

TEKNOLOJİK DÖNÜŞÜMÜ ANLAMAK

DR. BARIŞ GÜVEN



Hazırlayan

Dr. Barış Güven | guvenb@tskb.com.tr

2026 Türkiye Sınai Kalkınma Bankası A.Ş. her hakkı mahfuzdur.

Bu doküman Türkiye Sınai Kalkınma Bankası A.Ş.'nin faaliyetleri kapsamında, bilgilendirme amaçlı olarak hazırlanmıştır. Bu dokümana dayalı herhangi bir işlem yapılması tarafımızdan öngörülen bir husus değildir. Belirtilen görüşler sadece bizim güncel görüşlerimizdir. Bu raporda yer alan bilgileri makul bir esasa dayalı olarak güncelleştirirken, bu konuda mevzuat, uygunluk veya diğer başka nedenlerle amaca uygunluk tam olarak sağlanamamış olabilir.

Raporda, üretken yapay zekâ araçları yalnızca literatür derleme, çalışma konusu ile ilgili ön araştırma yapma, dil ve yazım denetleme, çeviri, yazım dilini iyileştirme veya okunabilirliği artırma amacıyla kullanılmış olabilir. Üretken yapay zekâ çıktıları gerçek kişiler tarafından kontrol edilmektedir. Söz konusu üretken yapay zekâ araçları eleştirel düşünce, uzman görüşü veya değerlendirmesi yerine geçecek şekilde kullanılmamıştır.

Türkiye Sınai Kalkınma Bankası A.Ş. ve/veya bağlı kuruluşları veya çalışanları, burada belirtilen senetleri ihraç edenlere ait menkul kıymetlerle ilgili olarak bir pozisyon almış olabilir veya alabilir; menkul kıymetler üzerinde opsiyonları olabilir veya ilgili diğer bir yatırıma girebilir; bu menkul kıymetleri ihraç eden firmalara danışmanlık yapmış, hisselerinin halka arzına aracılık veya yüklenim taahhüdünde bulunmuş olabilir.

Türkiye Sınai Kalkınma Bankası A.Ş. ve/veya bağlı kuruluşları bu raporda belirtilen herhangi bir şirket için yatırım bankacılığı da dahil olmak üzere önemli tavsiyeler veya yatırım hizmetleri sağlıyor veya sağlamış olabilir.

Bu raporun ilgili olduğu yatırım fiyatı veya değeri, direkt veya indirekt olarak yatırımcıların menfaatlerine ters düşebilir. Döviz kurlarındaki herhangi bir değişimin yatırımın değeri veya fiyatı veya bu yatırımdan sağlanan gelir üzerinde olumsuz bir etkisi olabilir. Geçmişteki performans her zaman gelecekteki performansın kılavuzu olacak demek değildir. Yatırım geliri dalgalanma gösterebilir.

Bu rapor kamuya açık bilgilere dayalıdır. Doğru veya tamam olmayan hiçbir beyan yapılmamıştır. Bu rapor söz konusu menkul kıymetlerin alınması veya satılması için bir teklif, yorum ya da yatırım tavsiyesi değildir veya bu menkul kıymetlerin alınıp satılmasına yönelik bir teklif için de bir istek veya zorlama değildir. Türkiye Sınai Kalkınma Bankası A.Ş. ve kendisiyle bağlantılı olan diğerleri bahsedilen şirketlerin menkul kıymetleriyle ilgili pozisyon alabilirler veya bu menkul kıymetlerle ilgili işlem yapabilirler, ayrıca bu şirketler için yatırım bankacılığı hizmetleri de verebilirler.

Herhangi bir yatırım kararı yatırımcının tamamıyla kendi kişisel seçimine dayanmalıdır. Bu rapordaki bilgiler herhangi bir yatırım tavsiyesi olmayıp raporda yer alan firmalara yatırım yapılmasından ötürü Türkiye Sınai Kalkınma Bankası A.Ş. hiçbir sorumluluk kabul etmez.

İçindekiler

iii	Grafikler
iv	Sunuş: Bugün İnsanlık İçin Ne Yaptın?
1	Neden Teknoloji Çalışıyoruz?
3	Arka Plan
3	Bilgi ve İletişim Teknolojileri Devrimi
3	Yoğunlaşma
5	Yükselen Sanayi Politikası
6	Demografik Dönüşüm
7	Teknolojik Dönüşümün Kapsamı
11	Radikal Bir Teknoloji Olarak Yapay Zekâ
12	Yapay Zekâdan Ne Anlamalıyız?
13	Yapay Zekâ Kullanım Oranı ve Verimliliğe Etkisi
14	Yapay Zekâ ve İstihdam
18	Geleceğe Hazırlanmak
20	Teknolojik Dönüşüm İçin Politikalar
23	Bir Kaldıraç Olarak Teknolojik Dönüşüm
23	Son Söz
25	Kaynakça

Grafikler

- 1 Grafik 1:** Gelir Grubuna Göre Medyan Yıllık Bileşik Büyüme Oranı
- 2 Grafik 2:** Yüksek Teknoloji Üretimde Yıllık Bileşik Reel Büyüme, 2010-2025
- 2 Grafik 3:** Yüksek ve Orta-Yüksek Teknoloji Ürünlerde Dış Ticaret Dengesi, 2013-2025
- 10 Grafik 4:** BİT ekipmanı, yazılım ve veri tabanı yatırımlarının toplam inşaat ve AR-GE dışı yatırımlar içindeki payı (%), 2016-2021
- 14 Grafik 5:** YZ Kullanan İşletmelerin Oranı (2020 vs. 2025, OECD Ülkeleri)
- 15 Grafik 6:** ÜYZ'e Maruz İşlerin Küresel İstihdamdaki Tahmini Payı (Cinsiyete Göre)

Tablolar

- 18 Tablo 1:** ÜYZ'ye En Maruz 10 Meslek

Sunuş: Bugün İnsanlık İçin Ne Yaptın?

Dünya pek çok alanda ileriye doğru bir atılım içerisindeyken sohbetlerin kalitesinin gerilediğinin farkında mısınız? Tam iki lâfın belini kıracağız, uzlaşamadığımız bir konu ya da yanıtını bilmediğimiz bir soru var, biri mutlaka çıkıp “Yapay zekâyâ soralım mı?” diyor. Her zaman yüzlerine karşı söylemiyorum ama genellikle “Sorma kardeşim!” diyorum içimden. Dur önce biz kendi aramızda konuşalım, akıl yürütelim, bellekteki bilgileri zorlayalım. Bulamazsak araştıralım...

Bu girişi yapay zekâyı eleştirmek için yapmıyorum elbette. Çünkü biliyorum ki, her zaman ve her yerde, mesele yapay zekâ değil, onu nasıl kullandığınızdır. Kullanım amacımız gerekli-gereksiz her soruya kolay yanıt bulabilmek mi, yoksa yapısal iyileşmeleri tetiklemek mi olmalı?

Bence bir diğer mesele de tarihsel akış içerisinde gelişmeleri sondan başa okuyup hep en yakın gözleme takılı kalmak. Şimdi yapay zekâyı konuşuyoruz, ondan önce dijital dönüşümü konuşmak modaydı. Oysa bir nefes alıp bir adım geri çekilsek, bakışımızı biraz genişletsek, genele yayılan bir dönüşüm ihtiyacının farkına varacağız ve aslında teknolojik dönüşümü konuşmanın daha önemli olduğu noktasında uzlaşacağız.

Çünkü temel ihtiyacımız, analog ya da manuel iş süreçlerini dijitale dönüştürmek değil. Aslına bakarsanız bu epey dar bir bakış açısı. İhtiyacımız olan şey, iş yapış şeklimizi, ürünleri, rekabeti; kamusal yarar gözeterek, gezegenin hakkını savunarak, bizden sonraki nesilleri düşünerek, dezavantajlı gruplar için şartları iyileştirerek, geride kimseyi bırakmayacak şekilde dönüştürmek ve iyileştirmek.

Amacınız bu olduğunda -ki olmalı, işe “Bu süreci dijitalleştirebilir miyiz?” diye sorarak başlamıyorsunuz. Dönüşümü, “Bu süreci nasıl daha farklı ve iyi yapabilirim?” sorusuna yanıt arayarak kurguladığınızda ise karşınıza içinde yapay zekâyı ve dijitalleşmeyi de barındıran daha geniş bir yelpaze çıkıyor: teknolojik dönüşüm.

Bu perspektifle süreçleri, ürünleri, sektörleri dönüştürürken, insanı işi elinden alınabilecek bir kurban olarak değil, hayatı iyileştirilecek bir paydaş olarak görmeye başlıyorsunuz. Hâl böyle olunca işin içine daha fazla yeşil dönüşüm perspektifi, daha fazla kamusal yarar ve daha fazla sorumluluk ekleyebiliyorsunuz.

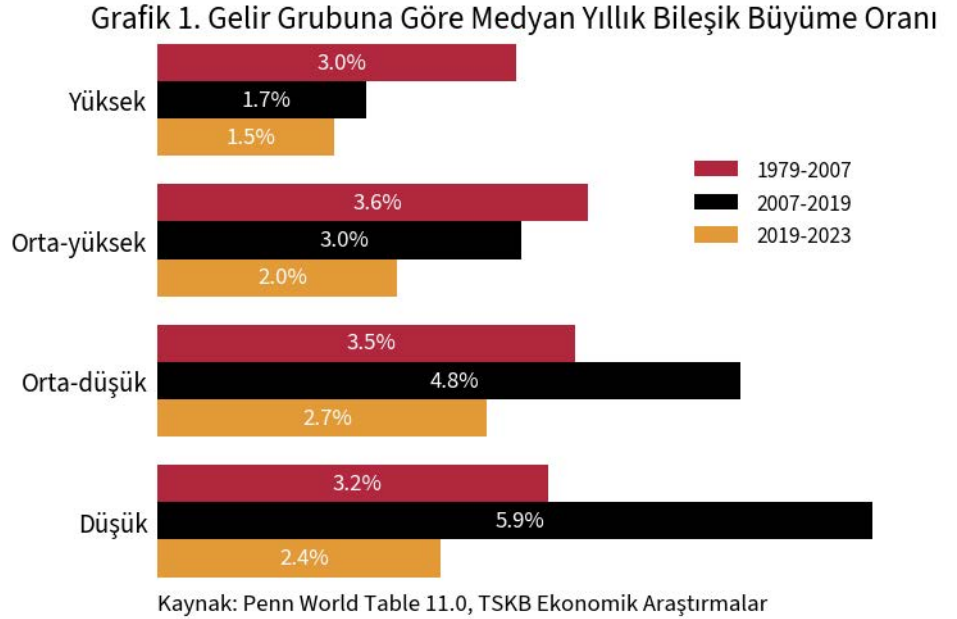
Elinizdeki raporda teknolojik dönüşümü kalkınma perspektifinden ele alıyor, onu maruz kaldığımız değil planladığımız bir faktör olarak görüyor ve yeni sanayi politikaları yaklaşımı ile birleştirerek sizlere aktarmaya çalışıyoruz. Amacımız dönüşüm ihtiyacını popülerliğin gölgesinden kurtarıp somutlaştırabilmek ve “Bugün insanlık için ne yaptın?” sorusunu, teknolojiye de yöneltebilmek. Keyifli okumalar.

Dr. Burcu **ÜNÜVAR**

Direktör - Başekonomist

Neden Teknoloji Çalışıyoruz?

2. Dünya Savaşı'nın ardından 1970'lerin sonuna kadar süren ve kapitalizmin altın çağı olarak adlandırılan uzun dönemde, başta bugünün gelişmiş ekonomileri olmak üzere birçok ekonomi daha önce görülmemiş bir hızda büyüdü. 1980'lerin başından küresel finansal krize kadar uzanan bir sonraki uzun dönemde ekonomik büyüme daha yavaş gerçekleşti. Fakat 2008'de başlayan küresel finansal krizden sonra büyümedeki yavaşlama daha da belirginleşti. Örneğin, yüksek gelirli ülkelerde medyan büyüme oranı 1979-2007 döneminde %3,0 iken 2007-2019 döneminde %1,7'ye düştü. Büyük ölçüde pandeminin etkisini içeren 2019-2023 döneminde ise ekonomik büyüme %1,5'e kadar düştü. Orta-düşük ve düşük gelir grubunda yer alan ülkeler için medyan büyüme oranı 2007-2019 döneminde bir önceki döneme göre artsa da pandemi sonrası büyüme bu ülkelerde de ciddi şekilde yavaşladı (Grafik 1).

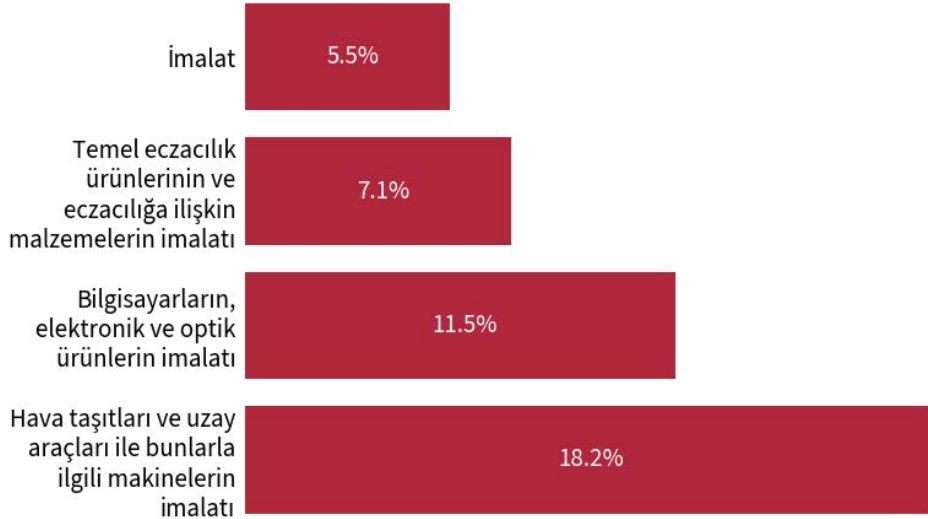


Ekonomik büyümedeki bu yavaşlama potansiyel büyümede de gözlemleniyor. Bir ekonominin tam kapasite kullanımı ve tam istihdam koşulları altında üretebileceği potansiyel çıktısının büyüme oranı potansiyel büyümeyi veriyor. Hemen hemen tüm gelişmiş ekonomiler ile yükselen ve gelişmekte olan ekonomilerin yaklaşık %60'ında 2011-2021 dönemindeki potansiyel büyümenin 2000-2010 ortalamasının altında kaldığı görülüyor (gelişmiş ülkelerde 0,8, yükselen ve gelişmekte olan ekonomilerde ise 1,0 yüzde puan) (Celik vd., 2023). Dahası, büyümenin temel sürükleyicileri olarak kabul edilen toplam faktör verimliliği, emek arzı ve sermaye stokunun her biri daha yavaş büyüyor.

Türkiye'ye döndüğümüzde, imalat sanayinde bazı teknoloji gruplarında olumlu gelişmeler yaşanmakla beraber, kaydedilen ilerleme sınırlı kalmaya devam ediyor. 2010-2025 döneminde imalat sanayinde reel üretim yıllık ortalama %5,5 büyürken, düşük ve orta-düşük teknoloji üretimi sırasıyla %4,2 ve %5,3 büyüdü. Buna karşılık, orta-yüksek ve yüksek teknoloji üretim sırasıyla %6,8 ve %11,5

oranında artış gösterdi. Yüksek teknoloji olarak sınıflandırılan üç faaliyet kolunda üretim, imalat toplamından daha hızlı artarken, savunma sanayinin bir parçası olarak kabul edilen hava taşıtları ve uzay araçları ile bunlarla ilgili makinelerin imalatı kolunda üretim, ilgili dönemde %18,2 büyüyerek ciddi bir şekilde ayrıştı (Grafik 2)¹.

Grafik 2. Yüksek Teknoloji Üretimde Yıllık Bileşik Reel Büyüme 2010-2025

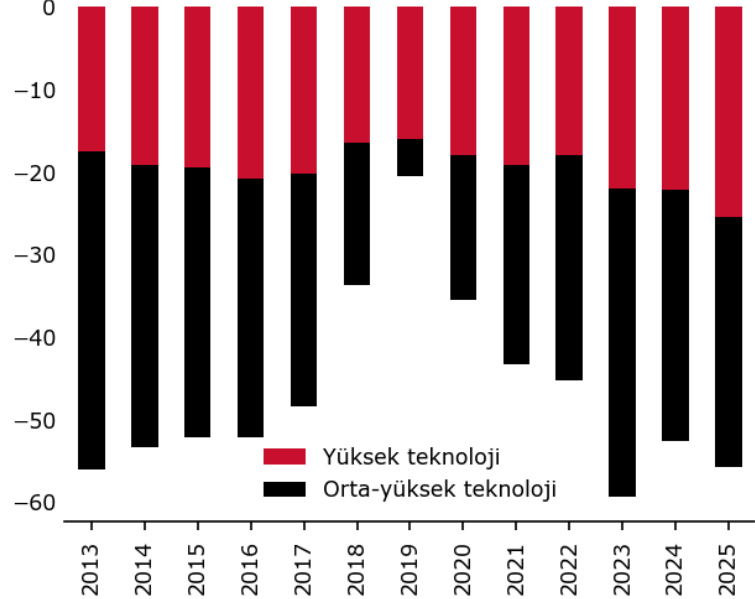


Not: Hava taşıtları ve uzay araçları ile bunlarla ilgili makinelerin üretimi için 2009-2024 dönemine ait veri kullanılmıştır. Daha fazla bilgi için metindeki dipnota bakınız.

Kaynak: TÜİK, TSKB Ekonomik Araştırmalar

Bu olumlu tabloya rağmen, yüksek teknoloji ürünlerinin imalat sanayinin tamamına ait üretimden satışlar içindeki payı 2016'daki %3,3 seviyesinden sınırlı artarak 2025 yılında %3,6'ya ulaştı. Orta-yüksek teknoloji ürünlerin üretimden satışlar içindeki payı ise %25,0'dan %28,8'e yükseldi. Dolayısıyla, ciddi üretim artışlarına rağmen düşük başlangıç seviyesi nedeniyle yüksek teknoloji ürünlerin toplam üretim içindeki payı sınırlı kalmaya devam ediyor. Diğer taraftan, yüksek ve orta-yüksek teknoloji ürünlerde dış ticaret açığının sürekli bir hal aldığı görülüyor (Grafik 3).

Grafik 3. Yüksek ve Orta-Yüksek Teknoloji Ürünlerde Dış Ticaret Dengesi, 2013-2025 (Milyar dolar)



Kaynak: TÜİK, TSKB Ekonomik Araştırmalar

Dünya ekonomisi genelinde büyümenin yavaşlaması, bu yavaşlamanın potansiyel büyümede

¹ İmalat, eczacılık ve bilgisayarlar, elektronik ve optik ürünler faaliyetleri için mevsim ve takvim etkisinden arındırılmış sanayi üretim endeksleri kullanılmıştır. Hava taşıtları ve uzay araçları ile bunlarla ilgili makinelerin imalatına ait üretim endeksi TÜİK tarafından sağlanmadığı için Yıllık Sanayi ve Hizmet İstatistikleri veri tabanında yer alan bu faaliyete ait üretim değeri başka yerde sınıflandırılmayan ulaşım araçlarına ait üretici fiyat endeksi kullanılarak fiyat etkisinden arındırılmıştır.

de görülmesi ve Türkiye'nin süregelen teknoloji açığı bizi teknoloji ve sanayi politikasını yeniden düşünmeye davet ediyor. Bunun için önce teknolojik dönüşüm bağlamında önemli olan bazı temel eğilimlere yer vererek arka planı kurmaya çalışıyoruz. Teknoloji politikasını yeniden düşünmek her şeyden önce teknolojiyi anlamayı gerektirdiği için izleyen bölümde teknolojiye odaklanıyor ve teknolojik dönüşüm için bir çerçeve çiziyoruz. Daha sonra radikal bir teknoloji olarak hayatımıza giren yapay zekâya odaklanıyoruz. Son olarak, teknolojik dönüşümü yönetmek için teknoloji ve sanayi politikasının neler yapabileceğini tartışıyoruz.

Arka Plan

Bilgi ve İletişim Teknolojileri Devrimi

Dünya ekonomisinde büyüme genel olarak yavaşlama eğiliminde olsa da bazı ekonomik faaliyetler ekonominin geneline göre çok daha hızlı bir şekilde genişleyebiliyor. Örneğin, 1970'lerde başlayan bilgi ve iletişim teknolojileri (BİT) devriminin temel itici gücü olan yarı iletkenler (çipler), bilgisayarlar ve yan donanım, yazılım, telekomünikasyon ekipmanları ve hizmetleri gibi teknolojilerin üretimi, ekonominin tamamına kıyasla çarpıcı sayılabilecek bir hızda arttı (Baily & Bosworth, 2014). Böylece hem bu teknolojilerin üretiminde yaşanan hem de bunların diğer üretim faaliyetlerinde kullanılmasıyla sağlanan verimlilik artışları 1990'ların ortasından itibaren makro ölçekte etkisini göstermeye başladı (Gordon, 2016). Bu teknolojiler bir taraftan da üretimin ulusal sınırların ötesine taşınarak küresel ölçekte örgütlenmesini mümkün hale getirdi.

Yüksek teknoloji ürünü olan BİT'ler içinde yer alan yarı iletkenlerin (çiplerin) üretimi diğer birçok imalat koluna göre çok daha yüksek AR-GE ve sabit sermaye harcaması gerektiriyor (East & Kaspar, 2023; SIA, 2025). Artan yapay zekâ (YZ) yatırım harcamaları da bu sermaye yoğunluğunu belirgin bir biçimde yansıtıyor. Özellikle derin öğrenme ve yapay sinir ağlarına dayalı YZ uygulamaları daha önce görülmemiş düzeyde hesaplama (computing) ihtiyaç duyuyor. Bu devasa hesaplama ihtiyacı da büyük ölçüde çiplere (işlemciler ve hafıza çipleri) ve bunlara ev sahipliği yapan veri merkezlerine dayanan sermaye yatırımı gerektiriyor. Bu durum artan YZ altyapı yatırımlarının ekonominin tamamını etkileyecek boyutlara ulaşmasına neden oluyor.

Yoğunlaşma

Yoğunlaşma YZ ekosistemini en iyi tanımlayan sözcüklerden biri olabilir. Öne çıkan YZ modellerinin açık ara büyük bir kısmı ABD merkezli firmalar tarafından geliştiriliyor. ABD'ye bu anlamda yaklaşılabilen tek ülke Çin. Örneğin, 2025 yılında ABD'de 59, Çin'de 35, Avrupa'da ise yalnızca 2 öne çıkan

model geliştirildi (HAI, 2026). ABD merkezli Nvidia tarafından tasarlanan çipler küresel hesaplama kapasitesinde açık ara en büyük paya sahip. Tayvan merkezli çip üreticisi TSMC ise ileri YZ çiplerinin neredeyse tamamını üretiyor. 2025 yılı itibarıyla ABD, 5.247 veri merkeziyle diğer herhangi bir ülkenin 10 katından daha fazla veri merkezine ev sahipliği yapıyor. ABD merkezli 5 şirket (Amazon, Google, Meta, Microsoft ve Oracle) ise YZ uygulamaları için gereken hesaplama kapasitesinin büyük bir bölümünü sağlıyor. Bu beş şirketin sermaye harcamaları 2024'ten itibaren sıçrama yaparak 2025 yılında 412 milyar dolara, ABD GSYH'sinin de %1,31'ine ulaştı (Allen, 2026). Bu da ABD'de daha önce görülmemiş bir hızla gerçekleşen bir yatırım patlamasının yaşandığını gösteriyor (Rungcharoenkitkul, 2026).

Teknolojik dönüşüm doğrudan yabancı yatırım (DYY) akımlarına da etki ediyor. Küresel gayri safi yurt içi hasıla (GSYH) ve ticaretin görece istikrarlı bir şekilde arttığı 2010-2025 döneminde, DYY'deki büyüme hem dalgalı hem de daha yavaştı. Fakat DYY'nin 2024 ve 2025'te yükseldiği görülüyor. Dahası, YZ altyapısı ve YZ ile ilgili teknolojiler, ileri ve hassas teknolojiler, kritik mineraller, temiz enerji ve yarı iletkenler gibi sanayi politikası (SP) ve ekonomik güvenlik açısından stratejik görülen sektörlerde sıfırdan yatırımların ortalamadan daha hızlı genişlediği; buna karşın elektronik ve elektrikli ekipman, otomotiv, makine ve ekipman, tekstil, giyim ve deri gibi küresel tedarik zinciri yoğun imalat kollarında sıfırdan yatırım projelerinde hem sayı hem de değer olarak önemli bir daralma yaşandığı gözlemleniyor (UNCTAD, 2026). Bu durum birçok gelişmekte olan ülke için küresel tedarik zincirlerinden yararlanmayı zorlaştırıyor.

Stratejik görülen sektörlerle ait sıfırdan yatırımlar 2020-2025 döneminde yıllık ortalama %39 oranında artarak 576 milyar dolara ulaştı. Böylece, stratejik sektörlerin 2020'de tüm sıfırdan yatırımlar içinde %16 olan payı 2025 yılında %44'e yükseldi. Yarı iletkenler %54, YZ altyapısı ve YZ ile ilgili teknolojiler de %47 yıllık ortalama büyümeyle diğer sektörlerden ayrıştı. Temiz enerji ve kritik minerallerde sıfırdan yatırımlar %17 büyürken, ileri ve hassas teknolojiler %8 büyüdü. 2023'e kadar stratejik sek-



törler içinde payını artıran temiz enerji teknolojileri, 2024-2025 döneminde patlama yaşayan YZ yatırımları nedeniyle görece olarak konumunu kaybetti. Bu durum stratejik sektörlerdeki sıfırdan yatırımlarda teknoloji yoğunlaşmasını gösterirken, diğer bir yoğunlaşma da yatırımların coğrafyasında ortaya çıkıyor. Sıfırdan yatırımlarda en büyük üç yatırımcı ülke ya da ülke grubu toplam yatırımların %72'sini açıklarken, en çok yatırım alan üç yatırımcı ise toplam yatırımların %56'sını alıyor. Ayrıca stratejik sektörlerdeki sıfırdan yatırımların %72'si yüksek gelirli, %18'i ise orta-yüksek gelirli ülkelere yöneliyor. Bu yoğunlaşma, ölçek ekonomileri, tedarik zinciri entegrasyonu ve teknolojik kabiliyetler gibi firma düzeyindeki faktörler ile teşvik rejimleri, yerel içerik teşvikleri ve yasal uyum gibi politikaların etkisini yansıtan faktörler tarafından şekilleniyor (UNCTAD, 2026).

Yükselen Sanayi Politikası

Arka plandaki temel dinamiklerden bir diğeri ise sanayi politikalarının küresel finansal krizin ardından başlayan yükselişi. 2010-2022 arasında yayımlanan 47.000'in üzerindeki politika belgesinden hangilerinin SP belgesi olduğunu tespit eden bir çalışma, SP belgesi sayısının ilgili dönemde 30 kat arttığını gösteriyor (Juhász vd., 2025). Uzunca bir zaman temel amacı esasen imalat sanayini teşvik ederek ekonominin yapısal değişimini sağlamak olan SP'nin artık net sığır geçişi hızlandırmak, iklim değişikliğinin etkilerini azaltmak, tedarik zinciri dayanıklılığını artırmak, anahtar sektörlerde stratejik otonomi/rekabetçilik ve ulusal güvenlik gibi geniş bir hedef listesi var (Evenett vd., 2024). Stratejik rekabetçilik SP belgelerinde en sık yer verilen hedefken, iklim değişikliğinin etkilerini azaltmak ikinci en sık hedef olarak öne çıkıyor. Yükselen sanayi politikalarının gelişmiş ekonomilerde çoğunlukla yüksek ve orta-yüksek teknoloji imalat sektörü ile enerji sektörünü hedeflediği, yükselen piyasa ve gelişmekte olan ekonomilerde ise bu sektörlerle ilave olarak düşük teknoloji imalat sektörünün de öne çıktığı görülüyor (IMF, 2025).

2015-2024 döneminde açıklanan sanayi politikalarının %49'u firmaları hedefleyen seçici politika müdahalelerden oluşuyor. Seçici SP müdahalelerinde Çin %87 ile liderken, onu %66 ile ABD ve %61 ile AB takip ediyor. Firma özelinde sağlanan teşvikler gelişmiş ekonomilerde ve Çin'de büyük ölçüde yarı iletkenler, ileri teknolojiler, temiz enerji ve kritik mineraller gibi stratejik sektörlerle yönelirken, gelişmekte olan ülkelerde seçici teşviklerin büyük çoğunluğu tarım, gıda işleme, petrol, doğal gaz ve elektrik üretimi gibi daha geleneksel sektörlerle yöneliyor (UNCTAD, 2026).

Türkiye'de de sanayi politikalarının 2019 yılından başlayarak teknoloji geliştirmeyi önceliklendirdiği görülüyor. Örneğin, 2023 Sanayi ve Teknoloji Stratejisi kapsamında 2019 yılında başlatılan Teknoloji Odaklı Sanayi Hamlesi Programı 2025'te yürürlüğe giren Yeni Teşvik Sistemi'nin (YTS) bir

bileşeni olarak Teknoloji Hamlesi Programı ismiyle devam ediyor. Makine, kimya, elektrikli teçhizat, ulaşım araçları, eczacılık ve tıbbi cihazlar ile bilgisayar, elektronik ve optik ürünlerden oluşan orta-yüksek ve yüksek teknoloji sektörlerdeki öncelikli ürünlere odaklanan program yurt içi üretimi teşvik etmek için AR-GE ve yatırım desteği sağlıyor. Yine, YTS'nin başka bir bileşeni olan Stratejik Hamle Programı ileri teknoloji makine, ilaç etken maddesi ve yarı iletken üretimi ile yeşil ve dijital dönüşüm kapsamındaki AR-GE içeriği yüksek stratejik yatırımlara destek sağlamayı hedefliyor. 2024 yılında başlatılan HIT-30 Yüksek Teknoloji Yatırım Programı ise yarı iletkenler, mobilite, yeşil enerji, ileri imalat, sağlıklı yaşam, dijital teknolojiler ile haberleşme ve uzaydan oluşan 7 teknolojik alandaki yatırımlara ve bu alanlardaki değer zincirini tamamlayıcı yatırımlara proje bazlı teşvikler sağlıyor (STB, 2025). Görüldüğü gibi içine dijital teknolojileri de alan geniş bir teknoloji grubu Türkiye'nin sanayi politikalarının odağında yer alıyor. Ayrıca, son 20 yılda hem üretim hem de ihracatta ciddi bir performans gösteren savunma sanayinin giderek daha belirgin bir şekilde sanayi politikalarına ilham vermeye başladığı görülüyor. 2030 Sanayi ve Teknoloji Stratejisi savunma sanayi alanındaki başarıların diğer sektörlerle rol model olmasını; savunma sanayindeki kaydedilen başarıda rol oynadığı düşünülen orta ve uzun vadeli planlamayı, etkili koordinasyonu ve kamu alımlarını bir kaldıraç olarak kullanarak ilaç ve tıbbi cihaz, raylı sistemler ve siber güvenlik gibi öncelikli sektörlerdeki ileri teknolojik ürünlerin yerli üretimini desteklemeyi hedefliyor (STB, 2025).

Demografik Dönüşüm

Çok sayıda ülkede hem doğurganlık oranının düşmesi hem de yaşam beklentisinin artmasıyla nüfus yaşlanırken, buna paralel olarak yaşlı bağımlılık oranı artıyor. Dahası, yaşlanmayla beraber çalışma çağındaki nüfus azalmaya başlayacak. OECD bölgesinde, çalışanların nüfustaki payının düşmesi nedeniyle, emek verimliliğinin ortalama %0,7 oranında artacağı varsayımı altında, kişi başı gelirdeki artış oranının 2006-19 ortalaması olan %1,0'dan 2024-60'ta %0,6'ya düşeceği tahmin ediliyor (OECD, 2025). Diğer taraftan, artan yaşlı bağımlılık oranı sağlık bakımı ve emeklilik harcamalarının GSYH içindeki payının artmasına neden olarak kişi başı gelirdeki artış üzerinde ilave baskı yaratacak. Türkiye'nin de içinde olduğu orta-yüksek gelirli ülkeler ise daha hızlı yaşlanacak ve yüksek gelirli ülkelere göre aynı yaşlı bağımlılık oranına daha düşük kişi başı gelir seviyesinde ulaşacak (Tur, 2026). Demografik dönüşümün büyüme ve harcamalar üzerinde yaratacağı bu baskı teknolojik dönüşümü daha önemli bir hale getiriyor.

Teknolojik Dönüşümün Kapsamı

Sıkça kullandığımız teknoloji sözcüğüyle aslında belirli bir amacı gerçekleştirmek için kullandığımız bir aracı, ekipmanı, süreci ya da ürünü/hizmeti kastederiz. Bu formlara bürünen teknoloji yekpare bir şey de değildir. Teknolojilerin modüler ve tekrarlı bir yapısı vardır (Arthur, 2009). Uçak dediğimizde aviyonik sistemler, jet motoru ve kompozit malzemeden yapılan gövde ve kanatlar gibi bileşenlerin tamamını kastederiz. Bu alt bileşenlerin her biri aslında birer teknolojidir ve onlar da alt teknolojilerden oluşur. Ayrıca, teknolojiler her zaman belirli bir doğal olguyu ya da etkiyi çalışma prensibi olarak kullanır.



Son iki yüzyılda yaşanan sürekli ekonomik büyümede, teknolojik ilerleme büyük bir rol oynamıştır. Teknolojik ilerlemenin iki temel biçim aldığı söylenebilir. Mevcut teknolojiler maliyetleri düşürmek, enerji ve hammadde ihtiyacını azaltmak veya performansı/dayanıklılığı artırmak amacıyla kademeli olarak iyileştirilebilir. Bu tür değişiklikler mikro icat ya da ikincil teknolojik değişim olarak adlandırılabilir. Yeni bir prensip ya da fikre dayanan ve sıçramaları temsil eden teknolojiler ise makro icat ya da büyük teknolojik değişim olarak adlandırılabilir (Mokyr, 1990). Mikro icatların temelinde yer alan kademeli iyileştirmeler uzun bir zaman dilimine yayılabilir ve ortaya çıkan birikimli iyileştirmeler hem ilgili teknolojinin üretiminde hem de bu teknolojinin kullanıldığı diğer üretim süreçlerinde ciddi verimlilik artışlarına neden olabilir. Fakat kademeli iyileştirmeler er ya da geç bir sınıra ulaşır ve büyümeye katkıları önemsizleşir. Makro icatların ortaya çıkmasıyla yeni firmalar ve faaliyet kolları ortaya

çıkarmak. Bunların sürüklediği üretim artışları büyümeyi besler ve yeni kademeli iyileşmelerin önü açılır.

Mikro icatlar genellikle planlanmış iyileştirme arayışları sonucunda ortaya çıkar ve piyasa güçlerine (talep, fiyatlar, kâr, rekabet gibi) yanıt verir. Makro icatların ortaya çıkışında bireysel kabiliyet, ilham ve şans gibi faktörler önemli olmakla beraber, bunlardan radikal teknoloji sayılabilecek olanlar giderek artan bir sıklıkla yüksek AR-GE harcamalarının ardından ortaya çıkmıştır. Çoğu radikal teknoloji de kamunun finanse ettiği AR-GE harcamalarına dayanmıştır (Mazzucato, 2013; Ruttan, 2006).

Dahası, teknolojiler birbirine bağlıdır ve diğer teknolojilerle birlikte ortaya çıkarlar. Hem belirli bir teknoloji için girdi oluşturan teknolojiler hem de o teknolojiyi kullanan diğer teknolojiler ve üretim kolları birbirleriyle bağlantılıdır. Bu anlamda bir teknoloji sisteminden bahsedilebilir (Perez, 2010). Benzer şekilde, teknoloji sistemleri de birbirleriyle ilişkili olarak ortaya çıkar. Birbirleriyle ilişkili radikal yenilikler kümesi teknoloji (sanayi) devrimleri olarak adlandırılır. 18. yüzyılın ikinci yarısında İngiltere’de başlayan ilk sanayi devriminden bu yana beş sanayi devrimi yaşanmıştır. 1970’lerde başlayan ve beşinci sanayi devrimi olarak görülen BİT devrimini tanımlayan bilgisayarlar, çipler, yazılım, telekomünikasyon ekipmanları ve hizmetleri gibi radikal dijital teknolojiler çekirdek dijital ekonomiyi oluşturuyor (Barefoot vd., 2018). Bu teknolojilerin bir taraftan mevcut ekonomik faaliyetlerde kullanılması, diğer taraftan da yeni ekonomik faaliyetlerin ortaya çıkmasında temel rol oynaması yoluyla ekonomiler dijitalleşiyor (Bukht & Heeks, 2017). BİT teknoloji devrimi ve onun sebep olduğu dijitalleşme bugün YZ başlığı altında kümelenen farklı teknolojilerin ortaya çıkmasıyla yeni bir soluk kazanıyor.

İlk kez Avrupa Birliği (AB) politika belgelerinde kullanılan ikiz dönüşümün bir bacağı aslında yaklaşık 50 yıl önce başlayan ve YZ ile yeniden ateşlenen dijital dönüşüm (ya da dijitalleşme). İkiz dönüşümün diğer bacağı olan yeşil dönüşüm ise en başta enerji sisteminin fosil yakıtlara bağımlılığını azaltarak net sıfıra ulaşma, üretim ve tüketimde enerji verimliliğini artırma, çevreye zararlı atıkları azaltma, biyoçeşitliliği koruma, daha sürdürülebilir tarım uygulamaları ile üretim ve tüketimde döngüsellliği kapsayan dönüşümü ifade ediyor. AB’nin 2020 yılında onayladığı Avrupa Yeşil Mutabakatı’nın temel amaç olarak belirlediği tüm bu hedefleri, üretici ve tüketicilerin mevcut teknolojileri kullanmaya devam ettiği bir dünyada gerçekleştirmek mümkün değil. Elbette dijitalleşme hem daha verimli kaynak kullanımına hem de çevrenin korunmasına önemli bir katkı sunma potansiyeli taşıyor (Avcioğlu, 2021). Fakat



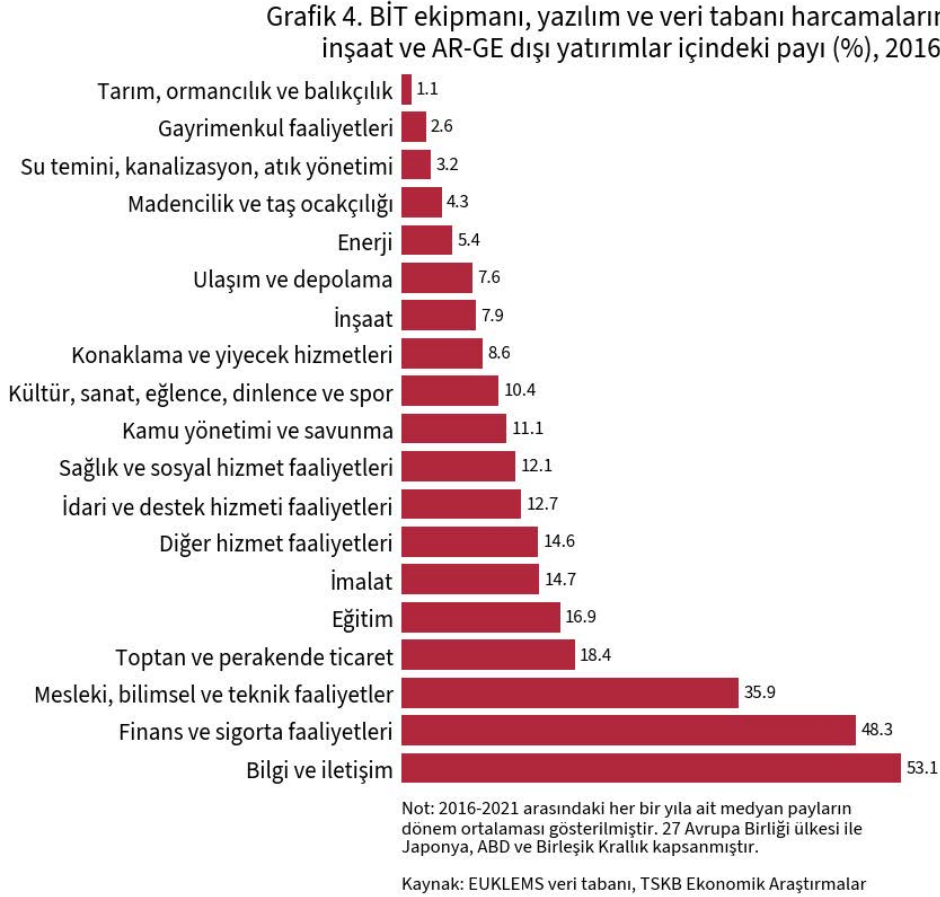
yeşil dönüşümün temel hedeflerine yalnızca BİT'in sunduğu fırsatlardan yararlanarak ulaşılamayacağı açık. Dolayısıyla yeşil dönüşümün kendisi, mevcut üretim ve tüketim pratiklerine temel oluşturan geleneksel teknolojilerin çok sayıda yeni teknolojiyle ikame edilmesini gerektiren yaratıcı yıkım sürecini zorunlu kılıyor. Başka bir deyişle, yeşil dönüşüm aslında başlı başına bir teknolojik dönüşüm anlamına geliyor. Güneş panelleri, rüzgâr türbinleri, bataryalar, elektrikli araçlar, ısı pompaları, elektrik kazanları gibi radikal teknolojiler (ya da Mokyr'ın makro icatları) yeşil dönüşümün teknolojik yönünü iyi simgeliyor. Güneş panelleri ve rüzgâr türbinleri gibi teknolojilerin ilk kullanımları 1970'lere uzansa da bu teknolojilerin yaygınlık kazanmaya başlaması son 20 yıl içinde gerçekleşti. O halde, en az 20 yıldır süren bir başka teknolojik dönüşüm, BİT teknoloji devrimi içinde hayat buluyor.

Güçlü bir dönüştürücü potansiyeli olan ve ekonomik kalkınma, sürdürülebilirlik ve yönetim için yeni fırsatlar sunan ileri ve yükselen teknolojiler sınır teknolojiler olarak adlandırılıyor (UNCTAD, 2018). Hem patent başvurularındaki artış hem de fiyat ve nitelikteki ciddi değişimler bu teknolojilerin hızlı bir şekilde geliştiğini gösteriyor. 2018 yılından bu yana sınır teknolojileri çalışan Birleşmiş Milletler Ticaret ve Kalkınma Örgütü (UNCTAD) 17 sınır teknolojiyi a) Sanayi 4.0 teknolojileri, b) yeşil ve yenilenebilir enerji teknolojileri ve c) diğer teknolojiler olmak üzere 3 ana gruba ayırıyor (UNCTAD, 2025). Bu gruplandırmada üç şey dikkat çekiyor. Sanayi 4.0 grubundaki teknolojilerin tümü ya tamamen ya da kısmen (İHA ve robotlar gibi) dijital olan teknolojilerden oluşuyor. Yeşil ve yenilenebilir enerji teknolojilerinin büyük çoğunluğunun yenilenebilir kaynaklardan enerji üretmeyi sağlayan teknolojiler olduğu görülüyor. Diğer teknolojiler grubunda ise biyoteknoloji ve ileri malzeme teknolojileri kümelerinden iki özel teknoloji yer alıyor.

Sınır teknolojiler farklı teknolojik ve bilimsel alanlara ait ileri ve yükselen teknolojileri bir araya getirir de bu gruplandırmanın mevcut teknolojik çeşitliliği tamamıyla yansıtmadığı ve yeşil dönüşüm bağlamında teknolojik ilerlemenin gerçekleşmesi gereken ya da arzu edilen alanları yeterince kapsamadığı görülüyor. Örneğin, demir-çelik, alüminyum, çimento, kimyasallar, plastik ve gübre gibi temel girdi sağlayan sektörlerde karbonsuzlaşma ve kaynak verimliliği için gerekli olan yeni ekipman ve süreçler bu gruplandırmada yer almıyor. Yine, sanayide kullanılan ancak tamamen dijital olmayan çok sayıda özel makine, ekipman ve girdiye yer verilmiyor. Bu son teknolojiler hızlı iyileştirmelere konu olmasa da sanayi için temel ara ve sermaye malları olmaya devam ediyor.

Bu gerçeği daha iyi görebilmek için temel dijital teknolojilerin kullanımının ekonomik faaliyetler arasında nasıl değiştiğine bakılabilir. Örneğin, BİT ekipmanları, yazılım ve veri tabanları üzerine yatırım harcamalarının inşaat ve AR-GE dışı toplam yatırım harcamaları içindeki payı bilgi ve iletişim ile finans ve sigorta faaliyetlerinde yaklaşık %50 iken, tarım, enerji ve imalat faaliyet kollarında belirgin

derecede daha düşük (Grafik 4). Tarım ve sanayi aktivitelerindeki bu görece düşük payın arkasındaki en temel sebep bu aktivitelerin çok daha geniş bir sermaye malları grubuna dayanıyor olması.



Ekonomik büyümenin sürekliliğinde ve dalgalanmasında önemli rol oynayan teknolojik devrimlerin bir yeni teknolojiler takımından oluştuğunu belirtmiştik. Yeni teknolojiler var olan bazı teknolojilerin ortadan kalkmasına neden olsa da bütün eski teknolojilerin ortadan kalkması anlamına gelmez. Örneğin, çelik ve elektriğin damgasını vurduğu üçüncü teknoloji devriminden bu yana bu iki teknoloji büyümenin ana sürükleyicisi rolünü kaybetmeler de ekonomideki temel fonksiyonlarını kaybetmemişlerdir. Bu yüzden önceki teknoloji devrimlerinde ortaya çıkan çok sayıda teknolojinin rekabetçi şekilde üretim yapmayı sürdürmesi özellikle gelişmekte olan ülkelerin sanayileşme stratejileri açısından önemli olmaya devam ediyor. Başka bir deyişle, özellikle gelişmekte olan ülkelerde sanayi ve teknoloji politikaları sadece sınır teknolojilere odaklanmayıp, başta tarım ve sanayi olmak üzere ekonomik faaliyetler için temel öneme sahip daha geniş bir teknoloji grubunu göz önünde bulundurmalı. Teknolojik devrimlerin merkezinde yer alan teknolojilerin nasıl ortaya çıktığını düşünmek de önemlidir. Bugün yaygın bir şekilde kullanılan bilgisayarlar ve internetin ortaya çıkmasında ABD'deki savunma tedarik ve AR-GE harcamalarının önemli bir payı vardır (Mowery, 2010). Dahası, ilk sanayi devriminden bu yana bilimsel ilerlemeler yeni teknolojilerin ortaya çıkmasına giderek artan bir şekil-

de katkı sağlamıştır. Dolayısıyla hem yeni hem de eski teknolojilerin merkezinde yer aldığı bir teknolojik dönüşümü sağlamak için iyi tasarlanmış bilim, teknoloji ve sanayi politikalarına öncelik verilmelidir. Bu politikaların ekosistem dostu dönüşüm bağlamında kritik bir yeri olan yeşil teknolojilerin geliştirilmesini özel olarak hedeflemesi gerekir.

Tüm bu gözlemleri aşağıdaki gibi özetleyebiliriz:

- 1970'lerde başlayan BİT teknolojik devrimi ve dijitalleşme süreci devam ediyor.
- YZ ile dijitalleşmede yeni bir dalga başlıyor.
- Yeşil ve dijital teknolojiler arasında bir sinerji olmakla beraber, yeşil dönüşüm içsel olarak dijitalleşmenin ötesine geçen bir teknolojik dönüşümü kapsıyor.
- Yeşil dönüşümün teknolojik yönü onu bilim ve teknoloji politikasının ana odaklarından biri haline getiriyor.
- Bazı “eski” teknolojiler ekonomide temel bir işlev görmeye ve sanayileşme için önemli olmaya devam ediyor.

Dolayısıyla, teknolojik dönüşüm dijital, yeşil ve diğer teknolojilerden oluşan geniş teknoloji evreninin dönüşmesi anlamına geliyor. Sanayinin dönüşümü de bu geniş teknoloji evreni göz önünde bulundurularak yönetilmeli.

Radikal bir Teknoloji Olarak Yapay Zekâ

Kasım 2022’de OpenAI’nin ChatGPT isimli üretken yapay zekâ (ÜYZ) sohbet robotunu kullanıma açması yeni bir dönemin başlangıcını simgeliyor. Bu sohbet robotu, yapay sinir ağları mimarisine dayanan GPT adlı büyük dil modeli aracılığıyla kullanıcıların istemlerine yanıt olarak metin, konuşma ve görüntü üretiyor. Şubat 2023’te Meta LLaMA, Mart 2023’te Anthropic Claude ve Kasım 2023’te Google Gemini büyük dil modellerini piyasaya sürdü. ABD’de yalnızca 2 yıl içinde iş ve ev dahil ÜYZ kullanım oranı %39,4’e ulaştı. Buna karşın, internetin ve bilgisayarın kullanım oranları piyasaya sürüldükten 3 yıl sonra yalnızca yaklaşık %20 seviyesindeydi (Bick vd., 2024). Daha sonra DeepSeek, Moonshot AI ve z.AI gibi Çinli girişimler kabiliyetleri ABD’li modellere oldukça yakın modelleri piyasaya sürdüler. Böylece bir taraftan daha fazla ÜYZ modeli ortaya çıkarken, diğer taraftan bu modellerin kullanımı benzeri görülmemiş bir hızda arttı. Kabiliyetleri gittikçe artan bu ÜYZ araçlarının yaygın kullanımı YZ’nin işleri olumsuz etkileyeceği kaygılarını körükledi.

ÜYZ araçlarının yaygın kullanımı YZ altında sınıflandırılabilir çok sayıda tekniğin ve bu tekniklere dayalı uygulamaların arka planda kalmasına neden oluyor. Az sayıda ülkede yoğunlaşan veri merkezi yatırımları da bu algıyı pekiştiriyor. Her şeyden önce YZ'yi nasıl tanımlayabiliriz?

Yapay Zekâdan Ne Anlamalıyız?

Ekonomik İş Birliği ve Kalkınma Örgütü (OECD) 2019 yılında YZ ile ilgili uluslararası bir standart benimseyerek öncü bir rol oynadı (OECD, 2019). “YZ Üzerine Tavsiye” isimli standart, YZ için de bir tanım önerdi. Buna göre “Bir YZ sistemi, açık ve örtük amaçlar için, aldığı girdiden fiziksel ya da sanal ortamları etkileyebilecek tahmin, içerik, tavsiye veya kararlar gibi çıktıları nasıl oluşturacağına ilişkin çıkarım yapan makine temelli bir sistemdir” (OECD, 2024). Girdiler, model ve çıktılar bir YZ sisteminin üç bileşeni. Girdiler sayı, yazı, görüntü, kurallar ve kod gibi verilerden oluşurken, çıktılar tavsiye, tahmin ve karar gibi genel kategorilere ait olup YZ sistemlerinin gerçekleştirdiği görevleri yansıtır. YZ sisteminin temel bileşeni olan modeller, girdilerden çıktılar üretmek için çıkarım yapan fiziksel, matematiksel ya da mantıksal yapılardır. YZ sistemlerinin kullanılmaya başlanmadan önce geliştirilmesi gerektiği için, tanımda yer verilen “çıktıları nasıl oluşturacağına ilişkin çıkarım yapan” ifadesi, YZ sistemlerinin geliştirilme aşamasındaki model kurma basamağını öne çıkarıyor. YZ sistemleri farklı otonomi düzeylerinde çalışabilir ve etki ettikleri ortamlardan gelen girdileri kullanarak uyum sağlayabilir.

YZ modelleri makine öğrenmesi ve bilgi temelli (sembolik YZ) yaklaşımlara ait tekniklere dayanır. Fakat YZ'nin gelişmesindeki dönüm noktalarından biri yapay sinir ağlarına dayalı uygulamaların ortaya çıkmasıdır. Yapay sinir ağlarına dayanak olan araştırmalar 1980'lere kadar geri gitse de bu tekniklere dayalı uygulamaların anlamlı sonuçlar üretmesi çipler gibi bilgisayar donanımındaki iyileşmelerin yaşanmasını gerektirmiştir. Yapay sinir ağları büyük dil modellerinin başarısında belirleyici ol-



makla beraber, bu teknikler ÜYZ uygulamaları dışında da kullanılmaktadır. Örneğin, fiziksel YZ diye adlandırılan kameralar, sanayi robotları, insansı robotlar ve otonom araçlar gibi sistemler YZ ile fiziksel dünyayı algılayabiliyor ve otonom bir şekilde karar alarak içinde bulundukları fiziksel ortamı değiştirebilecek eylemlerde bulunabiliyor (Nvidia, t.y.). Hem bu araçlar hem de diğer YZ tekniklerine dayalı çözümler YZ'nin özellikle imalat, enerji, ulaşım ve tarım gibi ekonomik faaliyetlerde de kullanılmasının önünü açıyor.

Etkileri diğerlerine göre daha derin ve kapsamlı olan teknolojileri sınıflandırmak için genel amaçlı teknoloji (GAT) kavramı kullanılır. Eğer bir teknoloji ya da teknoloji takımı çok sayıda ekonomik faaliyette kullanılıyor, zaman içinde sürekli iyileşiyor ve ürün ve süreçlerde yeniliklerin yaşanmasını sağlıyorsa, GAT olarak kabul edilir. Buharlı motor, elektrik, çipler, bilgisayar ve internet gibi teknolojiler önemli GAT örnekleridir. YZ'nin de bahsi geçen üç etkiyi yaratma potansiyeli taşıyan bir teknoloji olduğu ve bu nedenle bir GAT olduğu ileri sürülebilir. Bazı yazarlar daha ileri giderek ÜYZ'nin de GAT olduğunu savunuyor (Calvino vd., 2025). GAT'lar er ya da geç önemli bir verimlilik artışı ve yaşam standartlarında iyileşme dalgasına kaynaklık edebilir. İşte bu özellik YZ'nin çoğu ülke tarafından stratejik bir teknoloji olarak görülmesinde rol oynuyor.

Yapay Zekâ Kullanım Oranı ve Verimliliğe Etkisi

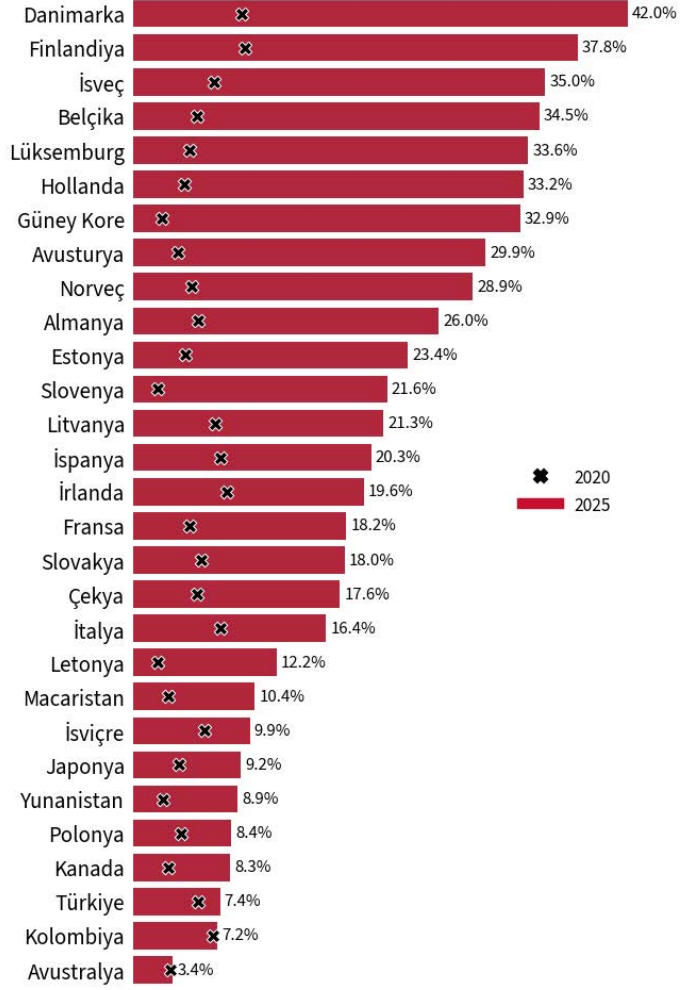
2020-2025 döneminde çoğu OECD ülkesinde YZ kullanan işletmelerin oranının ciddi bir şekilde arttığı fakat Türkiye'deki YZ kullanım oranının %7,4 ile hâlâ oldukça düşük bir seviye olduğu görülüyor (Grafik 5). Diğer taraftan, YZ kullanım oranının oldukça genel bir istatistik olduğunu göz önünde bulundurmak önemli. Örneğin, bu istatistik YZ'nin hangi alanlarda ya da sıklıkta kullanıldığına dair bilgi sunmuyor.

15 OECD ülkesinin BİT anketi verilerini bilanço ve işçi-işveren verileriyle birleştiren bir çalışma, YZ kullanımının ekonomik faaliyetler arasında nasıl değiştiğini, bu kullanımın hangi faktörlere bağlı olabileceğini ve YZ'nin verimliliğe etkisi üzerine önemli bulgular sunuyor (Calvino vd., 2026). Neredeyse tüm ülkelerde BİT sektörü YZ'yi en çok kullanan sektör olarak öne çıkıyor. Profesyonel ve bilimsel aktiviteler sektörü, çok sayıda ülkede YZ'nin en çok kullanıldığı ikinci sektör. Buna karşın, imalat ve enerji sektörü belirgin ölçüde düşük YZ kullanım oranına sahip. Firma büyüklüğüne odaklanıldığında, firma büyüklüğü arttıkça YZ kullanım oranının arttığı; ancak Belçika, Kanada, Almanya, Birleşik Krallık ve Japonya gibi ülkelerde farklılaşmanın 50 ve üzeri çalışan grubundan itibaren başladığı görülüyor. Bu bulgu YZ teknolojilerinin kullanımında ölçeğin avantaj yarattığına işaret ediyor. Çalışma ayrıca insan sermayesi ve diğer dijital teknolojilerin YZ kullanımında belirleyici olduğunu buluyor. BİT uzmanı

ve BİT eğitimi almış diğer çalışanların bulunması YZ kullanımını artırıyor. Yine, robotik, büyük veri analizi, 3 boyutlu yazma, nesnelerin interneti, bulut bilişim, CRM, ERP ve e-ticaret gibi dijital teknolojilerin kullanılma oranı arttıkça YZ kullanımının da arttığı görülüyor. Bu da becerilerin ve dijital yetkinliklerin tamamlayıcı bir rol oynayarak YZ kullanımını mümkün kıldığını gösteriyor.

Çalışma ayrıca, çoğu ülkede daha fazla YZ kullanan işletmelerin kullanmayanlara göre daha verimli olduğunu, ancak bu ilişkinin büyüklüğünün ülkeler arasında önemli derecede farklılaştığını buluyor (örneğin, katsayı Fransa'da %7,7 iken Belçika'da %31'e çıkıyor). Daha önemlisi, YZ kullanımıyla ilişkili verimlilik artışının, BİT becerileri ve diğer teknolojilerin ne kadarının kullanıldığı hesaba katıldığında, önemli ölçüde azaldığı ortaya çıkıyor. Özel olarak, YZ sayesinde işletmelerin daha verimli olduğu gözükse de 10 ülkeden yalnızca ikisinde verimlilik artışının gerçekten YZ kaynaklı olduğu görülürken, BİT becerileri ve diğer dijital teknolojilerin tüm ülkelerde daha yüksek verimlilikle ilişkili olduğu ortaya çıkıyor. Çalışmanın da işaret ettiği gibi, bu bulgu YZ'nin kendi başına verimlilik artışının sürükleyicisi olmadığı ve YZ'den faydalanmanın dijitalleşmeye koşullu olduğu şeklinde yorumlanabilir.

Grafik 5. YZ Kullanan İşletmelerin Oranı (2020 vs. 2025, OECD Ülkeleri)



Not: İrlanda için 2020 yılı yerine 2021 yılı değeri kullanılmıştır. İsrail, Birleşik Krallık ve Yeni Zelanda eksik veri, ABD ise zaman serisindeki kırılma nedeniyle gösterilmemiştir.

Kaynak: OECD Going Digital Toolkit, TSKB Ekonomik Araştırmalar

Yapay Zekâ ve İstihdam

Teknolojinin işlere etkisi üzerine düşünürken, işleri oluşturan görevlere odaklanmak daha faydalıdır. Yeni teknolojiler emeği işleri oluşturan görevlerin bazılarında ikame ederek ya da tamamlayarak işleri etkileyebilir. Bu iki ön kabul ÜYZ'nin işleri nasıl etkileyeceği üzerine yapılan araştırmalarda belirleyici bir rol oynuyor. Araştırmalar farklı yöntemler izleyerek genel olarak YZ, özel olarak da ÜYZ teknolojileri ile görevler arasında nicel bir ilişki kurmaya ve bu ilişkinin ne derece ikame edici ya da

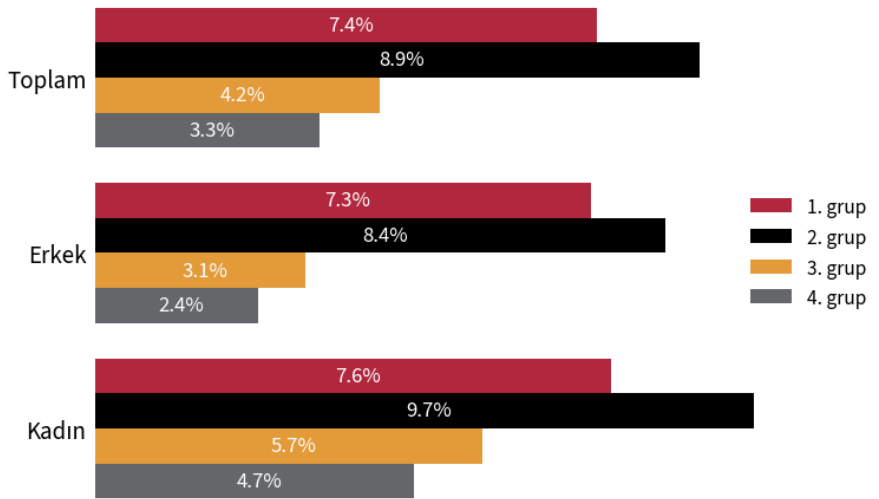
tamamlayıcı olduğunu ölçmeye çalışıyorlar. Daha sonra işlere ya da mesleklere ilişkin istihdam ve işsizlik oranı istatistiklerini kullanarak YZ ile istihdam/işsizlik arasındaki ilişkiyi anlamaya çalışıyorlar.

İşleri oluşturan her bir görevin GPT benzeri bir teknolojiyle otomatize edilebilme skorunu belirleyen bir çalışma, görevlerin ortalama otomasyon skoru ve standart sapmasını hesaplayarak meslekleri gruplandırıyor (Gmyrek vd., 2025). Otomasyon skoru ortalaması görece düşük ve standart sapması yüksek meslekler 1. grupta yer alıyor. Bu mesleklerdeki görevlerin bazılarının otomasyon skoru yüksek olsa da diğer görevlerin skorlarının düşük olması bu görevlerdeki insan rolünün yüksek olduğu anlamına geliyor. Dolayısıyla, ÜYZ'nin bu meslekler için çoğaltma (augmentation) etkisinin daha yüksek olduğu söylenebilir. Otomasyon skoru ortalaması en yüksek ve standart sapması en düşük olan meslekler ise 4. grupta yer alıyor. Ortalama otomasyon skorunun en yüksek olması ve görevlerin otomasyon skorlarındaki değişkenliğin az olması, bu mesleklerin otomasyon riskinin en yüksek olduğu anlamına geliyor. Bu meslekler ÜYZ'ye en çok maruz kalan meslekler. Böylece 1. gruptan 4. gruba doğru gittikçe çoğaltma etkisinin azaldığı ve otomasyon riskinin arttığı bir gruplandırma ortaya çıkıyor.

ÜYZ nedeniyle otomasyon riski en yüksek olan ve 4. grupta yer alan 13 meslekten 8'i büro hizmetlerinde çalışan elemanlar meslek grubunda yer alıyor. Tüm mesleklerin genel olarak ofis ortamında icra edilen bilgi yoğun işler olduğu görülüyor.

Grafik 6 ÜYZ'ye maruz (1.-4. gruplar) 112 meslekteki istihdamın toplam istihdamdaki payını dünya ekonomisi için gösteriyor. Küresel istihdamının %24'ünün ÜYZ'ye maruz olduğu görülüyor. Fakat toplam kadın istihdamının erkeklerle göre daha yüksek bir oranda (%21'e karşılık %28) ÜYZ'ye maruz olduğu görülüyor. Yine yüksek gelirli ülkelerde toplam istihdamın %34'ü ÜYZ'ye maruzken, bu oran kadınlarda %41'e çıkıyor (erkeklerde %28). Genel olarak, gelir grupları arasında daha düşük gelir gruplarına doğru gittikçe ÜYZ'ye maruz istihdam oranı azalıyor. Hem yüksek gelir grubunda toplam istihdamın hem de kadın istihdamının ÜYZ'ye daha maruz olmasının

Grafik 6. ÜYZ'e Maruz İşlerin Küresel İstihdamdaki Tahmini Payı (Cinsiyete Göre)



Kaynak: Gmyrek vd. (2025)

temel sebebi, büro ve finans meslekleri ile müşteri hizmetleri gibi ÜYZ'ye en maruz işlerin yüksek gelir grubu ülkelerinde daha yaygın ve bu işlerdeki kadın oranının daha yüksek olması.

Öne çıkan diğer önemli bir bulgu ise otomasyon riskinin en yüksek olduğu 4. gruptaki işlerin oranının görece düşük olması. Bu işler toplam istihdamın %3,3'ünü oluştururken, bu oran kadınlarda %4,7 ve erkeklerde %2,4. Aynı oranlar yüksek gelirli ülkelerde daha yüksek değerler olsa da toplam istihdamdaki payın %6,3 olduğu görülüyor.

YZ'ye maruzluğun ölçümü çalışmalar arasında ciddi bir farklılık gösterebiliyor. Örneğin, ÜYZ yerine YZ'nin geneline odaklanan başka bir çalışma, YZ'ye yüksek derecede maruz işlerin toplam istihdamdaki payını 2024 yılı verilerini kullanarak yüksek gelirli ülkeler için %60, yükselen piyasa ekonomileri ve dünya geneli için %40 ve Türkiye için %41 olarak hesaplıyor. Aynı çalışmaya göre, Türkiye'de YZ'ye yüksek derece maruz olup YZ'nin işçileri görevlerde ikame edebileceği rutin ve otomasyona açık işlerin oranı ise %18,7. Bu tür işler ekonomik faaliyet olarak bakıldığında özellikle bilgi ve iletişim, toptan ve perakende ticaret ile profesyonel hizmetlerde; meslek grubu olarak bakıldığında ise hizmetler/satış ile büro destek çalışanlarında yoğunlaşıyor (Aşık vd., 2026).

Çalışmaların da vurguladığı gibi, bu tahminler ÜYZ'nin istihdam üzerindeki gerçek etkisini yansıtmak yerine yalnızca ÜYZ'ye maruzluğu gösteriyor. Ayrıca bu tahminler ÜYZ'den etkilenebilecek işlerin oranına ilişkin en yüksek seviyeyi gösteren tahminler olarak görülmeli. Altyapı kısıtları, dijital beceri eksiklikleri, teknolojinin maliyeti ve önemsiz verimlilik kazançları gibi faktörler ÜYZ'nin tam kullanımını engelleyebilir ve istihdam üzerindeki etkisini sınırlayabilir.



ABD ekonomisine odaklanan ve Ocak 2021 ile Eylül 2025 arasında aylık meslek istihdamı verilerini kullanan başka bir çalışma, YZ'nin etkisinin yaş grupları arasında farklılık gösterebileceğine işaret ediyor (Brynjolfsson vd., 2025). Çalışma, ÜYZ'ye en çok maruz kalan müşteri temsilcileri ve yazılım geliştiriciler gibi mesleklerde 22-25 yaş arası genç istihdamının 2022'den sonra ciddi şekilde azaldığını buluyor. Buna karşın, hem aynı mesleklerdeki daha yaşlı işçilerin hem de YZ'ye daha az maruz kalan işlerde çalışan tüm yaş gruplarındaki işçilerin istihdamı artıyor. Aynı çalışmadaki en önemli bulgular- dan biri de bu azalmanın firmaları ya da endüstrileri aynı şekilde etkileyen faktörlerden kaynaklanma- yıp ÜYZ'den kaynaklanmasının daha olası olması. ÜYZ'ye en çok maruz kalan ilk iki beşte birlik dilim- deki 22-25 yaş arası genç istihdamı, ÜYZ'ye en az maruz kalan beşte birlik dilimdeki genç işçilere göre azalıyor. Fakat bu azalma ancak 2024 yılından itibaren ortaya çıkmaya başlıyor (Smith, 2026). Diğer yaş gruplarında ise böyle bir görece azalma gözlemlenmiyor.

Bu çalışmanın hem ÜYZ'ye en maruz işlerdeki genç istihdamının 2022 sonundan itibaren azal- dığını hem de bu azalmanın ÜYZ ile bağlantılı olabilecek kısmının ancak 2024'ten itibaren ortaya çık- tığını bulması, genç istihdamındaki azalmanın arkasında başka faktörlerin de olabileceğini gösteriyor. Yine ABD'ye odaklanan, işsizlik sigortası kayıtları ile LinkedIn iş ilanlarını birlikte kullanan bir çalışma, ÜYZ'ye maruz kalan mesleklerdeki işsizlik riskinin 2022'nin başlarında yükseldiğini; 2021'den itibaren yeni mezunların ÜYZ'ye maruz işlere, daha önceki dönemlerdeki mezunlara göre daha düşük oranlar- da girdiğini ve aradaki farkın 2022 sonuna gelmeden açıldığını buluyor (Frank vd., 2026).

Görevlerin ÜYZ'ye ne kadar maruz kaldığını nicelleştirmeye çalışan çalışmaların üst sınır sayıla- bilecek değerler atadığı söylenebilir. Bir diğer deyişle, iş süreçlerinde karşılaşılan karmaşıklıktan ötürü YZ'ye maruzluğun teorik değerlerden daha düşük değerler alması muhtemeldir. Bu fikir üzerine kuru- lu başka bir çalışma, büyük dil modellerinin teoride hızlandırabileceği görevlerden hangilerinin iş otomasyonu amacıyla kullanıldığına odaklanarak, gözlemlenen maruzluğu ölçüyor (Massenkoff & McCrory, 2026). Çalışma, teorik imkân ile gözlemlenen maruzluk arasında çarpıcı bir fark olduğunu buluyor. Meslek özelinde bakıldığında ÜYZ'ye en maruz mesleklerin başında bilgisayar programcıları (%74,5), müşteri hizmetleri temsilcileri (%70,1) ve veri giriş elemanlarının (%67,1) geldiği görülüyor (Tablo 1). Çalışma ÜYZ'nin istihdama etkisini ölçmek için ÜYZ'ye en maruz mesleklerde çalışan işçiler ile en az maruz mesleklerde çalışan işçilerin işsizlik oranlarını da karşılaştırıyor. İki grubun işsizlik oranı arasındaki farkın ChatGPT'nin piyasaya sürülmesinden sonra değişmediğini buluyor. Fakat 22-25 yaş arası genç işçilerin aylık işe başlama oranının ÜYZ'ye en maruz işlerde 2022'ye göre %14 daha az ol- duğu ortaya çıkıyor.

ÜYZ'nin yalnızca 22-25 yaş grubu için bu teknolojiye en maruz işlerde istihdamı olumsuz etkile-

diğini bulan bu çalışmalara karşın, bazı alışmalar ÜYZ ile genç işsizliğinin ilişkili olmadığı yönünde kanıt sunuyor. Örneğin, 23-29 yaş arası üniversite mezunlarının işsizlik oranı ile genel işsizlik oranı arasındaki fark ABD, Kanada ve Avustralya gibi ölkelerde 2016 yılından beri artıyor ve 2022 yılı sonrasında bu artışın hızlanmadığı görülüyor. Yine, ABD’de içinde YZ geçen iş ilanlarının payının hızla artmaya başladığı 2023 sonundan itibaren bakıldığında, ÜYZ’ye daha maruz mesleklere ait çevrim içi genç (junior) iş ilanlarının, en az maruz mesleklerdeki iş ilanlarına göre belirgin bir farklılık göstermediği gözlemleniyor (OECD, 2026a).Tüm bu bulgular birlikte düşünöldüğünde, ÜYZ’nin küresel istihdamın yaklaşık beşte birini etkileme potansiyeli taşıdığı fakat otomasyona uğrayabilecek iş oranının yalnızca %3,3 gibi küçük sayılabilecek bir düzeyde olduğu, ölkelerin gelir düzeyi arttıkça ÜYZ’ye maruzluğun arttığı, ÜYZ’ye en maruz mesleklerdeki kadın çalışan oranının yüksek olması nedeniyle kadınların ÜYZ’den daha fazla etkilenebileceği ve ÜYZ’ye en maruz işlerdeki genç istihdamının olumsuz etkilenebileceği görülüyor.

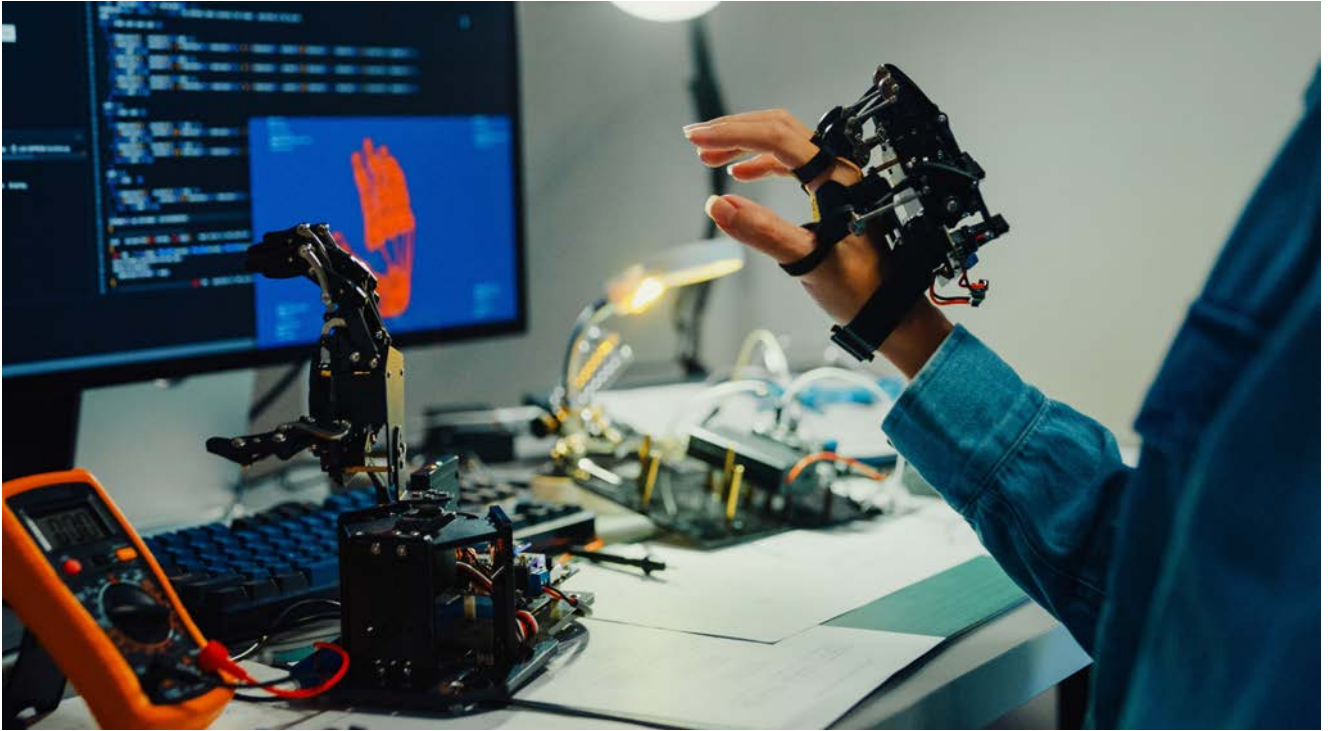
Tablo 1. ÜYZ’ye En Maruz 10 Meslek	
Bilgisayar programcılar	%74,5
Müşteri hizmetleri temsilcileri	%70,1
Veri giriş elemanları	%67,1
Tıbbi kayıt teknisyenleri	%66,7
Piyasa araştırma analistleri ve pazarlama uzmanları	%64,8
Satış temsilcileri, toptan ve imalat (teknik ve bilimsel ürünler hariç)	%62,8
Finans ve yatırım analistleri	%57,2
Yazılım kalite güvencesi analistleri ve test ediciler	%51,9
Bilgi güvenliği analistleri	%48,6
Bilgisayar kullanıcısı destek uzmanları	%46,8
Kaynak: Massenkoff & McCrory (2026)	

Geleceğe Hazırlanmak

Yeni teknolojilerin işlere etkisi üzerine görece yeni geliştirilen oldukça faydalı bir ereve, görevlere odaklanarak teknolojileri üç farklı gruba ayırıyor: a) bazı iş görevlerinde (task) emeği sermaye ile ikame eden otomasyon teknolojileri, b) yeni görevler yaratan teknolojiler ve c) faktör-çoğaltan (factor-augmenting) teknolojiler (Acemoglu & Restrepo, 2018, 2019). Otomasyon teknolojileri emeğin yaptığı görevleri azaltıyor ve üretim için gereken görevlerin dağılımını sermaye lehine değiştiriyor. Yeni görev yaratan teknolojiler ise görevlerin dağılımını emek lehine değiştiriyor. Örneğin, 2019’dan beri Çin’de Ulusal Meslek Sınıflandırma Sistemi’ne nesnelerin interneti mühendisliği teknisyeni, YZ mühendisliği teknisyeni, büyük veri mühendisliği teknisyeni, robotik mühendisliği teknisyeni gibi yeni görevlere dayanan meslekler eklendi (Arias vd., 2025). Faktör-çoğaltan teknolojiler ise üreti-

min görev dağılımını değiştirmeden, emeği ya da sermayeyi tüm görevlerde daha verimli kılıyor.

Bu üç teknoloji türünün her biri verimliliği artırıyor ve teknolojiyi kullanan firmaları daha fazla üretim yapmaya teşvik ediyor. Bu da firmaları halihazırda yalnızca emeğin yapabildiği görevlerde daha fazla emek kullanmaya itiyor. Fakat otomasyon teknolojileri ile yeni görevler yaratan teknolojiler arasında açık bir fark var. Otomasyon teknolojileri bazı görevleri ortadan kaldırdığı ve ilk elde emek talebini düşürdüğü için, istihdama net etkileri verimlilik artışı nedeniyle oluşan emek talebindeki artışın ne kadar büyük olacağına bağlı. Buna karşın, yeni görevler yaratan teknolojiler hem yeni görevler hem de verimlilik kanalıyla emek talebinin artmasını sağlıyor.



YZ'nin istihdama etkisi üzerine tartışmalarda eksik olan taraflardan biri YZ aracılığıyla ne kadar yeni görevin ortaya çıkacağı. Başka bir eksik taraf ise otomasyona ya da çoğaltmaya neden olacak YZ uygulamalarının verimliliği ne kadar artıracaağı ve bu kanaldan emek talebini artırmaya ne kadar katkı sağlayacağı. Ancak gelecekte kesinleşecek bu iki kritik konuda bugün basitçe büyük bir belirsizlik söz konusu. YZ'nin potansiyel olarak kaynaklık edeceği verimlilik artışlarının tam olarak ne zaman makro ekonomiye yansıyacağı da bilinmemekte. Dahası, bunun gecikmeli olması çok muhtemel. Örneğin, ABD'de ilk elektrik santrali 1882'de kurulmasına rağmen, elektriğin imalatla yaygın bir şekilde kullanılması ve verimlilik artışları ancak 1920'lerde ortaya ıktı. Yine, BİT devrimi 1970'lerde başlasa da verimlilik artışlarının ortaya çıkışı hem 1990'ların ortalarına kadar bekledi hem de 2000'lerin ortasında son bulacak kadar kısa ömürlü oldu (Gordon, 2016). Dijital bir teknoloji olması nedeniyle daha hızlı yayılan YZ'nin etkisinin geçmiş örneklerde olduğu kadar gecikmeli ortaya çıkması daha az olası ol-

makla beraber YZ kaynaklı verimlilik artışının ne kadar süreceği belirsiz.

Bununla beraber, YZ'nin işletmelerde daha fazla kullanılmasıyla, YZ'ye en çok maruz kalan işle-
rin en azından bir kısmının otomasyon yoluyla baskılanacağını beklemek yanlış olmaz. Bu durumda
bu teknolojilerin sağlayacağı verimlilik artışlarının istihdam üzerindeki telafi edici etkisi hayati önem-
de olacak. Fakat bu telafi edici etkinin gücünün yetmediği durumlarda iş kayıplarının olması kaçınıl-
maz. O halde, YZ'nin giderek yaygınlaşacağı önümüzdeki dönemde beceri politikası nasıl olmalı? Te-
mel BİT becerilerinin yanında, programlama ve YZ algoritmalarını anlama ve uygulama gibi YZ bece-
rilerini içeren ileri BİT becerilerini kazanmak hem değişen işlere uyum sağlamayı hem de öğrenmeye
devam etmeyi kolaylaştıracak. Bunun yanında, eleştirel ve yaratıcı düşünme, öğrenmeyi öğrenme ve
öz-düzenleme gibi meta-bilişsel beceriler ile empati, sorumluluk ve iş birliği gibi sosyal ve duygusal
beceriler tamamlayıcı bir işlev görebilir. Bu yüzden, politika yapıcıların bireylerin bu yetenekleri ka-
zanmalarını destekleyecek politikalar oluşturmaları, yaşam boyu öğrenme ve beceri geliştirme prog-
ramlarını yaygınlaştırmaları gerekiyor (OECD, 2026b)

Teknolojik Dönüşüm İçin Politikalar

2008 küresel finansal krizinden bu yana hem gelişmiş hem de gelişmekte olan ülkelerde sanayi
politikasının giderek daha sık uygulandığını görüyoruz. Dahası, başta gelişmiş ülkeler olmak üzere
çoğu ülkede sanayi politikası büyük ölçüde yüksek ve orta-yüksek teknolojilere ve temiz enerji tekno-
lojilerine odaklanıyor. Stratejik rekabetçilik, iklim değişikliğinin etkilerini azaltma, dayanıklılık, ulusal
güvenlik ve tedarik zinciri güvenliği gibi motivasyonlarla sanayi politikası uygulayan ülkeler yaşanan
teknolojik dönüşümde geri kalmamaya çalışıyor.

Sanayi politikaları kapsamında sınıflandırılacak teknoloji politikaları doğrudan teknolojiye
odaklanır. Misyona yönelik teknoloji politikası, ulusal düzeyde belirlenmiş misyonları gerçekleştirmek
ve uluslararası liderlik kazanmak için yeni ve radikal teknolojiler geliştirmeye çalışır (Ergas, 1986). Fa-
kat radikal teknoloji geliştirmek ne teknoloji geliştirmenin tek yoludur ne de rekabet gücünün süre-
kliliğini garanti edebilir. Teknoloji politikası, özellikle sanayinin teknolojik dönüşüme uyum sağlama
kapasitesini artırmayı ve mevcut ileri teknolojik kabiliyetlerin ekonomide daha yaygın şekilde kulla-
nılmasını da öncelik haline getirebilir (Carlsson & Jacobsson, 1994; Ergas, 1986). Bu tür politikalar, di-
füzyona yönelik politikalar olarak adlandırılır. Difüzyona yönelik politika, tamamıyla yeni ürünler ya-
ratmak yerine kademeli iyileştirmelerden oluşan mikro-icatlara, üretimde etkinliği ve ürün kalitesini
artırmaya odaklanır (Chiang, 1991).

Difüzyona yönelik teknoloji politikasında ileri teknolojileri tarayıp izleyen ve bunların firmalar arasında yayılmasını sağlayacak özel veya kamu kuruluşlarının varlığı önemlidir. Büyük ölçekli firmaların yeni teknolojilerden haberdar olması görece kolayken, sayıca fazla, başta KOBİ'ler olmak üzere daha küçük ölçekli firmalar için bu çok daha zordur. Dahası, böyle bir taramanın ve izlemenin zamanında yapılması gerekir. Örneğin, İsveç hem bu tür kurumlar aracılığıyla hem de firmaların fırsatları zamanında görebilme becerisi sayesinde yeni ortaya çıkan fabrika otomasyon teknolojilerini erkenden kullanmaya başlamıştır. 1980'lerde aslında kendisinin geliştirmedeği sayısal kontrol takım tezgâhları, sanayi robotları, esnek imalat sistemleri ve bilgisayar destekli tasarım gibi teknolojilerin en yoğun kullanıldığı ülkelerden biri olmayı başarmıştır (Carlsson & Jacobsson, 1994). Yine, Çin 2017 yılında YZ'yi stratejik bir teknoloji olarak görüp hem bu teknolojinin geliştirilmesini hem de tüm ekonomide kullanılmasını hedefleyen bir politika belgesi yayımlamıştır (DigiChina, 2017). Çin, daha önce de internet ve sanayi robotları gibi teknolojilerin firmalar tarafından kullanılmasını yaygınlaştırmayı hedefleyen difüzyona yönelik politikalar izlemiştir (Güven, 2026).

Difüzyona yönelik politikalar gerçekleşmekte olan teknolojik dönüşüm bağlamında en az üç açıdan önemlidir. Bu politikalar karbon salımını azaltma, kaynak verimliliğini artırma, çevreye zararlı atıkları azaltma ve döngüsellliği sağlayacak teknolojileri ve pratikleri tüm firmalar arasında yaygınlaştırmayı hedefleyebilir. İkincisi, difüzyona yönelik politikalarla temel dijital teknolojiler yelpazesinden daha geniş, özellikle imalat sanayinde ve tarımda daha yaygın olarak kullanılan yeni teknolojilerin ve üretim pratiklerinin yaygınlaştırılması sağlanabilir. Üçüncüsü, dijitalleşmede yeni bir dalganın başlangıcını temsil eden YZ'nin sunabileceği olanaklardan faydalanmak için YZ uygulamalarının tarım, imalat ve hizmetlerde kullanımının yaygınlaştırılması hedeflenebilir. YZ'nin dijital bir teknoloji olması ve özellikle açık kaynak kodlu ya da açık ağırlık (open weight) modellerin varlığı, YZ'nin kullanımını yaygınlaştırmaya odaklanan bir stratejinin çok önemli bir potansiyel taşıdığını gösteriyor. Dünya Bankası'nın da vurguladığı gibi gelişmekte olan ülkeler özellikle YZ'yi kullanma ve kendi koşullarını uyarlamayı önceleyerek YZ'nin sunduğu ciddi fırsatlardan faydalanabilir (World Bank, 2026). Türkiye Yapay Zekâ Eylem Planı da hem YZ'ye dayanan teknolojileri üretmeyi hem de YZ'nin özellikle sanayi ve kamuda kullanımını artırmayı birlikte hedefliyor (STB, 2026).

Genellikle gelişmiş ekonomilerde ortaya çıkan yeni teknolojilerin gelişmekte olan ekonomilerde üretilmesi gecikmeli olur. Gelişmekte olan ekonomiler çoğu zaman bu yeni teknolojileri söz konusu teknolojiler belli bir olgunluğa ulaştıktan sonra üretmeye başlarlar. Bu yüzden teknolojik bir devrimi yakalamaları gecikmeli olur ve üretim büyük ölçüde taklit etmeye dayanır. Fakat yeşil dönüşüm bağlamında gereken yeşil ve yenilenebilir enerji teknolojilerini üretmek için gelişmekte olan ekono-

milerin, diğerk teknoloji devrimlerinde olduğu gibi, bu teknolojilerin olgunlaşmasını beklemeleri gerekmiyor (UNCTAD, 2023). Başka bir deyişle, gelişmekte olan ekonomiler yeşil teknolojileri doğrudan geliştirmeye dayalı ve yeşil inovasyon olarak adlandırılabilir bir inovasyon politikası benimseyebilir. Böylece bir taraftan yeşil dönüşümü gerçekleştirirken, diğerk taraftan bu teknolojilerin motoru olduğu yeşil büyümeden daha fazla faydalanabilirler. Bunun için ülkeler iyi tasarlanmış sanayi politikaları aracılığıyla yeşil inovasyonu teşvik edebilir. Henüz görece yeni olan teknolojilerde lider ülkelerden öğrenmenin ötesine geçen bir yaklaşımı benimseyen lkelerin başarı kaydettiği görülüyor. Örneğin, Brezilya biyoyakıt-



larda ve Çin ise güneş panellerinde teknoloji lideri konumuna geldi. Her iki örnekte de lkelerin sanayi politikalarını kullanarak güçlü iç talep koşulları yarattıkları, AR-GE ve insan kaynağına yatırım yaptıkları görülüyor (UNCTAD, 2023).

DYY'nin teknoloji transferi, tedarik zinciri entegrasyonu ve dış piyasalara erişimde önemli bir rol oynadığını hatırlamak da önemlidir. Fakat teknolojik dönüşüm, yükselen sanayi politikası ve jeopolitik gerilimlerin DYY'yi etkilediği görülüyor. Sıfırdan yatırımlarda stratejik sektörlerin payı artarken, yeniden şekillenen küresel tedarik zincirlerinin de etkisiyle diğerk sektörlerin payı azalıyor. Dahası, daha fazla kaynak harcayan gelişmiş ekonomilerin uluslararası yatırımları kendilerine çekmeye çalıştıkları görülüyor. Böyle bir konjonktürde, her şeyden önce, gelişmekte olan ülkeler stratejik bir önceliklendirmeye giderek yapısal dönüşüme destek verecek belirli sayıda aktiviteye odaklanmalı (UNCTAD, 2026). Ayrıca, sanayi politikası kapsamında sağlanacak teşvikler ülkenin yeteneklerine daha yakın, ancak yapısal dönüşüme yol açacak teknolojileri ve aktiviteleri hedeflemeli. Örneğin, teknolojik dönüşümün ihtiyaç duyduğu kritik minerallere ev sahipliği yapan ülkeler, mineral çıkarmanın ötesine geçerek daha katma değer yaratan arıtma, işleme ve malzeme üretme kapasitesini kurmayı sağlayacak yatırımları teşvik etmeli. Son olarak, yeşil dönüşümün ve YZ'nin giderek daha fazla kullanılması ile yeniden canlanan dijitalleşmenin ihtiyaç duyduğu altyapı yatırımlarını önceliklendirmek yalnızca dönüşümü hızlandırmakla kalmayacak aynı zamanda DYY'yi de teşvik edecek.

Bir Kaldıraç Olarak Teknolojik Dönüşüm

Uzun dönemli kişi başı gelir artışının temel itekleyicisi olan teknolojik ilerleme ekosistem dostu bir kalkınma için de büyük olanaklar sağlıyor. Yaratıcı yıkım sürecinin temelinde yatan yeni teknolojiler, eski teknolojiye dayalı faaliyetlerin daralmasına, bazı işletmelerin kapanmasına ve belirli mesleklerin istihdam kaybı yaşamasına neden oluyor. Tüm bu zorluklara rağmen, yeni teknolojiler yeni faaliyet kolları yaratarak, mevcut faaliyet kollarında genişlemeyi destekleyerek ve yeni işlerin ortaya çıkmasına aracılık ederek kalkınmaya destek oluyor. Teknolojik ilerleme verimlilik artışlarına kaynaklık ederek bir taraftan kişi başı gelir artışını sürüklerken, büyümeyi itekleyerek toplam istihdamın artmasına da destek oluyor.

Yeşil teknolojiler ise kalkınmanın ekosistem dostu olmasına katkı sağlıyor. Yeşil teknolojiler karbonsuzlaşma, daha verimli kaynak kullanımı ve atık azaltma yoluyla çevreyi korumaya ve ekosistemi onarmaya yardım ediyor. Kalkınma bankaları da hem yeşil hem de diğer teknolojilerin geliştirilmesini ve difüzyonunu finanse ederek ekosistem dostu kalkınmaya destek sunuyor.

Son Söz

Dijital teknolojilerin diğer teknolojilerle birleşmesiyle çok sayıda mal ve hizmetin dijitalleştiği ve dijital teknolojilere dayanan yeni ekonomik faaliyetlerin ortaya çıktığı dijitalleşme süreci devam ediyor. Fakat teknolojik dönüşüm temel dijital teknolojilerin ekonomide daha fazla kullanılmasının ötesine geçen bir dönüşümü kapsıyor. Büyük ölçüde temiz enerji teknolojilerinden oluşan yeşil teknolojiler sadece dijital teknolojiler ile sinerji yaratmakla kalmayıp başlı başına bir teknolojik yenilenmeyi temsil ediyor. Dahası, özellikle tarım ve imalat gibi faaliyet kollarında kullanılan ara girdiler ve sermaye malları dijital teknolojilerin ötesinde çok daha geniş bir teknolojik temele dayanıyor. Bu teknolojilerin geliştirilmesi ise Türkiye gibi çok sayıda gelişmekte olan ülke için önemli olmaya devam ediyor.

YZ ile dijitalleşmenin yeniden canlandığı fakat YZ modellerinin geliştirilmesinde, çipler gibi teknolojilerin üretiminde ve YZ altyapı yatırımlarında ciddi bir yoğunlaşma olduğu görülüyor. Bilgisayar ve internetten daha hızlı bir şekilde yayılan YZ'nin önemli istihdam kayıplarına yol açacağı endişesi yaygın bir şekilde dile getirilse de özellikle ÜYZ'den otomasyon yoluyla en çok etkilenebilecek istihdamın toplam küresel istihdam içindeki payının düşük bir seviyede olduğu görülüyor. Ayrıca, YZ'nin

hangi vadede ve ne ölçüde verimlilik artışlarına kaynaklık edeceği, hangi sayıda yeni görev ve iş yaratacağına ilişkin belirsizlik sürüyor. Bununla beraber, YZ'nin belirli işleri otomasyon yoluyla olumsuz etkileyebildiği ve bu durumun özellikle genç istihdamı üzerinde baskı oluşturduğu görülüyor. Bu nedenle beceri geliştirmeye odaklanan politikaların, içine dijital becerileri de alan ve teknolojik dönüşümün daha geniş kapsamıyla uyumlu beceriler kazandırmayı hedeflemesi gerekiyor. Yine genç ve kadın istihdamının desteklenmesi bu kesimler için oluşan riskleri en aza indirmek için önem teşkil ediyor.

YZ'nin dijital doğası ve daha önceki dijitalleşme dalgalarının üstüne gelmesi bu teknolojinin daha hızlı bir şekilde yayılmasını sağlıyor. Açık kaynak kodlu ve açık ağırlık modellerin kolaylıkla erişilebilir olması ise özellikle gelişmekte olan ekonomiler için ciddi fırsatlar sunuyor. Fakat YZ'ye erişimin kolay olması her işletmenin bu teknolojiyi kolaylıkla kullanabileceği anlamına gelmiyor. Teknolojilerin ekonomide anlamlı bir etkilerinin olması ancak yaygın kullanımları ile mümkün olduğundan, YZ'nin tarım, imalat, enerji ve hizmetlerde yaygınlaşmasını sağlayacak difüzyona yönelik politikaların tasarlanması ve uygulanması teknolojinin sunduğu potansiyelin gerçeğe dönüşmesinde kritik bir rol oynuyor.

Teknolojik dönüşümün geniş kapsamını göz önünde bulunduran difüzyona yönelik politikaların YZ dışındaki teknolojileri de hedeflemesi gerekiyor. Ortaya çıkmakta olan ileri teknolojileri belirleyip bunların firmalar tarafından erken bir şekilde kullanılmasını sağlayarak verimlilik artışları elde edilebilir ve daha kaliteli ürünler geliştirilebilir. Difüzyona yönelik politikalar, radikal teknolojiler geliştirmeye odaklanan politikalara eşlik ederek kademeli iyileştirmelere dayalı teknolojik ilerlemeye katkı sağlayabilir. Misyona yönelik politikaların da başta yeşil teknolojiler olmak üzere kritik ve stratejik teknolojileri geliştirmeye odaklanması önem taşıyor.

Sanayi politikalarının yükselmekte olduğu ve gelişmiş ekonomilerin geliştirmekte olan ekonomilere göre çok daha fazla kaynağı başta teşvikler yoluyla ileri teknolojilerin yerli üretimini desteklemek için kullandığı görülüyor. Bu durum DYY'de de karşılığını buluyor. Böyle bir konjunktürde, mali olanakları görece sınırlı olan geliştirmekte olan ekonomilerin stratejik bir önceliklendirmeye giderek, yapısal dönüşüm, sürdürülebilirlik ve dayanıklılığa katkı sunacak faaliyetleri teşvik edecek bir DYY politikası uygulamaları önem arz ediyor.

Kaynakça

Acemoglu, D., & Restrepo, P. (2018). The Race between Man and Machine: Implications of Technology for Growth, Factor Shares, and Employment. *American Economic Review*, 108(6), 1488-1542. <https://doi.org/10.1257/aer.20160696>

Acemoglu, D., & Restrepo, P. (2019). Automation and New Tasks: How Technology Displaces and Reinstates Labor. *The Journal of Economic Perspectives*, 33(2), 3-30.

Allen, J. S. (2026, Nisan 3). Monitoring AI Adoption in the US Economy. FEDS Notes. <https://www.federalreserve.gov/econres/notes/feds-notes/monitoring-ai-adoption-in-the-u-s-economy-accessible-20260403.htm>

Arias, O., Fukuzawa, D., Le, D. T., & Mattoo, A. (2025). Future Jobs: Robots, Artificial Intelligence, and Digital Platforms in East Asia and Pacific. World Bank. <https://hdl.handle.net/10986/43040>

Arthur, W. B. (2009). *The nature of technology: What it is and how it evolves*. Free Press.

Aşık, G., Hari, S., Özen, E. N., & Raju, D. (2026). Artificial Intelligence and Labor Market Adjustment in Türkiye: Exposure and Complementarity. <https://hdl.handle.net/10986/45297>

Avcıoğlu, C. (2021). Dönüşümün Anahtarı: Dijitalleşme ve Yeşil Teknolojiler. TSKB Ekonomik Araştırmalar. <https://tskb.com.tr/uploads/file/dijitallesme-ve-yesil-teknolojiler.pdf>

Baily, M. N., & Bosworth, B. P. (2014). US Manufacturing: Understanding Its Past and Its Potential Future. *Journal of Economic Perspectives*, 28(1), 3-25. JSTOR.

Barefoot, K., Curtis, D., Jolliff, W., Nicholson, J. R., & Omohundro, R. (2018). Defining and Measuring the Digital Economy [Working Paper]. Bureau of Economic Analysis.

Bick, A., Blandin, A., & Deming, D. (2024, Eylül 23). The Rapid Adoption of Generative AI. On the Economy. <https://www.stlouisfed.org/on-the-economy/2024/sep/rapid-adoption-generative-ai>

Brynjolfsson, E., Chandar, B., & Chen, R. (2025). Canaries in the Coal Mine? Six Facts about the Recent Employment Effects of Artificial Intelligence. https://digitaleconomy.stanford.edu/app/uploads/2025/12/CanariesintheCoalMine_Nov25.pdf

Bukht, R., & Heeks, R. (2017). Defining, Conceptualising and Measuring the Digital Economy (SSRN Scholarly Paper Sy. 3431732). Social Science Research Network. <https://doi.org/10.2139/ssrn.3431732>

Calvino, F., Costa, H., & Haerle, D. (2026). Digital technology diffusion in the age of AI: Cross-country evidence from microdata. *OECD Science, Technology and Industry Working Papers*, 2026(01). <https://doi.org/10.1787/ebc2debe-en>

Calvino, F., Criscuolo, C., Marcolin, L., & Squicciarini, M. (2018). A taxonomy of digital intensive sectors (Sy. 2018/14; *OECD Science, Technology and Industry Working Papers*). OECD Publishing.

<https://doi.org/10.1787/f404736a-en>

Calvino, F., Haerle, D., & Liu, S. (2025). Is Generative AI a General Purpose Technology? OECD Artificial Intelligence Papers. <https://doi.org/10.1787/704e2d12-en>

Carlsson, B., & Jacobsson, S. (1994). Technological systems and economic policy: The diffusion of factory automation in Sweden. *Research Policy*, 23(3), 235-248. [https://doi.org/10.1016/0048-7333\(94\)90036-1](https://doi.org/10.1016/0048-7333(94)90036-1)

Celik, S. K., Kose, M. A., Ohnsorge, F., & Ruch, F. U. (2023). Potential Growth: A Global Database (Policy Research Working Paper Sy. 10354). World Bank Group. <https://doi.org/10.1596/1813-9450-10354>

Chiang, J.-T. (1991). From 'mission-oriented' to 'diffusion-oriented' paradigm: The new trend of U.S. industrial technology policy. *Technovation*, 11(6), 339-356. [https://doi.org/10.1016/0166-4972\(91\)90017-X](https://doi.org/10.1016/0166-4972(91)90017-X)

DigiChina. (2017, Ağustos 1). Full Translation: China's "New Generation Artificial Intelligence Development Plan" (2017). Stanford University Cyber Policy Center. DigiChina. <https://digichina.stanford.edu/work/full-translation-chinas-new-generation-artificial-intelligence-development-plan-2017/>

East, D., & Kaspar, M. G. (2023, Ocak 19). The semiconductor chip crisis: How we got here. Industrial Analytics Platform. <https://iap.unido.org/articles/semiconductor-chip-crisis-how-we-got-here>

Ergas, H. (1986). Does Technology Policy Matter? (SSRN Scholarly Paper ID 1428246). Social Science Research Network. <https://papers.ssrn.com/abstract=1428246>

Evenett, S., Jakubik, A., Martín, F., & Ruta, M. (2024). The return of industrial policy in data. *The World Economy*, 47(7), 2762-2788. <https://doi.org/10.1111/twec.13608>

Frank, M. R., Sabet, A. J., Simon, L., Bana, S. H., & Yu, R. (2026). AI-exposed jobs deteriorated before ChatGPT (arXiv:2601.02554). arXiv. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2601.02554>

Gmyrek, P., Berg, J., Kamiński, K., Konopczyński, F., Ładna, A., Nafradi, B., Roślaniec, K., Troszyński, M., & International Labour Organization. Research Department. (2025). Generative AI and jobs: A refined global index of occupational exposure. ILO. <https://doi.org/10.54394/HETP0387>

Gordon, R. J. (2016). *The Rise and Fall of American Growth: The U.S. Standard of Living since the Civil War*. Princeton University Press.

Güven, B. (2026, Temmuz 30). Çin'de Yapay Zekâ Ve Akıllı Toplum: Kalkınma İle İstihdam Arasında. Katman Portal. <https://katmanportal.com/cinde-yapay-zeka-ve-akilli-toplum-kalkinma-ile-istihdam-arasinda/>

HAI. (2026). Artificial Intelligence Index Report 2026. Stanford Institute for Human Centered Artificial Intelligence. <https://hai.stanford.edu/ai-index/2026-ai-index-report>

IMF. (2025). *Industrial Policy: Managing Trade-Offs to Promote Growth and Resilience*. İçinde

World Economic Outlook, October 2025. International Monetary Fund. <https://doi.org/10.5089/9798229023948.081>

Juhász, R., Lane, N. J., Oehlsen, E., & Perez, V. C. (2025). Measuring Industrial Policy: A Text-Based Approach (NBER Working Paper Series Sy. 33895). NBER.

Massenkoff, M., & McCrory, P. (2026). Labor market impacts of AI: A new measure and early evidence. Anthropic. <https://www.anthropic.com/research/labor-market-impacts>

Mazzucato, M. (2013). The Entrepreneurial State: Debunking Public vs. Private Sector Myths. Anthem Press.

Mokyr, J. (1990). The lever of riches: Technological creativity and economic progress. Oxford University Press. (HC Stacks HC79.T4M648 1990).

Mowery, D. C. (2010). Military R&D and Innovation. İçinde Handbook of the Economics of Innovation (C. 2, ss. 1219-1256). North-Holland. [https://doi.org/10.1016/S0169-7218\(10\)02013-7](https://doi.org/10.1016/S0169-7218(10)02013-7)

Nvidia. (t.y.). What is Physical AI? NVIDIA. Geliş tarihi 08 Ağustos 2026, gönderen <https://www.nvidia.com/en-us/glossary/generative-physical-ai/>

OECD. (2019). Recommendation of the Council on Artificial Intelligence (OECD/LEGAL/0449). <https://legalinstruments.oecd.org/en/instruments/oecd-legal-0449>

OECD. (2024). Explanatory memorandum on the updated OECD definition of an AI system [OECD Artificial Intelligence Papers]. <https://doi.org/10.1787/623da898-en>

OECD. (2025). OECD Employment Outlook 2025: Can We Get Through the Demographic Crunch? OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/194a947b-en>

OECD. (2026a). OECD Employment Outlook 2026: Geographic Disparities in Jobs and Incomes. OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/7e710f54-en>

OECD. (2026b). Skills in the AI age [OECD Artificial Intelligence Papers]. <https://doi.org/10.1787/972bd15e-en>

Perez, C. (2010). Technological revolutions and techno-economic paradigms. Cambridge Journal of Economics, 34(1), 185-202.

Rungcharoenkitkul, P. (2026). The AI investment race (BIS Working Papers Sy. 1367). Bank for International Settlements.

Ruttan, V. W. (2006). Is war necessary for economic growth?: Military procurement and technology development. Oxford; New York: Oxford University Press.

SIA. (2025). State of the U.S. Semiconductor Industry. Semiconductor Industry Association. <https://www.semiconductors.org/wp-content/uploads/2025/07/SIA-State-of-the-Industry-Report-2025.pdf>

Smith, M. (2026, Şubat 9). Canaries, Interest Rates, and Timing: More on the Recent Drivers of Employment Changes for Young Workers. Stanford Digital Economy Lab. <https://>

digitaleconomy.stanford.edu/news/canaries-interest-rates-and-timing-a-more-on-recent-drivers-of-employment-changes-for-young-workers/

STB. (2025). 2030 Sanayi ve Teknoloji Stratejisi. T.C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı.

STB. (2026). Türkiye Yapay Zekâ Eylem Planı (2026-2030). T.C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı.

Tur, F. (2026). Sanayi ve İnsan: Yaşlanan Dünyada Kalkınmayı Yeniden Düşünmek. TSKB Ekonomik Araştırmalar. <https://www.tskb.com.tr/uploads/file/sanayi-ve-insan.pdf>

UNCTAD. (2018). Harnessing frontier technologies for sustainable development (2018) [Technology and Innovation Report]. United Nations.

UNCTAD. (2023). Opening green windows: Technological opportunities for a low-carbon world [Technology and Innovation Report]. https://unctad.org/system/files/official-document/tir2023_en.pdf

UNCTAD. (2025). Inclusive Artificial Intelligence for Development [Technology and Innovation Report]. UNCTAD.

UNCTAD. (2026). World Investment Report 2026: International Investment in a Turbulent Era. United Nations.

World Bank. (2026). World Development Report 2026: The Promise of Artificial Intelligence. The World Bank. <https://www.worldbank.org/en/publication/wdr2026>



Ekonomik Araştırmalar
ekonomikarastirmalar@tskb.com.tr

Meclisi Mebusan Caddesi No. 81
Fındıklı İstanbul 34427, Türkiye
T: +90 (212) 334 50 41 F: +90 (212) 334 52 34

TSKB Ekonomik Araştırmalar ürünlerine ulaşmak için aşağıdaki karekodu kullanabilirsiniz:



Dr. Burcu Ünüvar, SCR

Direktör
Başekonomist

unuvarb@tskb.com.tr

Dr. Feridun Tur, SCR

Ekonomik Araştırmalar Müdürü

turf@tskb.com.tr

Can Hakyemez

Ekip Lideri
Enerji ve Kaynak Araştırmaları

hakyemec@tskb.com.tr

Dr. Buket Alkan

Ekip Lideri
Kalkınma Ekonomisi

alkanb@tskb.com.tr

şenay Akyıldız

Kıdemli Yönetici
Kalkınma Ekonomisi

akyildizs@tskb.com.tr

Cem Avcioğlu, SCR

Yönetici
Kalkınma Ekonomisi

avciogluc@tskb.com.tr

Dr. Emre Aylar

Yönetici
Makroekonomi ve Finansal Piyasalar

aylare@tskb.com.tr

Onur Salttürk, CFA

Yönetici
Makroekonomi ve Finansal Piyasalar

saltturko@tskb.com.tr

Dr. Barış Güven

Yönetici Yardımcısı
Kalkınma Ekonomisi

guvenb@tskb.com.tr

Başak Toprakcı, SCR, CCI

Uzman
Kalkınma Ekonomisi

toprakcib@tskb.com.tr

Ezgi İpek Koçlu

Uzman
Enerji ve Kaynak Araştırmaları

ipeke@tskb.com.tr



Türkiye Sınai Kalkınma Bankası
www.tskb.com.tr

T: +90 212 334 50 50 F: +90 212 334 52 34

E: info@tskb.com.tr

