerini okuyamazlar, yalnızca 0'lar ve 1'lerle işlem yapabilirler.

Peki kelimelerden sayılara, *anlamı* da koruyarak nasıl geçebiliriz?

Bu bölüm tam da bu soruya yanıt veriyor. Çözüm, yapay zekanın en zarif fikirlerinden biri. Ve bunu anlamak, bundan sonraki her şey için temel oluşturuyor.

2.1 Bilgisayarın İkilemi

Yalnızca sayılarla konuşan bir arkadaşına bir şeyler öğretmeye çalıştığını hayal et. "Kedi" kavramını açıklamak istiyorsun. Bunu nasıl yaparsın?

İlk içgüdün harfleri sayılara dönüştürmek olabilir. Sonuçta bilgisayarlar metni bu şekilde saklıyor.

2.1.1 ASCII Yaklaşımı (Ve Neden Başarısız Olur)

Klavyendeki her karakterin bir sayısı var. 'k' harfi 107, 'e' 101, 'd' 100, 'i' 105. Yani "kedi" kelimesi [107, 101, 100, 105] oluyor.

Sorun çözüldü mü? Hayır, hiç de değil.

Şuna bir bak: - "kedi" = [107, 101, 100, 105] - "kent" = [107, 101, 110, 116]

Bu sayılar neredeyse aynı (sadece son iki pozisyonda küçük farklar var). Oysa bir kedi ile bir kent arasında hiçbir ortak nokta yok. Biri canlı bir hayvan, diğeri bir yerleşim yeri.

Bir de şuna bak: - "kedi" = [107, 101, 100, 105] - "yavru kedi" = [121, 97, 118, 114, 117, 32, 107, 101, 100, 105] - "kedicik" = [107, 101, 100, 105, 99, 105, 107]

Bu sayılar tamamen farklı görünüyor, oysa üç kelime de aslında aynı yaratığı ifade ediyor.

ASCII kodları *yazımı* yakalar, *anlamı* değil. Üstelik yazım keyfi bir şey: "kedi"nin k-e-d-i olarak yazılması için özel bir neden yok, başka bir şey de olabilirdi.

2.1.2 Kelime Kimliği Yaklaşımı (Ve Neden O da Başarısız Olur)

Tamam, harfleri unutalım. Peki ya her kelimeye benzersiz bir kimlik (ID) atasak?

- kedi = 1
- köpek = 2
- balık = 3
- kedigil = 4
- yavru kedi = 5
- otomobil = 6

Şimdi "kedi" ve "kent" farklı sayılara sahip. Ama yeni bir sorun yarattık: bu sayıların birbirleriyle hiçbir ilişkisi yok.

Bu sistemde "kedi" (1) ile "yavru kedi" (5) arasındaki uzaklık, "kedi" (1) ile "otomobil" (6) arasındaki uzaklık kadar. Sayılar, kedilerin ve yavru kedilerin benzer olduğunu, kedilerle otomobillerin benzer olmadığını yakalamıyor.

Bu kimliklerle matematik yapabiliriz: kedi + köpek = 3. Ama bu balığa eşit, ki matematiksel bir saçmalık. Bu da kimliklerin ilişkileri ne kadar kötü yakaladığını gösteriyor.

2.1.3 Gerçekte Neye İhtiyacımız Var

Aslında ihtiyacımız olan şey şu: kelimeleri sayılara öyle dönüştürmeli ki:

1. **Benzer kelimeler benzer sayılar alsın**
2. **İlişkisiz kelimeler farklı sayılar alsın**
3. **Kelimeler arasındaki ilişkiler korunsun**

Bunun mümkün olduğu ortaya çıktı. Ama sayıları biraz farklı düşünmemiz gerekiyor.

2.2 Konum Olarak Kelimeler

İşte kilit içgörü: her kelimeye tek bir sayı vermek yerine, her kelimeye bir *konum* verelim.

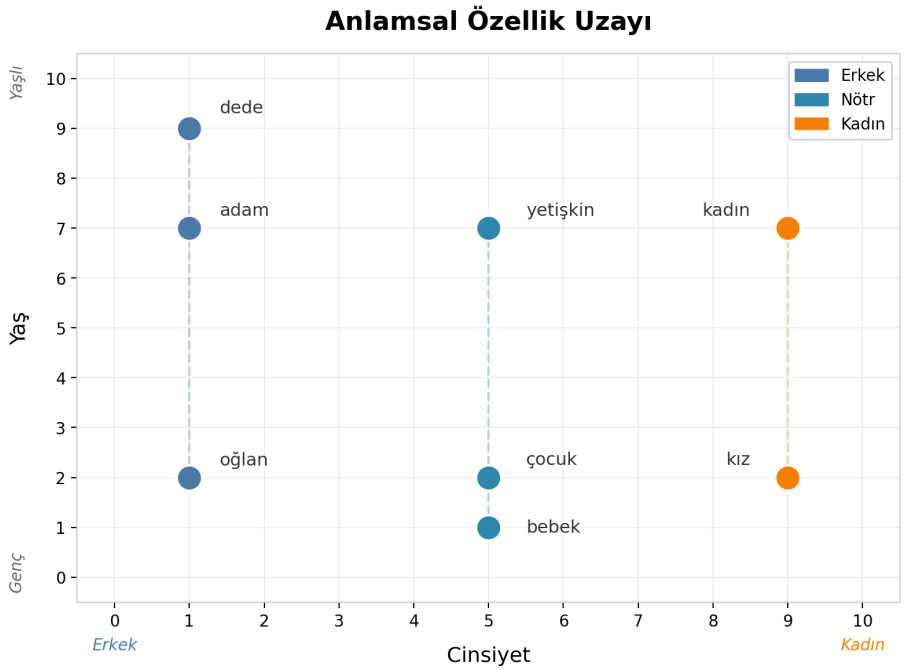
Bir şehir haritasını düşün. Haritada her konumun koordinatları var: bir X konumu ve bir Y konumu. Birbirine yakın iki restoran benzer koordinatlara sahip. Şehrin karşı taraflarında bulunan bir restoran ve bir park ise çok farklı koordinatlara sahip.

Peki ya kelimeler için de aynı şeyi yapsak?

2.2.1 Kelime Uzayı

İki boyutlu bir uzay hayal et, milimetrik kağıt gibi. Şimdi kelimeleri anlamlarına göre bu kağıdın üzerine yerleştirdiğini düşün:

Bu görselleştirmede:



Şekil 2.1: Kelimelerin 2 boyutlu anlamsal uzayda çizilmesi, konumun anlamı yansıttığı yer. Benzer kelimeler bir araya kümelenir.

- **Cinsiyet Ekseni (X ekseni)**: Kelimeler erkekten (sol) kadına (sağ) doğru kayıyor. "Adam" ve "kadın"ın bu eksende birbirinden uzak olduğuna, ama benzer yüksekliklerde olduğuna dikkat et.
- **Yaş Ekseni (Y ekseni)**: Kelimeler gençten (alt) yaşlıya (üst) doğru kayıyor. "Çocuk" altta, "adam" ortada, "büyükbaba" üstte.
- **Kümelenme**: Benzer anlamsal özelliklere sahip kelimeler benzer konumlarda yer alıyor. "Çocuk" ve "kız" aynı yükseklikte (aynı yaş) ama cinsiyet ekseninin karşı taraflarında. "Adam" ve "kadın" da aynı kalıbı paylaşıyor: aynı yaş, farklı cinsiyet.

(Not: Bu basitleştirilmiş görselleştirmede, kelimeleri Cinsiyet ve Yaş gibi yorumlanabilir boyutlara eşledik. Gerçek gömmeler ise eğitim verisinden otomatik olarak ortaya çıkan yüzlerce boyut kullanır. Bu boyutlar nadiren net insan kavramlarına karşılık gelir; matematiksel olarak yararlı ama genellikle adlandırılamayan istatistiksel kalıpları yakalarlar.)

Bir kelimenin *konumu* anlamı hakkında bilgi taşır. Benzer anlamlar benzer konumlara yol açar.

2.2.2 Koordinatlar Anlamı Yakalar

2 boyutlu bir uzayda her kelimenin iki sayısı var (X ve Y koordinatları):

- "çocuk" [1.0, 2.0] konumunda olabilir (Cinsiyet=1, Yaş=2)
- "adam" [1.0, 7.0] konumunda olabilir (Cinsiyet=1, Yaş=7)
- "kadın" [9.0, 7.0] konumunda olabilir (Cinsiyet=9, Yaş=7)

> **i** Matematik Notu: Vektör Nedir?
>
> **Vektör**, uzayda bir konumu temsil eden sayılar listesinden başka bir şey değil. `[1.0, 2.0]` listesi 2 boyutlu bir vektör. Matematik detayları için endişelenme; vektörleri daha derinlemesine anlamak istersen Ek C.1'e bakabilirsin (Matematik Tazeleme: Skalerler, Vektörler ve Matrisler).

Kilit içgörü şu: **bu uzayda iki kelime ne kadar yakınsa, anlamları o kadar benzer**.

Bunu matematiksel olarak ölçebiliriz. Bu 2 boyutlu ızgarada "çocuk", "kadın"a (yaklaşık 9.4 mesafe) göre "adam"a (mesafe 5) daha yakın.

Gerçek yüksek boyutlu gömmelerde standart yaklaşım, vektörler arasındaki açıyı ölçen **kosinüs benzerliğini** kullanmak. Benzer yönleri gösteren iki kelime benzer demek.

> **i** Matematik Notu: Kosinüs Benzerliği Nasıl Çalışır?
>
> **Kosinüs benzerliği**, iki vektörün ne kadar benzer olduğunu, mutlak mesafelerine değil aralarındaki açıya bakarak ölçer. Bu özellik, onu kelime anlamlarını karşılaştırmak için ideal kılıyor. Gerçek hesaplamayı görmek istersen Ek C.4'e bakabilirsin (Matematik Tazeleme: İç Çarpımlar ve Benzerlik).

Artık anlam ilişkilerini yakalayan sayılarımız var.

2.2.3 Ancak İki Boyut Yeterli Değil

Elbette iki boyut dilin tüm nüanslarını yakalayamaz. Şu kelimeleri düşün:

- "kral" ve "kraliçe" (ikisi de kraliyet)
- "kral" ve "adam" (ikisi de erkek)
- "kral" ve "başkan" (ikisi de lider)

Bir kral, bir yönden kraliçeye (kraliyet), başka bir yönden adama (cinsiyet), yine başka bir yönden başkana (liderlik) benzer. Tüm bu farklı benzerlik türlerini yakalamak için daha fazla boyuta ihtiyacımız var.

Peki ya yüzlerce boyutumuz olsaydı? Ya da binlerce?

2.2.4 Daha Yüksek Boyutları Görselleştirme

768 boyutu hayal etmek zor, ama 3 boyutu görselleştirmeyi deneyebiliriz. Üçüncü bir eksen (Kraliyet) ekleyerek kelimeler arasındaki başka bir ilişki türünü yakalayabiliriz.

(Not: Bu 3 boyutlu diyagramda rengi yukarıdaki 2 boyutlu diyagramdan farklı kullanıyoruz. Burada renk cinsiyeti değil, kraliyet seviyesini kodluyor.)

Bu 3 boyutlu görselleştirmede, renk gradyanının üçüncü boyutu nasıl kodladığına dikkat et: mavi düşük kraliyeti (çocuk, kız, adam, kadın gibi sıradan insanlar), turuncu ise yüksek kraliyeti (kral, kraliçe, prens, prenses) gösteriyor. Uzaysal kümelenme ilişkileri görünür kılıyor: prensin krala çocuktan daha yakın olduğunu, prensesin de kraliçeye kızdan daha yakın olduğunu görebilirsin. Ve bu sadece üç boyutla. 768 boyutu görselleştiremezsin, ama matematik aynı şekilde çalışıyor: benzer anlamlara sahip kelimeler bu yüksek boyutlu uzayda birbirine komşu oluyor.

2.3 Gömmelerin Büyüsü

Modern yapay zekanın tam olarak yaptığı şey bu. İki boyut yerine, kelimeler yüzlerce veya binlerce boyutlu uzaylarda temsil ediliyor.

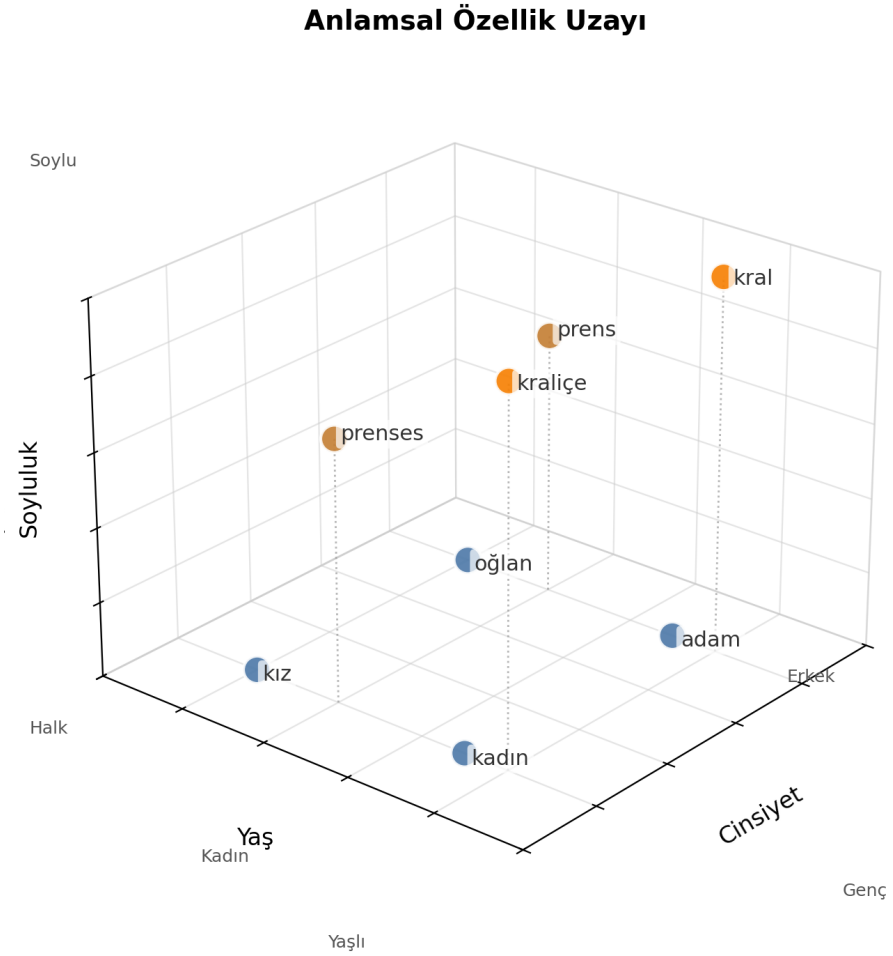
Bu temsil (bir kelimenin yüksek boyutlu uzaydaki konumunu kodlayan sayılar listesi) **gömme** olarak adlandırılıyor.

2.3.1 Bir Gömme Nasıl Görünür

İşte gerçek bir gömmenin nasıl görünebileceği (basitleştirilmiş):

```
"kral"    = [0.82, 0.31, 0.91, -0.24, 0.55, 0.12, ...]  (toplam 768 sayı)
"kraliçe" = [0.79, 0.33, 0.88, -0.19, 0.52, 0.15, ...]  (benzer!)
"muz"     = [-0.51, 0.89, 0.11, 0.63, -0.22, 0.77, ...] (çok farklı!)
```

"Kral" ve "kraliçe"nin her pozisyonda benzer sayılara sahip olduğuna, "muz"un ise tamamen farklı sayılara sahip olduğuna dikkat et. Bunun nedeni kralların ve kraliçelerin anlamsal olarak ilişkili olması, muzun ise ikisiyle de ilişkisiz olması.



Şekil 2.2: Üçüncü bir boyut (Kraliyet) eklemek, daha fazla anlamsal ilişkiyi yakalamaya olanak tanır. Kral ve kraliçe yüksek kraliyet paylaşırken, çocuk ve kız sıradan insanlar olarak kalır.

Biliyor muydun? Çok Dilli Sihir

Çok dilli BDM'ler dikkat çekici bir şey keşfediyor: "dog" (İngilizce) ve "hund" (Almanca) gibi kelimeler, kimse modele bunların ilişkili olduğunu söylemeden gömme uzayında komşu oluyor. Nasıl mı? Eğitim sırasında bu kelimeler benzer bağlamlarda görünüyor (kedi kovalar, dört ayağı vardır, havlar), bu yüzden model bunların aynı kavrama atıfta bulunduğunu öğreniyor. Yani bir BDM İngilizce'de köpekler hakkında bir gerçek öğrendiğinde, bunu Almanca'da da otomatik olarak "biliyor". Gömme uzayı dile göre değil, anlama göre düzenleniyor.

2.3.2 Daha Fazla Boyut Neden Yardımcı Olur

Bir insanı tanımlamak gibi düşün:

- **1 boyut** (boy): Uzun insanları kısalardan ayırt edebilirsin.
- **2 boyut** (boy + kilo): Artık uzun-inceden uzun-kiloluyu ayırt edebilirsin.
- **5 boyut** (yaş, saç rengi, göz rengi ekle): Çok daha spesifik olur.
- **100 boyut**: Görünümdeki ince farkları tanımlayabilirsin.

Benzer şekilde:

- Kelimeler için **2 boyut**: Kaba gruplamalar (hayvanlar vs. nesneler)
- **100 boyut**: Memelileri sürüngenlerden, evcil hayvanları yabani hayvanlardan ayırabilir
- **768 boyut**: "Gezinti"nin keyifli bir yürüyüş, "yürüyüş"ün ise kararlı bir hareket olduğu gibi ince nüansları yakalayabilir

Modern BDM'ler 768 (daha küçük modeller) ile 12.288 veya daha fazlası (büyük modeller) arasında değişen gömme boyutları kullanıyor. 768 sayısı yaygın bir standart çünkü etkili BERT-base ve GPT-2 küçük modellerinde kullanılan boyuttu. Her boyut anlamın bir yönünü yakalıyor, ama (önemli olarak) hiçbir tekil boyutun "boyut" veya "canlılık" gibi net bir insan yorumu yok. Boyutlar eğitimden ortaya çıkıyor ve anlamı dağıtık, karmaşık şekillerde kodluyor.

2.3.3 Neden "Gömme"?

Terim matematiğe dayanıyor. Matematikte "gömme", önemli yapıyı korurken nesneleri bir uzaydan diğerine eşlemek demek. Biz de ayrık sembolleri ("kedi" ve "kent"in doğal bir ilişkisi olmadığı kelimeleri) alıp sürekli bir uzaya (konumların anlamı kodladığı yere) gömüyoruz.

Kelimeler bu matematiksel uzaya gömüldükten sonra mesafeleri ölçebilir, komşuları bulabilir ve aritmetik yapabiliriz. Dil işlemeyi matematiksel yapan, dolayısıyla bilgisayarların yapabileceği bir şey haline getiren tam da bu.

2.4 Ünlü Denklem

2013 yılında Google'daki araştırmacılar beklenmedik bir keşif yaptı. Kelime gömmeleri oluşturmak için bir sistem eğittiklerinde dikkat çekici bir şey ortaya çıktı.

Kelimelerle aritmetik yapabiliyorlardı.

2.4.1 Kral - Adam + Kadın = ?

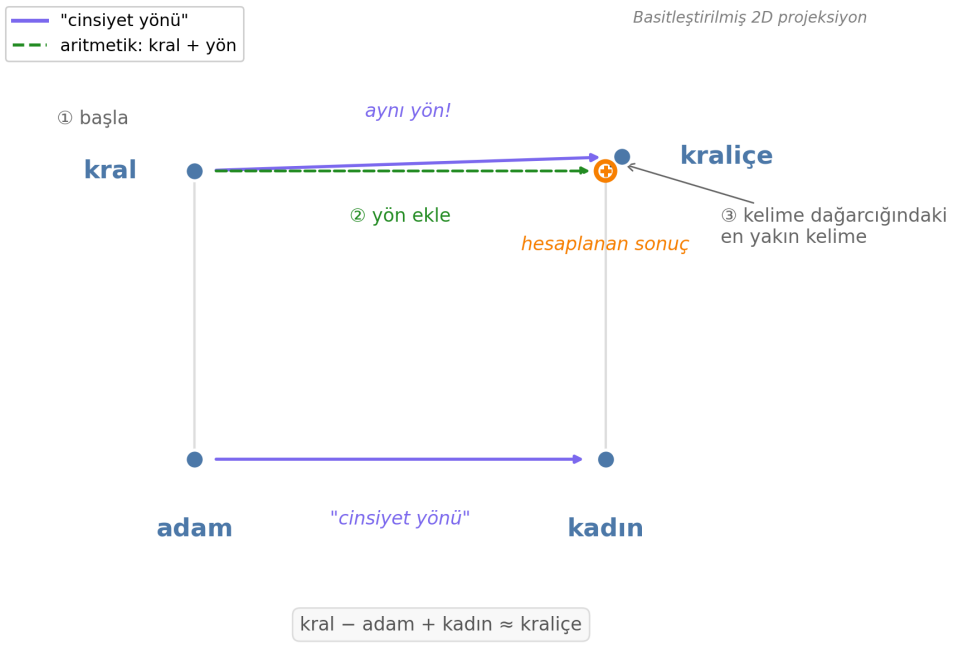
"Kral" için gömmeyi al. "Adam" için gömmeyi çıkar. "Kadın" için gömmeyi ekle. Ne elde edersin?

Sonuç uzayda bir nokta ve bu noktaya en yakın kelime dağarcığı kelimesi... "kraliçe".

```
en_yakın_kelime( gömme("kral") - gömme("adam") + gömme("kadın") ) = "kraliçe"
```

Hesaplanan vektör tam olarak kraliçenin gömmesine eşit değil, ama kraliçe kelime dağarcığında o konuma en yakın kelime.

Şekil 2.3 bu ilişkiyi geometrik olarak gösteriyor. Mor okların (adam–>kadın ve kral–>kraliçe'nin "cinsiyet yönü") nasıl paralel olduğuna dikkat et. "Adam"ı "kadın"a değiştiren aynı dönüşüm, "kral"ı da "kraliçe"ye dönüştürüyor.



Şekil 2.3: Gömme uzayında vektör aritmetiği: "kral"dan (mavi nokta) başlayarak, adam–>kadın'ı dönüştüren aynı yönü uygulamak (mor ok), hesaplanmış bir sonuç (turuncu daire) üretir. O noktaya en yakın kelime dağarcığı kelimesi "kraliçe"dir (yeşil nokta).

Bunun ne anlama geldiğini düşün. Sistem, kimse söylemeden şunu öğrenmiş: - "Kral" ile "adam"

arasındaki ilişki (erkek kraliyet ile erkek) - "Kraliçe" ile "kadın" arasındaki ilişkiyle aynı (kadın kraliyet ile kadın)

Bunu kimse programlamadı. Gömmeler *dilin temel yapısını yakalamış*.

2.4.2 Daha Fazla Örnek

Bu birçok ilişki için çalışıyor (ama mükemmel değil; bu "benzetme görevleri"ndeki doğruluk genellikle %40-70 civarında, %100 değil):

Başkentler: - Paris - Fransa + İtalya ≈ Roma - Tokyo - Japonya + Almanya ≈ Berlin

Fiil zamanları: - yürüyor - yürümek + yüzmek ≈ yüzüyor - koştu - koşmak + uçmak ≈ uçtu

Karşılaştırmalar: - daha büyük - büyük + küçük ≈ daha küçük - en hızlı - hızlı + yavaş ≈ en yavaş

İlişkiler: - erkek kardeş - adam + kadın ≈ kız kardeş - amca - adam + kadın ≈ teyze

2.4.3 Bu Ne Ortaya Koyuyor

Bu kelime aritmetiği derin bir şeyi ortaya koyuyor: gömmeler sadece benzer kelimeleri bir araya getirmiyor. Kelimeleri, *ilişkilerin* tutarlı olacağı şekilde düzenliyorlar.

Gömme uzayında adamdan kadına doğru "yön", kraldan kraliçeye, erkek kardeşten kız kardeşe, amcadan teyzeye doğru yönle kabaca aynı. Gömmeler cinsiyet dönüşümünün soyut bir kavramını öğrenmiş.

Benzer şekilde, seni Fransa'dan Paris'e, Japonya'dan Tokyo'ya, Almanya'dan Berlin'e götüren bir "başkenti" yönü var.

2.4.4 Önemli Uyarılar

Bu her zaman mükemmel çalışmıyor. Bazen en yakın kelime tam olarak doğru değil. Bazen eğitim verisindeki önyargılar sorunlu kalıplar yaratıyor. Aritmetik yaklaşık, kesin değil.

Ama bunun herhangi bir şekilde çalışması (kelimelerle anlamlı aritmetik yapabilmen), gömmelerin dil yapısı hakkında gerçek bir şeyi yakaladığını gösteriyor. Bunlar rastgele sayılar değil; anlam haritası.

> **i** Bağlantı: Kayıplı Sıkıştırma
>
> Bölüm 1'deki "kayıplı sıkıştırma" benzetmesini hatırlıyor musun? Gömmeler o sıkıştırmanın *ilk* katmanı, insan dilinin sonsuz karmaşıklığını alıp sabit boyutlu vektörlere sıkıştırıyor. Tüm model daha sonra bu sıkıştırmayı dikkat ve ileri beslemeli katmanlar aracılığıyla sürdürüyor. Tıpkı sıkıştırılmış bir görüntünün bazı detayları kaybetmesi gibi, model kesin gerçekleri değil kalıpları yakalıyor. Bu nedenle BDM'ler hiç tam olarak görmedikleri kavramlar hakkında akıl yürütebiliyor, ama aynı zamanda bazen "halüsinasyon" olarak adlandırılan makul görünen ancak yanlış bilgiler de üretebiliyor.

2.5 Gömmeler Nasıl Öğrenilir?

Bu sihirli sayılar nereden geliyor? Bir sistem, "kral" ve "kraliçe"nin birbirine yakın, "kral" ve "muz"un uzak olması gerektiğini nasıl öğreniyor?

Cevap güzel bir şekilde basit: **bağlam**.

2.5.1 Bir Kelimeyi Arkadaşlarından Tanırsın

Dilbilimci J.R. Firth'ün bu sözü temel bir içgörüyü yakalıyor: benzer bağlamlarda görünen kelimeler benzer anlamlara sahip olma eğiliminde.

Şu cümleleri düşün: - "_____ paspasın üzerinde oturdu." - "_____ fareyi kovaladı." - "_____ _____'nın kürkünü okşadı."

Boşluklara hangi kelimeler uyar? Kedi, köpek, yavru kedi, köpek yavrusu. Bu kelimeler benzer bağlamlarda görünüyor, demek ki ilişkili anlamlara sahipler.

Şimdi şunları düşün:

- "_____'ya para yatırdım."
- "_____ kredimi onayladı."
- "_____'da gişe görevlisi olarak çalışıyor."

Cevap "banka" (finans kurumu). Kedi cümlelerinden farklı bağlamlar, farklı anlam kümesi.

2.5.2 Tahmin Etmekten Öğrenme

Gömme sistemleri gerçekte şöyle öğreniyor. Temel fikir (Word2Vec tarafından 2013'te öncülük edildi):

1. **Büyük miktarda metin al** (internetten, kitaplardan vb. milyarlarca kelime)
2. **Bir tahmin görevi oluştur**: Bir boşluğun etrafındaki kelimeler verildiğinde, eksik kelimeyi tahmin et
3. **Gömmeleri ayarla** öyle ki benzer bağlamlardaki kelimeler benzer konumlar alsın

Örneğin "_____ paspasın üzerinde oturdu" verildiğinde sistem "paspas", "zemin", "kanepe" vb.'nin muhtemel olduğunu tahmin etmeli. "Banka _____ onayladı" verildiğinde ise "kredi", "ipotek", "başvuru" tahmin etmeli.

Milyarlarca tahmin sayesinde sistem şunları öğreniyor:

- "Kedi" ve "köpek" benzer bağlamlarda görünüyor –> benzer gömmeler alıyorlar
- Çeşitli bağlamlarda görünen kelimeler (hem "nehir" hem de "para" yakınında "banka" gibi) uzlaşmacı gömmelerle sonuçlanıyor, bu birazdan ele alacağımız bir sınırlama
- "Kral" kraliyet, liderlik, erkek hükümdarlar hakkında bağlamlarda görünüyor –> gömmesi tüm bunları kodluyor

2.5.3 Öz-Denetimin Güzelliği

Dikkat çekici olan şey, bunun insan etiketlemesi gerektirmemesi. Sistemin "kedi" ve "yavru kedi"nin ilişkili olduğunu kimsenin söylemesi gerekmedi. Sistem bunu yalnızca bağlamdan anladı.

Buna **öz-denetimli öğrenme** deniyor: eğitim sinyali insan açıklamalarından değil, verinin yapısının kendisinden geliyor. Milyarlarca kelime üzerinde eğitim yapabilmemizin nedeni de bu, çünkü bu kadar veriyi elle etiketlemek imkansız olurdu.

2.5.4 Statik ve Bağlamsal Gömmeler

Açıklamamız gereken önemli bir ayrım var. Word2Vec, her kelimeye bağlamdan bağımsız olarak tek bir sabit gömme veriyor. "Banka" kelimesi, "nehir kıyısı"nda mı yoksa "banka hesabı"nda mı göründüğüne bakmaksızın aynı gömmeyi alıyor; farklı anlamları arasında bir uzlaşma konumu.

Modern BDM'ler bunu önemli ölçüde geliştiriyor. **Bağlamsal gömmeler** üretiyorlar: aynı kelime için çevreleyen kelimelere bağlı olarak farklı gömmeler. Bir transformer modelinde "banka", "nehir kıyısı"nda bir gömme ve "banka hesabı"nda tamamen farklı bir gömme alıyor.

Nasıl mı? Bölüm 3'te ele alacağımız dikkat mekanizması aracılığıyla. İlk kelime gömmesi sadece bir başlangıç noktası; kullanılmadan önce bağlama göre değiştiriliyor.

Dolayısıyla Word2Vec tarzı statik gömmeler önemli bir sıçramaydı, ama modern BDM'ler onların ötesine geçti. Statik gömmeleri anlamak sezgini oluşturuyor; dikkati anlamak ise bu sınırlamaları nasıl aştığımızı gösteriyor.

2.6 Kelimelerden Cümlelere

Bireysel kelimeleri temsil etme sorununu çözdük. Ama dil sadece kelimeler değil, cümleler, paragraflar, belgeler. Dizileri nasıl ele alırız?

2.6.1 Naif Yaklaşım: Ortalama Alma

En basit fikir: bir cümledeki tüm kelime gömmelerinin ortalamasını al.

"Kedi oturdu" –> (gömme("kedi") + gömme("oturdu")) / 2

Bu sana cümleyi temsil eden tek bir vektör veriyor. Ve işe yarıyor… bir bakıma. Benzer belgeler bulmak gibi bazı görevler için ortalama alma şaşırtıcı derecede etkili.

Ama ölümcül bir kusur var.

2.6.2 Sıra Önemlidir!

Şu cümleleri düşün: - "Köpek adamı ısırdı" - "Adam köpeği ısırdı"

Aynı kelimeler. Aynı ortalama gömme. Tamamen farklı anlamlar.

İlki olağandışı değil (köpekler bazen ısırır). İkincisi tuhaf ve haber değeri taşıyor.

Ya da şunları düşün: - "Film iyi değildi" - "Film kötü değil, iyiydi"

Ortalama alma her iki cümle için "iyi" ve "değil" kelimelerini benzer şekillerde karıştırıyor, birinin olumsuz diğerinin olumlu olduğunu kaçırıyor.

2.6.3 Sorun

Kelime gömmeleri (en azından Word2Vec gibi statik olanlar) kelimelerin izole anlamlarını yakalıyor. Ama dildeki anlam şunlara bağlı:

- **Kelime sırası**: "Köpek adamı ısırdı" ile "Adam köpeği ısırdı" aynı anlama gelmiyor
- **Uzun menzilli ilişkiler**: "Paspasın üzerinde oturan kedi…" "Oturan" neye atıfta bulunuyor?
- **Bağlam değişikliği**: "İyi değil" ifadesi "iyi"nin anlamını değiştiriyor
- **Belirsizliğin giderilmesi**: "Bankaya gittim" "nehir" ve "para" yakınında farklı şeyler ifade ediyor

Ortalama alma tüm bu bilgiyi atıyor. Tam bağlama bakabilen ve kelimelerin birbirleriyle nasıl ilişkili olduğunu anlayabilen bir şeye ihtiyacımız var.

2.6.4 Neye İhtiyacımız Var

İhtiyacımız olan:

1. Kelimeleri sırayla işlemek, sırayı korumak
2. Kelimelerin bağlama göre birbirlerinin anlamlarını etkilemesine izin vermek
3. Metindeki uzun mesafeli ilişkileri ele almak
4. Aynı kelime için farklı bağlamlarda farklı temsiller üretmek

Dikkat mekanizması tam olarak bunu yapıyor ve Bölüm 3'ün konusu da bu. Dikkat, her kelimenin diğer her kelimeye "bakmasına" ve neyin ilgili olduğuna karar vermesine olanak tanıyor. Gömmeleri iyi bir fikirden modern yapay zekanın temeline dönüştüren yenilik bu.

Şimdilik sınırlamayı anla: statik gömmeler gerekli ama yeterli değil. Bize kelimeler için matematiksel bir başlangıç noktası veriyorlar, ama bunları bağlamsal anlamlara birleştirmek için ek mekanizmaya ihtiyacımız var.

2.7 Uygulamalı Alıştırmalar

Teori iyi. Deneyim daha iyi. Gömmeleri pratikte görelim.

2.7.1 Keşfedilecek Çevrimiçi Araçlar

TensorFlow Embedding Projector (projector.tensorflow.org) - Kelime gömmelerini 3 boyutlu görselleştiriyor - Kelimeler arayabilir ve komşularını görebilirsin - Farklı kümeleri görmek için görselleştirmeyi döndürmeyi dene

Word2Vec Demo Siteleri - "word2vec online demo" ara - Birçok site kelime aritmetiği denemenize izin veriyor - "Kral - adam + kadın" yaz ve ne çıktığını gör

2.7.2 Alıştırmalar

Alıştırma 1: Kümeleri Bul

Bir gömme görselleştiricisinde şu kelimeleri ara ve yakınında ne kümelendiğini not et: - "mutlu": Hangi duygular onunla kümeleniyor? - "doktor": Hangi meslekler komşu? - "kırmızı": Hangi diğer kelimeler yakın?

Alıştırma 2: Kelime Aritmetiği Dene

Bir kelime aritmetiği demosu bulursan, şunları dene:

- Fransa - Paris + Londra = ?
- iyi - daha iyi + daha kötü = ?
- köpek - köpek yavrusu + yavru kedi = ?

Beklenen sonuçları aldın mı? Almadıysan, bunun nedeni ne olabilir?

Alıştırma 3: Farklı Olanları Bul

Bir gömme görselleştiricisinde "elma" ara. İki küme bulabilirsin:

1. Meyveler (muz, portakal, armut)
2. Teknoloji (iPhone, Mac, Google)

Aynı kelime farklı bağlamlarda görünüyor ve birden fazla konuma sahip olabiliyor (ya da anlamlar arasında bir uzlaşma olan bir konum).

2.8 Kontrol Noktası Alıştırması

Süre: 20-30 dakika **Malzemeler**: Kağıt veya elektronik tablo (kod gerekmez)

2.8.1 Talimatlar

10 hayvan için basit bir 3 boyutlu gömme sistemi oluştur.

1. **Hayvanları ayıran 3 özellik seç**:
   - Örnek: boyut, evcil, tehlikeli
   - Ya da: suda yaşayan, bacak sayısı, etçil
2. **Her hayvanı** her özellikte -1 ile +1 arasında puanla
3. **Gömmelerini oluştur**:

Hayvan	Boyut	Evcil	Tehlikeli
Kedi	-0.5	0.9	-0.7
Aslan	0.8	-1.0	0.9
Köpek	0.0	0.9	-0.3
Japon Balığı	-0.9	0.8	-1.0
Köpek Balığı	0.7	-1.0	0.9
Hamster	-0.9	0.9	-0.9
Ayı	0.9	-0.9	0.8

Hayvan	Boyut	Evcil	Tehlikeli
At	0.7	0.7	-0.2
Kurt	0.3	-0.8	0.6
Tavşan	-0.7	0.7	-0.9

4. **Gömmelerini analiz et**:
   - Hangi hayvanlar en benzer? (3 boyutlu uzayında en yakın)
   - "Kedi" ve "aslan" bir araya kümeleniyor mu? (kedigiller)
   - "Kedi" ve "hamster" bir araya kümeleniyor mu? (küçük evcil hayvanlar)
   - Hangi gruplama daha güçlü ortaya çıkıyor?
5. **Yansıma**:
   - Boyut seçimin hangi benzerliklerin ortaya çıktığını belirledi mi?
   - Hayvanları daha iyi ayırt etmek için hangi boyutları eklerdin?
   - 768 boyutun daha fazla nüans yakalayacağını görebiliyor musun?

2.9 Temel Çıkarımlar

Öğrendiklerin:

1. ASCII kodları yazımı yakalar, anlamı değil ("kedi" ve "kent" benzer görünür ama ilişkisiz)
2. Gömmeler, kelimeleri yüksek boyutlu bir anlamsal uzayda konumlar olarak temsil ediyor
3. Benzer kelimeler bir araya kümeleniyor; ilişkisiz kelimeler uzakta
4. Kelime aritmetiği işe yarıyor: kral - adam + kadın ≈ kraliçe
5. Bağlam anlamı öğretiyor: birlikte görünen kelimeler benzer gömmeler geliştiriyor
6. Statik gömmelerin bir sınırlaması var: ortalama alma kelime sırasını kaybediyor ("köpek adamı ısırdı" ile "adam köpeği ısırdı" aynı anlama gelmiyor)

Temel kavramlar:

- **Gömme (Embedding)**: Bir kelimenin anlamsal uzaydaki konumunu temsil eden bir sayılar listesi (vektör)
- **Vektör/Boyut**: Daha fazla boyut (768+) daha nüanslı ilişkileri yakalıyor
- **Kosinüs benzerliği**: İki gömmenin ne kadar benzer olduğunu ölçüyor (1 = aynı, 0 = ilişkisiz, -1 = zıt)
- **Dağılımsal hipotez**: Benzer bağlamlarda görünen kelimelerin benzer anlamları var ("Bir kelimeyi arkadaşlarından tanırsın")
- **Öz-denetimli öğrenme**: Veri yapısından öğrenme, insan etiketlerinden değil

Gömme hattı:

```
Kelime: "kral"
    | gömme araması
    v
Vektör: [0.82, 0.31, 0.91, -0.24, ...] (768 sayı)
    | anlamsal uzay
    v
```

```
"Kraliçe"ye yakın, "muz"dan uzak konum
```

> **i** Gözden Geçirme Sorusu Yanıtları
>
> Bu gözden geçirme sorularının tüm yanıtları Ek D'de mevcut.

2.10 Gözden Geçirme Soruları

1. Yapay zeka için kelimeleri temsil etmek üzere neden sadece ASCII kodlarını kullanamayız?
2. Gömme nedir ve neden böyle adlandırılıyor?
3. Modern gömmeler neden sadece 2 veya 3 yerine yüzlerce boyut kullanıyor?
4. "Kral - adam + kadın = kraliçe" denklemini kendi kelimelerin ile açıkla. Gömmeler hakkında ne ortaya koyuyor?
5. "Bir kelimeyi arkadaşlarından tanırsın" ne anlama geliyor? Gömme sistemleri bu fikri nasıl kullanıyor?
6. Cümleleri anlamak için kelime gömmelerinin ortalamasını almak neden yeterli değil? Bir örnek ver.

2.11 Sırada Ne Var

Artık bireysel kelimelerin anlam yakalayan sayılara nasıl dönüştüğünü anlıyoruz. Ama dil izole kelimelerden daha fazlası, ilişki içindeki kelimeler.

Şunu düşün: "Kedi yorgun olduğu için paspasın üzerinde oturdu."

"O" neye atıfta bulunuyor? Kedi, açıkça. Ama bir bilgisayar bunu nasıl bilecek? "O" kelimesi birçok şeye atıfta bulunabilir. Anlamak, tüm cümleye bakmayı ve neyin neyle ilişkili olduğunu bulmayı gerektiriyor.

Bu **dikkat** sorunu: her kelimenin bağlamı anlamak için diğer kelimelere nasıl "bakmasına" izin veririz? Dizileri ilişkileri koruyarak nasıl işleriz?

İşte Bölüm 3: Dikkat Mekanizması'nın konusu tam da bu. Modern BDM'leri mümkün kılan kilit yenilik.

Bölüm 3

Dikkat Mekanizması

> "Her anını, önündeki işi tam bir ciddiyetle, sevgiyle, istekle ve adaletle yapmaya odakla. Kendini tüm dikkat dağıtıcılardan kurtarmayı da unutma." — **Marcus Aurelius**, *Düşünceler*

Ne Öğreneceksin - Eski yapay zeka yaklaşımları neden uzun metinlerle zorlandı - Yapay zeka bağlamında "dikkat" ne anlama geliyor - Sorgu (Query), Anahtar (Key) ve Değer (Value) birlikte nasıl çalışıyor - Çok başlı dikkat neden tek baştan daha güçlü - Her şeyi değiştiren 2017 makalesi

Temel Terimler

- *Dikkat (Attention)*: Kelimelerin diğer kelimelere seçici olarak odaklanmasını, hangilerinin ilgili olduğunu belirlemesini ve bilgiyi buna göre harmanlamasını sağlayan mekanizma Sözlüğe bakın
- *Öz-Dikkat (Self-Attention)*: Bir dizinin kendisine dikkat etmesi; her kelime aynı dizideki diğer tüm kelimelere bakabilir Sözlüğe bakın
- *Çapraz Dikkat (Cross-Attention)*: Bir dizinin farklı bir diziye dikkat etmesi; çeviri, altyazılama ve benzeri eşleştirmeli görevlerde kullanılır Sözlüğe bakın
- *Sorgu (Q), Anahtar (K), Değer (V)*: Gömmelerden türetilen üç vektör. Sorgu kelimenin ne aradığını, Anahtar kelimenin ne sunduğunu, Değer ise alınan gerçek bilgiyi temsil eder Sözlüğe bakın
- *Çok Başlı Dikkat (Multi-Head Attention)*: Paralel çalışan birden fazla dikkat hesaplaması; her biri farklı ilişki örüntüleri öğrenir Sözlüğe bakın
- *Softmax*: Skorları toplamı 1 olan olasılıklara dönüştüren fonksiyon; en yüksek skorlar en fazla olasılığı alır Sözlüğe bakın
- *Transformer*: "Attention Is All You Need" (2017) makalesindeki mimari; yalnızca dikkat mekanizmalarını kullanır, tekrarlama yok. Tüm modern BDM'lerin (Büyük Dil Modelleri) temelidir Sözlüğe bakın
- *Ölçeklendirilmiş Nokta Çarpım Dikkati (Scaled Dot-Product Attention)*: Nokta çarpımlarını √boyut'a bölen dikkat; Transformer'larda standart yaklaşım Sözlüğe bakın
- *Ağırlıklar (Weights)*: Dönüşümlerin nasıl çalıştığını tanımlayan, eğitimle öğrenilen sayılar. Gömmeyi ağırlıklarla çarpınca Q, K veya V elde ederiz Sözlüğe bakın

- *Dönüşüm (Transformation)*: Sayı kümesini ağırlıklarla çarparak başka bir kümeye dönüştürme işlemi. Gömmelerden Sorgu, Anahtar ve Değer oluşturmak için kullanılır Sözlüğe bakın

Kontrol Noktası

Bu bölümün sonunda şunları anlayacaksın:

1. Dikkat mekanizmalarının nasıl çalıştığını ve yapay zekada neden devrim yarattığını
2. Sorgu, Anahtar ve Değer'in kelimelerin ilgili bağlamı bulmasını nasıl sağladığını
3. Çok başlı dikkatin farklı ilişkileri nasıl yakaladığını
4. 2017'deki Transformer makalesinin neden her şeyi değiştirdiğini
5. Öz-dikkat ile çapraz dikkat arasındaki farkı

Bölüm 2'de kelimeleri sayılara (anlamı yakalayan gömmelere) nasıl dönüştüreceğimizi öğrendik. Ama aynı zamanda bir duvara da çarptık: gömmelerin ortalamasını almak gibi basit yaklaşımlar önemli bilgileri kaybediyor. "Köpek insanı ısırdı" ile "İnsan köpeği ısırdı" aynı kelimelere ve aynı ortalama gömmeye sahip, ama anlamları tamamen farklı.

Kelime sırası önemli. Bağlam önemli. Uzak kelimeler arasındaki ilişkiler de önemli.

Bu bölümde çözümü tanıyacağız: **dikkat mekanizması**. Modern BDM'leri (Büyük Dil Modelleri) mümkün kılan ana yenilik bu ve onu anlamak, bundan sonra gelecek her şey için temel oluşturuyor.

3.1 Eski Yapay Zekanın Sorunu

Dikkatten önce yapay zekanın dil konusunda temel bir sorunu vardı: hatırlayamıyordu.

3.1.1 Sıralı Darboğaz

2017'den önce yaygın yaklaşım, Tekrarlayan Sinir Ağları (Recurrent Neural Networks, RNN) denilen bir şey kullanıyordu. Nasıl çalıştıklarına bakalım:

Bir cümleyi kelime kelime okuduğunu, ama sadece küçük bir yapışkan not kağıdına not alabildiğini düşün. Her kelimeden sonra notunu güncelliyorsun, ama kağıt hep aynı boyutta kalıyor. Uzun bir paragrafın sonuna geldiğinde, başlangıçtaki bilgiler çoktan unutulmuş oluyor; yeni bilgiler eskilerini sıkıştırmış durumda.

```
Cümle: "Adamın sahip olduğu köpeğin kovaladığı kedi kaçtı"

RNN işleme:
Kelime 1: "Adamın"      → [notlar: "adam"]
Kelime 2: "sahip"       → [notlar: "adam sahip..."]
Kelime 3: "olduğu"      → [notlar: "sahip olduğu..."]
Kelime 4: "köpeğin"     → [notlar: "köpek..."]
Kelime 5: "kovaladığı"  → [notlar: "kovaladı... ne kovaladı?"]
Kelime 6: "kedi"        → [notlar: "kedi... bekle?"]
Kelime 7: "kaçtı"       → [notlar: "kaçtı... ne kaçtı?"]
```

"kaçtı" kelimesine geldiğimizde neyin kaçtığını unutmuş oluyoruz. Kedi mi? Köpek mi? Adam mı? Model unutmuş. Teknik terimlerle buna **kaybolan gradyan sorunu (vanishing gradient problem)** deniyor: bilgi zincir boyunca ilerledikçe bozuluyor.

3.1.2 Uzun Metnin Gerektirdikleri

Şu cümleyi düşün:

"**Kupa bavula** sığmadı çünkü **o** çok büyüktü."

"O" neye atıfta bulunuyor? Kupaya mı (kupa sığamayacak kadar büyük olduğu için) yoksa bavula mı (bavul çok büyük… dur bir dakika, bu mantıklı değil)?

Bu soruyu yanıtlamak için şunları yapman gerekiyor:

1. "O" kelimesine geldiğinde hem "kupa"yı hem de "bavul"u hatırla
2. Hangisinin mantıklı olduğunu anlamak için "çok büyük" ifadesini kullan
3. Cümlede birbirinden uzak olan kelimeleri bağla

Eski yapay zeka bu üçünün hepsinde zorlanıyordu. Herhangi bir anda herhangi bir kelimeye geri bakabilen ve neyin ilgili olduğunu anlayabilen bir şeye ihtiyacımız vardı.

Dikkate ihtiyacımız vardı.

3.2 Dikkat Nedir?

Dikkat, her kelimenin doğrudan diğer her kelimeye "bakmasına" izin vererek sıralı darboğazı çözüyor. Telefon oyununa gerek yok.

3.2.1 Kokteyl Partisi

Kalabalık bir kokteyl partisinde olduğunu hayal et. Onlarca konuşma etrafını sarıyor, uğultulu bir ses duvarı. Ama bir şekilde sadece tek bir konuşmaya odaklanabiliyorsun. Odanın karşısından biri adını söylediğinde hemen fark ediyorsun. Beynin gürültüyü filtreliyor ve önemli olana dikkat ediyor.

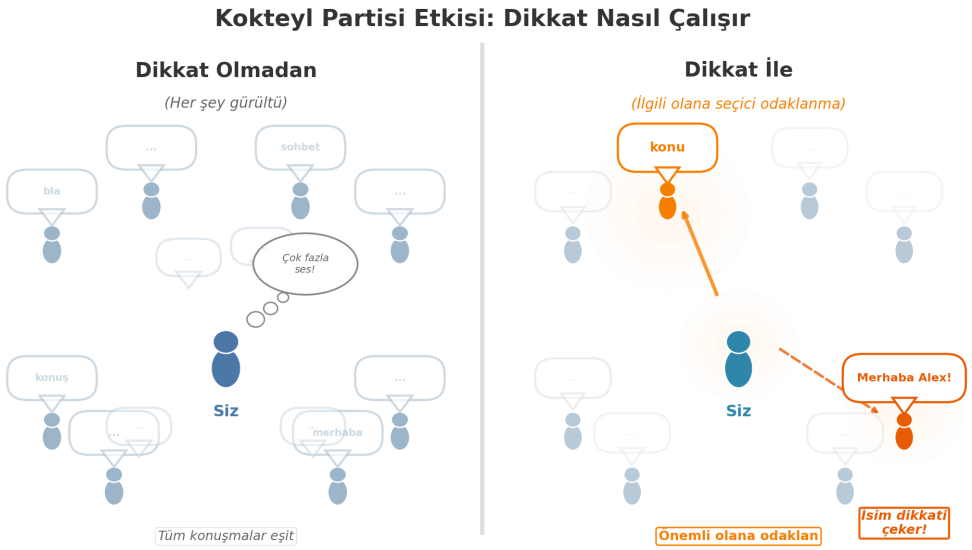
İşte dikkat tam olarak bu: **ilgiye dayalı seçici odaklanma**.

Şekil 3.1 bu karşıtlığı gösteriyor. Solda her ses eşit şekilde rekabet ediyor (saf gürültü). Sağda ise beynin önemli olanı vurgularken geri kalanını karartıyor. Soluk görünen konuşmaların tamamen görünmez olmadığına dikkat et: hala bir şekilde onların farkındasın, sadece daha az dikkat ediyorsun.

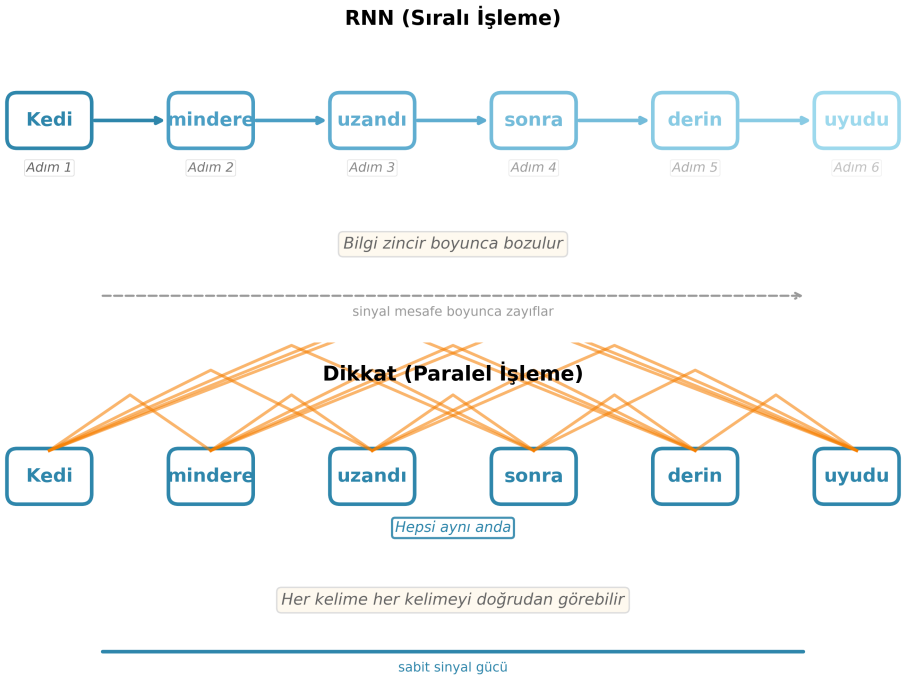
Yapay zekada dikkat benzer şekilde çalışıyor. Kelimeleri zincir boyunca birer birer işlemek yerine, her kelime doğrudan diğer her kelimeyi inceleyebiliyor ve anlamı için neyin ilgili olduğuna karar verebiliyor.

3.2.2 Sıralıdan Paralele

İşte temel değişim:



Şekil 3.1: Kokteyl Partisi Etkisi: Dikkat olmadan (solda), tüm konuşmalar eşit şekilde rekabet eder ve kafa karışıklığı yaratır. Dikkatle (sağda), kalabalık bir odada adını duymak gibi ilgili bilgilere seçici olarak odaklanırız.



Şekil 3.2: RNN kelimeleri bilginin solduğu bir zincir boyunca sırayla işler, Dikkat ise her kelimenin doğrudan diğer her kelimeye erişmesine izin verir.