

Türkiye’de Yapay Zekâ: Teknoloji, Ekosistem, Yönetişim ve Ekonomi

TÜRKİYE BİLİŞİM DERNEĞİ
İCRA KURULU YAPAY ZEKÂ SEKTÖR ÇALIŞMA GRUBU



TÜRKİYE BİLİŞİM DERNEĞİ

İCRA KURULU

YAPAY ZEKÂ RAPORU

Türkiye’de Yapay Zekâ:

Teknoloji, Ekosistem, Yönetişim ve Ekonomi



AĞUSTOS 2026

RAPORA KATKI VERENLER

Bu raporun içeriğinde ve hazırlanmasında katkılarını sunan çalışma grubu üyeleri aşağıda yer almaktadır. Yapay Zekâ Çalışma Grubunun oluşumuna olanak sağlayan TBD İcra Kurulu Başkanı **Sayın Abdullah Raşit Gülhan** ve Yardımcısı **Sayın Ahmet Pekel**'e teşekkür ederiz.

Katkı Sunan Yapay Zekâ Çalışma Grubu Üyeleri

Mehmet F. Can - TBD İcra Kurulu Üyesi ve TBD İcra Kurulu Yapay Zekâ Çalışma Grubu Koordinatörü

Doç. Dr. Faruk Arslan (Yapay Zekâ Nedir, Temel Yapay Zekâ Teknolojileri)

Prof. Dr. Recep Benzer (Bazı Uygulama Alanları)

Dr. Serra Çelik (Yapay Zekâ Nedir, Temel Yapay Zekâ Teknolojileri)

Çağrı Dinç (Yapay Zekâ Ekosistemi)

Taner Kaya (Bazı Uygulama Alanları, Yapay Zekâ Ekonomisi)

Dr. Merve Ayyüce Kızrak (Yapay Zekâ Ekosistemi)

Şeyda Polat (Bazı Uygulama Alanları, Yapay Zekâ Ekonomisi)

Çağatay Taşçı (Yapay Zekâ Ekonomisi)

Ersin Taşçı (Yapay Zekâ Yönetişimi)

Dr. Melik Emirhan Tunalıoğlu (Yapay Zekâ Nedir, Temel Yapay Zekâ Teknolojileri)

Mutlu Doğuş Yıldırım (Yapay Zekâ Yönetişimi)

Berkay Yücel (Bazı Uygulama Alanları)

İÇİNDEKİLER

RAPORA KATKI VERENLER	3
İÇİNDEKİLER	4
TABLolar	10
ŞEKİLLER.....	10
SUNUŞ	11
TEŞEKKÜR ve ÖNSÖZ.....	12
1. BÖLÜM: YAPAY ZEKÂ NEDİR? TEMEL YAPAY ZEKÂ TEKNOLOJİLERİ	17
1.1 YAPAY ZEKÂNIN TANIMI.....	17
1.2. YAPAY ZEKÂ TÜRLERİ	17
1.2.1.Dar Yapay Zekâ (ANI)	18
1.2.2.Genel Yapay Zekâ (AGI).....	19
1.2.3.Süper Yapay Zekâ (ASI).....	21
1.3. YAPAY ZEKÂNIN TARİHSEL EVRİMİ VE ÇIKARILACAK BAZI DERSLER	22
1.4. TEMEL YAPAY ZEKÂ TEKNOLOJİLERİ	25
1.4.1.Öğrenme Temelli ve Veri Odaklı Yapay Zekâ Teknolojileri	25
1.4.2. Algı ve Etkileşim Teknolojileri: Doğal Dil İşleme.....	33
1.4.3.Bedenleşmiş Yapay Zekâ.....	40
1.4.4. Açıklanabilir Yapay Zekâ (XAI)	46
1.4.5. Kuantum Yapay Zekâ (QAI)	48
2. BÖLÜM: BAZI UYGULAMA ALANLARI	55
2.1. GİRİŞ	55
2.1.1 Türkiye’de Yapay Zekâ Uygulama Alanları.....	55
2.2. EĞİTİM VE ÖĞRETİMDE YAPAY ZEKÂ	57
2.2.1 Kişiselleştirilmiş Öğrenme Deneyimleri.....	58

2.2.2 Akıllı Öğrenme platformları	58
2.2.3 Türkiye’deki Projeler	59
2.2.4 Yapay Zekâ Okuryazarlığı ve Eğitim	59
2.2.5 Gelecek Eğitim Perspektifi	60
2.3. SANAYİ VE ÜRETİM.....	60
2.3.1 Küresel Yapay Zekâ Benimseme Oranları	60
2.3.2 Küresel Yapay Zekâ Pazarının İmalat Sanayindeki Görünümü	61
2.3.3 Tahmine Dayalı/Önleyici Bakım (Predictive Maintenance).....	61
2.3.4 Dijital İkizler (Digital Twins)	62
2.3.5 Kalite Kontrol ve Görsel Denetim Sistemleri	63
2.3.6 Üretim Planlama ve Eniyileme	64
2.3.7 Akıllı Robotik ve Otomasyon	64
2.3.8 Enerji Yönetimi ve Sürdürülebilirlik	65
2.3.9 İş Güvenliği Temelli Yapay Zekâ Destekli Video Analizleri.....	66
2.4. FİNANS VE BANKACILIK.....	67
2.4.1 Finans Sektöründe Kullanılan YZ Uygulamaları	67
2.5. SİBER GÜVENLİK.....	69
2.5.1 Anomali Tespiti	69
2.5.2 Saldırı Tespiti (IDS/IPS).....	70
2.5.3 Tehdit İstihbaratı Korelasyonu	71
2.6. BİYOLOJİDE YAPAY ZEKÂ UYGULAMALARI	72
2.6.1 Protein Yapı Tahmini.....	72
2.6.2 Tıbbi Görüntüleme ve Hastalık Teşhisi	73
2.6.3 İlaç Keşfi ve Geliştirme Süreçleri.....	73
2.6.4 Genomik ve Biyoinformatik Analiz.....	74
2.6.5 Salgın Hastalıkların Modellemesi.....	74

2.6.6 Yapay Zekâ Destekli Güncel Uygulamalar ve Deneysel Çalışmalar	74
2.7. YAZILIM VE BİLGİ TEKNOLOJİLERİ SEKTÖRÜNDE YAPAY ZEKÂ.....	75
2.7.1 Yapay Zekâ Destekli Yazılım Geliştirme ve Kod Üretimi	75
2.7.2 Yapay Zekâ ile Yazılım Test Süreçleri ve Kalite Güvencesi	76
2.7.3 AIOps ve BT Operasyonlarında Yapay Zekâ	77
2.8. BAŞARISIZ YAPAY ZEKÂ GİRİŞİM ÖRNEKLERİ	77
3. BÖLÜM: YAPAY ZEKÂ EKOSİSTEMİ.....	80
3.1. GİRİŞ: YAPAY ZEKÂNIN EKOSİSTEMLERİ DÖNÜŞTÜRMESİ.....	80
3.2. ALTYAPI EKOSİSTEMİ: HESAPLAMA GÜCÜ, ENERJİ VE DİJİTAL EGEMENLİK....	82
3.2.1 Küresel Yapısal Eğilim	82
3.2.2 Değerlendirme Analizi.....	85
3.2.3 Türkiye Değerlendirmesi	87
3.2.4 Gelecek Perspektifi	88
3.3. VERİ EKOSİSTEMİ: VERİ ALANLARI VE KURUMSAL GÜVEN.....	89
3.3.1 Küresel Eğilim	90
3.3.2 Değerlendirme Analizi.....	91
3.3.3 Türkiye Değerlendirmesi	92
3.3.4 Gelecek Perspektifi	92
3.4. MODEL VE ÜRETİM KAPASİTESİ.....	93
3.4.1 Küresel Eğilim	93
3.4.2 Değerlendirme Soruları.....	94
3.4.3 Türkiye Değerlendirmesi	95
3.4.4 Gelecek Perspektifi	96
3.5. YÖNETİŞİM VE GÜVEN MİMARİSİ: RİSK TEMELLİ DÖNÜŞÜM.....	96
3.5.1 Küresel Eğilim	96
3.5.2 Değerlendirme Soruları.....	97

3.5.3 Türkiye Değerlendirmesi	98
3.5.4 Gelecek Perspektifi	99
3.6. İNSAN KAYNAĞI VE KURUMSAL DÖNÜŞÜM.....	99
3.7. GELECEK SENARYOLARI	101
3.7.1 Senaryo 1: Uyum Sağlayan Ülke	101
3.7.2 Senaryo 2: Bölgesel Uzman.....	101
3.7.3 Senaryo 3: Stratejik Orta Güç	102
3.7.4 Düzenli Etki Ölçümü ve İstatistik Üretimi	103
4. BÖLÜM: YAPAY ZEKÂ YÖNETİŞİMİ VE ETİĞİ	104
4.1. GİRİŞ: YÖNETİŞİM, RİSKLER VE ETİK.....	104
4.2. KAVRAMSAL ÇERÇEVE: ÜRETKEN YAPAY ZEKÂDAN ARACI (AGENTIC) YAPAY ZEKÂYA	104
4.3. YÖNETİŞİM: ULUSLARARASI, ULUSAL VE KURUMSAL DÜZEYLER	105
4.4. RİSK DEĞERLENDİRMESİ VE YÖNETİMİ.....	106
4.5. ETİK İLKELER.....	107
4.5.1. Türkiye’de Yapay Zekâ Etiği: Yaklaşım Metodolojisi ve Temel İlkeler	109
4.6. SİBER GÜVENLİK VE BİLGİ MAHREMİYETİ	109
4.7. HALÜSİNASYONLAR VE YANILTICI ÇIKTILAR.....	111
4.8. TELİF HAKLARI VE FİKRÎ MÜLKİYET	113
4.9. DÜZENLEMELER VE STANDARTLAR.....	115
4.9.1. Türkiye’deki Mevcut Hukuki Çerçeve ve Yasal Düzenleme Gelişmeleri.....	116
4.10. TÜRKİYE İÇİN DEĞERLENDİRMELER VE ÖNERİLER	119
4.10.1. Eğitimde Yapay Zekâ Etiği ve Kurumsal Politikalar	121
4.10.2. Sosyolojik Boyutlar	121
4.10.3. Düzenleyici, Teşvik ve Uluslararası İş Birliği Boyutları.....	122
5. BÖLÜM: YAPAY ZEKÂ EKONOMİSİ	124

5.1. GİRİŞ	124
5.1.1 Verimlilik, Yatırım Getirisi ve Otomasyon	126
5.1.2 Dijital Emek ve İşgücü Dönüşümü	128
5.1.3 Bağımlılık, Katma Değer ve Ölçek Dinamikleri	129
5.2. YAPAY ZEKÂNIN EKONOMİK ETKİ KANALLARI.....	131
5.2.1 Verimlilik, Otomasyon ve Maliyet Etkisi	131
5.2.2 Yeni Ürünler ve İş Modellerinin Dönüşümü	132
5.2.3 Altyapı Bağımlılığı ve Kanalların Etkileşimi	133
5.3. ŞİRKETLER ÜZERİNDEKİ ETKİLER	134
5.3.1 Süreç Verimliliği ve Maliyet Kazanımları.....	134
5.3.2 Yatırım Getirisi ve Bakım Maliyetleri	135
5.3.3 Veri Güvenliği ve Genel Değerlendirme	136
5.4. İŞGÜCÜ, İSTİHDAM VE MESLEKLERİN DÖNÜŞÜMÜ	137
5.4.1 Etkilenme ve Görev Bazlı Çerçeve.....	137
5.4.2 İş Ayrışması, Beceri Daralması ve Yeni Sınırlar.....	138
5.4.3 Yeni İşler, Yeniden Beceri Kazandırma ve Değerlendirme	139
5.5. GELİR DAĞILIMI VE EKONOMİK EŞİTSİZLİK	140
5.5.1 Sermaye Yoğunlaşması ve Emek-Sermaye Paylaşımı	141
5.5.2 KOBİ'ler ve Düşük Gelir Grupları	142
5.5.3 Bölgesel Eşitsizlikler ve Değerlendirme.....	143
5.6. MAKROEKONOMİK ETKİLER	146
5.6.1 Verimlilik ve Büyüme Beklentileri.....	146
5.6.2 İstihdam, İç Talep ve Vergi Tabanı	146
5.6.3 Üretim-Tüketim Dengesi, Ölçüm Sorunları ve Değerlendirme.....	147
5.7. ALTYAPI, ENERJİ VE KAYNAK EKONOMİSİ	149
5.7.1 Veri Merkezleri ve Enerji Ekonomisi	149

5.7.2 Donanım Bağımlılığı ve Tedarik Zinciri	150
5.7.3 Kamu-Özel Maliyet Paylaşımı, Güvenlik ve Politika Yansımaları	152
5.8. EKONOMİK BAĞIMLILIK, REKABET VE STRATEJİK OTONOMİ	153
5.8.1 Çok Katmanlı Bağımlılık ve Erişim Kısıtlamaları.....	153
5.8.2 Donanım Yoğunlaşması ve Egemenlik Tepkileri	155
5.9. TÜRKİYE AÇISINDAN FIRSATLAR	157
5.9.1 Sektörel Uygulamalar ve Yerli Girişimler	159
5.10. DEĞERLENDİRME.....	160
6. BÖLÜM: SONUÇ	161
6.1. GİRİŞ: KRİTİK EŞİKTE TÜRKİYE	161
6.2. TEKNOLOJİK KAVRAYIŞ VE STANDARDİZASYON İHTİYACI.....	161
6.3. UYGULAMA ALANLARI: NEREDEYİZ, NEREYE GİDEBİLİRİZ?	162
6.4. YAPAY ZEKÂ EKOSİSTEMİ: ALTYAPIDAN YETKİNLİĞE	164
6.5. YÖNETİŞİM, ETİK VE HUKUKİ ÇERÇEVE: BOŞLUKLARI DOLDURMAK.....	166
6.6. YAPAY ZEKÂ EKONOMİSİ: FIRSATLAR, RİSKLER VE STRATEJİK KONUMLANMA	167
6.7. GENEL DEĞERLENDİRME: TÜRKİYE’NİN TERCİH KAVŞAĞI.....	168
KAYNAKÇA.....	170

TABLÖLAR

Tablo 1. Gpt-3'ün Veri Kümesi	36
Tablo 2. Bedenleşmemiş ve Bedenleşmiş Yapay Zekânın Temel Boyutlarda Karşılaştırılması (Wei, 2025).	38
Tablo 3. Bedenleşmiş Yapay Zekâ Ve Geleneksel Robotik (Wei, 2025).	39
Tablo 4. Bedenlenmiş Yapay Zekâ Standardizasyon Boşluğu (Wei, 2025).	42
Tablo 5. Çalışan Sayısı Büyüklük Grubuna Göre Girişimlerin YZ Kullanma Nedenleri, 2025	54
Tablo 6. Yapay zekâ yönetişiminin çok katmanlı yapısı	102

ŞEKİLLER

Şekil 1. Zaman İçinde Yapay Zekâ İyimserliği	21
Şekil 2. Temel Yapay Zekâ Alanları	22
Şekil 3. DIKW piramidi	253
Şekil 4. Bedenleşmiş Yapay Zekânın Kavramsal Şeması.	38
Şekil 5. Açıklanabilir Yapay Zekâ İş Akış Süreci	45
Şekil 6: Kuantum AI (QAI-KYZ).	46
Şekil 7. Ekonomik Faaliyet Grubuna Göre Yz Kullanan Girişimlerin Oranı, 2025	53
Şekil 8. Kullanım Amacına Göre YZ Kullanan Girişimlerin Oranı, 2025	54
Şekil 9. RAG tabanlı doğruluk kontrolündeki (fact-checking) sınırlamalar ve bunlara yönelik azaltma stratejileri.	110
Şekil 10. Alternatif Yapay Zekâ Büyüme Tahminleri Altında ABD'nin Öngörülen GSYİH'sı (2026–2035)	122
Şekil 11. Verimlilik Yanlış Ölçümü J-Eğrisi	124

SUNUŞ

Kenan Nurhan Altınsaat
Türkiye Bilişim Derneği
Genel Başkanı

Çağdaş, refah düzeyi yüksek bir Türkiye özleminin gerçekleşmesi yolunda, Türkiye Bilişim Derneği (TBD) 55 yıldır yılmadan ve büyük bir özveriyle çalışmaktadır. 1994 yılında kamu yararına çalışan dernek statüsünü kazanan TBD, 13 bini aşkın üyesi, 15 şehrimize yaygınlaşan şube/temsilsilik yapılanması ve üniversitelerdeki TBD genç örgütlenmesiyle bilişim sektörüne önemli katkılar vermeye devam etmektedir.

TBD olarak, 2026 yılında birbirini tamamlayan ve birlikte değer üreten bütünün parçaları olacak şekilde seçilen konular ile ülkemizin hızlı kalkınması, geleceğin güçlü bir şekilde inşa edilmesi maksadıyla İcra Kurulumuz tarafından sektörel çalışma grupları oluşturulmuştur. Bu sayede hazırlanacak raporlar ile sektörel değerlendirme yapmaktan öte ülkemizin kalkınması için bütüncül bir bakış açısı sunulması hedeflenmiştir. Bu hedefe ulaşmak ve en doğru sonuca yaklaşabilmek maksadıyla 9 (dokuz) farklı ama birbiri ile örtüşen/birbirini tamamlayan çalışma grupları oluşturulmuş, ortak akıl katkısı alabilmek için de 13 (on üç) ayrı çalıştay icra edilmiştir.

Çalışma gruplarımız tarafından hazırlanan raporlar; dünya genelindeki gelişmelerin yanı sıra Türkiye'nin mevcut durumunu tarafsız ve doğru verilerle inceleyen, karar vericiler, sektör temsilcileri, akademi ve tüm paydaşlar için; güçlü ve ileride olduğumuz konuların belirtildiği, kritik kırılanlıklar taşıyan noktaların tespit edildiği ve gecikmeden atılması gereken adımları öneren stratejik bir doküman olarak görüşlerinize sunulmaktadır.

Yapay Zekâ Çalışma Grubumuz tarafından yoğun bir çalışma dönemi sonucunda büyük bir emekle oluşturulan **“Türkiye’de Yapay Zekâ: Teknoloji, Ekosistem, Yönetişim ve Ekonomi”** raporumuz yukarıda ifade ettiğim prensip doğrultusunda hazırlanmış çok önemli bir **stratejik belge** ve karar vericiler için çok değerli bir **yardımcı yayın** olma özelliği taşımaktadır.

Ortak akıl, yoğun emek ve özveri ile hazırlanan raporumuza katkıları nedeniyle süreç içerisinde İcra Kurulu Başkanımız olan Sayın **Abdullah Raşit Gülhan** ve daha sonra İcra Kurulu Başkan Yardımcısı olarak süreci devam ettiren **Ahmet Pekel**, Çalışma Grubu Başkanımız Sayın **Mehmet F. Can** Beyefendilere ve raporun hazırlanmasına katkı veren tüm **ÇG üyelerimize** teşekkürlerimi sunuyorum.

Kamu, özel sektör, akademi dünyası ve diğer sivil toplum kuruluşlarımıza önemli katkılar vereceğine inandığım bu önemli strateji belgesinin yaşayan bir doküman olacağını, siz değerli karar verici ve sektör temsilcilerimizin görüş önerileri ile geliştirilme çalışmaları yapılacağını belirtir, faydalı olması umut ve dileğiyle saygılar sunarım.

TEŞEKKÜR ve ÖNSÖZ

Abdullah Raşit GÜLHAN
TBD İcra Kurulu Başkanı

Yirmi birinci yüzyılda sayısal teknolojiler; ekonomik büyümenin, toplumsal refahın ve ulusal güvenliğin temel belirleyicileri arasında en önemli, en üst noktada yer almaktadır. Bu nedenle ülkeler açısından sayısallaşma artık bir tercih değil, stratejik bir zorunluluktur. Bugünün ve yakın geleceğin dünyasında rekabet; ucuz iş gücü, coğrafi avantaj ya da geleneksel üretim kapasitesi üzerinden değil, veri, algoritma, altyapı ve teknoloji geliştirme yetkinliği ve iyi yetiştirilmiş insan gücü üzerinden tanımlanmaktadır.

Küresel ölçekte Avrupa Birliği, OECD, Dünya Bankası ve Dünya Ekonomik Forumu ve benzeri uluslararası yapılar; veri ekonomisini, yapay zekâyı, siber güvenliği ve sayısal altyapıları ekonomik rekabetin ve sayısal egemenliğin temel unsurları olarak belirlemişlerdir. Bu gelişmeler, tüm ülkeler için sayısal dönüşümün yalnızca teknolojik bir süreç olmadığını; aynı zamanda ekonomik, politik ve stratejik ve hatta neredeyse ülkelerin köleleşmemeye karşı savaşımının bir yeniden yapılanma süreci olduğunu açıkça ortaya koymaktadır.

Türkiye'nin bu yeni küresel düzende güçlü bir konum elde edebilmesi; sahip olduğu potansiyeli doğru stratejilerle desteklemesine, eksiklerini yahut hatalarını gerçekçi bir şekilde tespit etmesine ve bunları düzeltmek ve tamamlamak için zamanında eylem almasına bağlıdır. Aksi halde, hızla şekillenen sayısal doğal çevrede (ekosistem) geç kalmanın maliyeti yalnızca ekonomik değil, aynı zamanda yapısal bir bağımlılık tehlikesi ile karşı karşıya kalınacaktır.

Bu sorumluluk bilinciyle hareket eden Türkiye Bilişim Derneği, kurulduğu günden bu yana Türkiye'nin bilişim politikalarının oluşumuna katkı sağlayan, kamu, özel sektör ve akademi arasında köprü görevi üstlenen en köklü sivil toplum kuruluşlarından biri olmuştur. 1971 yılında kurulan TBD; yarım asrı aşan tecrübesiyle, Türkiye'de bilişim kültürünün yaygınlaşmasına, Türkçe bilişim dilinin oluşması ve yaygınlaşmasına, insan kaynağının gelişmesine ve sayısal dönüşümün gerçekleşmesine önemli katkılar sunmuştur.

Bu birikim ve sorumluluk çerçevesinde, Türkiye Bilişim Derneği 2025–2027 dönemi İcra Kurulu ve Kurulumuza bağlı olan TBD İcra Sektör Kurulu tarafından, Türkiye'nin dijital geleceğine yön verecek kritik alanlarda derinlemesine analizler yapmak ve somut öneriler geliştirmek amacıyla bugüne kadar **on üç çalıştay** düzenlenmiş ve ayrıca aşağıda sıralanan **dokuz çalışma grubu** oluşturulmuştur:

- Akıllı Kentler

- Birlikte Çalışabilirlik: Standartlar ve Yasal Düzenlemeler
- Bulut Bilişim ve Veri Merkezleri
- Çevrimiçi Platformlar: Dijital Dönüşüm ve Dijitalleşme Süreçleri
- Siber Güvenlik: Güvenli İletişim, Blokzincir, Kripto Paralar ve Nitelikli İşgücü
- Sürdürülebilirlik: İklim Değişikliği, Tarım ve Hayvancılıkta Bilişim Teknolojileri
- Telekomünikasyon: GSM, Fiber ve Uydu Haberleşme
- Yapay Zekâ: Yapay Zekâ Etiği, Veri Bilimi ve Karar Destek Sistemleri
- Yenilikçi Projeler: Girişimcilik, Ar-Ge ve Ür-Ge

Çalışma gruplarımız tarafından hazırlanan raporlar; dünya genelindeki gelişmeleri inceleyen, Türkiye'nin mevcut durumunu tarafsız ve doğru verilerle inceleyen, eksiklikleri açık bir şekilde ortaya koyan ve uygulanabilir öneriler sunan kapsamlı bir değerlendirmeler ortaya koymaktadır. Çalışma Grubu Raporlarının karar vericiler, sektör temsilcileri, akademi ve tüm paydaşlar için yol gösterici bir kaynak (referans) belge olacaktır. Bu nedenle elinizdeki raporlar, bir durum tespiti çalışması olmanın ötesindedir. Bu raporlar;

- Türkiye'nin nerede ileri gittiğini (ki bu durum sürdürülebilir kılınmasının sağlanması dışında müdahale gerektirmez) nerede geri kaldığını açık biçimde ortaya koyan,
- Hangi alanlarda kritik kırılmalıklar taşıdığını gösteren,
- Ve hangi adımların gecikmeden atılması gerektiğini somut olarak tanımlayan birer stratejik etkilme (müdahale) dokümanı olması amaçlanmıştır.

Bugün küresel ölçekte veri merkezi yatırımları ve bulut hizmetleri trilyon dolarlık bir ekonomik büyüklüğe ulaşırken; dijital platformlar ekonominin en hızlı büyüyen alanlarından biri haline gelmiştir. Siber güvenlik, devletlerin ulusal güvenlik politikalarının merkezine yerleşmiş; yapay zekâ ise üretimden sağlığa, finanstan kamu yönetimine kadar tüm alanları dönüştüren bir güç olarak öne çıkmıştır. Telekomünikasyon altyapıları, 5G ve ötesi teknolojilerle birlikte yeni nesil ekonomik faaliyetlerin temelini oluştururken; akıllı şehir uygulamaları ve sürdürülebilirlik odaklı çözümler, yaşam kalitesini ve kaynak verimliliğini yeniden tanımlamaktadır. Girişimcilik ekosistemleri ülkelerin rekabet gücünü belirlerken; birlikte çalışabilirlik ve standartlar, sayısal ekonominin görünmeyen ancak en belirleyici unsurlarından biri olarak öne çıkmaktadır.

Çalışma gruplarının konu başlıklarını ve kapsamlarını belirlerken ülkemizin hızlı kalkınması ve geleceğinin güçlü bir şekilde inşa edilmesine katkı sağlanacak seçimler yapılmasına en üst seviyede özen gösterildi. Ayrıca konuların birbirinden bağımsız olması değil; birbirini tamamlayan ve birlikte değer üreten bütünün parçaları olmasına özel bir önem verildi. Bu nedenle raporların; yalnızca sektörel değerlendirmeler sunmakla kalmamasına ama aynı zamanda ülkemizin hızla kalkınması için bütüncül bir bakış açısı oluşturmaya önem verildi.

Kısaca, Türkiye açısından önümüzdeki sorun açıktır: Sayısal dönüşüm ya içeriden bizce yönetilecek ya da dışarıdan yönetilecek ve yönlendirilecektir. Dışarıdan yönetilmesi ile veriye ve insan kaynağına sahip olamayan ülkeler için **yeni nesil kölelik düzeninin köleleri olması** ile sonuçlanacaktır. Bu çalışmaların amacı, yalnızca Türkiye'nin dijital dönüşümünü hızlandırmak olmayıp aynı zamanda sayısal dönüşüm sürecinin bizim tarafımızdan yönetilmesi ile bu dönüşümün yönünü **Türkiye'nin lehine çevirmektir**.

Geçmiş yüzyıllarda ekonomik ve jeopolitik güç dengelerini buhar makinesi, elektrik, petrol, yarı iletkenler ve internet teknolojileri belirlemiştir. Günümüzde ise yapay zekâ; yalnızca bir teknoloji alanı değil, ülkelerin ekonomik rekabet gücünü, ulusal güvenliğini, toplumsal dönüşümünü ve küresel konumunu yeniden şekillendiren stratejik bir güç unsuru haline gelmiştir.

Tarihsel olarak baktığımızda:

Dönem	Temel Güç
Taş Devri	İnsan kas gücü + basit aletler
Tunç ve Demir Çağı	Metal işleme teknolojileri
Sanayi Devrimi (1.0)	Buhar gücü
Sanayi Devrimi (2.0)	Elektrik ve seri üretim
Sanayi Devrimi (3.0)	Bilgisayarlar ve otomasyon
Sanayi Devrimi (4.0)	İnternet, sensörler, veri
Günümüz	Veri Ekonomisi ve Dijital Platformlar
Gelecek*	Yapay Zekâ + Robotik + Otonom Sistemler

İnternet Çağı bilgiyi sayısallaştırmış ve Yapay Zekâ ve Robotik Çağda ise homo sapiens (insan) emeğinin önemli bir bölümü sayısallaşmaya ve otomatikleşmeye başlamıştır. Bu durum önümüzdeki 15 yıl içinde %50'lere sayısallaştırma ve otomatikleştirme potansiyeline sahiptir.

Yukarıdaki tabloda son satırda “*Gelecekte Yapay Zekâ + Robotik + Otonom Sistemler”in kullanılacağı ifade edilmektedir. Halen kullanılan bu sistemlerin niçin gelecekte kullanılacağı ifade ediliyor diye düşünülmesi son derece haklıdır. Söz konusu bu üç teknolojinin günümüzden farklı olarak her seviyede, geniş kapsam ve yoğunlukta ve her alanda kullanılacağı öngörüsü ile yani çok uzak olmayan gelecekte hayatın her sahasında son derece etkin olarak toplumsal hayata ve bireylerin yaşamlarına etki edecekleri düşüncesi son satırda yer verilmiştir.

Yapay zekâ alanında yaşanan gelişmelerin sıradan bir teknolojik ilerleme olarak değerlendirilmesi mümkün değildir. Bugün dünyanın önde gelen ekonomileri, yapay zekâyı ulusal stratejilerinin merkezine yerleştirmekte; veri altyapılarından süper bilgisayarlar, yarı iletkenlerden büyük dil modellerine kadar uzanan geniş bir alanda yoğun yatırımlar gerçekleştirmektedir. Küresel

rekabet giderek teknoloji eksenli bir yapıya dönüşürken, ülkeler aynı zamanda dijital egemenliklerini koruma ve stratejik bağımsızlıklarını güçlendirme arayışındadır.

Raporumuzun temel amacı; ülkemizde yapay zekâ konusunda farkındalığı artırmak, güncel gelişmeleri çok boyutlu bir bakış açısıyla değerlendirmek ve Türkiye'nin önümüzdeki dönemde atması gereken stratejik adımlara ilişkin öneriler sunmaktır.

Bu kapsamda rapor;

- Yapay zekânın temel kavramlarını ve teknolojik bileşenlerini,
- Eğitimden sanayiye, finanstan siber güvenliğe kadar farklı uygulama alanlarını,
- Veri, hesaplama gücü, model geliştirme kapasitesi ve insan kaynağından oluşan yapay zekâ ekosistemini,
- Yönetişim, etik, hukuk ve güvenlik boyutlarını,
- Yapay zekânın ekonomik etkilerini, fırsatlarını ve risklerini,
- Türkiye'nin mevcut durumunu ve geleceğe yönelik politika seçeneklerini

kapsamlı biçimde incelemiştir.

Raporun hazırlanmasında temel yaklaşım, yapay zekâyı yalnızca teknik bir konu olarak ele almak yerine; ekonomik kalkınma, toplumsal dönüşüm, ulusal güvenlik, rekabetçilik ve stratejik bağımsızlık perspektifleriyle değerlendirmek olmuştur. Çünkü yapay zekâ alanındaki gelişmelerin etkileri yalnızca bilişim sektörüyle sınırlı değildir. Üretimden eğitime, sağlık hizmetlerinden kamu yönetimine, savunma sanayiinden enerji sistemlerine kadar tüm sektörler bu dönüşümden doğrudan etkilenmektedir.

Türkiye'nin hedefi yalnızca yapay zekâ kullanan bir ülke olmak değil; yapay zekâ geliştiren, ihraç eden, standart oluşturan ve bölgesel ölçekte yön veren ülkeler arasında yer almak olmalıdır. **Bunun için kamu kurumları, özel sektör, üniversiteler, araştırma merkezleri ve sivil toplum kuruluşları arasında güçlü bir iş birliği kültürünün oluşturulması hayati önem taşımaktadır.**

Cumhuriyetimizin ikinci yüzyılına adım attığımız bu dönemde, yapay zekâ çağının sunduğu fırsatları değerlendirerek Türkiye'yi teknoloji üreten, katma değer yaratan ve küresel ölçekte söz sahibi bir ülke konumuna taşımak ortak sorumluluğumuzdur.

İnsanlık tarihi büyük teknolojik dönüşümler sırasında doğru kararları alan ülkelerin yeni dönemin kazananları olduğunu, dönüşümü izleyenlerin ise ortaya çıkan değerın tüketicisi konumunda kaldığını açıkça göstermektedir. Türkiye'nin geleceğı, yalnızca teknolojiyi tüketen değil; teknolojiyi geliştiren, yönlendiren ve insanlığın yararına dönüştüren ülkeler arasında yer alabilmesine bağlıdır.

Elinizdeki “**Türkiye’de Yapay Zekâ: Teknoloji, Ekosistem, Yönetişim ve Ekonomi**” başlıklı bu kapsamlı rapor, **Yapay Zekâ Çalışma Grubumuz** tarafından yoğun bir çalışma dönemi sonucunda hazırlanmıştır. Raporun hazırlanmasında başta Çalışma Grubumuzun değerli başkanı **Mehmet F. CAN** beyefendiye ve sayın CAN nezdinde raporun hayata geçirilmesinde emeği geçen tüm çalışma grubu üyelerine, her çalışma grubundaki çalışmaları yakından izleyen TBD İcra Kurulu Başkan Yardımcısı sayın **Ahmet PEKEL** beyefendiye içten teşekkürlerimi sunuyorum. Ortaya konulan bu ortak akıl ve kolektif çaba, Türkiye’nin dijital geleceğini şekillendirme, sürdürülebilir büyüme modelinin oluşturulması yolunda önemli bir adım teşkil etmektedir.

Türkiye Bilişim Derneği 55 yıldır Türkiye’nin sayısal dönüşüm yolculuğunda yalnızca gelişmeleri takip eden değil; aynı zamanda politika önerileri geliştiren, farkındalık oluşturan ve kamu yararını gözetten çalışmalar üreten bir düşünce ve uzmanlık merkezi işlevini güçlü bir şekilde yerine getirmektedir. Elinizdeki bu rapor, söz konusu sorumluluk anlayışının bir sonucu olarak hazırlanmıştır. Bu raporun; karar vericiler, kamu yöneticileri, iş dünyası temsilcileri, akademisyenler, araştırmacılar ve teknoloji girişimcileri için yararlı bir başvuru kaynağı olmasını; ülkemizin yapay zekâ alanındaki stratejik vizyonunun geliştirilmesine katkı sunmasını temenni ediyoruz.

Son olarak, unutulmalıdır ki; **sayısallaşma bir teknoloji meselesi değil, bir güç meselesidir.** Dijital dönüşüm bir süreç değil, gelişimi içeren sürekli bir yolculuktur. Bu yolculukta başarı; **doğru zamanda doğru adımları atabilme kararlılığıyla** mümkündür. *11 Haziran 2026*

1. BÖLÜM: YAPAY ZEKÂ NEDİR? TEMEL YAPAY ZEKÂ TEKNOLOJİLERİ

1.1 YAPAY ZEKÂNIN TANIMI

Yapay zekâ (YZ), herkesin hâlâ üzerinde hemfikir olduğu bir tanımlı olmayan ve tanımının zaman içinde değiştiği (Nelson,2023; Nilsson, 2009), 1950’li yıllardan bu yana gelişmekte olan bir bilgisayar bilimidir. Bu terim ilk kez LISP programlama dilini icat eden bilgisayar bilimci John McCarthy tarafından 1956 yılında Dartmouth College’da düzenlendiği yaz okuluna fon bulmak amacıyla Rockefeller Enstitüsüne yaptığı başvuruda kullanılmıştır.

O dönemdeki amaç, insan beyninin öğrenme süreci sırasında gerçekleştirdiği faaliyetleri taklit eden bir makine yaratmaktır. McCarthy’ye göre, insan beyninin geçtiği farklı öğrenme görevlerini otomatikleştirerek, bir makineyi insanlara benzer şekilde öğrenip davranacak biçimde programlamak mümkün olabilirdi.

Felsefe profesörü John Haugeland yapay zekâyı başka bir tanım getirir. Haugeland’a göre YZ, *“bilgisayarları düşündürmeye yönelik heyecan verici yeni çaba... tam ve gerçek anlamıyla zihne sahip makineler”*dir. Bu tanım ile Haugeland, gelecekte yapay zekânın insanlara benzer yetenekler kazanabileceğini düşünmektedir. Kazanabileceği düşünülen bu yetenekler, soyut düşünme, duygu, his ve bilinçten oluşmaktadır.

Bilgisayar bilimci Ray Kurzweil ise yapay zekâyı farklı bir şekilde tanımlar. Kurzweil’in tanımı, *“YZ, duruma uygun şekilde hareket edebilen ve tepki verebilen, tepkilerini durumun gerekliliklerine göre uyarlayabilen makineler inşa etmek ...”* ile ilgilidir. Bu tanımda Kurzweil, makinelerin akıllıca davranma yeteneğine vurgu yapmak için davranış bilimi temelli bir yaklaşım benimsemektedir.

Bununla birlikte, OECD’nin 2023’te güncellediği YZ sistemi tanımından da bahsetmek yerinde olacaktır. YZ sistemleri, açık ya da örtük hedefler doğrultusunda girdilerden tahmin, içerik, öneri veya karar üreten ve fiziksel ya da sanal ortamları etkileyebilen makine tabanlı sistemlerdir. Bu tanım, YZ’nin teknik bir araç olmanın ötesinde karar süreçlerine ve toplumsal yapılara müdahil olan bir sistem olduğunu göstermektedir.

1.2. YAPAY ZEKÂ TÜRLERİ

Yapay zekâ türleri aynı güç ve etkiye sahip değildir. Bu nedenle üç temel yapay zekâ türü arasındaki ayrımı vurgulamak önemlidir.

- Dar Yapay Zekâ (Artificial Narrow Intelligence – ANI)
- Genel Yapay Zekâ (Artificial General Intelligence – AGI)
- Süper Yapay Zekâ (Artificial Super Intelligence – ASI)

Günümüzde yapay zekâ teknolojisi adı altında üretilen ve sunulan çoğu ürün dar yapay zekâ olarak sınıflandırılabilir. Raporun yazıldığı tarihlerde ise insanlığın Genel Yapay Zekâ'ya ulaşılıp ulaşmadığı hala tartışılmaktadır (Chen et al., 2026; Quattrocio et al., 2026). Matematik profesörü ve bilim kurgu yazarı Dr. Vernor Vinge'nin 1993 yılında kesin bir dille yapmış olduğu; “Otuz yıl içinde, insanüstü zekâ yaratmak için gerekli teknolojik araçlara sahip olacağız. Kısa bir süre sonra, insanlık çağı sona erecek” tahmini ise hâlâ gerçekleşmemiştir (Vinge, 1993). Bu tahmin ünlü gelecek bilimci Roy Amaro'nun: “İnsanlık olarak bir teknolojinin kısa vadeli etkisini abartma, uzun vadeli etkisini ise küçümseme eğilimindeyiz.” deyişine güzel bir örnek olsa gerek. Aynı bağlamda, Süper Yapay Zekâ hâlâ insanlığın anlamlandırmaya ve gelecekteki tehlike ve faydalarını tasavvur ettiği önemli bir kavram olarak literatürde yerini almaktadır (Bostrom, 2014).

1.2.1.Dar Yapay Zekâ (ANI)

Uzun yıllar yapay zekâ üzerine çalışmalar yürütmüş olan filozof John Searle, bu sistemi “zayıf yapay zekâ” kavramı çerçevesinde değerlendirmektedir (Wooldridge, 2021). Michael Wooldridge ise bu türü şu şekilde tanımlamaktadır:

“İnsanın sahip olduğu tüm entelektüel yeteneklere sahip bir bilgisayar: doğal dilde konuşabilen, problem çözebilen, akıl yürütebilen, çevresini normal bir insanla aynı veya daha üst düzeyde algılama yeteneğine sahip olan bir bilgisayar... ancak bilinçli olma ya da öz farkındalığa sahip olma gibi bir iddiası yoktur.”

Zayıf yapay zekâ olarak da adlandırılan dar yapay zekâ sistemleri, belirli ve açık biçimde tanımlanmış görevleri yerine getirmek amacıyla tasarlanmaktadır. “Dar” olarak nitelendirilmelerinin temel nedeni, yalnızca programlandıkları görev alanı içerisinde faaliyet gösterebilmeleridir. Bu sistemler, önceden belirlenmiş kurallar ve tanımlanmış parametreler doğrultusunda çalışmakta; kendi işlevsel sınırlarının dışına çıkamamaktadır.

Günümüzde yaygın olarak kullanılan doğal dil işleme uygulamaları bu duruma örnek teşkil etmektedir. Siri ve Amazon Alexa gibi sistemler, kullanıcılarla etkileşim kurabilmelerine rağmen yalnızca belirli görevleri yerine getirebilecek biçimde yapılandırılmıştır. Benzer şekilde, arama motorlarının çalışma mekanizmalarının temelinde de yapay zekâ algoritmaları yer almaktadır. Örneğin

RankBrain sistemi; kullanıcı sorgularını eşleştirmek, arama sonuçlarını düzenlemek ve web sayfalarını belirli ölçütler doğrultusunda sıralamak amacıyla kullanılmaktadır.

Söz konusu uygulamalar kullanıcılarla etkileşimlerinde oldukça gelişmiş ve “akıllı” bir görünüm sergileseler de gerçekte sınırlı bir işlev alanı içerisinde faaliyet göstermektedirler. Bu sistemler yalnızca kendilerine tanımlanan görevleri yerine getirebilmekte ve sunulan veri kümeleri çerçevesinde çıktı üretebilmektedir. Dolayısıyla mizah, duygu, ima ve bağlam gibi insan dilinin karmaşık ve çok katmanlı unsurlarını tam anlamıyla kavrayabildiklerini söylemek mümkün değildir.

1.2.2.Genel Yapay Zekâ (AGI)

Alan Turing tarafından 1950 yılında ortaya konulan yaklaşım doğrultusunda, Genel Yapay Zekâ, insan benzeri geniş ve esnek bilişsel yetkinliklere sahip sistemleri ifade etmektedir. Günümüzde bazı yapay zekâ araştırmacıları ve uygulayıcıları, özellikle Büyük Dil Modeli (Large Language Model – LLM) temelli sistemlerin bu eşiğe ulaştığını savunmaktadır (Chen et al., 2026). Bu görüşe göre güncel modeller; matematik, dil ve bilim gibi birçok farklı alanda insan benzeri performans sergileyebilmekte ve farklı görevler arasında bilgi aktarımı yapabilmektedir.

Bu iddiayı desteklemek amacıyla çeşitli deneysel bulgular öne sürülmektedir. Örneğin Mart 2025’te GPT-4.5 modeli üzerinde gerçekleştirilen bir Turing testi çalışmasında, katılımcıların önemli bir kısmı modelin yanıtlarını insan yanıtlarından ayırt edememiştir. Benzer şekilde, 21 Temmuz 2025 tarihinde gerçekleştirilen Uluslararası Matematik Olimpiyatları düzeyindeki bazı değerlendirmelerde, Google DeepMind ve OpenAI tarafından geliştirilen modellerin altın madalya seviyesine karşılık gelen başarılar elde ettiği belirtilmektedir. Bu yaklaşımı savunan araştırmacılar, yapay zekâ sistemlerinin zaman zaman hata yapmasının AGI niteliğini bütünüyle ortadan kaldırmadığını; çünkü insanların da benzer biçimde hata yapabilen bilişsel varlıklar olduğunu ileri sürmektedir.

Buna karşılık başka bir grup araştırmacı ise mevcut sistemlerin henüz AGI seviyesine ulaşmadığını düşünmektedir (Quattrocio et al., 2026; Mitchell, 2025). Bu araştırmacılar, AGI’nin yalnızca Turing testi gibi davranışsal ölçütlerle tanımlanmasının kavramı aşırı daralttığını savunmaktadır. Michael Wooldridge’in de belirttiği üzere, AGI’nin yalnızca dışsal performans göstergeleri üzerinden değerlendirilmesi, geliştiricileri kullanıcıları ikna etmeye yönelik yüzeysel sistemler üretmeye teşvik edebilmektedir.

Eleştirel yaklaşımı benimseyen araştırmacılara göre AGI yalnızca belirli görevlerde yüksek başarı göstermekle sınırlı olmamalı; aynı zamanda güvenilir, uyarlanabilir ve daha önce karşılaşılmamış durumlarla başa çıkabilecek bir yapıya sahip olmalıdır. Quattrocio et al. (2026)’nın da vurguladığı gibi, mevcut Büyük Dil Modelleri büyük ölçüde mevcut veriler içerisindeki

istatistiksel örüntülere dayalı çalışmaktadır. Bu nedenle sistemler, alışılmadık veya belirsiz durumlarla karşılaştıklarında çoğu zaman yüksek özgüvenle fakat hatalı yanıtlar üretebilmektedir. İnsanlar ise benzer durumlarda daha ihtiyatlı davranabilmekte ve yargılarını askıya alabilmektedir. Uzun yıllardır yapay zekâ üzerine çalışan Gary Marcus da AGI'nin yalnızca Büyük Dil Modelleri üzerine inşa edilemeyeceğini savunan araştırmacılar arasında yer almaktadır.

1.2.2.1.Üretken Yapay Zekâ (GenAI), “AGI’den Bir Kıvılcım”

Üretken yapay zekâ, metin, görsel, ses ve sentetik veri gibi çeşitli içerik türleri üreten yapay zekâ teknolojisinin bir alt alanıdır. Üretken yapay zekâ, eğitim verilerine dayalı olarak yeni içerik oluşturan derin öğrenme teknolojisinin bir alt kümesidir. Mevcut hâliyle GenAI, önceden tanımlanmış kurallar ve parametreler doğrultusunda çalışan bir ANI'dır. Gen AI, her tür genel soruya yanıt veren ChatGPT uygulaması gibi genel amaçlı olabilir ya da finans, hukuk ve tıp için geliştirilen bir sohbet robotu gibi belirli bir uzmanlık alanında eğitilmiş özel bir sistem olabilmektedir.

GPT (Generative Pre-trained Transformer) kısaltmasındaki GPT'nin sihri “Transformer (Dönüştürücü)” kavramında yatmaktadır. Dönüştürücüler Doğal Dil İşleme (NLP) alanında kullanılan bir sinir ağı mimarisidir. Standart bir cümlede sonraki kelimeleri tahmin etme konusundaki olağanüstü yetenekleri, farklı kelime seçeneklerine ağırlık atamalarını sağlayan matematiksel bir formülden kaynaklanmaktadır. 2017’de tanıtılmasından bu yana dönüştürücü mimarisi NLP alanında devrim yaratmıştır. Dönüştürücüler bir dilin sözdizimini ve anlamı iletmek için kelimelerin doğru düzenlenmesini ve sıralanmasını yöneten kural ve ilkeler bütününe öğrenmelerini sağlayan “biçimsel dilsel yetkinlik”te ustalaşmıştır. Bu biçimsel dilsel yetkinlik, dönüştürücülere bilme ve tahmin etme gücü vermektedir.

Bu teknolojinin devasa miktardaki veriyi tarama yeteneği, bir insanın hayal edebileceğinin ötesindedir. Genel amaçlı bir teknolojinin, veriyi çok daha hızlı okuyabilmesi, analiz edebilmesi, kategorize edebilmesi, özetleyebilmesi ve saniyelerden kısa sürede tutarlı bir yanıt sunabilmesi, onu her alanında derin etkiler yaratacak gerçekten dönüştürücü bir teknoloji hâline getirmektedir. Daha da önemlisi, GenAI’ın eğitilmediği alanlarda da yeni yetenekler geliştirebilmesi, bu teknolojiyi farklı kılmaktadır. Ayrıca, bu teknolojiye erişim kolaylığı ve her kesimden insanın onunla etkileşime girebilmesi benzeri görülmemiş bir durumdur. Önceki çılgır açıcı teknolojilerde giriş engelleri görece daha yüksek olmasına karşın, DeepSeek ve Claude gibi uygulamalar, giriş engellerini anaokulu düzeyinde bir öğrencinin bile GenAI ile etkileşime girebileceği noktaya kadar düşürmüştür.

1.2.3.Süper Yapay Zekâ (ASI)

Bu kategori, yapay zekâ üzerine çalışanların *kızıl elması* olarak tanımlanabilecek bir yapay zekâ teknolojisini tanımlar. Sadece insanın sahip olduğu tüm entelektüel yeteneklere sahip olan bir bilgisayardan (makine) değil, bugüne kadar yalnızca insan deneyimine özgü olan bir özellik olan, bilinç ve öz farkındalık yetilerini kazanmış bir teknolojiden bahsetmekteyiz (Wooldridge, 2021). Bilinç, insanları tanımlayan, bilme, hissetme, algılama ve çevremizin farkında olma yetimizi ifade eden bir kavramdır. ASI düzeyinde bilgisayarlar yalnızca çevrelerinin farkında olmakla kalmayacak, aynı zamanda kendi varlıklarının da bilincinde olabileceklerdir.

Bostrom(2014)'e göre Süper Yapay Zekâ: *“İlgi duyulan neredeyse tüm alanlarda insanların bilişsel performansını büyük ölçüde aşan herhangi bir zekâ”* olarak tanımlanmaktadır. Peki insanlık Süper Yapay Zekâya ulaşabilecek mi? Bu konu üzerine çalışan bazı uygulayıcılar ve bilim insanları tarafından böyle bir olasılığa inanılıyor ki üzerine ciddi felsefi düşünceler öne sürülüyor (Bostrom, 2014) ve konferans sonrası gece tartışmalarının içeriğini süslüyor (Wooldridge, 2021).

İkinci bir soru ise eğer ulaşabilecek ise, nasıl bir yol takip edilecek? Bostrom (2014) Süperzekâya giden beş yol tanımlamaktadır:

- Günümüzün yapay zekâ teknolojilerinin süper bilgisayarlar ve genetik algoritmalar sayesinde zaman içinde Süper Yapay Zekâya evrilmesi. “Çekirdek bir Yapay Zekâ’nın” deneme-yanılma, çevreden bilgi edinimi ve programcı desteği ile zaman içinde kendini geliştirmeye başlayarak (Özyinelemeli kendini geliştirme) Süper Yapay Zekâya dönüşmesi öngörülmektedir. Bostrom’un dikkat çektiği bir noktada bu tür yapay zekânın insan zihnine benzememe şansı olduğu ve farklı bir evrimleşmeye gidebileceğidir.
- İkinci bir yol ise beynin bütünsel simülasyonun yani insan biyolojik beyninin hesaplama yapısının yapay zekâ teknolojileri tarafından modellenmesini temel almaktadır.
- Üçüncü bir yol ise insan beyninin bilişsel kapasitesinin genetik seçim aracılığıyla artırılarak insanüstü zekâya ulaşılması. Bu yolun etik, ahlaki ve kanuni açıdan tartışılmaya açık bir konu olduğunu belirtmek gerekmektedir.
- Dördüncü yol, bilgisayar ve insan beyni arasında arayüzler geliştirerek insanların bilişsel kapasitesini arttırmak olabilir. İnsan beynindeki nöronların azami hızı 200 Hz dir ve bu performans modern bir bilgisayara (2 veya 3 GHz) göre çok daha yavaştır. Bu yüzden insan beyni yoğun bir şekilde paralel işleme yapmaya odaklanmıştır ve yüksek hacimli ardışık işlem yapma yetisi bulunmamaktadır. Buna bağlı olarak insan beyninin kapasitesi bilgisayar

arayüzleri ile kapasitesinin artırılması öngörülmektedir. Elon Musk'ın kurduğu Neuralink bu tür bir düşüncenin ürünüdür.

- Sonuncu yol ise, insan zihinlerinin kapasitelerinin bireysel temelde geliştirilmesine odaklanmayıp, “insan zihinlerini birbirine ve çeşitli teknolojilere bağlayan ağların ve organizasyonların kademeli olarak geliştirilmesine” odaklanmaktadır. Bu yolu “kolektif süper zekâ” olarak tanımlanmak yanlış olmayacaktır. Tabii unutmamak lazım ki kolektif süper zekâyâ sahip bir toplumun, “bilge” bir toplum olacağının da bir garantisi yoktur.

1.3. YAPAY ZEKÂNIN TARİHSEL EVRİMİ VE ÇIKARILACAK BAZI DERSLER

Makinaların insanlaşması, robotlar ve yapay zekâ, insanlığın aklını ve düşlerini çok uzun zamandan beri süslemektedir. Mesela eski Yunan efsanelerine göre, demirci tanrısı Hefestos'un yardımcı olmaları için mekanik uşaklar ve Girit Kralının sevgilisi Europa'yı korumak için tunç bir dev olan Talos'u yaptığı anlatılır. Daha dikkat çekici konu bu düşüncenin eski zamanlardan beri bizim kültürel havzamızda da var olduğudur. Artuklu sarayının baş mühendisi olan El-Cezeri'nin 1206 yılında tasarladığı programlanabilir ilk insansı robotlardan biri olarak kabul edilen, su ile çalışan ve dört mekanik müzisyen taşıyan bir tekne önemli bir örnek olarak karşımıza çıkmaktadır.

Alan Turing, 1950 yılında “makinalar düşünebilir mi?” diye sorduğunda (Turing, 1950), ve John McCarthy 1956 yılında yapay zekâ kavramını tarihe kayda geçirdiği zamanda, Ord. Prof. Dr. Cahit Arf, 1959 yılında Erzurum Atatürk Üniversitesinde “Makina Düşünebilir mi ve Nasıl Düşünebilir” adlı bir halk konferansı verip, bu konuyu irdeleyen özgün bir makale yayınlamıştı (Arf, 1959). Müteakip yıllarda, Bilkent Üniversitesinde, Haziran 1992'de yapılan Birinci Türk Yapay Zekâ ve Yapay Sinir Ağları Sempozyumu, ülkemizdeki yapay zekâ adına atılan önemli tarihi adımlardan biri olarak tanımlanabilir.

Sonuç olarak, ülkemiz yapay zekâ konusunda şu anda dünya üzerinde lider bir konumda olmasa da, yapay zekâ alanında **bilgece uygulamaları** yapacak kapasitede olduğuna inanmaktayız. Cumhuriyetimizin kurucusu Gazi Mustafa Kemal Atatürk'ün özlü sözünü, affınıza sığınarak biraz değiştirip, “Muhtaç olduğumuz kudret akademik ve mühendislik tarihimizde mevcuttur” diyerek bu kısmı sonlandıracağız.

Değişen ve üzerinde hemfikir olunmayan Test-Temelli Yapay Zekâ Tanımları

Yapay Zekâ tanımı ve teknolojileri zaman içinde sürekli değişme göstermiştir. Mesela ilk zamanlarda, Turing testini geçebilen her sisteme yapay zekâ denilme eğilimi gösterilmiştir. Wooldridge (2021)'e göre bu özellikle ticari şirketleri sadece test geçmeye yönelik sistemler

geliştirmeye itmiştir. Yapay Zekânın bir zaman tanımlanmasında kullanılan ana test olan Turing testinin yetersiz olduğu belirtilmektedir (Wooldridge, 2021). Buna bağlı olarak, “Mensa Norway” ve “Raven’s Progressive Matrices” gibi, göreceli olarak yeni olan yapay zekâ yetkinlik ölçümleri günümüzde kullanılmaktadır.

Bu yeni ölçüm sistemleri hakkında da aynı şüpheler öne sürülmektedir: Yapay Zekâ şirketlerinin ürünlerini bu testleri geçecek şekilde eğiterek, özellikle Genel Yapay Zekâya ulaştıklarını ya da ulaşacaklarını öne sürmeleri. Bu bağlamda ülkemizde yapay zekâ kavramlarının dünya ile uyumlu şekilde standartlaştırılması ve yapay zekâ teknolojilerini uygulayacak şirketlerin sadece yukarıda bahsedilen testler ile yetinmeyip, ilgili şirketin özgün verileri ve bağlamları ile bu teknolojileri değerlendirilmesi önemlidir.

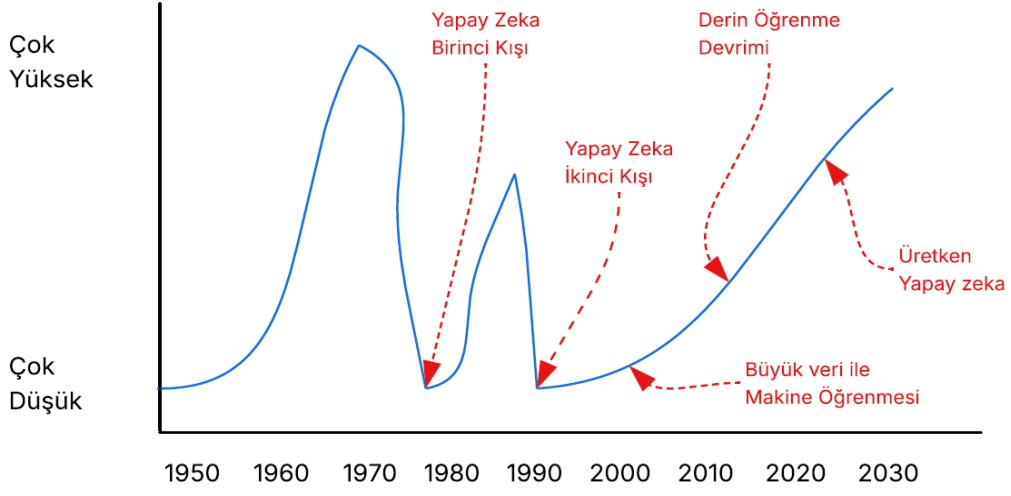
Her kışın bir yazı vardır

Kural ve mantık-temelli yaklaşıma göre geliştirilen Sembolik yapay zekâ sistemleri zamanla karmaşıklık duvarına çarpıp, *birinci Yapay Zekâ Kışı* yaşanmıştır. Bu durum öyle bir kötü hale gelmiştir ki, 1970’lerde bazı bilim insanlarının yapay zekâ bilimini bir **sözde bilim (pseudoscience)** olarak adlandırılmasına yol açmıştır. 1980’lerde özellikle “Uzman Sistemler” ile artan iyimserlik yerini ikinci bir *Yapay Zekâ Kışına* bırakmıştır. Bu kısır süreçten, bir bakıma günümüzün Eylemli Yapay Zekâsına temel teşkil eden, Brooksonian Devrimi sayesinde bir çıkış yakalanmıştır. Doksanlarda yaşanan bu devrim, 2000’lerde satılan robot süpürgelerinin ortaya çıkmasını sağlamıştır. Yani yaklaşık 20 yıl içinde bu yapay zekâ yaklaşımı ticari meyvalarını vermiştir.

Bu ticarileşme sürecinin, derin öğrenme ve üretken yapay zekâ gibi yaklaşımlarda daha da hızlandığı görülmektedir. Günümüzde ise, derin öğrenme ve sinir ağları temelli sistemlerde tecrübe edilen, sebep-sonuç ilişkisini yeterli şekilde kuramayıp, kara kutu gibi davranan yapay zekâ sistemleri uygulamada sorunlar yaratmaktadır. Bu bağlamda, hem sinir ağları ve derin öğrenme hem de klasik kural ve mantık temelli sembolik yapay zekâyı birleştiren **nöro-sembolik yapay zekâ yöntemi** üzerine yoğunlaşıp, **Dünya Modelleri (World Models)** gibi kavramsal modeller üretilerek bu sorun aşılmaya çalışılmaktadır. Bu bağlamda, yapay zekâ geliştirilmesinde ve uygulamasında, herhangi bir mimari veya yöntemle körü körüne bağlı kalmadan, eklektik bir yaklaşım gerekmektedir.

Son seksen yıl içinde insanlığın yaşadığı yapay zekâ iyimserlik serüveni Şekil 1’de tasvir edilmiştir. Sonuç olarak her kışın bir yazı vardır.

Yapay Zeka (YZ) İyimserliği

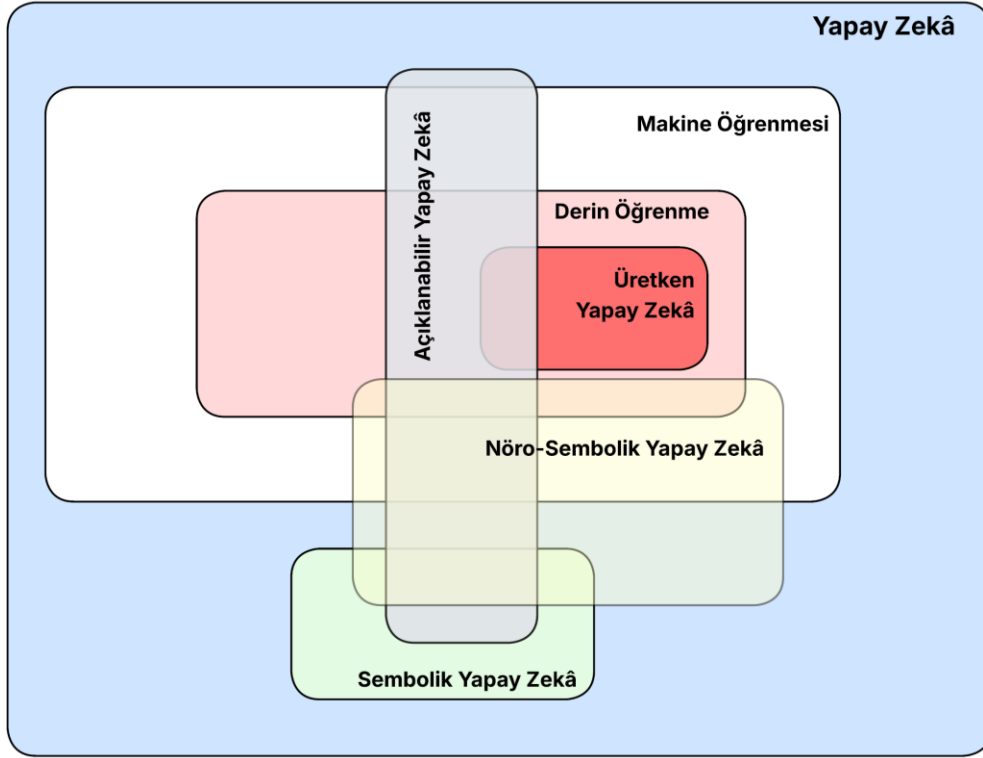


Kaynak: ACM Kitap Klübünün Dr. Melanie Mitchell ile mülakatı (24 Mart 2026)

Şekil 1. Zaman İçinde Yapay Zekâ İyimserliği

1.4. TEMEL YAPAY ZEKÂ TEKNOLOJİLERİ

Raporumuzun bu bölümde günümüzde kullanılan temel yapay zekâ mimarileri ve teknoloji alanlarından bahsedeceğiz. Aşağıdaki şekilde günümüzün kullanılan ve üzerine çalışılan teknolojilerini kümeleme yöntemi ile tasvir edilmektedir.

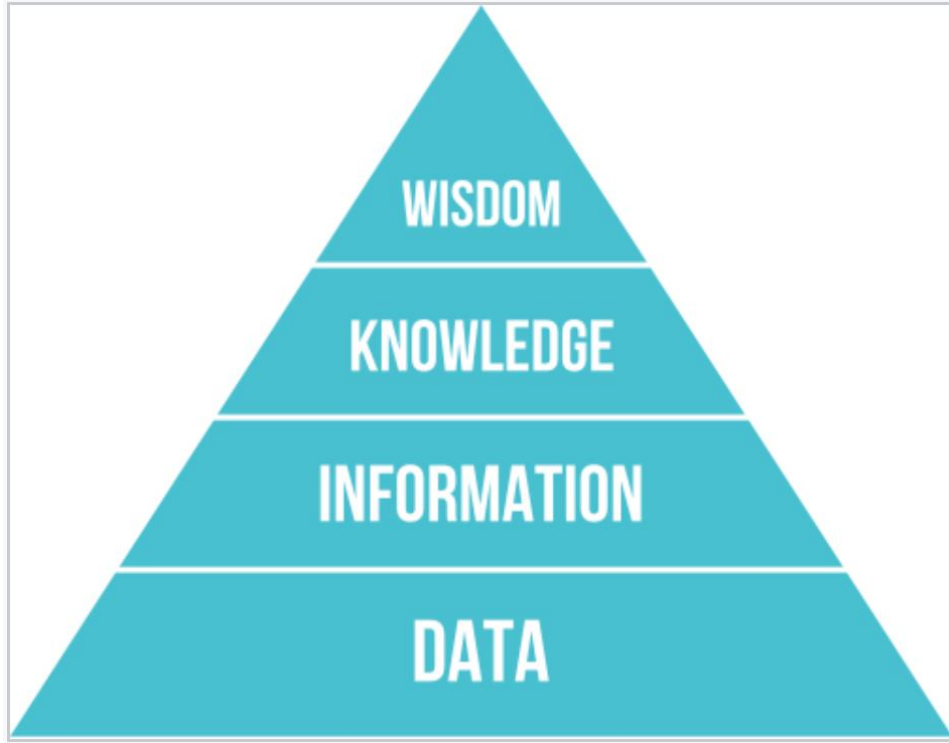


Şekil 2. Temel Yapay Zekâ Alanları

Bu bölümün birinci kısmında *Öğrenme Temelli ve Veri Odaklı Yapay Zekâ* teknolojilerine yer vereceğiz. Makina öğrenmesi ve bu alandan türeyen Derin Öğrenme yöntemlerini inceleyeceğiz. İkinci ve üçüncü bölümde günümüzde ağırlıklı olarak derin öğrenme yöntemlerinin kullanıldığı *Doğal Dil İşleme* ve *Bedenleşmiş Yapay Zekâ* teknolojilerini inceleyeceğiz. Dördüncü bölümde *Açıklanabilir Yapay Zekâ* alanını ele aldıktan sonra beşinci bölümde ise daha dünyada benimsenmemiş ama özellikle ABD, Çin ve Almanya tarafında milyarlarca yatırım yapılan *Kuantum Bilgisayım ve Yapay Zekâ* teknolojilerini inceleyeceğiz.

1.4.1.Öğrenme Temelli ve Veri Odaklı Yapay Zekâ Teknolojileri

Gündelik hayatta "veri" ve "bilgi" kavramları çoğu zaman birbirinin yerine, ayırım gözetilmeden kullanılmaktadır. Oysa bilgi yönetimi literatüründe yaygın kabul gören ve 1980'li yıllarda Russell Ackoff tarafından sistematikleştirilen DIKW (Data - Information - Knowledge - Wisdom / Veri - Enformasyon - Bilgi - Bilgelik) hiyerarşisi, bu kavramlar arasında net bir değer ve anlam farkı olduğunu ortaya koymaktadır.



Şekil 3. DIKW Piramidi (Wikipedia contributors, t.y.)

Veri (data), bağlamından bağımsız, ham ve yorumlanmamış sayı, harf veya sembollerden oluşur, tek başına bir anlam taşımaz ve bu nedenle makineler tarafından kolayca işlenebilir. Enformasyon (information), veriye bağlam, sınıflandırma ve ilişki eklenmesiyle ortaya çıkar, "kim, ne, nerede, ne zaman" sorularına yanıt verir. Bilgi (knowledge) ise, çok sayıda enformasyon parçasının zaman içinde sentezlenmesi, deneyimle harmanlanması ve kavramsal bir yapıya kavuşturulmasıyla oluşur, "nasıl" sorusuna yanıt verir ve eyleme dönüştürülebilir niteliktedir. Hiyerarşinin en üstünde ise, uzun vadeli sonuçları öngörerek "neden ve ne zaman" sorularına yanıt veren stratejik bilgelik (wisdom) yer alır.

Bu ayrımın yapay zekâ politikaları açısından pratik bir karşılığı vardır. Büyük dil modelleri ve makine öğrenmesi sistemleri temelde veriyi işleyerek istatistiksel örüntüler çıkarmakta, bu da genellikle enformasyon düzeyinde bir çıktı üretmektedir. Sistemin ürettiği çıktının "bilgi" ya da "bilgelik" düzeyinde olup olmadığı ise büyük ölçüde insan yorumuna, bağlamsallaştırmaya ve doğrulamaya bağlıdır. Genel olarak, "elimizde çok veri var" söyleminin sıkça "yapay zekâyâ hazırız" anlamına geldiği varsayılmakta, ancak ham verinin temizlenmemiş, etiketlenmemiş ve standartlaştırılmamış olması durumunda bu verinin enformasyon veya bilgiye dönüştürülmesinin ayrı bir yatırım ve süreç gerektirdiği genellikle göz ardı edilmektedir.

1.4.1.1.Makine Öğrenimi

Makine öğrenimi (ML), ifadesinin kökeni (temel kavramın kendisi olmasa da) genellikle Arthur Lee Samuel'in 1959 yılında yayımlanan "*Some Studies in Machine Learning Using the Game of Checkers*" başlıklı makalesine atfedilmektedir. Samuel, makalenin girişinde makine öğreniminin ideal sonucunu şöyle açıklamaktadır; "*Bir bilgisayar, programı yazan kişinin oynayabileceğinden daha iyi bir dama oyunu oynamayı öğrenecek şekilde programlanabilir.*"

Makine öğrenimi, eğitim verilerindeki kalıpları öğrenebilen ve ardından yeni veriler hakkında doğru çıkarımlar yapabilen algoritmalara odaklanan yapay zekânın (YZ) bir alt dalıdır. Bu kalıp tanıma yeteneği, makine öğrenimi modellerinin açıkça ve sabit kodlanmış talimatlar olmadan kararlar veya tahminler yapmasını sağlamaktadır. Günümüzde ML, yapay zekâ alanında hâkim hâle gelmiştir. Tahmin modellerinden otonom araçlara, büyük dil modellerine (LLM'ler) ve diğer üretken yapay zekâ (GenAI) araçlarına kadar çoğu modern yapay zekâ sisteminin temelini oluşturmaktadır.

Temel varsayım, model eğitimi adı verilen bir süreçle, nihai kullanım alanında karşılaşılabilecek gerçek dünya problemlerine yeterince benzeyen görevlerden oluşan bir veri kümesi performans açısından en iyi hâle (optimize) getirilirse, model yeni gördüğü veriler üzerinde doğru tahminler yapabilir. Makine öğreniminin temel hedefi, eğitim verilerinin gerçek dünya senaryoları için faydalı sonuçlara dönüşmesidir. Özünde, eğitilmiş bir model, gerçek dünyadaki bir görev için doğru çıktıyı tahmin etmek amacıyla eğitim verilerinden öğrendiği kalıpları uygulamaktadır.

Makine öğrenimi ve yapay zekâ sıklıkla birbirinin yerine kullanılsa da tam olarak eş anlamlı kavramlar değildir. Tüm makine öğrenimi yapay zekâdır, ancak tüm yapay zekâ makine öğrenimi değildir. Yapay zekâ, aktif insan müdahalesi olmadan bilgi kullanarak karar verebilen veya tahmin yapabilen her türlü program için kullanılan genel bir terimdir. En temel yapay zekâ sistemleri, kuralları ve mantığı bir veri bilimci tarafından açıkça programlanmış eğer-o hâlde-aksi takdirde (if-then-else) ifadelerinden oluşmaktadır.

Bir makine öğrenimi modelinin nasıl çalıştığına dair mantık açıkça programlanmaz, deneyim yoluyla öğrenilmektedir. İstenmeyen e-postayı (spam) filtreleyen kurallara dayalı bir yapay zekâ için bir veri bilimcinin istenmeyen e-postayı elle (manuel) belirlemesi gerekmektedir. Makine öğrenimi ise yalnızca uygun bir algoritmanın ve yeterli sayıda örnek e-postadan oluşan bir veri kümesinin seçilmesi yeterlidir. Eğitim sırasında modele örnek e-postalar gösterilir ve hangilerinin spam olduğunu tahmin etmesi istenir, tahmin hatası hesaplanır ve hata oranını azaltmak için algoritma ayarlanır, bu süreç model doğru sonuçlar verene kadar tekrarlanır ve bu şekilde yeni eğitilmiş ML modeli istenmeyen e-postayı tanımlamayı öğrenmektedir.

Bir yapay zekâ sisteminin yerine getirmesi gereken görevler daha karmaşık hâle geldikçe, kurallara dayalı modeller giderek daha kırılğan hâle gelmektedir. Bir modelin dikkate alması gereken her kalıbı ve değişkeni açıkça tanımlamak çoğu zaman imkânsızdır. Makine öğrenimi sistemleri, verinin kendisinden kalıpları öğrenmede daha esnek, ölçeklenebilir ve erişilebilir olması nedeniyle yapay zekânın baskın yöntemi hâline gelmiştir.

1.4.1.1.1.Makine Öğrenimi Türleri

Tüm makine öğrenimi yöntemleri, eğitim hedeflerinin doğasına ve kullandıkları eğitim verisi türüne bağlı olarak, çoğu zaman ancak her zaman değil, üç şekilde sınıflandırılabilir; denetimli öğrenme, denetimsiz öğrenme ve pekiştirmeli öğrenme.

- **Denetimli Öğrenme (Supervised Learning):** Bir modele verilen bir girdiye karşılık doğru çıktıyı tahmin etmeyi öğretmektedir. Sınıflandırma veya regresyon gibi, harici bir gerçek referansa göre belirli bir doğruluk derecesi gerektiren görevlere uygulanmaktadır.
- **Denetimsiz Öğrenme (Unsupervised Learning):** Bir modele verilerdeki içsel örüntüleri, bağımlılıkları ve korelasyonları ayırt etmeyi öğretmektedir. Denetimli öğrenmeden farklı olarak, denetimsiz öğrenmede görevlerinde çıktılarının karşılaştırılacağı herhangi bir harici gerçek referans bulunmamaktadır.
- **Pekiştirmeli Öğrenme (Reinforcement Learning):** Otonom araçların (ajanların) çevreleriyle etkileşime girerek karar vermeyi öğrendiği bir makine öğrenmesi sürecidir. Otonom aracı (ajan), bir insan kullanıcının doğrudan talimatı olmadan çevresine tepki olarak karar alıp harekete geçebilen herhangi bir sistemdir. Robotlar ve sürücüsüz arabalar otonom araçlara (ajanlara) örnektir. Pekiştirmeli öğrenmede otonom araçlar (ajanlar), insan kullanıcılardan herhangi bir yönlendirme olmaksızın, deneme-yanılma yoluyla bir görevi yerine getirmeyi öğrenmektedir.

Literatürde pekiştirmeli öğrenme sıklıkla denetimli ve denetimsiz öğrenme ile karşılaştırılmaktadır. Denetimli ve denetimsiz öğrenme yöntemleri, her bir girdi kaydının veri kümesindeki diğer kayıtlardan bağımsız olduğunu, ancak her kaydın ortak bir temel veri dağılımı modelini yansıttığını varsaymaktadır.

Bu yöntemler, model performansı tahmin doğruluğunu en üst düzeye çıkarma ölçütüne göre değerlendirilen tahminler yapmayı öğrenir. Buna karşılık, pekiştirmeli öğrenme eylemde bulunmayı öğrenmektedir. Girdi verilerini birbiriyle bağımlı demetler (durum-eylem-ödül şeklinde düzenlenmiş sıralı veri dizileri) olarak kabul etmektedir. Pekiştirmeli öğrenme algoritmalarının birçok uygulaması,

olumlu pekiştirme yoluyla gerçek dünyadaki biyolojik öğrenme yöntemlerini taklit etmeyi amaçlamaktadır.

Belirli bir model için uçtan uca eğitim süreci, birden fazla öğrenme yönteminden yararlanan melez (hibrit) yaklaşımlar içerebilir ve çoğu zaman içermektedir. Örneğin, denetimsiz öğrenme genellikle verileri denetimli veya pekiştirmeli öğrenmede kullanmadan önce ön işlemek için kullanılmaktadır. Büyük dil modelleri (LLM'ler) tipik olarak ilk eğitimlerini (ön eğitim) ve ince ayarlarını denetimli öğrenme çeşitleriyle (varyantlarıyla) gerçekleştirmektedir. Ardından insan geri bildirimiyle pekiştirmeli öğrenme (reinforcement learning from human feedback) gibi tekniklerle daha fazla ince ayar yapılmaktadır.

1.4.1.2. Derin Öğrenme

Tasarımı insan beyninin yapısından esinlenen çok katmanlı sinir ağları tarafından yönlendirilen makine öğreniminin bir alt dalıdır. Sinir ağları (veya benzer kavramlar) makine öğreniminin erken dönemlerinde veri bilimciler tarafından ortaya atılmış olsa da asıl atılım 2000'lerin sonu ve 2010'ların başında gerçekleşmiştir. Makine öğreniminin pek çok alt alanında derin öğrenme ağlarının yaygınlaşması, kısmen yüksek performanslı grafik işlem birimlerindeki (GPU) gelişmeler sayesinde mümkün olmuştur.

Bu gelişmeler, büyük miktarda hesaplama adımının paralel olarak işlenmesini sağlamıştır. Derin öğrenme hem eğitim hem de çıkarım aşamasında çok yüksek hesaplama gücü gerektirdiğinden, bu donanım ilerlemeleri derin öğrenme modellerinin büyük ölçekte uygulanmasını çok daha hızlı ve pratik hâle getirmiştir.

Geleneksel makine öğrenimi algoritmalarının açıkça tanımlanmış matematiksel mantığının aksine, derin öğrenme modellerindeki yapay sinir ağları, her biri kendi matematiksel işlemini gerçekleştiren birbirine bağlı nöron veya düğüm adı verilen katmanlardan oluşmaktadır. Her düğümün çıktısı bir sonraki katmandaki düğümlere girdi oluşturur ve süreç son katmandaki ağın nihai çıktısı hesaplanana kadar devam etmektedir.

Her düğümde uygulanan fonksiyonlar doğrusal değildir. İki nöron arasındaki her bağlantıya, bir nöronun sonraki katmandaki nörona katkısını artıran veya azaltan benzersiz bir çarpan atanmaktadır. Bu çarpanlar ve her nöronun fonksiyonuna eklenen önyargı (bias) terimleri, makine öğrenimi yoluyla en iyi hâle getirilen (optimize edilen) değerlerdir (parametrelerdir). Bu da sinir ağlarının karmaşık örüntüleri ve bağımlılıkları modellemesini sağlamaktadır.

Bu noktada, geri yayılım (backpropagation) algoritmasını anlamak önemlidir. Geri yayılım algoritması, her bir düğümün kayıp fonksiyonunun genel çıktısına katkısının hesaplanmasını sağlamaktadır. Böylece milyonlarca hatta milyarlarca model çarpanlara uygun ağırlıklarla ayrı ayrı hesaplanabilmektedir (eğitim inişi algoritmaları/gradient descent algorithms). En iyi sonuçlara ulaşmak için gereken güncellemelerin hacmi ve ayrıntı düzeyi nedeniyle derin öğrenme, geleneksel ML'ye kıyasla çok daha büyük miktarda veri ve hesaplama kaynağı gerektirmektedir.

Bir şeyin teorik olarak mümkün olması, mevcut eğitim yöntemleriyle pratikte gerçekleştirilebileceği anlamına gelmez. Derin öğrenme modelleri uzun yıllar belirli görevlerde yetersiz kalırken, zamanla standart sinir ağı mimarisinde yapılan değişiklikler ML modellerine yeni yetenekler kazandırmıştır. Eğitim verileri iki boyutlu bir grafikteki noktalara benzetilirse, geleneksel makine öğrenimi bu noktaların tamamına uyan tek bir eğri bulmaya çalışır, derin öğrenme ise istenen şekli oluşturmak için ayarlanabilir birçok küçük çizgiyi birleştirir. Yapay sinir ağlarıyla teorik olarak herhangi bir fonksiyonu yeniden üretebilecek bir yapı kurulabilir.

1.4.1.2.1.Evrişimli Sinir Ağları (Convolutional Neural Networks)

Evrişimli sinir ağları (CNN'ler), sinir ağlarına evrişim katmanları eklemektedir. Matematikte evrişim, bir fonksiyonun başka bir fonksiyonun şeklini değiştirdiği bir işlemdir. CNN'lerde evrişim katmanları, çarpanlara uygun ağırlıklı filtreler uygulayarak veriden önemli özellikleri çıkarmak için kullanılmaktadır. Çünkü temel olarak yaptıkları işlem, verinin içindeki yerel örüntüleri (local patterns) tespit etmektir ve bu özellik yalnızca görüntülere özgü değildir. Örneğin ses sinyallerinde zamana bağlı frekans değişimlerini yakalamak için konuşma tanıma ve ses sınıflandırma sistemlerinde CNN'lerden yararlanılmaktadır.

Benzer şekilde metin verilerinde kelime dizilimleri arasındaki yerel ilişkileri öğrenerek duygu analizi veya metin sınıflandırma gibi doğal dil işleme görevlerinde de kullanılmaktadır. Ayrıca zaman serisi verilerinde (finansal veriler veya sensör ölçümleri, vb.) belirli aralıklardaki tekrar eden örüntüleri tespit etmek için de etkilidir. Buradaki temel avantaj, her veri noktasını diğer tüm noktalarla tam bağlantılı şekilde işlemek yerine, küçük filtreler aracılığıyla anlamlı yerel özellikleri çıkararak parametre sayısını azaltmaları ve daha verimli öğrenme sağlamalarıdır.

1.4.1.2.2.Yinelemeli Sinir Ağları (Recurrent Neural Networks)

Yinelemeli sinir ağları (RNN'ler), sıralı verilerle çalışmak üzere tasarlanmıştır. Geleneksel ileri beslemeli sinir ağları tek bir girdiyi tek bir çıktıya eşlerken, RNN'ler bir girdi dizisini çıktıya

eşlemektedir. Bu, dizideki belirli bir adımın çıktısının bir sonraki adımın girdisi olarak kullanıldığı yinelemeli bir döngü içinde çalışarak yapılmaktadır. Böylelikle bu yapı, içsel bir hafıza (hidden state) oluşturarak RNN'lerin bağlamı ve sıralamayı anlamasını sağlamaktadır.

1.4.1.2.3. Standart Otokodlayıcı (Standard Autoencoders)

Otokodlayıcılar, giriş verisini sıkıştırmak (veya kodlamak), ardından bu sıkıştırılmış gösterimi kullanarak orijinal girdiyi yeniden oluşturmak (kod çözmek) üzere tasarlanmıştır. Eğitim sırasında, yeniden yapılandırma kaybını, yeniden oluşturulan veri noktası ile orijinal giriş verisi arasındaki farkı, en aza indirecek şekilde geliştirilmiştir. Bu tür derin öğrenme etiketlenmemiş ve yapılandırılmamış veriler kullansa da otokodlayıcılar genellikle kendinden denetimli öğrenmenin tipik bir örneği olarak kabul edilmektedir.

1.4.1.2.4. Dönüştürücü modelleri

Dönüştürücü modellerinin ortaya çıkışı, ilk olarak 2017 yılında Google DeepMind'da çalışan araştırmacılar tarafından yayımlanan ve "*Attention is All You Need*" başlığını taşıyan çığır açıcı makalede tanıtılmıştır ve derin öğrenmede bir dönüm noktası olmuş, günümüzdeki üretken yapay zekâ çağının doğrudan önünü açmıştır. RNN'ler gibi dönüştürücüler de doğası gereği sıralı verilerle çalışacak şekilde tasarlanmıştır. Dönüştürücü modellerinin ayırt edici özelliği, girdideki her bir bölüm arasındaki ilişkileri (veya bağımlılıkları) belirleme konusundaki etkileyici yeteneklerini sağlayan özgün öz-dikkat (self-attention) mekanizmasıdır.

Daha da önemlisi, bu dikkat mekanizması dönüştürücülerin belirli bir anda girdi dizisinin en ilgili kısımlarına seçici olarak odaklanmasını sağlamaktadır. Dikkat mekanizmaları ilk olarak makine çevirisi için kullanılan RNN'ler bağlamında tanıtılmıştır. Ancak RNN'lerden farklı olarak dönüştürücüler yinelemeli (recurrent) katmanlar kullanmamaktadır. Standart bir dönüştürücüler mimarisi yalnızca dikkat katmanları ve standart ileri beslemeli (feedforward) katmanları kullanmaktadır. Dönüştürücüler en çok büyük dil modelleri (LLM'ler) ve buna bağlı olarak metin üretimi, sohbet botları ve duygu analizi gibi doğal dil işleme (NLP) alanlarında kullanılmaktadır.

Ses veya zaman serisi verileri dâhil olmak üzere her türlü sıralı veri türünü işleyebilen son derece çok yönlü modellerdir. Görüntü verisi gibi veri türleri bile, onları bir dizi olarak temsil etmeye yönelik akıllı yöntemler sayesinde görsel dönüştürücüler (ViT) aracılığıyla işlenebilmektedir. Dönüştürücü modelleri derin öğrenmenin neredeyse her alanında en ileri düzey sonuçlar elde etmiş olsa da her kullanım senaryosu için mutlaka en iyi seçenek değildir. Nesne tespiti veya görüntü

bölümleme gibi görevlerde Dönüştürücü ile CNN arasındaki tercih, uygulamanın maksimum doğruluğu mu yoksa gerçek zamanlı geri bildirimi mi önceliklendirdiğine bağlıdır.

1.4.1.2.5. Grafik Sinir Ağları (Graph Neural Networks)

Grafik sinir ağları (GNN'ler), çoğu veri türünde görülen tipik ilişkilerden daha karmaşık varlıklar arası ilişkileri modellemeyi gerektiren görevler için tasarlanmıştır. Bir görüntünün pikselleri iki boyutlu bir ızgara şeklinde düzenlenmiş ve herhangi bir piksel doğrudan en fazla 8 komşu piksele bağlı olduğu düşünülürse, standart bir CNN bu tür ilişkileri modellemek için oldukça uygundur. Ancak bu yetenek, örneğin bir sosyal medya ağında olduğu gibi, belirli bir kullanıcının doğrudan binlerce kullanıcıya ve dolaylı olarak on binlercesine bağlı olabildiği ilişkileri modellemede yetersiz kalmaktadır. GNN'lerin yapısı, diğer sinir ağı mimarilerinde bulunan tek yönlü veri akışının ötesine geçerek daha karmaşık ve düzensiz veri temsillerine olanak tanımaktadır.

1.4.1.3. Üretken Yapay Zekâ Teknolojileri

1.4.1.3.1. Çekişmeli Üretken Ağlar (Generative Adversarial Networks)

Çekişmeli üretken ağlar (GAN'lar), mevcut eğitim veri kümelerinden örüntüleri öğrenerek gerçekçi veriler üretmek üzere tasarlanmış bir makine öğrenimi modelidir. Ian Goodfellow ve meslektaşları tarafından 2014 yılında yayımlanan “*Generative Adversarial Nets*” başlıklı makalede tanıtılmıştır. Bu yenilikçi yaklaşım, üretici modellemeyi dönüştürmüş ve yüksek kaliteli, gerçekçi veriler oluşturabilen model ve algoritmalar geliştirmeyi kolaylaştırmıştır.

GAN'lar, derin öğrenme tekniklerini kullanarak denetimsiz öğrenme çerçevesinde çalışmaktadır. İki sinir ağı karşıt şekilde birlikte çalışır, biri veri üretir, diğeri ise verinin gerçek mi yoksa üretilmiş mi olduğunu değerlendirmektedir. Görüntü sınıflandırma ve konuşma tanıma gibi görevlerde büyük başarı göstermiş olsa da gerçekçi görüntüler veya metinler gibi yeni veriler üretmek, üretici modellerdeki hesaplama karmaşıklığı nedeniyle daha zorlu olmuştur.

1.4.1.3.2. Difüzyon Modelleri

Difüzyon modelleri, üretken yapay zekâdaki en öne çıkan sinir ağı mimarileri arasındadır. Hem pratik hem de yüksek performansa sahiplerdir. En yaygın olarak görüntü üretiminde kullanılırlar da metin, video ve ses verisi üretme yetenekleri de bulunmaktadır. Otokodlayıcılar gibi difüzyon modelleri

de temelde bir görüntüyü bozmayı ve ardından doğru şekilde yeniden oluşturmayı öğrenir, ancak bunu tamamen farklı bir yöntemle yapmaktadır.

Eğitim sürecinde difüzyon modelleri, bir veri noktasına adım adım gürültü (Gaussian noise) ekleyerek onu kademeli olarak dağıtmayı (diffuse) ve ardından bu süreci tersine çevirerek orijinal girdiyi yeniden oluşturmayı öğrenmektedir. Bu sayede, rastgele gürültü örneklerini gürültüden arındırarak (denoising) orijinal eğitim verisine benzeyen üretebilme yeteneği kazanmaktadır. Difüzyon modelleri genellikle CNN tabanlı bir mimari kullanır, ancak bazıları bunun yerine dönüştürücü tabanlı bir mimariden de yararlanmaktadır.

1.4.2. Algı ve Etkileşim Teknolojileri: Doğal Dil İşleme

Doğal Dil İşleme veya bilinen kısaltmasıyla NLP (Natural Language Processing), bir süreç olarak dilin doğal olarak konuşulduğu ve yazıldığı şekliyle (yani doğrudan bir kişinin ağzından) bilgisayarlı analizi ile ilgilidir. Kökleri hesaplamalı dilbilime dayanır ve makine öğrenimi sistemlerini veya kural tabanlı sistemleri kullanır. NLP'nin dilsel verileri, insanın duygu ve amaçlarını hesaba katacak şekilde yorumlamasına olanak tanır. NLP, bir bilgisayar programının insan dilini anlama, analiz etme, işleme ve üretme yeteneği olup. konuşma veya metin gibi doğal insan dillerinin otomatik olarak işlenmesini temsil eder.

Peki neden Doğal Dil İşlemeye ihtiyaç duyuyoruz? Konuştuğumuzda, mesaj yolladığımızda veri üretiyoruz. Bu veri de genellikle metin biçimindedir. Hayli yüksek oranda da «yapılandırılmamış-unstructured» yapıdadır. Bu verideki bilgi, okunmaz ya da anlaşılması için uğraşılmaz ise ulaşılamaz! Yüzlerce, binlerce ya da milyonlarca metin verisini analiz etmek istiyor isek manuel gücümüz yetmeyecek. Büyük boyutlarda metin verisinden içgörü (insight) üretmek çok zor hale gelecektir. Bundan dolayı büyük boyutlardaki veriyi işlemek için Doğal Dil İşlemeye ihtiyacımız ortaya çıkar.

Doğal Dil İşleme çalışmaları konularını (Adalı, 2020); Ses bilimi, Bütün (konuşmanın özelliklerinin yazıya nasıl aktarılacağını araştıran ses biliminin alt dalı) bilgisi, Biçim bilimi, Söz bilimi, Anlam bilimi, Söylem bilgisi, Edim (kullanım) bilimi olarak sıralayabiliriz. Uygulama alanlarını ise (Adalı, 2020); metin seslendirme (ses), konuşmayı yazıya dökme (ses), yazım yanlışlarını giderme, bilgiye erişim, bilgi çıkarma, özetleme, anlama, soru yanıtlama ve diller arası çeviri olarak öne çıkartmak mümkündür. Günlük hayatta çokça faydalandığımız spam filtreleme, soru cevaplama, sohbet robotu (chatbot), özetleme, bilgi çıkarımı, Duygu Analizi, Adlandırılmış Varlık Tanıma (Müşteri desteği için biletleri kategorize etme, İçerik önerileri, Müşteri geri bildirimlerini analiz etme, İşe alım süreçleri, Sosyal medya analizi), Metin Özetleme, Konu Modelleme de yaygın Doğal Dil İşleme uygulamalarıdır.

Doğal Dil işlemede veri dildir. Dil, insanların diğer insanlar tarafından anlaşılacak üzere ürettiği yapılandırılmamış verilerdir. Buna karşılık, yapılandırılmış veya yarı yapılandırılmış veriler, bir bilgisayar tarafından kolayca ayrıştırılmasını sağlayan alanlar veya işaretlemeler içerir. Ancak makine tarafından kolayca okunabilen bir yapıya sahip olmamakla birlikte, yapılandırılmamış veriler rastgele değildir. Aksine, onu diğer insanlar için çok anlaşılır kılan dilsel özellikler tarafından yönetilir.

Bu noktada temel doğal dil işleme bileşenlerinden bahsetmek gerekir. Derlem (Corpus) metin belgeleri topluluğu olarak tanımlanır (örneğin, Twitter verisinde tweet'leri içeren bir veri kümesi bir derlem). Derlemler (Corpora), doğal dil işleme araştırmalarında ve çeşitli dilbilimsel araştırmalarda önemli bir rol oynar. NLP sistemlerini oluşturmak için bir malzeme temeli (veri) ve bir test ortamı sağlarlar. Derlem, belgelerden oluşur, belgeler paragraflardan oluşur, paragraflar cümlelerden oluşur ve cümleler Token adı verilen daha küçük birimlerden oluşur. Tıpkı nicel veride (örneğin tabular data) olduğu gibi doğal dil işleme çalışmalarında da veri ön işleme süreci bulunmaktadır. Bunlar;

- *Normalleştirme (Normalization): Normalleştirme, metin verisindeki sözcüklerin küçük harfe dönüştürülmesini, noktalama ve sayıların kaldırılmasını ifade etmektedir (Eryiğit, 2018).*
- *Tokenizasyon (Tokenization): Metnin tokenize edilmesi kelimelerine ayrılmasını belirtmektedir (Grefenstette, 1999).*
- *Durak kelimelerin kaldırılması (Stop words): Tek başına bir anlam ifade etmeyen kelimeler «durak kelimeler» olarak ifade edilir. Analiz sonuçlarının daha güvenilir olması için bu gürültü kaynaklarının kaldırılması gerekmektedir (Alajmi, Saad ve Darwish, 2012).*
- *Kök bulma (Stemming): kelime kökünü bulma*
- *Baş sözcük bulma (Lemmatization): Çekim eklerinin kaldırılması*

olarak özetlenebilir.

Doğal dil işleme çalışmalarının tarihçesine baktığımızda yıllara göre öne çıkan atılımları bir sınıflama yapmak mümkündür.

1980'li yıllarda;

- *Ontoloji*
- *Expert systems (MYCIN- bakteri~antibiyotik önerisi)*

1990'lı yıllarda;

- *İstatistik modeller*

- *RNNs (recurrent neural networks), LSTM (Long short-term memory)*

2000'li yıllarda;

- *Dil modelleme (Language Modeling)*
- *Kelime Gömme (Word Embedding)*
- *Google Translate (2006)*

2010'lu yıllarda;

- *Word2Vec (2013 – matematiksel işlemler semantik ilişkileri temsil edebildi-Word embedding)*
- *LSTM (Long short-term memory), CNN (Convolutional Neural Network) 'lerin yükselişi*
- *Encoder-Decoder*

- *Attention ve Transformers (Attention Is All You Need makalesi 2017)*

- *Pre-trained models ve Transfer Learning*
- *2018 Elmo (Embeddings from Language Models) --Transfer Learning*
- *2018 – OpenAI Transformer – GPT 2 (language models - unsupervised multitask learners)*
- *2018 – BERT (Bidirectional Encoder Representations from Transformers) -- --Transfer Learning*

2020'li yıllarda;

- *2020 – GPT 3 (large language models – few-shot learners)*
- *2022- Palm*

Yukarıdaki sınıflama ışığında bugünkü yapay zekâ uygulamalarını hızlandıran dil modelleme üzerinde durmakta fayda var.

1.4.2.1. Dil Modelleme (Language Modeling)

Bir cümlede geçen belirli bir kelime dizisinin olasılığını belirlemek için çeşitli istatistiksel ve olasılıksal tekniklerin kullanılmasıdır. Dil modelleri, olasılıkları bir cümleye veya bir kelime dizisine veya önceki bir kelime grubu verildiğinde yaklaşan bir kelimenin olasılığını atar. Sonraki kelime tahmini (word prediction), makine çevirisi (machine translation), yazım düzeltme (spelling

correction), yazarlık tanımlaması (authorship identification) ve doğal dil üretimi gibi çok sayıda NLP uygulaması için kullanışlıdır. Dil modellerindeki temel fikir, söz dizimlerinin ilgili bir alanda bir cümle olarak ne sıklıkta ortaya çıktığını açıklayan sözcük dizileri üzerinde olasılık dağılımlarını kullanmaktır.

Dil modelleri, metinlerin bir dile ait olma olasılığını tahmin eder. Diziler (sequences) birden çok öğeye bölünmüştür ve dil modeli, önceki öğeler verildiğinde bir öğenin olasılığını modeller. Öğeler bayt, karakter, alt sözcük veya token olabilir. Dizi olasılığı, öğelerin olasılıklarının ürünüdür. Dil modelleri temel olarak iki türdendir: **N-Gram dil modelleri** ve olasılıksal bağlamdan bağımsız dilbilgisi gibi **Dilbilgisi Tabanlı Dil Modelleri**. Dil modelleri ayrıca **İstatistiksel Dil Modelleri** ve **Nöral- Yapay Sinir Ağı Dil Modelleri** (Neural language models) olarak sınıflandırılabilir.

1.4.2.2. İstatistiksel Dil Modelleri

Basitçe tüm olası cümleler üzerinden bir olasılık dağılımıdır, metin örneklerine dayalı olarak sözcük oluşum olasılığını öğrenir. Daha basit modeller, kısa bir kelime dizisinden oluşan bir bağlama bakabilirken, daha büyük istatistiksel dil modelleri, cümleler veya paragraflar düzeyinde işlev görebilir. Tipik olarak, en sık kullanılan istatistiksel dil modelleri, kelime düzeyinde çalışır. Ayrıca, hemen hemen tüm dil modelleri, bir cümlenin olasılığını koşullu olasılıkların bir ürününe ayrıştırır. İstatistiksel dil modelleri, kelimelerin olasılık dağılımını öğrenmek için N-gramlar, Gizli Markov Modelleri (HMM) gibi geleneksel istatistiksel teknikleri ve belirli dil kurallarını kullanır. Tüm bu modellerden en popüler ve kolay uygulanabileni N-gram dil modelleridir.

1.4.2.3. Yapay Sinir Ağı Dil Modelleri

Dili modellemek için ileri beslemeli sinir ağları (feedforward neural networks), tekrarlayan sinir ağları (recurrent neural nets), dikkat tabanlı ağlar (attention-based networks) ve dönüştürücü tabanlı sinir ağları (transformers-based neural nets) gibi farklı türde yaklaşımlar kullanır ve ayrıca etkililik açısından istatistiksel dil modellerini geride bırakmışlardır. Çok daha uzun geçmişleri işleyebildikleri ve ayrıca benzer kelimelerin bağlamları üzerinde daha iyi genelleme yapabildikleri ve kelime tahmininde daha doğru oldukları için istatistiksel dil modellerine göre birçok avantaja sahiptir. Sinir ağı dil modelleri ayrıca çok daha karmaşık ve daha yavaştır ve eğitmek için daha fazla enerjiye ihtiyaç duyar ve istatistiksel dil modellerine göre daha az yorumlanabilir.

Bu nedenle, çok fazla bilgi işlem gücü ve eğitim verisinin olmadığı pratik amaçlar için ve özellikle daha küçük görevler için, n-gram dil modeli gibi istatistiksel dil modelleri doğru araçtır. Öte

yandan, özellikle sinir ağılarına dayalı Büyük Dil Modelleri (Large Language Models-LLM) en son teknolojiyi temsil eder ve NLP AI'da büyük ilerlemelere yol açmıştır. Etki alanlarını öğrenilen bilgilerle dönüştürme ve metin ve konuşma kullanım durumlarıyla ilgili günlük yaşamda yavaş yavaş her yerde bulunma vaadini taşırlar. LLM boyutları da son birkaç yıldır her yıl 10 kat artmakta ve bu modeller, örneğin few shot learners gibi, yetenekleriyle birlikte karmaşıklık ve boyut olarak büyümektedir.

1.4.2.4. N-gram Dil Modelleri

Bir cümlenin nasıl devam edeceği sezgisine dayanır, bu sezgiyi kodlar. Bir n-gram modeli, yalnızca önceki kelimeleri dikkate alarak her seçeneğe bir olasılık puanı atar. Örneğin, bir sonraki kelimenin olasılığı %80 olabilirken, ardından gelen kelimelerin onlara göre olasılığı sırasıyla %10, %5 ve %5 olabilir. Bu istatistikler ile n-gram dil modelleri gelişmiş bu da genel bir konuşma tanıma sistemine katkıda bulunmuştur. Klasik makine öğrenimi uygulamasında olduğu gibi, başlamak için iki şeye ihtiyacımız var: veri ve kod. Algoritma oluştururken kod, bilgisayara bir dizi sözcük gibi bir girdiyi, bir sonraki sözcük olan bir çıktıya nasıl dönüştüreceğini söyleyen sıralı bir yönergeler dizisidir.

Bir makine öğrenimi uygulaması ile geleneksel yazılım arasındaki temel fark, verinin değil, belirli örneklerin veya sözcüklerin nasıl ele alınacağına ilişkin kuralların olmasıdır. Bunun yerine, model veri üzerinde eğitilir, örüntüleri yakalamayı öğrenir ve ardından bu "bilgiyi" uygular. Her zaman olduğu gibi, daha fazla veri daha iyidir. Tıpkı deneyim, uygulama ve tekrar yoluyla öğrendiğimiz gibi, bir makine öğrenimi modeli de pek çok örneği gözlemleyerek örüntüleri ayırt etmeyi öğrenir. n-gramlara bakıldığında, buradaki model, herhangi bir kelime dizisini takip eden kelimelerin göreceli sıklık sayılarıdır.

1.4.2.5. Diziden diziye modeller (Sequence-to-sequence models)

Genellikle, diziden diziye bir model, iki tekrarlayan sinir ağından oluşur: girdiyi işleyen bir kodlayıcı (encoder) ve çıktıyı üreten bir kod çözücü (decoder). Kodlayıcı ve kod çözücü aynı veya farklı parametre setlerini kullanabilir. Diziden Diziye modeller, çoğunlukla soru yanıtlama sistemlerinde, sohbet robotlarında ve makine çevirisinde kullanılır.

1.4.2.6. Sığ Sinir Ağları (Shallow neural networks)

Derin sinir ağlarının yanı sıra sığ modeller de popüler ve kullanışlı araçlardır. Örneğin, word2vec, kelime gömmelerini üretmek için kullanılan sığ iki katmanlı modellerden oluşan bir

gruptur. Vektör Uzayında Kelime Temsillerinin Verimli Tahmininde sunulan word2vec, girdi olarak büyük bir metin derlemi alır ve bir vektör uzayı üretir. Derlemdeki her kelime, bu uzayda karşılık gelen vektörü elde eder. Ayırt edici özellik, derlemdeki ortak bağlamlardan gelen kelimelerin vektör uzayında birbirine yakın konumlandırılmasıdır.

1.4.2.7. Büyük Dil Modelleri (LLM)

Bir n-gram dil modeli, önceki n kelimeye dayanarak bir sonraki kelimeyi tahmin eden istatistiksel bir yöntemdir. Anlaşılması ve uygulanması kolay olsa da özellikle uzun dizilerde hatalı olabilir. Büyük dil modelleri (LLM) ise çok daha büyük veri kümeleri üzerinde eğitilen ve insan gibi metinleri anlamak, oluşturmak ve yanıtlamak için tasarlanmış sinir ağlarıdır. LLM'ler kelimeler arasındaki daha karmaşık ilişkileri yakalayarak daha doğru tahminler yapar, n-gram modellerinden daha esnektir ve metin oluşturma, çeviri, soru yanıtlama gibi daha geniş bir görev yelpazesinde kullanılabilir. Daha güçlü ve esnek olmalarına karşın daha karmaşıktır ve daha fazla eğitim verisi gerektirirler.

LLM'lerdeki "büyük" ifadesi, hem onlarca hatta yüz milyarlarca parametreye ulaşan model boyutunu hem de üzerinde eğitim aldığı muazzam veri kümesini ifade eder. Bu modeller, bir dizideki sonraki kelimeyi tahmin etmek üzere optimize edilir ve dilin sıralı yapısından yararlanarak bağlamı, yapıyı ve metin içi ilişkileri öğrenir. LLM'ler dönüştürücü mimarisi kullanır, bu sayede girdinin farklı bölümlerine seçici olarak dikkat edebilir ve insan dilinin nüanslarını ustalıkla ele alır. Metin üretme yetenekleri nedeniyle sıklıkla üretken yapay zekâ (GenAI) olarak da anılırlar. Üretken yapay zekâ, ses, kod, görüntü, metin, simülasyon ve video gibi yeni içerikler oluşturabilen algoritmaları tanımlar.

LLM'ler yapılandırılmamış metin verilerini ayrıştırma ve anlama konusundaki gelişmiş yetenekleri sayesinde makine çevirisi, metin oluşturma, duygu analizi, metin özetleme gibi birçok görevde kullanılır. Son zamanlarda kurgu, makale ve bilgisayar kodu yazmak gibi içerik üretiminde de yaygınlaşmıştır. Ayrıca ChatGPT veya Google Gemini gibi gelişmiş sohbet robotlarına ve sanal asistanlara güç vermekte, tıp veya hukuk gibi uzmanlık alanlarındaki geniş metinlerden etkili bilgi elde etmek için belge gözden geçirme, uzun pasajları özetleme ve teknik soruları yanıtlama amacıyla da kullanılmaktadır.

1.4.2.7.1. Büyük Dil Modeli Oluşturma

Özel olarak belirli görev veya alanlara uyarlanmış LLM'ler (örneğin finans için BloombergGPT, tıbbi soru yanıtlama için özel modeller) genel amaçlı ChatGPT'den daha iyi

performans gösterebilmektedir. LLM eğitiminde ilk aşama, modelin herhangi bir etiket içermeyen geniş ve çeşitli ham metinler üzerinde eğitildiği ön eğitimidir. Bu aşama sonunda, metin tamamlama ve few-shot öğrenme gibi yeteneklere sahip bir temel model (örneğin GPT-3) elde edilir. Ardından model, ince ayar adı verilen süreçle daha dar ve etiketli bir veri kümesi üzerinde özelleştirilir. En popüler iki ince ayar kategorisi, talimat-yanıt çiftleri kullanan talimat ince ayarı ve metin-sınıf etiketi çiftleri kullanan sınıflandırma ince ayarıdır.

Modern LLM'lerin çoğu, kodlayıcı ve kod çözücü olmak üzere iki alt modülden oluşan dönüştürücü mimarisine dayanır. Kodlayıcı giriş metnini bağlamsal vektörlere dönüştürür, kod çözücü bu vektörlerden çıktı metnini üretir. Her iki modülde de öz-dikkat mekanizması, kelimelerin birbirine göre önemini tartarak uzun vadeli bağımlılıkları yakalamayı sağlar. Bu mimari üzerine inşa edilen BERT, kodlayıcı kısmını kullanarak maskeli kelime tahmini ve metin sınıflandırma görevlerinde uzmanlaşırken GPT, kod çözücü temel alarak metin üretme, çeviri, özetleme gibi üretken görevlerde öne çıkar. GPT modelleri zero-shot ve few-shot öğrenme becerileriyle dikkat çeker.

Veri kümesi ismi	Veri kümesi tanımı	Token sayısı	Eğitim verisindeki oran
CommonCrawl (filtreli)	Web crawl data	410 milyar	%60
WebText2	Web crawl data	19 milyar	%22
Books1	Internet-based corpus	12 milyar	%8
Books2	Internet-based corpus	55 milyar	%8
Wikipedia	High-quality text	3 milyar	%3

Tablo 1. Gpt-3'ün Veri Kümesi

Dönüştürücü ve LLM terimleri sıklıkla eş anlamlı kullanılsa da tüm dönüştürücüler LLM değildir (bilgisayarlı görmede de kullanılır) ve yinelenen veya evrimsel mimarilere dayanan LLM'ler bulunduğu için tüm LLM'ler de dönüştürücü değildir. Alternatif mimariler hesaplama verimliliğini artırmayı hedeflese de dönüştürücü tabanlı modellerle rekabet edip edemeyecekleri henüz net değildir.

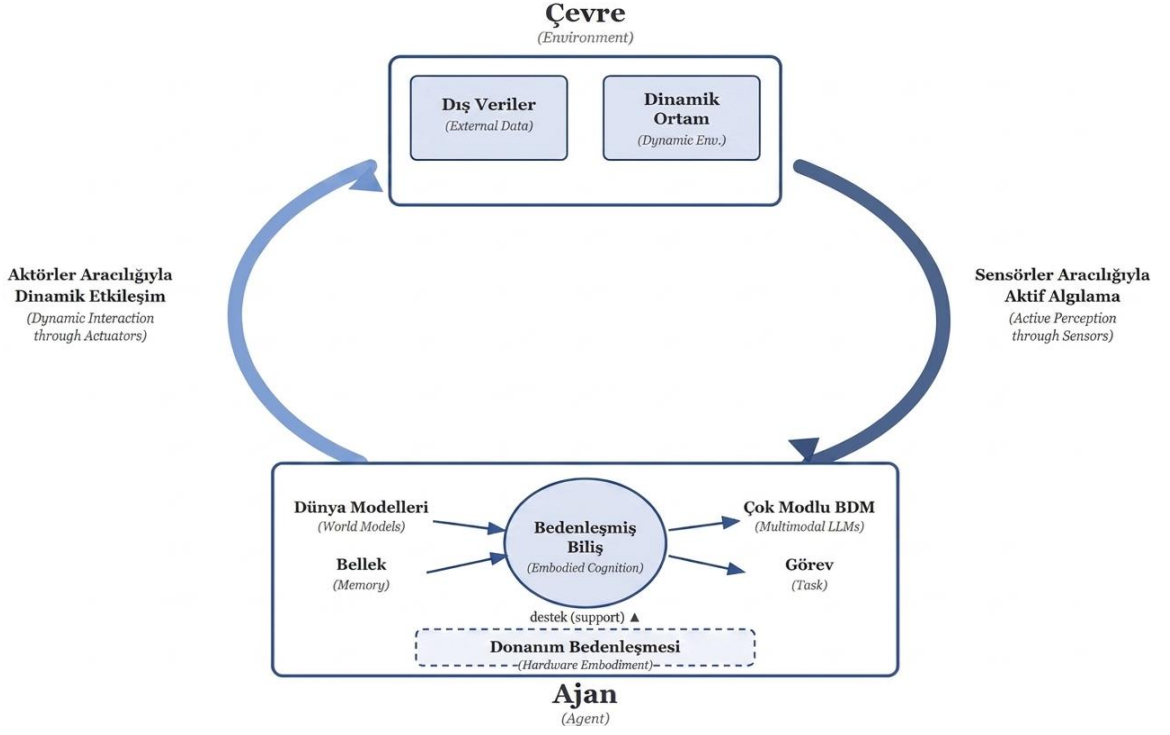
Eğitim veri kümeleri milyarlarca kelimeyi kapsayan çok çeşitli metin bütünlerinden oluşur. Token, modelin okuduğu metin birimidir ve sayısı kabaca sözcük ve noktalama işaretlerinin toplamına denktir. Verinin ölçeği ve çeşitliliği modellerin dil sözdizimi, anlambilim ve bağlam gerektiren pek çok görevde başarılı olmasını sağlar. Ön eğitim son derece maliyetlidir (GPT-3'ün maliyetinin 4,6 milyon dolar olduğu tahmin edilmektedir). Açık kaynaklı önceden eğitilmiş LLM'ler genel amaçlı

araçlar olarak kullanılabilir ve nispeten küçük veri kümeleriyle belirli görevlere ince ayar yapılarak hem hesaplama kaynağı ihtiyacı azaltılabilir hem de görev performansı artırılabilir.

- CommonCrawl veri kümesindeki 410 milyar token yaklaşık 570 GB depolama alanı gerektiriyor.
- Meta'nın LLaMA'sı gibi GPT-3'ü temel alan daha sonraki modeller, Arxiv'den (92 GB) araştırma makalelerini ve StackExchange'ten (78 GB) kodla ilgili Soru-Cevap makalelerini de içerir.
- Wikipedi derlemi İngilizce Wikipedi'den oluşur. GPT-3 makalesinin yazarları daha fazla ayrıntı belirtmemiş olsa da,
- Books1 Project Gutenberg
- Books2 Libgen
- CommonCrawl, CommonCrawl veritabanının filtrelenmiş bir alt kümesidir ve WebText2, 3'ten fazla olumlu oy alan gönderilerdeki tüm giden Reddit bağlantılarındaki web sayfalarının metnidir.
- GPT-3 makalesinin yazarları eğitim veri setini paylaşmasa da karşılaştırılabilir veri seti The Pile herkesin kullanımına açıktır.
- Ancak koleksiyon, telif hakkıyla korunan çalışmalar içerebilir ve kesin kullanım koşulları, amaçlanan kullanım durumuna ve ülkeye bağlı olabilir.

1.4.3.Bedenleşmiş Yapay Zekâ

Bedenleşmiş yapay zekâ (EAI), yapay zekânın dijital dünyadan fiziksel dünyaya geçişini temsil eden bir dönüşüm ve yapay zekânın fiziksel sistemlere entegre edilmesidir. Bu sistemlerin fiziksel dünyayla etkileşime geçmesini mümkün kılmaktadır.



Şekil 4. Bedenleşmiş Yapay Zekânın Kavramsal Şeması: Aktif Algı, Bedenleşmiş Biliş Ve Dinamik Etkileşim (Feng, Vd., 2025).

Bu kapsamda genel amaçlı robotlar, insansı robotlar (humanoids), otonom araçlar ve fabrikalar ile depo tesisleri gibi akıllı mekânlar yer almaktadır. Makine öğrenimi, sensörler ve bilgisayarlı görünün bir araya gelmesiyle bu sistemler gerçek dünya ortamlarında algılama, akıl yürütme ve eylem gerçekleştirme yetkinliği kazanmaktadır (NVIDIA, 2025).

Boyut	Bedenleşmemiş Yapay Zekâ	Bedenleşmiş Yapay Zekâ
Varoluş Biçimi	“Kafesteki Beyin”: Sunucularda çalışan saf yazılım.	“Bedenleşmiş Beyin”: Fiziksel/sanal bir bedene entegre yazılım.
Temel Hedef	Dijital alanda bilgi işleme. Girdi için edilgen biçimde bekler.	Fiziksel ortamda eylem gerçekleştirme. Duruma dayalı proaktif davranış.
Girdi/Çıktı	Veri (metin, görüntü, ses) → Veri (üretilen metin, sınıflandırma etiketleri)	Algı (sensör verisi, kameralar, LiDAR, dokunma) → Eylem (hareket, manipülasyon)
Öğrenme Paradigması	Statik veri kümelerinden öğrenir. Mevcut görüntü ve metin koleksiyonlarını analiz eder.	Etkileşim ve deneyim yoluyla öğrenir. Bir bebek gibi, deneme-yanılma ile öğrenir.

Tablo 2. Bedenleşmemiş ve Bedenleşmiş Yapay Zekânın Temel Boyutlarda Karşılaştırılması (Wei, 2025).

Bedenleşmiş yapay zekânın Genel Yapay Zekâya (AGI) ulaşma yolundaki kilit örnek çerçeve (paradigma) olduğu da ileri sürülmektedir (Feng, vd., 2025). Bilişsel bilim ve sinirbilim temelleri

üzerine inşa edilen bedenleşmiş yapay zekâ, zekânın algı, biliş ve etkileşimin dinamik bir eşleşmesinden doğduğunu kabul eder. Aktif algı, sensör kaynaklı çevre gözlemi sağlarken, bedenleşmiş biliş deneyime dayalı biliş güncellemeyi ve dinamik etkileşim ise eylem kontrolünü ifade etmektedir.

ITU bünyesindeki çalışmalarda, bedenleşmiş yapay zekâ, fiziksel sistemlere entegre edilmiş, fiziksel dünyayla özerk biçimde etkileşime giren ve bu dünyaya uyum sağlayan yapay zekânın araştırılması, geliştirilmesi ve uygulamaya alınması olarak ta tanımlanmaktadır (Wei, 2025). Bu tanım yalnızca programlanmış görevlerin yerine getirilmesini değil, değişen koşullara dinamik adaptasyonu da kapsamaktadır. Bedenleşmiş yapay zekânın geleneksel yapay zekâdan temel farkı dört temel boyutta özetlenmektedir.

1.4.3.1.Robotik

Robotik, bedenleşmiş yapay zekânın en somut ve köklü uygulama alanıdır. Bedenleşmiş yapay zekânın robotiğe katkısı yalnızca teknik bir ilerleme değildir. Otomasyon çağından özerklik çağına geçişi simgeleyen bir dönüşümdür. Aşağıdaki tablo geleneksel robotik ile bedenleşmiş yapay zekâ arasındaki temel farkları üç kritik perspektiften ortaya koymaktadır.

Perspektif	Geleneksel Robotik	Bedenleşmiş Yapay Zekâ
1. Programlamadan → Öğrenmeye	Tüm davranışlar programcılar tarafından yazılan açık koda dayanır.	Yetenekler gerçek zamanlı çevre etkileşimiyle (deneme-yanılma) kazanılır.
2. Eylem için Algı → Algı-Biliş-Eylem	Sensör verisi doğrudan önceden tanımlı eylemleri tetikler (ör. iş parçası konumunu doğrulama).	Sensör verisi dünyanın iç modelini oluşturmak için kullanılır. Bilişe dayalı eylemler üretilir.
3. Kapalı Dünya → Açık Dünya	Çevre ve tüm değişkenler öngörülebilir ve önceden tanımlanmış olmalıdır.	Görülmemiş nesneleri ele alabilir, dinamik değişikliklere uyum sağlar, belirsizlikle başa çıkar.

Tablo 3. Bedenleşmiş Yapay Zekâ ve Geleneksel Robotik (Wei, 2025).

Dünya Modelleri (WM) ile Çok Modlu Büyük Dil Modellerinin (MLLM) birlikteliği robotlarının özerklik ve uzun vadeli akıl yürütme kapasitelerini nasıl güçlendirdiğini kapsamlı biçimde ele almaktadır. Bu mimaride Dünya Modeli planlama ve simülasyon için evrimsel bir çevre modeli oluştururken MLLM, “oturma odasını topla” gibi komutları uyarlanabilir alt görevlere dönüştürmektedir. Bu işbirliği esnek akıl yürütme, hedef adaptasyonu ve gerçek dünya uygulamalarında güçlü performansı desteklemektedir. Bu çerçevede otonom mobil robotların (AMR)

depo ve fabrikalarda bilgisayarlı görü ve pekiştirmeli öğrenmeyi kullanarak envanter yönetimini nasıl dönüştürdüğünü örneklemektedir (Feng, vd., 2025).

Ayrıca, bedenleşmiş yapay zekâ ile endüstriyel robotlar artık çevrelerine dayalı daha akıllı kararlar alabilmektedir. Geleneksel endüstriyel robotlar sabit konumlu, özel sensör ve araçlarla donatılmış, yüksek tekrar hassasiyeti gerektiren görevler için en iyi hâle getirilmiş (optimize edilmiş) sistemlerdir. Bedenleşmiş yapay zekâ bu sistemi köklü biçimde dönüştürmekte, robotların görülmemiş nesneleri ele almasına, dinamik değişikliklere uyum sağlamasına ve belirsizlikle başa çıkmasına olanak tanımaktadır. Endüstriyel ortamlarda insansı robotların bilgisayarlı görü aracılığıyla tehlikeli malzeme yönetimi ve kalite kontrol denetimleri gerçekleştirdiğini aktarmaktadır (Feng, vd., 2025).

Bununla birlikte, insansı robotlar, karmaşık operasyonları hassasiyetle gerçekleştirmek üzere tasarlanmıştır. Sağlık alanında bu robotlar ameliyatlara ve tıbbi prosedürlere destek vermenin yanı sıra fizik tedavi ve rehabilitasyon süreçlerinde yardım sağlamaktadır. Çeşitli araştırmalar insansı robotların 2050 yılına kadar yalnız başlarına 5 trilyon dolarlık bir pazar oluşturabileceğini öngörmektedir. Bu büyümenin arkasında küresel yaşlı bakım krizi ve işgücü açığı yattığı düşünülmektedir (Wei, 2025).

1.4.3.2. Otonom Sistemler

Otonom sistemler, bedenleşmiş yapay zekânın en ileri ve en kapsamlı uygulama alanlarından birini oluşturmaktadır. Bu sistemler, algılama, karar verme ve eylem döngülerini insan müdahalesi olmaksızın gerçekleştirme kapasitesine sahiptir. 1988 yılında Hans Moravec'in dile getirdiği ve günümüzde Moravec Paradoksu olarak adlandırılan bu paradoksa göre, bilgisayarlara zekâ testlerinde ya da dama oynamada yetişkin düzeyinde performans sergilemek görece kolay iken, bir yaşındaki çocuğun algılama ve hareketlilik becerilerini kazandırmak son derece güç, hatta imkânsız olabilmektedir. Bu paradoks bedenleşmiş yapay zekâ için hâlâ geçerlidir (Wei, 2025).

Otonom araç güvenliğinin bedenleşmiş yapay zekâyı oluşturan teknolojilere dayanmaktadır. Görü nesne tespiti ve şerit tanımayı mümkün kılarken, simülasyon, nadir uç durumlar ve tehlikeli senaryolar dâhil olmak üzere tüm sürüşü güvenli biçimde eğitmek, test etmek ve doğrulamak için kullanılmaktadır. Dünya modelleri ise simülasyon içindeki hava durumu, aydınlatma ve coğrafi konum çeşitliliğini artırarak aracın gerçek dünyada karşılaşacağı senaryoların çeşitliliğini yansıtmaktadır. Bedenleşmiş yapay zekâ bu bağlamda robotaksiler ve kendi kendine giden araçlar için kritik bir omurga oluşturmaktadır (NVIDIA, 2025).

Aynı zamanda, bedenleşmiş yapay zekâ teknolojisi, insansız hava araçlarının (İHA) afet koşullarındaki kullanım biçimini köklü biçimde dönüştürmektedir. Geleneksel İHA'lar hem elle

kumanda edilmekte hem de önceden oluşturulmuş haritalara dayanmaktadır. Bu durum çevreye bağımsız uyum kapasitelerini ciddi ölçüde kısıtlamaktadır. Bedenleşmiş İHA'lar ise ortamı gerçek zamanlı algılayabilmekte ve ani değişikliklere tepki verebilmektedir. Bu özellik onları deprem bölgeleri, orman yangınları veya seller gibi tehlikeli mekânlarda son derece değerli kılmaktadır.

Dünya Modeli ile Çok Modlu Büyük Dil Modellerinin (MLLM) birlikte kullanımı İHA özerkliğini daha da ileri bir düzeye taşımaktadır. Dünya Modeli, GPS sinyalinin olmadığı koşullarda dahi planlama ve risk tahmini için sürekli güncellenen uzay-zaman ortam temsillerini korurken, MLLM komutları da İHA'yı durumuna uygun yapılandırılmış alt görevler vermektedir. Bu koordinasyon genelleme, uzun vadeli akıl yürütme ve görev-kritik koşullarda yüksek düzey özerkliği geliştirmektedir (Feng, vd., 2025).

Bu doğrultuda, otonom sistemlerin daha karmaşık bir boyutunu da çok etmenli yapılar oluşturmaktadır. Bu mimariler merkezi kontrolden ziyade âdem-i merkezi bir yapı benimsemekte ve etmenler yerel düzeyde etkileşime girerken küresel koordinasyonu sağlamaktadır. Bulut-uç-cihaz mimarisi üzerinden karmaşık görev dağılımının ve çok etmenli iletişim protokollerinin standardizasyon eksikliğinin bedenleşmiş yapay zekânın önündeki temel engeller arasında yer aldığını belirtmektedir (Wei, 2025).

1.4.3.3. Kontrol Sistemleri

Kontrol sistemleri, bedenleşmiş yapay zekânın temel mimari bileşenlerinden birini oluşturmakta ve algı ile eylem arasındaki köprüyü kurmaktadır. Bedenleşmiş yapay zekâ sistemlerinin kontrol altyapısını oluşturan teknolojiler bakımından üç biçimde ele alınmaktadır (NVIDIA, 2025), Bilgisayarlı Görü (Computer Vision)(Cazzaniga vd., 2024), Büyük Dil Modelleri (LLMs)(McKinsey Global Institute, 2023), Görüntü-Dil Modelleri (VLMs) ve Görüntü-Dil-Eylem Modelleri (VLAMs)(Briggs ve Kodnani, 2023).

Bununla birlikte, bedenleşmiş yapay zekâ kontrol sistemleri, Yinelemeli Durum Uzayı Modeli tabanlı Dünya Modelleri (RSSM-tabanlı) (Agrawal vd., 2018), Ortak Gömme Tahmin Mimarisi tabanlı Dünya Modelleri (JEPA-tabanlı) (Acemoglu ve Restrepo, 2019) ve Dönüştürücü tabanlı Dünya Modelleri (Acemoglu, 2021) olarak üç kritik yapıya dayanmaktadır. Bu modeller sistemlerin yalnızca mevcut duruma tepki vermek yerine geleceği tahmin ederek hareket etmesine olanak tanımaktadır. Simülasyon tahminleri maliyetli deneme-yanılma süreçlerini “zihinsel prova” yoluyla ikame eder. Bu yaklaşım özellikle otonom sürüş veya robotik cerrahi gibi güvenlik açısından kritik alanlarda son derece değerlidir.

Boyut	Temel Zorluklar	Standardizasyon Yönleri
1. Veri ve Algılama	- Heterojen çok modlu ve çok medyalı veriler - Yüksek kaliteli, göreve özgü veri kümesi eksikliği	- Çok modlu eğitim verileri için format ve kalite standardı - Kıyaslama veri kümesi ve açıklama özellikleri
2. Ağ ve İşbirliği	- Bulut-uç-cihaz arasında karmaşık görev dağılımı - Ortak çok etmenli iletişim protokollerinin eksikliği	- Hesaplama için birleşik arayüzler - Standartlaştırılmış gerçek zamanlı etmen etkileşim protokolleri
3. Model ve Değerlendirme	Bedenlenmiş modeller için birleşik kıyas ölçütlerinin olmaması	- Değerlendirme kriterleri ve metrikler - Standartlaştırılmış performans kıyas ölçütleri
4. Sistem Entegrasyonu	- Heterojen bileşenlerin entegrasyonunda yüksek karmaşıklık - Tedarikçiler arasında zor birlikte çalışabilirlik	- Modüler geliştirme çerçeveleri - Tak-çalıştır bileşen ve ara yazılım katmanı standartları
5. İnsan-Robot Etkileşimi	- Fiziksel İnsan-Robot Etkileşimi (İRE/HRI) için güvenlik protokollerinin eksikliği - Tutarsız kullanıcı arayüzleri ve deneyimleri	- Fiziksel etkileşim için güvenlik standartları - İnsan merkezli tasarım kılavuzları
6. Güvenlik ve Gizlilik	- Veri gizliliği ve koruma riskleri - Algoritmik şeffaflık ve açıklanabilirlik eksikliği	- Uçtan uca güvenlik ve gizlilik çerçeveleri - Açıklanabilir EAI ve denetim izleri için standartlar
7. Etik ve Yönetişim	- Hesap verebilirlik ve sorumlulukta belirsizlik - Değer uyumsuzluğu riski	- Hesap verebilirlik ve sorumluluk çerçeveleri - Etik yönergeler ve uyum standartları

Tablo 4. Bedenlenmiş Yapay Zekâ Standardizasyon Boşluğu (Wei, 2025).

Ayrıca, ITU bünyesindeki çalışma gruplarında Bedenleşmiş Yapay Zekâ (EAI) sistem çerçevesini üç katmanlı bir mimaride sunulmaktadır, uygulama katmanı, işlevsel katman ve temel katman. Bu birleşik çerçeve, sistem yetenekleri oluşturma için standart bir zemin sağlamayı amaçlamaktadır.

Kontrol sistemlerinin geliştirilmesinde karşılaşılan standardizasyon boşlukları kritik bir sorun olmaya devam etmektedir. Bu doğrultuda, aşağıdaki tablo, EAI standardizasyon boşluğunu yedi başlıkta analiz etmektedir (Wei, 2025).

Görüldüğü üzere kontrol sistemleri açısından en kritik boşluklar, bedenleşmiş modeller için birleşik kıyaslama eksikliği ve satıcılar arası birlikte çalışabilirlik sorunudur. Bu boşlukların bir bölümünün uluslararası standardizasyon çabaları aracılığıyla ele alınabileceğini vurgulamaktadır. Güvenlik boyutunda da simülasyonun kritik rolünü ön plana çıkarmaktadır. Simülasyon nadir uç durumlar ve tehlikeli senaryolar dâhil olmak üzere yapay zekâ sistemlerini güvenli ortamlarda eğitmek, test etmek ve doğrulamak için kullanılmakta ve böylece gerçek dünya risklerini minimize etmektedir.

1-Kameralardan veya diğer sensörlerden gelen görsel verileri gerçek zamanlı olarak işleyerek nesne tanıma, konum ve yön belirleme (navigasyon), sahne anlama gibi görevler için çevresel algıyı mümkün kılar.

2-Doğal dili işleyerek ve üreterek robotların insan komutlarını anlamasını ve karmaşık bilgiyi iletmesini sağlar.

3-Bu yetenekleri daha da ileri taşıyarak algı ile eylemi doğal dil işleme ve eylem planlamasıyla bütünleştirir.

4-Ortamin gizli durumunu zaman içinde yinelemeli olarak güncelleyerek geleceği tahmin eder (Recurrent State Space Model-based World Models).

5-Gözlemleri ortak bir gömme uzayında temsil edip bu uzayda tahmin yapar (Joint Embedding Predictive Architecture-based World Models).

6-Dikkat mekanizmalarıyla uzun bağlamları işleyerek gelecekteki durumları tahmin eder (Transformer-based World Models).

1.4.4. Açıklanabilir Yapay Zekâ (XAI)

Şüphesiz ki son yıllarda özellikle derin öğrenme teknikleri, bilgi-işlem kapasitesi ve büyük veri setler sayesinde yapay zekâ alanında büyük başarılar elde edildi. Ama bu sistemleri ilgi tahminleri, sınıflandırmaları, genel olarak çıktılarını nasıl karar verdiği muğlaktır. Sonuç olarak bu sistemler bir kara kutu gibi çalışmaktadırlar.

Bu kara kutu çalışma prensibi belki kritik olmayan süreçlere entegre edilmiş ve ürettiği çıktıları ile önemli sonuçlar yaratmayan bir sistem için bir sorun olmayabilir (mesela şaka amacı ile DALL-E 3 ile arkadaşının komik resmini üretme). Ama, tersi durumda yani kritik süreçleri destekleyen ve

ürettiği çıktıkları ile büyük ve önemli etki yapabilecek bir yapay zekâ sistemi için “açıklanabilir” olmak çok önemlidir (mesela nükleer reaktörde ısı ölçümünü kontrol eden bir sistem).

Günümüzün yapay zekâ uygulamaları üretilirken iki ana performans kriteri kullanılmaktadır: 1) Model Doğruluğu, 2) Model Hesaplama Performansı (Hız ve Verimlilik). Sistem tarafından üretilen çıktının doğruluğu tek başına o sistemin güvenli ve dayanıklı olup olmadığını ölçmek için yeterli değildir. Bu bağlamda *Açıklanabilir Yapay Zekâ* bizlere çok değerli kavramlar, yöntemler ve araçlar sunmaktadır.

Açıklanabilir Yapay Zekâ makina öğrenme temelli sistemler için üç alanda fayda yaratabilir:

- *Model Doğrulama*

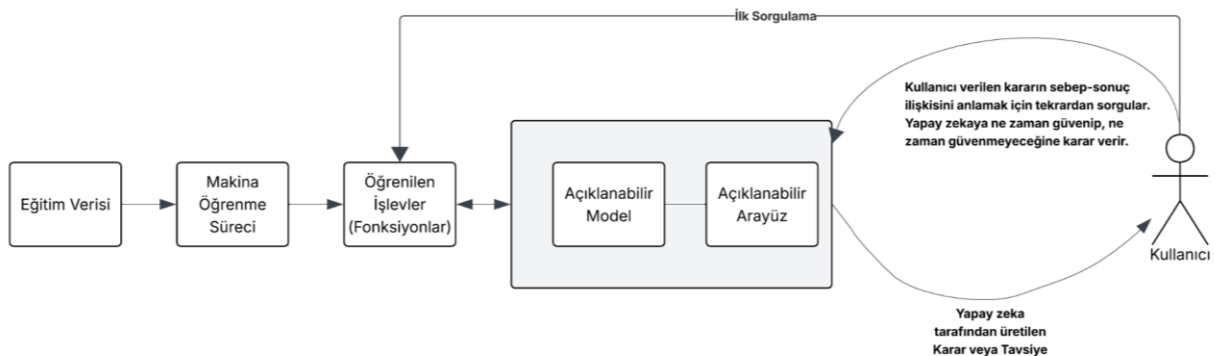
Bir sistemin açıklanabilir olması, o sistemin önyargısız bir eğitim veri seti ile eğitilip, eğitilmediğini keşfetmekte kullanılabilir. Böylece daha hakkaniyetli sistemler geliştirebilir ve uygulamaya koyulabilir.

- *Model Hata Ayıklanması*

Güvenli ve dayanıklı yapay zekâ sistemlerinin geliştirilmesi için, çoğu zaman önceden bahsetmiş olduğumuz kara kutunun “açılıp” ya da “şeffaf” hale getirilip, hata ayıklama (debugging) yapılmasını kolaylaştırması gerekmektedir. Bu ayrıca ilgili sistemlerin siber güvenliği için büyük önem taşımaktadır.

- *Bilgi Keşfi*

Özellikle ciddi kanuni düzenlemelere tabii alanlarda, tıp, hukuk veya bilim dünyasında, yapay zekâ sistemleri sadece tahmin (veya sınıflandırma) yapmakla yetinmeyip, sebep-sonuç ilişkisi kurarak kullanıcıları belirli bir konuda bilgi keşfetme yetisini kazandırması gerekmektedir. Bu bağlamda *Açıklanabilir Yapay Zekâ* özellikle Nöro-sembolik yapay zekâ teknikleri ile önemli bir rol oynayacaktır.



Şekil 5. Açıklanabilir Yapay Zekâ İş Akış Süreci

Yukarıdaki şekilde görüldüğü üzere Açıklanabilir Yapay Zekâ, son kullanıcılara yapay zekânın ürettiği çıktıları *neden* veya *nasıl* veyahut *karşıolgusal* sorgulamalar yapmasına izin vermektedir. Böylece **insan katılımlı (human-in-the-loop)** veya **insan gözetimli (human-on-the-loop)** yapay zekâ yönetim sistemlerinin uygulanması için çok önemli ve kolaylaştırıcı bir rol oynamaktadır. Kıssadan hisse Açıklanabilir Yapay Zekâ, insanlığın yapay zekâyâ olan güven seviyesinin artırılması için önemlidir.

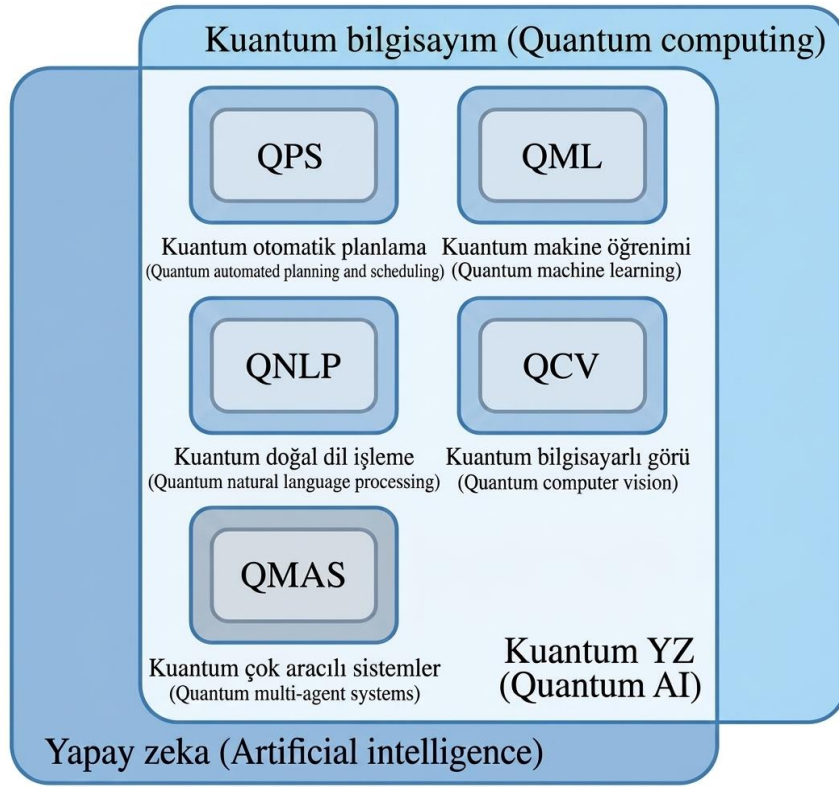
Bu konu üstünde daha derinleşmek isteyenler, Antonio Di Cecco ve Leonida Gianfagna'nın 2025 yılında yapılan, *Explainable AI: Needs, Opportunities and Challenges (2. Baskı)* ve Judea Pearl'ün Dana Mackenzie ile yazdığı, 2018 yılında ilk basılan, *The book of why: The new science of cause and effect* adlı yapıtları salık veririz.

Bu bağlamda **Nöro-sembolik yapay zekâ** sistemlerden de bahsetmek gerekmektedir. Yaklaşım olarak *algı* ve *bilişi* birleştirmek üzerine kurulmuştur. Ham girdileri (görüntü, metin, ses) işlemek ve örüntüleri öğrenmek için sinir ağlarını kullanırken, aynı zamanda akıl yürütme için manipüle edilen (bilgi grafikleri ve diğer klasik sembolik yapay zekâ yöntemler ile) *sembolik* bir yorumlamayı da sürdürür. Bu konuda daha derin bilgi almak isteyenler, MIT-IBM Watson AI Lab'ten Akash Srivastava ve Chuang Gan adlı araştırmacıları takip edebilirler.

1.4.5. Kuantum Yapay Zekâ (QAI)

Yapay zekâ (AI-YZ) ve kuantum bilgisayarım (Quantum Computing), farklı olgunluk seviyeleri ve pazar etkilerine sahip iki bilişim devrimi olarak şu anda şekillenmektedir (Bernhardt, 2024). Bu alanlardaki liderlik, bilimsel mükemmeliyet, entegre yazılım platformları oluşturma, verimli bilişim altyapıları kurma ve geniş kullanım senaryoları geliştirme kapasitesini içermektedir.

Kuantum bilgisayarım ile yapay zekânın birleşimi birçok sektörde önemli ilerlemeler sağlama potansiyeline sahiptir. Stratejik araştırmaların yürütülmesi, temel zorlukların ele alınması ve iş birliklerinin teşvik edilmesi, bu teknolojilerin toplum yararına ve ülkemizin rekabet gücünü artıracak şekilde tam potansiyeline ulaşması için kritik öneme sahiptir.



Şekil 6: Kuantum AI (QAI-KYZ), kuantum bilgisayarım ile yapay zekânın kesişim noktasıdır ve yapay zekâ ile ilişkili alt alanların her biri her iki yönü de kapsamaktadır (Acampora, ark.,2025).

Kuantum bilgisayarım hâlâ gelişmektedir, ancak AI ile olan ilişkisi şimdiden mevcuttur ve artmaktadır. AI destekli birçok teknik, kübit kontrolünün en iyi hale getirilmesinden (optimize edilmesinden) ve gürültülü orta ölçekli kuantum (NIQ) sistemlerinden kuantum hata azaltma yöntemlerine kadar, kuantum bilişim araştırmalarında ve endüstriyel gelişmelerde önemli ilerlemeler sağlamaktadır. Ayrıca yeni kuantum algoritmalarının tasarlanması da bu ilerlemelere dâhildir.

Benzer şekilde, ters yönde de daha hızlı hesaplama süreleri, daha iyi sonuçlar veya belirli makine öğrenimi problemlerini çözmek için daha az eğitim verisi gereksinimi gibi kuantum avantajına dair erken kanıtlar, yapay zekâ ve kuantum kaynaklarının birleşiminin değer yaratabileceğini göstermektedir. Bununla birlikte, bu avantajın daha net ortaya konabilmesi için gerekli olan büyük ölçekli, hataya dayanıklı kuantum bilgisayarları (FTQC) daha uzun vadeli bir hedeftir.

Yapay zekâ ve kuantum bilişimin yakınsamasına yönelik kamu yatırımları, her iki alandaki mevcut araştırma mükemmeliyetine dayanarak Türkiye'nin rekabet gücünü artırabilir ve laboratuvarlardan piyasa uygulamalarına geçişi hızlandırabilir. Kuantum bilişimin stratejik hedeflerinden biri, sağlık, finans, malzeme keşfi ve güvenlik alanlarında yapay zekâ tabanlı çözümleri geliştirmektir. Bu orta ve uzun vadeli bir hedeftir, ancak her iki alanda da endüstriyel ve bilimsel

liderliği belirleyecektir. Ülkemizin yapay zekâ ve kuantum araştırma ekosistemi hem açık kaynaklı hem de ticari entegre yazılım mühendisliği platformlarının geliştirilmesi teşvik edilmelidir.

Uluslararası rekabet artarken, bu kesişim alanında akademik araştırmaların ve özel sektör yeniliklerinin (inovasyonunun) desteklenmesi yalnızca yıkıcı gelişmelerin ekonomik faydalarını güvence altına almakla kalmayacak, aynı zamanda ülkemizin gelişmekte olan derin teknoloji ekosistemlerinde küresel bir oyuncu olarak konumunu güçlendirecektir. Temel araştırma, yetenek geliştirme ve teknoloji transferini kapsayan iyi planlanmış bir finansman stratejisi, laboratuvar ölçeğindeki vizyoner projelerden yüksek etkili endüstriyel platformlara ve uygulamalara güçlü bir geçiş sağlayacaktır.

Yapay zekâ (AI) ile kuantum bilişimin yakınsaması, kuantum yapay zekâ (QAI-KYZ) olarak adlandırılan ve teknoloji ile bilimin birçok yönünü etkileme potansiyeline sahip hızla gelişen bir alandır. QAI, kuantum makine öğrenimi (QML), kuantum akıl yürütme (QR), kuantum otomatik planlama ve zamanlama (QPS), kuantum doğal dil işleme (QNLP), kuantum bilgisayarla görme (QCV) ve kuantum araçları (ajanları) ve çok aracı (ajanlı) sistemler (QMAS) gibi tüm yapay zekâ (AI) alt alanlarını kapsamaktadır.

Örneğin, kuantum destekli makine öğreniminde kuantum işlemciler, daha sonra klasik makine öğrenimi yöntemlerinde kullanılacak verileri ön işleme tabi tutabilir. Bu yaklaşım, toplam işlem hızının ve doğruluğun artırılmasına, ayrıca gerekli eğitim verisi miktarının azaltılmasına katkı sağlayabilir. Bunun yanı sıra, kuantum bilgisayarların klasik makine öğrenimi modellerinin eğitim sürecini hızlandırma potansiyeli, hem günümüzdeki gürültülü ara ölçekli kuantum (NISQ, Noisy Intermediate-Scale Quantum) cihazları üzerinde hem de gelecekte kullanılabilir hâle gelmesi beklenen hata toleranslı kuantum bilgisayarlar (FTQ'ler, Fault-Tolerant Quantum Computers) bağlamında araştırılmaktadır.

Bir diğerk yaklaşım, kuantum modelleriyle öğrenme olup, burada kuantum bilgisayarları, eğitim (training) ve çıkarım (inference) aşamalarının her ikisini de üstlenebilir ve potansiyel olarak klasik sistemler için ulaşılması zor veri desenlerini ortaya çıkarabilir. Ayrıca, kuantum bilgisayarları, pekiştirmeli öğrenme (RL) alanında önemli iyileştirmeler sağlayabilir, hesaplama darboğazlarını ve uzun eğitim sürelerini ele alabilir.

Kuantum pekiştirmeli öğrenme (QRL) yöntemleri, özellikle endüstriyel uygulamalarda, QML'de kuantum devreleri kullanarak karmaşık ortamlarda karar verme süreçlerini ey iyi hale getirebilir (optimize edebilir). Denetimsiz öğrenmede, otomatik kümelenendirme ve boyut indirgeme gibi görevleri ele alabilen kuantum algoritmaları geliştirilmekte olup, mevcut en iyi klasik yöntemlerle

karşılaştırıldığında üstel hız artışları sağlama potansiyeline sahiptir. Bu, örneğin yenilikçi siber tehdit tespiti çözümleri geliştirmede faydalı olabilir.

Bu birleşik teknolojiler, yapay zekâ ve kuantum bilgisayarları, geniş bir potansiyel uygulama alanına sahiptir. Sağlık ve yaşam bilimlerinde, kuantum simülasyonları, AI modelleri için eğitim verisi üretmek için kullanılabilir, bu da yeni kimyasal alanları keşfederek ilaç keşfini hızlandırabilir. Röntgen, MR taramaları ve biyolojik örnek görüntüleme gibi tıbbi görüntüleme analizleri geliştirilebilir, büyük ve etiketli veri setlerine olan bağımlılık azaltılabilir. Zaman serisi analizinde, kuantum yöntemleri daha verimli modelleme ve daha hızlı anomali tespiti sağlayabilir. Kuantum bilgisayarları ayrıca karmaşık kuantum sistemlerinden içgörüler çıkarma konusunda araştırılmaktadır.

Yapay zekâ, ayrıca kuantum algoritmalarının ve protokollerinin tasarımı, kuantum devrelerinin optimizasyonu, kuantum hata hafifletme ve özellikle hata sendromu tespiti gibi maliyetli görevler için kuantum hata düzeltme uygulamaları ile kuantum bilgisayarlarını geliştirmede de kullanılmaktadır. Yapay zekâ, kuantum deneylerinin keşfi ve optimizasyonu, kuantum sistemlerinin simülasyonu ve kuantum verilerinin analizine yardımcı olabilir. Hatta, tüm verilerin, eğitim algoritmalarının ve çıkarım sistemlerinin tamamen kuantum olduğu tam kuantum yapay zekâ modellerinin gelecekte kullanılması olasıdır.

Kuantum Yapay Zekâ (QAI), birkaç zorlukla karşı karşıyadır, bunlar arasında mevcut donanım sınırlamaları, örneğin kübit sayıları, öze uygunluk (fidelities) ve ölçeklenebilirlik bulunmaktadır. Ayrıca, klasik verilerin kuantum durumlarına yüklenmesi ve işlenmesi süreçlerinde farklı seviyelerde güçlükler bulunmaktadır. Bunun yanı sıra, yapay zekâ modellerinin güvenilir, sağlam ve yorumlanabilir olmasının sağlanması, şeffaflığının artırılması ve veri önyargılarından kaçınılması, bu teknolojilerin pratikte güvenle uygulanabilmesi açısından kritik öneme sahiptir. Bununla birlikte, verilerin paylaşımını kolaylaştırmak ve kuantum problemlerini ortak bir makine öğrenmesi (ML) diline dönüştürmek amacıyla standartlaştırılmış arayüzlerin geliştirilmesi gerekmektedir.

QAI iki temel başlık altında incelenebilir: Yapay Zekâ için Kuantum ve Kuantum için Yapay Zekâ. Yapay Zekâ için Kuantum, kuantum bilgisayarlarının, yapay zekâ algoritmalarının işleyişine nasıl katkı sağlayabileceğini, daha hızlı ve verimli hesaplamalar yapabilme potansiyelini ele alırken, Kuantum için Yapay Zekâ, kuantum hesaplamanın sınırlarını aşmak ve daha güçlü modeller geliştirmek amacıyla yapay zekâ tekniklerinden nasıl faydalanılabileceğini keşfeder. Bu iki alandaki karşılıklı etkileşim, her iki teknolojinin evriminde de devrim niteliğinde adımlar atılmasına olanak tanıyacaktır.

1.4.5.1.Yapay Zekâ için Kuantum

Bilimsel ve endüstriyel alanlarda yapay zekâdaki hızlı ilerlemeler, klasik yöntemlerin hesaplama sınırlamalarının aşılması, ölçeklenebilir ve verimli yapay zekâ çözümleri için alternatif yaklaşımların araştırılması gerekliliğini ortaya koymuştur. Kuantum hesaplamaadaki son gelişmeler, özellikle hesaplama açısından yoğun görevlerin ele alınmasında, kuantum destekli yapay zekâ yaklaşımlarının tamamen klasik tekniklerden daha iyi performans gösterebileceğini işaret etmektedir (Klusck ve ark., 2024; Ciliberto ve ark., 2018; Liu ve ark., 2024; Chen ve ark., 2025).

Kuantum işlemcilerin, klasik yapay zekâ çıkarım görevleri için bir ön işleme aşaması olarak veya uçtan uca Kuantum Makine Öğrenmesi (QML) çözümleri kapsamında kullanılmasının, kuantum faydasını gösterme potansiyeli bulunmaktadır. Bu fayda, yakın ve orta vadede kuantum hata azaltma yöntemleri ve varyasyonel devreler (NISQ) kullanılarak 100 ila 200 fiziksel kübit ölçeğinde gerçekleştirilebileceği gibi, uzun vadede çok daha fazla fiziksel kübit gerektiren, kuantum devrelerine olanak tanıyan 50 ila 100 mantıksal kübit destekleyen erken aşama hata toleranslı kuantum hesaplama (FTQC) sistemlerinde de gösterilebilmektedir.

Önerilen senaryolar arasında, melez algoritmaların da dâhil olduğu, kuantum işlemciler ile Yüksek Performanslı Hesaplama (HPC) sistemlerinin birleştiği melez sistemlerin kullanımı yer almaktadır. Bu sistemlerde, bir kuantum işlemci tarafından üretilen verilerin yapay zekâ ile işlenmesiyle, işlem hızı ve hesaplama karmaşıklığı, modelleme yeteneği ve yanıt doğruluğu gibi alanlarda genel iyileşme sağlanması hedeflenmektedir. Ayrıca, kuantum işlemcilerle yapılan eğitimde gereken örnek sayısının azaltılması da beklenen faydalar arasındadır.

1.4.5.1.1.Kullanım Alanları ve Uygulamalar

Günümüzde tıp ve yaşam bilimlerinde önemli engeller bulunmaktadır. Gen terapisi genetik hastalıkları tedavi etme potansiyeline sahip olsa da doğru hücreleri hedefleme ve doz kontrolü gibi zorluklar devam etmektedir. Yapay zekâ tanı doğruluğunu artırsa da güvenilir ve açıklanabilir sonuçlar üretmesi klinik kullanımı için kritiktir. Kuantum bilgisayarlar molekül simülasyonlarında klasik bilgisayarlara göre daha verimli olup ilaç keşfini hızlandırabilir ve makine öğrenimi ile birleştiğinde daha geniş kimyasal bileşik uzaylarını keşfederek deneysel testlerin süre ve maliyetini azaltabilir.

Endüstride kuantum algoritmaları grafik kesme, sınıflandırma ve segmentasyon gibi görevlerde hesaplama yükünü azaltmakta, otonom sürüşte kuantum pekiştirmeli öğrenme ile daha hızlı yakınsama ve kararlılık sunmakta, zaman serisi verilerinde ise daha hızlı anomali tespiti ve doğru tahminler yapma

potansiyeli taşımaktadır. Ayrıca lojistik, iş atölyesi çizelgeleme, elektrikli araç şarj yönetimi ve robotik mobilite sistemlerinde de gerçek zamanlı karar alma süreçlerini iyileştirerek verimliliği artırmaktadır.

1.4.5.2.Kuantum için Yapay Zekâ

Yapay zekâ, makine öğrenimi (ML) ve bunlardan esinlenen hesaplamalı yöntemler, matematiksel modelleme tekniklerini genel olarak dönüştürmekte ve birçok durumda model oluşturma ne anlama geldiğine ve nasıl çözüleceğine dair yeni bir bakış açısı sunmaktadır. İş akışlarını hızlandırmakta ve klasik yöntemlerle hangi süreçlerin simüle edilebileceği, hatta hangi görevlerin otomatikleştirilebileceği konusunda ilerleme sağlamaktadır.

Kuantum fiziği, kuantum mekaniğinin temel ilkelerine dayanan; veri işleme ve hesaplama açısından yoğun yapısıyla çeşitli özgün özellikler sunan bir bilim dalıdır. Kuantum bilgisayarları, bu kuantum özelliklerini ve sonuçlarını benzeri görülmemiş bir ayrıntı düzeyinde incelememizi sağlar. Teorik modeller temelde kuantum durumlarına dayanmaktadır. Örnek olarak, süperpozisyon (üst üste gelme) ve dolanıklık kuantum sistemlerinin ayırt edici temel özelliklerinden bazılarıdır (Dereli & Verçin, 2009). Bunları klasik sistemlerle ele alırken, deneylerin ölçüm sonuçları işlenirken yüksek boyutlu verilere başvurmak zorunda kalınmaktadır (Alexeev, ark., 2024; Carleo, ark., 2019; Dunjko & Briegel, 2018; Gebhart, ark., 2023; Krenn, ark., 2023).

Kuantum mekaniğinin sunduğu bu özelliklerden tam anlamıyla yararlanmak, onları kullanmak ve deneysel ile kuramsal teknikleri daha da geliştirmek yeni zorluklar ortaya çıkarır. Örneğin, yüksek çözünürlüklü gözlemler veri analizi için yeni yaklaşımlar gerektirir ve hassas kontrol olanakları, yüksek boyutlu kontrol uzaylarında en uygun stratejilerin bulunmasını zorunlu kılar. Ayrıca, kuantum teknolojisinin yüksek hassasiyet gereksinimi, en küçük bozucu etkileri bile hesaba katan karmaşık, çok parametrelili modellere karşı test edilmesini gerektirir. Bu nedenle yapay zekâ, temel kavrayıştan teknolojik uygulamalara kadar uzanan etkileriyle kuantum biliminde kilit bir kolaylaştırıcı hâline gelebilir.

1.4.5.2.1.Kullanım Alanları ve Uygulamalar

Kuantum bilgisayarların rutin kullanımına geçilebilmesi için kontrol, okuma, derleme, hata düzeltme ve çözümleme süreçlerinde yeni yaklaşımlar gerekmektedir. Makine öğrenimi derleme sürecinde kuantum devrelerini sıkıştırmaya yönelik stratejileri otonom olarak öğrenebilir ve klasik verilerin kuantum durumlarına dönüştürülmesinden deney keşfine kadar klasik-kuantum arayüzünü

güçlendiren önemli bir araçtır. Ayrıca melez klasik-kuantum donanımda çalışan makine öğrenimi algoritmaları enerji verimli kontrol görevlerinin geliştirilmesine olanak tanımaktadır.

Kuantum devrelerinin derlenmesi, soyut modellerdeki serbest etkileşimi gerçek donanımın sınırlı kapı kümelerine ve kısıtlı bağlantılarına uyarlamayı amaçlar. Bu süreç kapıların yerel kümeye dönüştürülmesi, mantıksal kubitlerin fiziksel kubitlere eşlenmesi, yönlendirme ve devrenin optimize edilerek sıkıştırılması adımlarını içerir. Problemler çoğunlukla NP-zor (en zor hesaplama problemleri arasında yer alan ve verimli çözümü bilinmeyen problem sınıfı, NP-hard) olduğu için pratikte sezgisel yöntemler kullanılırken son yıllarda pekiştirmeli öğrenme gibi makine öğrenmesi yaklaşımları derlemeyi bir oyun gibi ele alarak daha iyi stratejiler öğrenmeyi hedeflemektedir. Ayrıca üretici modeller her adımın simülasyonunu gerektirmeden hesaplama maliyetini azaltmayı amaçlamaktadır.

Kuantum bilgisayarların tam potansiyeline ulaşması için kubit hata oranlarının düşürülmesinde en güçlü yaklaşım topolojik stabilizer kodlarıyla mantıksal kubitler oluşturmaktır. Bu kodların etkin çalışması, sınırlı bilgiyle kuantum gürültüsünü düzelteren klasik decoder algoritmalarına dayanır. Geleneksel yöntemler yüksek hesaplama maliyetliken makine öğrenimi tabanlı decoder'lar simüle edilmiş verilerle eğitilip gerçek deneysel verilerle iyileştirilerek cihaza özel performans sağlayabilir. Uzun kodlara ölçeklenme, farklı kodlara genelleme ve gerçek zamanlı çalışma gibi zorluklar devam etse de, yapay zekâ yeni hata düzeltme kodlarının keşfi ile devre tasarımının otomasyonunda umut vadetmektedir. Kısa vadede cihaz tasarımı ve hata çözücülerin geliştirilmesi, orta vadede verimli algoritmalar ve endüstriyel optimize devreler, uzun vadede ise yapay zekâ destekli uçtan uca kuantum algoritma üretimi ve hata toleranslı pratik kuantum hesaplama hedeflenmektedir

2. BÖLÜM: BAZI UYGULAMA ALANLARI

2.1. GİRİŞ

Dünyada yapılan Yapay Zekâ çalışmalarının vaatleri incelendiğinde, YZ'nin olası uygulama alanlarının sınırsız olduğu görülmektedir. Bu bölüm, yapay zekânın farklı bazı sektörlerdeki etkisini, seçilmiş bazı uygulama alanları ve bu alanlara ait somut iyi örnekler üzerinden ortaya koymayı amaçlamaktadır. Eğitimden sanayiye, finanstan siber güvenliğe, biyolojiden yazılım dünyasına uzanan geniş bir yelpazede hem küresel ölçekte hem de Türkiye özelinde öne çıkan uygulamalar ile dikkat çeken projeler sunulmaktadır. Böylece her alt başlıkta, ilgili alanın kullanım senaryoları ve başarılı uygulama örnekleri üzerinden yapay zekânın sunduğu imkânlar somut biçimde yansıtılmaktadır.

2.1.1 Türkiye’de Yapay Zekâ Uygulama Alanları

Yapay zekâ (YZ), dijital dönüşümün en güçlü itici unsurlarından biri olarak günümüzün hızla değişen ekonomik ve toplumsal yapısında çok sayıda sektöre stratejik bir hız kazandırmaktadır. Artan veri hacmi, gelişmiş hesaplama gücü ve algoritmik yenilikler sayesinde YZ; sağlık, eğitim, tarım, sanayi, finans, kamu hizmetleri, e-ticaret, hukuk ve kamu politikaları gibi geniş bir uygulama ekosisteminde değer üretmektedir.

Bu teknolojiler yalnızca operasyonel verimliliği artırmakla kalmamakta; aynı zamanda karar destek mekanizmalarını güçlendirmekte, süreçleri otonom hale getirmekte ve kurumların iş modellerini yeniden şekillendirmektedir. Türkiye’nin ulusal yapay zekâ stratejisi ve dijital dönüşüm vizyonu ile birleşen bu çok boyutlu kullanım alanları, gelecekte yeni iş modellerinin, mesleklerin ve toplumsal etkileşim biçimlerinin ortaya çıkmasına zemin hazırlamaktadır. Dolayısıyla yapay zekâ, yalnızca bir teknoloji yatırımı değil; sektörler arası dönüşümü tetikleyen ve ülkenin stratejik kalkınma hedeflerine ivme kazandıran bütüncül bir yenilik paradigması olarak değerlendirilmektedir.

Ülkemizde 2025 yılında girişimler arasında yapay zekâ kullanımı en yüksek oranda bilgi ve iletişim faaliyeti alanındakilerinde gerçekleşmiştir. Bu gruptaki girişimlerin %47,1'i yapay zekâ teknolojilerinden herhangi birini kullandığını beyan etmiştir. Bu faaliyet grubunu sırasıyla finans ve sigorta faaliyeti yürüten girişimler (%21,1) ile bilgisayarların ve iletişim araç ve gereçlerinin onarımı faaliyetini yürüten girişimler (%15,2) takip etmiştir. (TUIK, 2025)

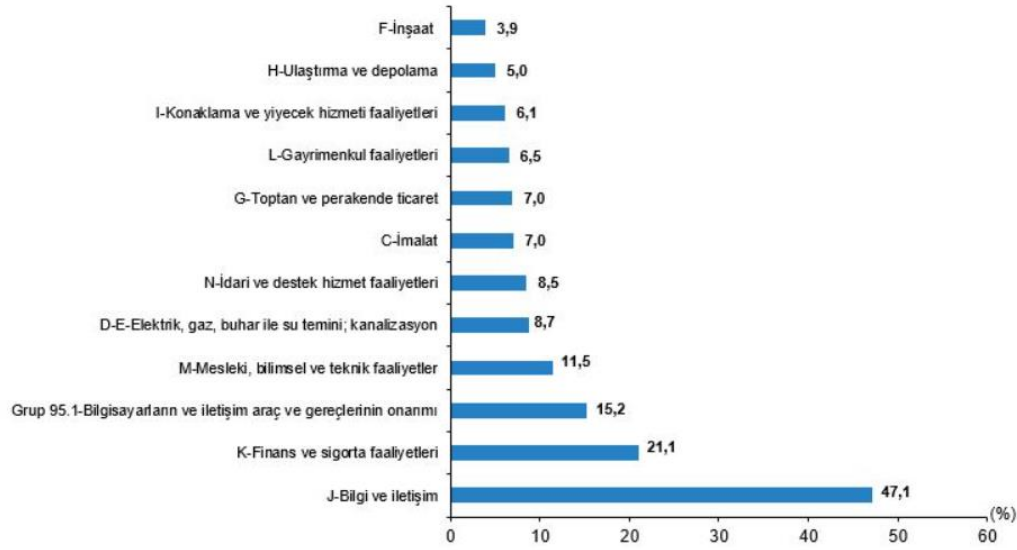
Girişimlerin çalışan sayısı arttıkça yapay zekâ kullanım oranının da yükseldiği görülmüştür.

- 10-49 çalışanı olan girişimler: 2021 yılında bu gruptaki girişimlerin %2,3'ü yapay zekâ kullanırken, bu oran 2025 yılında %6,6'ya yükselmiştir.

- 50-249 çalışanı olan girişimler: 2021'de %3,6 olan yapay zekâ kullanım oranı, 2025'te %9,6 olarak kaydedilmiştir.
- 250 ve üzeri çalışanı olan girişimler: En yüksek kullanım oranı bu grupta görülmüştür. 2021'de %9,6 olan oran, 2025'te %24,1'e ulaşmıştır.

Genel olarak bakıldığında, 10 ve daha fazla çalışanı olan girişimlerde yapay zekâ kullananların oranı 2021 yılında %2,7 iken, 2025 yılında %7,5 olmuştur.

Ekonomik faaliyet grubuna göre yapay zeka kullanan girişimlerin oranı, 2025

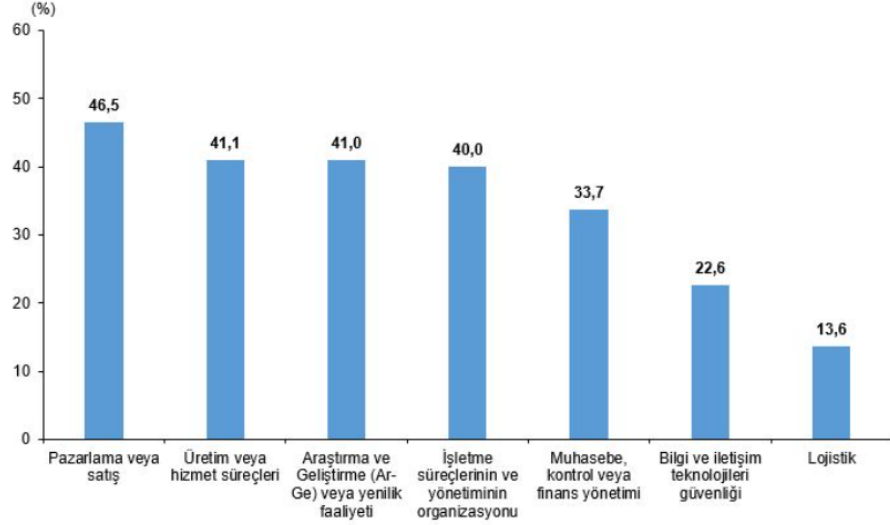


Kaynak: TÜİK, Girişimlerde Bilişim Teknolojileri Kullanım Araştırması, 2025

Şekil 7. Ekonomik Faaliyet Grubuna Göre YZ Kullanan Girişimlerin Oranı, 2025

Yapay zekâ teknolojilerinden herhangi birini kullandığını belirten girişimlerin yapay zekâ kullanım amaçları incelendiğinde; 2025 yılında girişimlerin en fazla %46,5 ile pazarlama veya satış amacıyla yapay zekâ yazılım veya sistemlerini kullandığı tespit edilmiştir. Bunu, %41,1 ile üretim veya hizmet süreçleri amacıyla kullanım, %41,0 ile Araştırma ve Geliştirme (Ar-Ge) veya yenilik faaliyeti amacıyla kullanım ve %40,0 ile işletme süreçleri ve yönetim organizasyonu amacıyla kullanım takip etmektedir. Muhasebe, kontrol ve finans yönetimi amacıyla yapay zekâ kullanımı %33,7, bilgi ve iletişim teknolojileri güvenliği amacıyla yapay zekâ kullanımı %22,6, lojistik faaliyetler amacıyla yapay zekâ kullanımı ise %13,6 olmuştur.

Kullanım amacına göre yapay zeka kullanan girişimlerin oranı, 2025



Kaynak: TÜİK, Girişimlerde Bilişim Teknolojileri Kullanım Araştırması, 2025
Birden fazla seçenek işaretlenebildiği için toplam 100 olmayabilir.

Şekil 8. Kullanım Amacına Göre YZ Kullanan Girişimlerin Oranı, 2025

Yapay zekâ teknolojilerinden herhangi birini kullanmadığını ancak kullanmayı düşündüğünü belirten girişimlerin yapay zekâyı kullanmama nedenleri incelendiğinde; en önemli nedenin %74,2 ile girişimde ilgili uzmanlık eksikliğinin bulunması olduğu görülmüştür. Bunu, %67,4 ile maliyetlerin çok yüksek olması ve %62,4 ile yapay zekâ kullanımından kaynaklanan zarar durumunda sorumluluğun kimde olacağına dair hukuki belirsizlikler gibi hukuki sonuçların net olmaması izlemiştir.

Çalışan sayısı büyüklük grubuna göre girişimlerin yapay zeka kullanmama nedenleri, 2025

Yapay zeka teknolojisi kullanmama nedeni	Çalışan sayısı büyüklük grubu (%)			
	Toplam	10-49	50-249	250+
Girişimde ilgili uzmanlık eksikliğinin bulunması	74,2	76,0	68,8	65,0
Maliyetlerin çok yüksek olması	67,4	67,8	66,2	65,5
Hukuki sonuçların net olmaması	62,4	62,3	62,3	65,0
Veri koruma ve gizliliğin ihlaline ilişkin endişelerin olması	61,8	62,8	56,6	63,4
Mevcut ekipman, yazılım veya sistemlerle uyumsuzluğun olması	61,7	62,1	61,9	56,0
Gerekli verilerin mevcudiyeti veya kalitesi ile ilgili zorlukların bulunması	54,7	55,3	52,1	54,0
Etik faktörler	43,6	44,1	41,6	42,1
Yapay zeka teknolojilerinin girişime yararlı olmaması	16,1	17,2	12,9	10,4

Kaynak: TÜİK, Girişimlerde Bilişim Teknolojileri Kullanım Araştırması, 2025
Birden fazla seçenek işaretlenebildiği için toplam 100 olmayabilir.

Tablo 5. Çalışan Sayısı Büyüklük Grubuna Göre Girişimlerin YZ Kullanma Nedenleri, 2025

2.2. EĞİTİM VE ÖĞRETİMDE YAPAY ZEKÂ

Eğitim ve öğretimde yapay zekâ (YZ), öğrenme süreçlerini dönüştüren ve eğitim sistemlerini daha esnek, veriye dayalı ve öğrenci merkezli hale getiren önemli bir teknolojik gelişim alanıdır. YZ

teknolojileri, öğrencilerin öğrenme davranışlarını analiz ederek bireysel ihtiyaçlara uygun içerikler sunmakta ve öğrenme süreçlerini iyileştirmektedir. Bu sayede eğitim, standartlaştırılmış bir yapıdan çıkarak kişiselleştirilmiş ve dinamik bir yapıya dönüşmektedir (Benzer & Benzer, 2024; Holmes et al., 2019) .

YZ destekli sistemler, yalnızca öğrenme sürecini geliştirmekle kalmayıp aynı zamanda öğretmenlere de önemli destekler sunmaktadır. Öğrenci performansının sürekli izlenmesi, öğrenme analitiğinin uygulanması ve veri temelli karar mekanizmaları sayesinde öğretmenler daha etkili öğretim stratejileri geliştirmektedir (Hwang et al., 2020). Bu bağlamda YZ, öğretmenin yerini alan bir teknoloji değil, öğretim süreçlerini güçlendiren bir araç olarak değerlendirilmektedir.

2.2.1 Kişiselleştirilmiş Öğrenme Deneyimleri

YZ'nin eğitimdeki en önemli katkılarından biri kişiselleştirilmiş öğrenme deneyimlerinin oluşturulmasıdır. Geleneksel eğitim sistemlerinde tüm öğrencilere aynı içerik sunulurken, YZ destekli sistemler öğrencilerin bireysel öğrenme hızlarını, ilgi alanlarını ve performanslarını analiz ederek her öğrenciye özel öğrenme yolları oluşturabilmektedir (Chiu et al., 2023).

Bu sistemler, öğrencinin zorlandığı konuları belirleyerek ek destek sağlamakta, güçlü olduğu alanlarda ise daha ileri düzey içerikler sunarak öğrenme sürecini hızlandırmaktadır. Ayrıca uyarlanmış öğrenme sistemleri, öğrencinin davranışlarını sürekli izleyerek öğrenme sürecini dinamik olarak güncelleyebilmekte ve böylece daha etkili bir öğrenme ortamı sunmaktadır (Hwang, 2014) .

Dünya genelinde bu alanda önemli uygulamalar bulunmaktadır. Örneğin, ABD’de adaptif öğrenme sistemleri, Avrupa’da dijital öğrenme platformları ve Finlandiya’nın “Elements of AI” programı, bireylerin YZ okuryazarlığını artırarak kişiselleştirilmiş öğrenme süreçlerini desteklemektedir (UNESCO, 2024).

2.2.2 Akıllı Öğrenme platformları

Akıllı öğrenme platformları, YZ algoritmaları kullanarak öğrenme süreçlerini analiz eden ve yöneten sistemlerdir. Bu platformlar: otomatik değerlendirme, içerik önerme, öğrenme analitiği ve anlık geri bildirim sağlama gibi özelliklere sahiptir (Ouyang & Jiao, 2021).

Özellikle akıllı öğretim sistemleri (Intelligent Tutoring Systems) ve uyarlanmış öğrenme sistemleri, öğrencilerin ihtiyaçlarına göre içerik sunarak öğrenme sürecini daha etkili hale getirmektedir. Bu sistemler, öğretmenlerin bilgi ve deneyimlerini modelleyerek öğrencilere rehberlik eden dijital öğretmenler gibi çalışabilmektedir (Holmes et al., 2021).

Dünya genelinde kullanılan örnekler arasında;

- *ASSISTments*: Öğrencilere anlık geri bildirim sağlayan ve öğretmenlere veri temelli raporlar sunan bir sistem (Heffernan & Heffernan, 2014)
- *AutoTutor*: Doğal dil işleme ile öğrenciyle etkileşim kuran akıllı öğretim sistemi (Graesser et al., 2004)
- *DreamBox Learning*: Matematik öğretimini oyunlaştırılmış ve adaptif hale getiren platform (Jani et al., 2018)

Bu tür sistemler, öğrenme sürecini sürekli izleyerek öğrencilerin gelişimini desteklemekte ve öğretim sürecini daha verimli hale getirmektedir.

2.2.3 Türkiye’deki Projeler

Türkiye’de YZ destekli eğitim uygulamaları son yıllarda önemli bir gelişim göstermektedir. Bu kapsamda Millî Eğitim Bakanlığı ve çeşitli kurumlar tarafından yürütülen projeler dikkat çekmektedir (MEB, 2024). Millî Eğitim Bakanlığı tarafından geliştirilen “Yapay Zekâ Uygulamaları” dersi, ortaokul düzeyinde öğrencilerin yapay zekâ kavramlarını öğrenmesini, algoritmik düşünme becerilerini geliştirmesini ve etik farkındalık kazanmasını hedeflemektedir.

Ayrıca:

- *Bilim ve Sanat Merkezleri (BİLSEM)* kapsamında düzenlenen yapay zekâ yaz okulları
- *TÜBİTAK Deneyap Atölyeleri* ile uygulamalı YZ eğitimi
- *meb.ai* platformu üzerinden sunulan dijital içerikler

öğrencilerin yapay zekâ alanında bilgi ve beceri kazanmalarını desteklemektedir (TÜBİTAK, 2023).

Yükseköğretim düzeyinde ise Hacettepe Üniversitesi, TOBB ETÜ, İstanbul Teknik Üniversitesi ve Bahçeşehir Üniversitesi gibi kurumlarda açılan yapay zekâ mühendisliği bölümleri, bu alandaki akademik gelişimin unsurları haline gelmiştir.

2.2.4 Yapay Zekâ Okuryazarlığı ve Eğitim

Eğitimde YZ’nin etkin kullanımı, bireylerin YZ okuryazarlığına sahip olmasını gerektirmektedir. YZ okuryazarlığı, veri okuryazarlığı, algoritmik düşünme, etik farkındalık ve eleştirel değerlendirme gibi becerileri kapsamaktadır (Long & Magerko, 2020).

Bu becerilere sahip bireyler, YZ sistemlerini bilinçli bir şekilde kullanabilmekte ve teknolojiyi sorgulayan bir bakış açısı geliştirebilmektedir. Bu durum, öğrencilerin yalnızca teknoloji tüketicisi değil, aynı zamanda teknoloji üreticisi ve yönlendiricisi olmalarını sağlamaktadır.

2.2.5 Gelecek Eğitim Perspektifi

Gelecekte yapay zekânın eğitim sistemlerinde daha yaygın bir şekilde kullanılması beklenmektedir. Özellikle kişiselleştirilmiş öğrenme, öğrenme analitiği, otomatik değerlendirme ve akıllı öğrenme ortamları gibi alanlarda önemli gelişmeler yaşanacaktır (Baker & Siemens, 2014).

Ancak bu süreçte veri gizliliği, etik sorunlar ve öğretmen rolleri gibi konuların dikkatle ele alınması gerekmektedir. Yapay zekânın eğitim sistemlerine dengeli ve bilinçli bir şekilde entegre edilmesi, daha kapsayıcı ve sürdürülebilir bir eğitim ortamı oluşturulmasına katkı sağlayacaktır.

2.3. SANAYİ VE ÜRETİM

Yapay zekâ teknolojileri, dördüncü sanayi devrimiyle birlikte üretim süreçlerinin temel yapı taşlarından biri haline gelmiştir. McKinsey'in küresel anketine göre, son altı yıl boyunca YZ benimseme oranı yaklaşık %50 düzeyinde seyrederken, 2024 yılında bu oran %72'ye yükselmiş, en güncel ankette ise %78'e ulaşmıştır. Üretken yapay zekâ kullanımı 2024 başında %65 iken bu oran %71'e yükselmiştir (McKinsey, 2024; McKinsey, 2025).

IDC verilerine göre 2025 yılında öngörülen 227 milyar USD'lik AI harcamasının %67'sinin çekirdek iş operasyonlarına AI yetenekleri ekleyen kuruluşlardan geleceği ve 2028 yılına kadar AI destekli teknolojilere yapılan dünya çapında harcamanın 749 milyar USD'yi aşacağı öngörülmektedir (IDC, 2024a). 2024'te kuruluşların AI'ya yaklaşık 235 milyar USD harcaması beklenmekte olup bu rakamın 2028'e kadar 630 milyar USD'yi aşması, yıllık bileşik büyüme oranının (CAGR) yaklaşık %30 olması tahmin edilmektedir (IDC, 2024b).

Sanayide YZ uygulamaları, küresel imalat sektörü için stratejik bir dönüşüm aracı olarak konumlanırken Türkiye'de de benimseme süreci başlamış, ancak gelişmiş ekonomilere göre sınırlı kalmıştır. Bu çalışma, beş ana uygulama alanı (tahmine dayalı bakım, dijital ikizler, kalite kontrol, akıllı robotik, üretim planlama) çerçevesinde dünya ve Türkiye karşılaştırmasını sayısal verilerle sunmayı hedeflemektedir.

2.3.1 Küresel Yapay Zekâ Benimseme Oranları

McKinsey'in 2024 anketinde organizasyonların üretken YZ'yı en sık pazarlama ve satış, ürün ve hizmet geliştirme, hizmet operasyonları ve yazılım mühendisliği gibi iş işlevlerinde kullandığı belirlenmiştir (McKinsey, 2024). McKinsey'in 2025 raporunda FAVÖK (EBITA) etkisinin %5 veya

daha fazlasını AI kullanımına atfeden ve “anlamalı” değer gördüğünü belirten yüksek performansa sahip yaklaşık %6’lık bir kesimi oluşturduğu rapor edilmiştir (McKinsey, 2025). Aynı raporda bireysel AI kullanım örneklerinde maliyet faydalarının özellikle yazılım mühendisliği, imalat ve BT alanlarında belirgin olduğu vurgulanmıştır.

2.3.2 Küresel Yapay Zekâ Pazarının İmalat Sanayindeki Görünümü

Yapay zekâ (YZ), günümüz sanayisinin dönüşümünde kritik bir rol üstlenmektedir. Özellikle Endüstri 4.0 paradigmaları ile birlikte imalat süreçleri dijitalleşmekte, gerçek zamanlı veri ve otomasyon sayesinde üretim daha verimli hâle gelmektedir. Bu dönüşüm üretimi sadece otomatikleştirmekle kalmayıp aynı zamanda akıllı ve öğrenebilir sistemlerle dönüştürmektedir. Bu, üretim yaşam döngüsünün her seviyesinde veri analizi, karar verme, tahmine dayalı işlem ve sonuç odaklı iyileştirme anlamına gelmektedir.

İmalat sanayinde YZ pazarı son yıllarda hızlı bir genişleme yaşamaktadır. MarketsandMarkets verilerine göre, küresel imalat sanayi YZ pazarının 2025’teki 34,18 milyar USD değerinden 2030’da 155,04 milyar USD’ye ulaşması beklenmekte ve bu büyüme %35,3 CAGR’a karşılık gelmektedir. Precedence Research’e göre ise küresel imalat YZ pazar büyüklüğü 2025’te 8,57 milyar USD seviyesinden 2035’te yaklaşık 287,27 milyar USD’ye yükselecektir; bu da %42,08 CAGR’a işaret etmektedir.

Asya Pasifik bölgesi, 2024 yılında küresel pazarın yaklaşık %41,8’lik payını oluşturmuştur. Avrupa’da ise 2025 itibarıyla NAM (Ulusal İmalatçılar Birliği) anketine göre üreticilerin %51’i bir biçimde YZ kullandıklarını bildirmiştir; Eurostat verilerine göre YZ en çok pazarlama-satış (%27,11) ve üretim süreçlerinde (%26,23) kullanılmaktadır. McKinsey, makine öğrenmesi uygulayan üreticilerin temel performans göstergelerini iyileştirme olasılığının 3 kat daha yüksek olduğunu bildirmektedir; ankete katılan üreticilerin %72’si YZ araçlarını uygulamaya koyduktan sonra maliyet düşüşü ve operasyonel verimlilik iyileşmesi rapor etmiştir.

2.3.3 Tahmine Dayalı/Önleyici Bakım (Predictive Maintenance)

Tahmine dayalı/ önleyici bakım, ekipman arızalarını meydana gelmeden önce tahmin etmek için veri, analiz ve gerçek zamanlı izleme kullanan, üretimde kritik bir stratejidir. Geleneksel yöntemlerin aksine, varlık sağlığını sürekli olarak değerlendirmek için gelişmiş modeller ve algoritmalar kullanır; bu sayede duruş sürelerini ve bakım maliyetlerini azaltan zamanında müdahaleler sağlanır. Tahmine dayalı bakım, sanayide YZ’nin en somut ekonomik geri dönüşü olan uygulamalarından biri olarak rapor edilmektedir.

Deloitte araştırmasına göre tahmine dayalı bakım, bakım maliyetlerini %40'a kadar azaltabilmekte, ekipman güvenilirliğini %30-50 oranında artırabilmekte ve ekipman duruş süresini %50 oranında azaltabilmektedir (Deloitte, 2024). Deloitte'un sensör tabanlı tahmine dayalı bakımı benimseyen şirketler üzerine yaptığı bir çalışmaya göre, bu şirketler plansız duruş sürelerini %25'e kadar azaltmıştır (Deloitte, 2025a).

Deloitte, bir elektronik bileşen üreticisinin imalat yürütme sistemi (MES) ile malzeme işleme sistemi verilerini birleştirerek geliştirdiği tahmine dayalı algoritmalar sayesinde toplam çıktıyı artırdığını ve kalite hatalarını %33 oranında azalttığını belgelemiştir (Deloitte, 2025b). Deloitte'un 2026 İmalat Sanayi Görünümü raporunda, 2025 Deloitte anketine göre üreticilerin %80'inin iyileştirme bütçelerinin en az beşte birini akıllı imalata, otomasyon donanımına, veri analitiğine ve bulut platformlarına ayırmayı planladığı belirlenmiştir (Deloitte, 2025c).

2.3.4 Dijital İkizler (Digital Twins)

Dijital ikizler, gerçek bir üretim hattının veya ekipmanın dijital kopyasıdır. Fiziksel aygıtlardan toplanan gerçek zamanlı verilerle sürekli güncellenen bu modeller, üretim süreçlerinin sanal bir ortamda simülasyonunu sağlar. Böylece mühendisler, süreçleri optimize etme, potansiyel hataları tespit etme ve sistem davranışlarını önceden test etme imkânına kavuşur. Bu teknoloji, örneğin Alman otomotiv üreticisi BMW'nin sanal fabrikasında olduğu gibi gerçek montaj hattının tam bir dijital kopyasını oluşturmaya kadar uzanır; böylece yeni süreçler simüle edilerek gerçek üretime geçmeden önce hatalar minimize edilir.

Dijital ikizler aynı zamanda bakım süreçlerinde de kullanılır; örneğin sensör verileriyle makinenin ömrü, performansı ve olası arıza senaryoları sürekli analiz edilir. Bu yaklaşım özellikle yüksek hassasiyet gerektiren sektörlerde – havacılık, otomotiv, ilaç üretimi gibi – kritik öneme sahiptir. Gartner'ın 2024 Hype Cycle for Emerging Technologies raporu, üretken AI'nın "Şişirilmiş Beklentiler Zirvesi"ni geride bıraktığını ve odağın yatırım geri dönüşü (ROI) sağlayan kullanım örneklerine kaymakta olduğunu belirtmektedir; bu durum otonom AI'nın hızlanmasını sağlamaktadır (Gartner, 2024a).

Gartner'ın 2024 dijital tedarik zinciri anketinde (419 tedarik zinciri lideriyle), AI (makine öğrenmesi dahil) ve üretken AI'nın en üst dijital tedarik zinciri yatırım önceliği olduğu belirlenmiştir. Bölgesel önceliklerde önemli farklılıklar tespit edilmiş; Batı Avrupa'da AI'ya verilen öncelik, bağlı endüstri hedeflerinin (Endüstri 4.0) korunması nedeniyle daha düşük kalmıştır (Gartner, 2024b). Aynı ankette Batı Avrupa katılımcılarının %14'ü imalat robotları en üst tercihleri olarak belirtirken, Kuzey Amerika respondentlerinin yalnızca %1'i bu seçeneği seçmiştir.

Gartner'ın 2026 Manufacturing Predicts raporuna göre, 2030'a kadar Aracı AI'lar (AI Agents) ve dijital ikizlerin entegrasyonunun fabrikalar ve ürünlerde daha büyük özerklik ve uyarlanabilirlik sağlamasının beklendiği belirtilmektedir; ancak BT maliyetleri çekirdek uygulamalara AI'nın dahil edilmesi nedeniyle artacaktır. 2029'a kadar yazılım tanımlı mekatronik ürünlerin benimsenmesinin pazara çıkış süresini azaltması öngörülmektedir. (Gartner, 2026).

2.3.5 Kalite Kontrol ve Görsel Denetim Sistemleri

Görsel denetim ve kalite kontrol, imalat sanayinde yapay zekânın en olgun ve ölçülebilir geri dönüşü olan uygulama alanlarından biri olarak rapor edilmektedir. Kalite kontrol, üretim süreçlerinin ve çıkan ürünlerin standartlara uygun olmasını sağlamada kritik bir rol üstlenir. Yapay zekânın görüntü işleme ve derin öğrenme algoritmaları, üretim hattında milimetrik hataları bile insan gözünden daha yüksek doğrulukla tespit edebilir. Bu, hem hatalı ürünlerin ayrılmasını hem de üretim maliyetlerinin düşmesini sağlar.

YZ destekli kalite kontrol sistemleri, IoT sensörleri, kameralar ve gerçek zamanlı görüntü analizi ile çalışır. Örneğin bir üretim hattında, ciddi hataları ve yüzey kusurlarını saniyeler içinde tespit eden YZ modelleri yer almaktadır. Bu sayede hem müşteri memnuniyeti artar hem de üretim sonrası iadeler veya garanti maliyetleri azalır. Aşağıda olası durumlara ilişkin bir kaç örnek paylaşılmaktadır.

- Bilgisayarlı destekli bir inceleme sistemi, ürünü görsel kalite sapmaları açısından kontrol eder.
- Çizikler veya çatlaklar gibi işlevsel olmayan kalite sorunlarının tespit edilmesine yardımcı olur ve otomatik olarak yeniden işleme gönderilebilir veya hurda olarak ayrılabilir.

McKinsey araştırmasına göre, AI destekli kalite testlerinin verimliliği %50'ye kadar artırabileceği ve hata tespit oranlarını insan denetimine kıyasla %90'a kadar yükseltildiği tespit edilmiştir (McKinsey, 2024a). McKinsey'in başka bir araştırmasında, AI destekli görsel denetim kullanan üreticilerin hata oranlarını %50'ye kadar düşürebileceği ve verimliliği yaklaşık %30 oranında artırabileceği bildirilmiştir (McKinsey, 2024b). McKinsey'in Lighthouse fabrikalar üzerine yaptığı analizde, Vitro Karo'nun fırınında bilgisayarla görü uygulamasıyla hurda oranını %68 azalttığı belgelenmiştir (McKinsey, 2024c). Aynı raporda Ingersoll'in geçmiş veri kullanan AI talep tahmin modeli ile üç yılda tahmin doğruluğunu %27 artırdığı belirtilmiştir.

Deloitte'un bilgisayarla görü kalite kontrol analizine göre, AI tabanlı sistemler kural tabanlı geleneksel sistemleri belirgin biçimde geride bırakmakta ve %100'e yakın hata tespit oranlarına ulaşmaktadır. Bu sistemler ayrıca gerçek hataları yanlış pozitiflerden ayırt edilebilmektedir (Deloitte, 2025e). TÜİK'in 2025 yapay zekâ istatistikleri raporuna göre, Türkiye'deki imalat sektöründe genel

YZ kullanım oranı %7 düzeyindedir; ancak bilgisayarla görü ve kalite kontrol gibi spesifik uygulamalara ilişkin ayrıştırılmış istatistik kamuya açık veride bulunmamaktadır (TÜİK, 2025).

2.3.6 Üretim Planlama ve Eniyileme

McKinsey'in üretken AI'nın imalat ve tedarik zinciri üzerindeki etkisi raporuna göre, üretken AI sadece imalat ve tedarik zincirinde yarı trilyon doları aşan harcamayı azaltabilecek potansiyele sahiptir. Planlamada üretken AI; çapraz fonksiyonel içgörüler ve niteliksel tüketici algılama analizlerini birleştirerek talep tahminlerini iyileştirebilmekte, tedarik zinciri kesintilerini hafifletmek için en iyi sonraki üretim planlarını önerebilmekte ve envanter sağlığına ilişkin içgörüler sağlayabilmektedir (McKinsey, 2024d).

McKinsey'in dağıtım operasyonları araştırmasına göre, AI'nın operasyonlara entegre edilmesi distribütörler için envanterde %20-30, lojistik maliyetlerinde %5-20 ve tedarik harcamalarında %5-15 oranında düşüş sağlayabilmektedir (McKinsey, 2024e). Aynı çalışmada, AI destekli araçların depo ağlarında ek %7-15 kapasite açığa çıkarabildiği; büyük bir lojistik sağlayıcısının AI ve makine öğrenimi destekli "dijital ikiz" kullanarak yeni gayrimenkul eklemekten depo kapasitesini yaklaşık %10 artırdığı belirtilmektedir.

McKinsey'in tedarik zinciri planlama araştırmasına göre, otonom planlamanın uygulanmasıyla envanter seviyeleri %10-20 oranında azaltılabilmekte; tedarik zinciri maliyetlerinde %5-10 oranında düşüş sağlanabilmektedir (McKinsey, 2022). McKinsey anketinde, katılımcıların %64'ü imalat alanında, %61'i tedarik zinciri planlamasında AI kullanımı ile maliyet düşüşü gördüğünü belirtmiştir. İmalattaki tasarrufların verim, enerji ve verim-çıktı iyileştirmelerinden kaynaklandığı raporlanmıştır (McKinsey, 2020). McKinsey'in 2025 *State of AI* raporuna göre, imalat, yazılım mühendisliği ve BT, bireysel AI kullanım örneklerinde maliyet faydalarının en belirgin görüldüğü alanlardır (McKinsey, 2025).

TÜBİTAK'ın 2024-2025 öncelikli Ar-Ge ve yenilik konularına göre, Yapay Zekâ, İleri Malzeme, Büyük Veri ve Bulut Bilişim, Motor Teknolojileri, Siber Güvenlik ve Biyoteknolojik İlaç alanlarında belirlenen ülkenin önümüzdeki 5-10 yıl içerisindeki teknolojik hedefleri kapsamında kritik ürün/teknolojiler ve öncelikli sektörel uygulamalara dair konular yer almaktadır (TÜBİTAK, 2024c).

2.3.7 Akıllı Robotik ve Otomasyon

YZ, robotik otomasyon sistemlerinin çevreye ve üretim şartlarına adapte olmasını sağlayarak üretim hattında esnekliği artırır. Geleneksel otomasyon, sabit görevler için tasarlanırken YZ ile desteklenen sistemler değişen üretim koşullarına uygun olarak kendi davranışlarını eniyi hâle getirilebilir (optimize edebilir). Bu, özellikle çok ürünlü ve değişken talepli üretim ortamlarında büyük

avantaj sağlar. Bazı ileri üretim tesislerinde robotlar, YZ tabanlı öğrenme algoritmaları ile karmaşık montaj işleri yapabilmekte, hatta insan operatörlerin yaptığı bazı görevleri üstlenmektedir. Böylece hem üretim hızı hem de kalite seviyesi yükselmektedir.

Deloitte'un 2026 Mart tarihli *Physical AI: The Moment of Acceleration* raporuna göre, 2024 yılında 500.000'den fazla endüstriyel robot dağıtılmış, yıllık kurulumların 2028'e kadar 700.000'e ulaşması beklenmektedir. Bilgisayarla görü ve doğal dil arayüzleriyle donatılmış işbirlikçi robotlar (cobotlar) 2024'te yaklaşık 65.000 kurulumla artan bir paya sahiptir. Ayrıca, dünyada üretimde her türden yaklaşık 405 milyon robot bulunmaktadır. Bu rakamın 2035'e kadar 1,3 milyara ulaşması projekte edilmektedir (Deloitte, 2026).

Aynı raporda, firmaların yalnızca %5'i Fiziksel YZ'nin kuruluşlarını dönüştürdüğünü belirtirken, %41'i bunun üç yıl içinde gerçekleşmesini beklemektedir. Sadece %3'lük bir kesim Fiziksel YZ'yı operasyonlarına kapsamlı şekilde entegre etmiş durumdadır; bu rakamın iki yıl içinde %18'e ulaşması öngörülmektedir (Deloitte, 2026). McKinsey'in 2025 teknoloji trendleri raporuna göre, imalatта işbirlikçi robotlar (cobotlar) insan operatörlerle giderek artan bir incelikle yan yana çalışmaktadır. Saha hizmetleri, insanlar için tehlikeli veya uzak ortamlarda mekanik onarım, denetim ve bakım görevlerini gerçekleştirebilen robotlarla dönüştürülmektedir (McKinsey, 2025c).

TÜSİAD'ın PwC Türkiye işbirliğiyle hazırladığı rapor ve TÜBİTAK'ın 2024-2025 öncelikli Ar-Ge konuları, akıllı robotik ve otomasyonu Türkiye'nin teknolojik hedefleri arasında konumlandırmaktadır (TÜSİAD & PwC, 2025; TÜBİTAK, 2024c). TÜİK 2025 verilerine göre, Türkiye'de imalat sektöründe genel YZ kullanım oranı %7 düzeyinde olmakla birlikte robot yoğunluğu ve cobot (işbirlikçi robot) benimseme verileri bu kaynak kapsamında ayrıştırılmamıştır (TÜİK, 2025).

2.3.8 Enerji Yönetimi ve Sürdürülebilirlik

YZ, üretim tesislerinde enerji tüketimini eniyi hâle getirmek (optimize etmek) için de kullanılır. Enerji kullanım verilerini analiz eden algoritmalar, üretim hattının en verimli şekilde çalışacağı zaman dilimlerini belirler. Bu, hem enerji maliyetlerinin düşmesini hem de üretim süreçlerinin daha çevreci bir yaklaşımla yürütülmesini sağlar. Özellikle sürdürülebilir üretim hedefi olan tesislerde YZ, enerji ve su tüketiminden malzeme atıklarına kadar geniş bir çevresel göstergiyi en iyi hâle getirir. Bu da uzun vadede hem ekonomik hem de ekolojik fayda sağlar.

Deloitte'un 2024 imalat sanayi görünüm raporuna göre, federal fonların ve teşviklerin ayrıca net-sıfır emisyon hedefine yönelik genel itki etkisiyle birleşmesi, sanayi ürünleri üreticilerinin elektrifikasyon ve dekarbonizasyon yatırımlarını artırmıştır. Enflasyon Azaltma Yasası (IRA), iklim ve temiz enerji teşvikleri için 270 milyar USD'nin üzerinde finansman sağlamakta; bunun 40 milyar

USD'den fazlası elektrikli araç, batarya ve diğer temiz enerji teknolojilerinin imalatını genişletmek için vergi kredileri olarak ayrılmıştır. IRA'nın Ağustos 2022'de yasalaştığından bu yana ABD'de 125'ten fazla yeni temiz araç ve batarya teknolojisi imalat tesisi duyurulmuştur (Deloitte, 2024b).

Deloitte'un Future of Energy raporuna göre, üretken AI, enerji, kaynaklar ve sanayi (ER&I) sektörünü dönüştürme potansiyeline sahiptir; kaynak çıkarma ve üretim süreçlerinin iyileştirilmesinde operasyonel verimliliğin artırılmasına kadar geniş bir yelpazede uygulamalar bulunmaktadır (Deloitte, 2025f). TÜBİTAK'ın 2024-2025 öncelikli Ar-Ge ve yenilik konuları kapsamında, Türkiye'nin 2053 net sıfır emisyon hedefi ve yeşil kalkınma politikası doğrultusunda "İklim Değişikliği, Çevre ve Biyoçeşitlilik", "Temiz ve Döngüsel Ekonomi", "Temiz Erişilebilir ve Güvenli Enerji Arzı" ile "Yeşil ve Sürdürülebilir Tarım" başlıkları belirlenmiştir (TÜBİTAK, 2024c).

Aynı çalışma kapsamında, Türkiye'nin 2053 net sıfır emisyon hedefi doğrultusunda hazırlanan yol haritası enerji ve kaynak verimliliği yüksek, çevre dostu üretim teknolojilerinin geliştirilmesini amaçlamaktadır. Demir-çelik üretiminde kullanılan yüksek sıcaklık proseslerinde atık ısı geri kazanımı için yenilikçi çözümler araştırılmakta; alüminyum ve çimento sektörleri üretim süreçlerinde düşük karbonlu yakıtların entegrasyonuna odaklanmaktadır (TÜBİTAK, 2024d).

2.3.9 İş Güvenliği Temelli Yapay Zekâ Destekli Video Analizleri

Bilgisayar destekli kamera sistemleri ile anormal durumlar, iş güvenliği açısından riskli güvensiz davranışlar, kişisel koruyucu donanım kullanmama durumlarını hızlıca tespit edilerek, gerekli kayıt, ikaz, önlem koşullarını sağlayan tespit edici çözümler üretilebilmektedir. Yapay zekâ sayesinde anormal ve riskli durumların modellerle eğitilmesi ve uyarı sistemlerinin kurgulanması ile ramak kala durumlara müdahale veya uygunsuz durumların hızlıca raporlanabilmesi sağlanabilmektedir.

McKinsey'in 2025 *AI in the Workplace* raporuna göre, AI giderek daha az riskli hale gelmektedir, ancak hâlâ daha fazla şeffaflık ve açıklanabilirlik gerekmektedir. Bunlar her ikisi de AI güvenliğini iyileştirmek ve önyargı potansiyelini azaltmak için kritik öneme sahiptir; bu da geniş çaplı kurumsal kullanım için zorunlu bir gerekliliktir (McKinsey, 2025g).

İncelenen TÜİK, TÜSİAD ve TÜBİTAK kaynaklarında, Türkiye'de iş güvenliği temelli yapay zekâ destekli video analizlerine ilişkin spesifik nicel veri bulunamamıştır. TÜİK'in 2025 yapay zekâ istatistikleri raporu, YZ'nin çeşitli iş fonksiyonlarındaki kullanım oranlarını içermekle birlikte iş güvenliği özelinde ayrıştırılmış bir kategori sunmamaktadır (TÜİK, 2025). Bu alan, Türkiye için literatür boşluğu olarak değerlendirilebilir ve bulunamayan bilgi olarak rapora yansıtılmıştır.

2.4. FİNANS VE BANKACILIK

Finans sektöründe YZ, pazarlama, satış, ürün yönetimi, dolandırıcılık tespiti, risk analizi ve müşteri hizmetleri alanlarında kullanılmaktadır. Kredi skorlamada yapay zekâ algoritmaları, daha doğru değerlendirmeler yapılmasına olanak tanımaktadır. Türkiye’de bankalar, chatbot sistemleri ve yapay zekâ tabanlı müşteri ilişkileri çözümleri geliştirmektedir.

Yapay Zekâ (YZ), bankacılık sektörünü benzeri görülmemiş bir hızla yeniden şekillendirmektedir. YZ teknolojileri daha gelişmiş ve erişilebilir hale geldikçe, bankalar YZ’nin yalnızca bir yenilik aracı olmadığını, aynı zamanda büyüme, verimlilik ve müşteri memnuniyetinin temel itici gücü olduğunu keşfetmektedir. McKinsey’e göre, müşteri deneyiminde devrim yaratmaktan operasyonel verimliliği ve risk yönetimini iyileştirmeye kadar, yapay zekâ 2030 yılına kadar küresel bankacılık sektöründe yıllık 1 trilyon dolardan fazla değer yaratma potansiyeli taşımaktadır..

Deloitte anketine göre finansal hizmetler yöneticilerinin %86’sı yapay zekânın önümüzdeki iki yıl içinde iş başarıları için kritik öneme sahip olacağına inanmaktadır. Yapay zekânın üretkenlikte %20-25 oranında artış sağlaması beklenmekte ve bu da onu bankalar için ileri görüşlü bir stratejinin vazgeçilmez bir unsuru haline getirmektedir.

JP Morgan Chase, yapay zekâ destekli asistanı COiN’i (Sözleşme İstihbarat Sistemi) devreye sokarak hukuki çalışmalarını yılda 360.000 saat azaltmış, maliyetleri düşürmüş ve verimlilik artışı sağlamıştır. Bu örnek, yapay zekânın bankacılıktaki temel faydalarından biri olan operasyonel verimliliği artırmasını vurgulamakla birlikte, aynı zamanda rekabet gücünü artırma potansiyelini de ortaya koymaktadır.

Doğal Dil İşleme (NLP), bankalar ile müşterileri arasındaki iletişimini köklü biçimde dönüştürmektedir. NLP, sesle etkinleştirilen bankacılık yardımından yapay zekâ sohbet robotlarına kadar her şeyi destekleyerek gerçek zamanlı, kesintisiz etkileşimleri mümkün kılmaktadır. Örneğin, ülkemizdeki önemli bankalar da NLP teknolojisini kullanarak müşterilerle etkili bir şekilde etkileşime geçmekte ve bireysel ihtiyaçlara göre özelleştirilmiş finansal tavsiyeler sunmaktadır. Bu yetenek, yalnızca müşteri memnuniyetini artırmakla kalmamakta, aynı zamanda geleneksel müşteri hizmetleriyle ilişkili operasyonel maliyetleri de azaltmaktadır

2.4.1 Finans Sektöründe Kullanılan YZ Uygulamaları

2026 itibarıyla bankacılıkta yapay zekâ (YZ), müşteri deneyiminden operasyonel verimliliğe kadar çok sayıda alanda köklü değişimler getirmektedir. YZ, müşteri verilerini analiz edip kişiye özel ürün önerileri sunarak ve duygusal analizle empatik yanıtlar vererek müşteri etkileşimini

güçlendirmektedir. Örneğin Garanti BBVA'nın mobil bankacılık uygulamasındaki akıllı asistan Ugi, hesap işlemleri ve para transferleri gibi işlemleri doğal konuşmayla gerçekleştirmektedir. Akbank'ın Akbank Asistanı ise 7/24 bankacılık işlemlerini hızlı ve pratik şekilde yanıtlayarak kullanıcı dostu bir deneyim sağlamaktadır. Türkiye İş Bankası'nın İşCep mobil uygulamasındaki Maxi Asistanım, üretken YZ ile geliştirilmiş bir danışman olarak, müşterilerin doğal diyalog kurarak bankacılık işlemleri yapmalarına yardımcı olmaktadır. Bu örnekler, YZ ile müşteri ihtiyaçlarının hızlı ve kişiselleştirilmiş biçimde karşılanabildiğini, memnuniyetin arttığını göstermektedir.

YZ'nin operasyonel verimlilik ve otomasyon sağladığı bir diğer alan da risk değerlendirme ve belge işleme süreçleridir. Büyük veri ve makine öğrenmesi, kredi risk analizinde yüzlerce faktörü aynı anda işleyerek karar süresini kısaltmaktadır. Bankalar YZ ile doküman otomasyonu yaparak maliyetlerini ciddi oranda düşürmektedir.

Kara para aklama, dolandırıcılık ve siber suçlar, bankalara her yıl milyarlarca dolarlık maliyet oluşturmaktadır. Mali suçların giderek daha karmaşık hâle gelmesi, gelişmiş yapay zekâ destekli risk yönetimi araçlarına duyulan ihtiyacın her zamankinden daha yüksek olduğu anlamına gelmektedir. Yapay zekâ, bankaların düzenleyici süreçleri otomatikleştirmesine, dolandırıcılık işlemlerini gerçek zamanlı olarak tespit etmesine ve ulusal ile uluslararası düzenlemelere uyumu daha verimli şekilde sağlamasına olanak tanımaktadır. Finansal düzenlemelerin daha sıkı hâle gelmesi ve finansal suçların çeşitlenmesiyle birlikte, bu zorlukların aşılmasında yapay zekânın kilit rol oynayacağı değerlendirilmektedir. Yapay zekâ destekli dolandırıcılık tespit sistemleri, aynı anda çok sayıda işlemde anormallikleri tespit edebilmektedir. Örneğin anormal işlem puanlamasında YZ kullanımı, insan incelemesine kıyasla daha kapsamlı ve doğru tespit olanağı sağlamaktadır. Ayrıca yapay zekâ ve biyometrik sistemler (ses veya yüz tanıma) dolandırıcılığı azaltmakta ve banka işlemlerinde 7/24 güvenlik desteği sunmaktadır. Yapay zekâ, çok sayıda faktörü eş zamanlı değerlendirerek yüksek doğrulukta risk skorları oluşturmakta ve şüpheli işlemleri anında raporlayabilmektedir. Bankaların YZ destekli Kara Para Aklama (AML) sistemleri uyum süreçlerinde verimliliği artırırken hata ve gecikmeleri azaltmaktadır.

YZ, bankaların rekabet avantajı elde etmesinde de kritik rol oynamaktadır. Hedefli pazarlama kampanyalarında yapay zekâ analizleri kullanmak müşteri kazanımını artırmaktadır. YZ ayrıca yeni gelir kaynakları yaratmada, müşteriye doğru ürünü doğru zamanda sunmada yardımcı olmaktadır. Böylece müşteri bağlılığı artmakta ve çapraz satış olasılıkları çoğalmaktadır.

YZ aynı zamanda varlık yönetimi ve yatırım danışmanlığı alanında yeniliklere yol açmaktadır. Müşteri davranışları ve risk profillerine göre kişiselleştirilmiş portföy yönetimi mümkün hale

gelmektedir. Morgan Stanley gibi büyük finans kuruluşları YZ destekli “Next Best Action” sistemleriyle portföy tavsiyelerini otomatikleştirmektedir. Robo-danışman platformlar (Betterment, Wealthfront) da düşük maliyetli yatırım yönetimi sunarak geniş bir kullanıcı kitlesine ölçeklenebilir çözümler sağlamaktadır. Ayrıca yapay zekâ, ESG analizi, stres testleri ve blokzincir entegrasyonu gibi yeniliklerle portföy analizlerini zenginleştirmektedir.

YZ, kişisel finans yönetimi, gelir-gider takibi, harcama alışkanlıklarının analizi ve tasarruf önerileri sunan dijital asistan ve uygulamalarda kullanılabilir. Örneğin ülkemizdeki önemli bankalar, kullanıcıların bütçe harcamalarını analiz eden ve tasarruf planları öneren YZ destekli asistanlar geliştirmektedir. Bu asistanlar günü boyunca harcamaları otomatik sınıflandırır ve proaktif bildirimlerle finansal farkındalık kazandırır.

Robo-danışmanlar ve yapay zekâ destekli yatırım platformları, piyasa verilerini analiz ederek yatırım önerileri sunmakta, portföy performansını optimize etmekte ve risk analizleri yapmaktadır.

YZ algoritmaları, büyük piyasa verilerini işleyerek kripto para ve hisse senedi piyasaları için otomatik alım-satım stratejileri ve işlem sinyalleri üretebilmektedir. Bu uygulamalar, veri odaklı, düşük gecikmeli işlem yapmaya imkan sağlamaktadır.

2.5. SİBER GÜVENLİK

Dijital dönüşümün hızlanması, saldırı yüzeyinin genişlemesi ve tehditlerin karmaşılaşması, geleneksel güvenlik yaklaşımlarını yetersiz kılmaktadır. Yapay zekâ (YZ), özellikle makine öğrenmesi (ML) ve derin öğrenme (DL) teknikleri sayesinde büyük hacimli log verilerini analiz ederek anomali tespiti, tehdit avcılığı ve otomatik müdahale süreçlerinde kritik rol oynamaktadır.

2.5.1 Anomali Tespiti

Anomali tespiti, siber güvenlikte normal sistem ve kullanıcı davranışlarından sapmaların belirlenmesi sürecini ifade etmektedir. Geleneksel imza tabanlı güvenlik sistemleri yalnızca bilinen tehditleri tespit edebilirken, yapay zekâ destekli anomali tespit sistemleri daha önce karşılaşılmamış saldırıları da algılayabilmektedir (Hozouri et al., 2025). Bu durum, özellikle sıfır gün (zero-day) saldırıları ve gelişmiş kalıcı tehditler (Advanced Persistent Threats – APT) gibi karmaşık siber saldırılara karşı proaktif bir savunma mekanizması oluşturulmasını mümkün kılmaktadır.

YZ tabanlı anomali tespit sistemleri temel olarak üç farklı anomali türünü tanımlayabilmektedir: nokta anomalileri (tek bir veri noktasındaki sapma), bağlamsal anomaliler (belirli bir kontekst içinde anormal kabul edilen davranışlar) ve toplu anomaliler (bir veri kümesinin bütüncül olarak anormal davranış sergilemesi). Bu sistemler, denetimli ve denetimsiz öğrenme

yöntemlerini birleştiren hibrit modeller kullanarak şifreli ağ trafiğinde bile davranışsal ve istatistiksel örüntüleri çözümleyebilmektedir. (Muneer et al., 2024).

Kullanıcı ve Varlık Davranış Analitiği (User and Entity Behavior Analytics – UEBA) çözümleri, bu alandaki en önemli uygulama örneklerinden birini oluşturmaktadır. UEBA sistemleri, makine öğrenmesi algoritmaları aracılığıyla kullanıcıların normal davranış profillerini oluşturmakta ve bu profillerden sapmaları gerçek zamanlı olarak tespit edebilmektedir. Örneğin, bir kullanıcının normal çalışma saatleri dışında hassas verilere erişmeye çalışması veya alışılmadık konumlardan bağlantı kurması, potansiyel bir güvenlik ihlalinin işareti olarak değerlendirilmektedir.

Güncel araştırmalar, yapay zekâ destekli güvenlik çözümlerinin tehdit tespit süresini ortalama 145 dakikadan 2 dakikanın altına indirebildiğini göstermektedir (IBM, 2023). Ayrıca birleşik öğrenme (federated learning) yaklaşımı sayesinde kurumlar verilerini merkezi bir noktaya aktarmadan ortak model eğitimi yapabilmekte; bu durum hem veri gizliliğini korumakta hem de tehdit istihbaratının daha geniş bir ekosistemde paylaşılmasına olanak tanımaktadır. Sürekli öğrenme (lifelong learning) kabiliyeti ise modellerin kavram kayması (concept drift) etkilerini azaltarak yeni saldırı biçimlerine uyum sağlamasına yardımcı olmaktadır.

2.5.2 Saldırı Tespiti (IDS/IPS)

Saldırı Tespit Sistemleri (Intrusion Detection Systems – IDS) ve Saldırı Önleme Sistemleri (Intrusion Prevention Systems – IPS), ağ trafiğini ve sistem günlüklerini izleyerek kötü niyetli aktiviteleri belirleyen ve bunlara karşı önlem alan kritik siber güvenlik bileşenleridir. Yapay zekâ ve makine öğrenmesi tekniklerinin bu sistemlere entegrasyonu, tespit doğruluğunu ve hızını önemli ölçüde artırmıştır (Hozouri et al., 2025; Muneer et al., 2024).

Geleneksel IDS/IPS sistemleri, önceden tanımlanmış kurallara ve imza veritabanlarına dayalı çalışırken, YZ destekli yeni nesil sistemler ağ trafiğindeki karmaşık örüntüleri öğrenebilmekte ve daha önce görülmemiş saldırı vektörlerini de tespit edebilmektedir. Bu kapsamda kullanılan başlıca makine öğrenmesi algoritmaları arasında destek vektör makineleri (SVM), rastgele ormanlar (Random Forest), karar ağaçları (Decision Tree), derin sinir ağları (DNN) ve evrişimli sinir ağları (CNN) yer almaktadır (Das et al., 2021).

Literatürde gerçekleştirilen kapsamlı çalışmalar, makine öğrenmesi tabanlı IDS sistemlerinin %99,3'e varan tespit doğruluğuna ulaşabildiğini ve yanlış alarm oranlarını %0,5 düzeyine düşürebildiğini ortaya koymaktadır (Das et al., 2021). Özellikle NSL-KDD, UNSW-NB15 ve CICIDS2017 gibi referans veri setleri üzerinde yapılan deneysel çalışmalar, ensemble öğrenme

yöntemlerinin tek başına kullanılan algoritmalara kıyasla daha yüksek performans gösterdiğini göstermektedir.

Açıklanabilir Yapay Zekâ (Explainable AI – XAI) yaklaşımları da IDS alanında giderek daha fazla önem kazanmaktadır. SHAP (SHapley Additive exPlanations) ve LIME (Local Interpretable Model-agnostic Explanations) gibi teknikler, güvenlik analistlerinin yapay zekâ tarafından üretilen uyarıların nedenlerini anlamalarına yardımcı olmaktadır (Arreche et al., 2024). Bu durum, güvenlik operasyon merkezlerinde (SOC) karar verme süreçlerinin daha şeffaf ve güvenilir hale gelmesine katkı sağlamaktadır.

Derin öğrenme tabanlı IDS sistemleri de özellikle IoT (Nesnelerin İnterneti) ağlarının güvenliğinde kritik bir rol oynamaktadır. Bu sistemler, veri toplama, log depolama, log ayrıştırma, graf özetleme, saldırı tespiti ve saldırı soruşturması gibi aşamaların tamamında derin öğrenme tekniklerinden yararlanmaktadır (Li et al., 2024).

2.5.3 Tehdit İstihbaratı Korelasyonu

Tehdit istihbaratı korelasyonu, farklı kaynaklardan elde edilen güvenlik verilerinin birleştirilmesi, analiz edilmesi ve anlamlı tehdit senaryolarına dönüştürülmesi sürecini ifade etmektedir. Yapay zekâ, bu süreçte büyük hacimli ve heterojen veri kaynaklarını gerçek zamanlı olarak analiz ederek güvenlik ekiplerine bütüncül bir tehdit görünürlüğü sunmaktadır.

Modern siber güvenlik ekosisteminde kurumlar onlarca farklı güvenlik aracı kullanmaktadır. Genişletilmiş Tespit ve Müdahale (Extended Detection and Response – XDR) platformları, uç nokta, ağ, bulut iş yükleri, e-posta sistemleri, kimlik sağlayıcıları ve uygulamalardan gelen telemetri verilerini birleştirerek çoklu alan saldırı örüntülerini ortaya çıkarmaktadır. Örneğin, bir saldırganın kimlik bilgilerini ele geçirmesi, ağda yanal hareket gerçekleştirmesi ve veri sızıntısı denemesi gibi birbirinden bağımsız görünen olaylar, YZ tarafından saniyeler içinde tutarlı bir olay zaman çizelgesine dönüştürülebilmektedir. Bu korelasyon, manuel analizin saatler veya günler süreceği bir süreçtir (Clearnetwork, 2025).

Güvenlik Orkestrasyonu, Otomasyon ve Müdahale (Security Orchestration, Automation and Response – SOAR) platformları, yapay zekâ destekli tehdit istihbaratı korelasyonunun operasyonel boyutunu oluşturmaktadır. SOAR platformları, önceden tanımlanmış eylem planlarını (playbooks) belirli koşullar gerçekleştiğinde otomatik olarak çalıştırarak tehdit müdahale süresini önemli ölçüde kısaltmaktadır. Otomatik müdahale sistemleri, fidye yazılımı göstergeleri tespit edildiğinde ilgili cihazı saniyeler içinde ağdan izole edebilmekte veya şüpheli kimlik doğrulama girişimlerinde hesapları geçici olarak devre dışı bırakabilmektedir.

Güvenlik Bilgi ve Olay Yönetimi (Security Information and Event Management – SIEM) platformları da yapay zekâyı giderek daha fazla entegre etmektedir. YZ destekli SIEM sistemleri, farklı kaynaklardan gelen olayları korelasyon indexleri aracılığıyla analiz ederek yanlış pozitif oranlarını azaltmakta ve karmaşık saldırı zincirlerini tespit edebilmektedir. Araştırmalara göre, güvenlik analistleri zamanlarının yaklaşık %25'ini yanlış alarmları araştırmaya harcamakta olup, YZ destekli sistemler bu oranı önemli ölçüde düşürmektedir (Forrester Research, 2024).

2025 yılı itibarıyla yapay zekâ destekli siber saldırılar %72 oranında artış göstermiş, yapay zekâ ile oluşturulan oltalama (phishing) e-postalarının tıklanma oranı %54'e ulaşırken geleneksel oltalama kampanyalarında bu oran %12 düzeyinde kalmıştır. YZ siber güvenlik pazarının 2025'te 28,51 milyar dolar düzeyinden 2032'ye kadar %24,81 bileşik yıllık büyüme oranıyla 136,18 milyar dolara ulaşması öngörülmektedir. Bu veriler, yapay zekânın hem saldırı hem de savunma tarafında siber güvenlik alanını köklü bir şekilde dönüştürdüğünü açıkça ortaya koymaktadır.

2.6. BİYOLOJİDE YAPAY ZEKÂ UYGULAMALARI

Yapay zekâ, biyoloji ve yaşam bilimleri alanında veri yoğun süreçlerin analiz edilmesinde kritik bir rol oynamaktadır. Genomik veri analizi, protein yapı tahmini ve ilaç keşfi gibi alanlarda yapay zekâ, bilimsel araştırmaları hızlandırmaktadır (Esteva et al., 2019). Özellikle büyük veri (big data) ve gelişmiş hesaplama tekniklerinin yaygınlaşmasıyla birlikte, biyolojik verilerin işlenmesi ve anlamlandırılması sürecinde yapay zekâ vazgeçilmez bir araç haline gelmiştir.

Bu bağlamda, biyoloji, matematik ve bilgisayar bilimlerinin kesişiminde yer alan disiplinlerarası çalışmaların önemi giderek artmaktadır. Özellikle biyomatematik ve yapay zekâ tekniklerinin birlikte kullanılması, karmaşık biyolojik sistemlerin modellenmesi ve analiz edilmesinde önemli avantajlar sağlamaktadır. Yapay zekâ, yalnızca veri analizi yapmakla kalmayıp, aynı zamanda tahmin, sınıflandırma ve örüntü çıkarımı gibi süreçlerde de etkin rol oynamaktadır (Benzer ve Benzer, 2023).

2.6.1 Protein Yapı Tahmini

Protein yapı tahmini, biyolojide uzun yıllardır çözülmesi zor bir problem olarak kabul edilmektedir. Proteinlerin üç boyutlu yapılarının belirlenmesi, biyolojik işlevlerinin anlaşılması açısından kritik öneme sahiptir. Geleneksel yöntemler (örneğin X-ray kristalografisi) hem zaman alıcı hem de maliyetlidir.

Bu alanda AlphaFold önemli bir atılım gerçekleştirmiştir. Derin öğrenme teknikleri kullanarak protein yapılarını yüksek doğrulukla tahmin eden bu sistem, biyolojik araştırmaların hızlanmasına katkı sağlamış ve ilaç keşfi süreçlerini önemli ölçüde etkilemiştir (Jumper et al., 2021).

Ayrıca literatürde, protein ve biyolojik dizilerin sınıflandırılması ve analiz edilmesi için derin öğrenme tabanlı yöntemlerin yaygın olarak kullanıldığı belirtilmektedir. Bu yöntemler, biyolojik verilerdeki karmaşık ilişkilerin ortaya çıkarılmasını mümkün kılmaktadır (Benzer ve Benzer, 2023).

2.6.2 Tıbbi Görüntüleme ve Hastalık Teşhisi

Yapay zekâ, tıbbi görüntüleme alanında hastalıkların erken teşhisinde önemli bir rol oynamaktadır. Derin öğrenme algoritmaları, MR, CT ve röntgen görüntülerini analiz ederek tümör, lezyon ve diğer anormallikleri yüksek doğrulukla tespit edebilmektedir.

Bu sistemler, radyologlara karar destek sağlayarak teşhis süreçlerinin daha hızlı ve güvenilir hale gelmesine katkı sunmaktadır (Litjens et al., 2017). Nitekim yapılan çalışmalar, deri kanseri, akciğer nodülleri ve meme kanseri gibi hastalıkların sınıflandırılmasında derin öğrenme yöntemlerinin yüksek başarı oranlarına ulaştığını göstermektedir.

Ayrıca, derin öğrenme algoritmalarının görüntü sınıflandırma, nesne tespiti ve segmentasyon gibi görevlerde geniş bir uygulama alanına sahip olduğu ve bu yöntemlerin sağlık alanında kritik teşhis süreçlerini desteklediği ifade edilmektedir (Benzer ve Benzer, 2023).

2.6.3 İlaç Keşfi ve Geliştirme Süreçleri

Yeni ilaçların keşfi, uzun ve maliyetli bir süreçtir. Yapay zekâ, bu süreci hızlandırarak potansiyel moleküllerin daha hızlı analiz edilmesini sağlamaktadır. Geleneksel ilaç geliştirme süreçleri yıllar sürebilirken, yapay zekâ destekli sistemler bu süreyi önemli ölçüde azaltabilmektedir.

Örneğin, Insilico Medicine yapay zekâ kullanarak yeni ilaç adayları geliştirmekte ve klinik süreçleri optimize etmektedir (Zhavoronkov et al., 2019). Bunun yanı sıra, yapay zekâ teknikleri genetik verilerin analizi ile kişiselleştirilmiş tedavi yöntemlerinin geliştirilmesine de katkı sağlamaktadır.

İnsan genom projesi sonrası elde edilen büyük veri setlerinin yapay zekâ ile analiz edilmesi, modern tıpta önemli bir dönüşüm yaratmış ve kişiselleştirilmiş tıp uygulamalarının gelişmesine zemin hazırlamıştır (Benzer ve Benzer, 2023).

2.6.4 Genomik ve Biyoinformatik Analiz

Yapay zekâ, genom verilerinin analiz edilmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Genetik varyasyonların analiz edilmesi, hastalık risklerinin belirlenmesi ve kişiselleştirilmiş tedavi yöntemlerinin geliştirilmesi açısından büyük önem taşımaktadır. Makine öğrenmesi algoritmaları, büyük genomik veri setlerinden anlamlı örüntüler çıkararak biyolojik süreçlerin daha iyi anlaşılmasını sağlamaktadır.

Bu süreçte, yapay sinir ağları ve derin öğrenme teknikleri, genetik verilerdeki karmaşık ilişkileri modellemek için yaygın olarak kullanılmaktadır. Ayrıca biyolojik sistemlerin modellenmesi, sinir hücrelerinin simülasyonu ve gen haritalarının oluşturulması gibi çalışmalar da yapay zekâ ve matematiksel modelleme tekniklerinin birlikte kullanılmasıyla gerçekleştirilmektedir (Benzer ve Benzer, 2023).

2.6.5 Salgın Hastalıkların Modellemesi

Yapay zekâ, salgın hastalıkların yayılımını tahmin etmek ve kontrol stratejileri geliştirmek için de kullanılmaktadır. Özellikle COVID-19 sürecinde geliştirilen yapay zekâ modelleri, hastalığın yayılım hızını, risk faktörlerini ve olası senaryoları analiz ederek sağlık politikalarının oluşturulmasına katkı sağlamıştır (Whitelaw et al., 2020).

Büyük veri analitiği ve makine öğrenmesi teknikleri sayesinde, hastalıkların yayılımı daha doğru bir şekilde modellenebilmekte ve erken müdahale stratejileri geliştirilebilmektedir. Bu durum, yapay zekânın yalnızca bilimsel araştırmalarda değil, aynı zamanda toplum sağlığını koruma süreçlerinde de kritik bir rol oynadığını göstermektedir.

2.6.6 Yapay Zekâ Destekli Güncel Uygulamalar ve Deneysel Çalışmalar

Yapay zekânın biyolojik bilimlerdeki uygulamaları yalnızca teorik modellerle sınırlı kalmayıp, deneysel çalışmalar ve uygulamalı araştırmalar aracılığıyla da önemli ölçüde gelişmektedir. Özellikle sucul ekosistemler ve biyolojik organizmalar üzerinde gerçekleştirilen çalışmalar, yapay zekâ tekniklerinin sınıflandırma, tahmin ve analiz süreçlerindeki etkinliğini ortaya koymaktadır (Benzer et al., 2022).

Bu bağlamda gerçekleştirilen çalışmalarda, makine öğrenmesi ve derin öğrenme teknikleri kullanılarak biyolojik verilerin analizi ve yorumlanması hedeflenmiştir. Örneğin, tatlı su midyeleri (*Unio delicatus*) üzerinde yapılan bir çalışmada, pestisit maruziyetine bağlı olarak oluşan oksidatif stresin biyobelirteç temelli analizi gerçekleştirilmiş ve bu süreçte biyolojik sistemlerin çevresel

streslere verdiği tepkiler değerlendirilmiştir (Benzer et al., 2023). Bu tür çalışmalar, yapay zekâ destekli analizlerin ekotoksikoloji alanında önemli bir araç haline geldiğini göstermektedir.

Bunun yanı sıra, sucul canlılar üzerinde gerçekleştirilen diğer çalışmalarda yapay zekâ tekniklerinin sınıflandırma problemlerindeki başarısı incelenmiştir. Özellikle kerevit türleri üzerinde yapılan araştırmalarda, cinsiyet belirleme ve hastalık tespiti gibi biyolojik problemlerin çözümünde ileri düzey makine öğrenmesi yöntemleri kullanılmıştır. Kolmogorov-Arnold ağları ve stacked autoencoder gibi modern yaklaşımlar kullanılarak gerçekleştirilen çalışmalarda, biyolojik verilerin daha doğru ve güvenilir şekilde sınıflandırılabilirdiği gösterilmiştir (Benzer et al., 2024a).

Ayrıca, derin öğrenme ve klasik makine öğrenmesi yöntemlerinin karşılaştırıldığı çalışmalarda, farklı algoritmaların biyolojik veri üzerindeki performansları analiz edilmiş ve bu yöntemlerin avantaj ve sınırlılıkları ortaya konmuştur (Benzer et al., 2024b). Destek vektör makineleri (SVM) üzerinde farklı çekirdek fonksiyonlarının (polynomial, radial basis ve Pearson VII) kullanıldığı çalışmalar, biyolojik sınıflandırma problemlerinde algoritma seçiminin performans üzerindeki etkisini açıkça göstermektedir (Benzer et al., 2022).

Bu çalışmalar, yapay zekâ tekniklerinin biyolojik bilimlerde yalnızca veri analizi değil, aynı zamanda karar destek, sınıflandırma ve tahmin süreçlerinde de etkin bir şekilde kullanılabileceğini ortaya koymaktadır. Ayrıca, Ankara University Artificial Intelligence Center bünyesinde yürütülen çalışmalar, özellikle mantar ve biyolojik sistemler üzerine geliştirilen yapay zekâ uygulamalarının, gelecekte biyoteknoloji ve çevre bilimleri alanlarında daha geniş kullanım alanı bulabileceğini göstermektedir.

2.7. YAZILIM VE BİLGİ TEKNOLOJİLERİ SEKTÖRÜNDE YAPAY ZEKÂ

Yapay zekâ, yazılım geliştirme ve bilgi teknolojileri (BT) operasyonlarını kökten dönüştüren bir teknolojik paradigma olarak öne çıkmaktadır. Kod yazımından test süreçlerine, dağıtımdan altyapı yönetimine kadar yazılım yaşam döngüsünün her aşamasında yapay zekâ destekli araçlar ve yöntemler yaygınlaşmaktadır. McKinsey'in 2024 raporuna göre işletmelerin %65'i en az bir iş biriminde düzenli olarak üretken yapay zekâ teknolojilerini kullanmakta olup, bu oran bir önceki yıla kıyasla neredeyse iki katlık bir artışa karşılık gelmektedir.

2.7.1 Yapay Zekâ Destekli Yazılım Geliştirme ve Kod Üretimi

Yapay zekâ destekli kodlama araçları, 2025 itibarıyla yazılım mühendislerinin vazgeçilmez yardımcıları haline gelmiştir. Bu araçlar, büyük dil modelleri (Large Language Models – LLM) ve derin öğrenme algoritmaları kullanarak geliştiricilere gerçek zamanlı kod tamamlama önerileri

sunmakta, tekrarlayan görevleri otomatikleştirmekte ve hata ayıklama süreçlerini hızlandırmaktadır (Fan et al., 2023).

Yapay zekâ destekli yazılım geliştirme, yalnızca kod tamamlamayla sınırlı kalmayıp daha otonom bir yapıya doğru evrilmektedir. Yapay Zekâ Aracıları (AI Agents), bir projenin planlanmasından kodlanmasına ve test edilmesine kadar birçok aşamada karar alabilme yeteneğine doğru ilerlemektedir. Bu bağlamda “YZ-öncelikli” (“AI-first”) programlama yaklaşımı ortaya çıkmış olup, geliştiriciler bir uygulamanın ne yapması gerektiğini yüksek seviyede tanımlamakta ve yapay zekâ bu tanımlı çalışır durumdaki uygulamaya dönüştürebilmektedir. Özellikle kodsuz/düşük kodlu (no-code/low-code) platformlar, üretken yapay zekâyı entegre ederek doğal dil girdisinden otomatik uygulama oluşturma kabiliyeti kazanmıştır (Wu, 2025).

Bununla birlikte, yapay zekâ tarafından üretilen kodun güvenilirliği önemli bir tartışma konusudur. Araştırmalar, geliştiricilerin yapay zekâ çıktılarını her zaman yeterince doğrulamadığını ve bu durumun potansiyel hatalara ve güvenlik açıklarına yol açabileceğini göstermektedir. Bu nedenle yapay zekâ, geliştiricilerin yerini alan değil, onların yeteneklerini güçlendiren akıllı bir asistan olarak konumlandırılmaktadır (Khan & Ahmed, 2025).

2.7.2 Yapay Zekâ ile Yazılım Test Süreçleri ve Kalite Güvencesi

Yazılım test süreçleri, geleneksel olarak zaman alıcı ve kaynak yoğun faaliyetlerdir. Yapay zekâ, bu süreci dönüştürerek otomatik test senaryosu üretimi, hata tahmini ve sürekli test (continuous testing) gibi alanlarda önemli avantajlar sağlamaktadır (Khan & Ahmed, 2025).

YZ destekli test araçları, kod değişikliklerini analiz ederek en olası hata noktalarını belirleyebilmekte ve test senaryolarını buna göre önceliklendirebilmektedir. Bu yaklaşım, özellikle DevOps ortamlarında hızlı geliştirme döngülerinin gerektirdiği sürekli test ve anlık geri bildirim ihtiyacını karşılamaktadır. Yapay zekâ sistemleri, geçmiş hata verilerini analiz ederek gelecekteki yazılım kusurlarını öngörebilmekte ve geliştirme ekiplerinin yüksek riskli alanlara odaklanmasını sağlamaktadır.

Kendini iyileştiren (self-healing) test otomasyon sistemleri de bu alanın önemli bir gelişmesidir. Kod mantığı veya kullanıcı arayüzü değiştiğinde aracı yapay zekâlar bu değişiklikleri algılayarak ilgili testleri otomatik olarak güncelleyebilmektedir. Hatta aracı yapay zekâlar, bir uygulamanın ne yapması gerektiğini anladıktan sonra geliştiriciler kodu yazmadan önce test betikleri ve senaryoları üretebilmektedir (IBM, 2025).

Ayrıca yapay zekâ, güvenlik açığı tespitinde de kritik bir rol oynamaktadır. YZ tabanlı araçlar, kodlamada güvenlik zafiyetlerini, istismar edilebilirlik testlerini, kök neden analizini ve tehdit

çözümünü otomatikleştirerek güvenli yazılım geliştirme yaşam döngüsüne (Secure SDLC) katkı sağlamaktadır.

2.7.3 AIOps ve BT Operasyonlarında Yapay Zekâ

AIOps (Artificial Intelligence for IT Operations), yapay zekâ ve makine öğrenmesi tekniklerinin BT operasyonlarına entegre edilmesiyle ortaya çıkan bir paradigmadır. AIOps, reaktif operasyonlardan öngörücü operasyonlara geçişi temsil etmekte olup, izleme, uyarı yönetimi ve olay müdahalesi süreçlerinde köklü dönüşümler sağlamaktadır (Dang et al., 2019).

Geleneksel izleme araçları, bir sorun oluşuktan sonra ekipleri uyarırken, AIOps platformları tarihsel verileri ve gerçek zamanlı telemetri verilerini analiz ederek potansiyel sistem kesintilerini veya performans darboğazlarını önceden tahmin edebilmektedir. Bu öngörücü yaklaşım, plansız kesinti sürelerini önemli ölçüde azaltmakta ve hizmet düzeyi anlaşmalarının (SLA) karşılanmasına yardımcı olmaktadır. Güncel endüstri verilerine göre DevOps ekiplerinin %67'si son bir yıl içinde yapay zekâyâ yönelik yatırımlarını artırmıştır (Softjourn, 2026).

AIOps platformları, sürekli entegrasyon ve sürekli dağıtım (CI/CD) hatlarında da önemli iyileştirmeler sağlamaktadır. Yapay zekâ algoritmaları, dağıtım geçmişini analiz ederek potansiyel sorunları öngörebilmekte, dağıtım zamanlamasını iyileştirebilmekte ve anomali tespit edildiğinde otomatik geri alma (rollback) işlemi gerçekleştirebilmektedir. Bu durum, yazılım teslimat süreçlerinin daha hızlı, güvenilir ve dayanıklı hale gelmesini sağlamaktadır.

Bulut altyapı yönetiminde de yapay zekâ kritik bir rol oynamaktadır. YZ destekli sistemler, iş yükü trendlerine göre bulut kaynaklarını dinamik olarak tahsis edebilmekte, maliyetleri iyileştirebilmekte ve kapasite planlamasını iyileştirebilmektedir. Netflix, Amazon ve Facebook gibi büyük teknoloji şirketleri, öngörücü ölçeklendirme, hata tespiti ve olay müdahalesinde yapay zekâyı aktif olarak kullanmaktadır.

2.8. BAŞARISIZ YAPAY ZEKÂ GİRİŞİM ÖRNEKLERİ

Yapay zekâ alanındaki yatırım ve beklenti dalgası, dünya genelinde önemli başarı hikâyelerinin yanı sıra ciddi mali kayıplara ve itibar zedelenmelerine yol açan başarısızlık örnekleri de üretmiştir. Bu örneklerin sistematik biçimde incelenmesi, Türkiye'nin aynı hatalara düşmeden, gerçek teknolojik yetkinliğe dayanan ve uluslararası ölçekte rekabet edebilecek "marka şirketler" inşa etmesi açısından önem taşımaktadır. Sektörde giderek daha sık karşılaşılan "AI washing" (yapay zekâ süsü verme) pratiği, bir ürünün veya hizmetin gerçekte büyük ölçüde insan emeğine veya klasik otomasyona

dayanmasına rağmen yapay zekâ olarak pazarlanması anlamına gelmekte ve hem yatırımcıları hem müşterileri yanıltmaktadır.

Örnek: General Motors Cruise Robotaksi Girişimi

General Motors'un 2016'da 1 milyar dolara satın aldığı otonom sürüş girişimi Cruise, oluşturduğu güvenlik sorunları ve ekonomik açıdan sürdürülemez olması nedenleriyle önemli bir başarısızlık örneğidir. Ekim 2023'te San Francisco'da bir Cruise robotaksisinin bir yayaya çarpıp yaklaşık 6 metre sürüklemesi, Kaliforniya kamu kurumlarının şirketin ticari işletme iznini iptal etmesine, tüm ABD filosunun durdurulmasına, kurucu CEO Kyle Vogt'un istifasına ve yaklaşık 900 çalışanın (işgücünün dörtte biri) işten çıkarılmasına yol açmıştır. GM, Cruise'a 2016 yılından itibaren 10 milyar dolar civarı yatırım yapmasına rağmen, şirket 2023 yılında tek başına 3,48 milyar dolar zarar etmiştir (DonanımHaber, 2024).

Örnek: Humane AI Pin

Eski Apple mühendisleri tarafından kurulan Humane, akıllı telefonların yerini alacağı iddiasıyla 2024'te piyasaya sürdüğü, ekransız ve tamamen sesli komutla çalışan "AI Pin" cihazı vasıtasıyla 1 milyar dolara varan bir değerlemeye ulaşmıştı. Fakat ürün teknik olarak vaadini yerine getirememiştir. Cihazın yapay zekâ yanıt süresi yavaş ve yanıtları hataya açıktı. Şarj kutusundaki lityum pil yangın riski taşıyor, cihazın 699 dolarlık satış fiyatı da akıllı telefonlara kıyasla sunduğu işlevsellik dikkate alındığında orantısız derecede yüksek kalıyordu.

Şirket ilk yıl 100.000 adet satış hedefinin yalnızca 10.000 adetine ulaşabilmiş, bir dönem iade sayısı yeni satışları geçmiştir. Alıcı bulma çabaları sonucunda Humane, Şubat 2025'te varlıklarının büyük bölümünü (yaklaşık 300 patent ve mühendislik ekibi) 116 milyon dolara HP'ye satmıştır. HP, AI Pin ürününe yatırım yapmama kararı alarak cihazı tamamen rafa kaldırmış, 28 Şubat 2025 itibarıyla sunucularını kapatmıştır. Bu örnek, donanım ve kullanıcı deneyimi kalitesinin, "yapay zekâ devrimi" pazarlama söyleminden çok daha belirleyici olduğunu göstermektedir (MacRumors, 2025).

Örnek: Yupp AI:

a16z crypto'nun ortağı Chris Dixon'ın liderliğinde 33 milyon dolarlık tohum yatırımı alan, Google DeepMind'ın baş bilim insanı Jeff Dean ve Perplexity CEO'su Aravind Srinivas gibi isimlerin de destekçileri arasında bulunduğu Yupp, kullanıcıların farklı yapay zekâ modellerinin yanıtlarını karşılaştırıp oylamaya sunarak ortaya çıkan tercih verisini yapay zekâ laboratuvarlarına satan bir platform olarak Haziran 2024'te kurulmuştur. Şirket 1,3 milyon kullanıcıya ulaşmasına ve birkaç yapay zekâ laboratuvarını müşteri olarak kazanmasına rağmen, kurucusu Pankaj Gupta'nın kendi ifadesiyle

"yeterince güçlü bir ürün-pazar uyumuna ulaşamadığı" için Mart 2026'da faaliyetlerini tamamen durdurmuştur.

Başarısızlığın nedeni iş modelinin pazar dinamikleri sonucu hızla değer kaybetmesidir. Yapay zekâ modelleri beklenenden çok daha hızlı geliştikçe, laboratuvarlar kitle kaynaklı genel kullanıcı geri bildirimi yerine Scale AI benzeri şirketlerin sunduğu uzman/PhD düzeyinde etiketlenmiş veriyi tercih etmeye başlamıştır. Ayrıca sektörün odağı "sohbet robotu karşılaştırması"ndan "araç ve hafızaya bağlı ajan (agentic) sistemler"e kaymıştır. Yüksek profilli yatırımcı desteğine ve güçlü kullanıcı sayısına rağmen şirketin ayakta kalamaması, günümüz yapay zekâ pazarında rekabet avantajının ne kadar hızlı erozyona uğrayabileceğinin çarpıcı bir kanıtı olarak değerlendirilmektedir (TechCrunch, 2026).

Türkiye İçin Çıkarılacak Dersler

Bu örneklerden hareketle Türkiye'nin yapay zekâ ekosisteminde marka değeri yüksek, sürdürülebilir şirketler oluşturabilmesi için:

- Yapay zekâ iddialarının bağımsız denetim ve teknik doğrulamaya açık, şeffaf biçimde raporlanması,
- Kamu desteği ve teşviklerinin somut teknik çıktı ve doğrulanabilir performans göstergelerine bağlanması,
- Abartı (Hype) odaklı büyüme yerine, belirli sektörlerde derinleşen, gerçek mühendislik kapasitesine dayanan iş modellerinin desteklenmesi,
- Başarısızlık örneklerinin düzenli olarak paylaşıldığı bir "öğrenen ekosistem" kültürünün teşvik edilmesi önerilmektedir.

3. BÖLÜM: YAPAY ZEKÂ EKOSİSTEMİ

3.1. GİRİŞ: YAPAY ZEKÂNIN EKOSİSTEMLERİ DÖNÜŞTÜRMESİ

Yapay zekâ (YZ), uzun süre boyunca belirli teknik toplulukların araştırma alanı olarak değerlendirilmiştir. Makine öğrenmesi, derin öğrenme ya da doğal dil işleme gibi pek çok alt başlık çerçevesinde ele alınmıştır. Ancak 2020 sonrası dönemde, özellikle üretken yapay zekâ (generative AI) ve büyük dil modellerinin (LLM) yaygınlaşmasıyla birlikte, YZ artık yalnızca bir teknoloji alanı olmaktan çıkmış ve ekonomik, kurumsal ve jeopolitik rekabetin merkezinde yer alan bir ekosistem mimarisi hâline gelmiştir.

OECD'nin 2023'te revize ettiği YZ sistemi tanımı, bu dönüşümü kavramsal olarak da yansıtmaktadır. YZ sistemleri, açık ya da örtük hedefler doğrultusunda girdilerden tahmin, içerik, öneri veya karar üreten ve fiziksel ya da sanal ortamları etkileyebilen makine tabanlı sistemlerdir (OECD.AI, t.y.). Bu tanım, YZ'nin teknik bir araç olmanın ötesinde karar süreçlerine ve toplumsal yapılara müdahil olan bir sistem olduğunu göstermektedir¹.

Kısaca YZ tekil bir teknoloji alanı olmaktan çok, birbirine sıkı biçimde bağlı altyapı, veri, model geliştirme/uyarlama, ürünleştirme ve yönetim katmanlarından oluşan bir “ekosistem” olarak ele alınmaktadır. Bu ekosistemin performansı; algoritmik yeniliklerin yanı sıra, hesaplama gücüne erişim (compute), bağlantısallık (connectivity) ve enerji, veri yönetimi, yetenek havuzu ve kurumların risk yönetimi kapasitesi gibi tamamlayıcı girdilerin birlikte olgunlaşmasıyla belirlenir. Dünya Bankası (World Bank), bu bütüncül görünümü “dört C” (connectivity, compute, context, competency / “dört B” bağlantı, bilgisayarım, bağlam, beceri) çerçevesiyle özetleyerek, özellikle gelişmekte olan ülkelerde ekosistemin temel taşlarının birlikte güçlendirilmesini stratejik bir öncelik olarak konumlandırır (World Bank Group, 2025).

Bu ekosistem dönüşümün arka planında iki büyük itici güç öne çıkıyor. İlk olarak, temel model(foundation model) yaklaşımı çok büyük ölçekli veri ve hesaplama ile eğitilen ve çok sayıda kullanım senaryosuna uyarlanabilen genel amaçlı modeller üzerinden yenilikçiliğin yeniden etkinleşmesini hızlandırdı. Bu durum, hem ürünleştirmeyi kolaylaştırıp verimlilik potansiyelini büyütürken hem de maliyet, enerji ve yönetim risklerini merkezileştirerek yeni bağımlılıklar doğurmaktadır. Bu paradigma kaymasını sistematik biçimde tartışan önde gelen akademik çalışma, temel model ekosisteminin “homojenleşme” eğilimine (tek/az sayıda model ailesinin çok sayıda aşağı

¹ Türkiye olarak OECD masasında Dijital Dönüşüm Ofisi'nden bir uzman grubu olarak bu tanımın oluşturulmasına aktif katkı verilmiştir.

akış ürüne temel olması) dikkat çekerek tek noktadaki kusurların ekosisteme yayılabileceğini vurgulamaktadır.

İkinci olarak, YZ'nin ekonomik ve kurumsal etkisi hızla çekirdek iş süreçlerine taşındı. Bunun sonucu olarak ekosistemdeki kırılmalıklar artık yalnızca Ar-Ge gündemi değil, rekabetçilik, ulusal güvenlik, kamu hizmetlerinin sürekliliği ve insan sermayesi dönüşümü gibi politika başlıklarına da doğrudan bağlanıyor. Örneğin McKinsey Global Institute, üretken YZ'nin (generative AI) yıllık ekonomik değer potansiyelini trilyon dolar mertebesinde tartışırken, değer zinciri boyunca benimseme hızının veri/BT mimarisi, iş süreçleri ve yönetim kapasitesi gibi tamamlayıcı faktörlere bağlı olduğunun altını çizmektedir (Chui vd., 2023).

Bu çerçevede güvenilir ve sürdürülebilir bir ulusal YZ ekosistemi daha çok model üretmekten ziyade, daha kritik olarak, altyapı-veri-insan kaynağı-yönetişim bileşenleri arasında doğru teşvikleri kurmaktan geçer. OECD, güncellenen YZ İlkeleri ile devletlere kapsayıcı bir YZ-olanaklı ekosistem için veri, hesaplama ve bağlantı altyapısı gibi temel unsurlara eş zamanlı yatırım çağrısı yapmaktadır (OECD, t.y.). Bu yaklaşım, UNESCO'nun 2021 tarihli ve tüm üye ülkeler için referans niteliğindeki YZ Etiği Tavsiye Kararı'ndaki (Recommendation on the Ethics of AI) insan hakları, çevresel sürdürülebilirlik ve çok paydaşlı yönetim vurgusuyla da uyumludur (UNESCO, 2025).

Küresel görünüm aynı zamanda güçlü bir asimetriyi işaret etmektedir. Yenilik, sermaye ve fiziksel altyapı belirli ülke ve şirket kümelerinde yoğunlaşma eğilimindedir. Dünya Bankası'nın 2025 tarihli veri odaklı değerlendirmesinde dikkat çekici YZ modellerinin, YZ girişimlerinin, risk sermayesi yatırımının ve veri merkezi kapasitesinin yüksek gelir gruplarında yoğunlaştığını ve bunun karşısında orta gelirli ülkelerde kullanımın hızla arttığını ve açık kaynak teknolojilerin uyarlama/yerelleştirme yoluyla katılım kanalları açabileceğini göstermektedir (World Bank Group, 2025). Bu yoğunlaşma dinamiği, bu bölümün geri kalanında altyapı, veri, model kapasitesi ve yönetim başlıklarında tekrar eden temel bir politika sorusuna dönüşmektedir. İnovasyonun faydası yayılırken, bağımlılıklar ve riskler nasıl yönetilecek ve ulusal kapasite nasıl konumlandırılacak önemlidir.

2026 yılı itibarıyla YZ yazılım dünyası, sadece kullanıcı komutlarına yanıt veren sohbet robotları aşamasını geride bırakarak, kendi başına planlama yapabilen ve karmaşık görevleri otonom olarak icra eden Aracı YZ (Agentic AI) çağına girmiştir (Ören vd., 2025). OpenAI o-serisi ve Google Gemini modelleri, 'System 2' tipi akıl yürütme süreçlerini entegre ederek mantıksal çıkarım kapasitesini artırmıştır (Stanford HAI, t.y.).

Günümüzde YZ kapasitesi, tekil model performansından ziyade aşağıdaki bütüncül bileşenlerle ölçülmektedir:

- Hesaplama altyapısı
- Veri yönetişimi ve veri kalitesi
- Model üretim ve test kapasitesi
- Risk temelli yönetişim
- İnsan kaynağı ve kurumsal adaptasyon

Bu bölüm, YZ'yi parçalı bir teknoloji alanı olarak değil, altyapıdan yönetişime uzanan entegre bir YZ ekosistemi olarak ele almaktadır. Bu yaklaşım, pek çok küresel organizasyonun yaklaşımlarıyla uyumlu ve YZ'yi altyapı, veri, model, kurumsal adaptasyon ve sorumlu YZ katmanları olarak bütünsel biçimde ele almaktadır.

Bu çerçevede analiz beş ana katmanda ilerlemektedir:

- Altyapı Ekosistemi
- Veri Ekosistemi
- Model ve Üretim Kapasitesi
- Yönetişim ve Güven Mimarisi
- İnsan Kaynağı ve Kurumsal Dönüşüm

Her bölüm şu dört boyutu içerecek şekilde kaleme alınmıştır:

- Küresel yapısal eğilim
- Değerlendirme analizi
- Türkiye değerlendirmesi
- Gelecek perspektifi

3.2. ALTYAPI EKOSİSTEMİ: HESAPLAMA GÜCÜ, ENERJİ VE DİJİTAL EGEMENLİK

3.2.1 Küresel Yapısal Eğilim

YZ altyapısının merkezinde YZ hesaplama kaynakları (AI compute) yer alır. Donanım (özellikle hızlandırıcılar), yazılım yığınları, veri merkezleri/edge cihazlar ve bunları verimli çalıştıran bulut hizmetleri. OECD'nin YZ hesaplamaları üzerine çalışması, bu kaynakların veri merkezlerinde yoğunlaşabildiğı gibi uç cihazlarda (edge) da çalışabileceğini göstermektedir. Ancak özellikle üretken

YZ dalgasıyla birlikte erişimin yeniden bir darboğaz haline geldiğini vurgulamaktadır (Lehdonvirta vd., 2025).

Bu eğilimin iki kritik sonucu vardır. Birincisi, hesaplama kaynaklarının coğrafi ve kurumsal yoğunlaşması dijital egemenlik (digital sovereignty) tartışmasını altyapı düzlemine taşır. Hangi ülkeler/ekonomiler kendi sınırları içinde yüksek ölçekli bulut YZ hesaplama kapasitesi barındırıyor, hangileri büyük ölçüde dış sağlayıcılara bağımlı? OECD'nin bulut hesaplama metodolojisi, bulut bölgeleri gibi fiziksel altyapı göstergeleri üzerinden bu dağılımın izlenebilir hale getirilmesini ve politika tasarımı kanıta dayalı yaklaşımı desteklemeyi amaçlamaktadır.

İkincisi, hesaplama-enerji bağı giderek daha belirleyici hale gelmektedir. International Energy Agency (Uluslararası Enerji Ajansı - IEA), enerji-YZ çalışmasında veri merkezlerinin küresel elektrik tüketimindeki payının 2024'te yaklaşık %1,5 düzeyinde olduğunu belirtmektedir. Temel senaryoda 2030'a kadar yaklaşık iki katına çıkarak ~945 TWh seviyesine ulaşabileceğini ve YZ'nin bu artışın en önemli sürükleyicisi olduğunu ortaya koymaktadır (IEA, t.y.). Bu, ulusal ölçekte enerji arz güvenliği, şebeke bağlantısı, soğutma altyapısı ve izin süreçleri gibi klasik enerji politikası başlıklarının YZ rekabetçiliğiyle doğrudan birleşmesi anlamına gelmektedir.

Ayrıca, model ölçeklenmesi de hesaplama talebini hızla yukarı çekmektedir. Stanford HAI tarafından yayımlanan 2025 AI Index, öne çıkan (notable) modeller için eğitim hespalamasının çok hızlı arttığına ve model eğitiminde güç/enerji gereksiniminin yükseldiğine dikkat çekmektedir (Stanford HAI, t.y.). Bunun yanında kullanım maliyetlerindeki hızlı düşüşün, talebi daha da yaygınlaştıran bir kuvvet olduğunu gösterir. Böylece, bir yandan daha ucuz erişim ile benimseme hızlanırken, diğer yandan daha büyük toplam hacim altyapı baskısı artmaktadır. Bu ikili dinamik 2026–2030 döneminin temel gerilimlerinden biridir.

Avrupa Birliği'nin HPC² (High Performance Computing - Yüksek Başarımlı Hesaplama/Bilgi İşlem) girişimi kapsamında exascale süper bilgisayar yatırımları (Oxford Insights, 2026), ABD-Birleşik Krallık arasında imzalanan teknoloji işbirliği anlaşmaları (Stanford HAI, t.y.), ve Doğu Asya'da yürürlüğe giren YZ yasalarıyla paralel altyapı yatırımları, altyapının jeopolitik bir unsur hâline geldiğini göstermektedir. NVIDIA'nın Blackwell (B200) mimarisi sonrası piyasaya sürdüğü Rubin (R100) serisi, HBM4 bellek teknolojisi ile paralel hesaplamada yeni bir standart belirlemiştir. GPU'lar³, özellikle model eğitimi (training) aşamasında pazarın %90'ından fazlasını domine etmeye

² HPC (High Performance Computing): Süper bilgisayarlar ve paralel işlem kümeleri kullanarak, çok büyük veri kümelerini ve karmaşık hesaplamaları olağanüstü hızlarla çözmeye yarayan hesaplama teknolojisidir.

³ GPU (Graphics Processing Unit): Aslen görüntü işlemek için tasarlanmış, binlerce çekirdeğiyle aynı anda çok sayıda işlemi paralel olarak yürütebilen ve bu sayede yapay zekâ eğitimlerinde de devrim yaratan işlemci birimidir.

devam etmektedir. Geleneksel GPU mimarisinin karşılaştığı 'bellek duvarı' (memory wall) sorununa en güçlü alternatif SambaNova tarafından geliştirilen RDU⁴ (SN50) teknolojisidir. RDU mimarisi, verinin işlemci içinde hareket etmesi yerine işlemcinin veriye göre şekillenmesini sağlar. Bu, çıkarım (inference) maliyetlerini düşürürken enerji verimliliğini 5 kata kadar artırmaktadır (SambaNova Systems, t.y.).

YZ altyapı ekosistemi yaklaşımı, altyapının donanımının yanı sıra MLOps⁵ (Makina Öğrenmesi operasyonları), gözlemlenebilirlik (observability), FinOps⁶ (bulut maliyet yönetimi) ve operasyonel güvenlik sistemlerini de kapsadığını vurgulamaktadır. Ham GPU kapasitesine yatırım yapıp orkestrasyon ve operasyonel katmanı ihmal eden ülkeler ve kurumlar, verimsizlik ve maliyet patlaması riskiyle karşı karşıya kalmaktadır. Yapay zekânın en büyük kısıtlayıcı faktörü haline gelen enerji ihtiyacı, teknoloji devlerini enerji sektöründe stratejik oyunculara dönüştürmüştür. Bir YZ sorgusunun standart bir aramadan 10 kat fazla enerji tüketmesi, 2026 yılında küresel veri merkezi elektrik talebinin 1.000 TWh seviyesine ulaşmasına neden olmuştur.

Ayrıca, yapay zekânın çevresel ayak izi tartışmaları bugüne kadar büyük ölçüde enerji tüketimi ve karbon salımı üzerinden yürütülmüş, su tüketimi boyutu görece geri planda kalmıştır. Büyük dil modellerinin eğitimi ve işletimi, sunucuların soğutulması için gerçekleştirilen doğrudan su tüketiminin yanı sıra, bu süreçlerde kullanılan elektriğin üretimi nedeniyle dolaylı su tüketimine de önemli ölçüde neden olmaktadır. Üretken yapay zekâ sistemlerinin 2025 yılında tükettiği toplam su miktarının 765 milyar litre civarına ulaşması ve bu rakamın dünya genelindeki toplam şişelenmiş su tüketimini geride bırakması beklenmektedir.

Bunula birlikte yapılan çalışmalar, yapay zekâyâ bağlı su kullanımının önceki yıllarda tüm veri merkezleri için yapılan toplam su kullanım tahminlerinin yüzde 30'undan fazla üzerine çıktığı belirtilmektedir. Yapay zekânın, 2025 yılı karbon ayak izinin 80 milyon tona kadar yükselmesi ve bunun New York kenti ölçeğinde bir salıma denk gelmesi öngörülmektedir. Uluslararası Enerji Ajansı (IEA) verileri de bu tabloyu destekler nitelikte olup, yapay zekâ odaklı veri merkezlerinin enerji yoğunluğunun alüminyum eritme tesisleri düzeyine ulaştığını ve küresel veri merkezi elektrik tüketiminin 2030'a kadar iki kattan fazla artmasının beklendiğini ortaya koymaktadır (Vrije Universiteit Amsterdam, 2025; Anadolu Ajansı, 2026; Milliyet, 2026).

⁴ RDU (Reconfigurable Dataflow Unit): Yapay zekâ iş yüklerine özel olarak geliştirilen, veri akışını donanım seviyesinde yeniden yapılandırarak yüksek performans ve enerji verimliliği sağlayan programlanabilir bir işlemci mimarisidir.

⁵ MLOps (Machine Learning Operations): Makine öğrenmesi modellerinin üretim ortamında güvenilir, ölçeklenebilir ve sürekli olarak dağıtılmasını, izlenmesini ve yönetilmesini sağlayan uygulama ve kültür bütünüdür.

⁶ FinOps (Financial Operations): Bulut bilişim maliyetlerini şeffaflaştırmak, optimize etmek ve iş birimleriyle operasyon ekipleri arasında finansal sorumluluğu paylaşmak için geliştirilen yönetim disiplindir.

Bu küresel eğilim Türkiye açısından da doğrudan bir risk taşımaktadır. OECD'nin projeksiyonlarına göre yapay zekâ veri merkezlerinin 2027 yılında yıllık 4,2-6,6 milyar metreküp su tüketmesi beklenmekte olup bu miktar, yılda yaklaşık 63 milyar metreküp su tüketen Türkiye'nin toplam tüketiminin onda birine, İstanbul'un yıllık su tüketiminin ise 4-5 katına karşılık gelmektedir. Türkiye, kişi başına düşen kullanılabilir su miktarı itibarıyla zaten "su stresi yaşayan ülkeler" kategorisinde yer almakta, iklim değişikliği, tarımsal sulama baskısı ve yer altı sularının aşırı kullanımı bu stresi derinleştirmektedir.

Bu çerçevede, ülkemizde kurulacak büyük ölçekli yapay zekâ veri merkezi yatırımlarının su kaynakları üzerindeki etkisinin, teşvik ve yer seçimi kararlarına girdi sağlayacak şekilde önceden değerlendirilmesi önem taşımaktadır. Sektörde geliştirilen kapalı devre soğutma ve daldırmalı soğutma (immersion cooling) gibi teknolojiler, su tüketimini azaltma potansiyeli taşımakla birlikte henüz olgunlaşma aşamasındadır.

Türkiye için önerilen yaklaşım, veri merkezi yatırımlarında yalnızca enerji verimliliğinin (PUE) değil su kullanım verimliliğinin (WUE) de asgari standart olarak tanımlanması, büyük ölçekli veri merkezlerinin su stresi görece düşük bölgelere yönlendirilmesi, kamu teşviklerinin bu kriterlerle ilişkilendirilmesi ve şirketlerin su/enerji tüketim verilerini düzenli olarak kamuoyuyla paylaşmasının teşvik edilmesidir. Bu hem sürdürülebilirlik hem de kamu desteğinin doğru zeminde verilmesi açısından önem taşımaktadır.

3.2.2 Değerlendirme Analizi

Altyapı ekosisteminde politika tasarımını zorlaştıran nokta, darboğazların teknik olduğu kadar kurumsal ve piyasaya ilişkin olmasıdır. Hesaplama kapasitesi donanım tedariklerinin yanı sıra bulut pazarında rekabet, kamu alımlarının ölçek yaratma gücü, veri merkezlerinin enerjiye erişimi, izin/imar süreçleri ve kritik bileşenlerde (hızlandırıcılar, ağ ekipmanları, güç elektroniği, soğutma) küresel tedarik zinciri riskleri birlikte değerlendirilmelidir. OECD'nin YZ hesaplama tanımı ve erişim darboğazı vurgusu, altyapı politikasının;

- Dijital altyapı,
- Sanayi politikası
- Rekabet politikası
- Enerji planlaması bileşiminden oluştuğunu ima etmektedir (Lehdonvirta vd., 2025).

Bu noktada üç değerlendirme sorusu öne çıkmaktadır. Birincisi, kamu ve kritik sektörlerin (sağlık, finans, enerji, kamu hizmetleri) ihtiyaç duyduğu hesapmalardır. Hangi güvenlik ve süreklilik gereksinimleriyle, hangi tedarik modelinde (kamu HPC, ticari bulut, hibrit, egde) temin edilecektir?

İkincisi, veri merkezleri ve bulut bölgeleri için enerji-şebeke kapasitesi, bağlantı kuyrukları ve yatırım iştahıdır. YZ stratejisinin hedefleriyle uyumlu mudur? IEA'nın veri merkezi elektriği projeksiyonları, bu uyumun yokluğunda fiziksel sınırlara çarpma riskini açıkça ortaya koymaktadır (IEA, t.y.).

Üçüncüsü, dijital egemenlik hedefleniyorsa, bu hedef tam bağımsızlık mı, yoksa stratejik bağımlılıkların yönetimi mi olarak tanımlanacaktır? OECD'nin bulut hesaplama ölçüm yaklaşımı, tam da bu tür hedeflerin izlenebilir metriklerle bağlanması için bir yol önermektedir.

Bu analiz, yenilikçilik ve regülasyon ikiliğinin altyapı boyutunda farklı bir görünüme büründüğünü de gösterir. Burada ödünleşim (trade-off) çoğu zaman hız ve dayanıklılık/sürdürülebilirlik şeklindedir. Veri merkezi yatırımlarını hızlandırmak kısa vadede kapasite yaratabilir. Ancak şebeke, su/soğutma, karbon ayak izi ve yerel toplumsal kabul boyutları yönetilmezse 2030'a doğru maliyetler artabilir ve gecikmeler kronikleşebilir. IEA (Uluslararası Enerji Ajansı)'nın, veri merkezlerinin enerji sektöründeki uzun planlama ufkuyla (altyapı inşa süreleri) teknoloji sektörünün hızlı ölçekleme beklentisi arasındaki uyumsuzluğa dikkat çekmesi bu riskin sistemik olduğunu gösterir (IEA, t.y.).

Kısaca bir ülkenin veya kurumun YZ altyapı kapasitesini değerlendirmek için şu sorular kritik önemdedir:

- Ulusal ölçekte YZ için tahsis edilmiş HPC kapasitesi var mı?
- Kamu kurumlarının ortak kullanabileceği hesaplama havuzu mevcut mu?
- Enerji maliyetleri ve veri merkezi kapasitesi YZ büyümesini sınırlıyor mu?
- Model izleme, sürüm kontrolü ve kayma/sapma (drift) tespiti yapılabiliyor mu?
- YZ altyapısı dışa bağımlı mı, yoksa kısmen egemen mi?

Bu sorulara verilecek yanıtlar, yalnızca teknik değil, stratejik konumlanmayı da belirlemeyi amaçlamaktadır.

Aynı zamanda, küresel ölçekte yapay zekâ rekabeti hızlanırken, belli başlı aktörlerin hesaplama kapasitesini geliştirme stratejileri belirgin biçimde birbirinden ayrılmaktadır. Amerika Birleşik Devletleri, yüksek bant genişlikli bellek (HBM) gibi kritik bileşenlerde üretim kapasitesini ülke içine

çekmek amacıyla kamu teşvikleri ve sanayi politikası araçlarını devreye sokmakta; Ticaret Bakanlığı'nın CHIPS Yasası kapsamında bellek paketlenme ve Ar-Ge yatırımlarına yönelik duyuruları, YZ tedarik zinciri güvenliğinin hesaplama kapasitesiyle birlikte ele alındığını göstermektedir.

Buna karşılık Avrupa Birliği, Exascale sınıfı süperbilgisayarlar ve YZ Fabrikası (AI Factory) yaklaşımıyla, özellikle KOBİ'ler ile kamu ve araştırma kurumları için erişimi kolaylaştıran ortak bir altyapı katmanını kurmayı hedeflemektedir; EuroHPC'nin YZ Fabrikası duyuruları bu stratejinin ölçekli bir girişim olarak tasarlandığını ortaya koymaktadır. Çin ise enerji maliyetleri ve coğrafi dengesizlikleri aşmak üzere "East data, west computing" programıyla veri merkezi kapasitesini enerji avantajı bulunan iç bölgelere yönlendirerek ülke içinde yeniden dengeleme stratejisi izlemekte; resmî açıklamalar proje kapsamında büyük ölçekli yatırım ve sunucu rafı (rack) kapasitesi artışı sağlandığını raporlamaktadır.

3.2.3 Türkiye Değerlendirmesi

Türkiye açısından altyapı ekosistemini değerlendirirken iki düzlemi ayırmak gerekir:

- Araştırma–kamu ölçeğinde HPC/ulusal altyapı kapasitesi,
- Özel sektör ve kamu hizmetleri için ticari bulut/kurumsal altyapı olgunluğu.

Araştırma tarafında, TÜBİTAK ULAKBİM bünyesindeki TRUBA, yüksek başarılı hesaplama ve veri depolama kapasitesi sunan ulusal bir merkez olarak konumlanır. Paylaşılan bilgiler, 2023 itibarıyla CPU⁷ ve GPU tabanlı PFLOPS⁸ ölçeğinde toplam hesaplama gücü ve PB ölçeğinde depolama kapasitesi ile hizmet verildiğini göstermektedir. 2024 başında yeni nesil veri merkezi, ARF süper bilgisayarı ve YZ kümelerinin altyapıya eklendiğini ve Top500 listesinde görünürlük sağlandığını belirtmektedir (TÜBİTAK ULAKBİM, 2025). Bu, kamu/akademi ekosistemi için önemli bir çekirdek kapasitedir. Ancak ulusal ekosistemin özel sektör ve kamu hizmetleri ölçeğinde hesaplama ihtiyacı, çoğu zaman HPC'den çok bulut YZ hesaplamave kurumsal GPU kümeleri üzerinden şekillenmektedir.

Bu ikinci düzlemde kritik mesele, erişim maliyeti ve süreklilik ile veri/egemenlik beklentilerinin nasıl dengeleneceğidir. OECD'nin YZ hesaplama ölçmeye yönelik yaklaşımı, ülkelerin fiziksel bulut compute varlığını izlemeyi hedeflemektedir. Dünya Bankası verileri, veri merkezi kapasitesinin küresel olarak yüksek gelirli ülkelerde yoğunlaştığını gösterir (Lehdonvirta vd., 2025). Türkiye'nin bu küresel yoğunlaşma içinde rekabetçi konumlanması, yerli kapasite inşasının ötesinde

⁷ CPU (Central Processing Unit): Bilgisayarın beyni olarak çalışan, sıralı ve genel amaçlı komutları işleyip tüm sistemin kontrolünü sağlayan ana işlemci birimidir.

⁸ PFLOPS (PetaFLOPS): Saniyede bir katrilyon (10^{15}) kayan noktalı işlem yapma kapasitesini ifade eden, süper bilgisayarların ve büyük ölçekli yapay zekâ sistemlerinin performansını ölçmek için kullanılan hız birimidir.

uluslararası bulut sağlayıcılarıyla ilişkiler, rekabetçi piyasa tasarımı, kamu alımlarının yerli ekosistemi ölçeklendirme biçimi ve enerji-şebeke planlamasının veri merkezi yatırımlarına verdiği sinyallerle belirlenmektedir.

Türkiye’de savunma sanayii kaynaklı ileri mühendislik ve sistem entegrasyonu kapasitesi mevcuttur. Savunma alanında geliştirilen ileri çözümlerin çift kullanım yoluyla sivil sektörlere aktarılabilmesi belirtilmektedir (SAHA İstanbul, t.y.).

Ancak:

- Ulusal düzeyde YZ hesaplama stratejisi sistematik değildir.
- Kamu projeleri için destekler olsa da merkezi bir HPC havuzu bulunmamaktadır.
- Veri merkezi kapasitesi büyümekte olsa da, YZ-odaklı planlama olsa bile yeterli olmayabilir.

TÜBİTAK 1007 çağrılar ve Kamu YZ projeleri, kamu tarafında kapasite oluşturma yönünde önemli adımlardır (TÜBİTAK, t.y.). Ancak bunların altyapı perspektifiyle bütünleşmesi gerekmektedir.

Bu bağlamda Türkiye için tanı koyan bir çerçeve şu gözlemi öne çıkarır. Araştırma altyapısında birikim ve belirli ölçekte hesaplama kapasitesi mevcut olsa da, geleceğe giden yolda asıl sınav kamu hizmetleri ve özel sektör üretkenliği için gerektiğinde ölçeklenebilen, maliyet etkin ve güvenli hesaplama erişimini kurumsallaştırmaktır. Dünya Bankası’nın geliştirmekte olan ülkeler için hesaplama ve bağlantısallık vurgusu, Türkiye’nin de ekosistem temelini büyütürken eş zamanlı olarak yönetim, veri ve yetkinlik ayağını güçlendirmesi gerektiğini hatırlatır (World Bank Group, 2025).

3.2.4 Gelecek Perspektifi

Gelecekte altyapı ekosisteminde belirleyici olan, YZ için enerji ve hesaplama planlamasının ülke ölçeğinde kurumsallaşması olacaktır. IEA projeksiyonları, veri merkezlerinin elektrik tüketiminin birkaç yıl içinde iki katına çıkabilen bir büyüme hattına girebileceğini göstermektedir (IEA, t.y.). Bunun özellikle büyük ekonomilerde elektrik talep artışının önemli bir bölümünü açıklayabileceğini vurgulamaktadır. Bu, Türkiye açısından veri merkezi yatırımları, şebeke kapasitesi, yenilenebilir entegrasyonu, esneklik mekanizmaları ve uzun vadeli enerji maliyetleri arasındaki bağın doğrudan YZ stratejisinin parçası haline gelmesini gerektirir.

Politika çıkarımı açısından, gelecek hedefi tamamen yerli hesaplama gibi maksimumcu bir çerçeveye indirgenmek yerine;

- Kritik kamu hizmetleri ve stratejik sektörler için asgari güvenli kapasite,

- Özel sektör için rekabetçi ve erişilebilir bulut/hibrit mimariler,
- Akademi/kamu Ar-Ge için ölçekli ulusal altyapı,
- Enerji–iklim hedefleriyle uyumlu veri merkezi büyümesi şeklinde çok katmanlı ele alınmalıdır.

OECD’nin kapsayıcı YZ ekosistemi yaklaşımı da, altyapıyı veri ve insan kapasitesiyle birlikte ele almayı önerdiği için bu çok aşamalı okuma ile uyumludur. Öte yandan, Türkiye’nin önünde üç temel yol bulunmaktadır:

- Bulut bağımlı model tüketicisi olmak,
- Bölgesel YZ hesaplama merkezi olmak,
- Kamu–özel ortak HPC altyapısı kurarak stratejik özerklik sağlamak.

Bu yollardan hangisi benimsenirse benimsensin, tercihin sürdürülebilir olması için altyapı yatırımlarının, enerji politikasının ve veri egemenliği çerçevesinin bütüncül biçimde ele alınması kritik bir gereklilik olarak öne çıkmaktadır.

3.3. VERİ EKOSİSTEMİ: VERİ ALANLARI VE KURUMSAL GÜVEN

Türkiye, 2023 yılından itibaren yapay zekâ, veri, siber güvenlik ve yüksek başarımlı hesaplama bileşenlerini kapsayan, 2021-2027 döneminde toplam 8,1 milyar avro bütçeli AB Dijital Avrupa Programı'na taraf olmuş; katılım anlaşması 2023 yılı içinde Ankara ve Brüksel'de imzalanarak yürürlüğe girmiştir. Bu katılım, Türkiye'nin Avrupa Dijital Yenilik Merkezleri (EDIH) ağına (otomotiv, tarım teknolojileri, sağlık teknolojileri, tekstil ve sanayi gibi alanlarda faaliyet gösteren çok sayıda konsorsiyum aracılığıyla) dâhil olmasını sağlamıştır.

Bu tür programlar, yalnızca finansman değil, aynı zamanda AB üyesi ülkelerin sektörel veri alanlarına (data spaces) kademeli erişim ve teknik iş birliği için de bir zemin oluşturmaktadır. Sağlık ve tarım gibi alanlarda AB ile veri paylaşımının derinleştirilmesi, Türkiye'nin hem kendi veri setlerinin uluslararası standartlarla uyumlu hale gelmesini hem de AB üyesi ülkelerdeki daha büyük ve çeşitlenmiş veri havuzlarından faydalanmasını mümkün kılabilir. Ancak bu tür bir iş birliğinin önündeki temel engeller teknik değil, çoğunlukla hukukîdir (Türkiye Bilişim Derneği, 2025).

AB Genel Veri Koruma Tüzüğü (GDPR) ve 2024 yılında yürürlüğe giren AB Yapay Zekâ Yasası'yla Türkiye'nin ulusal mevzuatının uyumlaştırılması, sınır ötesi veri akışını belirli koşullar içerisinde sağlayacaktır. AB Yapay Zekâ Yasası kapsamında, genel amaçlı yapay zekâ modeli geliştiren kuruluşların 2 Ağustos 2025 tarihinden itibaren teknik dokümantasyon hazırlaması ve eğitim verisi özetlerini kamuya açık şekilde paylaşması zorunlu hale getirilmiştir. Bu tür şeffaflık

standartlarının Türkiye tarafında da karşılığının oluşturulması, karşılıklı veri erişiminin önünü açacaktır.

Bu çerçevede, AB ile karşılıklılık esasına dayanan, anonimleştirilmiş, pilot veri paylaşım protokollerinin geliştirilmesi, hem küresel gelişmelerin yakından takip edilmesini hem de belirli sektörlerde derinleşmesini destekleyecektir.

3.3.1 Küresel Eğilim

Veri, YZ ekosisteminin ham maddesi olmakla birlikte, salt hacim meselesi değildir. Verinin kalitesi, temsil gücü, güncelliği, etik/mahremiyet uygunluğu, paylaşılabirliği ve alanlar arası birlikte çalışabilirliği (interoperability) belirleyicidir. Bu nedenle küresel eğilim, veriyi piyasa tarafından kendiliğinden üretilen bir kaynak olarak görmekten ziyade veri yönetişimi ve veri alanları (Data Spaces) üzerinden ortaklaşa değer üreten bir altyapı olarak tasarlamaya yöneliyor. Bu yaklaşımın olgun örneklerinden biri, European Commission tarafından şekillendirilen “Ortak Avrupa Veri Alanları” (Common European Data Spaces) vizyonudur. Farklı sektörlerde güvenli ve kurallı erişim/yeniden kullanım için ortak altyapı ve yönetim çerçeveleri öngörmektedir. Bu vizyon, veri paylaşımına güven inşa etmeyi hedefleyen Yönetişim düzenlemeleriyle ( rn. Veri Yönetişimi Tüzüğü/Data Governance Act) desteklenmektedir (European Commission, t.y.).

Küresel ölçekte eğilimin ikinci ayağı, veri yönetişimi ile YZ yönetişiminin hızla i  i  geçmesidir. OECD’nin YZ, veri yönetişimi ve mahremiyet isimli çalışması  retken YZ ile birlikte veri ve mahremiyet sorularının keskinleştiğini g sterirmektedir. Ancak çoğu ülkede YZ ve mahremiyet politika topluluklarının ayrı silolar halinde çalıştığını bu ayrışmanın uyum maliyetlerini artırıp uygulamada belirsizlik yarattığını vurgulamaktadır (OECD, 2024). Bu saptama, veri ekosisteminin yalnızca teknik bir alan değil aynı zamanda kurumsal güvenin, toplumsal meşruiyetin ve düzenleyici tutarlılığın çekirdeği olduğunu göstermektedir.

    nc  eğilim, kamu verisi, özel veri ve topluluk verisi dengesinin yeniden kurulmasıdır. Bazı  lkeler, kamu verisinin erişimini artırmakla birlikte veri aracılığı hizmetleri, veri bağışlılığı/gönüllülüğü (donor/altruism) ve güvenli yeniden kullanım mekanizmalarıyla hassas veri kategorileri için kontrollü paylaşımı teşvik etmeye yönelmektedir. Veri Yönetişimi Tüzüğü’nün, korunan kamu verilerinin yeniden kullanımına dair mekanizmalar ve veri aracıları için güven artırıcı kurallar getirmesi bu eğilimi yansıtır (Council of the European Union, 2022).

Avrupa Birliği’nin mükemmellik ekosistemi (ecosystem of excellence) ve güven ekosistemi (ecosystem of trust) yaklaşımı, veri alanları üzerinden sektör bazlı güvenli paylaşım mekanizmaları oluşturmayı hedeflemektedir (European Commission, 2020). Birleşmiş Milletler ise küresel düzeyde

veri eşitsizliği ve yönetim parçalanmışlığına dikkat çekmekte; kapsayıcı ve çok paydaşlı modeller önermektedir (United Nations, t.y.).

3.3.2 Değerlendirme Analizi

Veri ekosisteminde çoğu ülkenin yaşadığı temel ikilem, yeniden kullanım için paylaşım ile hakların korunması arasındaki dengeyi ölçekli biçimde kurmaktır. Bu dengeyi kurmak, mevzuatların yanı sıra standartlar, denetim, kurumsal kapasite ve teknik araçlarla mümkündür. UNESCO'nun Tavsiye Kararı, veri yönetişimini etik YZ'nin kilit eylem alanlarından biri olarak ele alarak; insan hakları, mahremiyet ve çok paydaşlı yönetim vurgusunu normatif çerçevenin merkezine yerleştirir (UNESCO, 2025). OECD YZ İlkeleri de insan hakları ve mahremiyet ile şeffaflık ve hesap verebilirlik ilkelerini YZ yaşam döngüsü boyunca temel beklenti olarak tanımlamaktadır (OECD, t.y.).

Değerlendirme analizi açısından, veri ekosisteminin olgunluğunu test eden sorular pratikte şunlara karşılık gelir. Hangi sektörlerde (sağlık, finans, enerji, mobilite, kamu yönetimi vb.) yüksek değerli veri alanları tanımlanmıştır ve paydaşlar arası veri paylaşımı hangi yönetim mekanizmalarıyla mümkündür? Veri paylaşımının maliyetini düşüren teknik standartlar (metadata, veri sözlükleri, semantik birlikte çalışabilirlik) ve güven artırıcı kurumlar (veri aracılığı, veri güven alanları, denetimli erişim mekanizmaları) var mıdır? Avrupa'nın veri alanları yaklaşımı, tam da bu pratik sorular için ortak altyapı ve ortak yönetim fikrini sistemleştirir (European Commission, t.y.).

Bir diğer değerlendirme ekseni kurumsal güvendir (institutional trust). Vatandaşlar, şirketler ve kamu kurumları, verinin hangi şartlarda toplanıp işlendiğini, hangi amaçlarla paylaşıldığını ve nasıl denetlendiğini anlayabiliyor mu? Burada açıklık, hesap verebilirlik ve geri dönüş mekanizmaları kritik hale gelir. OECD'nin YZ-mahremiyet kesişimine dair raporu, bu alanlarda uluslararası iş birliği ve ilke uyumunun (interoperability) hem güveni artırabileceğini hem de uyum maliyetini düşürebileceğini savunmaktadır (OECD, 2024).

Son olarak, veri ekosistemi ile inovasyon arasındaki merkezileşme ve açıklık gerilimi, özellikle üretken YZ çağında belirginleşmiştir. Büyük veri havuzları ve büyük modeller, büyük aktörlere ölçek ekonomisi sağlamaktadır. Dünya Bankası, yenilik ve sermayenin yoğunlaşmasının düşük/orta gelirli ülkeler için uyarılama güçlüğü yarattığını; buna karşın açık kaynak teknolojilerin yerel bağlamlara uyarlamada demokratikleştirici bir rol oynayabileceğini belirtir (World Bank Group, 2025).

Dolayısıyla veri stratejisi, yalnızca paylaşım mı, paylaşmayalım mı ikilemi olmaktan çıkar ve hangi veri, hangi amaçla, hangi güvenlik ve adalet koşullarıyla sorusuna bağlanan sofistike bir tasarım problemi haline gelir.

3.3.3 Türkiye Değerlendirmesi

Türkiye’de veri ekosistemi değerlendirilmesi, güçlü bir tarafı ve geliştirilmesi gereken bir tarafı birlikte barındırır. Güçlü taraf, veri koruma ve mahremiyetin anayasal/toplumsal beklenti olarak karşılık bulması ve bunun kurumsal/ hukuki zemininin bulunmasıdır. Kişisel Verileri Koruma Kurumu çerçevesini oluşturan 6698 sayılı Kişisel Verilerin Korunması Kanunu, kişisel verilerin işlenmesinde temel hak ve özgürlüklerin korunmasını amaçlayan ana yasal dayanağı tanımlar (T.C. Aile ve Sosyal Hizmetler Bakanlığı & Bilgi Teknolojileri Genel Müdürlüğü, t.y.). Bu hukuki zemin, kurumsal güveni tesis etme açısından vazgeçilmezdir; ancak yapay zekâ ekosistemi bağlamında tek başına yeterli değildir.

Geliştirilmesi gereken taraf ise, farklı sektörlerde yüksek değerli verinin güvenli ve yeniden kullanılabilir biçimde paylaşılmasını sağlayacak veri alanları ve kurumsal mekanizmaların olgunluğudur. Avrupa’nın veri alanları yaklaşımında olduğu gibi, hem kamu hem özel sektör paydaşlarını içeren, kurallı erişim ve yeniden kullanım mekanizmaları, YZ’yi ölçeklemek için kritik bir hızlandırıcı olabilir. Türkiye açısından tanı koyan soru şudur. Sağlık, finans, üretim, tarım, enerji ve kamu yönetimi gibi alanlarda veri standardizasyonu, birlikte çalışabilirlik ve paydaşlar arası paylaşımın teşvik edildiği “güvenli ortamlar” hangi ölçekte kurulabilmiştir? Kamu Veri Alanı yaklaşımı, Türkiye’nin dijital dönüşüm sürecinde önemli bir adımdır. Bu yaklaşım, AB veri stratejisiyle uyumlu bir çerçeve sunmaktadır (Kızrak, 2024).

Ancak:

- Kurumlar arası veri paylaşımı homojen değildir.
- Standartlaştırma eksiklikleri mevcuttur.
- Veri yönetimi yetkinliği kurumdan kuruma değişmektedir.

Bu noktada veri ekosisteminin TRUBA gibi araştırma altyapılarıyla ilişkisi de önemlidir: araştırma ekosistemi, bilimsel veri ve büyük veri analitiği kapasitesini güçlendirdikçe; veri yönetimi pratiklerinin (metadata, erişim yönetimi, güvenlik) yaygınlaşması beklenebilir. TRUBA’nın yüksek başarılı hesaplama ve veri depolama hizmetleri sunduğuna yaptığı vurgu, söz konusu ekosistemin tamamlayıcı niteliği için bir dayanak sağlamaktadır (TRUBA, t.y.).

3.3.4 Gelecek Perspektifi

Gelecekte veri ekosisteminde en kritik hedef, güvenli veri paylaşımını mümkün kılan kurumsal mekanizmalar ile YZ geliştirme/uyarlama kapasitesi arasındaki bağlantıyı kurmaktır. Burada politika çıkarımı, veri stratejisinin yalnızca KVKK uyumu veya açık veri portallarıyla sınırlı görülmemesi,

aksine sektör bazlı veri alanları, veri aracılığı mekanizmaları, standartlar ve denetimli erişim altyapılarıyla bütünleşik ele alınmasıdır. OECD'nin YZ–mahremiyet raporu, uluslararası iş birliği ve ilke uyumunun bu alandaki belirsizliği azaltabileceğini ve uygulama kapasitesini güçlendirebileceğini vurguladığı için Türkiye'nin de AB ile ekonomik entegrasyon bağlamında veri yönetişimi uyumluluğunu stratejik bir rekabet faktörü olarak değerlendirmesi rasyonel görünmektedir.

Gelecek perspektifinde bir başka önemli boyut, veri alanlarının kamu hizmetleriyle ilişkisi ve ikincil kullanım (secondary use) kapasitesidir. Avrupa Sağlık Veri Alanı (EHDS) örneği bireyin kontrolünü güçlendirirken, araştırma ve politika yapımına dönük veri yeniden kullanımını kurallı hale getirmeyi amaçlayan bir model sunar (Council of the European Union, 2025). Türkiye için çıkarım; sağlık başta olmak üzere kritik sektörlerde, mahremiyet–yenilik dengesini kuran denetimli ikincil kullanım modellerinin geliştirilmesinin hem kamu yararı hem de inovasyon için kaldıraç olabileceğidir.

Türkiye için kritik adımlar:

- Sağlık, enerji ve tarım için sektörel veri alanları oluşturmak
- Kamu verisini YZ'ye hazır (AI-ready) hâle getirmek
- Veri yönetişim kapasitesini merkezi biçimde güçlendirmek

3.4. MODEL VE ÜRETİM KAPASİTESİ

3.4.1 Küresel Eğilim

Temel model (foundation model) çağının ayırt edici özelliği, model kapasitesi yarışının giderek daha fazla hesaplama, veri ve sermaye yoğun hale gelmesidir. Stanford AI Index, 2024'te notable modellerin yaklaşık %90'ının endüstri kaynaklı olduğunu, eğitim hesaplamasının çok hızlı arttığını ve modellerin güç/enerji gereksiniminin yükseldiğini raporladığından bu bölümün başında bahsetmiştik. Bu eğilim, model üretim kapasitesinin kurumsal olarak birkaç büyük oyuncuda yoğunlaşması riskini artırırken; aynı zamanda fiyatların düşmesiyle (örneğin, belirli performans seviyelerinde sorgu maliyetindeki dramatik azalma) kullanımın çok daha geniş tabana yayılmasını mümkün kılmaktadır (Stanford HAI, t.y.).

Bu ortamda yenilikçilik iki farklı hat üzerinden ilerlemektedir. Bir hat, en büyük genel amaçlı modellerin geliştirilmesi (frontier/çok büyük modeller) ve bunların API'ler veya platformlar üzerinden dünya geneline sunulmasıdır. Diğer hat ise, bu modellerin açık kaynak veya lisanslı sürümleri üzerinden uyarlama (fine-tuning), alan-özel optimizasyon ve yerelleştirme ile katma değer üretmektir.

Dünya Bankası, özellikle gelişmekte olan ülkeler açısından adaptasyon ve benimseme yolunun, küresel yenilikçilik yoğunlaşmasına karşı daha uygulanabilir bir kanal olabileceğini açık kaynağın bu katılımı kolaylaştırdığını savunmaktadır (World Bank Group, 2025).

Akademik literatür, bu dönüşümün teknolojik fırsatlarla birlikte sistemik riskler taşıdığını uzun süredir tartışmaktadır. Temel model ekosistemine ilişkin kapsamlı çalışma, homojenleşmenin sağladığı verim avantajının, hataların ve önyargıların aşağı akış uygulamalara kalıtsal biçimde taşınması riskini artırdığına işaret eder. Büyük dil modellerine ilişkin risk haritalaması yapan başka bir çalışma ise, riskleri sınıflandırmayı ve sorumlu yenilikçilik için risk manzarasını yapılandırmayı amaçlamaktadır. Bu tür çalışmalar, model kapasitesinin teknik rekabetin aynı zamanda güven, adalet, çevresel etki ve yönetim sorunu olduğunu ortaya koymaktadır (Weidinger vd., 2021). Temel (Foundation) model üretimi sınırlı sayıda ülke ve şirketin elindedir. Aracı YZ (Agentic AI) ve üretken YZ paradigması risk boyutunu da genişletmiştir (Ören vd., 2025). Paradigma lens yaklaşımı, yanlış paradigma varsayımıyla yapılan yatırımların düşük ROI ve yüksek risk üreteceğini vurgulamaktadır.

3.4.2 Değerlendirme Soruları

Model ve üretim kapasitesi alanında değerlendirme soruları pratikte stratejik seçimlere işaret etmektedir. Birinci soru, inşa etme, satın alm ve adapte etme (build vs. buy vs. adapt) seçimidir. Ülke veya kurumlar kendi temel modelini geliştirmeye mi yatırım yapacak, piyasadan hizmet mi satın alacak, yoksa açık kaynak/ortak modelleri uyarlayarak mı ilerleyecek? Bu sorunun tek bir doğru cevabı yoktur. Ancak cevap, compute erişimi, veri varlıkları, yetenek havuzu ve düzenleyici/kritik sektör gereksinimleriyle uyumlu olmalıdır.

İkinci soru, ürünleştirme zinciri üzerinedir. Model geliştirmek, değer zincirinin yalnızca bir parçasıdır. Asıl ekonomik değer çoğu zaman MLOps (ML operasyonları), FinOps (bulut maliyet yönetimi), izlenebilirlik (observability/gözlemlenebilirlik), güvenlik ve uyum süreçleriyle modelin üretime alınması ve yaşam döngüsü boyunca güncellenmesiyle ortaya çıkmaktadır. Burada sapma (drift), yani veri dağılımı ve davranışın zaman içinde değişmesi, özellikle kritik sektörlerde performans ve güvenlik risklerini büyütebilir. Bu yüzden izleme ve yeniden değerlendirme, model yönetişiminin çekirdeği haline gelir. NIST'in AI Risk Management Framework (AI RMF) yaklaşımı, risk yönetimini yaşam döngüsü boyunca yönetiş-haritala-ölç-yönet (govern-map-measure-manage) fonksiyonlarıyla sistematikleştirmeyi önererek bu ihtiyaca kurumsal bir yanıt sunar (Boutin, 2025).

Üçüncü soru, Aracı YZ (agentic AI) gibi daha otonom sistemlerin yükselişiyle ilgilidir (Ören vd., 2025). Bu tür sistemler, yalnızca içerik üretmekle kalmayıp hedefe yönelik eylem planlayıp araçlar kullanabildiğinde, yanlış yönlendirme veya hatalı veri/izinler çok daha hızlı ve geniş etki alanına

yayılabilir. Dolayısıyla model kapasitesi tartışması, giderek daha fazla sistem güvenliği ve sorumluluk sınırları tartışmasına dönüşmektedir. UNESCO'nun insan gözetimi ve orantılılık/zarar vermeme gibi ilkeleri, otonomi arttıkça daha da pratik hale gelen normatif pusulalar sunar (UNESCO, 2026).

3.4.3 Türkiye Değerlendirmesi

Türkiye'nin model ve üretim kapasitesinde temel mesele, tam ölçekli frontier model yarışına girmekten çok, yerel dil/bağlam ve sektör önceliklerini merkeze alan bir uyarlama ve ürünleştirme kapasitesi inşa etmektir. Bu, Türkiye'nin mevcut compute altyapısı, veri varlıkları ve yetenek havuzu ile daha uyumlu bir ilk adım olabilir. TRUBA'nın GPU tabanlı hesaplama kapasitesi ve YZ kümeleriyle genişlemesi, bu tür bir uyarlama ekosistemi için önemli bir destek altyapısı rolü oynayabilir.

Bununla birlikte, Türkiye'nin stratejik belgelerinde Türkçe büyük dil modelleri ve üretken YZ'ye dönük ürün geliştirme odağının belirginleşmesi, model kapasitesi başlığının politika gündemine güçlü biçimde girdiğini gösterir. Ulusal Yapay Zekâ Stratejisi'nin kamu-özel sektör-akademi iş birliğiyle hazırlandığı ve Resmî Gazete düzeyinde koordinasyon mekanizmalarıyla çerçevelendiği; ayrıca 2024-2025 dönemine dönük güncellenmiş eylem planının üretken yapay zekâ, Türkçe büyük dil modelleri, HPC ve veriye erişim gibi başlıklara odaklandığı yönündeki kamuya açık duyurular bu eğilimi desteklemektedir (T.C. Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı, t.y.).

Tanı koyan bakışla, Türkiye'nin en kritik iki ihtiyacı şöyle özetlenebilir. Birincisi, Türkçe ve Türkiye bağlamına uygun veri varlıklarını (kamusal metinler, sektörel veri setleri, terminoloji kaynakları) etik ve hukuka uygun biçimde erişilebilir kılacak kurumsal düzeneklerdir. Aksi takdirde Türkçe model kapasitesi, veri bariyerlerine takılabilir. Üretken YZ'nin kişisel veri ve mahremiyet boyutunu keskinleştirdiğini vurguladığı için, bu alanda tasarım aşamasından itibaren uyum yaklaşımı kritik olacaktır. İkincisi, model değerlendirme-test-gözetim kapasitesidir. Modeli üretmek/uyarlamak kadar, güvenlik, önyargı, veri sızıntısı ve performans sapması gibi riskleri sistematik olarak ölçmek ve yönetmek gerekir.

Türkiye uygulama tarafında güçlüdür:

- Hukuk alanında YZ kullanımına dair öneriler geliştirilmiştir (Türkiye Bilişim Derneği, 2024).
- Kamu YZ projeleri artmaktadır.
- Savunma alanında ileri sistem deneyimi mevcuttur.

Ancak temel model üretimi açısından küresel rekabet düzeyinde değildir.

3.4.4 Gelecek Perspektifi

Gelecekte, model kapasitesi alanındaki stratejik hedef, tek bir büyük modele sahip olmaktan ziyade, kritik sektörlerde güvenilir kullanım senaryoları, yerel dil ve bağlamda rekabetçi uygulamalar, açık kaynak/ortak modelleri güvenli biçimde uyarlayabilme, test, değerlendirme ve sorumluluk mekanizmalarını kurumsallaştırma olmalıdır. Dünya Bankası'nın küçük YZ ve uyarlama vurgusu, büyük ölçekli altyapı bariyerleri karşısında bile yerel etki yaratabilecek hafif ve uyarlanabilir çözümlerin önemini hatırlatmaktadır (World Bank Group, 2025).

Bu perspektifte politika çıkarımı, Türkiye'nin model kapasitesini sektörel odaklı temel kabiliyetler etrafında inşa etmesidir. Örneğin kamu hizmetlerinde güvenli otomasyon, Türkçe içerik ve bilgi erişimi, endüstriyel verimlilik, sağlıkta karar destek gibi alanlarda ortak değerlendirme standartları ve güvenli veri alanları ile birlikte ilerleyen bir ekosistem kurulması. Avrupa'nın EHDS gibi alan-özel veri alanı inşası, model kapasitesi ile veri yönetişimini entegre etmenin somut bir örneğini sunmaktadır.

Türkiye için gerçekçi hedef:

- Sektörel uzmanlaşmış modeller geliştirmek
- Güvenli YZ test merkezi kurmak
- Bölgesel çözüm sağlayıcısı olmak

3.5. YÖNETİŞİM VE GÜVEN MİMARİSİ: RİSK TEMELLİ DÖNÜŞÜM

3.5.1 Küresel Eğilim

Küresel YZ yönetişiminde belirgin eğilim, ilke temelli çerçevelerden (principle-based) risk temelli, uygulanabilir ve denetlenebilir yaklaşımlara doğru geçiştir. OECD YZ İlkeleri, 2019'da benimsenip 2024'te güncellenen ilkeler seti olarak, insan hakları, şeffaflık, güvenlik ve hesap verebilirliği yaşam döngüsü perspektifiyle tanımlar ve politika yapıcılara esnek bir uluslararası referans noktası sunmaktadır (OECD, t.y.). UNESCO'nun Tavsiye Kararı ise, etik YZ'yi yalnızca değerler düzeyinde bırakmayıp kapsamlı politika eylem alanları üzerinden somutlaştırmaya çalışmaktadır (UNESCO, 2026).

Bu ilkesel çerçevelerin yanında, bağlayıcı düzenleme alanında en etkili küresel örneklerden biri, Avrupa Birliği'nin YZ Tüzüğü'dür (AI Act). Bu YZ Tüzüğü 1 Ağustos 2024'te yürürlüğe girmiştir. Ancak yükümlülüklerin kademeli biçimde uygulanacağı ve tam uygulamanın 2027'ye doğru

tamamlanacağı resmi kaynaklarda açıkça belirtilir. Bu yaklaşımın merkezinde, risk düzeyine göre yasaklar, yüksek riskli sistemler için sıkı yükümlülükler ve belirli şeffaflık gereksinimleri yer alır (European Commission, 2024).

Uluslararası hukuki çerçeve tarafında ise Council of Europe'un Yapay Zekâ Çerçeve Sözleşmesi, insan hakları, demokrasi ve hukukun üstünlüğü ekseninde YZ yaşam döngüsü faaliyetlerinin bu değerlerle uyumlu olmasını amaçlayan ve 5 Eylül 2024'te imzaya açılan ilk bağlayıcı uluslararası anlaşma olarak konumlanır (Council of Europe, 2026). Bu, YZ yönetiminde esnek hukuk (soft law) araçlarının yanında keskin hukuk (hard law) katmanının da güçlendiğini gösterir.

Diğer yandan yönetim, yalnızca devlet düzenlemesi değildir. Küresel süreçler ve çok paydaşlı girişimler de standartlaştırma ve uygulama kapasitesi üretir. World Economic Forum, üretken YZ çağında dayanıklı politika ve düzenleme için bütüncül (360°) yönetim yaklaşımlarını tartışan raporlar yayımlayarak kamu-özel sektör iş birliği ve öngörülü/çevik yönetim (anticipatory governance) temasını öne çıkarır (World Economic Forum, 2025).

Sözün özü, AB YZ Yasası (EU AI Act) risk temelli yaklaşımı benimsemektedir (EUR-Lex, t.y.). Birleşik Krallık ise daha esnek ve prensip temelli model uygulamaktadır (UK Government, 2023). Doğu Asya ülkeleri ulusal YZ yasaları çıkarmaktadır (Oxford Insights, 2026). Küresel ekseninde ortak tema; risk sınıflandırma, şeffaflık, sorumluluk, güvenilirlik olarak özetlenebilir.

3.5.2 Değerlendirme Soruları

Risk temelli yönetişimin sahadaki başarısı, kâğıt üzerindeki ilke ve yasaların kurumsal süreçlere dönüşmesine bağlıdır. Bu dönüşümü test eden değerlendirme sorularının ilk grubu, kurumsal risk yönetimi kapasitesine ilişkindir. Kurumlarda YZ riskleri kim tarafından sahipleniliyor, hangi metriklerle izleniyor, hangi eşiklerde durdurma/geri çekme (kill switch) mekanizmaları devreye giriyor? NIST'in yayımladığı YZ Risk Yönetimi Çerçevesi, bu ihtiyaca yanıt olarak risk yönetimini yaşam döngüsü boyunca yapılandırılabilir bir çerçeveye oturtmaktadır. Bu yaklaşım, kamu kurumları için de özel sektör için de uygulanabilirlik açısından güçlü bir referans sağlar (Boutin, 2025).

İkinci soru grubu, şeffaflık ve hesap verebilirlik zincirine ilişkindir. Model/veri kümesi dokümantasyonu, kayıt tutma (logs), kritik karar noktalarının izlenebilirliği ve etki değerlendirmeleri (impact assessments) düzenli olarak yapılıyor mu? Bu bağlamda OECD YZ İlkeleri'nin şeffaflık ve hesap verebilirlik vurgusu, bu pratikleri normatif beklenti olarak tanımlar. AB'nin YZ Tüzüğü zaman çizelgesinde, YZ okuryazarlığı (AI literacy) dahil erken dönemde yürürlüğe giren hükümler ve sonraki aşamalarda yüksek riskli sistemlere yönelik yükümlülükler, bu soruları bağlayıcı takvime bağlar (European Commission, t.y.).

Üçüncü soru grubu, uluslararası uyum ve birlikte çalışabilirlik üzerinedir. Ekosistem küresel olduğu için, farklı düzenleme rejimleri arasındaki uyumsuzluklar uyum maliyeti üretir. OECD, G7 Hiroşima YZ Süreci (Hiroshima AI Process) kapsamındaki gelişmiş YZ sistemleri için uluslararası davranış kurallarının uygulanmasını izlemeye dönük pilot girişim başlatarak, gönüllü normların daha ölçülebilir hale getirilmesi yönünde adım atıldığını duyurmuştur (OECD, 2024). Bu, çoklu çerçeveler çağında yöntemsel bir ihtiyaca işaret eder: normlar sadece yayımlanmakla kalmamalı, izlenebilir/raporlanabilir hale de gelmelidir.

Son olarak, güvenin yalnızca düzenleyici bir hedef değil, aynı zamanda benimseme ekonomisinin bir koşulu olduğu görülmelidir. Dünya Bankası, gelişmekte olan ülkelerin YZ'den fayda sağlayabilmesi için sadece altyapı değil düzenleyici ve kurumsal reformlarla güvenli benimseme zemininin güçlendirilmesi gerektiğini vurgulamaktadır. Bu, yönetişimin büyümeyi frenleyen bir engel değil, rekabetçiliği mümkün kılan bir altyapı olarak konumlandırılmasını gerektirir.

3.5.3 Türkiye Değerlendirmesi

Türkiye'nin yönetişim ve güven mimarisi açısından mevcut en somut zemin, veri koruma ve dijital haklar alanındaki kurumsal hukuki çerçevedir. KVKK'nın amaç maddesi, kişisel verilerin işlenmesinde temel hakların korunması ve veri işleyenlerin yükümlülüklerinin belirlenmesi üzerine kuruludur. Bu YZ sistemlerinin veri yönetişimi boyutunda temel bir çapa sağlar (Kişisel Verileri Koruma Kurumu, t.y.). Ancak YZ'nin ekosistemleri dönüştürme doğası, özel bir YZ risk ve hesap verebilirlik katmanı ihtiyacını artırmaktadır. Şeffaflık, denetlenebilirlik, model/veri kümesi dokümantasyonu, kritik kullanım senaryoları için etki değerlendirmeleri ve YZ okuryazarlığı gibi unsurlar, yalnızca veri koruma ile sınırlı olmayan bir yönetişim gündemi üretir.

Türkiye'nin stratejik belgelerine ilişkin kamuya açık duyurular, bu boşluğun fark edildiğine işaret ediyor. Ulusal YZ Stratejisi'nin Resmî Gazete'de yayımlanan genelge ile yürürlüğe sokulduğu ve koordinasyon mekanizmalarının tanımlandığına dair metinler; kamu–özel sektör–STK–akademi iş birliğinin koordinasyon düzeyinde kurumsallaştırılmak istendiğini gösterir (T.C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, t.y.). Ayrıca 2024–2025 eylem planına ilişkin duyurular, uluslararası normlarla uyumlu ulusal düzenleme hazırlığı, hukuki değerlendirme rehberi, değer/ilke etki analizi çerçevesi ve fikri mülkiyet gibi başlıklara işaret ederek risk-temelli bir yönetişim yöneliminin belirdiğini gösterir (OECD.AI, t.y.).

Tanı koyan perspektiften, Türkiye'de yönetişim mimarisinin olgunlaşması için iki kapasite alanı kritik görünür. Birincisi, kamu kurumları ve düzenleyici kurumlarda YZ risk yönetimini sistematik hale getirecek yöntem, standart ve insan kaynağıdır. OECD'nin kamu sektöründe YZ

kullanımı üzerine çalışmaları, kamu kurumlarının hem fırsatları hem de riskleri yönetmek için kurumsal hazırlık ihtiyacına vurgu yapar (OECD, 2024). İkincisi, özel sektörün hızla yaygınlaşan YZ kullanımında, sektör bağımsız asgari güvenlik/şeffaflık beklentilerinin ve denetim pratiklerinin netleşmesidir. Bu, finansal istikrar, tüketici hakları ve kritik altyapılar açısından giderek önem kazanacaktır.

Ulusal YZ Stratejisi mevcuttur. Hukuk alanında YZ kullanımında etik, şeffaflık ve bağımsız denetim önerilmektedir (T.C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, t.y.). Ancak operasyonel denetim mekanizmaları kurumsallaşmamıştır ve bağımsız YZ etik kurulları sistematik değildir.

3.5.4 Gelecek Perspektifi

Gelecekte yönetişimde en muhtemel eğilim, ulusal rejimlerin birlikte çalışabilir (interoperable) hale gelmesidir. Yani tamamen aynı kurallar değil, birbirini tanıyan, ortak kavram setlerini paylaşan ve sınır aşan risklerde eş güdüm kurabilen çerçevelerdir. OECD AI İlkeleri'nin pek çok yargı alanında tanım ve yaşam döngüsü çerçevesi olarak referans edilmesi ve OECD'nin G7 Code of Conduct izleme pilotu, bu yönde bir uluslararası yakınsama arayışını gösterir (OECD.AI, t.y.).

Türkiye için bu perspektifte politika çıkarımı, AB YZ Tüzüğü takvim ve kavram setini dışsal bir uyum maliyeti olarak değil ihracat, tedarik zinciri ve yatırım çekme açısından rekabet koşulu olarak değerlendirmektir. YZ Tüzüğü'nün kademeli uygulama zaman çizelgesi ve yükümlülük alanları, Türkiye'de hem kamu hem özel sektör için hazırlık penceresi sunar (OECD.AI, t.y.). Bununla uyumlu olarak, NIST AI RMF gibi risk yönetimi çerçevelerinin kurum içi süreçlere aktarılması; denetim, dokümantasyon ve izleme kapasitesini hızla olgunlaştırabilir.

Kısaca bu bağlamda Türkiye; bölgesel YZ güven merkezi olabilir. Risk temelli yönetişimi erken benimseyerek avantaj sağlayabilir ve kurumsal YZ yönetim sistemlerini yaygınlaştırabilir.

3.6. İNSAN KAYNAĞI VE KURUMSAL DÖNÜŞÜM

İnsan kaynağı, YZ ekosisteminin en zor ölçeklenen bileşenidir. Çünkü yetenek eğitim programlarının ötesinde iş piyasası, kurum kültürü, ücret yapısı, araştırma ekosistemi ve göç dinamikleriyle birlikte şekillenir. World Economic Forum'un 2025 Geleceğin Meslekleri (Future of Jobs) raporu teknolojik değişim, jeoekonomik parçalanma ve yeşil dönüşümün iş piyasasını gelecekte kadar yeniden şekillendireceği çıkarımında bulunur.

170 milyon yeni iş yaratılırken 92 milyon işin yer değiştirebileceğini ve net 78 milyonluk artış olsa bile iş dönüşümünün 2030'a kadar küresel işlerin %22'sine denk gelebileceğini belirtir (World Economic Forum, t.y.). Raporda ayrıca beceri açığının dönüşümün önündeki en önemli engellerden

biri olduğu özetlenmektedir. Pek çok işte gerekli becerilerin önemli bir bölümünün değışeceği ve işverenlerin büyük bir kısmının upskilling/reskilling planladığı vurgulanır.

Bu dönüşümün YZ ekosistemi açısından anlamı şudur. YZ uzmanı yetiştirmek tek başına yeterli değildir. Farklı sektörlerdeki çalışanların YZ okuryazarlığı (AI literacy) kazanması, süreç sahiplerinin YZ'yi doğru kullanım senaryolarına bağlayabilmesi, hukuk/uyum ekiplerinin riskleri anlayabilmesi ve üst yönetimin yatırım–risk dengesini kurabilmesi gerekir. AB'nin YZ Tüzüğü erken aşamada YZ okuryazarlığına dair yükümlülük getirmesi, insan kaynağının yalnız teknik bir mesele değil, uyumun da ön koşulu olduğuna işaret eder.

Gelişmekte olan ekonomilerde insan kaynağı boyutu, altyapı ve veriyle daha da sıkı bağlanır. Dünya Bankası, üretken YZ iş ilanlarının hızlı arttığını ve orta gelirli ülkelerde de bu alanda anlamlı bir pay oluştuğunu gösterir. Ancak inovasyonun (model geliştirme, girişimler, risk sermayesi) hâlâ yüksek gelirli ülkelerde yoğunlaştığını belirtir (World Bank Group, 2025). Bu, kullanıcı olmak ile üreten/uyarlayan olmak arasındaki farkı insan kaynağı stratejisinin merkezine yerleştirir. Eğer ülkeler sadece kullanıcı kalırsa, verimlilik artışı sınırlı ve bağımlılık yüksek olabilir, uyarlama ve ürünleştirme kapasitesi gelişirse, yerel katma değer artabilir.

Türkiye açısından kurumsal dönüşümün iki temel boyutu öne çıkar. Birincisi, ulusal strateji belgelerinde de vurgulanan biçimde, uzman insan kaynağını artırma ve istihdam yaratma hedefiyle ekosistem bileşenlerinin (veri, hesaplama, düzenleme) uyumlu ilerlemesidir. Ulusal YZ Stratejisi'nin stratejik öncelikleri arasında insan kaynağı ve altyapıya erişim başlıklarının birlikte yer alması, bu tamamlayıcılığın politika metinlerine yansıdığını gösterir.

İkincisi, özel sektörün üst yönetim düzeyinde YZ yatırım portföyü ve risk portföyü yaklaşımına geçmesidir. Verimlilik, kalite, müşteri deneyimi gibi konular önemli kazanımlardır. Ancak veri yönetişimi, güvenlik ve uyum kapasitesiyle birlikte sürdürülebilir olur. NIST ve OECD'nin risk yönetimi çerçeveleri, bu kurumsal dönüşümün pratik araç setini besleyebilir (NIST, 2026).

Öte yandan Oxford Insight'ın Küresel YZ Hazırlık Endeksi, en büyük açığın Gelişim ve Yayılım (Development & Diffusion) boyutunda olduğunu göstermektedir (Oxford Insights, 2026). Yetenek eksikliği, YZ'nin ölçeklenmesini sınırlayan en kritik faktördür.

Türkiye'nin medyan yaşı Avrupa Birliği ortalamasının belirgin biçimde altındadır. Genç nüfusun dijital araçlarla erken yaşta tanışması, YZ uygulamalarını benimseme ve geliştirme kapasitesi açısından potansiyel bir avantaj oluşturmaktadır. Türkiye aynı zamanda Avrupa'nın en büyük genç mühendis havuzlarından birine sahiptir.

Ancak nüfus yapısının otomatik olarak YZ yetkinliğine dönüşmesi beklenmemelidir. Belirleyici olan nüfusun büyüklüğü değil, beceri profilidir. MacroPolo'nun Küresel YZ Yetenek Takipçisi'ne göre Türk üniversitelerinden mezun olan nitelikli YZ araştırmacılarının önemli bir bölümü ABD ve Avrupa'daki kurumlarda çalışmaktadır. Bu beyin göçü, yurtiçi kapasitenin inşasını doğrudan zorlaştırmaktadır.

Demografik avantajın gerçek bir ekonomik kazanıma dönüşmesi; eğitim müfredatının YZ çağının beceri gereksinimlerine uyarlanmasına, nitelikli insan kaynağını yurt içinde tutacak araştırma altyapısının güçlendirilmesine ve mevcut iş gücünün YZ ile çalışma yetkinliğinin artırılmasına bağlıdır.

Ek olarak kamu yöneticileri için YZ yönetişimi eğitimi zorunlu hâle gelebilir. Üniversite-sanayi YZ işbirliği güçlenmelidir ve YZ okuryazarlığı (AI Literacy) üst düzey yönetim (C-suite) düzeyine taşınmalıdır (U.S. Department of Labor, t.y.).

3.7. GELECEK SENARYOLARI

3.7.1 Senaryo 1: Uyum Sağlayan Ülke

Bu senaryoda Türkiye, küresel YZ ekosistemindeki yoğunlaşma eğilimini kaçınılmaz bir dış gerçeklik olarak kabul eder. Stratejisini ise uyum maliyetlerini minimize edip fırsatları maksimize etmeye odaklar. AB YZ Tüzüğü'nün kademeli takvimi ve risk-temelli yaklaşımı, Türkiye'de hem ihracatçı sektörler hem de yerel piyasa için erken uyum planlarına dönüştürülür. YZ okuryazarlığı, dokümantasyon ve risk yönetimi pratikleri kurumlara yayılır. Ekosistem, inşa etmek (build) yerine daha çok adapte olmak (adapt) yaklaşımıyla güçlenir. Açık kaynak ve ortak modeller, Türkçe ve sektör ihtiyaçlarına uyarlanır ve TRUBA gibi altyapılar AR-GE ve test amaçlı stratejik rol oynar (TRUBA, t.y.).

Ancak bu senaryoda risk, ülkenin uzun vadede ürünleştirme zincirinin kritik halkalarında (bulut YZ hesaplama, model güvence/evaluasyon kapasitesi, veri alanları) dışa bağımlı kalmasıdır. Dünya Bankası'nın yenilikçilik yoğunlaşması bulguları, uyum sağlansa bile ekosistemin çekirdeğinin dışarıda kalabileceğini hatırlatır. Bu nedenle uyum sağlayan ülke yolu, yerel katma değeri artırmak için seçilmiş sektörlerde güçlü pilotlar ve ölçeklenebilir kurumsal kapasite gerektirir.

3.7.2 Senaryo 2: Bölgesel Uzman

Bu senaryoda Türkiye, tam ölçekli genel amaçlı model liderliği yerine bölgede belirli dikeylerde (örneğin; kamu hizmetleri, sağlık teknolojileri, üretim/lojistik, Türkçe ve yakın coğrafya

dilleri) uzmanlaşarak bölgesel bir çekim merkezi olmayı hedefler. Avrupa'nın veri alanları ve EHDS gibi sektörel yaklaşımı, Türkiye'de benzer biçimde alan-özel veri ekosistemleri kurma yönünde ilham verir. Veri yönetişimi kuralları, inovasyonu boğmadan güvenli paylaşımı mümkün kılan mekanizmalara yönelir.

Hesaplama boyutunda, enerji-şebeke planlaması veri merkezi ve bulut yatırımlarıyla daha sıkı eşgüdüm içinde yürütülür. IEA'nın veri merkezleri elektrik talebi projeksiyonları, bu senaryoda Türkiye için stratejik bir uyarı işlevi görür: bölgesel uzmanlık ölçek kazanırsa, enerji ve şebeke kapasitesi rekabet avantajına dönüşebilir. Kurumsal olarak ülke, NIST benzeri risk yönetimi yaklaşımlarını yaygınlaştırarak güven temelli bir piyasa avantajı yaratmaya çalışır.

Risk, uzmanlaşmanın sürdürülebilir olması için insan kaynağı ve kurumsal kapasitenin hızla büyütülmesi gereğidir. WEF'in beceri dönüşümü bulguları, bu tür bir uzmanlaşmada eğitim-iş gücü politikalarının belirleyici olacağını gösterir. Böylece belirli sektörlerde güçlü konumlanır.

3.7.3 Senaryo 3: Stratejik Orta Güç

Bu senaryoda Türkiye, YZ ekosistemini ekonomik rekabetçilik ekseninde güçlenmek için jeopolitik ve stratejik otonomi (strategic autonomy) ekseninde de kurgular. Amaç, tam bağımsızlıktan ziyade kritik bağımlılıkların yönetimidir. Bu; hesaplama, veri ve yönetişimde asgari ulusal kapasiteyi güvence altına alırken, uluslararası iş birliklerinde de pazarlık gücünü artırmayı hedefler. OECD'nin kapsayıcı YZ ekosistemi yaklaşımı ve GPAI-OECD entegre ortaklığının politika uygulamalarını yaygınlaştırma hedefi, bu senaryoda Türkiye'nin çok taraflı platformlar üzerinden ortak standart ve araçlardan faydalanmasına imkân verebilir.

Bu yaklaşım aynı zamanda güven mimarisini stratejik araç haline getirir. AB YZ Tüzüğü, Council of Europe Sözleşmesi ve UNESCO normatif çerçevesi gibi farklı katmanlar, Türkiye'nin kendi ulusal yaklaşımını tasarlarken birlikte çalışabilirlik için referans setine dönüşür. Böylece Türkiye, hem iç piyasada güveni güçlendirip benimsemeyi hızlandırmayı, hem de bölgesel/uluslararası pazarlarda uyum avantajı elde etmeyi hedefler.

Risk, bu senaryonun yüksek koordinasyon ve kaynak gerektirmesidir. Enerji-hesaplama yatırımları, veri alanları, değerlendirme/denetim kapasitesi ve insan kaynağı dönüşümü eş zamanlı ilerlemezse yarım kalmış stratejik iddia ortaya çıkabilir. Dünya Bankası'nın dört C/dört B çerçevesinin vurgusu, bu senaryoda özellikle belirleyicidir. Herhangi bir ayağın zayıflığı tüm ekosistemi aşağı çekebilir.

3.7.4 Düzenli Etki Ölçümü ve İstatistik Üretimi

Yukarıdaki politika alanlarının her biri güvenilir ve güncel veriye dayanmak zorundadır; ancak YZ'nin ekonomik etkilerinin ölçümü mevcut istatistik altyapısıyla yeterince yapılamamaktadır. YZ'nin görev düzeyindeki etkilerini, beceri profillerindeki kaymaları ve otomasyon ile yeni iş yaratma arasındaki dengeyi izlemek için ek göstergelere ihtiyaç vardır (Brynjolfsson vd., 2021). Türkiye'nin YZ'nin yarattığı ve ortadan kaldırdığı işlerin düzenli olarak, tercihen üç aylık dönemlerle izlemesi bu alanda somut bir adım olarak düşünülebilir. (Acemoglu ve Restrepo, 2019). Güney Kore'nin 2024 YZ Çerçeve Yasası, devletin YZ kaynaklı istihdam etkilerini düzenli izlemesini ve işverenlerin önceden bildirim yapmasını zorunlu kılar (Republic of Korea, 2024); etki ölçümünü kurumsal bir zorunluluğa dönüştürmesi bakımından hem istatistiksel hem düzenleyici bir işlev görür. OECD'nin YZ Politika Gözlemevi karşılaştırmalı izleme için ek bir referans noktası sunar (OECD AI Policy Observatory, 2024).

4. BÖLÜM: YAPAY ZEKÂ YÖNETİŞİMİ VE ETİĞİ

4.1. GİRİŞ: YÖNETİŞİM, RİSKLER VE ETİK

Bu bölümün amacı, nihai ve ayrıntılı bir politika metni üretmekten çok, üretken yapay zekâ, büyük dil modelleri, çok modlu modeller ve aracı YZ (agentic AI) açısından temel kavramları (Ören vd., 2025), başlıca risk alanlarını ve güncel düzenleyici gelişmeleri aynı çerçevede bir araya getirmektir. Metin özellikle iki ayrımı merkeze almaktadır: Birincisi, yönetişimin yalnızca teknik bir mesele değil, hukuki, kurumsal ve toplumsal bir mesele olduğu; ikincisi ise üretken yapay zekâ ile aracı YZ (agentic AI) arasında önemli bir nitelik farkı bulunduğudur. Üretken yapay zekâ çoğu durumda içerik üretirken, aracı YZ (agentic AI) sistemleri plan yapabilen, araç kullanabilen, harici sistemlerle etkileşebilen ve bazı görevleri insan adına yerine getirebilen yapılara doğru ilerlemektedir. Bu nedenle yönetişim tartışması da “çıktı kalitesi” ekseninden “eylem, yetki, denetlenebilirlik ve sorumluluk” eksenine kaymaktadır (IMDA, 2026; NIST, 2024).

4.2. KAVRAMSAL ÇERÇEVE: ÜRETKEN YAPAY ZEKÂDAN ARACI (AGENTIC) YAPAY ZEKÂYA

Bugünkü tartışmanın merkezinde yer alan yapay zekâ dalgası, ağırlıklı derin öğrenme tabanlı modeller ve özellikle de üretken modeller üzerinden şekillenmektedir. Derin öğrenme, çok katmanlı temsiller üzerinden karmaşık örüntüleri öğrenebilmesi sayesinde görüntü, dil ve ses gibi alanlarda büyük sıçramalar yaratmıştır (Bengio, LeCun, & Hinton, 2021). Bu zeminde gelişen üretken yapay zekâ, mevcut verilerden hareketle yeni metin, görsel, video, ses ve kod üretebilen bir model ailesidir. Strobel ve arkadaşlarının sınıflandırması, üretken yapay zekâyı yalnızca “içerik üreten” araçlar olarak değil; üreteçler, yeniden yorumlayıcılar, sentezleyiciler, yardımcıları ve etkinleştiriciler gibi farklı kullanım tipleriyle düşünmenin daha doğru olduğunu göstermektedir (Strobel et al., 2024). Bu ayrım önemlidir, çünkü riskler de araç tipine, etkileşim biçimine ve kullanım bağlamına göre değişmektedir.

Aracı YZ ise üretken yapay zekânın bir üst katmanı olarak düşünülebilir. Burada sistem yalnızca çıktı üretmez, hedefi yorumlar, çok adımlı plan oluşturur, gerekli gördüğü alt görevleri böler, araçları çağırır, başka ajanlarla işbirliği yapar ve çevresini belirli ölçüde etkileyebilir. Son dönemde bu alanın hızla öne çıkmasının nedeni, üretken modellerin doğal dil arayüzü ile muhakeme benzeri akışları birleştirmesidir. Bununla birlikte “aracı (ajan)” kavramı hâlen akışkan bir kavramdır. Farklı tasarımlar farklı düzeylerde özerklik, izin ve denetlenebilirlik doğurmaktadır (IMDA, 2026). Borghoff, Bottoni ve Pareschi (2025), bu alanı çok ajanlı yapılar ile insan-yapay zekâ bütünleşmesine dayalı “centaurian” yapılar arasında düşünmeyi önermektedir. Bu yaklaşım, gelecekte yönetişim

tartışmasının yalnızca model değil, insan-makine iş bölümü ve sınır çizimi üzerine de kurulacağını göstermektedir.

Bu nedenle raporun bu bölümünde “yapay zekâ” tek bir yekpare teknoloji gibi değil, farklı yetenek ve etki profillerine sahip sistemler kümesi olarak ele alınmaktadır. Özellikle üretken yapay zekâ ve aracı YZ için aynı yönetim kalıplarını otomatik olarak uygulamak yeterli olmayacaktır. Aracı (Agentic) yapılarda risk, yalnızca yanlış cevap verme riski değildir. Yanlış eylem, aşırı yetki kullanımı, veri sızıntısı, zincirleme hata ve hesap verebilirliğin bulanıklaşması gibi sorunlar da ön plana çıkar.

4.3. YÖNETİŞİM: ULUSLARARASI, ULUSAL VE KURUMSAL DÜZEYLER

Yapay zekâ yönetişi, yalnızca yasa çıkarmak anlamına gelmemektedir. Daha geniş anlamıyla yönetişim, kuralların, rollerin, kurumların, standartların, denetim mekanizmalarının ve uygulama pratiklerinin birlikte tasarlanmasıdır. Bu bağlamda uluslararası ve ulusal düzey ile kurumsal ve şirket düzeyini birbirinden ayırmak analitik olarak faydalıdır.

Düzy	Temel soru	Başlıca araçlar
Uluslararası	Ortak ilke ve asgari norm nedir?	OECD/UNESCO ilkeleri, NIST çerçeveleri, AB AI Act, ISO standartları
Ulusal	Ülke içinde yetki, denetim ve teşvik nasıl kurulacak?	Mevzuat, kamu alımları, sektörel düzenleme, denetim ve test kapasitesi
Kurumsal	Hangi kullanım senaryolarına hangi koşulla izin verilecek?	AI politikası, risk sınıflandırması, tedarikçi yönetimi, onay eşikleri
Operasyonel	Sistem günlük hayatta nasıl güvenli çalışacak?	Kimlik ve yetki yönetimi, loglama, izleme, olay müdahalesi, insan onayı

Tablo 6. Yapay zekâ yönetişiminin çok katmanlı yapısı

Uluslararası düzeyde bakıldığında OECD Yapay Zekâ İlkeleri, insan haklarına ve demokratik değerlere saygılı, yenilikçi ve güvenilir yapay zekâ için ortak bir referans noktası sunmaktadır. İlkeler 2019’da kabul edilmiş, 2024’te güncellenmiştir (OECD, 2024). UNESCO’nun 2021 tarihli Yapay Zekâ Etiği Tavsiye Kararı ise 194 üye devlet için geçerli küresel etik referans olarak insan hakları, insan onuru, şeffaflık, adalet ve insan gözetimini merkeze almaktadır (UNESCO, 2021). NIST AI RMF ve onun üretken yapay zekâ profili ise özellikle risk yönetimi, ölçme, yönetme ve yönetişimi iş süreçlerine bağlayan pratik bir yapı sunmaktadır (NIST, 2023, 2024). Standartlar tarafında ise ISO/IEC 42001 kurumsal yapay zekâ yönetim sistemi için çerçeve sağlarken, ISO/IEC 23894 yapay zekâya

özgü risk yönetimi rehberi sunmakta; ISO/IEC 42005 ise 2025 itibarıyla yapay zekâ sistem etki değerlendirmesi için yeni bir katman eklemektedir (ISO, 2023, 2025).

Ulusal düzeyde ise devletin rolü, yalnızca yasak koymak ya da izin vermek değildir. Kamu alımları, düzenleyici kurumların yetkileri, veri koruma uygulamaları, standartlara uyum, sektör bazlı yüksek risk tanımları, test ve denetim kapasitesi, yapay zekâ okuryazarlığı ve kamu kurumlarının kendi kullanım ilkeleri de yönetişimin parçasıdır. Türkiye açısından bakıldığında, 2021-2025 Ulusal Yapay Zekâ Stratejisi önemli bir başlangıç noktasıdır; ancak üretken yapay zekâ ve özellikle aracı YZ (agentic AI) sonrasında bu çerçevenin daha operasyonel, daha güncel ve kurumlar arası iş bölümünü daha net belirleyen yeni katmanlarla güçlendirilmesi gerekecektir (T.C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, 2021).

Kurumsal/şirket düzeyinde yönetişim ise çoğu zaman eksik halka olarak kalmaktadır. Oysa fiili risklerin önemli bölümü burada ortaya çıkmaktadır. Hangi kullanım senaryolarına izin verileceği, hangi verilerin modele verilebileceği, hangi ajanların hangi araçlara erişeceği, insan onayının hangi aşamalarda zorunlu olacağı, tedarikçiden hangi belgelerin isteneceği ve olay/ihlal yönetiminin nasıl yapılacağı şirket içi yönetişim meselesidir. IMDA'nın 2026 tarihli aracı YZ (agentic AI) çerçevesi bu bakımdan önemli bir güncel katkı sunmakta; risklerin baştan sınırlandırılması, insanların anlamlı biçimde hesap verebilir kalması, teknik kontroller ve süreçlerin uygulanması ve son kullanıcı sorumluluğunun tanımlanması olmak üzere dört alan önermektedir (IMDA, 2026).

4.4. RİSK DEĞERLENDİRMESİ VE YÖNETİMİ

Risk değerlendirmesi bu alanın omurgasıdır. NIST yaklaşımıyla risk, olasılık ile etkinin bileşik değerlendirmesidir; ancak yapay zekâ alanında bu değerlendirme klasik yazılımdan daha zordur, çünkü modeller bağlama duyarlıdır, öngörülmeyen davranışlar sergileyebilir, üçüncü taraf bileşenlere bağımlı olabilir ve toplumsal etkiler teknik hata ölçülerine indirgenemez (NIST, 2023). Üretken yapay zekâda risk yalnızca yanlış yanıt üretimi değildir; bilgi bütünlüğü, siber güvenlik, mahremiyet, zararlı önyargı, değer zinciri bağımlılıkları, telif ihlalleri ve kötüye kullanım gibi çok boyutlu alanlara yayılır (NIST, 2024).

Aracı YZ'da (Agentic AI) risk değerlendirmesi daha da farklılaşır. Burada en az altı değişken önem kazanır: sistemin özerklik düzeyi, gerçekleştirebildiği eylemlerin kapsamı, bu eylemlerin geri döndürülebilir olup olmaması, eriştiği verinin hassasiyeti, kullandığı araçların niteliği ve tek ajan/multi-agent mimarisinin yarattığı etkileşim karmaşıklığı. Örneğin şirket içi bilgi arama ajanı ile ödeme yapabilen, müşteri veritabanını güncelleyebilen veya harici API'lerle işlem başlatabilen ajan aynı risk profilinde değildir. Bu nedenle “tek model politikası” yerine “kullanım senaryosu bazlı risk sınıflandırması” tercih edilmelidir (IMDA, 2026).

Olgun bir yönetim modeli en az şu adımları içermelidir: kullanım senaryosu envanteri, risk sınıflandırması, go/no-go eşikleri, artık riskin kabul kriterleri, test ve doğrulama çerçevesi, canlı izleme, olay müdahalesi, denetim izi ve geri çekme/askıya alma mekanizması. Özellikle yüksek etkili alanlarda modelin teknik başarımı tek başına yeterli değildir; kararın kim adına, hangi veriyle, hangi amaçla, hangi itiraz ve düzeltme yolları açık tutularak verildiği de değerlendirilmelidir.

Burada dikkat edilmesi gereken önemli nokta, risk yönetiminin statik değil, sürekli bir faaliyet olduğudur. NIST AI RMF'nin yönetim, haritalama, ölçme ve yönetme işlevlerini yaşam döngüsüne yayması bu nedenle önemlidir (NIST, 2023). Aracı YZ (Agentic AI) için de IMDA, önceden tüm risklerin görülemeyeceğini, bu yüzden kademeli yaygınlaştırma, sürekli test ve izleme gerektiğini vurgulamaktadır (IMDA, 2026). Başka bir deyişle yapay zekâ yönetimi, “bir kez politika yaz ve bitir” yaklaşımını değil, yaşayan bir kontrol sistemini gerektirir.

Risk sınıflandırmasının sayısal bir çerçeveye oturtulması, günümüz yapay zekâ yönetim tartışmasının merkezi sorunlarından birini oluşturmaktadır. NIST AI RMF'nin 2024 sonrasında geliştirilen profil yaklaşımı bu ihtiyacı doğrudan ele almaktadır. Alan odaklı profiller, sektörlere veya kullanım senaryolarına göre özelleştirilmiş rehberlik sunmakta, kurumların kendi bağlamlarına en uygun risk ve kontrollere odaklanmalarına olanak tanımakta ve böylece çerçevenin daha hızlı ve tutarlı biçimde hayata geçirilmesini desteklemektedir.

Bu profiller ayrıca yapılandırılmış kriterler sunarak denetim ve uygunluk değerlendirmelerini de kolaylaştırmaktadır. Bununla birlikte mevcut literatür, sektör-bağımsız tek bir puanlama yönteminin yetersiz kaldığını ortaya koymaktadır. AB Yapay Zekâ Yasası'nın “yüksek risk” veya “sınırlı risk” gibi geniş kategoriler kullandığı, NIST AI RMF'nin ise sistemler arasında karşılaştırmalı puanlama imkânı sunmayan işlevsel bir çerçeve önerdiği belirtilmektedir. Bu durum, denetçilerin ve mühendislerin bir sohbet robotundaki (chatbot) halüsinasyonun mı yoksa bir öneri sistemindeki model kaymasının mı daha tehlikeli olduğu gibi pratik kararları alırken belirsizlik içinde kaldığı anlamına gelmektedir (Nemko Digital, t.y.-a).

4.5. ETİK İLKELER

Etik tartışma çoğu zaman soyut ilkeler listesine indirgenmektedir; oysa asıl mesele bu ilkelerin kurumsal kararlara nasıl çevrileceğidir. UNESCO ve OECD çerçeveleri bu anlamda yararlıdır. İnsan onuru, insan hakları, adalet, şeffaflık, hesap verebilirlik, güvenlik, insan gözetimi ve toplumsal fayda temel ilkeler olarak öne çıkmaktadır (OECD, 2024; UNESCO, 2021). Ancak üretken yapay zekâ bağlamında etik sorunlar daha pratik sorulara dönüşmektedir: Kullanıcı sisteme ne kadar güvenmeye teşvik edilmektedir? Sistem kendi sınırlarını ne kadar açık ifade etmektedir? Hangi gruplar sistematik

olarak zarar görme riski altındadır? İçerik üretimi kimin emeğini görünmez kılmaktadır? Otomasyon baskısı çalışanların mesleki muhakemesini aşındırmakta mıdır?

Aracı YZ (Agentic AI) ile birlikte etik sorumluluk daha da ağırlaşmaktadır. Çünkü artık mesele yalnızca yanlış veya yanıltıcı metin üretimi değil, yetki devri ve karar süreçlerinin dönüşümüdür. Brynjolfsson ve Hitzig'in tartıştığı üzere, güçlü yapay zekâ sistemleri yerel/tacit bilgiyi kodlayabildikçe karar alma daha merkezî hâle gelebilir. Bunun ekonomik verimlilik kadar güç yoğunlaşması ve insan özerkliğinin aşınması gibi etkileri de olabilir (Brynjolfsson & Hitzig, 2025). Bu nokta özellikle kamu yönetimi, medya, eğitim ve finans gibi alanlarda önemlidir. İnsanların karar yetkisini fiilen daraltan, ancak sorumluluğu yine insanda bırakan tasarımlar etik açıdan sorundur.

Bu nedenle etik ilkeler kurumsal mekanizmalara çevrilmelidir. Örneğin şeffaflık, her durumda model içini tam açıklamak anlamına gelmeyebilir; ama kullanım amacı, veri kaynak kategorileri, yetki sınırları, insan onayı gerektiren aşamalar ve hata durumunda başvuru yolları açıkça belirtilmelidir. Adalet ilkesi, yalnızca veri setinde denge aramak değildir. Erişim eşitsizliği, dil farklılıkları, kültürel önyargılar ve engellilik gibi boyutların da hesaba katılmasını gerektirir. Hesap verebilirlik ise “insan gözetimi var” demekle sınırlı kalmamalıdır. Hangi insanın, hangi yetkiyle, hangi kayıt üzerinden sorumluluk taşıdığı belirgin olmalıdır.

Etik ilkelerin sektöre özgü pratiklere dönüştürülmesi, yapay zekâ yönetişiminin en somut gerekliliklerinden biridir. Sağlık alanında bu mesele özellikle baskın bir biçimde tezahür etmektedir. Uluslararası literatür, yapay zekânın sağlık hizmetlerinde kullanımında adalet ve hesap verebilirlik ilkelerinin yaşam döngüsünün her aşamasında değerlendirilmesi gerektiğini vurgulamaktadır.

Veri toplama aşamasından gerçek dünya uygulamasına kadar yinelemeli etki değerlendirmeleri, olası önyargıların tespit edilip düzeltilmesine ve kurumların eşit yapay zekâ çözümleri sunmasına katkı sağlamaktadır. Türkiye bağlamında bu yaklaşım, yalnızca teknik doğruluk ölçütlerini değil, dezavantajlı grupların sistematik biçimde dışlanıp dışlanmadığını, hastaların kararlar üzerindeki itiraz haklarını ve hekimlerin klinik muhakemesinin otomasyona ne ölçüde bağımlı hâle geldiğini de kapsayan etik denetim mekanizmalarının hayata geçirilmesini gerektirmektedir.

Eğitim ve kamu hizmetleri alanında ise etik sorumluluk farklı bir boyut kazanmaktadır. Sektöre özgü yapay zekâ düzenlemesinin en ileri durumda olduğu alanlar eğitim ve araştırma olarak öne çıkmaktadır. Millî Eğitim Bakanlığı, 2025-2029 Eylem Planı kapsamında kamusal okullarda kullanılan yapay zekâ araçları için etik inceleme zorunluluğu öngörmekte, bunun yanı sıra model şeffaflığına ilişkin tedarikçi değerlendirme kriterleri ve otomatik sistemlere aşırı bağımlılığı önlemeye yönelik pedagojik güvenceler de bu çerçevede kapsamında yer almaktadır.

Kamu hizmetleri açısından ise şeffaflık ilkesinin operasyonel bir gereği olarak algoritmik kararların etkilenen vatandaşlara anlaşılır biçimde açıklanması, itiraz mekanizmalarının güvence altına alınması ve özellikle sosyal yardım değerlendirmesi ile hukuki süreçlerde insan onayı eşiklerinin belirlenmesi kritik önem taşımaktadır (Regulations AI, 2024).

4.5.1. Türkiye’de Yapay Zekâ Etiği: Yaklaşım Metodolojisi ve Temel İlkeler

Uluslararası alanda yapay zekâ etiği literatürü incelendiğinde belirli ilkelerin öne çıktığı görülmektedir. Şeffaflık, hesap verebilirlik, adillik, zarar vermeme ve insan denetimine saygı bu ilkelerin başında gelmektedir. Mittelstadt ve ark. (2016), algoritma etiğini haritalayan çalışmalarında bu ilkelerin birbiriyle olan gerilimlerine dikkat çekmiş; ilkelerin tek başına etik YZ’yi garanti edemeyeceğini vurgulamıştır.

Türkiye Yapay Zekâ İnisiyatifi (TRAI) tarafından 2024 yılında yayımlanan “Yapay Zekâ Etik İlkeleri ve Hukuki Düzenlemeler” başlıklı rapor, Türkiye bağlamında bu ilkeleri güvenlik, şeffaflık, adillik, hesap verebilirlik ve gizlilik olarak tanımlamıştır. Rapor, YZ sistemlerinin tüm yaşam döngüleri boyunca gizlilik ve veri koruma standartlarına uygun tasarlanmasını bir zorunluluk olarak ortaya koymaktadır.

Risk temelli yaklaşım açısından değerlendirildiğinde AB Yapay Zekâ Yasası’nın benimsediği metodoloji, Türkiye için de kritik bir referans oluşturmaktadır. AB üyelik sürecindeki Türkiye’nin AI Act ile paralel bir çerçeve geliştirmesi hem iç pazar uyumunu kolaylaştıracak hem de uluslararası alanda güvenilirliğini pekiştirecektir. Mevcut Kanun Teklifi’nin yüksek riskli sistemlerin tanımlanmasında yeterli ayrıntıya yer vermediği ve risk kategorilerinin netleştirilmediği hukuk analistleri tarafından eleştirilmektedir (MANAS Sosyal Araştırmalar Dergisi, 2025).

4.6. SİBER GÜVENLİK VE BİLGİ MAHREMİYETİ

Üretken yapay zekâ ve aracı YZ (agentic AI), siber güvenlik ile mahremiyet tartışmasını merkeze taşımaktadır. Çünkü bu sistemler yalnızca veri işleyen modeller değildir, aynı zamanda yeni saldırı yüzeyleri üretirler. Özellikle aracı (agentic) yapılarda araç çağırma, eklenti/middleware katmanları, haricî veri kaynakları, çok ajanlı koordinasyon ve kimlik-yetki yönetimi yeni riskler doğurur. IMDA bu nedenle ajanların benzersiz kimliğe sahip olmasını, yetkilerin rol bazlı ve en az ayrıcalık ilkesiyle tanımlanmasını, delegasyonların kayıt altına alınmasını, güvenilir sunucuların beyaz listeye alınmasını ve gerekli yerlerde sandbox kullanımını önermektedir (IMDA, 2026). Bu öneriler, klasik bilgi güvenliği ilkelerinin aracı YZ bağlamına çevrilmiş hâli olarak okunabilir.

Siber güvenlik açısından temel tehditler arasında yapay zekâyı kandırma veya yapay zekâ manipölasyonu (prompt injection), veri sızdırma, hassas veriyle aşırı bağlam besleme, araçların yanlış sırada veya yanlış parametrelerle çağırılması, model çıkarımı/model extraction, güvenlik filtrelerinin aşılması ve ajanın dolaylı komutlarla manipölle edilmesi sayılabilir. NIST’in üretken yapay zekâ profili de bilgi güvenliği risklerini, zararlı kullanım ve güvenlik önlemlerinin aşılması riskleriyle birlikte ele almakta, güvenlik değerlendirmesinin yalnızca nihai çıktı üzerinden değil, model davranışı, çevre, entegrasyon ve kullanım bağlamı üzerinden yapılması gerektiğini göstermektedir (NIST, 2024).

Mahremiyet tarafında ise Avrupa Veri Koruma Kurulu’nun (EDPB) son görüşleri önemlidir. EDPB, yapay zekâ modellerinin geliştirme ve devreye alma aşamalarında kişisel verinin hangi koşullarda işlendiği, bir modelin ne zaman “anonim” sayılabileceği, meşru menfaat gibi hukuki dayanakların nasıl gerekçelendirileceği ve hukuka aykırı veri işlemenin sonraki aşamalara etkisi gibi konulara açıklık getirmeye çalışmaktadır (EDPB, 2024). 2025 tarihli LLM mahremiyet riskleri raporu da sistematik risk belirleme ve azaltma yaklaşımı önermektedir (EDPB, 2025). Bu çizgi bize şunu söylemektedir: “model eğitildi, artık veri koruma sorunu geride kaldı” yaklaşımı kabul edilemez. Veri minimizasyonu, amaç sınırlaması, hukuki dayanak, veri koruma etki değerlendirmesi ve tasarımda veri koruma ilkeleri tüm yaşam döngüsüne yayılmalıdır.

Kurumsal düzeyde bunun karşılığı şudur: Hassas veriler için varsayılan kapalı yaklaşım, log ve maskeleme politikaları, tenant/organizasyon ayrımı, veri yerelliği tercihleri, dış model sağlayıcı sözleşmeleri, özel ince ayar/fine-tuning politikaları ve çalışan eğitimleri birlikte ele alınmalıdır. Özellikle aracı YZ (agentic AI) sistemlerde “kullanıcı neye erişebiliyorsa aracı (ajan) da erişebilir” varsayımı bile tek başına yeterli değildir. Aracının (ajanın) bu erişimi hangi hızda, hangi ölçekte ve hangi bağlam zinciriyle kullanabileceği de ayrıca sınırlandırılmalıdır.

Kurum içi yapay zekâ kullanımına yönelik güvenlik çerçevesi oluştururken en güncel ve doğrulanmış referans OWASP GenAI Security Project⁹ kapsamındaki LLM uygulamaları kontrol listesidir. Bu kontrol listesi, yönetici, teknoloji, siber güvenlik, gizlilik, uyum ve hukuk birimleri ile DevSecOps¹⁰, MLSecOps¹¹ ve siber güvenlik ekipleri dahil tüm liderlik katmanlarına yönelik hazırlanmış olup hızlı hareket eden yapay zekâ dünyasında fırsatları değerlendirirken aceleye

⁹ <https://genai.owasp.org/>

¹⁰ DevSecOps (Development, Security and Operations — Geliştirme, Güvenlik ve Operasyonlar), yazılım geliştirme ve operasyon süreçlerine güvenliği baştan entegre eden bir metodoloji ve kültürdür. Güvenliği ayrı bir aşama ya da engel olarak değil, tüm yaşam döngüsünün doğal bir parçası olarak konumlandırır.

¹¹ MLSecOps (Machine Learning Security Operations — Makine Öğrenmesi Güvenlik Operasyonları) ise DevSecOps ilkelerini yapay zekâ ve makine öğrenmesi sistemlerine özgüleştiren bir yaklaşımdır. Model geliştirme, eğitim, devreye alma ve izleme aşamalarının tümünde güvenlik denetimlerini zorunlu kılar.

getirilmiş veya güvensiz yapay zekâ uygulamalarının risklerine karşı koruma sağlamayı amaçlamaktadır.

Kurumsal düzeyde bu kontrol listesinin yönlendirdiği asgari gereklilikler şu başlıklar altında ele alınabilir: yapay zekâyı kandırmaya veya yapay zekâ manipülasyona (prompt injection) karşı girdi doğrulama mekanizmaları, hassas veri ifşasını önlemeye yönelik çıktı filtreleme, en az ayrıcalık ilkesine dayalı erişim denetimi, gölge yapay zekâ kullanımını (yetkisiz araç ve eklentiler) sınırlandıran politikalar ve yapay zekâ sistemleri için loglama ile olay müdahale planı (OWASP Foundation, t.y.).

KVKK uyum boyutuyla değerlendirildiğinde ise bu kontrol gerekliliklerinin Türk hukuk çerçevesine entegrasyonu doğrudan bir zorunluluk hâline gelmektedir. KVKK, yüksek riskli yapay zekâ işleme için Veri Koruma Etki Değerlendirmesi (VKED/DPIA) yapılmasını zorunlu tutmakta, modellerin eğitiminde kullanılan veri setlerinin ya anonimleştirilmesini ya da açık rıza ya da sözleşme ifası gibi geçerli bir hukuki dayanak çerçevesinde işlenmesini şart koşturmaktadır.

Türkiye ayrıca hassas verilerin yurt içinde tutulması ve sınır ötesi aktarımı için özel gereklilikler öngörmektedir. Bu durum, küresel bulut altyapılarını kullanan yapay zekâ geliştiricilerini önemli ölçüde etkilemektedir. Kurum içi kontrol listesinin pratik uygulamasında bu iki boyutun, teknik güvenlik ve veri koruma uyumu, ayrı silolar olarak değil, birleşik bir çerçeve içinde ele alınması gerekmektedir (Regulations AI., t.y.).

Firmalar YZ platformlarına iç süreçlerini ve müşteri verilerini aktardığında, bu bilginin kontrolü konusunda çok katmanlı bir risk doğar: aktarılan kurumsal bilgi platformun eğitim verisine dahil olabilir, rakiplere dolaylı yoldan fayda sağlayabilir ya da platformun ticari çıkarları doğrultusunda kullanılabilir. Stratejik sektörlerdeki firmaların bilgi birikiminin yabancı platformlarda birikmesi ulusal rekabet avantajının aşınması anlamına gelir. Firma düzeyinde hangi verilerin dış platformlara aktarılabilmesine ilişkin sınıflandırma standartları, kritik altyapı sektörleri için düzenleyici veri işleme çerçeveleri ve veri egemenliğini uluslararası veri akışını engellemeden gözetim dengeli bir yaklaşım bu alanda tartışılacak politika yönelimleridir. AB YZ Yasası'nın genel amaçlı modellere yönelik şeffaflık gereksinimleri bu dengeyi kurmaya çalışan bir referans noktası olarak değerlendirilebilir.

4.7. HALÜSİNASYONLAR VE YANILTICI ÇIKTILAR

Kamuoyunda “halüsinasyon” diye bilinen problem, üretken yapay zekânın en görünür risklerinden biridir. NIST, bu kavramın insan benzeri çağrışımları nedeniyle “confabulation” terimini tercih etmekte ve modelin akıcı, ikna edici ama hatalı veya uydurma içerik üretmesini temel risk alanlarından biri olarak değerlendirmektedir (NIST, 2024). Bu problem salt teknik kalite sorunu

değildir. Bilgi bütünlüğü, kamu güveni, kurumsal itibar ve hukuki sorumlulukla doğrudan ilişkilidir. Özellikle hukuk, sağlık, finans, gazetecilik ve kamu hizmetleri gibi alanlarda yanlış ama kendinden emin cevaplar yüksek zarar doğurabilir.

Aracı YZ (Agentic AI) bağlamında ise risk daha büyüktür. Çünkü hatalı çıktı yalnızca yanlış bilgi olarak kalmayabilir ve yanlış plan, yanlış araç çağırısı veya yanlış işlem emrine dönüşebilir. Bu nedenle halüsinasyon sorunu sadece model doğruluğunu artırarak çözülemez. Kullanım senaryosunun daraltılması, güvenilir kaynaklarla temellendirme, onaylı kurumsal bilgi tabanlarıyla çalışma, kaynak gösterme ve doğrulama, yüksek etkili eylemlerde insan onayı, otomatik durdurma eşikleri ve çıktıların sonradan izlenmesi birlikte tasarlanmalıdır (NIST, 2024; IMDA, 2026).

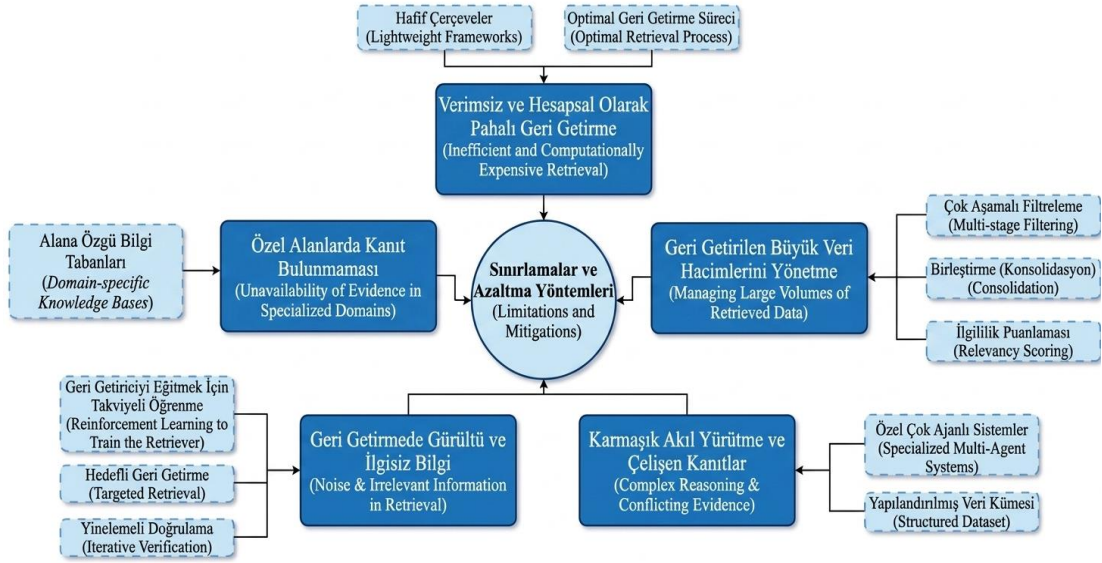
Ayrıca kullanıcı arayüzü tasarımı da önemlidir. Sistem kendisini olduğundan daha yetkin, bilinçli veya kesin gösterdiğinde otomasyon yanlışlığı artar. İnsanlar, özellikle daha önce iyi performans gösteren sistemlere aşırı güvenme eğilimi gösterebilir. Bu nedenle kullanıcıya belirsizliklerin açıkça gösterilmesi, kaynakların görünür kılınması ve sistemin bir “otorite simülasyonu” olarak tasarlanmaması önem taşır.

Yanıtıcı çıktılar bağlamında içerik kökeni/provenans, işaretleme ve etiketleme mekanizmaları da giderek daha kritik hâle gelmektedir. NIST, sentetik içeriğin köken bilgisinin izlenmesinin bilgi bütünlüğüne katkı sağlayabileceğini belirtirken (NIST, 2024), Avrupa Komisyonu da AI Act kapsamındaki şeffaflık yükümlülükleri için işaretleme ve etiketleme kodu üzerinde çalışmaktadır (European Commission, t.y.).

Halüsinasyon riskinin teknik ve operasyonel boyutlarda ölçülmesi, giderek olgunlaşan ancak henüz standartlaşmamış bir alan olmayı sürdürmektedir. Mevcut literatür, değerlendirme metriklerini birkaç farklı kategori altında ele almaktadır. Halüsinasyon tespitine özgü değerlendirme veri setleri arasında HaluEval, ReaLMistake, TruthfulQA ve FoolMeTwice öne çıkmaktadır. Bu kaynaklar halüsinasyonlu çıktıların ayrıntılı gerekçeleriyle birlikte etiketlenmiş örneklerini sunmakta ve büyük dil modellerinde belirteç düzeyinde belirsizlik, mantıksal tutarlılık ve açıklama uyumunun değerlendirilmesinde kritik bir işlev görmektedir.

FactScore ve FEVER Skoru gibi metrikler ise olgusal doğruluğun değerlendirilmesi ve iyileştirilmesi amacıyla yaygın biçimde kullanılmaktadır. Operasyonel bağlamlarda ise bu statik kıyaslama araçlarının ötesinde, gerçek zamanlı izleme ve RAG¹² sistemlerine özgü doğrulanabilirlik değerlendirmesi kritik öneme kazanmaktadır (Rahman et al., 2026).

¹² Retrieval-Augmented Generation (RAG), yapay zekâ modelinin cevap üretmeden önce dış kaynaklardan ilgili bilgileri getirip kullanarak daha doğru ve güncel yanıtlar üretmesini sağlayan bir yöntemdir.



Şekil 9. RAG tabanlı doğruluk kontrolündeki (fact-checking) sınırlamalar ve bunlara yönelik azaltma stratejileri. Koyu renkli kutular sınırlamaları, açık renkli kutular ise bunlara karşılık gelen azaltma stratejilerini göstermektedir (Rahman et al., 2026).

Kurumsal düzeyde tek bir metriğin yeterliliği tartışmalıdır. Bunun yerine katmanlı bir ölçüm yaklaşımı önerilmektedir. TruthfulQA gibi araçlar halüsinasyon stres testleri için, FactScore ise özellikle RAG sistemlerinde halüsinasyonların yayılmasının önüne geçebileceği iz sürülebilirlik değerlendirmeleri için kullanılmaktadır.

KoLA, çok alanlı bilgiye dayalı akıl yürütmenin değerlendirilmesinde doğruluk ve bağlamsal geçerliliği aynı anda ölçen bir araç olarak öne çıkmaktadır. Bu çift gereklilik kurumsal sistemlerde özellikle önem taşımaktadır. Türkiye’de sağlık, hukuk veya kamu hizmetleri gibi yüksek etkili alanlarda yapay zekâ sistemleri devreye alındığında bu metriklerin salt geliştirme süreçlerinde değil, canlı ortamda süregelen izleme kapsamında da uygulanması ve eşik değerlerinin hangi koşullarda insan onayını zorunlu kılacağını önceden belirlemesi gerekmektedir (Shukla, 2025).

4.8. TELİF HAKLARI VE FİKRÎ MÜLKİYET

Üretken yapay zekâ alanında telif tartışması en az üç katmanda ilerlemektedir. Birinci katman, eğitim verileridir: Modeller telif korumalı eserlerle eğitilebilir mi, hangi koşullarda eğitilebilir, lisans gerekir mi, şeffaflık ne ölçüde zorunlu olmalıdır? İkinci katman, çıktılardır: Yapay zekâ tarafından üretilen veya yapay zekâ yardımıyla oluşturulan bir içeriğin telif koruması hangi koşullarda mümkündür? Üçüncü katman ise dijital replikalar ve kişilik haklarıdır: Bir kişinin sesi, yüzü, üslubu veya performansı ne ölçüde taklit edilebilir?

Bu alan hâlen hızlı biçimde şekillenmektedir ve hukuk birliği bulunmamaktadır. ABD Telif Ofisi'nin 2025 tarihli raporları, özellikle insan yaratıcılığı şartını yeniden vurgulamış, yalnızca yapay zekâ çıktısına dayanmanın telif koruması için yeterli olmadığını, insan katkısının niteliğinin belirleyici olduğunu ortaya koymuştur (U.S. Copyright Office, 2025a, 2025b). Aynı ofis, eğitim verisi katmanı için de 2025'te ayrı bir rapor yayımlamış, ancak bu alanın politika ve dava boyutları itibarıyla hâlen tartışmalı olduğunu göstermiştir (U.S. Copyright Office, 2025c). Avrupa Birliği tarafında ise AI Act, genel amaçlı yapay zekâ model sağlayıcılarına AB telif hukukuna uyum için politika oluşturma yükümlülüğü getirmiştir. Avrupa Komisyonu'nun 10 Temmuz 2025'te yayımladığı GPAI Code of Practice içinde telif bölümü de yer almıştır (European Commission, 2025a, 2025b).

Kurumsal sonuç açıktır: Kurumlar “hukuk henüz net değil” diyerek bu alanı erteleyemez. Eğitim verisi kökeni, lisans ve kullanım şartları, veri toplama politikaları, çıktıların üçüncü taraf eserlerle yüksek benzerlik riski, insan katkısının dokümantasyonu ve ses/yüz benzerliği gibi konular için iç politika gerekir. Özellikle medya, yayıncılık, reklamcılık, eğitim ve yaratıcı endüstrilerde telif konusu yönetişimin merkezî bir parçası olmalıdır. WIPO ve EUIPO da telif, atıf, hak yönetimi ve tazmin mekanizmalarının üretken yapay zekâ çağında temel tartışma alanları olduğunu vurgulamaktadır (EUIPO, 2025; WIPO, 2025).

Türk telif hukuku açısından yapay zekâ çıktılarının hukuki statüsü, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunu'nun (FSEK) mevcut yapısı çerçevesinde değerlendirilmektedir ve bu alanda ciddi belirsizlikler sürmektedir. Türk hukuku kapsamındaki temel entelektüel mülkiyet mevzuatı altında yapay zekâyâ özgü herhangi bir düzenleme bulunmamaktadır. Algoritmalar da 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunu (Telif Hukuku Kanunu) ve 6769 sayılı Sınâî Mülkiyet Kanunu kapsamında doğrudan koruma altına alınmamaktadır.

Genel kabul gören görüşe göre bir eserin yazarı insan olabilmektedir. Türkiye ise şu an itibarıyla yapay zekâyı edebi, sanatsal veya sinematografik eserler dahil entelektüel ve sanatsal yapıtların yazarı olarak tanımamaktadır. Bu çerçevede saf yapay zekâ çıktısı çoğu durumda FSEK kapsamında bir “eser” niteliği taşımamakta, dolayısıyla klasik anlamda bir telif koruması doğmamaktadır.

Eğitim verisi meselesi ve veri madenciliği istisnası açısından ise Türk hukuk sisteminde açık bir boşluk mevcuttur. 2024-2025 Eylem Planı, yapay zekânın oluşturduğu içeriklerin fikri mülkiyet haklarını açıklığa kavuşturacak kılavuzlar hazırlanması ve yapay zekâ ürünlerinin patent alınabilirliğine ilişkin standartlaştırma çalışmalarının yürütülmesi gibi eylemleri kapsamaktadır.

Ancak yapay zekânın eğitimi amacıyla telif hakkıyla korunan eserlerin kullanılmasına olanak tanıyan metin ve veri madenciliği istisnasına dair açık bir yasal düzenleme henüz mevcut değildir.

Bu boşluk, Türk medya ve yayıncılık kuruluşları ile yazılım geliştiricileri açısından somut hukukî riskler doğurmaktadır. Özellikle AB'deki model sağlayıcılarla yürütülen lisanslama müzakerelerinde Türk içerik sahiplerinin müzakere gücünü zayıflatmaktadır. FSEK'in 31-38. maddelerinde düzenlenen mevcut istisnalar, eğitim amaçlı büyük ölçekli veri kullanımını yeterince karşılamamaktadır. Bu durum, gelecekteki ulusal yapay zekâ mevzuatında Türkiye'ye özgü bir metin ve veri madenciliği rejiminin açıkça tanımlanmasını zorunlu kılmaktadır (Global Legal Insights, t.y.).

4.9. DÜZENLEMELER VE STANDARTLAR

Düzenleme tarafında en önemli güncel gelişme Avrupa Birliği Yapay Zekâ Yasası'dır. AI Act kademeli biçimde uygulanmaktadır: genel hükümler, tanımlar, yapay zekâ okuryazarlığı ve yasaklı uygulamalara ilişkin hükümler 2 Şubat 2025'te uygulanmaya başlamıştır. Genel amaçlı yapay zekâ model sağlayıcılarına ilişkin yükümlülükler ise 2 Ağustos 2025'ten itibaren devreye girmiştir. Komisyonun GPAI sağlayıcıları için yayımladığı kılavuzlara göre bu yükümlülüklerin uygulanması 2025'te başlarken, Komisyonun doğrudan yaptırım yetkileri 2 Ağustos 2026'da devreye girecektir (AI Act Service Desk, 2026; European Commission, 2025b). Bu çerçeve, özellikle üretken yapay zekâ sağlayıcıları bakımından şeffaflık, telif uyumu, sistemik risk ve ciddi olay bildirimini gibi alanları somutlaştırmaktadır.

Bir başka önemli gelişme, Avrupa Komisyonu'nun 10 Temmuz 2025'te yayımladığı GPAI Code of Practice'tir. Kod, şeffaflık, telif ve güvenlik/güvence bölümlerinden oluşmakta ve sağlayıcılara gönüllü ama pratik bir uyum yolu sunmaktadır (European Commission, 2025a). 2026 başında imzacı görev gücünün toplanmış olması da bu alanın “taslak ilke” aşamasından uygulama aşamasına geçtiğini göstermektedir (European Commission, 2026a). Benzer biçimde Singapur'un 2026 Aracı YZ (Agentic AI) yönetim çerçevesi, üretken yapay zekâ sonrasında ajan temelli sistemler için kurumlara doğrudan uygulanabilir bir model sunması bakımından dikkat çekicidir (IMDA, 2026).

Standartlar alanında ise yönetim mimarisi hızla yoğunlaşmaktadır. ISO/IEC 42001 kurumsal AI yönetim sistemini, ISO/IEC 23894 yapay zekâ risk yönetimini, ISO/IEC 42005 etki değerlendirmesini desteklemektedir. ISO'nun güncel çalışma programında olay raporlama, yapay zekâ sistem loglama, insan gözetimi, üretken yapay zekâ riskleri ve çıktı kalitesi gibi başlıklarda yeni standartlar da görünmektedir (ISO, 2025). Bu eğilim, önümüzdeki dönemde regülasyon ile standardizasyonun daha sıkı bağlanacağını düşündürmektedir. Kurumlar için anlamı şudur: uyum

yalnızca hukuk biriminin işi olmaktan çıkacaktır. Kalite, bilgi güvenliği, veri koruma, iç denetim ve ürün ekiplerinin ortak konusu hâline gelecektir.

YZ'nin düzenlenmesine yönelik küresel ölçekte farklı yaklaşımlar olduğu görülmektedir. Avrupa Birliği, YZ sistemlerini risk düzeylerine göre sınıflandıran ve yüksek riskli uygulamalar için sıkı düzenlemeler öngören AI Act ile kapsamlı bir yasal çerçeve oluşturmayı hedeflemektedir (European Commission, 2021). ABD'de ise daha çok yenilik odaklı ve esnek bir düzenleme yaklaşımı benimsenirken, Çin'de devlet kontrolünün daha güçlü olduğu merkezi bir model uygulanmaktadır. UNESCO tarafından yayımlanan YZ etik ilkeleri, insan hakları, şeffaflık, adalet ve kapsayıcılık gibi temel değerleri ön plana çıkarmaktadır (UNESCO, 2021). Singapur ise birkaç yıl önce Singapore Infocomm Media Development Authority aracılığıyla oluşturduğu mevzuatı, Aracı YZ, Bedenleşmiş YZ gibi kavramları da ekleyerek, oluşabilecek riskleri daha iyi yönetmeyi amaçlıyor. Bu farklı yaklaşımlar, YZ'nin yalnızca teknolojik bir gelişme olmadığını, aynı zamanda küresel ölçekte hukuki ve politik bir mesele olduğunu göstermektedir.

4.9.1. Türkiye'deki Mevcut Hukuki Çerçeve ve Yasal Düzenleme Gelişmeleri

Türkiye'de YZ alanındaki mevcut hukuki altyapı, başta Kişisel Verilerin Korunması Kanunu (KVKK) olmak üzere çeşitli sektörel düzenlemelerden oluşmaktadır. Kişisel Verileri Koruma Kurumu, 2024 itibarıyla YZ sistemlerinin kişisel veri işleme süreçlerindeki etkilerini yakından incelemekte ve bu alanda çeşitli düzenlemeler önermektedir. Yanıltıcı yapay zekâ içerikli reklamların Reklam Kurulu tarafından cezalandırılması ise mevcut çerçevenin uygulamaya yansıyan bir boyutunu oluşturmaktadır (Pekin Hukuk Bürosu, 2024).

Mevcut kanun teklifi, yeni bir bağımsız yapay zekâ düzenleyicisi oluşturmak yerine mevcut Türk kurumlarına dayanmaktadır; birincil uygulama ve teknik denetim yetkileri BTK ile KVKK arasında paylaştırılmaktadır. Bu çok merkezli yapı, kurumlar arası koordinasyonun etkin biçimde sağlanmasını zorunlu kılmaktadır. Deepfake teknolojileri, dezenformasyon riskleri ve demokratik süreçlere etkileri de Türkiye'de güncelliğini korumakta; kanun teklifinde öngörülen deepfake etiketleme zorunluluğu bu alanda önemli bir adımı temsil etmektedir (GSG Hukuk, 2024; Global Legal Insights, t.y.).

Türkiye'de YZ alanındaki politikalar, Cumhurbaşkanlığı Dijital Dönüşüm Ofisi tarafından hazırlanan Ulusal Yapay Zekâ Stratejisi (2021–2025) kapsamında ele alınmaktaydı. Bu strateji, yapay zekânın ekonomik, sosyal ve hukuki boyutlarını kapsayan bütüncül bir yaklaşım sunmaktadır. Strateji kapsamında;

- Yapay zekâ ekosisteminin geliştirilmesi,
- İnsan kaynağının güçlendirilmesi,
- Veri yönetişimi ve altyapının iyileştirilmesi,
- Etik ve hukuki düzenlemelerin oluşturulması

gibi temel hedefler belirlenmiştir (T.C. Cumhurbaşkanlığı Dijital Dönüşüm Ofisi, 2021).

Özellikle veri güvenliği, kişisel verilerin korunması ve etik yapay zekâ kullanımı stratejinin önemli bileşenleri arasında yer almaktadır. Bu durum, Türkiye’nin YZ alanında yalnızca teknolojik gelişimi değil, aynı zamanda hukuki ve etik çerçeveyi de güçlendirmeyi hedeflediğini göstermektedir.

Strateji, 2021/18 sayılı Cumhurbaşkanlığı Genelgesi ile 20 Ağustos 2021 tarihli ve 31574 sayılı Resmî Gazete’de yayımlanarak yürürlüğe girmiştir. Cumhurbaşkanlığı Dijital Dönüşüm Ofisi Başkanlığı ile Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı iş birliğinde, kamu kurumları, üniversiteler, özel sektör, sivil toplum kuruluşları, meslek birlikleri ve uluslararası organizasyonların etkin katılımıyla çok paydaşlı ve katılımcı bir yaklaşımla hazırlanmıştır. Strateji, On Birinci Kalkınma Planı, Cumhurbaşkanlığı Yıllık Programları, “Dijital Türkiye” vizyonu ve “Milli Teknoloji Hamlesi” ile uyumlu biçimde tasarlanmıştır (Cumhurbaşkanlığı Dijital Dönüşüm Ofisi, 2021).

Ulusal Yapay Zekâ Stratejisi’nin vizyonu “Müreffeh bir Türkiye için çevik ve sürdürülebilir bir yapay zekâ ekosistemiyle küresel düzeyde değer üretmek” olarak belirlenmiştir. Bu vizyona ulaşmak amacıyla altı temel stratejik öncelik tanımlanmıştır:

- Yapay zekâ alanında uzman insan kaynağını geliştirmek ve istihdamı artırmak
- Araştırma faaliyetlerini, girişimciliği ve yenilikçiliği teşvik etmek
- Kaliteli veriye ve teknik altyapıya erişimi genişletmek
- Sosyoekonomik dönüşümü hızlandıracak mevzuat ve düzenlemeleri hayata geçirmek
- Uluslararası iş birliklerini derinleştirmek
- Yapısal dönüşümü ve iş gücü yetkinliklerini artırmak

Strateji belgesi, 2025 yılı sonuna kadar ulaşılması hedeflenen ölçülebilir performans göstergeleri de tanımlamaktadır (Cumhurbaşkanlığı Dijital Dönüşüm Ofisi, 2021; Anadolu Ajansı, 2021):

- Yapay zekâ teknolojilerinin GSYİH’ye katkısının %5’e yükseltilmesi

- Yapay zekâ sektöründe 50.000 yeni istihdam yaratılması
- Lisansüstü düzeyde YZ öğrenci sayısının 10.000'e ulaştırılması
- Türkiye'nin uluslararası yapay zekâ endekslerinde ilk 20 ülke arasına girmesi

Ulusal Yapay Zekâ Stratejisi, teknik ve ekonomik hedeflerin yanı sıra güvenilir yapay zekâ ilkelerine de açıkça yer vermiştir. Strateji, ölçülülük, emniyet ve güvenlik, tarafsızlık, mahremiyet, şeffaflık ve açıklanabilir olma yönünde etik temelli bir yaklaşım benimsemektedir. Bu ilkeler, algoritmik karar verme süreçlerinin denetlenebilirliğini, kişisel veri güvenliğini ve yapay zekâ sistemlerinin insan haklarıyla uyumunu güvence altına almayı amaçlamaktadır. Söz konusu etik çerçeve, Türkiye'nin yalnızca teknolojik kapasitesini değil, aynı zamanda uluslararası ölçekte güvenilir bir YZ aktörü olma vizyonunu da yansıtmaktadır.

12. Kalkınma Planı doğrultusunda Ulusal Yapay Zekâ Stratejisi Yönlendirme Kurulu, 2021–2025 eylem planının güncellenmesine karar vermiş ve Ulusal Yapay Zekâ Stratejisi 2024–2025 Eylem Planı yürürlüğe girmiştir. Bu güncel planda öne çıkan odak alanları şunlardır (Cumhurbaşkanlığı Dijital Dönüşüm Ofisi, 2024; CottGroup, 2024):

- Üretken yapay zekâ teknolojilerinin geliştirilmesi ve Türkçe büyük dil modellerinin oluşturulması
- Yüksek başarılı hesaplama altyapıları ile veri erişim imkânlarının artırılması
- Ar-Ge, yenilikçilik ve girişimcilik ekosisteminin güçlendirilmesi
- İş gücünün dönüşümü ve uzman insan kaynağının artırılması

Strateji, Türkiye'nin yapay zekâ alanındaki vizyonunu, ölçülebilir hedeflerini, yönetim yapısını ve etik duruşunu bütüncül bir çerçevede ortaya koyan öncü bir politika belgesidir. Stratejinin hayata geçirilmesiyle birlikte kamu hizmetlerinden sanayiye, eğitimden sağlığa kadar geniş bir alanda verimlilik, rekabetçilik ve etik hassasiyet temelli bir dönüşüm hedeflenmektedir.

Standartlar boyutunda da Cumhurbaşkanlığı Dijital Dönüşüm Ofisi koordinasyonunda hazırlanan Ulusal Yapay Zekâ Stratejisi 2021-2025 ve 2024-2025 güncellemesi, ülkenin bu alandaki temel yol haritasını ortaya koymaktadır. 2026 Cumhurbaşkanlığı Yıllık Programı ise yapay zekâyı artık salt yenilik aracı olarak değil, devlet kapasitesinin çekirdek bir bileşeni olarak konumlandırmaktadır. AB AI Act ve ISO standartlarıyla uyumlu bir Türk YZ düzenleme çerçevesinin oluşturulması hem iç pazar bütünlüğü hem de uluslararası güvenilirlik açısından kritik öneme sahip olmaya devam etmektedir (Cumhurbaşkanlığı Dijital Dönüşüm Ofisi, 2024; Strateji ve Bütçe Başkanlığı, 2025).

Türkiye Büyük Millet Meclisi'ne 24 Haziran 2024 tarihinde sunulan Yapay Zekâ Kanun Teklifi, ülkemizde bu alandaki ilk kapsamlı yasal düzenleme girişimini temsil etmektedir. Teklif, YZ sistemlerini “insan benzeri bilişsel işlevleri yerine getirebilen ve öğrenme, mantık yürütme, problem çözme, algılama ve dil anlama gibi yeteneklere sahip bilgisayar tabanlı sistem” olarak tanımlamaktadır. Bu, Türk hukukunda ilk kez bir yasal metinde yer alan YZ tanımı olma özelliğini taşımaktadır. Hukuk analistleri, teklifi önemli bir ilk adım olarak görmekle birlikte, yüksek riskli sistemlerin tanımındaki belirsizlikler, uygunluk değerlendirme eksikliği ve temel hak analizlerinin yetersizliği nedeniyle yasal çerçevenin güçlendirilmesi gerektiğini vurgulamaktadır (Çakmak Hukuk Bürosu, 2024; Gün + Partners, 2024).

3 Eylül 2025 tarihinde TBMM'ye sunulan ikinci Yapay Zekâ Kanun Teklifi ise önceki girişime kıyasla daha kapsamlı bir içeriğe sahip olup “Türkiye'nin dijital istiklâlini güçlendirme” vizyonunu ön plana çıkarmaktadır. Bu teklif, yapay zekâ kavramının Türk hukukunda kapsamlı biçimde tanımlanmasını, deepfake içeriklere yönelik şeffaflık yükümlülüklerini ve denetim mekanizmalarının güçlendirilmesini içermektedir. Türkiye'nin bu yaklaşımla uluslararası gelişmeleri izleyen bir konumdan kendi kurallarını belirleyen aktif bir aktöre dönüşmesi hedeflenmektedir (Yapay Zekâ Kanun Teklifi, 2025).

AB Yapay Zekâ Yasası'nın benimsediği dört risk kategorisinin (kabul edilemez risk, yüksek risk, sınırlı risk, minimum risk) Türk yasal çerçevesine entegre edilmesi, hem AB uyum sürecini hızlandıracak hem de hukuki belirsizlikleri ortadan kaldıracaktır. Buna ek olarak, yurt dışında geliştirilen ve Türkiye'deki kullanıcılara sunulan YZ sistemlerinin yasal kapsam açısından netliğe kavuşturulması ve bağımsız bir YZ Denetim Otoritesi'nin kurumsal yapısının belirlenmesi, öncelikli yasal adımlar olarak öne çıkmaktadır.

4.10. TÜRKİYE İÇİN DEĞERLENDİRMELER VE ÖNERİLER

Türkiye açısından en makul yaklaşım, ne yalnızca “bekle-gör” ne de yalnızca “erken ve aşırı sınırlayıcı düzenleme” yaklaşımıdır. Daha uygun yol, risk temelli ama uygulamaya dönük bir çerçeve oluşturmaktır. Avrupa Birliği ile ticaret, veri akışı ve teknoloji ekosistemi ilişkileri düşünüldüğünde, AI Act ve ilgili standartlarla uyumlu düşünmek stratejik açıdan önemlidir. Ancak Türkiye'nin ihtiyaç duyduğu şey, bu çerçeveleri doğrudan kopyalamaktan çok, kendi kamu idaresi, KOBİ yapısı, veri ekosistemi, dil ihtiyaçları ve sektör öncelikleriyle uyumlu hâle getirmektir.

İlk olarak, kamu ve özel sektör için ortak referans oluşturacak bir “üretken yapay zekâ ve aracı YZ (agentic AI) yönetişim rehberi” hazırlanabilir. Bu rehber, kullanım senaryosu sınıflandırması,

asgari kontrol listeleri, tedarikçi değerlendirme soruları, veri koruma beklentileri, telif ve içerik işaretleme ilkeleri, insan gözetimi modelleri ve olay bildirim mantığı içerebilir.

İkinci olarak, kamu alımlarında yapay zekâ için dokümantasyon ve denetlenebilirlik şartları aranmalıdır. Üçüncü olarak, sağlık, finans, eğitim, medya ve kamu hizmetleri gibi alanlarda sektör bazlı ek ilkeler geliştirilmelidir. Dördüncü olarak, test, değerlendirme ve kırmızı takım/denetim kapasitesi güçlendirilmelidir. Beşinci olarak, AI okuryazarlığı yalnızca teknik çalışanlara değil, yöneticilere, hukuk ekiplerine, denetçilere ve kamu görevlilerine de yayılmalıdır. AI Act'ın AI literacy yükümlülüğünün erken yürürlüğe girmiş olması bu alanın artık “yan mesele” sayılamayacağını göstermektedir (European Commission, 2026b).

Bu alanın yalnızca risk değil, güç ve bağımlılık meselesi olduğu da unutulmamalıdır. Üretken yapay zekâ ve aracı YZ (agentic AI), karar alma, bilgi işleme ve içerik üretimini merkezîleştirme eğilimi taşıyabilir. Bu nedenle yönetim, sadece zarar azaltma değil, rekabet, şeffaflık, yerel kapasite, dil egemenliği ve toplumsal güven bakımından da ele alınmalıdır.

Kısa vadede en öncelikli adım, mevcut kurumsal rollerin ve yetki sınırlarının netleştirilmesidir. Mevcut kanun teklifi, yeni bir bağımsız yapay zekâ düzenleyicisi oluşturmak yerine mevcut Türk kurumlarına dayanmaktadır. Birincil uygulama ve teknik denetim yetkileri BTK ile KVKK arasında paylaştırılmaktadır. Bu çok merkezli yapı, kurumlar arası koordinasyonun etkin biçimde sağlanmasını zorunlu kılmaktadır. Söz konusu koordinasyon mekanizmasının ise ikincil uygulama araçlarında veya komisyon raporlarında somutlaştırılması gerekmektedir (Global Legal Post, t.y.).

Orta ve uzun vadede ise strateji, daha dönüşümsel bir nitelik kazanmaktadır. Türkiye'nin 2026 Cumhurbaşkanlığı Yıllık Programı, yapay zekâyı artık salt yenilik aracı olarak değil, devlet kapasitesinin çekirdek bir bileşeni olarak konumlandırmaktadır. Vergi ve gümrükte makine öğrenmesi tabanlı risk analizinden sağlık hizmetlerinde otomatik karar destek sistemlerine, sosyal politikada öngörücü analizden vatandaşlara yönelik sürekli dijital yardıma kadar geniş bir yelpazeyi kapsamaktadır. Program ayrıca kamu sektörü yapay zekâ araçları için standart belgelendirme süreçleri, biçimsel risk değerlendirme prosedürleri ve kötüye kullanım ile istenmeyen sonuçları önlemeye yönelik etik kılavuzlar öngörmektedir.

Bu kurumsal altyapının inşasının tamamlanması, sektörel düzenleyicilerin yapay zekâya özgü yetkilerinin yasalaşması ve kamu alımlarında yapay zekâ için denetlenebilirlik şartlarının standart hâle getirilmesi, ardından gelen 24+ aylık dönemde ise Türkiye'nin yapay zekâ sistematik etkilerini izleyen bir ulusal değerlendirme kapasitesi oluşturması ve 2026-2030 stratejisi çerçevesinde bölgesel bir yapay

zekâ etik ve güvenlik merkezi olma vizyonunu hayata geçirmesi hedeflenmektedir (Strateji ve Bütçe Başkanlığı, 2025).

Üretken yapay zekâ ve aracı YZ (agentic AI), yönetim tartışmasını kökten dönüştürmektedir. Bugün mesele yalnızca “model doğru mu?” sorusu değildir. Asıl soru, bu sistemlerin hangi amaçla, hangi sınırlar içinde, kimin adına, hangi veri ve araçlara erişerek, hangi insan gözetimiyle ve hangi hesap verebilirlik zinciri içinde çalışacağıdır. Bu nedenle yönetim, riskler ve etik başlığı yapay zekâ raporlarının sonradan eklenen “uyarı” bölümü değil, tüm yapının merkezî tasarım ilkesi olarak görülmelidir.

4.10.1. Eğitimde Yapay Zekâ Etiği ve Kurumsal Politikalar

Türkiye’de eğitim alanındaki YZ politikası iki temel belge üzerinden şekillenmektedir. Millî Eğitim Bakanlığı’nın 2025-2029 dönemini kapsayan Eğitimde Yapay Zekâ Politika Belgesi ve Eylem Planı, YZ’nin eğitim sistemine entegrasyonunu etik ilkelere ve veri güvenliğine dayalı olarak ele almakta; kamusal okullarda kullanılan YZ araçları için etik inceleme zorunluluğu, model şeffaflığına ilişkin tedarikçi değerlendirme kriterleri ve otomatik sistemlere aşırı bağımlılığı önlemeye yönelik pedagojik güvenceler öngörmektedir. Yükseköğretim Kurulu (YÖK) ise 2024 yılında Bilimsel Araştırma ve Yayın Faaliyetlerinde Üretken Yapay Zekâ Kullanımına Dair Etik Rehber’i yayımlamıştır (MEB, 2025; Yükseköğretim Kurulu, 2024).

Eğitim Bilişim Ağı (EBA) üzerinden sunulan YZ tabanlı platformlar, bölgeler arası eğitim kalitesi farklarını azaltma potansiyeli taşımaktadır. Türkiye Yüzyılı Maarif Modeli (TYMM) kapsamında geliştirilen öğretim araçlarının YZ ile dijital dönüşümü, öğrenci merkezli ve etkileşimli öğrenme ortamlarının hayata geçirilmesine zemin hazırlamaktadır. UNESCO’nun öğretmenler için geliştirdiği yapay zekâ yeterlilik çerçevelerinin Türkiye’nin eğitim politikalarına entegre edilmesi ve YZ okuryazarlığının tüm kademelerde müfredata eklenmesi, kısa vadeli öncelikler arasında yer almaktadır (UNESCO, 2024; Saka, 2025).

4.10.2. Sosyolojik Boyutlar

Yapay zekânın işgücü piyasaları üzerindeki etkisi Türkiye’de de derinlemesine tartışılmaktadır. Ulusal Yapay Zekâ Stratejisi 2024-2025 Eylem Planı, yapısal ve iş gücü dönüşümünü hızlandırmayı stratejik öncelikler arasında saymaktadır. Otomasyon riskine maruz kalan mesleklerin belirlenmesi ve bu çalışanların yeniden nitelik kazanmalarına yönelik programların hayata geçirilmesi sosyal uyum açısından kritik öneme sahipken, YZ sistemlerinin kamu kurumlarında, yargı ve güvenlik alanlarında kullanımına ilişkin şeffaflık ve hesap verebilirlik standartlarının belirlenmesi, demokratik bir YZ

yönetişiminin vazgeçilmez koşulu olmaktadır (İzmir Demokrasi Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, 2025).

Algoritmik önyargı konusunda ise Türkiye’deki YZ kanun teklifleri sistemlerin ayrımcılık yapmadan adil kararlar alması ilkesini güvence altına almayı hedeflemektedir; ancak bu ilkenin pratikte nasıl denetleneceği ve ihlallerin nasıl tespit edileceği konusundaki metodolojik eksiklikler giderilmelidir. Veri egemenliği meselesi ise Türkiye’nin YZ politikasında giderek daha merkezi bir yer edinmekte olup yerli ve milli YZ sistemlerinin geliştirilmesi hedefinin bireysel mahremiyet hakları ve veri koruma standartlarıyla denge içinde kurgulanması gerekmektedir.

Türkiye’de YZ teknolojilerine erişim, coğrafi ve sosyoekonomik faktörlere bağlı olarak belirgin biçimde farklılaşmaktadır. Kentsel ve kırsal bölgeler arasındaki altyapı farklılıkları, YZ okuryazarlığındaki eşitsizlikleri derinleştirme riskini barındırmaktadır. Dijital uçurumu yeniden kavramsallaştıran akademik çalışmalar bu uçurumun yalnızca erişim boyutuyla değil; kullanım kalitesi, eleştirel okuryazarlık ve etik farkındalık boyutlarıyla da ele alınması gerektiğini vurgulamaktadır. YZ’nin sosyal uyumu hızlandıran bir araç olarak konumlandırılabilmesi için dijital altyapı yatırımlarının dezavantajlı bölgelere öncelik tanıyan bir planlama anlayışıyla yapılması gerekmektedir (MANAS Sosyal Araştırmalar Dergisi, 2025).

4.10.3. Düzenleyici, Teşvik ve Uluslararası İş Birliği Boyutları

Düzenleyici önlemler bağlamında yüksek riskli YZ sistemleri için bağımsız algoritma denetimlerinin zorunlu kılınması ve denetim metodolojisinin standartlaştırılması, veri kalitesi standartlarının ve önyargı testi gerekliliklerinin yasal olarak tanımlanması, kamu kurumları ile tedarikçilerin YZ kullanım envanterlerini çıkarması ve etki değerlendirme kanıtı oluşturması öncelikli adımlar olarak öne çıkmaktadır. Teşvik mekanizmaları açısından ise TÜBİTAK’ın 2025 yılında açtığı 1711 - Yapay Zekâ Ekosistemi çağrısı gibi programların etik YZ geliştirmeyi ödüllendiren kriterler içermesi ve etik YZ sertifikasyon programlarının devlet destekli, akademi ve sivil toplumun katılımıyla yürütülmesi önerilmektedir (TÜBİTAK, 2025).

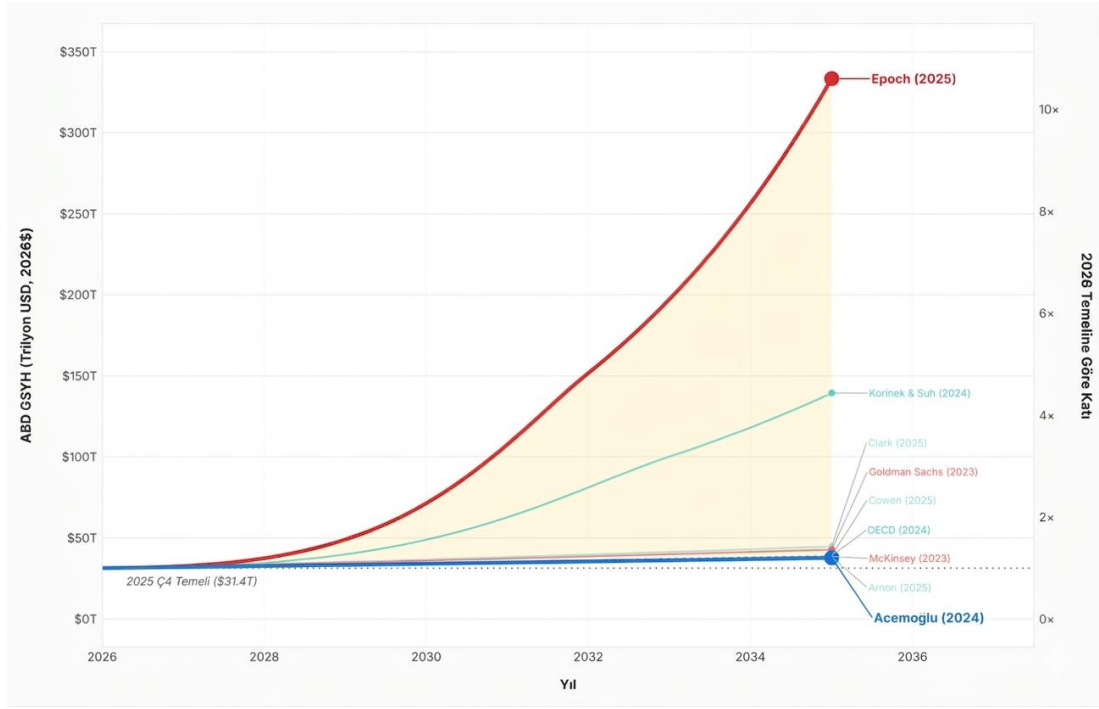
Uluslararası iş birliği boyutunda Türkiye’nin AB AI Act uyum süreciyle paralel politikalar geliştirmesi hem yasal çerçevenin güçlenmesini hem de Türk YZ şirketlerinin AB pazarına erişimini kolaylaştıracaktır. OECD YZ İlkeleri ve UNESCO’nun yapay zekâ etiği tavsiyelerine aktif katılım ise uluslararası güvenilirlik açısından kritik öneme sahiptir. Yapay zekânın potansiyel faydaları açısından Türkiye’nin küresel rekabet gücünü artırabilmesi ancak etik ilkelerin yasal güvenceye kavuşturulduğu, toplumsal refahın öncelendiği ve insan onuruna saygının temel referans alındığı bir YZ yönetim anlayışıyla mümkün olacaktır.

5. BÖLÜM: YAPAY ZEKÂ EKONOMİSİ

5.1. GİRİŞ

Küresel ölçekte YZ'nin ekonomik etkisini tahmin etmeye yönelik çalışmalar hızla devam etmektedir. IMF, küresel istihdamın yaklaşık yüzde kırkının (%40) AI'a doğrudan etkinlendiği hesaplamıştır (Cazzaniga vd., 2024). McKinsey yılda 2,6 ila 4,4 trilyon dolarlık ek değer öngörmektedir (McKinsey Global Institute, 2023). Goldman Sachs ise on yıllık bir perspektifle küresel GSYİH'ye yüzde yedilik (%7) katkı tahmini sunmuştur (Briggs ve Kodnani, 2023). Ancak bu tahminler arasında yöntemsel uyum yoktur; her biri farklı kapsamda, farklı varsayımlarla ve farklı ölçüm çerçeveleriyle çalışır. Daha yapısal bir eksiklik de mevcuttur. Analizlerin büyük çoğunluğu YZ'nin üretim kapasitesine etkisini ele alırken, üretilen değer toplum içindeki dağılımını, istihdam yapısı üzerindeki sonuçlarını ve verimlilik artışının hangi koşullarda toplumsal refaha dönüştüğünü ikincil planda bırakmaktadır.

Agrawal, Gans ve Goldfarb'ın ortaya koyduğu analitik çerçeveye göre (Agrawal vd., 2018) YZ'nin temel ekonomik işlevi tahmin maliyetini düşürmek ve bu yolla karar alma süreçlerinin yapısını dönüştürmektir. Yapay zekâyı genel zekâ olarak değil, karar verme süreçlerinde belirsizliği azaltan bir tahmin altyapısı olarak tanımlar. YZ'nin ürettiği ekonomik değer firmalar, çalışanlar ve sermaye sahipleri arasında hangi mekanizmalarla dağılır? IMF'in kendi analizinde ifade ettiği gibi YZ "çoğu senaryoda genel eşitsizliği artırma" eğilimindeyse (Cazzaniga vd., 2024), verimlilik artışını doğrudan refah artışı olarak yorumlamak ne ölçüde geçerlidir? Acemoğlu ve Restrepo'nun "vasat teknolojiler" (so-so technologies) kavramıyla tanımladığı olgu, yani belirli otomasyon uygulamalarının istihdamı ikame ederken orantılı bir verimlilik kazanımı üretmemesi [5, 6], mevcut ölçüm araçlarının bu ayrımı ne kadar sağlıklı yansıttığı sorusunu da beraberinde getirmektedir.



Şekil 10. Alternatif Yapay Zekâ Büyüme Tahminleri Altında ABD'nin Öngörülen GSYİH'sı (2026–2035)

Yukarıdaki şekilde görüldüğü üzere yapay zekânın ekonomik etkisine ilişkin projeksiyonlar oldukça geniş bir aralıkta değişmektedir. Farklı araştırmalar yapay zekânın önümüzdeki on yılda ekonomik büyümeye katkısının sınırlı verimlilik artışlarından çok yüksek büyüme senaryolarına kadar uzanabileceğini ortaya koymaktadır. 2035 yılına yönelik tahminler arasındaki farkın çok yüksek seviyelere ulaşması konuya ilişkin belirsizliğin boyutunu göstermektedir. Tahminler arasındaki ayrışma yapay zekânın hangi işlerde insan emeğinin yerini alabileceği kurumsal ve düzenleyici engellerin teknoloji adaptasyonunu ne ölçüde yavaşlatacağı ve yapay zekânın yenilik (inovasyon) süreçlerini otomatikleştirip otomatikleştiremeyeceği gibi temel varsayımlara dayanmaktadır.

Temkinli senaryolarda sağlık, eğitim ve teknik uzmanlık gerektiren alanlarda yapay zekânın etkisinin sınırlı kalacağı ve toplam ekonomik büyümenin mevcut eğilimlerden belirgin şekilde ayrılmayacağı öngörülmektedir. Daha yüksek büyüme öngören senaryolarda ise yapay zekâ kapasitesinin zaman içinde karmaşık görevleri de üstlenebileceği üretkenlik artışlarının hızlanabileceği ve ekonomik yapıda daha kapsamlı dönüşümlerin ortaya çıkabileceği değerlendirilmektedir. Grafikte yer alan farklı projeksiyonlar bu iki yaklaşım arasındaki belirgin görüş ayrılığını göstermektedir.

Bazı çalışmalarda yapay zekânın araştırma bilimsel keşif ve ürün geliştirme süreçlerini hızlandırarak inovasyon üretimini artırabileceği ifade edilirken diğer yaklaşımlar mevcut verilerin bu yönde güçlü bir dönüşümü henüz doğrulamadığını savunmaktadır. Mevcut göstergeler yapay zekâ

kullanımının sektörler arasında farklı hızlarda yayıldığını ve ekonomik etkilerin kısa vadede netleşmediğini göstermektedir. Bu nedenle grafikteki projeksiyonlar farklı ekonomik ve teknolojik varsayımlara dayalı senaryolar olarak değerlendirilmelidir.

Bu sorular evrensel geçerlilik taşımakla birlikte, Türkiye gibi teknolojiyi büyük ölçüde uygulayan konumdaki ekonomiler için ayrı bir analiz boyutu içerir. Orta gelir grubundaki ülkelerin büyüme süreçlerinde karşılaştığı yapısal tikanıklıklar (World Bank, 2024) YZ bağlamında özgün bir risk profili oluşturmaktadır. Dışarıdan temin edilen modeller, bulut altyapıları ve yarı iletken donanım üzerinden kurulan bir YZ kullanım yapısı kısa vadede verimlilik kazanımları sağlayabilir. Ancak aynı yapı uzun vadede stratejik bir kırılganlık kaynağına da dönüşebilir. ABD Ticaret Bakanlığı'nın 2022'den itibaren Çin'e yönelik uygulamaya koyduğu ileri yarı iletken ihracat kısıtlamaları (U.S. Department of Commerce, Bureau of Industry and Security, 2022), teknolojik bağımlılığın doğrudan bir yaptırım aracına dönüşebildiğini ortaya koymuştur. Fırsat ile kırılganlık arasındaki bu gerilim, izleyen analizin eksenini oluşturmaktadır.

5.1.1 Verimlilik, Yatırım Getirisi ve Otomasyon

5.1.1.1 Verimlilik

Verimlilik, belirli bir girdi birimi başına üretilen çıktı miktarını ifade eder. Toplam faktör verimliliği (TFP), emek ve sermaye girdileri kontrol edildikten sonra kalan çıktı artışını ölçer. Verimlilik artışı uzun vadeli ekonomik büyümenin temel kaynağıdır.

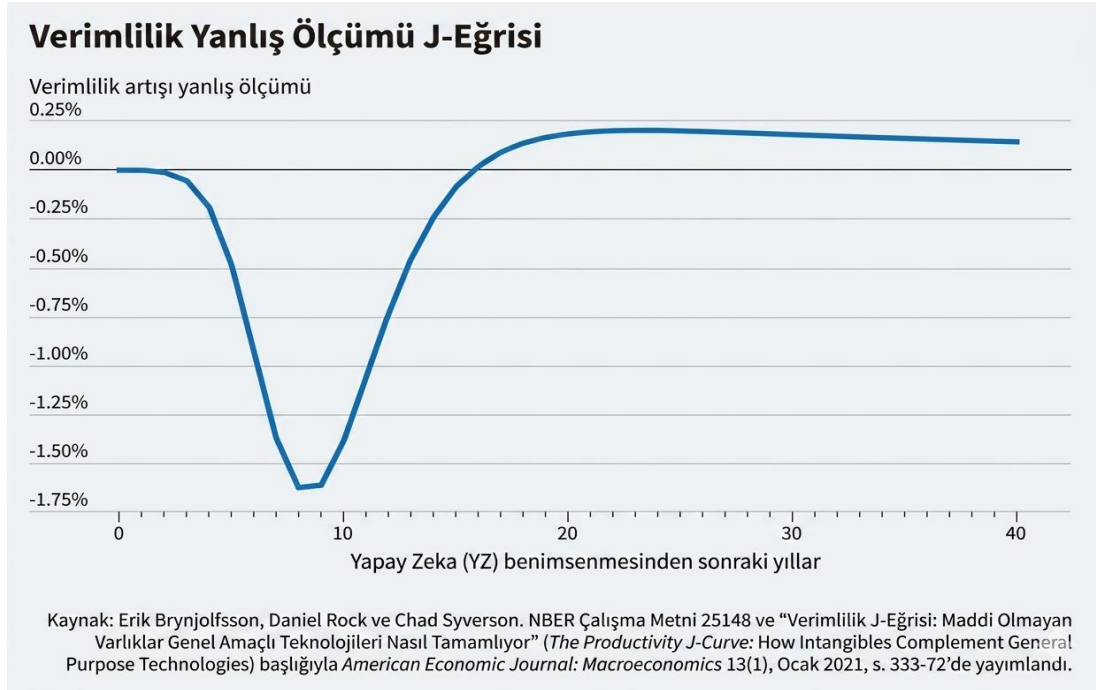
YZ bağlamında verimlilik artışı iki mekanizmayla gerçekleşir. Mevcut görevlerin daha hızlı veya düşük maliyetle yapılması ve daha önce mümkün olmayan analizlerin gerçekleştirilmesi. Müşteri hizmetlerinde üretken YZ kullanan çalışanların verimliliği ortalama yüzde 14 artmıştır (Brynjolfsson vd., 2025). Ancak Acemoğlu, YZ'nin ABD toplam faktör verimliliğine katkısının önümüzdeki on yılda yüzde 0,5-0,7 aralığında kalabileceğini öngörmektedir (Acemoglu, 2024).

Görev düzeyinde verimlilik ile sistem düzeyinde verimlilik arasındaki fark belirleyicidir (Agrawal vd., 2022). Tek bir adımı hızlandırmak sınırlı kazanım üretir, büyük sıçrama ancak organizasyonun tüm karar alma yapısı YZ etrafında yeniden tasarlandığında gerçekleşir.

5.1.1.2 Yatırımın Geri Dönüşü

Yatırımın geri dönüşü, bir yatırımın maliyetine göre ürettiği net kazancı ölçen orandır. YZ yatırımlarında ROI hesaplaması geleneksel yatırımlardan farklı dinamikler taşır.

Brynjolfsson, Rock ve Syverson'ın "verimlilik J-eğrisi" kavramına göre (Brynjolfsson vd., 2021), genel amaçlı teknolojiler ilk dönemde ölçülebilir verimlilik artışı üretmez; verimlilik önce düşer veya düşük görünür, ardından güçlü biçimde yükselir. YZ yatırımlarının şirket bazındaki J-eğrisi dinamikleri 3.2'de ele alınmaktadır.



Şekil 11. Verimlilik Yanlış Ölçümü J-Eğrisi

Bir firmanın YZ aracını mevcut iş akışına eklemesi ile tüm organizasyonu YZ etrafında yeniden yapılandırması arasındaki ROI farkı büyük olabilir. YZ yatırımında geri dönüşü ölçmek hem zaman hem de kapsam boyutuyla geleneksel hesaplamalardan daha karmaşıktır.

5.1.1.3 Otomasyon

Otomasyon, insan tarafından yerine getirilen görevlerin makine veya yazılım tarafından üstlenilmesidir. YZ öncesinde otomasyon büyük ölçüde kurala dayalı, tekrarlı görevlerle sınırlıydı. YZ ile bu kapsam genişledi: metin özetleme, görüntü sınıflandırma, kod yazma, temel hukukî analiz gibi daha önce insan muhakemesi gerektiren görevler de otomatikleşebildi (Autor, 2022).

Acemoğlu ve Restrepo'nun görev bazlı çerçevesi (Acemoglu ve Restrepo, 2019), otomasyonun etkisini üç kanalla açıklar: (i) mevcut görevlerde emeği ikame etme (yerinden etme etkisi); (ii) insanların üstünlük taşıdığı yeni görevler yaratma (yeniden kurucu etki); (iii) sermaye derinleşmesi. Otomasyonun net sonucu bu kuvvetlerin dengesiyle belirlenir. Teknoloji meslekleri tamamen ortadan kaldırmaz; mesleklerin içindeki belirli görevleri otomatikleştirir. Yazarların temel bulgusu, son on

yıllarda yerinden etme etkisinin yeni görev yaratma etkisini sistematik biçimde aştığıdır (Acemoglu ve Restrepo, 2019).

"Vasat teknolojiler" (so-so technologies) kavramı bu noktada önem taşır (Acemoglu, 2021). Vasat teknolojiler, insan emeğini ikame edecek kadar yeterli ama yerini aldıklarında büyük verimlilik artışı üretmeyecek kadar sınırlı uygulamaları tanımlar: market otomatik kasa (self-checkout) sistemleri ya da otomatik telefon yanıt sistemleri gibi. Bu tür otomasyon istihdamı azaltır ama orantılı üretkenlik kazanımı sağlamaz; emek payı düşer, eşitsizlik artar.

5.1.2 Dijital Emek ve İşgücü Dönüşümü

5.1.2.1 Dijital Emek ve Sanal İşgücü

Dijital emek, YZ sistemlerinin insan çalışanların görevlerini üstlenmesiyle ortaya çıkan bir kavramdır. Sohbet botları, otomatik içerik sistemleri veya otonom karar yazılımı geleneksel anlamda çalışan olmasa da ekonomik çıktı üretir.

Bu kavram makroekonomik ölçümde yapısal bir sorun doğurur. Geleneksel döngüde üretim sürecindeki çalışanlar gelir elde eder, bu gelir tüketime dönüşür ve diğer sektörlerde talep yaratır. Sanal işgücü ise üretir ancak gelir elde etmez, tüketmez ve istihdam zincirine katılmaz. Üretim istatistiklerinin büyüme gösterdiği bir ortamda tüketim kapasitesi aynı hızda artmayabilir. Bu fark zaman içinde GSYİH'de görünmeyen bir "hayalet" boşluk oluşturabilir.

Bu olgu, IMF'in YZ'nin "çoğu senaryoda genel eşitsizliği artırma" eğiliminde olduğu tespiti (Cazzaniga vd., 2024) ve Acemoğlu'nun yerinden etme tezi (Acemoglu ve Restrepo, 2019) ile örtüşür. Verimlilik artışı ile toplumsal refah artışı arasında otomatik bir bağlantı yoktur.

5.1.2.2 İşgücü Dönüşümü

İş gücü dönüşümü, teknolojik değişimin mesleklerin içeriğini, beceri gereksinimlerini ve istihdam yapısını yeniden şekillendirmesini ifade eder. YZ bağlamında bu kavram "işlerin yok olması"nın ötesine geçer. Mevcut işlerin görev içeriğinin değişmesi, yeni mesleklerin ortaya çıkması ve beceri talebinin yer değiştirmesini kapsar.

ABD'de 2018 yılı itibarıyla istihdamın yaklaşık yüzde 60'ı 1940'ta var olmayan iş başlıklarında gerçekleşiyordu (Autor vd., 2024); teknoloji tarihsel olarak hep yeni görevler yaratmıştır. Ancak YZ önceki dalgalardan farklı olabilir: hem rutin hem rutin olmayan bilişsel görevleri etkileyebildiği için,

daha önce teknolojik değişimden korunmuş meslekler de dönüşüm kapsamına girmektedir (Autor, 2022).

Brynjolfsson ve ark.'nın saha bulgusu (Brynjolfsson vd., 2025), YZ araçlarının en deneyimsiz çalışanlara en yüksek verimlilik kazanımını sağladığını gösterdi; yüksek performanslı çalışanlara katkı sınırlı kaldı. Autor bu olguyu "uzmanlık demokratikleşmesi" olarak tanımlar (Autor, 2024): AI, daha önce yalnızca uzmanların yapabildiği bazı analizleri daha geniş bir çalışan kitlesine erişilebilir kılabilir. Beceri priminin daralıp daralmayacağı ise kurumsal ve politika tercihlerine bağlıdır.

5.1.3 Bağımlılık, Katma Değer ve Ölçek Dinamikleri

5.1.3.1 Ekonomik Bağımlılık

Ekonomik bağımlılık, kritik girdileri dış kaynaklardan temin etmek zorunda kalmanın oluşturduğu stratejik kırılganlıktır. YZ bağlamında bu kırılganlık çok katmanlıdır: yarıiletken donanım, bulut altyapısı, temel modeller, veri işlem kapasitesi.

Geleneksel ticari bağımlılıktan üç farkı vardır. Birincisi, kilitlenme etkisi: süreçler belirli YZ platformları etrafında kurulduğunda geçiş maliyetleri çok yükselir. İkincisi, kesinti hızı: bulut ve YZ hizmetleri fiziksel mal ticaretinin aksine anında kesilebilir; Rusya'ya yönelik yaptırımlarda Microsoft, Oracle ve Amazon'un kademelendirdiği hizmet kesintileri bu mekanizmanın somut örneğidir (Data Center Dynamics, 2024). Üçüncüsü, çok katmanlı kırılganlık: herhangi bir katmandaki kesinti tüm yapıya yayılabilir.

ABD'nin Çin'e yönelik ileri yarıiletken ihracat kısıtlamaları (U.S. Department of Commerce, Bureau of Industry and Security, 2022) ve Ocak 2025'te açıklanan YZ Difüzyon Çerçevesi (Türkiye ikinci katmana yerleştirilmiştir) (Winter-Levy, 2025), teknolojik bağımlılığın doğrudan bir yaptırım aracına dönüşebildiğini göstermektedir. Çerçeve Mayıs 2025'te iptal edilmiş olsa da kurumsal emsal kalıcıdır.

5.1.3.2 Katma Değer

Katma değer, üretim sürecinde girdiler üzerine eklenen ekonomik değeri ifade eder. YZ değer zincirinde bu dağılım belirgin biçimde asimetriktir.

Yarıiletken tasarımı, üretim, bulut altyapısı ve temel model geliştirme yüksek katma değerli katmanları oluşturur. 7.2'de ele alındığı üzere bu katmanlardaki piyasa yoğunlaşması belirgin biçimde yüksektir (Xpert Digital, 2025; Stanford HAI, 2025). AI'ı uygulayan ülkeler değer zincirinin düşük

katma değerli ucunda kalma riskiyle karşı karşıyadır; bu örüntü bilişim teknolojilerinin önceki dönemlerinde de gözlemlenmiştir.

Türkiye gibi teknolojiyi büyük ölçüde uygulayan ekonomiler için temel soru, YZ kullanımının yalnızca operasyonel verimlilikle mi sınırlı kalacağı, yoksa yerli çözümler ve niş uzmanlık alanları geliştirerek değer zincirinde yukarı hareket edilip edilemeyeceğidir.

5.1.3.3 Gelir Dağılımı

Gelir dağılımı, üretilen toplam gelirin bireyler, hanhalkları, firmalar ve üretim faktörleri arasındaki paylaşımını ifade eder.

IMF, YZ'nin "çoğu senaryoda genel eşitsizliği artırma" eğiliminde olduğunu açıkça ifade etmektedir (Cazzaniga vd., 2024). Temel mekanizma: AI, yüksek gelirli çalışanların görevlerini tamamlayarak (augmentation) verimliliği artırırken, düşük ve orta gelirli çalışanların görevlerini ikame ederek (substitution) istihdam ve gelir kayıplarına yol açabilir. Acemoğlu ve Restrepo (Acemoglu ve Restrepo, 2022), son kırk yılda ABD ücret eşitsizliğindeki artışın önemli bir bölümünü otomasyon kaynaklı görev yeniden dağılımıyla açıklamaktadır. Moll ve ark. ise otomasyonun servet eşitsizliğini gelir eşitsizliğinden daha hızlı artırdığını göstermiştir (Moll vd., 2022).

Öte yandan Brynjolfsson ve ark.'nın bulguları (Brynjolfsson vd., 2025), belirli koşullarda YZ'nin beceri primini daraltabileceğine işaret eder. Bu iki bulgu çelişmemekte, farklı ölçeklerde farklı mekanizmaların işlediğine işaret etmektedir.

5.1.3.4 Ölçek Ekonomisi

Ölçek ekonomisi, üretim hacmi arttıkça birim maliyetlerin düşmesini ifade eder. YZ'nin ölçek dinamiği geleneksel sektörlerden farklıdır: model geliştirmenin sabit maliyeti çok yüksek, ancak ekstra bir kullanıcıya hizmet sunmanın marjinal maliyeti çok düşüktür. Bu yapı sektörde doğal tekellere yönelimi güçlendirir; büyük veri, hesaplama kapasitesi ve AR-GE bütçesine sahip firmalar maliyet avantajı elde ederken küçük firmalar yapısal güçlüklerle karşılaşır.

YZ ekosistemi güçlü bir yoğunlaşma eğilimi taşımaktadır: Stanford HAI verilerine göre küresel YZ özel yatırımının yüzde 59'u ABD'de, yüzde 16'sı Çin'de yoğunlaşmıştır (Stanford HAI, 2024). Geleneksel rekabet hukuku araçları bu dinamiği yeterince kavrayamamaktadır; veri ağ etkileri, ölçek ekonomileri ve platform bağımlılığı klasik fiyat ve pazar payı analizleriyle tam olarak değerlendirilememektedir (Aghion vd., 2021). Türkiye açısından mesele iki katmanlıdır; küresel YZ piyasasındaki yoğunlaşmanın Türk firmaları üzerindeki etkileri (fiyatlama gücü, bağımlılık, pazarlık

kapasitesi) ve yurt içi piyasada YZ benimsemesinin sektörel yoğunlaşmayı derinleştirip derinleştirmedeği. Her iki katmanda da düzenli veri toplama ve analiz kapasitesi oluşturulması öncelikli bir adımdır. Ülkeler arası boyutta da ölçek belirleyicidir. PwC tahminlerine göre YZ'nin GSYİH'ye katkısı en büyük oranda Çin ve Kuzey Amerika'da gerçekleşecek; gelişen ekonomiler oransal olarak daha düşük pay alacaktır (PwC, 2017). Büyük iç pazara ve ileri araştırma altyapısına sahip olmayan Türkiye gibi ekonomiler için bu yapısal asimetri, politika tasarımında göz ardı edilemez.

Aghion'un çerçevesine göre (Aghion vd., 2019), YZ bir yandan yaratıcı yıkım dinamiğini hızlandırabilir; öte yandan aşırı ölçek ekonomileri ve ağ etkileri baskın oyuncularını sağlamlaştırarak rekabeti kısıtlayabilir. Hangi etkinin baskın olacağı piyasa yapısı ve rekabet politikasına bağlıdır.

5.2. YAPAY ZEKÂNIN EKONOMİK ETKİ KANALLARI

YZ'nin ekonomi üzerindeki etkisi tek bir mekanizmayla açıklanamaz. Verimlilik artışı, maliyet değişimi, yeni ürün ve hizmetlerin ortaya çıkması, mevcut iş modellerinin dönüşmesi ve altyapı bağımlılığının derinleşmesi farklı ekonomik kanallar oluşturmaktadır.

5.2.1 Verimlilik, Otomasyon ve Maliyet Etkisi

5.2.1.1 Üretim Süreçlerinde Hız ve Verimlilik Artışı

YZ'nin en doğrudan ekonomik etkisi, mevcut üretim süreçlerinde görev tamamlama hızını ve çıktı kalitesini artırmasıdır. McKinsey, 16 iş fonksiyonu üzerinden 63 üretken YZ kullanım alanı tanımlamış ve bu alanların yılda 2,6 ila 4,4 trilyon dolar değerinde ek katkı üretebileceğini tahmin etmiştir (McKinsey Global Institute, 2023). Ancak 6.1'de ayrıntılı ele alındığı üzere, Goldman Sachs'ın iyimser senaryosundan Acemoğlu'nun muhafazakâr hesaplamasına kadar büyüme tahminleri arasında geniş bir aralık mevcuttur. (Briggs ve Kodnani, 2023)(Acemoglu, 2024). Bu aralığın genişliği verimlilik kanalının büyüklüğü konusundaki temel belirsizliği yansıtmaktadır. Teknik olarak mümkün olan ile ekonomik olarak kârlı olan arasındaki açık, bu belirsizliğin merkezindedir (Svanberg vd., 2024).

5.2.1.2 Karar Alma Süreçlerinde Otomasyon ve Optimizasyon

Agrawal, Gans ve Goldfarb'ın çerçevesine göre (Agrawal vd., 2018), YZ'nin temel ekonomik işlevi tahmin maliyetini düşürmektir: sınıflandırma, örüntü tanıma, öneri sistemleri ve prognostik analiz gibi "mevcut bilgiden olmayan bilgiyi üretme" işlemleri bu kapsamdadır. Tahmin maliyeti düştükçe tahmin yoğun olarak kullanılır ve tamamlayıcısı olan insan muhakemesinin değeri artar;

tahmin "ne olacak?" sorusunu yanıtlarken muhakeme "ne yapacağız?" sorusunu yanıtlamaya devam eder. Bu ayırım politika açısından belirleyicidir: tahmin ağırlıklı kararlar (işlem onayı, spam tespiti, görüntü sınıflandırma) hızla otomatikleşebilirken, muhakeme ağırlıklı kararlar (tedavi seçimi, yatırım kararı, strateji revizyonu) YZ tarafından desteklenebilir ancak tamamen devredilemez. IMF'nin geliştirdiği temas-tamamlayıcılık matrisi (Cazzaniga vd., 2024), yüksek temas ve yüksek tamamlayıcılık gösteren mesleklerin (cerrahlar, mali analistler, avukatlar) verimlilik kazanımı potansiyeli en yüksek grup olduğunu; yüksek temas ve düşük tamamlayıcılık gösteren mesleklerin ise doğrudan ikame riskiyle karşı karşıya olduğunu göstermektedir.

5.2.1.3 Maliyet Yapısında Değişim

AI, maliyet yapısını iki yönde değiştirmektedir. Tekrarlı ve standart görevlerde otomasyon doğrudan maliyet tasarrufu sağlar. Aynı zamanda YZ kullanımının kendisi yeni maliyet kalemleri oluşturur: hesaplama altyapısı, model eğitimi ve güncellemesi, veri güvenliği ve nitelikli personel. Bu ikili değişim, YZ'nin net maliyet avantajı sağlayıp sağlamayacağını kullanım alanına, uygulama kalitesine ve organizasyonel hazırlığa bağlar. Genel amaçlı bir YZ aracını mevcut sürece eklemek (noktasal çözüm) ile tüm iş akışını YZ etrafında yeniden tasarlamak (sistem dönüşümü) arasında hem maliyet hem kazanım profili önemli ölçüde farklılaşır (Agrawal vd., 2018).

5.2.2 Yeni Ürünler ve İş Modellerinin Dönüşümü

5.2.2.1 Yeni Ürün ve Hizmetlerin Ortaya Çıkması

YZ yalnızca mevcut süreçleri iyileştirmez; daha önce teknik olarak mümkün olmayan ürün ve hizmetleri de mümkün kılar. Bu, verimlilik sürecinden farklı bir mekanizmayla işler: mevcut üretimi daha düşük maliyetle yapmak yerine toplam ekonomik faaliyetin kapsamını genişletir. PwC'nin tahmininde, toplam 15,7 trilyon dolarlık YZ değerinin 9,1 trilyon doları tüketim tarafındaki etkilerden (YZ ile zenginleştirilen ürünlerin yarattığı ek talepten) kaynaklanmaktadır; bu rakam, üretim tarafındaki verimlilik kazanımlarından (6,6 trilyon dolar) bile büyüktür (PwC, 2017). Ancak bu kanaldan elde edilen değer büyük bölümü, platform ve temel model katmanlarını kontrol eden firmalarda yoğunlaşabilir.

5.2.2.2 Mevcut İş Modellerinin Dönüşmesi

AI, bazı iş modellerini yapısal olarak değer kaybına uğratar. Agrawal, Gans ve Goldfarb'ın "aralık dönem" kavramına göre (Agrawal vd., 2022), mevcut karar alma yapıları üzerine kurulu iş

modelleri bozulurken yeni yapıların henüz tam oturmadığı geçiş döneminde karışıklık ve kaynak israfı kaçınılmazdır. Bu dinamik aynı firma içinde hem büyüme motoru hem yapısal tehdit biçiminde tezahür edebilir. Aghion'un Schumpeteryen çerçevesinde (Aghion vd., 2019), YZ benimseyen firma büyürken aynı otomasyon sektör düzeyinde rakiplerin iş modellerini aşındırır; ancak YZ'nin yoğunlaştığı sektörlerde ölçek ekonomileri ve ağ etkileri bu yıkımı baskın oyuncuların lehine sınırlayabilir.

5.2.3 Altyapı Bağımlılığı ve Kanalların Etkileşimi

5.2.3.1 Veri ve Hesaplama Altyapısına Bağımlılığın Artması

YZ kullanımının yaygınlaşması, ekonominin fiziksel ve dijital altyapıya bağımlılığını derinleştirir. Hesaplama kapasitesi birkaç firmada yoğunlaşmıştır: NVIDIA küresel GPU pazarının tahminen yüzde 92'sine hâkimdir (Xpert Digital, 2025; Stanford HAI, 2025) ve TSMC, önde gelen tüm YZ hızlandırıcı cipleri üretmektedir (RAND Corporation, 2024). YZ iş yüklerinin büyük bölümü yalnızca üç bulut sağlayıcısı üzerinde çalışmakta, veri merkezlerinin coğrafi yoğunlaşması ek bir kırılganlık yaratmaktadır (CSIS, 2025). Bu kanal, diğer beş kanaldan yapısal olarak farklıdır: verimlilik, karar alma, maliyet, yeni ürünler ve iş modeli dönüşümü YZ'nin ne ürettiğini tanımlarken, altyapı bağımlılığı bu etkilerin gerçekleşebilmesi için gerekli ön koşulların kimin elinde olduğunu sorgular. Erişim kesildiğinde veya kısıtlandığında, diğer kanalların tümündeki kazanımlar risk altına girer. Bu riskin teorik değil pratik olduğunu Rusya örneği (Data Center Dynamics, 2022) ve ABD'nin yarı iletken ihracat kısıtlamaları (U.S. Department of Commerce, Bureau of Industry and Security, 2022) açıkça ortaya koymaktadır.

5.2.3.2 Kanalların Etkileşimi ve Genel Değerlendirme

Bu altı kanal birbirleriyle etkileşim içindedir. Üretim verimliliği artışı maliyet yapısındaki değişimle bağlantılıdır; yeni ürünler iş modeli dönüşümünü tetikler; karar alma süreçlerindeki dönüşüm hem verimlilik hem iş modeli yeniliği üretir; altyapı bağımlılığı ise diğer tüm kanalların işleyişi için ön koşul niteliği taşır.

Literatür, kanalların toplam büyüklüğü konusunda geniş bir tahmin aralığı sunmaktadır. Yöntem farklılıkları bu aralığın büyük bölümünü açıklamaktadır: Goldman görev etkilenmesinde hareket ederken Acemoğlu maliyet-etkin otomasyon oranını temel alır; McKinsey iş fonksiyonları bazında yukarıdan aşağıya tahmin yaparken IMF istihdam etkisi ve tamamlayıcılık üzerinden çalışır. Politika yapıcılar için tek bir "doğru rakam" değil, bir aralık ve senaryo mantığı daha gerçekçi bir çerçeve sunar. Etkilerin zamanlaması ve hızı en az nihai büyüklük kadar belirleyicidir. Her kanalın

kazananlar ve kaybedenler arasında ürettiği farklı dağılım örüntüleri, izleyen bölümlerde firma, sektör ve makroekonomik düzeyde ayrı ayrı incelenmektedir.

5.3. ŞİRKETLER ÜZERİNDEKİ ETKİLER

Şirketler üzerinde YZ, soyut bir verimlilik potansiyelinden çok somut yönetim ve yatırım kararları dizisidir. Hangi süreçlere uygulanacağı, ne kadar kaynak ayrılacağı, geri dönüşün nasıl ölçüleceği, hangi risklerin kabul edileceği. YZ yatırımının başarısı, teknolojinin kendisinden ziyade kullanım alanı seçimi, organizasyonel hazırlık ve uygulama kalitesine bağlıdır.

5.3.1 Süreç Verimliliği ve Maliyet Kazanımları

YZ'nin şirketler üzerindeki en doğrudan etkisi, mevcut iş süreçlerinde hız ve maliyet kazanımıdır. Brynjolfsson, Li ve Raymond'un müşteri hizmetleri saha deneyinde, üretken YZ desteği kullanan çalışanların verimliliği yüzde 14 artmıştır (Brynjolfsson vd., 2025). 2.1.1'de bahsedildiği üzere, McKinsey, 63 YZ kullanım alanının yılda 2,6 ila 4,4 trilyon dolarlık ek değer üretebileceğini tahmin etmektedir. Bu değer yaklaşık yüzde 75'i müşteri operasyonları, pazarlama, yazılım mühendisliği ve AR-GE fonksiyonlarında yoğunlaşmaktadır (McKinsey Global Institute, 2023).

Ancak teknik kapasite ile ekonomik kârlılık arasındaki fark önemlidir. Svanberg ve arkadaşları, bilgisayarlı görü görevlerinin yalnızca yüzde 23'ünün mevcut durumda insan emeğinden daha düşük maliyetle YZ ile gerçekleştirilebildiğini göstermiştir (Svanberg vd., 2024). Acemoğlu'nun analizi ise YZ'nin anlamlı maliyet tasarrufu sağladığı görevlerin payını tüm işçi görevlerinin yaklaşık yüzde 4,6'sı olarak saptamaktadır (Acemoglu, 2024). Bir görevin teknik olarak otomatikleştirilebilir olması, firma için kârlı biçimde otomatikleştirileceği anlamına gelmemektedir.

Verimlilik kazanımının en güçlü gerçekleştiği alan, karar destek ve operasyonel optimizasyon sistemleridir. Bankacılık sektöründe ATM nakit yönetimi, her ATM'nin lokasyonuna ve saatine göre talebi tahmin ederek taşıma maliyetini ve nakit yetersizliği riskini birlikte minimize etmektedir. Gümrük idarelerinde eşya değer tahmini, beyan ile beklenen değer arasındaki sapmaları tespit ederek hem gelir kaybını azaltmakta hem de denetim kaynaklarını öncelikli risklere yönlendirmektedir (World Customs Organization, 2022). Yedek parça talep tahmini, finansal dolandırıcılık tespiti ve siber güvenlik anomali tespiti de aynı mantıkla çalışan, dar kapsamlı ve ölçülebilir başarı kriterine sahip uygulamalardır [28, 29, 30]. Bu uygulamaların ortak özelliği, net bir problem tanımı, yeterli eğitim verisi ve iş sürecine sıkı entegrasyondur. Sorun, yöneticilerin bu spesifik başarılarından hareketle YZ'nin her sürece aynı kolaylıkla uygulanabileceğini varsaymasıdır.

5.3.2 Yatırım Getirisi ve Bakım Maliyetleri

5.3.2.1 Yatırımın Geri Dönüşünün Belirsizliği

YZ yatırımının geri dönüşü hem büyüklük hem zamanlama açısından belirsizdir. Giriş bölümünde ele alınan verimlilik J-eğrisi (Brynjolfsson vd., 2021), bu belirsizliğin yapısal nedenini açıklar: genel amaçlı teknolojiler, iş süreçlerinin yeniden tasarımı, veri altyapısı ve çalışan becerilerinin geliştirilmesi gibi tamamlayıcı yatırımlar olgunlaşmadan ölçülebilir verimlilik artışı üretmez. Bu tamamlayıcı yatırımlar başlangıçta muhasebe kayıtlarında maliyet olarak görünür. BCG'nin 2024 anketine göre firmalar YZ yatırımlarının ancak yaklaşık yüzde 40'ını geri kazanabilmiştir (Boston Consulting Group, 2024). Goldman Sachs, 1 trilyon doları aşan YZ altyapı harcamalarına rağmen somut gelir modelinin hâlâ belirsiz olduğunu vurgulamıştır (Goldman Sachs, 2024a).

2025 yılına ait BT şirket verileri bu ayrımı açık biçimde yansıtmaktadır. "Çekirdek YZ" kategorisindeki firmalar (NVIDIA, TSMC, Palantir) ortalama yüzde 52 gelir artışı kaydetmiştir. "Yüksek YZ teması" kategorisindeki firmalar (Alphabet, Microsoft, Meta, Broadcom, AMD, Amazon, Oracle, ServiceNow) ortalama yüzde 21 büyümüştür. AI'yi mevcut ürünlerine entegre eden firmalar (Apple, SAP, IBM, Salesforce, Accenture, Adobe, Intuit, Cisco) ortalama yüzde 9 ile sınırlı kalmıştır. YZ geçiş sürecini yakalayamayan Intel ise yüzde eksi 0,5 gelir daralması yaşamıştır (Top 20 IT Companies, 2026).

Gelir artışı tek başına yeterli bir başarı göstergesi değildir. 2025 yılında Salesforce ve Adobe gelirleri artmaya devam etmiş (sırasıyla yüzde 9 ve yüzde 10,5), ancak her iki şirketin borsa performansı yüzde 20 civarında düşmüştür (Top 20 IT Companies, 2026) çünkü YZ tabanlı araçlar, bu şirketlerin kullanıcı başına lisanslama modelinin dayandığı görevleri daha düşük maliyetle gerçekleştirebilir hale gelmiştir. Aynı dönemde YZ'nin adreslenebilir pazarını genişleten ServiceNow (yüzde 21) ve Palantir (yüzde 56) güçlü büyüme göstermiştir (Top 20 IT Companies, 2026). Bu vaka, YZ'nin bir firma için aynı anda hem büyüme motoru hem yapısal tehdit olabileceğini somut biçimde ortaya koymaktadır.

5.3.2.2 Kısa Vadeli Kazanç ile Uzun Vadeli Bakım Maliyeti

Gözden kaçan risklerden biri, ilk dönem kazanımlarının uzun vadeli bakım maliyetiyle aşınma ihtimalidir. Yazılım geliştirmede bu dinamik özellikle belirgindir. YZ destekli kod üretimi kısa sürede işlevsel kod yazılmasını sağlamaktadır. Ancak kodun bakımı (hata ayıklama, güncelleme, yeniden

yapılandırma) insan sorumluluğu olmaya devam eder. GitClear'ın 153 milyon satırlık kod tabanı üzerindeki 2024 analizine göre, YZ kod asistanlarının yaygınlaşmasıyla birlikte kopyalama niteliğindeki değişikliklerin oranı artmış, kodu yeniden yapılandırma (refactoring) oranı ise düşmüştür (GitClear, 2024). YZ üretim maliyetini düşürürken doğrulama ve bakım maliyetini yükseltebilir. Firmaların başlangıç maliyetinin ötesinde toplam sahip olma maliyetini (total cost of ownership) üç ila beş yıllık perspektifle değerlendirmesi gerekmektedir. Aynı dinamik YZ tarafından üretilen içerik, sınıflandırma kararları ve model sapması/kayması (model drift) nedeniyle gereken periyodik yeniden eğitim için de geçerlidir.

5.3.3 Veri Güvenliği ve Genel Değerlendirme

5.3.3.1 Veri Güvenliği ve Kurumsal Bilgi Sızıntısı

YZ kullanımının firmalar üzerinde oluşturduğu bir diğer risk, kurumsal bilgi sızıntısıdır. Samsung mühendislerinin tescilli yarı iletken kaynak kodunu ChatGPT'ye yüklediklerinin tespit edilmesinin ardından şirket, üretken YZ araçlarına erişimi geçici olarak yasaklamıştır (Bloomberg, 2023). Bu vaka, veri sızıntısının kasıtlı kötü niyetten çok, çalışanların verimlilik motivasyonu ile hareket etmesinden kaynaklanabileceğini göstermektedir. Risk iki boyutludur. Doğrudan veri çıkışı ve firmanın iş süreçlerine ilişkin örüntülerin platform sağlayıcısı tarafından öğrenilmesi. Yönetim için pratik adımlar şunlardır: hangi verilerin dış platformlara gönderilebileceğine dair açık politikalar; hassas veriler için kurum içi veya özel bulut YZ değerlendirmesi; tedarikçi sözleşmelerinde veri kullanım ve model eğitimi sınırlamaları (OWASP Foundation, 2025). Bu risk, finans, savunma, sağlık ve kamu yönetimi gibi hassas verilerle çalışan sektörlerde YZ benimseme kararlarının belirleyici bir bileşenidir.

5.3.3.2 Değerlendirme

İncelenen kanıtlar tutarlı bir sonuca işaret etmektedir: YZ yatırımının başarısı kullanım alanı seçimi, organizasyonel hazırlık ve uygulama kalitesine bağlıdır. ATM nakit yönetimi, gümrük değer tahmini ve dolandırıcılık tespiti gibi dar kapsamlı, iyi entegre edilmiş uygulamalar güçlü getiri üretmektedir. Genel amaçlı YZ'nin süreç yeniden tasarımı olmaksızın mevcut sistemlere eklenmesi ise zayıf sonuç vermektedir (Boston Consulting Group, 2024). Mevcut verilerdeki karışık tablo, YZ'nin başarısızlığından çok, J-çığının tamamlayıcı yatırımların henüz olgunlaşmadığı alt kolunda bulunulmasıyla yorumlanmalıdır (Brynjolfsson vd., 2021).

Firmalar üzerinde başarının belirleyicileri net problem tanımı, kaliteli ve erişilebilir veri altyapısı, ölçüm mekanizması, organizasyonel kapasite ve J-eğrisi mantığına uygun gerçekçi beklenti yönetimidir. Politika perspektifinden kamunun rolü, yalnızca teknoloji erişimini sağlamakla sınırlı kalmamalı, firmaların organizasyonel hazırlığını destekleyen mekanizmaları da kapsamalıdır.

5.4. İŞGÜCÜ, İSTİHDAM VE MESLEKLERİN DÖNÜŞÜMÜ

YZ'nin iş piyasası üzerindeki etkisi, kamuoyunda çoğunlukla "işler yok olacak mı" sorusu etrafında şekillenmiştir. Akademik literatür ve ampirik kanıtlar ise daha karmaşık bir tablo ortaya koymaktadır. YZ belirli görevleri ortadan kaldırırken başkalarını yaratmakta, mevcut mesleklerin içeriğini dönüştürmekte ve iş gücünün beceri profilini yeniden tanımlamaktadır.

5.4.1 Etkilenme ve Görev Bazlı Çerçeve

YZ etkisi altında kalma (YZ exposure), iş gücü ekonomisi literatüründe bir mesleğin görev yapısının YZ yetenekleriyle örtüşme derecesini ifade eden teknik bir kavramdır. Felten, Raj ve Seamans tarafından geliştirilen etkilenme endeksi, her mesleği oluşturan görevleri YZ yetkinlik alanlarıyla eşleştirerek bir etkilenme sayısı üretir [FRS-2021]. IMF, OECD ve Dünya Bankası'nın istihdam analizleri bu çerçevenin türevleridir.

5.4.1.1 Etki Altında Kalma: Hangi İşler Daha Hızlı Etkileniyor?

YZ'nin iş piyasasındaki etkisini ölçen çalışmalar ortak bir bulguya varıyor; YZ, önceki otomasyon dalgalarından farklı olarak rutin görevlerin yanı sıra bilişsel ve analitik görevleri de etkilemektedir.

Frey ve Osborne'un seminal çalışması ABD istihdamının yüzde 47'sinin yüksek otomasyon riskiyle karşı karşıya olduğunu tahmin etmiştir (Frey ve Osborne, 2017). Sonradan mesleklerin bütün olarak değil görev bazında analiz edilmesi gerektiği vurgulanmış ve bu yaklaşım alanda standart hale gelmiştir.

IMF'in 2024 analizine göre küresel istihdamın yaklaşık yüzde 40'ı AI'a doğrudan karşı karşıya kalmaktadır (Cazzaniga vd., 2024). Karşı karşıya kalma tek başına olumsuz bir gösterge değildir. AI'a yüksek temasta kalan ancak tamamlayıcılığı da yüksek olan mesleklerde (cerrahlar, finansal analistler, hukukçular) YZ insan performansını güçlendirebilirken, tamamlayıcılığı düşük mesleklerde doğrudan ikame riski bulunmaktadır (Cazzaniga vd., 2024).

YZ etkilenmesinin dağılımı ülke gelir düzeyine göre belirgin farklılıklar göstermektedir: gelişmiş ekonomilerde yüzde 60, yükselen piyasalarda yüzde 40, düşük gelirli ülkelerde yüzde 26

(Cazzaniga vd., 2024). Türkiye gibi yükselen piyasa ekonomileri için bu durum çelişkili bir anlam taşımaktadır: daha düşük temas kısa vadede daha az iş kaybı anlamına gelebilir, ancak aynı zamanda YZ kaynaklı verimlilik kazanımlarından daha az pay almak demektir.

OECD'nin 2023 raporu, üye ülkelerdeki işlerin yüzde 27'sinin YZ kaynaklı otomasyondan yüksek risk altında olduğunu belirlemiş ve belirleyicinin meslek değil, beceri profili olduğunu vurgulamıştır (OECD, 2023).

5.4.1.2 Görev Bazlı Çerçeve: Yerinden Etme ve Yeniden Kurma

YZ'nin iş piyasası etkisini anlamak için en güçlü analitik araç Acemoğlu ve Restrepo'nun görev bazlı çerçevesidir (Acemoglu ve Restrepo, 2019). Bu çerçevede ekonomi işlere değil görevlere ayrıştırılır. Otomasyon bazı görevleri emekten sermayeye kaydırırken (yerinden etme), başka görevlerde insan emeğine olan talebi yeniden artırabilir (yeniden kurma). Kritik soru bu iki kuvvet arasındaki dengedir.

Autor ve arkadaşlarının 2024 çalışması, ABD'de 2018 yılındaki istihdamın yaklaşık yüzde 60'ının 1940'ta var olmayan iş başlıklarında gerçekleştiğini göstermiştir (Autor vd., 2024). Bu bulgu, yeni görev yaratmanın tarihsel olarak güçlü bir mekanizma olduğunu ortaya koymaktadır.

Ancak Acemoğlu, mevcut YZ dalgasında bu dengenin bozulma riskine dikkat çekmektedir. 1.1'de tanımlanan "vasat teknolojiler" kavramı bu riski somutlaştırır: işçiyi ikame etmeye yetecek kadar iyi olan ancak orantılı verimlilik kazanımı üretmeyen otomasyon uygulamaları istihdam yok etmekte, yeni sektörler veya iş imkânları oluşturmamaktadır (Acemoglu, 2021).

5.4.2 İş Ayrışması, Beceri Daralması ve Yeni Sınırlar

5.4.2.1 İş Ayrışması ve YZ'nin Farklı Etkisi

Önceki dijital dalgalar iş piyasasında belirgin bir ayrışmaya yol açmıştır. Bilgisayar teknolojisi özellikle rutin görevleri otomatikleştirmiş, orta becerili işler erirken yüksek ve düşük becerili işler ayakta kalmıştır (Autor vd., 2003).

YZ bu örüntünün yönünü değiştirebilir. Autor'un 2024 argümanı dikkat çekicidir: AI, uzman bilgiyi demokratikleştirerek (expertise democratization) orta sınıf istihdamını yeniden güçlendirme potansiyeli taşımaktadır (Autor, 2024). Az eğitilmiş bir işçi, YZ destekli araçlarla uzman düzeyinde hukuki analiz, tıbbi teşhis desteği veya mali planlama yapabilir hale gelebilir. Bu senaryo gerçekleşirse son kırk yılın dinamiğinin tersi yaşanabilir. Orta kısım küçüleceğine genişleyebilir. Autor bu sonucun

otomatik olmadığını, kurumsal tasarım ve politika tercihlerine bağlı olduğunu vurgulamaktadır (Autor, 2024).

5.4.2.2 YZ'nin Verimlilik Etkisi ve Beceri Daralması

Brynjolfsson, Li ve Raymond'un 5.000'den fazla müşteri hizmetleri çalışanıyla yaptığı saha çalışması, üretken YZ destekli araç kullanımının işçi başına üretkenliği ortalama yüzde 14 artırdığını bulmuştur (Brynjolfsson vd., 2023). Ancak kazanımın dağılımı eşit değildir: en az deneyimli çalışanlar yüzde 34'e varan verimlilik artışı yaşarken, zaten yüksek performanslı çalışanlarda kazanım sınırlı kalmıştır.

Bu bulgu, YZ'nin üst çalışanların örtük bilgisini (tacit knowledge) sisteme gömerek diğer çalışanlara erişilebilir kıldığını göstermektedir. Sonuç, beceri dağılımını aşağıdan sıkıştıran (compressive) bir etkidir. İyimser yoruma göre bu, eşitsizlik azaltıcı bir mekanizmadır. Temkinli yoruma göre ise yüksek beceri priminin aşınması, uzun süreli eğitim yatırımının geri dönüşünü düşürerek insan sermayesi birikimini zayıflatabilir (Brynjolfsson vd., 2023).

5.4.2.3 Yeni Sınır Çizgileri

Büyük dil modelleri (LLM), daha önce otomasyona karşı korunaklı kabul edilen rutin olmayan bilişsel görevleri de yapabilir hale gelmiştir: metin üretimi, kod yazımı, hukuki analiz, tıbbi teşhis desteği. Autor bunu "Polanyi Paradoksunun çözülmesi" olarak tanımlamaktadır. YZ artık kodlanması güç olan örtük bilgiyi de işleme kapasitesine sahiptir (Autor, 2022).

Eloundou ve arkadaşlarının çalışması, ABD'deki mesleklerin yüzde 80'inin LLM'lerden en az yüzde 10 oranında etkileneceğini ve yüzde 19'unun görevlerinin yarısından fazlasının etkileneceğini tahmin etmiştir (Eloundou vd., 2023). Dikkat çekici bulgu: yüksek gelirli meslekler düşük gelirlilere kıyasla daha fazla etki altında kalmaktadır. Bu, önceki otomasyon dalgalarından farklı bir örüntüdür.

5.4.3 Yeni İşler, Yeniden Beceri Kazandırma ve Değerlendirme

5.4.3.1 YZ Yeni İşler Üretiyor mu?

Teknoloji tarihinde her büyük dalga yeni meslekler de yaratmıştır. 2018 ABD istihdamının yüzde 60'ının 1940'ta var olmayan kategorilerde oluşması bu mekanizmanın gücünü göstermektedir (Autor vd., 2024). YZ döneminde bu sürecin işleyip işlemeyeceği henüz bilinmemektedir. Autor bu konudaki düşünsel evrimini "çoşkunlu iyimserlikten nitelikli iyimserliğe, oradan büyük belirsizliğe" olarak tanımlamaktadır (Autor, 2022).

İki temel soru yanıt beklemektedir: YZ yeni görevler yaratacak kadar büyük bir ekonomik artık üretecek mi? Ve YZ'nin kendisi yaratılan yeni görevleri de yapabilir hale gelecek mi? Bu ikinci soru, AI'ı önceki tüm teknolojilerden ayıran noktadır. YZ sistem eğitmenleri, istem/sufle (prompt) mühendisleri, YZ etik danışmanları gibi yeni roller büyümektedir; ancak bu rollerin ölçeğinin kitlesel istihdam kategorileriyle kıyaslanıp kıyaslanamayacağı belirsizdir.

5.4.3.2 Yeniden Beceri Kazandırma ve Mesleki Geçiş

McKinsey'in 2025 raporuna göre ABD'de 2030'a kadar 12 milyon mesleki geçiş gerekebilecek ve düşük ücretli işlerdeki çalışanların geçiş ihtiyacı yüksek ücretlilere göre 14 kat daha fazla olacaktır (McKinsey Global Institute, 2025). OECD'nin çerçevesinde politika önceliği belirli meslekleri korumak değil, bireylerin yeni beceriler edinebileceği ortamları oluşturmaktır (OECD, 2023).

MIT İş Gücü Görev Kuvveti'nin tespiti bu tartışmanın çerçevesini değiştirmektedir: asıl sorun teknolojinin toplu işsizlik yaratması değil, yarattığı yeni işlerin niteliksiz, düşük ücretli ve güvencesiz olma eğilimidir (MIT Task Force on the Work of the Future, 2020). Bu, yeniden beceri kazandırma gündemini "yeni iş bulmak"tan "nitelikli ve güvenceli iş bulmak"a taşımaktadır.

5.4.3.3 Değerlendirme

İş gücünün YZ karşısındaki dönüşümü ne toptan yok oluş ne de sorunsuz geçiş olarak nitelendirilebilir. Görev bazında derin bir yeniden yapılanma başlamıştır. Rutin bilişsel görevler hızla YZ kapsamına girerken, yaratıcılık ve karmaşık muhakeme gerektiren görevlerde insan emeği sürekliliğini korumaktadır. Ancak LLM'lerin gelişimiyle bu sınır çizgileri de hareket etmektedir.

Politika yapıcıları için çıkarım açıktır. Sonuç, büyük ölçüde tasarım tercihlerine bağlıdır: YZ emeği ikame eden bir yolda mı yoksa güçlendiren bir yolda mı gelişeceği, yeni görevlerin yaratılıp yaratılamayacağı, verimlilik kazanımlarının geniş kesimlere yayılıp yayılamayacağı. Bunların hiçbirisi teknolojik zorunluluk değildir. Her biri, eğitim politikası, iş gücü düzenlemesi ve kamu yatırımı tercihlerine göre şekillenmektedir.

5.5. GELİR DAĞILIMI VE EKONOMİK EŞİTSİZLİK

YZ'nin ekonomik değer üretme potansiyeli geniş ölçüde kabul görmektedir. Ancak üretilen değer toplumdaki nasıl dağıldığı, verimlilik tartışmalarından ayrı ve en az onlar kadar önemli bir politika meselesidir. IMF bu noktayı açıkça ifade etmiştir: "Çoğu senaryoda AI, genel eşitsizliği artırma eğiliminde olacaktır" (Cazzaniga vd., 2024). YZ'nin dağıtımsal etkileri sermaye birikimi, ücret yapısı, firma ölçeği, sektörel farklılıklar ve bölgesel eşitsizlikler üzerinden şekillenmektedir.

5.5.1 Sermaye Yoğunlaşması ve Emek-Sermaye Paylaşımı

5.5.1.1 Sermaye Birikimi ve Güç Yoğunlaşması

YZ ekonomisinin en belirgin yapısal özelliği, değer yaratmanın az sayıda büyük aktörde yoğunlaşmasıdır. Bu yoğunlaşmanın nedeni tesadüf değil, teknolojinin yapısıdır. YZ modelleri geliştirmek ve işletmek için gereken büyük ölçekli veri, yüksek işlem gücü ve ileri mühendislik yetkinliği çok yüksek giriş engelleri oluşturmaktadır. 2025 yılında büyük bulut ve YZ altyapı sağlayıcılarının sermaye harcamaları 380 milyar doları aşmıştır (Goldman Sachs, 2025); temel YZ modellerini geliştiren şirket sayısı ise bir elin parmaklarını geçmemektedir.

Davos'ta dile getirilen ve sektörel analizlerle desteklenen bir değerlendirmeye göre, YZ teknolojilerinin yüzde 80'i az sayıda aktör tarafından kontrol edilmektedir (World Economic Forum, 2024). Aghion'un belirttiği gibi, YZ inovasyonu hızlandırma potansiyeli taşımakla birlikte, aşırı ölçek ekonomileri ve ağ etkileri nedeniyle hâkim firmaların konumunu pekiştirip yaratıcı yıkımı azaltabilmektedir (Aghion vd., 2021). YZ üretim araçlarına sahip olan sınırlı sayıda firma, değer zincirinin tamamında orantısız bir güç elde etmektedir.

5.5.1.2 Emek-Sermaye Gelir Paylaşımı

YZ'nin gelir dağılımı üzerindeki en temel etkisi, emek ile sermaye arasındaki paylaşımı değiştirmesidir. Korinek ve Stiglitz'in teorik analizi, YZ geniş bir yelpazede emeği ikame ederse gelirin giderek artan payının sermaye sahiplerine kayacağını ve mevcut vergi ile transfer sistemlerinin bunu telafi etmekte yetersiz kalacağını göstermiştir (Korinek ve Stiglitz, 2019). Acemoğlu ve Restrepo'nun ampirik çalışması bu öngörüğü tarihsel verilerle desteklemektedir. 1980'den itibaren ABD ücret eşitsizliğinin yüzde 50-70'i otomasyon kaynaklı yerinden etme etkisiyle açıklanabilmekte; kazanımlar büyük ölçüde sermaye sahiplerine ve yüksek becerili çalışanlara yönelmektedir (Acemoglu ve Restrepo, 2022). YZ bu dinamiği bilişsel görevlere genişletme potansiyeli taşımaktadır.

Brynjolfsson'un "Turing Tuzağı" (Turing Trap) kavramsallaştırması bu ayrımı netleştirmektedir (Brynjolfsson, 2022). Eğer YZ geliştirme çabalarının tamamı insan emeğini ikame etmeye odaklanırsa ücretler düşer, sermaye getirisi yükselir. Alternatif yol ise insanların tek başına yapamayacağı yeni yetenekler yaratan AI'dır (augmentation). Bu seçenek hem ücretleri hem toplam çıktıyı artırabilir. Güçlendirme mi, ikame mi sorusu, dağıtımsal sonuçları belirleyen temel tercihtir.

5.5.1.3 Ücretler Üzerindeki Baskı

YZ'nin ücretlere etkisi tek yönlü değildir. Brynjolfsson, Li ve Raymond'un müşteri hizmetleri saha çalışması, YZ'nin en düşük performanslı çalışanlarda yüzde 34'e varan verimlilik artışı sağlayarak ücret dağılımını aşağıdan sıkıştırdığını göstermiştir (Brynjolfsson vd., 2023) (beceri daralması dinamiğinin ayrıntısı için bkz. 4.2). Ancak makro düzeyde tablo daha karışıktır. Acemoğlu ve Restrepo'nun robot çalışması, her 1.000 işçiye eklenen bir endüstriyel robotun bölgesel ücretleri yüzde 0,42 düşürdüğünü bulmuştur (Acemoglu ve Restrepo, 2020); YZ bu etkiyi bilişsel görevlere yayarsa ücret baskısı çok daha geniş bir çalışan kitlesini kapsayabilecektir. Özellikle "vasat teknolojiler" (so-so technologies) kategorisindeki uygulamalar işçiye yerinden ederken yeterli verimlilik kazanımı üretmediğinden ücretleri düşürür, bunu telafi edecek yeni talebi oluşturmaz (Acemoglu, 2021).

5.5.1.4 Vergi ve Sosyal Politika Seçenekleri

YZ'nin istihdam yapısını dönüştürmesi kamu maliyesi açısından iki yönlü baskı yaratır: otomasyon vergi tabanını daraltırken, YZ kaynaklı verimlilik artışından elde edilen değer büyük ölçüde sermaye sahipleri ve teknoloji firmalarında yoğunlaşır (Korinek ve Stiglitz, 2019)(Moll vd., 2022). Bu durum, kamu gelirlerinin azaldığı bir dönemde sosyal harcama ihtiyacının arttığı bir paradoks doğurur. Otomasyon oranı veya YZ kaynaklı verimlilik kazanımları üzerinden vergi tasarımı teknik olarak tartışılmakta; evrensel temel gelir de ciddi bir seçenek olarak gündemdeki yerini korumaktadır (Korinek ve Stiglitz, 2023; Acemoglu ve Johnson, 2023). Ancak evrensel temel gelir tartışması, YZ'nin ürettiği değerden kamu payı alınması tartışmasından bağımsız yürütülemez: bu iki konuyu birleştiren politika yönelimi, YZ kaynaklı gelirin sosyal programların finansmanına katkı sağlayacak biçimde yeniden dağıtılmasıdır (Korinek ve Stiglitz, 2021). Korinek ve Stiglitz'in çerçevesi bu noktayı destekler: mevcut vergi ve transfer sistemleri YZ'nin yaratacağı dağılımsal sonuçları yönetmek için yetersizdir (Korinek ve Stiglitz, 2019).

5.5.2 KOBİ'ler ve Düşük Gelir Grupları

5.5.2.1 KOBİ'lerin Uyum Kapasitesi

Büyük teknoloji şirketlerinin YZ yatırım hacmi ile ortalama bir KOBİ'nin bütçesi arasındaki uçurum, YZ'nin vadettiği verimlilik kazanımlarının eşit dağılmamasına yol açmaktadır. Babina ve arkadaşlarının firma panel verisi analizinde, YZ yatırımlarının satışları, piyasa değerini ve patent üretimini artırdığı ancak bu etkinin büyük firmalarda belirgin şekilde daha güçlü olduğu bulunmuştur

(Babina vd., 2024). KOBİ'ler için temel engeller sermaye kısıtı, nitelikli insan kaynağı eksikliği ve veri altyapısı yetersizliğidir. Bulut tabanlı YZ hizmetleri bu engellerin bir kısmını düşürse de bu hizmetler aynı büyük teknoloji firmalarından gelmekte, yeni bir bağımlılık ilişkisi kurmaktadır. YZ'nin yarattığı değer geniş tabana yayılması için KOBİ erişiminin kolaylaştırılması ve kamu destekli eğitim programları politika önceliği olarak öne çıkmaktadır (Filippucci vd., 2024).

YZ benimsemesinin yalnızca büyük firmalarda yoğunlaşması piyasa yoğunlaşmasını derinleştirir; KOBİ'ler ise sermaye, veri ve insan kaynağı kısıtları nedeniyle yapısal dezavantajla karşı karşıyadır (Babina vd., 2024). Türk ekonomisinin istihdam yapısında KOBİ'lerin ağırlığı göz önüne alındığında, bu kesimin YZ dönüşümünün dışında kalması verimlilik kaybının ötesinde geniş çaplı bir istihdam ve gelir dağılımı sorunu anlamına gelir. Politika müdahalesinin odağı, KOBİ'leri YZ kaynaklı değer üretim sürecine doğrudan katabilmek olmalıdır (Filippucci vd., 2024): sektörel YZ uygulama merkezleri, ortak veri havuzları ve ölçeklenebilir bulut altyapı erişimi bu yönde değerlendirilebilecek araçlar arasındadır. AB'nin KOBİ'lere EuroHPC süper bilgisayar erişimi sağlaması benzer bir yaklaşımın uluslararası örneğidir (European Commission, 2024a).

5.5.2.2 Düşük Gelir Grupları Açısından Riskler

YZ'nin dağıtımsal yükü en fazla düşük gelir gruplarına düşme eğilimindedir. IMF'in etkilenme analizinde, yüksek gelirli işlerin YZ tamamlayıcılığından yararlanma olasılığının daha yüksek olduğu, düşük gelirli işlerin ise ikame riskiyle daha fazla karşı karşıya kaldığı tespit edilmiştir (Cazzaniga vd., 2024). 4.3'te ele alınan McKinsey verileri, düşük ücretli çalışanların mesleki geçiş yükünün orantısız biçimde yüksek olduğunu göstermektedir. Bu asimetri, uyum maliyetlerinin toplumun en savunmasız kesimine orantısız yüklenme riskine işaret etmektedir. Moll, Rachel ve Restrepo'nun genel denge analizi ise otomasyonun servet eşitsizliğini gelir eşitsizliğinden daha hızlı artırdığını ve standart vergilendirme araçlarının bunu telafi etmekte yetersiz kalabileceğini göstermiştir (Moll vd., 2022).

5.5.3 Bölgesel Eşitsizlikler ve Değerlendirme

5.5.3.1 Bölgesel ve Sektörel Eşitsizlikler

YZ'nin etkisi coğrafi ve sektörel olarak eşit dağılmamaktadır. IMF'in analizinde, 4.1'de ele alınan etkilenme verileri bu eşitsizliğin gelir düzeyine göre farklılaştığını göstermektedir (Cazzaniga vd., 2024): AI, gelişmiş ekonomilerdeki işlerin %33'ünü, yükselen ekonomilerde %24'ünü, düşük gelirli ülkelerde ise %18'ini tehlikeye atabilirken, aynı zamanda mevcut işlerin verimliliğini artırma ve yeni işler yaratma potansiyeli de taşımaktadır (IMF, 2024). YZ'nin etkisi altında kalma oranı

yüksek gelirli ülkelerde %30-32'ye ulaşırken, düşük gelirli ülkelerde bu oran %1-15 aralığında seyretmektedir (IMF, 2024). Daha düşük temas daha az risk anlamına gelmekle birlikte, verimlilik kazanımlarından daha az pay almak anlamına da gelmektedir; bu, uzun vadede ülkeler arası gelir uçurumunu genişletme potansiyeli taşımaktadır.

IMF ayrıca 174 ülkeyi dijital altyapı, beşeri sermaye, inovasyon ve düzenleme olmak üzere dört alanda değerlendiren YZ Hazırlık Endeksi'ni (YZ Preparedness Index) yayımlamış; zengin ülkelerin yoksul ülkelere kıyasla çok daha hazırlıklı olduğunu ortaya koymuştur (IMF, 2024). Korinek ve Stiglitz (2021), YZ ve büyük teknoloji şirketlerinin piyasa gücü yoğunlaşmasının, gelişmekte olan ekonomilerin küreselleşmeyle elde ettiği kazanımları tersine çevirerek yoksulluğu ve eşitsizliği artırabileceğini savunmaktadır (Korinek ve Stiglitz, 2023).

Ucuz emeğe dayalı ihracat odaklı sanayileşme modeli, YZ otomasyonu nedeniyle işlevini yitirebilir; Türkiye gibi orta gelir grubundaki ülkeler mevcut karşılaştırmalı üstünlüklerini yeniden tanımlamak zorunda kalabilir (Korinek ve Stiglitz, 2021). Dünya Bankası analizleri, AI'yi hızla benimseyemeyen gelişmekte olan ülkelerin emtia ihracatçısı olarak sıkışma, kitlesel genç işsizliği, azalan sosyal hareketlilik ve durgunlaşan hatta düşen yaşam standartları riskiyle karşı karşıya kalabileceğine işaret etmektedir (World Bank, 2024). Buna karşılık Hindistan örneği AI'nın sunduğu fırsatları da gözler önüne sermektedir: Hindistan'ın bilgisayar hizmetleri ihracatı, Kasım 2022'de ChatGPT'nin piyasaya sürülmesinden bu yana yaklaşık %30 artış göstermiştir (Reserve Bank of India, 2024).

Bölgesel eşitsizlikler ülke içi düzeyde de belirgindir. Brookings Enstitüsü'nün 2025 araştırması, ABD'de YZ benimsenmesinde belirgin bir "kazanan çok alır" ayrışması yaşandığını, 387 metropolitan alanın yalnızca 30'unun YZ ile ilgili iş fırsatlarının %66'sını barındırdığını ortaya koymuştur (Brookings Institution, 2025). Avrupa'da da YZ etkisi altında kalma, bölgelerin sektörel uzmanlaşmasına, Ar-Ge kapasitesine, verimliliğine ve işgücü becerilerine bağlı olarak büyük farklılıklar göstermektedir (European Commission, 2024b). Çin'de ise kuzey, doğu ve güney bölgeleri YZ gelişmişlik endeksinde lider konumdayken, orta ve batı bölgeleri önemli ölçüde geride kalmaktadır (Çin Bilim ve Teknoloji Geliştirme Akademisi, 2024).

Sektörel düzeyde de eşitsizlikler belirgindir. McKinsey'in analizine göre, 3.1'de ele alındığı üzere, üretken AI'nın toplam yıllık değerinin yaklaşık %75'i yalnızca dört iş fonksiyonunda yoğunlaşmaktadır: müşteri operasyonları, pazarlama ve satış, yazılım mühendisliği ve Ar-Ge (McKinsey & Company, 2023). Tarım, inşaat ve geleneksel imalat gibi fiziksel görev yoğun sektörler bu değerden çok daha sınırlı pay almakta; sektörel gelir farklarını açmaktadır.

Örneğin, YZ etkisi altında kalma oranı yüksek gelirli ülkelerde %5,5 iken, düşük gelirli ülkelerde bu oran yalnızca %0,4'tür; bu fark dijital altyapı ve iş görevlerinin bileşimindeki farklılıklardan kaynaklanmaktadır (IMF, 2024). AI'nın dönüştürücü etkisinin tam olarak yayılması yaklaşık 50 yıl sürebilir ve bu süre zarfında öncü konumdaki bölgeler en yüksek beceri gerektiren işlerin merkezi olmaya devam edecektir (Brynjolfsson ve McAfee, 2014).

Bununla birlikte KOBİ'ler için yapısal engeller ciddiyetini korumaktadır: Birçok gelişmekte olan ülkede yerel ve sektöre özgü veriler kıt, parçalı veya maliyetlidir; YZ benimsenmesi beceri, yazılım ve altyapıya ön yatırım gerektirmekte, KOBİ'ler krediye veya öz sermaye finansmanına erişimde zorlanmaktadır. Düşük ve orta gelirli ülkelerde bağlantı, enerji güvenilirliği ve maliyetler bulut tabanlı YZ altyapısına erişimi sınırlamakta, bu ülkelerdeki girişimler GPU kümesi eksikliği nedeniyle kamu hiper ölçekleyicilerine bağımlı kalmaktadır (World Bank, 2024).

5.5.3.2 Değerlendirme

Mevcut kanıtlar, müdahale olmaksızın YZ'nin eşitsizliği artırma olasılığının yüksek olduğunu göstermektedir. Sermaye birikiminin az sayıda aktörde yoğunlaşması, emek payının düşme eğilimi, KOBİ'lerin uyum güçlüğü ve düşük gelir gruplarının orantısız risk altında olması bu tabloyu birlikte oluşturmaktadır.

YZ'nin üretkenlik artışı, gelir eşitsizliği ve endüstriyel yoğunlaşma olmak üzere üç farklı yolda gelişebileceği görülmektedir. Bu yollardan hangisinin gerçekleşeceğinin politika tercihlerine bağlıdır. Yine de Brynjolfsson'un bulguları YZ'nin belirli koşullarda eşitleyici etki yaratabileceğini, Autor'un senaryosu YZ'nin orta sınıfı yeniden güçlendirme potansiyelini göstermektedir (Brynjolfsson vd., 2023)(Autor, 2024). Korinek ve Stiglitz ise teknolojik ilerlemenin yönünün doğal bir zorunluluk değil politika tercihi olduğunu ortaya koymuştur (Korinek ve Stiglitz, 2023).

Nitekim Çin'den gelen ampirik kanıtlar, veri-YZ entegrasyonunun yüksek düzeyde olduğu bölgelerde bölgesel ekonomik eşitsizliklerin anlamlı ölçüde azaldığını, yenilik kapasitesi, endüstriyel yapı iyileştirmesi ve kaynak tahsisi iyileştirmelerinin bu süreçte aracı mekanizmalar olarak işlediğini göstermektedir.

Vergi politikası, rekabet düzenlemesi, eğitim yatırımı, KOBİ destekleri ve sosyal koruma mekanizmaları, YZ'nin dağıtımsal sonuçlarını doğrudan şekillendiren araçlardır. AI'nın eşitsizliği derinleştirmesini önlemek için politika müdahalelerinin iki tamamlayıcı hedefi gözetmesi gerekmektedir: (1) AI'nın ekonomik etkilerinden kaynaklanan eşitsizliği azaltmak ve (2) sosyal barışı artan eşitsizliğin aşındırıcı etkilerine karşı güçlendirmek.

5.6. MAKROEKONOMİK ETKİLER

YZ'nin makroekonomik boyutları, firma ve istihdam düzeyindeki etkilerden farklı mekanizmalar üzerinden işler. Toplam büyüme beklentileri, istihdam kayıplarının tüketim devresi üzerindeki etkisi, vergi tabanındaki değişim ve mevcut ölçüm araçlarının yeterliliği bu mekanizmaların dört temel eksenini oluşturmaktadır.

5.6.1 Verimlilik ve Büyüme Beklentileri

5.6.1.1 Toplam Verimlilik ve Büyüme Beklentileri

YZ'nin makroekonomik etkisine ilişkin tahminler arasındaki mesafe dikkat çekicidir. Goldman Sachs, üretken YZ'nin on yıllık süreçte küresel GSYİH'ye yüzde 7 oranında katkı sağlayacağını tahmin etmektedir (Briggs ve Kodnani, 2023). Bu model, işçi görevlerinin önemli bir bölümünün otomatikleşeceğini ve yerinden edilen işçilerin üretken faaliyetlere yeniden yönlendirildiğini varsaymaktadır.

Acemoğlu'nun 2024 tarihli çalışması çok farklı bir sonuca ulaşmaktadır (Acemoglu, 2024). YZ'nin anlamlı maliyet tasarrufu sağladığı görevlerin payı tüm işçi görevlerinin yaklaşık yüzde 4,6'sı olarak hesaplanmaktadır. Bir LLM'in laboratuvar ortamında bir görevi yapabilmesi, o görevin gerçek iş ortamında güvenilirlik, bağlamsal uyum ve kurumsal entegrasyon eşikleriyle birlikte ekonomik olarak otomatikleştirilebileceği anlamına gelmez. Bu çerçevede on yıllık toplam faktör verimliliği kazanımı yalnızca yüzde 0,53 ile 0,66 arasında kalmaktadır (Acemoglu, 2024).

Gerçek makroekonomik sonuç bu iki uç arasında şekillenecektir. Brynjolfsson, Rock ve Syverson'un "Verimlilik J-Eğrisi" çerçevesi önemli bir boyut eklemektedir: genel amaçlı teknolojiler ekonomide yaygınlaşırken, tamamlayıcı yatırımlar (iş süreçleri, veri altyapısı, beceri güncellemesi) muhasebe kayıtlarında maliyet olarak görünürken çıktıya henüz yansımamaktadır (Brynjolfsson vd., 2021). YZ için benzer bir gecikme yaşanması durumunda, mevcut istatistikler hem iyimserleri hem kötümserleri yanıltabilir.

5.6.2 İstihdam, İç Talep ve Vergi Tabanı

5.6.2.1 İstihdam Kayıplarının İç Talep Üzerindeki Etkisi

YZ'nin makroekonomik etkisi genellikle üretim tarafı üzerinden değerlendirilmektedir: verimlilik artar mı, maliyet düşer mi? Ancak talep tarafı da en az üretim tarafı kadar belirleyicidir. YZ belirli istihdam kategorilerini ikame ettiğinde, o kategorilerdeki çalışanlar gelir kaybına uğrar;

hanehalkları harcamalarını kısar; firmalar daha düşük taleple karşılaşır. Bu döngüsel mekanizma, otomasyon kaynaklı yerinden etmenin yalnızca bir dağıtım sorunu değil, aynı zamanda bir tüketim devresi problemi olabileceğine işaret etmektedir.

1.1'de tanımlanan "vasat teknolojiler" kavramı bu riski somutlaştırır [5, 6]: orantısız verimlilik kazanımı üretmeyen otomasyon uygulamaları istihdamı yok eder fakat yeni talebi ve yeni iş imkânlarını oluşturacak bir artık üretmez. Sonuç, anlamlı bir verimlilik artışı olmaksızın gelirin emekten sermayeye kaymasıdır.

4.3'te ele alınan McKinsey verileri, düşük ücretli çalışanların mesleki geçiş yükünün orantısız biçimde yüksek olduğunu göstermektedir (McKinsey Global Institute, 2025). Düşük ücretli çalışanlar aynı zamanda marjinal tüketim eğilimi en yüksek olan gruptur; gelirlerinin neredeyse tamamı harcamaya yönelmektedir. Bu grubun gelir kaybının toplam tüketim üzerindeki çarpan etkisi çok büyüktür.

5.6.2.2 Vergi Tabanında Değişim

Modern vergi sistemleri büyük ölçüde emek geliri üzerine kuruludur. YZ'nin belirli istihdam kategorilerini ikame etmesi, bu gelir kaynağının aşınması anlamına gelir. Çağrı merkezleri, veri girişi, temel muhasebe ve standart hukuki belge hazırlama gibi alanlar hem yapay zekâ otomasyonundan yüksek düzeyde etkilenen hem de yarattıkları istihdamla ücretler üzerinden alınan vergi ve primlere önemli katkı sağlayan kategorilerdir. Bu alanlardaki istihdam azalması, vergi tahsilatında doğrudan düşüşe yol açarken, işsizlik ve sosyal yardım taleplerinin artmasıyla kamu harcamaları üzerinde ek baskı oluşturur.

Eloundou ve arkadaşlarının analizi, yüksek gelirli mesleklerin de büyük dil modellerinden önemli ölçüde etkilendiğini göstermektedir (Eloundou vd., 2023). Bu mesleklerdeki kişi başına vergi katkısı daha yüksek olduğundan, olası istihdam kaybı veya ücret baskısı vergi tabanı üzerinde orantısız etki yaratabilir. Türkiye gibi istihdam üzerinden alınan vergi ve primlerin kamu gelirlerinde yüksek paya sahip olduğu ekonomilerde bu risk özellikle belirgindir.

5.6.3 Üretim-Tüketim Dengesi, Ölçüm Sorunları ve Değerlendirme

5.6.3.1 Üretim Artışı ile Tüketim Kapasitesi Arasındaki Denge

YZ'nin makroekonomik etkisindeki temel yapısal gerilim, üretim ile tüketim kapasitesi arasındaki potansiyel uyumsuzluktur. Korinek ve Stiglitz'in teorik analizi, YZ'nin geniş bir yelpazeye yayılması durumunda gelirin artan payının sermaye sahiplerine kayacağını ve eşitsizliğin yapısal

olarak artacağını göstermektedir (Korinek ve Stiglitz, 2019). Sermaye sahiplerinin marjinal tüketim eğilimleri düşük olduğundan, toplam gelir artsa bile toplam tüketim harcaması beklenen ölçüde artmayabilir.

Burada kritik olan nokta, YZ'nin yarattığı değerin ekonomik döngüde kalıp kalmadığıdır. Bir çalışan ürettiği değerin büyük bölümünü tüketim yoluyla ekonomiye geri aktarır. YZ sistemi ise ürettiği değeri doğrudan tüketim harcamasına dönüştürmez; değer firma kârlarında ve bilançolarda birikir. Bu birikim tüketim harcamasına yeterince dönüşmediğinde, makroekonomik düzeyde üretim-tüketim dengesizliği oluşabilir.

5.6.3.2 Ölçüm Sorunları: Hayalet GSYİH

OECD, YZ'nin ekonomik etkilerinin "henüz toplu istatistiklerde tam olarak görülür hale gelmediği" değerlendirmesini yapmıştır (Filippucci vd., 2024). Bu gözlem iki yoruma açıktır. Ya YZ'nin gerçek etkisi henüz sınırlıdır, ya da etki başlamış ancak ölçüm araçları bunu yakalayamaktadır. J-Eğrisi çerçevesi ikinci olasılığı desteklemektedir: standart verimlilik ölçümleri YZ'nin etkisini geçici olarak olduğundan düşük gösterebilmektedir.

Ölçüm sorununun tersi yönündeki boyutu ise "Hayalet GSYİH" kavramı altında kamusal tartışmada yer edinmiştir. Citrini Research'ün Şubat 2026'da yayımladığı "2028 Global Intelligence Crisis" raporu bu kavramı geniş kamuoyu ilgisine taşımıştır (Van Geelen ve Shah, 2026). Raporun temel tezi şudur: YZ tarafından üretilen çıktı ulusal hesaplarda büyüme olarak görünür, ancak bu çıktı hanehalkı tüketimi üzerinden ekonomide dolaşıma girmez. "Makineler isteğe bağlı mallar için sıfır dolar harcar." Sonuç olarak GSYİH rakamları büyüme gösterirken, vatandaşların yaşadığı ekonomik deneyim iyileşmeyebilir (Van Geelen ve Shah, 2026).

Ancak raporun makroekonomik muhakemesi ciddi eleştirilere konu olmuştur. Citadel Securities, verimlilik şoklarının tarihsel örüntüde tüketimi canlandırdığını, teknoloji yayılımının anlık değil S-eğrisi biçiminde gerçekleştiğini ve mevcut işgücü piyasası verilerinin öngörülen çapta bir yerinden etmeyi desteklemediğini vurgulamıştır (Fortune, 2026).

Dengeli bir değerlendirme şunu ortaya koyar: Hayalet GSYİH'nin işaret ettiği ölçüm endişesi analitik olarak geçerlidir ve Citrini'nin eleştirilen tahminlerinden bağımsız olarak meşrudur. GSYİH büyümesinin tek başına toplumsal refahın güvenilir bir göstergesi olmaktan çıkabileceği tespiti, IMF'nin eşitsizlik uyarıları (Cazzaniga vd., 2024), Acemoğlu'nun yerinden etme-verimlilik analizi (Acemoglu, 2024) ve OECD'nin ölçüm zorluğu vurgusu (Filippucci vd., 2024) ile ortak bir zemin

paylaşmaktadır. Ölçüm zorlukları gerçektir; spesifik felaket senaryoları ise mevcut kanıtlarla desteklenmemektedir.

5.6.3.3 Değerlendirme

YZ'nin makroekonomik etkisi, ne Goldman Sachs'in yüzde 7'lik büyüme vaadi kadar büyük ne de Acemoğlu'nun alt sınırı kadar dar olacaktır. Kesin olan birkaç nokta vardır. YZ'nin firma düzeyindeki verimlilik potansiyeli ampirik olarak doğrulanmıştır (Brynjolfsson vd., 2023); bu potansiyelin makro düzeye yansımaları ise otomatik değildir. Büyüme ile dağılım birbirinden ayrılamaz: YZ'nin ürettiği değer, gelir dağılımı mekanizmalarıyla birlikte değerlendirilmediğinde, ulusal hesaplardaki büyüme vatandaşın refahına dönüşmeyebilir. Mevcut ölçüm araçlarımız YZ'nin etkisini tam yakalamakta yetersizdir; hem olduğundan az gösterme (J-Eğrisi) hem de olduğundan fazla gösterme (Hayalet GSYİH) riski bulunmaktadır.

Türkiye'nin büyüme modeli istihdam yoğun sektörlerle dayanmaktadır; bu sektörlerde YZ kaynaklı istihdam ikamesi iç talep üzerinde gelişmiş ekonomilere kıyasla daha hızlı etki yaratabilir. YZ altyapısının ve temel modellerin dış kaynaklardan temini, verimlilik kazanımlarının önemli bir bölümünün lisans ve bulut kullanım bedelleri olarak dışarıya akmasına yol açmaktadır. Vergi tabanının bordro ağırlıklı yapısı, istihdam ikamesinin mali etkilerini derinleştirmektedir. Verimlilik J-Eğrisi çerçevesinde tam kazanım için gereken tamamlayıcı yatırımlar Türkiye'de henüz erken aşamada; bu durum, verimlilik kazanımlarının geç gerçekleşmesini ancak istihdam etkilerinin erken hissedilmesini olası kılmaktadır.

5.7. ALTYAPI, ENERJİ VE KAYNAK EKONOMİSİ

YZ çoğu zaman soyut bir yazılım faaliyeti olarak algılanır. Oysa arkasında devasa bir fiziksel altyapı zinciri bulunur. Veri merkezleri, yüksek performanslı işlemciler, geniş bantlı ağ altyapısı ve bunları besleyen enerji kaynakları. YZ'nin ekonomik etkilerini değerlendirirken yalnızca verimlilik kanalına odaklanmak yetersizdir. Altyapı, enerji ve hammadde boyutları hesaba katılmadığı takdirde maliyet-fayda analizi eksik kalır.

5.7.1 Veri Merkezleri ve Enerji Ekonomisi

5.7.1.1 Veri Merkezlerinin Ekonomik Maliyeti

Küresel ölçekte YZ altyapısına yapılan yatırım benzeri görülmemiş bir hız almıştır. 2025 yılında büyük bulut sağlayıcılarının toplam sermaye harcaması 380 milyar doları aşmıştır (Stanford HAI, 2025). Alphabet, 2026 yılı için 175-185 milyar dolarlık harcama öngörüsü açıklamıştır (Alphabet

Inc., 2026); Microsoft, Meta ve Amazon da benzer ölçeklerde yatırım planları duyurmuştur. Bu tesisler yalnızca inşa maliyetleriyle değil, sürekli bakım, enerji tüketimi ve soğutma gereksinimleriyle de önemli bir ekonomik yük oluşturmaktadır.

Türkiye açısından bu tablo iki anlam taşır. YZ altyapısı yatırım yarışına dahil olmanın maliyeti yüksektir; üstelik mevcut kapasiteler ABD, Avrupa ve Doğu Asya'da yoğunlaşmıştır. Veri merkezi kapasitesinde yetersiz kalan ülkeler işlem gücünü dışarıdan temin etmek zorunda kalmakta ve bu yapısal bir bağımlılık doğurmaktadır.

5.7.1.2 Enerji Tüketimi ve Elektrik Fiyatları Üzerindeki Baskı

YZ iş yüklerinin enerji tüketimi, sektör için en somut fiziksel kısıttır. IEA'ya göre küresel veri merkezlerinin elektrik tüketimi 2022'de yaklaşık 460 TWh düzeyindeydi; 2026'ya kadar 1.000 TWh'yi aşması beklenmektedir (IEA, 2024a). Bu rakam Japonya'nın toplam yıllık tüketiminin yaklaşık yüzde 90'ına karşılık gelir.

Sorun ölçeğin ötesinde talep artışının coğrafi yoğunluğudur. Goldman Sachs, ABD'de veri merkezlerinin toplam elektrik talebinin 2024-2030 arasında yüzde 70 artacağını tahmin etmiştir (Goldman Sachs, 2024b). Bu talep, veri merkezlerinin yanı sıra aynı şebekeleri kullanan hanehalkları ve sanayiler için de fiyat baskısı oluşturmaktadır.

Türkiye'nin 2030'a kadar 1 GW veri merkezi kapasitesi hedefi (Daily Sabah, 2025), elektrik üretiminde ek kapasite planlamasını zorunlu kılmaktadır. Yenilenebilir enerji entegrasyonu sağlanmadığı takdirde bu tesisler fosil yakıt bağımlılığını artırıcı bir etki yapabilir; hem iklim hem de maliyet düşürme hedefleriyle çelişen bir sonuç oluşabilir.

5.7.2 Donanım Bağımlılığı ve Tedarik Zinciri

5.7.2.1 Donanım Bağımlılığı: GPU ve Yarıiletken Tedarik Zinciri

YZ altyapısındaki en kritik darboğaz, ileri düzeyde işlemci tedarikindeki aşırı yoğunlaşmadır. NVIDIA, küresel GPU pazarının tahminen yüzde 92'sini kontrol etmektedir (Xpert Digital, 2025; Stanford HAI, 2025). Küresel GPU pazarının 2024 yılında 65 milyar USD'ye ulaştığı ve 2029'a kadar yıllık bileşik büyüme oranının (CAGR) yüzde 33'ü aşacağı tahmin edilmektedir [KPMG-2025]. NVIDIA'nın piyasa değeri 2024 yılında 3 trilyon USD sınırını aşarak donanımın YZ ekonomisindeki stratejik ağırlığını somutlaştırmıştır. Üretim tarafında ise TSMC dünyanın ileri düzeyde çip üretiminin yüzde 90'ından fazlasını gerçekleştirmektedir (RAND Corporation, 2024); tüm büyük YZ hızlandırıcıları bu tek fabrikasyon ortağından çıkmaktadır.

Bu çift katmanlı bağımlılık (tasarımda NVIDIA, üretimde TSMC) küresel YZ altyapısı için yapısal bir kırılma noktasıdır. Tayvan'daki olası bir çatışma, abluka veya doğal afet senaryosunda küresel YZ çip tedariki günler içinde aksamaya uğrayabilir (RAND Corporation, 2024). Bu risk teknoloji şirketlerinin ötesinde, ekonomilerini YZ kullanımı üzerine inşa eden tüm ülkeleri ilgilendirmektedir. Artan işlem gücü ihtiyacı enerji tüketimini de kritik bir seviyeye taşımaktadır. De Vries'in analizine göre YZ sistemlerinin güç talebi 2025 sonuna kadar 23 GW'a ulaşarak veri merkezlerinin 2024 toplam talebinin yarısına yaklaşabilir [deVries-2025]. Tedarik zinciri kısıtları ve artan işletim maliyetleri, gelişmekte olan ekonomilerde yerel veri merkezlerinin sürdürülebilirliğini zorlaştırmaktadır.

5.7.2.2 GPU as a Service (GPUaaS) ve Erişim Modelleri

Yüksek donanım ve bakım maliyetlerine (CAPEX) katlanmak yerine GPU kaynaklarını kiralama yoluyla (OPEX) edinmek, özellikle ölçek sınırlılığı yaşayan ekonomiler için ana çözüm yolu olarak öne çıkmaktadır. Precedence Research'e göre küresel GPUaaS pazar büyüklüğü 2025 yılında 4,96 milyar USD seviyesine ulaşmış olup 2035'e kadar yüzde 22 CAGR ile büyümesi beklenmektedir [Precedence-2025]. Derin öğrenme ve veri analitiği gibi yoğun iş yükleri için ölçeklenebilir ve düşük başlangıç maliyetli bir alternatif sunan bu model, KOBİ'lerin ve araştırma kurumlarının YZ altyapısına erişimini demokratikleştirme potansiyeli taşımaktadır.

5.7.2.3 Nadir Elementler ve Tedarik Zinciri Kırılma Noktası

YZ donanımı, belirli nadir toprak elementlerine ve kritik minerallere bağımlıdır. Çin, küresel nadir toprak elementi üretiminin yaklaşık yüzde 70'ini ve işleme kapasitesinin yüzde 90'a yakınına kontrol etmektedir (FP Analytics, 2025; IEA, 2024b; CFR, 2025). 2024 sonunda galyum ve germanyum ihracatına getirilen kısıtlamaların ardından bu metallerin Çin dışı fiyatları beş ayda iki katına çıkmıştır (FP Analytics, 2025; IEA, 2024b; CFR, 2025).

Ortaya çıkan tablo şudur. ABD çip tasarımı ve yazılımı kontrol ederken, Çin hammadde tarafında karşı bir kaldırıca sahiptir. Her iki tarafa da bağımlılığı bulunan ülkeler bileşik bir risk profili etkisi altında kalmaktadır. Bu konunun jeopolitik boyutu Bölüm 8'de daha ayrıntılı ele alınmaktadır.

5.7.3 Kamu-Özel Maliyet Paylaşımı, Güvenlik ve Politika Yansımaları

5.7.3.1 Altyapı Yatırımlarında Kamu-Özel Maliyet Paylaşımı

YZ tesislerinin inşa ve işletme maliyetleri büyük ölçüde özel sektör tarafından karşılanmaktadır. Ancak bu tesislerin çalışması için gerekli destekleyici altyapı (elektrik şebekesi, su, geniş bant ağ) büyük ölçüde kamu kaynaklarıyla finanse edilmektedir.

ABD'de CHIPS and Science Act kapsamında 36 milyar doları aşan teşvik dağıtılmış; Intel, TSMC ve Samsung başlıca alıcılar arasında yer almıştır (CFR, 2025; NIST, 2024). AB'nin European Chips Act kapsamındaki toplam yatırımı 31,5 milyar euroyu aşmaktadır (European Commission, 2023). Bu programlar, büyük ekonomilerin yarıiletken tedarik zincirindeki bağımlılığı ulusal güvenlik meselesi olarak değerlendirdiğinin açık göstergesidir.

Özel kârlar ile toplumsallaştırılan maliyetler arasındaki bu asimetri, politika yapıcılar için temel bir soru doğurur: YZ altyapısına aktarılan kamu kaynakları toplumsal fayda üretiyor mu, yalnızca özel kârlılığı mı destekliyor?

5.7.3.2 Güvenlik ve Süreklilik Riski

Veri merkezleri ekonomik varlık olduğu kadar stratejik hedeflerdir. Fiziksel saldırılar, enerji kesintileri, doğal afetler veya siber saldırılar ulusal YZ kapasitesini doğrudan devre dışı bırakabilir. Rusya-Ukrayna çatışması, kritik altyapının modern savaşdaki rolünü somut biçimde ortaya koymuştur.

Bu çerçevede veri merkezlerinin coğrafi dağılımı ve fiziksel koruması stratejik önem taşımaktadır. Türkiye'deki Nevşehir yeraltı veri merkezi konsepti gibi yaklaşımlar, doğal soğutma avantajları ile fiziksel güvenliği bir arada hedeflemektedir. Kritik YZ altyapısının yerleşim planı, ekonomik hesapların ötesinde askeri ve istihbarattan bağımsızlık perspektifleriyle de değerlendirilmesi gereken bir konudur.

5.7.3.3 Politika Yansımaları

Bu bölümde ele alınan fiziksel altyapı boyutu, birbiriyle bağlantılı dört politika sonucuna işaret etmektedir.

Birincisi, YZ stratejileri yalnızca yazılım ve model geliştirme üzerine kurgulanamaz; enerji planlaması, yarıiletken tedarik güvenceleri ve veri merkezi altyapısı stratejinin ayrılmaz parçalarıdır.

İkincisi, enerji tüketimindeki artış yenilenebilir enerji yatırımlarıyla paralel planlanmalıdır; aksi halde YZ altyapısı iklim hedefleriyle çatışan bir fosil yakıt talebi yaratır.

Üçüncüsü, donanım tedarik zincirindeki yoğunlaşma çeşitlendirme ve yerli kapasite geliştirme hedeflerini ön plana taşımaktadır.

Dördüncüsü, kamu ve özel sektör arasındaki maliyet paylaşımı şeffaf biçimde ele alınmalıdır; kamu kaynaklarının YZ altyapısına yönlendirilmesi, toplumsal fayda üretip üretmediği sorusuyla birlikte değerlendirilmelidir.

5.8. EKONOMİK BAĞIMLILIK, REKABET VE STRATEJİK OTONOMİ

Önceki bölümlerde YZ'nin verimlilik, istihdam, gelir dağılımı ve altyapı üzerindeki etkileri incelendi. YZ aynı zamanda ulusal ekonomiler için yeni bir dış bağımlılık kanalı oluşturmaktadır. Temel argüman, YZ'nin geleneksel ticaret ilişkilerinden daha güçlü bir bağımlılık yapısı yarattığı yönündedir. Bu bağımlılık ekonomik olduğu kadar stratejik ve güvenliği ilgilendiren bir nitelik taşımaktadır. Türkiye gibi teknolojiyi büyük ölçüde uygulayan konumdaki ülkeler için bu analiz özel bir anlam taşır.

5.8.1 Çok Katmanlı Bağımlılık ve Erişim Kısıtlamaları

5.8.1.1 Çok Katmanlı Bağımlılık Yapısı

YZ teknoloji bütünü, hammaddeden uygulama katmanına uzanan birbirine bağlı katmanlardan oluşmaktadır. Her katmanda sınırlı sayıda aktöre yoğunlaşma mevcuttur; herhangi bir katmandaki aksaklık tüm zincire sirayet edebilmektedir.

Teknoloji bütünü'nün katmanları ve hâkim aktörler şu şekilde özetlenebilir. Hammadde katmanında nadir toprak elementleri, galyum ve germanyum gibi kritik mineraller yer almaktadır. Çin, küresel üretimin yüzde 70 ila 90'ını kontrol etmektedir (FP Analytics, 2025; IEA, 2024b; CFR, 2025). Yarıiletken üretim katmanında TSMC, ileri düzeyde çip üretiminin yüzde 90'ından fazlasını gerçekleştirmektedir (RAND Corporation, 2024). Donanım tasarımı katmanında NVIDIA, küresel GPU pazarının tahminen yüzde 92'sine hâkimdir (Xpert Digital, 2025; Stanford HAI, 2025). Bulut altyapısı katmanında AWS, Microsoft Azure ve Google Cloud pazar payının büyük bölümünü elinde tutmaktadır. Temel modeller katmanında OpenAI, Google, Anthropic ve Meta gibi sınırlı sayıda ABD merkezli şirket hâkim konumdadır. Uygulama katmanındaki her hizmet ise alt katmanlardaki tüm bağımlılık ilişkilerini miras almaktadır.

Bu yapının kritik özelliği, herhangi bir katmandaki kısıtlamanın yukarı katmanlara doğru yayılma, çığ (cascade) etkisi yaratmasıdır. Dünya Bankası'na danışmanlık yapan ekonomistlerin ifadesiyle, "bir başkasının ekonominiz üzerinde bir acil kapama anahtarı (kill switch) varsa, bu kötü bir durumdur" (UNCTAD, 2025; IMF, 2024).

5.8.1.2 İhracat Kontrolleri ve Erişim Sınırlamaları

YZ bağımlılığı soyut bir risk değil, halihazırda işleyen bir politika aracıdır. ABD Ticaret Bakanlığı Sanayi ve Güvenlik Bürosu (BIS), 2022 yılından itibaren Çin'e yönelik kapsamlı yarıiletken ihracat kontrolleri uygulamaya koymuş; kontroller sonraki yıllarda kademeli olarak genişletilmiş ve kapsama alınan ülke sayısı artırılmıştır (CSIS, 2022; Congressional Research Service, 2024)(CSIS, 2023, 2024).

Ocak 2025'te Biden yönetimi, küresel ölçekte üçlü bir lisanslama rejimi oluşturan YZ Yayılım Çerçevesi'ni (YZ Diffusion Framework) duyurmuştur (Winter-Levy, 2025). Birinci kademe (Tier 1), 18 güvenilir müttefik ülkeye kısıtlamasız erişim sağlamaktadır. Avustralya, Belçika, Kanada, Danimarka, Finlandiya, Fransa, Almanya, İrlanda, İtalya, Japonya, Hollanda, Yeni Zelanda, Norveç, Güney Kore, İspanya, İsveç, Tayvan ve Birleşik Krallık. İkinci kademe (Tier 2) yaklaşık 120 ülkeyi miktar sınırlamasına tabi tutmaktadır. Üçüncü kademe (Tier 3) ise Çin, Rusya, İran ve Kuzey Kore gibi ülkelere ileri GPU ihracatını tamamen yasaklamaktadır (Winter-Levy, 2025).

Türkiye, bu çerçevede İkinci Kademe olarak sınıflandırılmıştır (Winter-Levy, 2025). Her şirketin Türkiye'de konuşlandırabileceği H100 eşdeğeri çip sayısı 2025 sonunda yaklaşık 100.000 ile sınırlandırılmış; 2026 sonunda 270.000, 2027 sonunda ise 320.000'e kadar artış öngörülmüştür (Winter-Levy, 2025).

Trump yönetimi, Mayıs 2025'te bu çerçeveyi yürürlükten kaldırmıştır (BIS, 2025; United States Studies Centre, 2025). Ancak Çin, Rusya ve İran'a yönelik temel kısıtlamalar yürürlükte kalmıştır. Carnegie Vakfı'nın değerlendirdiği gibi, bu kural YZ çiplerini "jeopolitik ve teknolojik taviz elde etmek için ABD ihracatının kaldırıcı olarak kullanılmasını kurumsallaştırmıştır" (Winter-Levy, 2025). Düzenleyici altyapı ve emsal mevcuttur; çerçevenin yeniden uygulanma olasılığı ortadan kalkmamıştır.

Türkiye'nin NATO müttefiki olmakla birlikte Birinci Kademe'ye dahil edilmemiş olması önemlidir. Siyasi ittifak ilişkileri, teknoloji erişiminde otomatik ayrıcalığı garanti etmemektedir.

5.8.1.3 Bulut ve YZ Hizmet Erişiminin Kesilmesi: Rusya Örneği

Rusya deneyimi, YZ bağımlılığı riskinin en kapsamlı gerçek dünya örneğidir. 2022'den itibaren Batı bulut ve YZ hizmetleri kademeli olarak kesilmiştir (Data Center Dynamics, 2024; Arnold & Porter, 2024; Bleeping Computer, 2024). Mart 2022'de Microsoft yeni satışları durdurdu; Oracle ve SAP operasyonlarını askıya aldı. Ağustos 2022'de Amazon, Rusya ve Belarus'tan yeni AWS kayıtlarını durdurdu. Ağustos 2023'te Microsoft abonelik ve lisans yenilemelerini durdurdu. Aralık 2023'te AB 12. yaptırım paketi kurumsal ve tasarım yazılımlarını yasakladı. Ocak 2026'da AB, yapay zekâ hizmetlerini açıkça yasak kapsamına aldı; tam YZ hizmet engeli ilk kez emsal hâline geldi.

Bu sürecin ortaya koyduğu ders açıktır. Kesinti ani değil, kademeli gerçekleşmektedir. Yeni satışların durdurulması, abonelik sonlandırma ve tam hizmet kesintisi birbirini izlemiştir. Üstelik kesinti devlet kararının yanı sıra özel şirketlerin kendi politika tercihleriyle de gerçekleşmiştir.

OpenAI'in ülke bazlı erişim kısıtlamaları da benzer bir yapıya işaret etmektedir. OpenAI, desteklenen ülkeler listesi dışında kalan ülkelere API erişimini engellemektedir (OpenAI, 2024; The Register, 2024); Afrika'nın yaklaşık yarısı erişim dışındadır. Tek bir ABD merkezli şirketin politika kararı, hangi ülkelerin dünyanın önde gelen YZ yeteneklerine erişeceğini belirleyebilmektedir.

5.8.2 Donanım Yoğunlaşması ve Egemenlik Tepkileri

5.8.2.1 Donanım Yoğunlaşması ve Tedarik Zinciri Kırılganlığı

YZ donanım tedarik zincirindeki yoğunlaşma, bağımlılık yapısının en somut boyutunu oluşturmaktadır. 7.2'de ele alınan piyasa yoğunlaşması rakamları bu tablonun çerçevesini çizmektedir.

TSMC'nin CoWoS ileri paketleme kapasitesi 2026 sonuna kadar tamamen dolu olup talep yıllık yüzde 113 oranında artmaktadır (RAND Corporation, 2024). RAND Corporation'ın analizine göre, Tayvan'da bir askeri çatışma, abluka veya doğal afet senaryosunda küresel YZ çip tedariki günler içinde aksama uğrayabilir (RAND Corporation, 2024).

Hammadde katmanında Çin, karşı bir kaldıraca sahiptir. Çin, küresel nadir toprak elementi üretiminin yaklaşık yüzde 70'ini ve işleme kapasitesinin yüzde 90'a yakın bölümünü kontrol etmektedir (FP Analytics, 2025; IEA, 2024b; CFR, 2025). 2024 sonu itibarıyla galyum ve germanyum ihracatına yönelik kısıtlamalar uygulamış; ardından galyum fiyatları beş ay içinde iki katına çıkmıştır (FP Analytics, 2025; IEA, 2024b; CFR, 2025). Ekim 2025 itibarıyla Çin, beş nadir toprak elementini daha ihracat kontrol listesine eklemiştir (FP Analytics, 2025; IEA, 2024b; CFR, 2025).

Sonuç olarak YZ tedarik zincirinde bağımlılık çift yönlüdür: ABD çip tasarımı ve yazılımı kontrol ederken, Çin hammadde tarafında karşı kaldıracı sahiptir. Her iki tarafa da bağımlılığı bulunan ülkeler bileşik bir risk profili ile karşı karşıya kalmaktadır.

5.8.2.2 Egemenlik Tepkileri: Büyük Ekonomilerin Yaklaşımları

YZ bağımlılığı riski, büyük ekonomileri kapsamlı karşı programlar geliştirmeye yöneltmiştir. ABD'de CHIPS and Science Act kapsamında 36 milyar doları aşan teşvik fonları dağıtılmıştır (CFR, 2025; NIST, 2024). AB'de ise European Chips Act kapsamında 31,5 milyar euro'yu aşan kamu ve özel sektör yatırımı onaylanmıştır (European Commission, 2023).

Fransa, AB içinde en iddialı egemen YZ programını yürütmektedir. Şubat 2025'teki YZ Aksiyon Zirvesi'nde 109 milyar euroluk YZ altyapı yatırımı taahhüt edilmiştir; bu, ABD ve Çin dışındaki en büyük ulusal YZ yatırım programıdır (Introl, 2025; Contextual Solutions, 2025a). Mistral AI, 11,7 milyar euro değerlemeye Avrupa'nın önde gelen egemen YZ şirketi konumundadır (Introl, 2025; Contextual Solutions, 2025a). AB düzeyinde YZ Fabrikaları programı EuroHPC süperbilgisayarlarına erişim sağlarken, Nisan 2026'da 180 milyon euroluk egemen bulut ihalesi dört Avrupalı sağlayıcı grubuna verilmiştir (European Parliament, 2025; The Next Web, 2026).

Bu rakamlar, zengin ve büyük AB ekonomilerinin bile YZ egemenliği konusunda ciddi bir aciliyet hissettiğini göstermektedir.

5.8.2.3 Uçtan Uca Tam Teknoloji Bağımsızlığı Yapısal Olarak Mümkün mü?

Brookings Enstitüsü, Şubat 2026 tarihli bir analizde “tam teknoloji (stack) YZ bağımsızlığının hemen hemen her ülke için yapısal olarak olanaksız olduğunu” öne sürmüştür (Brookings Institution, 2026). Mineraller, hesaplama donanımı, ağlar, modeller ve yetenek gibi katmanların her birinde bağımlılık mevcuttur; tam özerklik için tüm katmanlarda eş zamanlı yerli kapasite gerekmekte, bu ise ABD ve Çin dahil hiçbir ülke için tam anlamıyla gerçekleştirilmiş değildir.

Brookings'in önerdiği "yönetilen karşılıklı bağımlılık" (managed interdependence) kavramı dört operasyonel adım içermektedir: bağımlılık katmanlarının haritalanması, müdahale edilebilir alanların önceliklendirilmesi, tedarikçi ve ortak çeşitlendirmesi ve teknik standartlar ile tedarik süreçlerine taşınabilirliğin gömülmesi (Brookings Institution, 2026).

Chatham House ise orta güçlerin (middle powers) ABD ve Çin YZ hâkimiyeti karşısında izleyebileceği dört strateji tanımlamıştır. Uzmanlaşmak (küresel YZ tedarik zincirinde stratejik nişler oluşturarak kısmi özerklik elde etmek), hizalanmak (bir YZ süper gücüyle tam hizalanmayı kabul

etmek), paylaşmak (benzer ülkelerle egemenlik havuzları kurmak) ve çoğulcılaştırmak (farklı kaynaklardan YZ yetenekleri kullanarak tek kaynağa bağımlılıktan kaçınmak) (Chatham House, 2026). Chatham House'un uyarısı açıktır. "Bilinçli stratejik tercihler yapmamak, yoğunlaşan küresel YZ yarışında özerkliğin kaybedilmesiyle sonuçlanabilir" (Chatham House, 2026).

McKinsey'e göre YZ harcamalarının yüzde 30 ila 40'ı egemenlik gereksinimleri tarafından şekillendirilebilir; bu, 2030 yılına kadar küresel ölçekte 500 ila 600 milyar dolarlık bir pazarı temsil etmektedir (McKinsey & Company, 2025a, 2025b).

5.9. TÜRKİYE AÇISINDAN FIRSATLAR

Riskler gerçektir; ancak risklerin varlığı fırsatların yokluğu anlamına gelmez. Türkiye, YZ teknolojilerinden ekonomik değer üretebilecek belirli yapısal avantajlara sahiptir. Bu avantajları somut biçimde tanımlamak ve gerçek kazanıma dönüşme koşullarını değerlendirmek gerekir. Temel yaklaşım ihtiyatlı iyimserliktir: fırsat mevcuttur, ancak fırsatın varlığı sonucu garanti etmez. Sonucu belirleyen değişkenler kurumsal kapasite, politika tercihleri ve stratejik yatırımlardır.

Türkiye, YZ bağımlılık haritasında özgün bir konuma sahiptir. NATO müttefiki olmakla birlikte Birinci Kademe'ye dahil edilmemiştir (Winter-Levy, 2025). Yüksek teknoloji malları, Türkiye'nin mamul ihracatının yalnızca yüzde 3 ila 4'ünü oluşturmaktadır (RUSI, 2024). Türkiye aynı zamanda ABD ve Çin arasındaki YZ cephesinde dikkatli bir denge politikası izlemektedir (RUSI, 2024).

RUSI'nin analizine göre Türkiye, "stratejik özerklik ve esnekliği korumak için kendi teknolojik yeteneklerini geliştirmeye odaklanırken hem ABD hem Çin ile ilişkileri besleyen dikkatli bir dengeleme eylemi" içindedir (RUSI, 2024). ABD Hazine Bakan Yardımcısı, Ocak 2023'te Türk yetkilileri, Rusya'nın yaptırımları atlatma girişimlerine önlem alınmadığı takdirde "Amerikan tedarikçilerinden kesilebilecekleri" konusunda uyarmıştır (Harvard Kennedy School, Belfer Center, 2023). Bu, Türkiye'nin teknoloji erişimi kısıtlanması riskinin somut bir olasılık olduğunu göstermektedir. İki yönlü bir kırılabilirlik söz konusudur. Batı teknoloji ekosistemine bağımlılığın yanı sıra, Çin alternatiflerini keşfetmek her iki taraftan da ceza riskini artırmaktadır.

Türkiye bu risklere karşı belirli adımlar atmıştır. HAVELSAN'ın MAIN platformu, 9 milyar parametrelilik dil modeliyle Türkiye'nin ilk Türkçe kurumsal YZ platformudur; tamamen çevrimdışı çalışmakta ve kurumların iç verilerini dışarıya çıkarmaksızın işlemesine olanak tanımaktadır (Anadolu Agency, 2024; HAVELSAN, 2024; Anadolu Agency, 2025). ASELSAN'ın HAMLE platformu ise pekiştirmeli öğrenme ve YZ algoritmaları kullanan bir savaş oyunu simülasyon platformudur; savaş oyunlarından öğrenerek personel eğitiminde öğretici rolünü üstlenmektedir (Daily Sabah, 2025;

Springer, 2024). Bu iki savunma YZ girişimi, Türkiye'nin kritik uygulamalarda yabancı platformlara bağımlılığını azaltma çabasının somut göstergesidir.

Türkiye'nin 2024–2028 Dışişleri Bakanlığı Stratejik Planı, Türk Devletleri Teşkilatı bünyesinde ortak bir büyük dil modeli geliştirme hedefi içermektedir (Daily Sabah, 2025). 9.3'te ele alınan ulusal hedefler belirlenmiştir (Daily Sabah, 2025). Ancak ölçek farkı göz ardı edilmemelidir: Fransa'nın 109 milyar euroluk taahhüdü ile Türkiye'nin 10 milyar dolarlık hedefi arasındaki uçurum, kapasite açığını açıkça yansıtmaktadır.

Türkiye için en gerçekçi çerçeve, Brookings'in "yönetilen karşılıklı bağımlılık" kavramıdır (Brookings Institution, 2026). Chatham House'un dört stratejisinden Türkiye'nin durumuna en uygun olanı, uzmanlaşmak ve çoğulcılaştırmak stratejilerinin bileşimidir. Savunma AI'ı, Türkçe dil işleme, insansız hava aracı otonomisi ve belirli sektörel uygulamalar (gümrük, tarım, enerji) uzmanlaşmak için doğal adaylardır. Aynı zamanda birden fazla YZ kaynağına erişim sürdürmek (ABD, Çin, açık kaynak) çoğulcılaştırma stratejisini oluşturabilir.

YZ bağımlılık yapısında önemli bir kırılma noktası, açık kaynak büyük dil modellerinin olgunlaşmasıdır. Meta'nın Llama serisi, DeepSeek ve Mistral YZ gibi açık ağırlık modeller, tescilli sistemlere olan bağımlılığı azaltma potansiyeli taşımaktadır (Meta AI, 2024; Mistral AI, 2024). DeepSeek'in R1 modeli, GPT-4 düzeyinde performansı çok daha düşük eğitim maliyetiyle elde ederek açık erişimli yayımlamıştır (Brookings Institution, 2025; MIT Technology Review, 2025).

Bu modellerin Türkiye için stratejik önemi açıktır: giriş engelini düşürürler, yerel veri setleriyle Türkçeye ve sektörel bağlamlara uyarlanabilirler, çevrimdışı çalışabilme kapasiteleri sayesinde veri egemenliği risklerine karşı koruma sağlarlar. HAVELSAN'ın MAIN platformu (bkz. 8.3) bu yaklaşımın somut örneğidir: kurumsal verilerin dış sistemlere aktarılmasını gerektirmeyen yerli bir alternatif.

Sınır da nettir: açık kaynak modeller, küresel tedarik zincirindeki donanım bağımlılığını ortadan kaldırmaz; yalnızca yazılım katmanında esneklik sunar (Brookings Institution, 2026). Yine de bu esneklik stratejik olarak değerlidir.

YZ bağımlılığının geleneksel ticaret bağımlılığından dört temel farkı vardır. Değiştirilemez hâle gelme etkileri (lock-in) geçiş maliyetlerini yüksek tutar. Bilgi asimetrisi nedeniyle bağımlı ülke YZ sistemlerinin ekonomisini nasıl etkilediğini tam göremez. Kesinti hızı açısından bulut ve YZ hizmetlerinin kesilmesi geleneksel yaptırımların aksine anlık olabilir. Bileşik kırılganlık nedeniyle bağımlılık birden fazla katmanda eş zamanlı olarak var olur ve herhangi bir katmandaki aksaklık tüm

sisteme sirayet edebilir. Bu özellikler, YZ bağımlılığı yönetimini geleneksel dış ticaret ve enerji politikalarından farklı ve belki daha acil bir politika alanı hâline getirmektedir.

5.9.1 Sektörel Uygulamalar ve Yerli Girişimler

5.9.1.1 Sektörel Uygulama Alanları

YZ'nin temel ekonomik işlevi tahmin maliyetini düşürmektir (Agrawal vd., 2018). Bu işlevin en fazla değer ürettiği alanlar, tahmin yoğun kararların sıklıkla alındığı ve veri zenginliğinin halihazırda mevcut olduğu sektörlerdir. Türkiye'nin fırsatı da tam bu kesişimde yatmaktadır.

Bankacılık ve finans sektörü, Türkiye'nin en olgun YZ uygulama alanıdır. Türk bankacılık sistemi dijitalleşme düzeyinde küresel ortalamanın üzerindedir (BDDK ve TBB, 2024; Deloitte, 2024); büyük bankalar dolandırıcılık tespiti, kredi skorlaması ve müşteri segmentasyonu gibi alanlarda makine öğrenmesi modellerini yıllardır kullanmaktadır (BDDK ve TBB, 2024; Deloitte, 2024). Gümrük değer tahmini, Türkiye'nin yoğun dış ticaret hacmi göz önüne alındığında önemli bir verimlilik kazanımı potansiyeli taşımaktadır (WCO, 2024). Lojistik sektöründe Türkiye'nin Avrupa-Asya ticaret koridoru rolü, rota optimizasyonu ve talep tahmini uygulamaları için doğal bir zemin oluşturmaktadır (T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, 2024). Savunma sanayiinde insansız hava araçları ve otonom sistemler alanında kazanılan mühendislik deneyimi, YZ entegrasyonu için güçlü bir temel sağlamaktadır (Springer, 2024).

3.1'de ele alındığı üzere üretken YZ değerinin büyük bölümü belirli iş fonksiyonlarında yoğunlaşmaktadır (McKinsey Global Institute, 2023). Türkiye'nin güçlü olduğu sektörlerde uygulama yetkinliği inşa etmek, tam teknoloji bağımsızlığı arayışından stratejik olarak daha verimli bir yoldur..

5.9.1.2 Yerli Girişimlerin Büyüme Potansiyeli

Türk YZ ekosistemi henüz erken aşamada, ancak büyüme ivmesi belirgindir. 2025 yılı itibarıyla Türkiye'de 1.188 aktif YZ girişimi faaliyet göstermekte olup bunların yüzde 70'i 2020 sonrasında kurulmuştur [YZF-2026]. 2024-2025 döneminde 180 girişim erken aşamada yatırım almıştır [YZF-2026]. YZ yatırımlarının Türkiye GSYİH'sine yıllık yüzde 1-2 ek katkı sağlayabileceği, kamu sektöründe ise yıllık 4-5 milyar USD tasarruf potansiyeli taşıdığı değerlendirilmektedir [TRAI-2025]. Startups.watch verilerine göre Türkiye'deki YZ ve veri odaklı girişimlere yapılan yatırımlar 2020 sonrasında artış eğilimine girmiştir (Startups.watch, 2025; TÜBİTAK, 2025). Sestek (konuşma teknolojileri), Cbot (diyalog sistemleri), Insider (pazarlama otomasyonu ve müşteri deneyimi platformu) ve Foriba (e-fatura ve mali teknoloji) gibi girişimler, Türk mühendislik yetkinliğinin

ticarileşme kapasitesine işaret etmektedir (Startups.watch, 2025; TÜBİTAK, 2025). Insider'ın 2022'de milyar dolarlık girişim (unicorn) durumuna erişmesi, Türk YZ tabanlı girişimlerin küresel ölçeğe ulaşabildiğinin somut bir kanıtıdır (Crunchbase, 2022).

Ekosistem açısından iki yapısal avantaj dikkat çekmektedir. Birincisi, Türkçe doğal dil işleme alanında uzmanlık talebidir. Türkçe, eklemeli morfolojisi nedeniyle büyük dil modellerinin en zayıf performans gösterdiği diller arasındadır (Ofłazer ve Saraçlar, 2018; Safaya vd., 2022). Bu durum, Türkçeye özgü çözümler geliştiren girişimler için doğal bir pazar nişi yaratmaktadır. İkincisi, Türkiye'nin bölgesel konumudur. Türk Devletleri Teşkilatı üyesi ülkeler, Orta Doğu ve Kuzey Afrika pazarları, Türk YZ girişimleri için yurt dışı büyüme kanalı oluşturabilir (T.C. Dışişleri Bakanlığı, 2024).

5.10. DEĞERLENDİRME

Analizler iki bulguya işaret etmektedir. Birincisi, YZ gerçek bir ekonomik potansiyel taşımaktadır. Tahmin maliyetini düşürerek karar alma süreçlerini dönüştüren, firma düzeyinde verimlilik kazanımları üreten, yeni ürün ve hizmet alanları açan ve makroekonomik büyümeye katkı sağlayabilen bir genel amaçlı teknolojidir. Bu potansiyel spekülatif değildir. Firma düzeyindeki ampirik kanıtlar, sektörel uygulama örnekleri ve uluslararası karşılaştırmalı veriler bu değeri doğrulamaktadır.

İkincisi, bu potansiyelin geniş tabanlı toplumsal faydaya dönüşmesi otomatik değildir. Verimlilik artışı ile refah artışı arasındaki ilişki doğrusal olmadığı gibi, garantili de değildir. YZ'nin ürettiği değer firmalar, çalışanlar ve sermaye sahipleri arasında eşit dağılmamaktadır. Piyasa yoğunlaşması, beceri ayrışması, altyapı maliyetlerinin toplumsallaştırılması ve dışa bağımlılık riskleri, verimlilik kazanımlarının dar bir kesimde kalmasına yol açabilir. Sonucu belirleyen değişkenler kurumsal kapasite, politika tercihleri, yatırım yapısı ve uygulama kalitesidir.

Giriş bölümünde ortaya konan sorulara bu çerçevede yanıt verilebilir. AI, ekonomik değeri tahmin maliyetini düşürerek ve karar alma mimarisini yeniden yapılandırarak üretir. Ancak bu değer eşitsiz dağılır. Verimlilik kazanımları doğrudan refah kazanımına eşit değildir. Türkiye açısından, teknolojiyi büyük ölçüde uygulayan (üreten tarafta olmayan) bir ekonomi olma konumu hem fırsat hem de kırılganlık kaynağıdır. Mevcut sektörel yapının ve insan kaynağının YZ uygulamalarından değer üretebilecek alanlara sahip olması fırsat iken; model, altyapı ve donanım düzeyindeki dışa bağımlılık kırılganlık oluşturmaktadır.

6. BÖLÜM: SONUÇ

6.1. GİRİŞ: KRİTİK EŞİKTE TÜRKİYE

Yapay zekâ artık salt bir teknoloji alanı değil, ekonomik rekabetçilik, ulusal güvenlik ve kamu hizmetleri kalitesinin merkezinde yer alan bütünleşik bir ekosistem mimarisidir. Türkiye bu eşikte hem önemli fırsatlar hem de ciddi risklerle yüz yüzedir. Pasif bir “bekle-gör” tutumu büyük maliyetlere yol açabilir, aşırı erken ve sınırlayıcı düzenlemeler ise inovasyon kapasitesini köreltebilir. Doğru yol, risk odaklı, stratejik, bütüncül ve uluslararası gelişmelerle uyumlu bir dönüşüm vizyonundan geçmektedir.

6.2. TEKNOLOJİK KAVRAYIŞ VE STANDARDİZASYON İHTİYACI

Birinci bölümde ortaya konulan temel yapay zekâ teknolojileri küresel ölçekte hızla olgunlaşmaktadır. Türkiye’nin bu alanda, Cahit Arf’ın 1959 tarihli *Makina Düşünebilir mi?* adlı öncü çalışmasına uzanan ve 1992 yılında Bilkent Üniversitesi’nde düzenlenen *1. Türk Yapay Zekâ ve Yapay Sinir Ağları Sempozyumu Bildirileri*’yla güçlenen kayda değer ve köklü bir akademik birikimi bulunmaktadır. Ancak bu birikim, küresel rekabetçiliğin gerektirdiği düzeyde ticarileşme ve ürünleşme aşamasına henüz tam olarak ulaşamamıştır. Bununla birlikte, Türkiye güncel teknoloji geliştirme kapasitesi bakımından gelişmiş ekonomilerin gerisinde kalmamalıdır.

Aynı zamanda, kuantum bilişim ile yapay zekânın kesişiminde ortaya çıkan yeni araştırma alanları, özellikle kuantum destekli makine öğrenmesi uygulamaları ve bu alandaki patent yarışının hızlanmasıyla birlikte stratejik önem kazanmıştır. Türkiye’nin küresel rekabette geri kalmaması için kuantum bilimi, makine öğrenmesi ve yapay zekâ arasında disiplinler arası köprüler kurulmalı, kuantum fizikçileri, bilgisayar bilimcileri, yapay zekâ araştırmacıları, girişimciler ve yatırımcıları bir araya getiren açık ve iş birliğine imkân tanıyan bir araştırma ekosistemi geliştirilmelidir. Ayrıca bu dönüşüm, kuantum-yapay zekâ alanında uzmanlaşmış yeni nesil araştırmacıların yetiştirilmesini sağlayacak doktora ağları, çevrimiçi eğitim programları ve disiplinler arası konferansların yaygınlaştırılmasını da gerekli kılmaktadır.

Yapay Zekâ gibi teknoloji kullanımını önemli ölçüde dönüştürecek diğer bir alan Kuantum Bilişimdir. Bu iki alanın kesişiminde uzman insan kaynağı yetiştirmek amacıyla disiplinlerarası doktora programları, araştırma ağları ve ulusal mükemmeliyet merkezleri kurulması önemlidir. Açık kaynak kuantum-ML yazılım altyapıları, ortak veri havuzları ve araştırma platformları bu kesişimde de kritikliğini korumaktadır. Önümüzdeki günlerde, Kuantum Yapay Zekâ başlığında Üniversite-sanayi işbirlikleri aracılığıyla kuantum yapay zekâ teknolojilerinin patentleşmesi ve ticarileştirilmesi daha da çok gündeme gelecektir.

6.3. UYGULAMA ALANLARI: NEREDEYİZ, NEREYE GİDEBİLİRİZ?

İkinci bölümde, yapay zekânın kullanıldığı bazı alanlar seçilmiştir. Bu kapsamda yapay zekânın eğitim, sanayi ve üretim, finans, siber güvenlik, biyomedikal ve yazılım sektörlerindeki uygulamalarını ele almıştır. TÜİK'in 2025 verileri çarpıcı bir tabloyu gözler önüne sermektedir: Türkiye'de 10 ve üzeri çalışanı olan girişimlerde yapay zekâ kullanım oranı 2021'deki yüzde 2,7'den 2025'te yüzde 7,5'e yükselmiştir. Bilgi ve iletişim sektöründe bu oran yüzde 47,1'e ulaşırken imalat, tarım ve geleneksel hizmet sektörlerinde oldukça düşük kalmaktadır.

En önemli engel, yapay zekâ benimsemeyen girişimlerin yüzde 74,2'sinin "uzmanlık eksikliği", yüzde 67,4'ünün "maliyet yüksekliği" ve yüzde 62,4'ünün ise "hukuki belirsizlikler" nedeniyle bu teknolojiye uzak durduğunu ortaya koymaktadır. Bu üç engel, politika yapıcılar için net öncelikler sunmaktadır: yetkinlik geliştirme, erişim maliyetini düşürme ve düzenleyici netlik.

MEB'in geliştirdiği YZ Uygulamaları dersi, BİLSEM bünyesindeki yapay zekâ yaz okulları ve TÜBİTAK Deneyap Atölyeleri bu alandaki önemli adımlardır. Lâkin öğretmen yeterlilikleri, dijital uçurum ve içerik kalitesi boyutlarında ciddi eksiklikler sürmektedir. Kişiselleştirilmiş öğrenme, öğrenme analitiği ve otomatik değerlendirme potansiyeli büyük olmakla birlikte veri gizliliği ve etik konular dikkatle ele alınmalıdır.

McKinsey araştırmaları, tahmine dayalı bakımın bakım maliyetlerini yüzde 40'a kadar düşürebildiğini ve yapay zekâ destekli kalite kontrolün hata oranlarını yüzde 50 azaltabildiğini ortaya koymaktadır. Türk imalat sektöründe genel yapay zekâ kullanım oranı yüzde 7 ile düşük kalmaktadır. Bu oran, gelişmiş ekonomilerdeki yüzde 51-78 bandının çok gerisindedir. VitrA Karo'nun yapay zekâ destekli uygulaması ile hurda oranını yüzde 68 azaltması, yerli başarı hikâyelerinin de mümkün olduğunu kanıtlamaktadır.

Türk bankacılık sektörü yapay zekâyı dolandırıcılık tespiti, kredi skoru ve müşteri hizmetleri alanlarında etkin biçimde kullanmaktadır. Sermaye piyasaları ve sigortacılık alanlarında yüksek kullanım potansiyeli olduğu değerlendirilmektedir.

Yapay zekâ tabanlı anomali tespiti, saldırı tespit sistemleri ve tehdit istihbaratı ülkemiz açısından kritik bir öneme sahiptir. Siber Güvenlik Başkanlığı'nın bu alandaki rolleri hem saldırı kapasitelerine hem de savunma mekanizmalarına yönelik daha stratejik bir yapay zekâ vizyonu çerçevesinde ele alınmalıdır.

Biyoloji ve yaşam bilimleri, yapay zekânın dönüştürücü etkisini en güçlü biçimde hissettirdiği alanların başında gelmektedir. Protein yapı tahmini, genomik veri analizi, tıbbi görüntüleme, ilaç keşfi ve salgın hastalık modellemesi bu alandaki başlıca uygulama başlıklarıdır. Protein yapı tahmini cephesinde AlphaFold'un derin öğrenme tabanlı yaklaşımı, yıllarca çözilemeyen üç boyutlu yapı belirleme sorununa yüksek doğrulukla yanıt üretmiş ve ilaç keşfi süreçlerini doğrudan hızlandırmıştır.

Tıbbi görüntüleme alanında ise derin öğrenme algoritmaları, MR, BT ve röntgen görüntülerinden tümör, lezyon ve anormallikleri yüksek doğrulukla tespit edebilmekte, radyologlara karar destek sağlayarak deri kanseri, akciğer nodülleri ve meme kanseri gibi hastalıkların sınıflandırılmasında klinisyenlerle rekabet edebilir başarı oranlarına ulaşmaktadır. İlaç keşfi ve kişiselleştirilmiş tıp boyutunda yapay zekâ, insan genomu projesinden elde edilen büyük veri setlerini işleyerek kişiye özgü tedavi protokollerinin geliştirilmesine zemin hazırlamaktadır.

Yapay zekâ, yazılım geliştirme yaşam döngüsünün her aşamasını dönüştürmektedir. Kod tamamlama, otomatik test senaryosu üretimi, hata tahmini ve BT operasyonlarında öngörücü izleme bu dönüşümün somut çıktılarıdır. DevOps ekiplerinin yüzde 67'si son bir yıl içinde yapay zekâya yönelik yatırımlarını artırmıştır.

Aracı YZ'nin (Agentic AI'nın) yazılım projelerinde bağımsız planlama ve karar alma kapasitesi kazanması, sektörde beraberinde yeni güvenlik ve güvenilirlik sorularını getirmektedir. Yapay zekâ tarafından üretilen kodun doğrulanması, güvenlik açıklarının tespiti ve geliştirici-yapay zekâ iş birliği modelinin doğru kurgulanması Türkiye'deki yazılım sektörü için de acil bir gündem maddesi haline gelmiştir.

İkinci bölümde aktarılan bilgilerden hareketle aşağıdaki önerileri geliştirmek mümkündür:

Kamu kurumlarında kullanılacak yapay zekâ teknolojileri için asgari teknik yeterliliğe dair standartlar belirlenmelidir. Bu standartlar yalnızca performansı değil, güvenilirlik, açıklanabilirlik ve adalet boyutlarını da kapsamalıdır.

Yapay zekâ kavramlarının, özellikle AGI, GenAI, Aracı YZ (Agentic AI) ve ASI ayrımlarının, uluslararası standartlarla uyumlu biçimde tanımlandığı ulusal bir terminoloji ve sınıflandırma çerçevesi oluşturulmalıdır.

Yazılım satın alımı ve kamu BT projelerinde yapay zekâ güvenlik standartları zorunlu hâle getirilmeli; kamu kurumlarında kullanılan yapay zekâ destekli yazılım araçları için asgari denetlenebilirlik kriterleri belirlenmelidir.

Sanayide yapay zekâ benimsemesini hızlandıracak vergi teşvikleri, hibe programları, yapay zekâ yönetişimi ve hedef odaklı sosyo-teknik uygulanması eğitimi programları ve KOBİ odaklı yapay zekâ dönüşüm paketleri geliştirilmelidir.

Yapay zekâ okuryazarlığı tüm eğitim kademelerine entegre edilmeli, öğretmenler için kapsamlı yetkinlik geliştirme programları hayata geçirilmelidir.

Sektöre özgü yapay zekâ kılavuzları hazırlanmalı, finans, telekomünikasyon ve kamu altyapısı alanlarındaki yüksek riskli kullanım senaryoları için net standartlar belirlenmelidir.

Yapay zekâ destekli siber tehditlere karşı ulusal savunma kapasitesi güçlendirilmeli, yapay zekânın hem saldırı vektörü hem savunma aracı olarak çift kullanım senaryoları sistemik biçimde değerlendirilmelidir.

Biyomedikal yapay zekâ uygulamaları için klinik doğrulama çerçevesi oluşturulmalı; seçilecek uygulamaların koyulacak sınırlarla birlikte Türk sağlık verisiyle uyarlanmasına yönelik araştırma programları desteklenmelidir.

6.4. YAPAY ZEKÂ EKOSİSTEMİ: ALTYAPIDAN YETKİNLİĞE

Üçüncü bölüm, yapay zekâ ekosistemini beş kritik katmanda incelemiştir: altyapı, veri, model kapasitesi, yönetim ve insan kaynağı. TÜBİTAK ULAKBİM bünyesindeki TRUBA altyapısı, YZ kümeleri ve ARF süper bilgisayarı ile birlikte, araştırma ekosistemi için değerli bir temel oluşturmaktadır. Ancak kamu hizmetleri ve özel sektörün ölçekli hesaplama ihtiyaçlarını karşılamaktan uzaktır.

Küresel tablo dikkat çekicidir: Uluslararası Enerji Ajansı'na göre veri merkezlerinin küresel elektrik tüketiminin 2030'a kadar iki katına çıkması beklenmektedir. Yapay zekânın bu artışın temel sürükleyicisi olduğu vurgulanmaktadır. Türkiye'nin enerji politikası, veri merkezi planlaması ve yapay zekâ stratejisinin birbiriyle entegre biçimde kurgulanması artık bir tercih değil, zorunluluktur.

Türkiye, 6698 sayılı Kişisel Verilerin Korunması Kanunu aracılığıyla veri koruma alanında kurumsal bir zemin oluşturmuştur. Ne var ki sağlık, tarım, enerji ve sanayi gibi kritik sektörlerde “yapay zekâya hazır” (AI-ready) veri alanları yeterince gelişmemiştir. Avrupa'nın Ortak Veri Alanları deneyimi ve Avrupa Sağlık Veri Alanı, Türkiye için uyarlanmaya değer modellerdir.

Türkiye'nin önceliği, küresel öncü model yarışına girmek değil, Türkçe büyük dil modelleri, sektörel uzman modeller ve açık kaynak modellerin yerli bağlamla uyarlanması olmalıdır. Bu strateji, ülkemizin mevcut hesaplama altyapısı, veri varlıkları ve yetenek havuzuyla çok daha gerçekçi bir eşleşme sunmaktadır.

Üçüncü bölümde aktarılan bilgilerden hareketle aşağıdaki önerileri geliştirmek mümkündür:

Ulusal bir yapay zekâ hesaplama stratejisi geliştirilmeli, TRUBA kapasitesi hem araştırma hem kamu hizmetleri ihtiyacına yanıt verecek biçimde genişletilmelidir.

Veri merkezi yatırımları, şebeke kapasitesi ve yenilenebilir enerji entegrasyonu uyumlu biçimde planlanmalıdır.

Sağlık, enerji ve tarım sektörlerinden başlanarak yapay zekâyâ hazır sektörel veri alanları oluşturulmalıdır.

Kamu verisini yapay zekâyâ hazır hâle getirecek standartlar, meta veri gereksinimleri ve birlikte çalışabilirlik ilkeleri belirlenerek kurumlara rehberlik edilmelidir.

İnsan kaynağı dönüşümü, sadece teknik uzman yetiştirme değil, üst yöneticilerden hukuk birimlerine kadar geniş bir yapay zekâ okuryazarlığı programı, stratejik öncelikler arasına alınmalıdır.

Veri yönetim kapasitesi merkezi olarak güçlendirilmelidir. Avrupa Veri Alanları ve Veri Yönetişimi Tüzüğü gibi uluslararası çerçevelerle uyum stratejik bir rekabet faktörü olarak ele alınmalıdır.

Tam ölçekli öncü model yarışı yerine sektörel uzmanlaşmış modeller (kamu hizmetleri, sağlık, üretim/lojistik, Türkçe ve yakın coğrafya dilleri) geliştirilmesi hedeflenmelidir.

Güvenli YZ test merkezi kurularak model değerlendirme, güvenlik, önyargı, veri sızıntısı ve performans sapması (drift) gibi riskler sistematik olarak ölçülmeli ve yönetilmelidir.

Türkiye, açık kaynak ve ortak modelleri yerel bağlama uyarlayarak bölgesel çözüm sağlayıcısı konumuna evrilebilir. Bu kapsamda TRUBA gibi altyapılar AR-GE ve test amaçlı stratejik rol oynamalıdır.

Risk temelli yönetim çerçevesi erken benimsenmeli; AB YZ Tüzüğü'nün kademeli takvimi ve kavram seti, ihracat, tedarik zinciri ve yatırım çekme açısından rekabet koşulu olarak değerlendirilmelidir.

NIST AI RMF gibi risk yönetimi çerçeveleri kurum içi süreçlere aktarılmalı; denetim, dokümantasyon, izleme ve YZ okuryazarlığı kapasitesi hızla olgunlaştırılmalıdır.

Bölgesel YZ güven merkezi olma hedefiyle bağımsız etik kurullar ve operasyonel denetim mekanizmaları kurumsallaştırılmalıdır.

Kamu yöneticileri ve düzenleyici kurum personeli için YZ yönetişimi eğitimi zorunlu hale getirilmelidir. YZ okuryazarlığı (AI literacy) üst düzey yönetim (C-suite) düzeyine taşınmalıdır.

Üniversite-sanayi YZ işbirliği güçlendirilmelidir. Beyin göçü riskini azaltmak için yetenek havuzunu koruyan ve geliştiren teşvikler oluşturulmalıdır.

Özel sektörün üst yönetim düzeyinde YZ yatırım portföyü ve risk portföyü yaklaşımına geçmesi desteklenmelidir. Veri yönetişimi, güvenlik ve uyum kapasitesiyle birlikte sürdürülebilirlik sağlanmalıdır.

Üçüncü bölümde tanımlanan üç gelecek senaryosundan (Uyum Sağlayan Ülke, Bölgesel Uzman, Stratejik Orta Güç) yola çıkarak Türkiye'nin, öncelikli olarak Bölgesel Uzman ve Stratejik Orta Güç senaryolarını bütünleştiren bir yol haritası benimsemesi önerilmektedir. Bu, kritik bağımlılıkların yönetimini, sektörel veri alanlarını ve asgari ulusal kapasitenin güvence altına alınmasını içerir.

Türkiye'nin YZ'nin yarattığı ve ortadan kaldırdığı işlerin düzenli olarak, tercihen üç aylık dönemlerle izlemesi bu alanda somut bir adım olarak düşünülebilir.

Altyapı, veri, model, yönetim ve insan kaynağı bileşenleri arasında eş zamanlı ve tutarlı teşvikler kurulmalıdır. Dünya Bankası'nın "dört C" (connectivity, compute, context, competency / "dört B" bağlantı, bilgisayarım, bağlam, beceri) çerçevesinde belirttiği gibi herhangi bir ayağın zayıflığının tüm ekosistemi aşağı çekebileceği unutulmamalıdır.

6.5. YÖNETİŞİM, ETİK VE HUKUKÎ ÇERÇEVE: BOŞLUKLARI DOLDURMAK

Dördüncü bölüm, yönetim, riskler, etik ve hukuki boyutları ele almıştır. Türkiye, 2021-2025 Ulusal Yapay Zekâ Stratejisi ile bu alanda kapsamlı bir yol haritası çizmiştir. TBMM'ye sunulan iki yapay zekâ kanun teklifi (Haziran 2024 ve Eylül 2025) mevzuat alanında ilk adımları temsil etmektedir. Ancak hukuk analistleri bu tekliflerin yüksek riskli sistem tanımı, uygunluk değerlendirme mekanizmaları ve temel hak analizleri bakımından yetersiz kaldığını vurgulamaktadır.

Kasım 2025'te TBMM'ye sunulan ikinci kanun teklifi, teknik denetim yetkisini BTK'ye, veri güvenliği ihlallerini KVKK'ye ve teknik güvenlik yükümlülüklerini Siber Güvenlik Kanunu kapsamındaki yapılara bırakmaktadır. Bu çok aktörlü uygulama modeli koordinasyon açısından ciddi bir meydan okuma barındırmaktadır.

Avrupa Birliği Yapay Zekâ Yasası (AI Act) Ağustos 2024'te yürürlüğe girmiş olup 2025-2027 yılları arasında kademeli biçimde uygulamaya konulmaktadır. Türkiye, AB ile ticaret, yatırım ve teknoloji ekosistemi bağları göz önüne alındığında, bu çerçeveye uyum sağlamak hem zorunluluk hem de fırsattır. AB Yapay Zekâ Yasası'nın dört kademeli risk sınıflandırma sistemi (kabul edilemez, yüksek, sınırlı ve minimum risk), Türkiye'deki mevzuat çalışmaları için somut bir referans modeli sunmaktadır.

Yapay zekâ artık yalnızca içerik üreten sistemlerden oluşmamaktadır. 2026 itibarıyla kendi başına planlama yapabilen, çok adımlı görevleri otonom biçimde icra edebilen ve harici sistemlerle etkileşime girebilen Aracı YZ (Agentic AI) çağına girilmiştir. Bu gelişme, yönetim tartışmasını çıktı kalitesinden eylem, yetki, denetlenebilirlik ve sorumluluk eksenine taşımaktadır. Türkiye'nin mevcut yönetim çerçevesi henüz bu boyutu yeterince ele almamaktadır.

Dördüncü bölümde aktarılan bilgilerden hareketle aşağıdaki önerileri geliştirmek mümkündür:

Üretken yapay zekâ ve Aracı YZ (Agentic AI) için kamu ve özel sektöre yönelik ortak bir yönetim rehberi hazırlanmalıdır. Bu rehber kullanım senaryosu sınıflandırması, asgari kontrol listeleri, insan gözetimi modelleri ve olay bildirim mantığını içermelidir.

AB AI Act ile uyumlu, risk temelli bir ulusal yapay zekâ kanunu çıkarılmalıdır. Kabul edilemez risk kategorisini açıkça tanımlamalı, yüksek riskli sistemler için bağımsız denetim mekanizmaları öngörmeli ve etki değerlendirme yükümlülükleri getirmelidir.

Kurumlar arası yapay zekâ yönetim koordinasyon mekanizması kurulmalı, roller ve yetkiler netleştirilmelidir. Mevcut çok aktörlü yapının verimsizliğe yol açmaması için ikincil mevzuatta ayrıntılı koordinasyon hükümleri yer almalıdır.

Yapay zekâyâ özgü sektörel denetim yetki ve sorumlulukları yasal zeminde netleştirilmeli, bu kurumların yapay zekâ denetimine ilişkin teknik kapasiteleri güçlendirilmelidir.

Yapay zekâ sistemleri için zorunlu dokümantasyon, şeffaflık ve denetlenebilirlik standartları hayata geçirilmelidir.

6.6. YAPAY ZEKÂ EKONOMİSİ: FIRSATLAR, RİSKLER VE STRATEJİK KONUMLANMA

Beşinci bölüm, yapay zekânın ekonomik etkilerini, verimlilik, işgücü dönüşümü, gelir dağılımı ve stratejik bağımlılık boyutlarıyla kapsamlı biçimde incelemiştir. IMF, küresel istihdamın yaklaşık yüzde 40'ının doğrudan yapay zekâyâ maruz kaldığını hesaplamıştır. Türkiye gibi yükselen piyasa ekonomilerinde bu oran yüzde 40 civarındadır. Bu durum hem fırsatları hem de riskleri barındırmaktadır.

Ekonomik tablonun kritik bir unsuru, Brynjolfsson ve arkadaşlarının “verimlilik J-eğrisi” olarak tanımladığı olgudur: yapay zekânın ölçülebilir verimlilik artışı üretmesi, iş süreçlerinin yeniden tasarımı, veri altyapısı ve insan kaynağının olgunlaşmasını gerektirmektedir. Türkiye'deki yatırımcılar ve politika yapımcılar bu gecikmeli geri dönüş mekanizmasını göz önünde bulundurarak uzun vadeli planlama yapmalıdır.

Türkiye, yapay zekânın kritik altyapı katmanlarında (yarı iletken donanım, bulut hesaplama ve temel modeller) belirgin bir dışa bağımlılıkla karşı karşıyadır. NVIDIA'nın küresel GPU pazarının yaklaşık yüzde 92'sine hâkim olduğu ve TSMC'nin ileri düğümlü çip üretiminin yüzde 90'ından fazlasını gerçekleştirdiği küresel tablo, bu bağımlılığın boyutlarını net biçimde ortaya koymaktadır.

ABD'nin Çin'e yönelik ileri yarı iletken ihracat kısıtlamaları, teknolojik bağımlılığın somut bir yaptırım aracına dönüşebildiğini kanıtlamıştır. Ocak 2025'te açıklanan Yapay Zekâ Difüzyon Çerçevesi'nde Türkiye'nin ikinci katmana yerleştirilmesi, kısa sürede iptal edilmiş olsa bile, bu riskin tamamen teorik olmadığını göstermektedir.

6.7. GENEL DEĞERLENDİRME: TÜRKİYE'NİN TERCİH KAVŞAĞI

Raporun beş bölümünde ortaya konan bulgular, Türkiye'nin yapay zekâ dönüşümünde güçlü potansiyele sahip olmakla birlikte, bu potansiyeli realize etmek için sistemik ve koordineli bir dönüşüm gereksinimi içinde olduğunu ortaya koymaktadır.

Ülkemizin önünde temelde üç senaryo bulunmaktadır:

Birinci Senaryo (Pasif Uygulayıcı): Küresel yapay zekâ ekosistemindeki gelişmeleri takip etmek, dış kaynaklı modeller ve bulut altyapısıyla verimliliği artırmak, ancak değer zincirinin alt katmanlarında kalarak stratejik bağımlılığı derinleştirmek.

İkinci Senaryo (Bölgesel Uzman): Türkçe büyük dil modelleri, kamu hizmetleri otomasyonu, sağlık teknolojileri ve yakın coğrafya pazarlarında seçici uzmanlaşma yoluyla bölgesel bir çekim merkezi olmak.

Üçüncü Senaryo (Stratejik Orta Güç): Yapay zekâ ekosistemini ekonomik rekabetçilik, ulusal güvenlik ve stratejik otonomi eksenlerinde bütünleşik biçimde kurgulamak, altyapı, veri, model kapasitesi, yönetim ve insan kaynağı bileşenlerini eş zamanlı güçlendirerek bölgesel güven ve kapasite merkezi hâline gelmek.

Bu seçim, salt teknoloji politikasının ötesinde bir strateji meselesidir. Altyapı yatırımları, veri yönetimi, mevzuat çerçevesi, insan kaynağı dönüşümü ve uluslararası konumlanmanın birbirini tamamlayan bir bütün olarak tasarlanması gerekmektedir.

Türkiye, Ord. Prof. Dr. Cahit Arf'ın 1959'da sorduğu *Makina Düşünebilir mi?* sorusunu bugün çok daha güçlü bir teknolojik bağlamda yeniden ele alma kapasitesine sahiptir. Raporumuzun ilk bölümünde vurguladığımız üzere: **“Muhtaç olduğumuz kudret akademik ve mühendislik tarihimizde mevcuttur.”** Sıra bu motivasyonu stratejik eyleme dönüştürmeye gelmiştir.

KAYNAKÇA

- Acampora, G., Ambainis, A., Ares, N., Banchi, L., Bhardwaj, P., Binosi, D., Briggs, G. A. D., Calarco, T., Dunjko, V., Eisert, J., Ezratty, O., Erker, P., Fedele, F., Gil-Fuster, E., Gärtner, M., Granath, M., Heyl, M., Kerenidis, I., Klusch, M., Kockum, A. F., Kueng, R., Krenn, M., Lässig, J., Macaluso, A., Maniscalco, S., Marquardt, F., Michielsen, K., Muñoz-Gil, G., Müssig, D., Poulsen Nautrup, H., Neubauer, S. A., van Nieuwenburg, E., Orús, R., Schmiedmayer, J., Schmitt, M., Slusallek, P., Vicentini, F., Weitenberg, C., & Wilhelm, F. K. (2025). Quantum computing and artificial intelligence: Status and perspectives. arXiv. <https://arxiv.org/abs/2505.23860>
- Acemoglu, D. (2021). Harms of AI. No. 29247. Cambridge, MA: National Bureau of Economic Research. <https://www.nber.org/papers/w29247>
- Acemoglu, D. (2024). The Simple Macroeconomics of AI. No. 32487. Cambridge, MA: National Bureau of Economic Research. <https://doi.org/10.3386/w32487>
- Acemoglu, D. ve Johnson, S. (2023). New York: PublicAffairs. Power and Progress: Our Thousand-Year Struggle Over Technology and Prosperity.
- Acemoglu, D. ve Restrepo, P. (2019). Automation and New Tasks: How Technology Displaces and Reinstates Labor. 33(2), 3-30. <https://www.aeaweb.org/articles?id=10.1257/jep.33.2.3>
- Acemoglu, D. ve Restrepo, P. (2020). Robots and Jobs: Evidence from US Labor Markets. 128(6), 2188-2244. <https://doi.org/10.1086/705716>
- Acemoglu, D. ve Restrepo, P. (2022). Tasks, Automation, and the Rise in US Wage Inequality. 90(5), 1973-2016. <https://doi.org/10.3982/ECTA19815>
- Aghion, P., Antonin, C. ve Bunel, S. (2021). Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Aghion, P., Jones, B. F. ve Jones, C. I. (2019). Artificial Intelligence and Economic Growth. In Agrawal, Gans, Goldfarb (Eds.), 237-282. University of Chicago Press. <https://doi.org/10.7208/chicago/9780226613475.003.0009>
- Agrawal, A., Gans, J. ve Goldfarb, A. (2022). Boston: Harvard Business Review Press. <https://www.predictionmachines.ai/>
- AI Act Service Desk. (2026). Timeline for the implementation of the EU AI Act. <https://ai-act-service-desk.ec.europa.eu/en/ai-act/timeline/timeline-implementation-eu-ai-act>
- Akbank. (t.y.). Bankacılık işlemlerinde yapay zekâ desteği. <https://www.akbank.com/dijital-bankacilik/akilli-cozumler/bankacilik-islemlerinde-yapay-zekâ-destegi>

- Alexeev, Y., Farag, M. H., Patti, T. L., Wolf, M. E., Ares, N., Aspuru-Guzik, A., Benjamin, S. C., Cai, Z., Chandani, Z., Fedele, F., Harrigan, N., Kim, J.-S., Kyoseva, E., Lietz, J. G., Lubowe, T., McCaskey, A., Melko, R. G., Nakaji, K., Peruzzo, A., Stanwyck, S., Tubman, N. M., Wang, H., & Costa, T. (2024). Artificial intelligence for quantum computing. arXiv. <https://arxiv.org/abs/2411.09131>
- Alphabet Inc. (2026). Alphabet Q4 2025 Earnings Call Transcript ve 2026 Capital Expenditure Guidance. Mountain View, CA: Alphabet Investor Relations.
- Anadolu Agency. (2024). Turkish Defense Firm HAVELSAN Unveils Domestic AI Platform. <https://www.aa.com.tr/en/science-technology/turkish-defense-firm-havelsan-unveils-domestic-ai-platform/3125538>.
- Anadolu Ajansı. (2021, 20 Ağustos). Türkiye'nin yapay zekâ stratejisi belirlendi. <https://www.aa.com.tr/tr/bilim-teknoloji/turkiyenin-yapay-zekâ-stratejisi-belirlendi/2340868>
- Anadolu Ajansı. (2026, 26 Ocak). Yapay zekânın görünmeyen bedeli: Su krizi ve sürdürülebilirlik ikilemi. <https://www.aa.com.tr/tr/analiz/yapay-zekânin-gorunmeyen-bedeli-su-krizi-ve-surdurulebilirlik-ikilemi/3810818>
- Arf, C. (1959). Makine düşünebilir mi ve nasıl düşünebilir. Atatürk Üniversitesi-Üniversite Çalışmalarını Muhite Yayma ve Halk Eğitimi Yayınları Konferanslar Serisi, 1, 91-103.
- Arreche, O., Biswas, T., & Keshavarz, M. (2024). Evaluating machine learning-based intrusion detection systems with explainable AI. *Frontiers in Computer Science*, 7, 1520741.
- Ashley, K. D. (2017). Artificial intelligence and legal analytics. Cambridge University Press.
- Atilkan, Y., Kirik, B., Acici, K., Benzer, R., Ekinçi, F., Guzel, M. S., ... & Asuroglu, T. (2024). Advancing crayfish disease detection: A comparative study of deep learning and canonical machine learning techniques. *Applied Sciences*, 14(14), 6211.
- Atilkan, Y., Kirik, B., Acikbas, E. T., Ekinçi, F., Acici, K., Asuroglu, T., ... & Benzer, S. (2025). Enhancing crayfish sex identification with Kolmogorov-Arnold networks and stacked autoencoders. *Scientific Reports*. 16. 3971.
- Autor, D. (2024). Applying AI to Rebuild Middle Class Jobs. No. 32140. Cambridge, MA: National Bureau of Economic Research. <https://doi.org/10.3386/w32140>
- Autor, D. H. (2022). The Labor Market Impacts of Technological Change: From Unbridled Enthusiasm to Qualified Optimism to Vast Uncertainty. No. 30074. Cambridge, MA: National Bureau of Economic Research. <https://doi.org/10.3386/w30074>

- Autor, D. H., Levy, F. ve Murnane, R. J. (2003). The Skill Content of Recent Technological Change: An Empirical Exploration. , 118(4), 1279-1333. <https://doi.org/10.1162/003355303322552801>
- Autor, D., Chin, C., Salomons, A. ve Seegmiller, B. (2024). New Frontiers: The Origins and Content of New Work, 1940-2018. , 139(3), 1399-1465. <https://doi.org/10.1093/qje/qjae008>
- Avrupa Parlamentosu ve Konseyi. (2024). Yapay Zekâ Hakkında Uyumlaştırılmış Kurallar Getiren ve Bazı Birlik Yasama Tasarruflarını Değiştiren (AB) 2024/1689 Sayılı Tüzük [AI Act]. 1 Ağustos 2024 tarihinde yürürlüğe girmiştir.
- Babina, T., Fedyk, A., He, A. ve Hodson, J. (2024). Artificial Intelligence, Firm Growth, and Product Innovation. , 151, 103745. <https://doi.org/10.1016/j.jfineco.2023.103745>
- Baker, R. S., & Siemens, G. (2014). Educational data mining and learning analytics. In R. K. Sawyer (Ed.), The Cambridge handbook of the learning sciences (2nd ed., pp. 253–272). Cambridge University Press.
- Barocas, S., & Selbst, A. D. (2016). Big data’s disparate impact. California Law Review, 104(3), 671–732.
- BDDK ve TBB. (2024). Türk Bankacılık Sektörü Dijitalleşme Raporu. Bankacılık Düzenleme ve Denetleme Kurumu / Türkiye Bankalar Birliği.
- Bengio, Y., LeCun, Y., & Hinton, G. (2021). Deep learning for AI. Communications of the ACM, 64(7), 58–65. <https://doi.org/10.1145/3448250>
- Benzer, R., & Benzer, S. (2023). The Use of Artificial Intelligence Technologies in the Biological Sciences. In: Contemporary Studies in Biological Sciences I. Akademisyen Kitabevi
- Benzer, S., & Benzer, R. (2024). Yapay Zekâ ve Eğitimin Geleceği. İçinde Ş. Gökçearslan & H. Yıldız Durak (Ed.), Yapay zekâ ve eğitimin geleceği. Nobel Yayınevi.
- Benzer, S., Yüce, P. A., Günal, A. Ç., Benzer, R., & Gül, G. (2025). Integrated biomarker response-based investigation of oxidative stress in Hemolymph, gills, and digestive glands of freshwater mussels (Unio delicatus) exposed to Etoxazole. Pesticide Biochemistry and Physiology, 106695.
- Bernhardt, C. (2024). Herkes için kuantum bilgisayarım (Ö. S. Köken & Z. C. Seskir, Çev.). TÜBİTAK Yayınları.
- Beutel, A. L. ve Minner, S. (2012). Safety stock planning under causal demand forecasting.,140(2),637-645. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2011.04.017>

- Bloomberg. (2023). Samsung Bans Staff's AI Use After Spotting ChatGPT Data Leak. 2 May 2023. <https://www.bloomberg.com/news/articles/2023-05-02/samsung-bans-chatgpt-and-other-generative-ai-use-by-staff-after-leak>
- Borghoff, U. M., Bottoni, P., & Pareschi, R. (2025). Human-artificial interaction in the age of agentic AI: A system-theoretical approach. arXiv. <https://arxiv.org/abs/2502.14000>
- Boston Consulting Group. (2024). Where's the Value in AI? . <https://www.bcg.com/publications/2024/where-is-the-value-in-ai>
- Bostrom, N. (2014). Superintelligence: Paths, dangers, strategies. Oxford University Press.
- Boutin, C. (2025, February 3). NIST risk management framework aims to improve trustworthiness of artificial intelligence. NIST. <https://www.nist.gov/news-events/news/2023/01/nist-risk-management-framework-aims-improve-trustworthiness-artificial>
- Briggs, J. ve Kodnani, D. (2023). The Potentially Large Effects of Artificial Intelligence on Economic Growth. . Goldman Sachs. <https://www.gspublishing.com/content/research/en/reports/2023/03/27/d64e052b-0f6e-45d7-967b-d7be35fabd16.html>
- Brookings Institution. (2025). AI and the Geography of Opportunity: Winner-Take-Most Dynamics in U.S. Metro Areas. Brookings Metro Report.
- Brookings Institution. (2025). DeepSeek Shows the Limits of US Export Controls on AI Chips. <https://www.brookings.edu/articles/deepseek-shows-the-limits-of-us-export-controls-on-ai-chips/>.
- Brookings Institution. (2026). Is AI Sovereignty Possible? Balancing Autonomy and Interdependence. <https://www.brookings.edu/articles/is-ai-sovereignty-possible-balancing-autonomy-and-interdependence/>
- Brynjolfsson, E. (2022). The Turing Trap: The Promise & Peril of Human-Like Artificial Intelligence. , 151(2), 272-287. https://doi.org/10.1162/daed_a_01915
- Brynjolfsson, E. ve McAfee, A. (2014). The Second Machine Age: Work, Progress, and Prosperity in a Time of Brilliant Technologies. W.W. Norton.
- Brynjolfsson, E., & Hitzig, Z. (2025). AI's use of knowledge in society [Manuscript prepared for NBER Volume on the Economics of Transformative AI].
- Brynjolfsson, E., Li, D. ve Raymond, L. R. (2023). Generative AI at Work. No. 31161. Cambridge, MA: National Bureau of Economic Research. <https://doi.org/10.3386/w31161>

- Brynjolfsson, E., Li, D. ve Raymond, L. R. (2025). Generative AI at Work. , 140(2), 889-942.
<https://doi.org/10.1093/qje/qjae044>
- Brynjolfsson, E., Rock, D. ve Syverson, C. (2021). The Productivity J-Curve: How Intangibles Complement General Purpose Technologies. , 13(1), 333-372.
<https://doi.org/10.1257/mac.20180386>
- Buczak, A. L. ve Guven, E. (2016). A Survey of Data Mining and Machine Learning Methods for Cyber Security Intrusion Detection. , 18(2), 1153-1176.
<https://doi.org/10.1109/COMST.2015.2494502>
- Carleo, G., Cirac, I., Cranmer, K., Daudet, L., Schuld, M., Tishby, N., Vogt-Maranto, L., & Zdeborová, L. (2019). Machine learning and the physical sciences. *Reviews of Modern Physics*, 91(4), 045002.
- Carnegie Endowment for International Peace. (2025). With Its Latest Rule, the U.S. Tries to Govern AI's Global Spread. Winter-Levy, S.
- Cazzaniga, M., Jaumotte, F., Li, L., Melina, G., Panton, A. J., Pizzinelli, C., Rockall, E. ve Tavares, M. M. (2024). Gen-AI: Artificial Intelligence and the Future of Work. SDN/2024/001. Washington, DC: International Monetary Fund.
<https://www.imf.org/en/Publications/Staff-Discussion-Notes/Issues/2024/01/14/Gen-AI-Artificial-Intelligence-and-the-Future-of-Work-542379>
- Chatham House. (2026). How Middle Powers Can Weather US and Chinese AI Dominance.
<https://www.chathamhouse.org/2026/02/how-middle-powers-can-weather-us-and-chinese-ai-dominance>
- Chen, E. K., Belkin, M., Bergen, L., & Danks, D. (2026). Does AI already have human-level intelligence? The evidence is clear. *Nature*, 650, 36-40. doi:
<https://doi.org/10.1038/d41586-026-00285-6>
- Chen, S. Y.-C., Liu, C.-Y., Chen, K.-C., Huang, W.-J., Chang, Y.-J. ve Huang, W.-H. (2025). Differentiable quantum architecture search in quantum-enhanced neural network parameter generation. arXiv. <https://arxiv.org/abs/2505.09653>
- Chiu, T. K., Xia, Q., Zhou, X., Chai, C. S., & Cheng, M. (2023). Systematic literature review on opportunities, challenges, and future research recommendations of artificial intelligence in education. *Computers and Education: Artificial Intelligence*, 4, 100118.
- Chui, M., Hazan, E., Roberts, R., Singla, A., Smaje, K., Sukharevsky, A., Yee, L., & Zimmel, R. (2023, June 14). The economic potential of generative AI: The next productivity

frontier. McKinsey & Company. <https://www.mckinsey.com/capabilities/tech-and-ai/our-insights/the-economic-potential-of-generative-ai-the-next-productivity-frontier>

Ciliberto, C., Herbster, M., Ialongo, A. D., Pontil, M., Rocchetto, A., Severini, S. ve Wossnig, L. (2018). Quantum machine learning: A classical perspective. Proceedings of the Royal Society A, 474, 20170551.

Clearnetwork. (2025). 5 top cybersecurity trends 2025: AI and automation.

Consilium. (2022, May 16). Council approves Data Governance Act. <https://www.consilium.europa.eu/en/press/press-releases/2022/05/16/le-conseil-approuve-l-acte-sur-la-gouvernance-des-donnees/>

Consilium. (2025, January 21). European Health Data Space: Council adopts new regulation improving cross-border access to EU health data. <https://www.consilium.europa.eu/en/press/press-releases/2025/01/21/european-health-data-space-council-adopts-new-regulation-improving-cross-border-access-to-eu-health-data/>

CottGroup. (2024, 22 Ağustos). Ulusal yapay zekâ stratejisi 2024–2025 eylem planı yayımlandı. <https://www.cottgroup.com/tr/blog/teknoloji/item/ulusal-yapay-zekâ-stratejisi-2024-2025-eylem-planı>

Council of Europe. (2026, January 29). The framework convention on artificial intelligence. <https://www.coe.int/en/web/artificial-intelligence/the-framework-convention-on-artificial-intelligence>

Council on Foreign Relations. (2025). The CHIPS Act: How U.S. Microchip Factories Could Reshape the Economy. <https://www.cfr.org/in-brief/chips-act-how-us-microchip-factories-could-reshape-economy>.

Crunchbase. (2022). Insider Raises \$121M Series D, Reaches Unicorn Status. <https://www.crunchbase.com/organization/insider>.

CSIS. (2022). Understanding the Biden Administration's Updated Export Controls. <https://www.csis.org/analysis/understanding-biden-administrations-updated-export-controls>.

CSIS. (2023). Updated October 7 Semiconductor Export Controls. <https://www.csis.org/analysis/updated-october-7-semiconductor-export-controls>.

CSIS. (2025). From Divide to Delivery: How AI Can Serve the Global South.

- Cumhurbaşkanlığı Dijital Dönüşüm Ofisi. (2021). Ulusal Yapay Zekâ Stratejisi 2021-2025. Ankara: T.C. Cumhurbaşkanlığı. <https://cbddo.gov.tr/uyzs>
- Cumhurbaşkanlığı Dijital Dönüşüm Ofisi. (2024). Ulusal Yapay Zekâ Stratejisi 2024-2025 Eylem Planı. Ankara: T.C. Cumhurbaşkanlığı.
- Çakmak Hukuk Bürosu. (2024). Türkiye'de Yapay Zekâ Alanındaki İlk Kanun Teklifi Meclise Sunuldu. <https://cakmak.av.tr>
- Çin Bilim ve Teknoloji Geliştirme Akademisi. (2024). China AI Development Report 2024.
- Daily Sabah. (2025). Türkiye Harnesses AI to Power Defense Industry. <https://www.dailysabah.com/business/tech/turkiye-harnesses-ai-to-power-defense-industry>.
- Daily Sabah. (2025). Türkiye's 2026 AI Strategy and the Logic of Middle Power Autonomy. <https://www.dailysabah.com/opinion/op-ed/turkiyes-2026-ai-strategy-and-the-logic-of-middle-power-autonomy>.
- Daily Sabah. (2025). Türkiye Harnesses AI to Power Defense Industry. <https://www.dailysabah.com/business/tech/turkiye-harnesses-ai-to-power-defense-industry>.
- Dang, Y., Lin, Q., & Huang, P. (2019). AIOps: Real-world challenges and research innovations. Proceedings of the 41st International Conference on Software Engineering: Companion Proceedings, 4–5.
- Das, R., Morris, T. H., & Bhatt, S. (2021). A comprehensive security solution for network intrusion detection using machine learning. Journal of Network and Computer Applications, 178, 102983.
- Data Center Dynamics. (2024). Microsoft Suspends Access to Cloud Services for Russian Companies. <https://www.datacenterdynamics.com/en/news/microsoft-suspends-access-to-cloud-services-for-russian-companies/>.
- Deloitte Insights. (2025b). Industry 4.0 and predictive technologies for asset maintenance. <https://www.deloitte.com/us/en/insights/industry/manufacturing-industrial-products/industry-4-0/using-predictive-technologies-for-asset-maintenance.html>
- Deloitte. (2024). Dijital Tüketici Trendleri 2024 – Türkiye Raporu.
- Deloitte. (2024). The Value of Predictive Maintenance / Industry 4.0 ve tahmine dayalı bakım analizleri. <https://www.deloitte.com/global/en/Industries/consumer/analysis/using-ai-in-predictive-maintenance-to-forecast-the-future.html>

- Deloitte. (2025a). 8 Trends Shaping the Future of Predictive Maintenance / Sensör tabanlı tahmine dayalı bakım çalışması.
<https://www.deloitte.com/global/en/Industries/consumer/analysis/using-ai-in-predictive-maintenance-to-forecast-the-future.html>
- Deloitte. (2025c). 2026 Manufacturing Industry Outlook (AI Magazine'de aktarıldığı şekliyle).
<https://aimagazine.com/news/ai-to-redefine-manufacturing-competitiveness-in-2026>
- Deloitte. (2025d). Deciphering agentic AI in manufacturing.
<https://www.deloitte.com/us/en/services/consulting/blogs/business-operations-room/agentic-ai-in-manufacturing.html>
- Deloitte. (2026). Physical AI: The moment of acceleration. <https://www.prnewswire.com/apac/news-releases/new-deloitte-paper-physical-ai-set-to-transform-industrial-operations-powering-the-next-wave-of-smart-manufacturing-302715778.html>
- Dereli, T., & Verçin, A. (2009). Kuantum mekaniği: Temel kavramlar ve uygulamaları. Türkiye Bilimler Akademisi.
- DonanimHaber. (2024). GM zarar eden Cruise robotaksi işinden çıkıyor.
<https://www.donanimhaber.com/gm-zarar-eden-cruise-robotaksi-isinden-cikiyor--185197>
- Dunjko, V., & Briegel, H. J. (2018). Machine learning and artificial intelligence in the quantum domain: A review of recent progress. Reports on Progress in Physics, 81(7), 074001.
- Dünya Gümrük Örgütü (WCO). (2024). Study Report on the Use of Artificial Intelligence in Customs. Brüksel: World Customs Organization.
<https://www.wcoomd.org/en/topics/facilitation/resources/permanent-technical-committee/ai-study-report.aspx>
- Eloundou, T., Manning, S., Mishkin, P. ve Rock, D. (2023). GPTs are GPTs: An Early Look at the Labor Market Impact Potential of Large Language Models.<https://doi.org/10.48550/arXiv.2303.10130>
- Esteva, A., Kuprel, B., Novoa, R. A., Ko, J., Swetter, S. M., Blau, H. M., & Thrun, S. (2017). Dermatologist-level classification of skin cancer with deep neural networks. Nature, 542(7639), 115–118.
- European Commission. (2021). Proposal for a regulation laying down harmonised rules on artificial intelligence (Artificial Intelligence Act).

- European Commission. (2023). European Chips Act. <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/policies/european-chips-act>
- European Commission. (2024). AI Exposure and Regional Disparities in the European Union. Joint Research Centre Technical Report.
- European Commission. (2024). AI Innovation Package to Support Artificial Intelligence Startups and SMEs. Brussels: European Commission. <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/policies/ai-innovation-package>
- European Commission. (2024). AI Act enters into force. https://commission.europa.eu/news-and-media/news/ai-act-enters-force-2024-08-01_en
- European Commission. (2025a). The General-Purpose AI Code of Practice. <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/policies/contents-code-gpai>
- European Commission. (2025b). Guidelines for providers of general-purpose AI models. <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/policies/guidelines-gpai-providers>
- European Commission. (2026a). First meeting of the Signatory Taskforce of the General-Purpose AI Code of Practice. <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/news/first-meeting-signatory-taskforce-general-purpose-ai-code-practice>
- European Commission. (2026b). Navigating the AI Act. <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/faqs/navigating-ai-act>
- European Commission. (t.y.). Code of practice on marking and labelling of AI-generated content. <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/policies/code-practice-ai-generated-content>
- European Commission. (t.y.). Common European data spaces. <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/policies/data-spaces>
- European Commission. (t.y.). European Data Governance Act. <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/policies/data-governance-act>
- European Data Protection Board. (2024). Opinion 28/2024 on certain data protection aspects related to the processing of personal data in the context of AI models. https://www.edpb.europa.eu/system/files/2024-12/edpb_opinion_202428_ai-models_en.pdf
- European Data Protection Board. (2025). AI Privacy Risks & Mitigations: Large Language Models (LLMs). https://www.edpb.europa.eu/our-work-tools/our-documents/support-pool-experts-projects/ai-privacy-risks-mitigations-large_en

- European Parliament and Council of the European Union. (2024). Regulation (EU) 2024/1689 Laying Down Harmonised Rules on Artificial Intelligence (AI Act). , L Series. <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2024/1689>
- European Parliament. (2025). European Technological Sovereignty and Digital Infrastructure. https://www.europarl.europa.eu/doceo/document/A-10-2025-0107_EN.html.
- European Union Intellectual Property Office. (2025). Development of generative artificial intelligence from a copyright perspective. <https://www.euipo.europa.eu/en/publications/genai-from-a-copyright-perspective-2025>
- European Union. (2024). Regulation (EU) 2024/1689 of the European Parliament and of the Council of 13 June 2024 laying down harmonised rules on artificial intelligence. Official Journal of the European Union. <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2024/1689/oj/eng>
- Fan, A., Gokkaya, B., Harman, M., Lyubarskiy, M., Sengupta, S., Yoo, S., & Zhang, J. M. (2023). Large language models for software engineering: Survey and open problems. Proceedings of the IEEE/ACM International Conference on Software Engineering: Future of Software Engineering, 31–53.
- Feng, T., Wang, Y., Ma, Y., & Gu, S. (2025). Embodied AI: From LLMs to world models. <https://arxiv.org/abs/2509.20021>
- Filippucci, F., Gal, P., Criscuolo, C. ve Nicolle, T. (2024). The Impact of Artificial Intelligence on Productivity, Distribution, and Growth: Key Mechanisms, Initial Evidence, and Policy Challenges. No. 15. Paris: OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/8e1db4a8-en>
- Floridi, L., Cows, J., Beltrametti, M., Chatila, R., Chazerand, P., Dignum, V., ... Vayena, E. (2018). AI4People—An ethical framework for a good AI society. Minds and Machines, 28(4), 689–707.
- Forrester Research. (2024). The state of security operations 2024. Forrester.
- Fortune. (2026, 26 Şubat). Citadel Demolishes Viral AI Doomsday Essay. . <https://fortune.com/2026/02/26/citadel-demolishes-viral-doomsday-ai-essay-citrini-macro-fundamentals-engels-pause/>
- FP Analytics / Foreign Policy. (2025). Artificial Intelligence and the Critical Minerals Crunch. <https://fpanalytics.foreignpolicy.com/2025/07/18/artificial-intelligence-critical-minerals-supply-chains/>.
- Frey, C. B. ve Osborne, M. A. (2017). The Future of Employment: How Susceptible Are Jobs to Computerisation? , 114, 254-280. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2016.08.019>

- Garabaghi, F. H., Benzer, R., Benzer, S., & Günal, A. Ç. (2022). Effect of polynomial, radial basis, and Pearson VII function kernels in support vector machine algorithm for classification of crayfish. *Ecological Informatics*, 72, 101911.
- Garanti BBVA. (t.y.). Finans sektörünün yeni kahramanı: Yapay zekâ. <https://www.garantibbva.com.tr/blog/yapay-zekâ>
- García Pineda, V., Valencia-Arias, A., López Giraldo, F. E., & Zapata-Ochoa, E. A. (2026). Integrating artificial intelligence and quantum computing: A systematic literature review of features and applications. *International Journal of Cognitive Computing in Engineering*, 7, 26–39.
- Gartner. (2024a, 21 Ağustos). 2024 Hype Cycle for Emerging Technologies. <https://www.gartner.com/en/newsroom/press-releases/2024-08-21-gartner-2024-hype-cycle-for-emerging-technologies-highlights-developer-productivity-total-experience-ai-and-security>
- Gartner. (2024b, 30 Ekim). Survey Shows AI and Generative AI Top Digital Supply Chain Investment Priorities. <https://www.gartner.com/en/newsroom/press-releases/2024-10-30-gartner-survey-shows-ai-and-generative-ai-top-digital-supply-chain-investment-priorities>
- Gartner. (2026). Manufacturing Predicts 2026: Digital Twins, AI Agents, and the Race to Autonomous Operations. <https://www.gartner.com/en/webinar/797437/1795012-manufacturing-predicts-2026-digital-twins-ai-agents-and-the-race-to-autonomous-operations>
- Gebhart, V., Santagati, R., Gentile, A. A., Gauger, E. M., Craig, D., Ares, N., Banchi, L., Marquardt, F., Pezzè, L., & Bonato, C. (2023). Learning quantum systems. *Nature Reviews Physics*, 5, 141–156.
- GitClear. (2024). Coding on Copilot: 2023 Data Suggests Downward Pressure on Code Quality. GitClear White Paper. https://www.gitclear.com/coding_on_copilot_data_shows_ais_downward_pressure_on_code_quality
- Global Legal Insights. (t.y.). AI, machine learning and big data laws and regulations: Turkey. <https://www.globallegalinsights.com/practice-areas/ai-machine-learning-and-big-data-laws-and-regulations/turkey/>
- Global Legal Post. (t.y.). Artificial intelligence law guide: Turkey. <https://www.globallegalpost.com/lawoverborders/artificial-intelligence-law-guide-1549732605/turkey-1214342480>

- Goldman Sachs. (2024). AI, Data Centers and the Coming US Power Demand Surge. Goldman Sachs Equity Research. <https://www.goldmansachs.com/insights/articles/AI-poised-to-drive-160-increase-in-power-demand>
- Goldman Sachs. (2024). Gen AI: Too Much Spend, Too Little Benefit? , Issue 129, 25 Haziran 2024.
- Goldman Sachs. (2025). Hyperscaler Capital Expenditure Tracker.
- Graesser, A. C., Lu, S., Jackson, G. T., Mitchell, H. H., Ventura, M., Olney, A., & Louwerse, M. M. (2004). AutoTutor: A tutor with dialogue in natural language. Behavior Research Methods, Instruments, & Computers, 36(2), 180–192.
- Grand View Research. (2025a). Predictive Maintenance Market Size | Industry Report, 2033. <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/predictive-maintenance-market>
- Grand View Research. (2025b). Digital Twin Market Size And Share | Industry Report, 2033. <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/digital-twin-market>
- GSG Hukuk. (2024). Yapay Zekâ Kanun Teklifi. <https://www.gsghukuk.com>
- Gün + Partners. (2024). Türkiye'de Yapay Zekânın Düzenlenmesine İlişkin Gelişmeler. <https://gun.av.tr>
- Harvard Kennedy School, Belfer Center. (2023). Risk, Leverage, Autonomy: Turkey's Options in a U.S.-China World. <https://www.belfercenter.org/research-analysis/risk-leverage-autonomy-turkeys-options-us-china-world>
- Heffernan, N. T., & Heffernan, C. L. (2014). The ASSISTments ecosystem: Building a platform that brings scientists and teachers together for minimally invasive research on human learning and teaching. International Journal of Artificial Intelligence in Education, 24, 470–497.
- Holmes, W., Bialik, M., & Fadel, C. (2019). Artificial intelligence in education: Promises and implications for teaching and learning. Center for Curriculum Redesign.
- Holmes, W., Bidarra, J., & Køhler Simonsen, H. (2021). Artificial intelligence in higher education: A roadmap and future perspectives. UCL Institute of Education.
- Hozouri, B., Asgharian, H., & Khayami, R. (2025). A comprehensive survey on intrusion detection systems with advances in machine learning, deep learning and emerging cybersecurity challenges. Discover Artificial Intelligence, 5, 314.
- Hwang, G. J. (2014). Definition, framework and research issues of smart learning environments—A context-aware ubiquitous learning perspective. Smart Learning Environments, 1(1), 1–14.

- Hwang, G. J., Xie, H., Wah, B. W., & Gašević, D. (2020). Vision, challenges, roles and research issues of artificial intelligence in education. *Computers and Education: Artificial Intelligence*, 1, 100001.
- IBM. (2023). Cost of a data breach report 2023. IBM Security.
- IBM. (2025). Beyond shift left: How "shifting everywhere" with AI agents can improve DevOps processes. IBM Think.
- IDC. (2024a, 30 Ekim). FutureScape 2025: Worldwide IT Industry Predictions. <https://my.idc.com/getdoc.jsp?containerId=prUS52691924>
- IDC. (2024b). A Deep Dive Into IDC's Global AI and Generative AI Spending. <https://www.idc.com/resource-center/blog/a-deep-dive-into-idcs-global-ai-and-generative-ai-spending/>
- IDC. (2024c). Worldwide AI and Generative AI Spending – Industry Outlook. <https://www.idc.com/resource-center/blog/idcs-worldwide-ai-and-generative-ai-spending-industry-outlook/>
- IDC. (2024d). Worldwide Digital Transformation Spending Guide. <https://www.hpcwire.com/bigdatawire/this-just-in/idc-worldwide-spending-on-digital-transformation-is-forecast-to-reach-almost-4t-by-2027/>
- IDC. (2025). Worldwide Quarterly AI Infrastructure Tracker / AI altyapı pazar projeksiyonu. <https://my.idc.com/getdoc.jsp?containerId=prUS53894425>
- IEA. (t.y.). International Energy Agency. Energy demand from AI – Energy and AI – Analysis. <https://www.iea.org/reports/energy-and-ai/energy-demand-from-ai>
- IEA. (2024). International Energy Agency. Electricity 2024: Analysis and Forecast to 2026. Paris: IEA. <https://www.iea.org/reports/electricity-2024>
- IMF. (2024). Gen-AI: Artificial Intelligence and the Future of Work. IMF Staff Discussion Note SDN2024/001.
- Infocomm Media Development Authority. (2026). Model AI Governance Framework for Agentic AI. <https://www.imda.gov.sg/-/media/imda/files/about/emerging-tech-and-research/artificial-intelligence/mgf-for-agentic-ai.pdf>
- International Organization for Standardization. (2023). ISO/IEC 23894:2023 Information technology—Artificial intelligence—Guidance on risk management. <https://www.iso.org/standard/77304.html>

- International Organization for Standardization. (2023). ISO/IEC 42001:2023 Information technology—Artificial intelligence—Management system. <https://www.iso.org/standard/42001>
- International Organization for Standardization. (2025). ISO/IEC 42005:2025 Artificial intelligence—AI system impact assessment. <https://www.iso.org/standard/42005>
- Introl. (2025). France's AI Sovereignty Push: Infrastructure Behind the Ambition. <https://introl.com/blog/france-ai-sovereignty-mistral-sovereign-cloud-2025>.
- İBB. (2024). İstanbul Akıllı Şehir Stratejisi ve Uygulama Planı. İstanbul: İstanbul Büyükşehir Belediyesi.
- İzmir Demokrasi Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi. (2025). Kamu Yönetiminde Yapay Zekâ Uygulamalarının Türkiye Örneğinde Analizi: Dijital Dönüşüm, Stratejik Uygulamalar ve Çok Boyutlu Etkiler. Dergipark. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/idosos>
- Jani, J., Muszali, R., Nathan, S., & Abdullah, M. S. (2018). Blended learning approach using frog VLE platform towards students' achievement in teaching games for understanding. *Journal of Fundamental and Applied Sciences*, 10(5S), 1130–1141.
- Jumper, J., Evans, R., Pritzel, A., Green, T., Figurnov, M., Ronneberger, O., ... Hassabis, D. (2021). Highly accurate protein structure prediction with AlphaFold. *Nature*, 596, 583–589.
- Kapadokya Üniversitesi Yapay Zekâ Merkezi. (2025). Ulusal yapay zekâ stratejisi 2021–2025. <https://ai.kapadokya.edu.tr/yzbelge/ulusal-yapay-zekâ-stratejisi-2021-2025/>
- Katz, D. M., Bommarito, M. J., & Blackman, J. (2017). A general approach for predicting the behavior of the Supreme Court of the United States. *PLOS ONE*, 12(4), e0174698.
- Kızrak, M. A. (2024, Mayıs). Kamuda veriye dayalı yenilikçiliği destekleyecek bir platform olarak kamu veri alanı. *Anahtar Dergisi*, 17–19. <https://edergi.sanayi.gov.tr/Arsiv/Detay/aa75f8ec-c07c-4556-405a-08dc7370e608>
- Kişisel Verileri Koruma Kurumu (KVKK). (t.y.). <https://www.kvkk.gov.tr/>
- Kira Systems. (2025). Contract analysis software.
- Klusck, M., Lässig, J., Müssig, D., Macaluso, A. ve Wilhelm, F. K. (2024). Quantum artificial intelligence: A brief survey. *Künstliche Intelligenz*, 38, 257–276.
- Korinek, A. ve Stiglitz, J. E. (2019). Artificial Intelligence and Its Implications for Income Distribution and Unemployment. In Agrawal, A., Gans, J. ve Goldfarb, A. (Eds.), , 349-390. Chicago: University of Chicago Press. <https://doi.org/10.7208/chicago/9780226613475.003.0014>

- Korinek, A. ve Stiglitz, J. E. (2021). Artificial Intelligence, Globalization, and Strategies for Economic Development. No. 28453. Cambridge, MA: National Bureau of Economic Research. <https://doi.org/10.3386/w28453>
- Korinek, A. ve Stiglitz, J. E. (2023). Steering Technological Progress. No. 31843. Cambridge, MA: National Bureau of Economic Research. <https://doi.org/10.3386/w31843>
- Krenn, M., Landgraf, J., Foesel, T., & Marquardt, F. (2023). Artificial intelligence and machine learning for quantum technologies. *Physical Review A*, 107(1), 010101.
- Krenn, M., Landgraf, J., Foesel, T., & Marquardt, F. (2023). Artificial intelligence and machine learning for quantum technologies. *Physical Review A*, 107(1), 010101.
- Kumru, E., Ekin, F., Aydoğan, A. et al. Explainable convolutional neural network architectures for high-performance taxonomic classification of gasteroid macrofungi. *Scientific Reports*. 15, 40196 (2025).
- Lehdonvirta, V., Wu, B., Hawkins, Z. J., Caira, C., & Russo, L. (2025, October 27). Measuring domestic public cloud compute availability for artificial intelligence. *OECD Artificial Intelligence Papers*. <https://doi.org/10.1787/8602a322-en>
- Li, Z., Fang, W., & Zhang, W. (2024). Toward deep learning based intrusion detection system: A survey. *Proceedings of the 6th International Conference on Big Data Engineering*, 1–8.
- Litjens, G., Kooi, T., Bejnordi, B. E., Setio, A. A. A., Ciompi, F., Ghafoorian, M., ... Sánchez, C. I. (2017). A survey on deep learning in medical image analysis. *Medical Image Analysis*, 42, 60–88.
- Liu, C.-Y., Kuo, E.-J., Lin, C.-H. A., Young, J. G., Chang, Y.-J., Hsieh, M.-H. ve Goan, H.-S. (2024). Quantum-train: Rethinking hybrid quantum-classical machine learning in the model compression perspective. *arXiv*. <https://arxiv.org/abs/2405.11304>
- Long, D., & Magerko, B. (2020). What is AI literacy? Competencies and design considerations. In *Proceedings of the 2020 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems* (pp. 1–16).
- Luminance. (2025). Legal AI platform.
- MacroPolo. (2024). The Global AI Talent Tracker 2.0. Chicago: Paulson Institute. <https://macropolo.org/digital-projects/the-global-ai-talent-tracker/>
- MacRumors. (2025, February 18). Humane AI Pin discontinued after HP acquisition. <https://www.macrumors.com/2025/02/18/humane-ai-pin-discontinued/>

- MANAS Sosyal Araştırmalar Dergisi. (2025). Yapay Zekâ Etik İlkeleri: Türkiye Bağlamında Bir Değerlendirme. Cilt: 14, Ek Sayı. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/mjss>
- MarketsandMarkets. (2025a). Artificial Intelligence in Manufacturing Market Size, Share, Trends and Growth Drivers 2032. <https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/artificial-intelligence-manufacturing-market-72679105.html>
- MarketsandMarkets. (2025b). Digital Twin Market report 2024-2030. <https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/digital-twin-market-225269522.html>
- McKinsey & Company. (2023). The Economic Potential of Generative AI: The Next Productivity Frontier.
- McKinsey & Company. (2024, 30 Mayıs). The state of AI in early 2024: Gen AI adoption spikes and starts to generate value. <https://www.mckinsey.com/capabilities/quantumblack/our-insights/the-state-of-ai-2024>
- McKinsey & Company. (2025). Sovereign AI Ecosystems for Strategic Resilience and Economic Impact. <https://www.mckinsey.com/industries/technology-media-and-telecommunications/our-insights/sovereign-ai-building-ecosystems-for-strategic-resilience-and-impact>.
- McKinsey & Company. (2025). The State of AI: Global Survey 2025. <https://www.mckinsey.com/capabilities/quantumblack/our-insights/the-state-of-ai>
- McKinsey Global Institute. (2023). The Economic Potential of Generative AI: The Next Productivity Frontier. McKinsey & Company.
- McKinsey Global Institute. (2025). Superagency in the Workplace: Empowering People to Unlock AI's Full Potential. McKinsey & Company. <https://www.mckinsey.com/mgi/our-research/superagency-in-the-workplace>
- Meta AI. (2024). Llama 3: Open Foundation and Fine-Tuned Chat Models. <https://ai.meta.com/llama/>.
- MIT Task Force on the Work of the Future. (2020). . Cambridge, MA: MIT Press. <https://workofthefuture.mit.edu/>
- Millî Eğitim Bakanlığı. (2024). Eğitimde Yapay Zekâ Uygulamaları Uluslararası Forumu Sonuç Raporu. Ankara: MEB.
- Millî Eğitim Bakanlığı. (2025). Eğitimde Yapay Zekâ Politika Belgesi ve Eylem Planı 2025-2029. Ankara: MEB Yeğitek. <https://yegitek.meb.gov.tr>

- Milliyet. (2026, Ocak 27). Yapay zekânın bedeli: Veri merkezleri İstanbul'un 4-5 katı su tüketiyor. <https://www.milliyet.com.tr/teknoloji/yapay-zekânin-bedeli-veri-merkezleri-istanbulun-4-5-kati-su-tuketiyor-7528162>
- Mitchell, M. (2025). Artificial intelligence: A guide for thinking humans (paperback ed.). Farrar, Straus and Giroux.
- Mittelstadt, B. D. (2019). İlkeler tek başına etik yapay zekâyı garanti edemez. *Nature Machine Intelligence*, 1(11), 501-507. <https://doi.org/10.1038/s42256-019-0114-4>
- Mittelstadt, B. D., Allo, P., Taddeo, M., Wachter, S., & Floridi, L. (2016). The ethics of algorithms: Mapping the debate. *Big Data & Society*, 3(2), 1-21. <https://doi.org/10.1177/2053951716679679>
- Moll, B., Rachel, L. ve Restrepo, P. (2022). Uneven Growth: Automation's Impact on Income and Wealth Inequality. , 90(6), 2645-2683. <https://doi.org/10.3982/ECTA19417>
- Morgan Stanley. (t.y.). Key milestone in innovation journey with OpenAI. <https://www.morganstanley.com/press-releases/key-milestone-in-innovation-journey-with-openai>
- Muneer, A., Taib, S. M., Fati, S. M., & Balogun, A. O. (2024). A critical review of artificial intelligence based approaches in intrusion detection: A comprehensive analysis. *Journal of Engineering*, 2024, 3909173.
- National Institute of Standards and Technology. (2024). Artificial intelligence risk management framework: Generative artificial intelligence profile. <https://doi.org/10.6028/NIST.AI.600-1>
- Nelson, H. (2023). Essential math for AI: Next-level mathematics for efficient and successful AI systems. O'Reilly Media, Inc.
- Nemko Digital. (t.y.-a). NIST risk management framework. <https://digital.nemko.com/regulations/nist-rmf>
- Nemko Digital. (t.y.-b). AI regulation in Turkey. <https://digital.nemko.com/regulations/ai-regulation-in-turkey>
- Ngai, E. W. T., Hu, Y., Wong, Y. H., Chen, Y. ve Sun, X. (2011). The application of data mining techniques in financial fraud detection: A classification framework and an academic review of literature. , 50(3), 559-569. <https://doi.org/10.1016/j.dss.2010.08.006>
- NIST. (2026). AI risk management framework. <https://www.nist.gov/itl/ai-risk-management-framework>

- Nilsson, N. J. (2009). The quest for artificial intelligence. Cambridge University Press.
- NVIDIA. (2025). What Is Embodied AI? NVIDIA Glossary. <https://www.nvidia.com/en-us/glossary/embodied-ai/>
- OECD AI Policy Observatory. (2024). Country Policy Profiles: Artificial Intelligence. Paris: OECD Publishing. <https://oecd.ai/en/>
- OECD. (2023). OECD Employment Outlook 2023: Artificial Intelligence and the Labour Market. Paris: OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/08785bba-en>
- OECD. (2024). AI in the Public Sector: Progress, Gaps and the Path Forward. OECD Digital Government Studies. Paris: OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/a805b67a-en>
- OECD. (2024). OECD Employment Outlook 2024: AI and the Labour Market. Paris: OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/c19cd55a-en>
- OECD. (2024). Tax Administration 2024: Comparative Information on OECD and Other Advanced and Emerging Economies. Paris: OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/5765dc3e-en>
- OECD. (2024, July 22). OECD launches pilot to monitor application of G7 Code of Conduct on advanced AI development. <https://www.oecd.org/en/about/news/press-releases/2024/07/oecd-launches-pilot-to-monitor-application-of-g7-code-of-conduct-on-advanced-ai-development.html>
- OECD. (2024, June 13). Governing with artificial intelligence. OECD Artificial Intelligence Papers. <https://doi.org/10.1787/26324bc2-en>
- OECD. (2024, June 26). AI, data governance and privacy. OECD Artificial Intelligence Papers. <https://doi.org/10.1787/2476b1a4-en>
- OECD. (t.y.). AI principles overview. <https://oecd.ai/en/ai-principles/>
- OECD.AI. (t.y.). Updated OECD definition of an AI system. <https://oecd.ai/en/dashboards/policy-initiatives/updated-oecd-definition-of-an-ai-system-4108>
- Oflazer, K. ve Saraçlar, M. (2018). Cham: Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-90165-7>.
- OpenAI. (2024). Supported Countries and Territories. <https://developers.openai.com/api/docs/supported-countries>.
- Organisation for Economic Co-operation and Development. (2024). AI principles. <https://www.oecd.org/en/topics/ai-principles.html>

- Ouyang, F., & Jiao, P. (2021). Artificial intelligence in education: The three paradigms. *Computers and Education: Artificial Intelligence*, 2, 100020.
- OWASP Foundation. (2025). OWASP Top 10 for Large Language Model Applications. <https://owasp.org/www-project-top-10-for-large-language-model-applications/>
- OWASP Foundation. (t.y.). LLM applications cybersecurity and governance checklist. <https://genai.owasp.org/resource/llm-applications-cybersecurity-and-governance-checklist-english/>
- Oxford Insights. (2026). Government AI readiness index 2025. <https://oxfordinsights.com/ai-readiness/government-ai-readiness-index-2025/>
- Ören, T., Pekel, A., Özer, K., Tabak, İ. İ., Görgülü, E. Y., & Çulha, D. (2025, 30 Mart). TBD bilişim terimleri sözlüğü (İngilizce–Türkçe). Bilişimde Özenli Türkçe Çalışma Topluluğu. Bilgiği: M. Pektaş. <https://bilisimde.ozenliturkce.org.tr/onerilen-tum-terimler-ingilizce-turkce/>
- Pekin Hukuk Bürosu. (2024). Yapay Zekâ ile İlgili 2024 Yılında Yaşanan Hukuksal Gelişmeler. <https://pekin.com.tr>
- PwC. (2017). Sizing the Prize: PwC's Global Artificial Intelligence Study.
- Quattrocio, W., Capraro, V., & Marcus, G. (2026). Statistical approximation is not general intelligence. *Nature*, 792. doi: <https://doi.org/10.1038/d41586-026-00495-y>
- Rahman, S. S., Islam, M. A., Alam, M. M., Zeba, M., Rahman, M. A., Chowa, S. S., Raiaan, M. A. K., & Azam, S. (2026). Hallucination to truth: A review of fact-checking and factuality evaluation in large language models. *Artificial Intelligence Review*, 59, Article 70. <https://doi.org/10.1007/s10462-025-11454-w>
- RAND Corporation. (2024). Supply Chain Interdependence and Geopolitical Vulnerability: The Case of Taiwan and High-End Semiconductors.
- Regulations AI. (2024). NAIS2 artificial intelligence regulation framework. <https://regulations.ai/regulations/RAI-TR-NA-NAIS2XX-2024>
- Regulations AI. (2025). AI cloud and AI lifecycle risk assessment framework. <https://regulations.ai/regulations/RAI-TR-NA-ACLRAXX-2025>
- Regulations AI. (t.y.). Turkey summary. <https://regulations.ai/regulations/turkey-summary>
- Republic of Korea. (2024). Framework Act on Artificial Intelligence. National Assembly of the Republic of Korea.

- Reserve Bank of India. (2024). India's Services Exports: Trends and Outlook. RBI Bulletin, Aralık 2024.
- RUSI. (2024). Turkey's Strategic Balancing Efforts Amid the US-China AI Confrontation. <https://www.rusi.org/explore-our-research/publications/commentary/turkeys-strategic-balancing-efforts-amid-us-china-ai-confrontation>
- SAHA İstanbul. (t.y.). Savunma teknolojilerinde çift kullanım. <https://www.sahaistanbul.org.tr/saha-blog/savunma-teknolojilerinde-cift-kullanım-1167>
- Saka, Y. (2025). Türkiye'de Eğitimde Yapay Zekâ Çalışmalarının Sistemik Derlemesi [Yüksek Lisans Tezi]. Bursa Uludağ Üniversitesi. <https://acikerisim.uludag.edu.tr>
- SambaNova Systems. (t.y.). RDU architecture [White paper]. <https://sambanova.ai/resources/tag/white-paper/rdu-architecture>
- Seven, E. K. (2025). Yargı Kararlarında Büyük Dil Modellerinin Başarım Değerlendirmesi: Türk Bilişim Hukuku Örneği (Yüksek Lisans Tezi). Gazi Üniversitesi, Bilişim Enstitüsü.
- Shukla, A. K. (2025). Large language model evaluation in 2025: Smarter metrics that separate hype from trust. TechRxiv. <https://www.techrxiv.org/doi/full/10.36227/techrxiv.175021940.06537275/v1>
- Softjournal. (2026). How AI is transforming DevOps in 2026.
- South China Morning Post. (2025). Tech War: Huawei's AI Chip Road Map Bolsters China's Tech Self-Sufficiency Efforts. <https://www.scmp.com/tech/big-tech/article/3326210/tech-war-huaweis-ai-chip-road-map-bolsters-chinas-tech-self-sufficiency-efforts>.
- Springer. (2024). Enabling Technology of Future Warfare: Turkey's Approach to Defense AI. In (ss. 215-238). Cham: Springer Nature. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-031-58649-1_15
- Stanford University Human-Centered Artificial Intelligence (HAI). (2025). Artificial Intelligence Index Report 2025. Stanford, CA: Stanford HAI. <https://aiindex.stanford.edu/report/>
- Stanford University Human-Centered Artificial Intelligence (HAI). (2024). Artificial Intelligence Index Report 2024. Stanford, CA: Stanford HAI. <https://aiindex.stanford.edu/report/>
- Startups.watch. (2025). Turkish Startup Ecosystem Report 2024. İstanbul: Startups.watch.
- Statista Research Department. (2025). Revenue Growth of Leading AI Companies Worldwide. Statista.

- Strateji ve Bütçe Başkanlığı. (2025). 2026 yılı Cumhurbaşkanlığı yıllık programı. <https://www.sbb.gov.tr/wp-content/uploads/2025/10/2026-Yili-Cumhurbaskanligi-Yillik-Programi.pdf>
- Strobel, G., Banh, L., Möller, F., & Schoormann, T. (2024). Exploring generative artificial intelligence: A taxonomy and types. Proceedings of the 57th Hawaii International Conference on System Sciences, 4546–4555. <https://hdl.handle.net/10125/106930>
- Surden, H. (2014). Machine learning and law. Washington Law Review, 89, 87–115.
- Svanberg, M., Kerr, W. R., Garg, S. ve Varshney, K. R. (2024). Beyond AI Exposure: Which Tasks are Cost-Effective to Automate with Computer Vision? No. 32453. Cambridge, MA: National Bureau of Economic Research. <https://doi.org/10.3386/w32453>
- T.C. Aile ve Sosyal Hizmetler Bakanlığı & Bilgi Teknolojileri Genel Müdürlüğü. (t.y.). Mevzuat. <https://www.aile.gov.tr/kvkk/mevzuat/>
- T.C. Cumhurbaşkanlığı Dijital Dönüşüm Ofisi. (2021). Ulusal yapay zekâ stratejisi 2021–2025. <http://www.sp.gov.tr/upload/xSPTemelBelge/files/Rpbea+TR-UlusalYZStratejisi2021-2025.pdf>
- T.C. Cumhurbaşkanlığı Dijital Dönüşüm Ofisi. (2024). Ulusal yapay zekâ stratejisi 2024–2025 eylem planı. https://www.sanayi.gov.tr/assets/pdf/UlusalYapayZekâStratejisi2024-2025EylemPlani.pdf?trk=article-ssr-frontend-pulse_little-text-block
- T.C. Dışişleri Bakanlığı. (2024). 2024-2028 Stratejik Plan. Ankara: Dışişleri Bakanlığı.
- T.C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı & Cumhurbaşkanlığı Dijital Dönüşüm Ofisi. (2021). Ulusal Yapay Zekâ Stratejisi 2021-2025 (2024-2025 Eylem Planı güncellemesi dahil). Resmî Gazete, 31574, 20 Ağustos 2021.
- T.C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı. (2021). Ulusal Yapay Zekâ Stratejisi (2021-2025). https://www.sp.gov.tr/tr/temel-belge/s/214/Ulusal%2BYapay%2BZek_%2BStratejisi%2B_2021-2025
- T.C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı. (t.y.). Ulusal yapay zekâ stratejisi 2024–2025 eylem planı. <https://www.sanayi.gov.tr/assets/pdf/UlusalYapayZekâStratejisi2024-2025EylemPlani.pdf>
- T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı. (2024). Tarımda Dijital Dönüşüm Eylem Planı. Ankara: Tarım ve Orman Bakanlığı.
- T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı. (2024). 2053 Ulaştırma ve Lojistik Ana Planı. Ankara: Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı.

- TBD Yapay Zekâ Ekonomi Çalışması Toplantı Notları, 13 Mart 2025. Yayımlanmamış toplantı tutanağı.
- The future of banking: How AI is reshaping the industry-
<https://www.pwc.com/us/en/industries/financial-services/library/how-ai-is-reshaping-banking.html>
- TechCrunch. (2026, March 31). Yupp AI shuts down despite raising \$33M from a16z crypto and Chris Dixon. <https://techcrunch.com/2026/03/31/yupp-ai-shuts-down-33m-a16z-crypto-chris-dixon/>
- Top 20 IT Companies: 2025 Performance Report. (2026).
- TRUBA. (t.y.). Turkish Science e-Infrastructure – TRUBA. <https://www.truba.gov.tr/>
- Turing, I. B. A. (1950). Computing machinery and intelligence-AM Turing. Mind, 59 (236), 433.
- TÜBİTAK ULAKBİM. (2025, September 23). Yüksek başarılı hesaplama ve veri altyapıları. <https://ulakbim.tubitak.gov.tr/yuksek-basariimli-hesaplama-ve-veri-altyapilari/>
- TÜBİTAK. (2023). Deneyap yapay zekâ eğitim materyalleri.
- TÜBİTAK. (2024a). Kamu Yapay Zekâ Ekosistemi 2024 Çağrısı. <https://tubitak.gov.tr/en/announcement/public-artificial-intelligence-ecosystem-2024-call-open-application>
- TÜBİTAK. (2024b). 1711 - Yapay Zekâ Ekosistem Çağrısı 2024. <https://tubitak.gov.tr/en/announcement/1711-artificial-intelligence-ecosystem-call-open-application-2024>
- TÜBİTAK. (t.y.). Yapay zekâ alanında kamu yapay zekâ ekosistem 2024 çağrısı başvuruya açıldı. <https://tubitak.gov.tr/tr/duyuru/yapay-zekâ-alaninda-kamu-yapay-zekâ-ekosistem-2024-cagrisi-basvuruya-acildi>
- TÜİK. (2025). Girişimlerde bilişim teknolojileri kullanım araştırması, 2025.
- TÜİK. (2025). İstatistiklerle Gençlik, 2024. Ankara: Türkiye İstatistik Kurumu. <https://data.tuik.gov.tr>.
- TÜİK. (2025, 1 Ekim). Yapay Zekâ İstatistikleri, 2025. Türkiye İstatistik Kurumu Veri Portalı. <https://veriportalı.tuik.gov.tr/tr/press/57945>
- Türkiye Bilişim Derneği. (2024). Kamuda yapay zekâ uygulamaları 2024 raporu. TBD Yayınları. <https://www.tbd.org.tr/pdf/kamubib-calisma-grubu/kamuda-yapay-zekâ-uygulamalari-2024.pdf>

- Türkiye Bilişim Derneği. (2025). Yapay zekâ standartları ve düzenlemeleri raporu 2025. <https://www.tbd.org.tr/pdf/kamubib-calisma-grubu/TBD-Yapay-Zekâ-Standartlari-ve-Duzenlemeleri-Raporu-2025.pdf>
- Türkiye İş Bankası. (t.y.). İş Bankası'ndan sohbet eder gibi kredi kullanma imkânı: İşCep Maxi Kredi Asistanım. <https://www.isbank.com.tr/bankamizi-taniyin/is-bankasindan-sohbet-eder-gibi-kredi-kullanma-imkani-is-cep-maxi-kredi-asistanim>
- Türkiye Yapay Zekâ İnisiyatifi (TRAI). (2024). Yapay Zekâ Etik İlkeleri ve Hukuki Düzenlemeler. <https://turkiye.ai>
- TÜSİAD & Bain & Company. (2025, 8 Temmuz). Üretken Yapay Zekâya Hazır Olmak: Yetenek, Liderlik ve Kültürel Dönüşüme Dair Perspektifler. (Forbes Türkiye'de aktarıldığı şekliyle). <https://www.forbes.com.tr/yapay-zekâ/tusiad-uretken-yapay-zekâ-raporunu-yayimladi-donusum-icin-dort-temel-alan-vurgusu>
- TÜSİAD & PwC Türkiye. (2025, 22 Nisan). Üretken Yapay Zekâ Devrimi: Küresel Etkiler ve Türkiye'nin Konumu. <https://www.tusiad.org/tr/basin-bultenleri/item/11786-uretken-yapay-zekâ-devrimi-kuresel-etkiler-ve-turkiye-nin-konumu-raporu-kamuoyuna-tanitildi>
- U.S. Copyright Office. (2023). Copyright registration guidance: Works containing material generated by artificial intelligence. https://www.copyright.gov/ai/ai_policy_guidance.pdf
- U.S. Copyright Office. (2025a). Copyright and artificial intelligence, part 2: Copyrightability. <https://www.copyright.gov/ai/Copyright-and-Artificial-Intelligence-Part-2-Copyrightability-Report.pdf>
- U.S. Copyright Office. (2025b). Copyright and artificial intelligence. <https://www.copyright.gov/ai/>
- U.S. Copyright Office. (2025c). Copyright and artificial intelligence, part 3: Generative AI training (pre-publication version). <https://www.copyright.gov/ai/Copyright-and-Artificial-Intelligence-Part-3-Generative-AI-Training-Report-Pre-Publication-Version.pdf>
- U.S. Department of Commerce, Bureau of Industry and Security. (2022). Implementation of Additional Export Controls: Certain Advanced Computing and Semiconductor Manufacturing Items; Supercomputer and Semiconductor End Use; Entity List Modification. , 87 FR 62186, 7 Ekim 2022. <https://www.federalregister.gov/documents/2022/10/13/2022-21658/implementation-of-additional-export-controls-certain-advanced-computing-and-semiconductor>

- U.S. Department of Commerce, Bureau of Industry and Security. (2025). Department of Commerce Announces Rescission of Biden-Era Artificial Intelligence Diffusion Rule. <https://www.bis.gov/press-release/department-commerce-announces-rescission-biden-era-artificial-intelligence-diffusion-rule-strengthens>.
- U.S. Department of Labor. (2026, February 13). News release. <https://www.dol.gov/newsroom/releases/eta/eta20260213>
- U.K. Government. (2023, August 3). A pro-innovation approach to AI regulation [White paper]. GOV.UK. <https://www.gov.uk/government/publications/ai-regulation-a-pro-innovation-approach/white-paper>
- UNCTAD. (2025). AI's \$4.8 Trillion Future: UN Trade and Development Alerts on Divides. <https://unctad.org/news/ais-48-trillion-future-un-trade-and-development-alerts-divides-urges-action>.
- UNESCO. (2021). Recommendation on the ethics of artificial intelligence. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000380455>
- UNESCO. (2024). Artificial intelligence in education.
- UNESCO. (2024). Öğretmenler İçin Yapay Zekâ Yetkinlik Çerçevesi. Paris.
- UNESCO. (2025, November 13). Recommendation on the ethics of artificial intelligence. <https://www.unesco.org/en/legal-affairs/recommendation-ethics-artificial-intelligence>
- UNESCO. (2026, March 12). Ethics of artificial intelligence. <https://www.unesco.org/en/artificial-intelligence/recommendation-ethics>
- United Nations. (t.y.). AI Advisory Body. <https://www.un.org/en/ai-advisory-body>
- Van Geelen, J. ve Shah, A. (2026, Şubat). The 2028 Global Intelligence Crisis. <https://www.citriniresearch.com/p/2028gic>
- Vinge, V. (1993). The coming technological singularity: How to survive in the post-human era. Science fiction criticism: An anthology of essential writings, 81, 352-363.
- Voigt, P., & Von dem Bussche, A. (2017). The EU General Data Protection Regulation (GDPR). Springer.
- Vrije Universiteit Amsterdam. (2025). AI's hidden carbon and water footprint. <https://vu.nl/en/news/2025/ai-s-hidden-carbon-and-water-footprint>
- Wei, K. (2025, 10 Ekim). What is embodied artificial intelligence and why it matters to ITU?. ITU-T Workshop and Seminar on Embodied Artificial Intelligence, Uluslararası

Telekomünikasyon Birliği. <https://www.itu.int/en/ITU-T/Workshops-and-Seminars/2025/1010/Documents/Wei%20Kai.pdf>

Weidinger, L., Mellor, J., Rauh, M., Griffin, C., Uesato, J., Huang, P.-S., Cheng, M., et al. (2021, December 8). Ethical and social risks of harm from language models. arXiv. <https://arxiv.org/abs/2112.04359>

Wikipedia contributors. (n.d.). DIKW pyramid. Wikipedia. https://en.wikipedia.org/wiki/DIKW_pyramid

Whitelaw, S., Mamas, M. A., Topol, E., & Van Spall, H. G. C. (2020). Applications of digital technology in COVID-19 pandemic planning and response. *The Lancet Digital Health*, 2(8), e435–e440.

Wooldridge, M. (2021). *A brief history of artificial intelligence: what it is, where we are, and where we are going*. Macmillan+ ORM.

World Bank Group. (2025, December 15). Digital progress and trends report 2025: AI foundations. World Bank. <https://www.worldbank.org/en/publication/dptr2025-ai-foundations>

World Bank Group. (2025, November 24). Strengthening AI foundations: Emerging opportunities for developing countries [Fact sheet]. World Bank. <https://www.worldbank.org/en/news/factsheet/2025/11/21/strengthening-ai-foundations-emerging-opportunities-for-developing-countries>

World Bank. (2024). World Development Report. <https://www.worldbank.org/en/publication/wdr2024>

World Bank. (2024). Digital Progress and Trends Report 2024.

World Bank. (2024). *The Future of Work: Artificial Intelligence and Developing Countries*. World Bank Policy Research Working Paper.

World Customs Organization. (2022). *Study Report on the Use of Data Analytics and AI in Customs Valuation*. Brussels: WCO. <https://www.wcoomd.org/en/topics/valuation/resources.aspx>

World Economic Forum. (2024). *Global Risks Report 2024*. Geneva: World Economic Forum. <https://www.weforum.org/publications/global-risks-report-2024/>

World Economic Forum. (2025, August 25). Governance in the age of generative AI: A 360° approach for resilient policy and regulation 2024. <https://www.weforum.org/publications/governance-in-the-age-of-generative-ai/>

- World Economic Forum. (t.y.). Future of Jobs Report 2025: 78 million new job opportunities by 2030 but urgent upskilling needed to prepare workforces.
<https://www.weforum.org/press/2025/01/future-of-jobs-report-2025-78-million-new-job-opportunities-by-2030-but-urgent-upskilling-needed-to-prepare-workforces/>
- Wu, S. (2025). Moore's Law for AI agents. AI Engineer World's Fair 2025.
- Xpert Digital. (2025). The Battle for AI Chip Supremacy: Nvidia's Fragile Dominance.
- Yapay Zekâ Kanun Teklifi. (2024, 24 Haziran). TBMM Esas No: 2/2234. Ankara: TBMM.
<https://cdn.tbmm.gov.tr>
- Yükseköğretim Kurulu. (2024). Yükseköğretim kurumları bilimsel araştırma ve yayın faaliyetlerinde üretken yapay zekâ kullanımına dair etik rehber. Yükseköğretim istatistikleri: STEM alanlarında mezun sayıları. <https://istatistik.yok.gov.tr>
- Zhavoronkov, A., Ivanenkov, Y. A., Aliper, A., Veselov, M. S., Aladinskiy, V. A., Aladinskaya, A. V., Aspuru-Guzik, A. (2019). Deep learning enables rapid identification of potent DDR1 kinase inhibitors. Nature Biotechnology, 37(9), 1038–1040.