GELİŞMEKTE OLAN ÜLKE SANAYİLERİNİN İKİZ DÖNÜŞÜMÜ

ASO ve TTGV'den COP31'e Çağrı

Kasım 2026

COP31 TÜRKİYE ANTALYA



Ankara Sanayi Odası

TTGV
TÜRKİYE TEKNOLOJİ GELİŞTİRME VAKFI

İçindekiler

ASO SUNUŞU **4**

TTGV SUNUŞU **10**

ASO ve TTGV'den COP31'e Çağrı **14**

1. Giriş 24
2. Sanayinin Hiç Azalmayacak Önemi 26
3. Dünya Sanayisinin Durumu ve Gelişmekte Olan Ülke Sanayilerinin Mevcut Genel Durumu 29
4. Sanayinin Önündeki Zorluklar ve Fırsatlar 32
5. İklim Değişikliği: Genel Görünüm 37
6. İklim Değişikliğinin Sanayi Üzerindeki Etkileri 40
7. COP Toplantılarında Bugüne Kadar Sanayi ve Gelişmekte Olan Ülke Sanayileri ile İlgili Alınmış Kararların Özeti 44
8. Dijital Dönüşüm ve Yapay Zekâ 49
9. Dijital Dönüşüm ve Yapay Zekânın Sanayiye Etkileri 51
10. İkiz ve Üçüz Dönüşüm Kavramları 56
11. Endekslerden Bir Okuma: Gelişmekte Olan Ülkelerin Geride Kaldığı Alanlar 58
12. Gelişmekte Olan Ülkeler İçin İkiz Dönüşüm: Ama Nasıl? 61

EKLER **67**

Ek 1: Sanayinin İkiz Dönüşümü İçin Teknolojiler **67**

1. İkiz Dönüşümün Teknoloji Boyutu: Kavramsal Çerçeve 67
2. Sanayinin İkiz Dönüşümü İçin Teknolojiler 69
   I. Ana Taksonomi — Kaldıraç ve Etkinleştiriciler 69
   II. Karbonsuzlaştırılması Zor Sektörler 73

Ek 2: Gelişmekte Olan Ülkeler Bağlamı **75**

Ek 3: Türkiye Örneği — Sanayinin İkiz Dönüşümünde Bir Köprü Deneyimi **77**

1. Genel Tanıtım 77
2. Güncel Gelişmeler 77
3. Beş Boyutta Türkiye 79
4. Türkiye'nin Avantajları 82

Ek 4: ASO (Ankara Sanayi Odası) **86**

1. ASO'nun Kimliği ve Ankara Sanayisindeki Yeri 86
2. Ankara'nın Sanayi Örüntüsü: Teknoloji ve Ar-Ge Odaklı Üretim 86
3. İkiz Dönüşüm Alanındaki Çalışmaları 88

Ek 5: TTGV (Türkiye Teknoloji Geliştirme Vakfı) Programları ve Yaklaşımı **94**

1. TTGV'nin Kimliği ve Yaklaşımı 94
2. TTGV'nin Program Yaklaşımı ve Araçları 95

Kaynakça **97**

Kısaltmalar **106**

ASO SUNUŞU



Biz sanayiciler, yıllar süren emekle kurulan üretim kapasitesini kaybettikten sonra yeniden kazanmanın ne kadar zor olduğunu çok iyi biliyoruz. İklim değişikliği ve dijitalleşmenin sanayiyi birlikte dönüştürdüğü bu dönemde, üretim gücümüzü korumalı ve teknolojik yetkinliklerimizi geliştirmeliyiz. Türkiye'nin COP31'e ev sahipliği yapmasını, bu yönde somut iş birlikleri ve destek mekanizmaları geliştirmek için önemli bir fırsat olarak görüyoruz.



Seyit ARDIÇ

Ankara Sanayi Odası
Yönetim Kurulu Başkanı

Ankara Sanayi Odası

Bugün gelişmekte olan ülkeler, iklim değişikliğinin üretim ve altyapı üzerindeki etkileriyle mücadele ederken yeni pazar koşullarına ve teknoloji gerekliliklerine de uyum sağlamaya çalışıyor. Bu ülkelerin önünde ciddi bir risk bulunuyor. Temiz üretim standartları yükselirken finansman ve teknolojiye erişim güçlükleri aşılamazsa, işletmeler ihracat pazarlarını ve rekabet güçlerini kaybeder. Yapay zekâ ve ileri üretim teknolojilerinin az sayıda ülkede ve şirkette yoğunlaşması da teknolojik

bağımlılığı derinleştirir. Bu durum, gelişmekte olan ülkelerin düşük katma değerli üretime sıkışmasına, sanayilerini yüksek teknolojiyle geliştirme fırsatını kaybetmesine ve ülkeler arasındaki kalkınma farklarının büyümesine yol açar.

Bu nedenle yeşil ve dijital dönüşümün uluslararası gündeminde, gelişmekte olan ülkelerin üretme ve teknoloji geliştirme imkânlarını genişletmek öncelikli olmalıdır. Ankara Sanayi Odamızın Türkiye Teknoloji Geliştirme Vakfı (TTGV) ile birlikte hazırladığı bu yayınla, sanayinin dönüşümünde daha adil ve uygulanabilir bir yolun geliştirilmesine katkı sunmayı amaçlıyor ve COP31 katılımcılarına çağrıda bulunuyoruz.

Çalışmamız, sanayinin dünyadaki mevcut durumundan hareketle iklim değişikliği, dijitalleşme ve yapay zekânın üretim üzerindeki etkilerini ele alıyor. Gelişmekte olan ülkelerin teknolojiye, finansmana ve altyapıya erişimindeki güçlükleri değerlendirerek dönüşüm için izlenebilecek yolları tartışıyor. Türkiye'nin deneyimi, dönüşümü destekleyen teknolojiler ve ASO ile TTGV'nin uygulamaları bu değerlendirmeleri somutlaştırıyor. Bu çerçevede gelişmekte olan ülke sanayileri için birbirini tamamlayan iki hedefi öne çıkarıyoruz. Mevcut sanayiyi daha temiz, verimli ve dayanıklı bir yapıya dönüştürürken bu dönüşümü sağlayacak teknolojileri üretecek kapasiteyi de geliştirmeliyiz. Gelişmekte olan ülkelerin teknolojiyi öğrenen, kendi ihtiyaçlarına uyarlayan, geliştiren ve dünya pazarlarına sunan bir konuma ulaşması için ortak araştırma ve üretim imkânlarını artırmalıyız.

İkiz dönüşümün gücü, çevresel hedeflerle teknolojik ilerlemeyi aynı üretim stratejisinde buluşturmasından geliyor.

İkiz dönüşümün gücü, çevresel hedeflerle teknolojik ilerlemeyi aynı üretim stratejisinde buluşturmasından geliyor. Ancak yeni bir yazılımın veya makinenin edinilmesi tek başına yeterli olmuyor. İşletmenin ihtiyacına uygun çözümün seçilmesi, güvenilir verinin oluşturulması, çalışanların becerilerinin geliştirilmesi ve sonuçların izlenmesi gerekiyor. Dijitalleşmenin enerji tüketimi ve kaynak kullanımı üzerindeki etkilerini de hesaba katarak teknolojiyi ölçülebilir çevresel ve ekonomik kazanımlara yönlendirmeliyiz. Çalışanlarımızın yeni beceriler edinmesini sağlayan eğitim ve uygulamalı öğrenme imkânları, bu sürecin ayrılmaz bir parçası olmalı.

Ankara Sanayi Odası olarak üyelerimizin günlük ihtiyaçlarından hareketle geleceğin üretim şartlarına hazırlanmalarını destekliyoruz.

Ankara Sanayi Odası olarak üyelerimizin günlük ihtiyaçlarından hareketle geleceğin üretim şartlarına hazırlanmalarını destekliyoruz. Sahadan aldığımız bilgiyi araştırmalarımızla derinleştiriyor, politika önerilerine ve uygulama programlarına dönüştürüyoruz. Karbon düzenlemelerine uyum, çevresel performansın ölçülmesi, verimlilik ve nitelikli insan kaynağı alanlarındaki çalışmalarımızı bu anlayışla yürütüyoruz. Üniversiteler, teknoloji geliştiriciler, kamu kurumları ve finans kuruluşları arasında iş birliğini güçlendirerek sanayicimizin ihtiyaç duyduğu bilgi ve araçlara erişimini kolaylaştırmayı hedefliyoruz. Yeşil ve dijital dönüşümün işletmelerimizin günlük kararlarına ve üretim kültürüne yerleşmesi için çalışıyoruz.

TTGV ile iş birliğimiz, sanayicinin ihtiyacını teknoloji geliştirme ve yenilikçilik birikimiyle buluşturuyor. Ankara Kalkınma Ajansının da ortak olduğu Eko-Üretim Dönüşüm Programı, firmaların ihtiyaçlarının belirlenmesinden projelendirmeye ve yatırıma hazırlığa uzanan bu yaklaşımın somut bir örneği. Birlikte hazırladığımız bu yayın da aynı anlayıştan doğuyor. Araştırma bulgularının kamu politikalarına, yatırım kararlarına ve işletmelerde uygulanabilecek çözümlere katkı sunmasını istiyoruz.

Türkiye'nin sanayi deneyimi, mühendislik birikimi ve kurumsal iş birliği kapasitesiyle ülkeler arasında ortak öğrenmeye

katkı sağlayabileceğine inanıyoruz. Kendi kazanımlarımızı ve karşılaştığımız güçlükleri paylaşırken diğer ülkelerin deneyimlerinden de yararlanabiliriz. Gelişmekte olan ülkelerin birbirini tamamlayan yeteneklerini ortak projelerde buluşturması, teknolojiye erişimi kolaylaştıracak ve daha geniş bir üretici kesiminin dönüşüme katılmasını destekleyecektir.

COP31'de bu anlayışı uluslararası paydaşlarla paylaşacağız. Yeşil Bölge'deki ASO standımızda Altın Seviye Yeşil OSB Belgesi'ne sahip ASO 2. Organize Sanayi Bölgemiz, Dünya Teknoparklar Birliği üyesi ASO Teknoparkımız, ASO Model Fabrikamız, Mesleki Test ve Sertifikalandırma Merkezimiz (ASO METES), Nükleer Sanayi Kümelenmemiz (ASO NÜKSAK) ile çalışmalarımızı tanıtıp yeni iş birlikleri geliştireceğiz. ASO Teknoloji Üssü ve ASO Serbest Bölgesi projelerimizi uluslararası yatırımcılara sunarak yeni ortaklıklar geliştirmeyi hedefliyoruz. Mavi Bölge'deki Türkiye Pavyonu'nda, 16 Kasım Bilim, Sanayi ve Teknoloji Günü kapsamında TTGV ile birlikte düzenleyeceğimiz etkinlikte sanayide yeşil ve dijital dönüşümü ele alacağız. ASO NÜKSAK aracılığıyla gerçekleştireceğimiz panelde ise nükleer enerjinin arz güvenliği ve temiz enerji dönüşümündeki rolünü değerlendireceğiz.

Buradan COP31'de bir araya gelen liderlere ve karar alıcılara da açık bir çağrıda bulunmak istiyorum: İklim hedeflerine ilerlerken ülkeler arasındaki teknoloji ve kalkınma farklarını azaltmaya çalışalım.

Buradan COP31'de bir araya gelen liderlere ve karar alıcılara da açık bir çağrıda bulunmak istiyorum: İklim hedeflerine ilerlerken ülkeler arasındaki teknoloji ve kalkınma farklarını azaltmaya çalışalım. Uzun vadeli ve erişilebilir iklim finansmanını, KOBİ'lerin de yararlanabileceği somut yatırım imkânlarına dönüştürelim. Ortak Ar-Ge, pilot uygulama ve üretim programlarıyla teknolojik yetkinlikleri daha fazla ülkeye yayalım. COP31'in kalıcı mirası, gelişmekte olan ülkelerin temiz üretim ve teknoloji geliştirme kapasitesini güçlendirecek finansman ve teknoloji ortaklıkları olsun. Ankara Sanayi Odası olarak sanayicilerimizin birikimi ve kurumsal iş birliği kapasitemizle bu ortak çabaya katkı sunmaya hazırız.

Ankara Sanayi Odası olarak sanayicilerimizin birikimi ve kurumsal iş birliği kapasitemizle bu ortak çabaya katkı sunmaya hazırız.

Bu çalışmayı birlikte hazırladığımız TTGV'ye ve emeği geçen herkese teşekkür ediyor, yayınımızın sanayinin ikiz dönüşümünde yol gösterici olmasını ve yeni uluslararası iş birliklerinin önünü açmasını temenni ediyorum.

TTGV SUNUŞU



İklim hedeflerine ulaşmak için ihtiyaç duyduğumuz teknolojilerin önemli bir bölümü bugün biliniyor. Asıl güçlük, bu teknolojileri fikirden sahaya, laboratuvardan gerçek üretim koşullarına taşıyacak mekanizmaların yeterince kurulamamış olmasında. Kâğıt üzerinde çalışan bir çözüm, ilk uygulamasını yapacak bir işletme, ilk riski üstlenecek bir kaynak ve sonuçlarından öğrenecek bir ekosistem bulamadığında etki üretemiyor. İklim değişikliği ve dijitalleşme sanayiyi birlikte dönüştürürken teknolojiyi geliştirmek kadar, onu faydaya dönüştürmek de öncelik olmalı.

Bu açık en çok gelişmekte olan ülkelerde hissediliyor. Bu ülkelerin sanayileri bir yandan iklim değişikliğinin etkilerine ve yeni düzenlemelere uyum sağlamaya çalışıyor, bir yandan da teknolojiye erişimde ve teknolojiyi üretmede ciddi sınırlarla karşılaşıyor. Yapay zekâ, ileri üretim ve temiz enerji teknolojilerinin az sayıda ülkede yoğunlaşması, gelişmekte olan ülkeleri teknolojiyi yalnızca satın



Değerhan USLUEL

Türkiye Teknoloji Geliştirme Vakfı
Yönetim Kurulu Başkanı

TTGV
TÜRKİYE TEKNOLOJİ GELİŞTİRME VAKFI

alan, kendi ihtiyacına göre uyarlayıp geliştiremeyen bir konuma itme riski taşıyor.

Uluslararası gündemde, gelişmekte olan ülkelerin teknoloji geliştirme ve uygulama kapasitesini güçlendirmeye daha fazla yer verilmeli.

Bu nedenle uluslararası gündemde, gelişmekte olan ülkelerin teknoloji geliştirme ve uygulama kapasitesini güçlendirmeye daha fazla yer verilmeli. Türkiye Teknoloji Geliştirme Vakfı (TTGV) olarak Ankara Sanayi Odası (ASO) ile birlikte hazırladığımız bu yayınla, sanayinin ikiz dönüşümüne ilişkin daha adil ve uygulanabilir bir yolun geliştirilmesine katkı sunmayı ve COP31 katılımcılarına çağrıda bulunmayı amaçlıyoruz.

Çalışmamız, iklim değişikliği ve dijital dönüşümün sanayi üzerindeki etkilerinden hareketle gelişmekte olan ülkelerin karşı karşıya olduğu yapısal güçlükleri ele alıyor. Mevcut sanayinin daha temiz, verimli ve dayanıklı hâle gelmesini sağlarken bu dönüşümü mümkün kılacak teknolojileri üretebilecek yerel kapasiteyi de kurmanın gerekli olduğunu savunuyor. Türkiye'nin deneyimi, dönüşümü destekleyen teknolojiler ve ASO ile TTGV'nin uygulamaları bu değerlendirmeleri somutlaştırıyor.

TTGV, 1991'den bu yana Türk sanayisinin Ar-Ge ve teknolojik inovasyon yetkinliğini güçlendirmek için çalışıyor. Otuz beş yılı aşan birikimimizle öncelikli teknolojileri belirliyor, ilk riski üstleniyor, türünün ilk örneği olabilecek demonstrasyon projelerini hayata geçiriyor ve ortaya çıkan bilgiyi ekosistemle paylaşıyoruz. İhtiyacı tanımlayan, çözümü birlikte geliştiren ve geliştirilen çözümün ilk kullanıcılarından biri olan bir kuruluş olarak teknolojiyi raftan sahaya indirmenin yolunun, doğru ihtiyaçla doğru teknolojiyi ve doğru ortağı bir araya getirmekten geçtiğine inanıyoruz.

Sanayi odalarının işletmelerle kurduğu yakın bağ ile teknoloji geliştirme birikiminin birleşmesi bu yaklaşımı güçlendiriyor. ASO ve Ankara Kalkınma Ajansı ile birlikte yürüttüğümüz Eko-Üretim Dönüşüm Programı, firmaların ihtiyaçlarının belirlenmesinden projelendirmeye ve yatırıma hazırlığa uzanan bu bütünlüğün somut bir örneği. Elinizdeki yayın da aynı anlayıştan doğuyor.

TTGV, Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (UNFCCC) nezdinde akredite gözlemci kuruluş olarak COP31'de yoğun bir programla yer alacak. 11 Kasım'da Mavi Bölge'de Türkiye Pavyonu'nda, Brezilyalı CGEE ile birlikte, iklim teknolojilerinin uygulanmasındaki açığın kapatılmasını Türkiye ve Brezilya deneyimleri ile Belém Teknoloji Uygulama Programı çerçevesinde ele alacağız; aynı içerikli oturum 19 Kasım'da Mavi Bölge'de UNFCCC'nin resmî yan etkinlik programında da yer alacak. 16 Kasım'da Mavi Bölge'de Türkiye Pavyonu'nda, ASO'nun düzenlediği ve ortağı olduğumuz panelde sanayinin yeşil ve dijital dönüşümünü tartışacağız. 16 Kasım'da Yeşil Bölge'de AFAD standında iklim teknolojilerine ilişkin perspektifimizi afet bağlamında paylaşacağız. 19 Kasım'da Yeşil Bölge'deki TSKB Pavyonu'nda düzenlenecek "Ekosistem Dostu Kalkınma İçin Teknoloji ve Sanayi" panelinde konuşmacı olarak yer alacağız.

COP31'de bir araya gelen liderlere ve karar alıcılara şu çağrıda bulunmak istiyorum: İklim teknolojilerini yalnızca geliştirilmesi gereken değil, uygulanması ve yaygınlaştırılması gereken çözümler olarak ele alalım.

COP31'de bir araya gelen liderlere ve karar alıcılara şu çağrıda bulunmak istiyorum: İklim teknolojilerini yalnızca geliştirilmesi gereken değil, uygulanması ve yaygınlaştırılması gereken çözümler olarak ele alalım. İlk riski üstlenecek, demonstrasyon projelerini destekleyecek ve elde edilen bilgiyi paylaşacak mekanizmaları güçlendirelim. Gelişmekte olan ülkelerin teknolojiyi öğrenen, uyarlayan ve üreten bir konuma ulaşmasını COP31'in öncelikleri arasına koyalım. TTGV olarak bu ortak çabaya otuz beş yılı aşan teknoloji geliştirme deneyimimizle katkı sunmaya hazırız.

Teknolojiyi raftan sahaya indirmek ancak birlikte çalışarak mümkün olur. Bu çalışmayı birlikte hazırladığımız Ankara Sanayi Odası'na ve emeği geçen herkese teşekkür ediyor, COP31'de bu yönde atılacak adımlara katkı sunmayı umuyoruz.

ASO VE TTGV'DEN COP31'E ÇAĞRI



Gelişmekte olan ülke sanayileri, yeşil ve dijital dönüşümün birleştiği ikiz dönüşümün öznesi mi olacak, yoksa nesnesi mi kalacaktır?

Sanayi, özellikle imalat sanayi, tarihsel olarak yapısal dönüşümün ve kalkınmanın taşıyıcısı olmuştur; Ar-Ge harcamalarında lokomotif, istihdamda öncü, gelişmekte olan ülkelerin ihracatında başlıca kanaldır. Sanayi, kalkınma için tek başına yeterli olmamakla birlikte, bir kez kaybedildiğinde yeniden kazanılması oldukça güç bir kapasitedir.

Sanayi, kalkınma için tek başına yeterli olmamakla birlikte, bir kez kaybedildiğinde yeniden kazanılması oldukça güç bir kapasitedir.

Bugün bu tablo yeni bir gerilimle karşı karşıyadır. Büyük ekonomiler dış katma değere bağımlılıklarını azaltarak tedarik zincirlerini kendi bölgelerine çekmekte; küreselleşme yer yer yavaşlamakta, bazı alanlarda tersine dönmektedir. Ülkeler gıda, enerji, kritik hammaddeler, yarı iletkenler ve sağlık ürünleri gibi stratejik sektörlerde dışa bağımlılıklarını azaltmaya yönelirken, sanayisizleşmiş zengin toplumlarda da yeniden sanayileşme isteği güçlenmektedir. Bu eğilimden gelişmekte olan ülkeler eşit biçimde pay almamaktadır. Büyük oranda emtia bağımlısı olan ve sanayisini çeşitlendirememiş ekonomiler bu büyümeden görece daha az yararlanmaktadır. Sanayileşme giderek az sayıda ülkede yoğunlaşmakta, geri kalan gelişmekte olan dünya ise emtia bağımlılığı ve zayıf dijital altyapısıyla daralan bu fırsatın dışında kalma riskiyle karşı karşıya kalmaktadır.

Bu daralmanın ötesinde, sanayinin rekabetçiliğini önümüzdeki on yıllarda yeniden tanımlayacak üç büyük baskı yatmaktadır: iklim değişikliği, dijital dönüşüm/yapay zekâ ve küresel şokların yol açtığı jeopolitik-ekonomik kırılganlık. Sanayiye girdi sağlayan hammadde tedariki de bu kırılganlığın bir başka boyutunu oluşturmaktadır. Özellikle kritik metal ve minerallerde arz az

Enerji üretiminin coğrafyası da bu süreçte yeniden şekillenmektedir: fosil yakıt zenginliğinin belirlediği eski harita, yerini giderek kritik mineral ve yenilenebilir kaynak zenginliğinin belirlediği yeni bir haritaya bırakmaktadır.

sayıda ülkenin elinde yoğunlaşmıştır. Enerji üretiminin coğrafyası da bu süreçte yeniden şekillenmektedir: fosil yakıt zenginliğinin belirlediği eski harita, yerini giderek kritik mineral ve yenilenebilir kaynak zenginliğinin belirlediği yeni bir haritaya bırakmaktadır. Otomasyon ve robotlaşma, özellikle ihracata dayalı, düşük maliyetli ve iş gücü yoğun imalat stratejisi izleyen gelişmekte olan ülke sanayilerinde istihdam üzerinde belirgin bir daralma yaratmaktadır.

İklim değişikliği ile dijital dönüşüm/yapay zekâ baskıları ise, jeopolitik kırılganlıktan farklı olarak, birbirinden bağımsız iki ayrı gündem olmaktan çıkıp zaman içinde iç içe geçmiştir. Yapay zekâ, sanayi için hem dekarbonizasyonun bir aracı hem de yeni bir emisyon kaynağıdır. Gelişmekte olan ülkeler için bu ikili baskı aynı anda hem bir fırsat hem de bir risk taşımaktadır.

İklim değişikliği, sıcaklık ve yağış ortalamaları, aşırı hava olayları, deniz seviyesi, buzullar ve okyanus koşullarında onlarca yıl veya daha uzun süre boyunca gözlenen değişimleri ifade eder. İnsan faaliyetleri kaynaklı ısınma artık geleceğe ait bir öngörü değil, bugün gözlemlenen ve üretim sistemlerini (tarımdan sanayiye) fiilen dönüştürmeye başlamış bir olgudur. Önümüzdeki on yılın en kritik riski olarak aşırı hava olayları, hemen ardından ise biyoçeşitlilik kaybı ve ekosistem çöküşü öne çıkmaktadır.

Yüksek gelirli ülkeler ile Çin dışarıda bırakıldığında, geri kalan gelişmekte olan ülkelerin küresel yıllık emisyondaki payı yaklaşık %45, tarihsel/birikimli CO_2 emisyonlarındaki payı ise yaklaşık %29 düzeyindedir. Bu oranlar, farklı veri setleri ve dönemlerden (yıllık sera gazı ile kümülatif CO_2) türetilmiş yaklaşık hesaplardır ve birbiriyle doğrudan karşılaştırılmamalıdır (CGD/Our World in Data, 2022 verisi; Global Carbon Project/Our World in Data, 2025). Buna karşın bu ülkeler hem iklim değişikliğinin sonuçlarından orantısız biçimde etkilenmekte hem de dönüşümün kilit teknolojilerine sınırlı erişime sahip olmaktadır. Bu durum çifte bir adaletsizlik yaratmaktadır. Bugün bazı ülkeler ise iklim rejiminden geri adım atmakta, kendi rekabetçiliğini korumak ya da artırmak amacıyla sorumluluk üstlenmekten kaçınma eğilimi göstermektedir.

İklim değişikliği sanayiyi iki ayrı kanaldan etkilemektedir: fiziksel riskler ve geçiş riskleri. Fiziksel riskler, aşırı hava olayları ve iklimsel stres etkenlerinin üretim tesislerine, altyapıya ve tedarik zincirlerine doğrudan verdiği zarardan kaynaklanır. Sıcaklık stresi ayrıca iş gücünü ve üretkenliği de doğrudan tehdit etmektedir. Geçiş riskleri ise düşük karbonlu ekonomiye geçiş sürecinde ortaya çıkan karbon fiyatlandırması, düzenlemeler ve pazar değişikliklerinden doğar; bu riskler özellikle karbon yoğun ihracat sektörlerine sahip gelişmekte olan ülkelerde yoğunlaşmaktadır.

Karbonsuzlaştırılması zor sektörler için dönüşüm artık bir tercih değil, pazara erişimin ön koşulu hâline gelmiştir.

Bunların ötesinde, daha dağınık ama en az onlar kadar bağlayıcı bir baskı da piyasalardan ve uluslararası düzenlemelerden gelmektedir. Başta Avrupa Birliği olmak üzere çeşitli pazarlar düşük karbonlu ürün talep etmeye yönelmektedir. Bu eğilim, büyük alıcı şirketlerin iklim taahhütlerini, gelişmekte olan ülkelerdeki üreticiler de dahil olmak üzere tedarikçilerine yönelik doğrudan bir karbonsuzlaşma baskısına dönüştürmektedir. Karbonsuzlaştırılması zor sektörler için dönüşüm artık bir tercih değil, pazara erişimin ön koşulu hâline gelmiştir. Aynı süreç, temiz enerji teknolojileri üretiminde de yeni bir sanayi alanı açmaktadır. Ancak bu alan bugün az sayıda ülkede yoğunlaşmış durumdadır. Bu da yeşil sanayinin gelişmekte olan ülkeler için hızla daralan bir fırsat penceresi sunduğu anlamına gelmektedir.

Bu gelişmeler, iklim değişikliğinin ve düşük karbonlu geçişin her ülkenin sanayisini aynı ölçüde etkilemeyeceğini ortaya koymaktadır. Aynı küresel sıcaklık artışı, sanayi üzerindeki risklerin ülkeler arasında yapısal olarak eşitsiz dağılmasına yol açmaktadır:

bazı ülkeler için asıl tehdit fiziksel riskler (altyapı ve üretim kaybı), bazıları için geçişe bağlı riskler (ihracat geliri kaybı) iken kimi ülkeler için kritik hammadde varlığı ve yenilenebilir enerji potansiyeli üzerinden yeni fırsatlar yaratabilmektedir.

COP sürecinde sanayi ve gelişmekte olan ülke sanayileriyle ilgili birikim, büyük ölçüde "kim taahhüt eder, kim destekler" sorusu etrafında şekillenmiş bir dizi mekanizmadan oluşmaktadır.

COP sürecinde sanayi ve gelişmekte olan ülke sanayileriyle ilgili birikim, büyük ölçüde "kim taahhüt eder, kim destekler" sorusu etrafında şekillenmiş bir dizi mekanizmadan oluşmaktadır. Bu birikimin temelinde Sözleşme'nin "ortak ama farklılaştırılmış sorumluluklar" ilkesi yer alır: gelişmekte olan ülkelerin taahhütleri gelişmiş ülkelerin finansman ve teknoloji desteğine bağlanmış, kalkınma bu ülkeler için öncelik olarak tanınmıştır. Kyoto Protokolü bu farkı bağlayıcı hâle getirmiş, yalnızca gelişmiş ülkelere sayısal hedef yüklerken gelişmekte olan ülkeleri Temiz Kalkınma Mekanizması üzerinden projelere dahil etmiştir. Ancak bu mekanizma, niceliksel olarak geniş bir uygulama alanına ulaşmasına rağmen, faydaların birkaç ülkede yoğunlaştığı dar tabanlı bir sonuç üretmiştir. Paris Anlaşması, bu yukarıdan-aşağıya yapıyı terk ederek her ülkenin kendi hedefini belirlediği, farklılaşmanın daha yumuşak ifadelerle korunduğu bir sisteme geçmiş; karbon piyasası maddesinin uygulama kuralları uzun süren tartışmaların ardından tamamlanarak sanayi projelerinin uluslararası karbon kredisi üretmesinin önünü açmıştır.

Sanayiye özgü somut girişimler, küresel emisyonların büyük kısmından sorumlu başlıca sektörleri kapsayan geniş katılımlı bir "atılım" koalisyonu ile kamu alımlarında düşük emisyonlu çelik ve çimento kullanımını hedefleyen bir sanayi karbonsuzlaştırma girişimiyle başlamıştır. Uzun süredir bekleyen kayıp ve zarar talebi de karşılık bulmuş; iklim afetlerinin -üretim tesisleri ve altyapı dahil- yol açtığı zararları karşılamak üzere bir fon kurulmuş ve işlevsel hâle getirilmiştir, ancak toplanan taahhütler ihtiyacın gerisinde kalmıştır. Aynı dönemde enerji sistemlerinde fosil yakıtlardan uzaklaşma yönünde kapsamlı bir çağrı yapılmış, yenilenebilir enerji ve verimlilik hedefleri netleşmiştir.

İklim finansmanı tarafında yetersiz bulunan eski taahhüt düzeyinin yerini daha yüksek bir taban ve çok daha büyük, bağlayıcı olmayan bir toplam hedef almıştır. Uluslararası Sendikalar Konfederasyonu'na göre işçi ve sendikalara resmî bir rol tanıyan bir "adil dönüşüm" mekanizması kurulmuş, ama bütçesi henüz belirsizdir. Uyum finansmanının artırılması kabul edilmiş olsa da bu artış gelişmekte olan ülkelerin ihtiyacının ancak bir kısmını karşılamaktadır. Buna karşılık gelişmekte olan ülkelerin özellikle talep ettiği bir düzenleme (tek taraflı sınırda karbon düzenlemelerine karşı doğrudan bir itiraz mekanizması) nihai metne girememiş, yerine yalnızca düzenli diyalog toplantıları kararlaştırılmıştır.

Türkiye'nin ev sahipliğindeki COP31, bugüne kadar dağınık kalan bütün bu girişimleri "yeşil sanayileşme" önceliği altında daha tutarlı bir bütün hâline getirme potansiyeli taşımaktadır.

OECD ve IEA'nın değerlendirmesine göre, yalnızca çelik ve çimento sektörlerindeki sıfıra yakın emisyonlu teknolojilere önümüzdeki on yılda küresel ölçekte en az 500 milyar dolar yatırım gerekmekte, bunun büyük bölümünün gelişmekte olan ve yükselen ekonomilere yönlendirilmesi gerekmektedir (OECD ve IEA, 2025); ancak bugüne kadarki destek bu ihtiyacın gerisinde kalmıştır. Türkiye'nin ev sahipliğindeki COP31, bugüne kadar dağınık kalan bütün bu girişimleri "yeşil sanayileşme" önceliği altında daha tutarlı bir bütün hâline getirme potansiyeli taşımaktadır.

Dijital dönüşüm, nesnelerin interneti, büyük veri, bulut bilişim, otomasyon ve robotik gibi bileşenleri içeren (sanayi bağlamında Endüstri 4.0 olarak da adlandırılan) bir teknolojik dönüşüm sürecidir. Bu sürecin en yeni ve en dönüştürücü dalgası, 2022 sonrasında hız kazanan yapay zekâdır; yatırımların boyutu ve benimsenme hızı çarpıcıdır. Ancak bu dönüşüm de eşit yayılmamaktadır. Küresel kurumsal Ar-Ge harcamalarının %40'ı, esas olarak ABD ve Çin

merkezli yalnızca 100 şirket tarafından yapılırken, büyük ölçüde Küresel Güney'de yer alan 118 ülke başlıca yapay zekâ yönetişimi tartışmalarının tamamen dışında kalmaktadır (UNCTAD, 2025c).

Teknolojiye erişim, onu etkin biçimde kullanacak veri yönetişimi, iş akışı tasarımı ve kurumsal kapasite olmadan kendiliğinden bir verimlilik artışına dönüşmemektedir.

İkinci büyük baskı olan dijital dönüşüm ve yapay zekânın sanayi üzerindeki etkisi de iklim değişikliğinde olduğu gibi tek yönlü değil çok boyutludur ama buradaki ayrışma ekseni iklimden farklıdır. Asıl belirleyici fiziksel maruziyet değil, bilgi, sermaye ve yeteneğe erişimdir ki bu erişim ülkeler arasında giderek daha eşitsiz dağılmaktadır. Teknolojiye erişim, onu etkin biçimde kullanacak veri yönetişimi, iş akışı tasarımı ve kurumsal kapasite olmadan kendiliğinden bir verimlilik artışına dönüşmemektedir. Bu dönüşümün en kritik boyutu, toplumlar arasındaki gelir uçurumuna benzer biçimde, ülkeler arasındaki bilgi ve teknoloji uçurumunun da giderek derinleşmesidir.

Bu eşitsizliğin sanayi için en somut sonucu, gelişmekte olan ülkelerin yeni teknolojiye hâkim bir üretici değil, yalnızca bedelini ödeyen bir kullanıcı/operatör konumuna düşme riskidir. Birçok KOBİ kendi yapay zekâ modelini eğitecek hesaplama gücünü karşılayamadığı için yabancı platformlara bağımlı kalmakta, bir tür "hesaplama uçurumu" oluşmaktadır. Bu tablo, yapay zekâyı fiziksel olarak mümkün kılan donanım sanayilerinde (çip tasarımı, ileri çip üretimi, litografi ekipmanı, yüksek bant genişlikli bellek, veri merkezi altyapısı) daha da keskindir. En büyük 15 ihracatçı ülke yapay zekâ donanımının küresel ihracatının %85-90'ını gerçekleştirmektedir (Atradius, 2026). Gelişmekte olan ülkeler için bu tablo hem bir uyarı hem bir soru işaretidir. Bu tablo, erken sanayisizleşme ile otomasyon kaynaklı yeniden kıyılaştırmanın (tedarik zincirlerinin yeniden gelişmiş ülkelere kaydırılması) düşük Ar-Ge yoğunluğu ve patent uçurumuyla birleştiği bir yapısal tuzağı beslemektedir.

Yeni teknolojiler, bazı faaliyetlerde ölçek dezavantajını azaltarak küçük işletmelere ve sınırlı sanayi tabanına sahip ülkelere belirli niş alanlarda yeni fırsatlar sunabilmektedir. Yine de teknolojik ilerleme kendiliğinden geniş bir refah üretmez; kazanımların nasıl paylaşılacağını kurumlar, pazarlık gücü ve politika tercihleri belirlemektedir. Dijital dönüşüm ve yapay zekânın sanayi üzerindeki etkisi, bu nedenle gelişmekte olan ülkeler için tek bir yöne işaret etmemektedir: gereği yapılırsa, bu dönüşümün de öznesi olabilirler.

Küresel endekslerden yapılan bir okuma, gelişmekte olan ülkelerin dört alanda sistematik olarak geride kaldığını ortaya koymaktadır.

Küresel endekslerden yapılan bir okuma, gelişmekte olan ülkelerin dört alanda sistematik olarak geride kaldığını ortaya koymaktadır. Birincisi, dijital altyapı ve bağlantı açığıdır: sabit ve mobil genişbant erişiminden 5G'ye kadar bağlantı kalitesi gelir düzeyine göre keskin biçimde kademelenmekte, düşük gelirli ülkelerin önemli bir kısmı temel mobil bağlantıdan bile yoksun kalmaktadır; oysa ikiz dönüşümün dayandığı dijital araçların hiçbiri bu temel altyapı olmadan işlevsel değildir. İkincisi, otomasyon ve ileri üretim teknolojisi benimsemesidir: küresel endüstriyel robot stoku birkaç ileri ekonomide yoğunlaşmakta, gelişmekte olan ülkelerin geneli bu dönüşümün büyük ölçüde dışında kalmaktadır. Yalnızca otomasyonun iş gücü piyasasına yönelik tehdidiyle değil, bu teknolojiyi kendi üretiminde benimseyememe riskiyle de karşı karşıya kalmaktadırlar. Üçüncüsü, küresel değer zinciri ve ticaret entegrasyonudur: küresel ihracattaki katma değer az sayıda ekonomide toplanmakta, bu yoğunlaşma ikiz dönüşüm teknolojilerinin üretim ve ihracatı için de geçerli olmaktadır. Gelişmekte olan ülkelerin büyük bölümü bu değer zincirlerine hammadde veya düşük katma değerli ara girdi tedarikçisi olarak eklemlenmekte, teknolojinin kendisini üretme ve ihraç etme kapasitesinden yoksun kalmaktadır. Dördüncüsü ve belki en çarpıcısı, iklim ve dekarbonizasyon finansmanı açığıdır: sanayi kaynaklı emisyonların büyük bölümünden sorumlu sektörler,

kalkınma finansmanından son derece sınırlı bir pay almaktadır. Bu dört alan (bağlantı, otomasyon benimsemesi, değer zinciri entegrasyonu ve dekarbonizasyon finansmanı) birbirinden bağımsız değildir. Zayıf dijital altyapı otomasyon yatırımının önünü kesmekte, değer zincirlerinin dışında kalmak teknoloji transferini sınırlamakta, yetersiz finansman ise hem dijital hem iklim yatırımını aynı anda geciktirmektedir. Bu nedenle gelişmekte olan ülke sanayilerinin ikiz dönüşümün öznesi olarak konumlanabilmesi, bu dört yapısal açığın tek tek değil, birbirini besleyen bir bütün olarak ele alınmasını gerektirmektedir. Aksi hâlde teknolojinin küresel olarak mevcut olması, bu ülkeler için gerçek bir seçenek anlamına gelmeyecektir.

EMDE sanayilerinin bu tuzaktan çıkışı, teknolojiyi yalnızca kullanan değil öğrenen, uyarlayan, geliştiren ve nihayetinde üreten bir konuma geçebilmelerine bağlıdır.

EMDE (Gelişmekte Olan Piyasalar ve Gelişmekte Olan Ekonomiler) sanayilerinin bu tuzaktan çıkışı, teknolojiyi yalnızca kullanan değil öğrenen, uyarlayan, geliştiren ve nihayetinde üreten bir konuma geçebilmelerine bağlıdır. Bu geçiş otomatik değildir; misyona yönelik bir Ar-Ge yaklaşımını, kamu-özel sektör-akademi iş birliğini, doğru önceliklendirmeyi ve (tek başına hiçbir ülkenin ulaşamayacağı bir ölçek ekonomisi yaratmak için) gelişmekte olan ülkeler arasında Güney-Güney iş birliğini gerektirir. Bu geçişin önündeki engelleri de tek bir kalıba sokmamak gerekir: dışsal erişim kısıtları (fikri mülkiyet düzenlemeleri, ihracat kontrolleri, jeopolitik tercihler) ile içsel kurumsal kapasite açıkları (düşük Ar-Ge yoğunluğu, zayıf politika istikrarı) çoğu zaman iç içe geçer; bu nedenle tek yönlü bir reçete (yalnızca erişim sağlamak ya da yalnızca kurumsal kapasite inşa etmek) yeterli olmayacaktır.

Türkiye örneği, bu geçişin ne kolay ne de doğrusal olduğunu somut biçimde göstermektedir. Türkiye'nin ikiz dönüşüm deneyimi düz bir başarı anlatısı değil, ilerleme ile sınırlılığın iç içe geçtiği, hâlen devam etmekte olan bir öğrenme sürecidir. Yenilenebilir enerjide hızlanma ve teknoloji yoğun üretimde olumlu ayrışma gibi kazanımlar, zayıf kurumsal kalite, düşük Ar-Ge yoğunluğu ve bölgesel yoğunlaşma gibi süregelen açıklarla bir arada durmaktadır. Tam da bu karma tablo Türkiye deneyimini diğer gelişmekte olan ülkeler için daha gerçekçi ve aktarılabilir kılmaktadır.

Türkiye'nin COP31'e ev sahipliği yapacağı Kasım 2026, bu tabloyu somut bir müzakere gündemine dönüştürme fırsatı sunmaktadır. Atılım Gündemi, Sanayide Derin Karbonsuzlaşma Girişimi, karbon piyasaları ve yeni ticaret diyalogları gibi bugüne kadar dağınık kalan sanayi-iklim girişimleri, Başkanlığın "yeşil sanayileşme" önceliği altında daha tutarlı bir bütün içinde bir araya getirilebilir. Ancak bunun için teknoloji transferinin yalnızca satın alma değil ortaklaşa geliştirme anlayışıyla ele alınması ve finansmanın bugünkü ölçeğinin çok üzerine çıkarılması gerekir.

Türkiye, kendi potansiyeli ve deneyimiyle diğer gelişmekte olan ülkeler için sanayinin ikiz dönüşümü bağlamında eşgüdüm ve bilgi paylaşımı işlevi görebilecek iyi bir merkez adayı hâline gelmektedir.

Türkiye, kendi potansiyeli ve deneyimiyle (sanayi kapasitesi, girişimcilik ekosistemi, jeopolitik konum, dinamik iş kültürü, Avrupa ile çevre bölgeler arasındaki bağlantılar, nitelikli insan kaynağı, organizasyon becerisi, gelişen Ar-Ge ve teknoloji kapasitesi, Gümrük Birliği ve AB düzenleyici uyum deneyimi, yarı-çevreden yükselme deneyimi, kurumsallaşmış sanayi ve iş dünyası örgütleri, iklim risklerine maruziyet ve uyum deneyimi ve bu unsurların bir aradalığıyla) diğer gelişmekte olan ülkeler için sanayinin ikiz dönüşümü bağlamında eşgüdüm ve bilgi paylaşımı işlevi görebilecek iyi bir merkez adayı hâline gelmektedir. Bu, bir üstünlük iddiası değil, Türkiye'nin kendi şartları içinde aktarılabilir bir deneyim önerisidir.

Yapılacak iş oldukça kapsamlıdır; ancak gelişmekte olan ülke sanayileri üzerlerine düşeni yerine getirir ve sinerji yaratacak biçimde bir araya gelirlerse, geleceği kucaklayabilirler. Türkiye'nin deneyimi; hangi uygulamaların hangi koşullarda sonuç verdiği, hangilerinin sınırlı kaldığı ve bunlardan çıkarılan dersler gösterilebildiği ölçüde, diğer gelişmekte olan ülkeler için aktarılabilir bir öğrenme kaynağıdır.

1.
Giriş

Bu çalışma, Ankara Sanayi Odası (ASO) ve Türkiye Teknoloji Geliştirme Vakfı (TTGV) iş birliğiyle, Türkiye'nin 9-20 Kasım 2026 tarihlerinde Antalya'da ev sahipliği yapacağı Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi Taraflar Konferansı'nın (COP31) 31. oturumu vesilesiyle hazırlanmıştır. Çalışmanın çıkış noktası, gün geçtikçe birbirinden ayrı iki gündem olarak ele alınması zorlaşan iklim değişikliği ile dijitalleşmenin (özellikle yapay zekânın), sanayinin rekabetçiliğini yeniden şekillendiren entegre bir dönüşüm ekseni olduğu gözlemidir.

Bu çalışmada ikiz dönüşüm, sanayinin yeşil dönüşümü ile dijital dönüşümünün birbirini destekleyecek biçimde, aralarındaki gerilimler de gözetilerek birlikte yürütülmesi olarak ele alınmaktadır.

Bu ikiz dönüşüm, gelişmiş ve gelişmekte olan ülke sanayileri için aynı şekilde ve aynı ölçüde gerçekleşmemektedir. Çalışmanın izleyen bölümleri, küresel sanayinin bugünkü konumunu, iklim ve dijital baskıların bu konumu nasıl dönüştürdüğünü ve gelişmekte olan ülkelerin bu dönüşüm karşısında hangi yapısal açıklarla karşı karşıya olduğunu ele almaktadır. Bu bulgular ışığında çalışma boyunca tekrar tekrar karşılaşılacak **merkezi soru** şudur: **gelişmekte olan ülke sanayileri, ikiz dönüşümün öznesi mi olacak** (yani bu dönüşümü kendi koşullarına göre şekillendiren, teknolojiyi üreten ve ihraç eden bir taraf mı) **yoksa nesnesi mi kalacaktır** (yani kendileri dışında belirlenmiş kurallara, teknolojilere ve pazar koşullarına uyum sağlamakla sınırlı bir taraf mı)**?**

Çalışma, dar bir eksene odaklanmaktadır: yeşil dönüşüm ile dijital dönüşüm/yapay zekâ. Çalışma ayrıca, gelişmekte olan ülkeler arasında bölgesel öğrenme ve iş birliği için bir köprü işlevi görebilecek somut bir örnek olarak Türkiye'ye özel bir bölüm (Ek 3) ayırmaktadır. Bu örnek bir model veya reçete olarak değil, kendi koşullarıyla birlikte "aktarılabilir bir deneyim" olarak sunulmaktadır.

Çalışma boyunca sıkça geçen "gelişmekte olan ülkeler" ifadesi, tek ve evrensel kabul görmüş bir sınıflandırmaya karşılık gelmez; IMF, Dünya Bankası, UNCTAD ve Dünya Ticaret Örgütü bu kategoriyi farklı ölçütlerle tanımlamaktadır. Aksi belirtilmedikçe bu çalışma, IMF'nin "gelişmiş ekonomiler" ile "gelişmekte olan piyasalar ve gelişmekte olan ekonomiler" (EMDE) ayrımını varsayılan referans olarak kullanmaktadır; bu sınıflandırmalara dair bir tartışma Ek 2'de yer almaktadır. Bazı rakamlar (örneğin emisyon ve imalat katma değeri payı) kaynaklarındaki sınıflandırma gereği Dünya Bankası gelir gruplarına ya da UNIDO'nun sanayileşme sınıflandırmasına dayanır; bu durumlarda kapsam ilgili yerde ayrıca belirtilmiştir.

Çalışmanın geri kalanı şu şekilde ilerlemektedir: 2-7. bölümler sanayinin küresel önemini, dünya sanayisinin bugünkü durumunu, sanayinin önündeki zorluk ve fırsatları, iklim değişikliğinin genel görünümünü ve sanayi üzerindeki etkilerini, son olarak da bugüne kadarki COP kararlarını ele alarak küresel bir çerçeve sunar. 8-10. bölümler bu çerçeveye dijital dönüşüm ve yapay zekâ eksenini, ikiz ve üçüz dönüşüm kavramlarıyla birlikte ekler. 11. ve 12. bölümler bu genel çerçeveyi gelişmekte olan ülkeler özelinde derinleştirir: küresel endekslerden bu ülkelerin geride kaldığı yapısal alanları belgeler ve ikiz dönüşümün bu ülkelerde nasıl ilerleyebileceğini tartışır. Çalışma boyunca ortaya konan bu bulgular, raporun başındaki Çağrı'da özetlenen değerlendirmeyle bütünlük taşımaktadır.

Ek 1, bu dönüşümü taşıyacak teknolojilerin sistematik bir taksonomisini sunarken Ek 2, "gelişmekte olan ülke" tanımını ve bu çalışmanın kullandığı sınıflandırmayı, Türkiye'nin kendine özgü çok katmanlı konumu üzerinden ele alır. Ek 3, bu taksonomiyi ve genel çerçeveyi somutlaştırmak amacıyla Türkiye'nin kendi deneyimini ayrıntılandırır. Bu çalışmayı birlikte hazırlayan ASO'yu Ek 4'te, TTGV'nin program yaklaşımını ve araçlarını ise Ek 5'te tanıtır.

2.

Sanayinin Hiç Azalmayacak Önemi

Sanayi, en genel tanımıyla, tarım, ormancılık, madencilik ile petrol ve doğal gaz gibi hammadde sağlayan sektörlerin çıktılarını, teknoloji aracılığıyla insan ihtiyaçlarına yönelik mallara dönüştüren sektördür. Bu dönüşüm tek bir katmandan ibaret değildir; hammaddenin ilk işlenmesinden ara malı üretimine, oradan nihai tüketim veya yatırım malına kadar uzanan, her biri farklı teknoloji ve katma değer düzeyine sahip katmanlardan oluşur. Sanayinin rekabetçiliği, bu zincirin her katmanında Ar-Ge ve teknolojik inovasyonun çarpan etkisiyle belirlenir: teknolojik derinliği artan bir katman, yalnızca kendi verimliliğini değil, girdi aldığı ve çıktı sağladığı diğer katmanların da rekabet gücünü yükseltir.

Kurumsal sınıflandırmalar bu katmanlaşmayı standartlaştırmak için oluşturulmuştur. Birleşmiş Milletler'in ISIC sınıflaması sanayiyi ekonomik faaliyete göre kümeler (UNIDO, 2016; UNSD, 2023); Dünya Bankası'na göre sanayi madencilik, imalat, inşaat, elektrik, su ve gaz sektörlerini kapsar ve yalnızca imalattan ibaret değildir (Dünya Bankası, 2026a). Türkiye'de TÜİK, NACE Rev.2 temelinde sanayiyi Madencilik (B), İmalat (C) ve Elektrik-Gaz (D) bölümleriyle tanımlar (TÜİK, 2021). Bu çalışmada "sanayi" bu geniş çerçeveyle, "imalat sanayi" ise üretim ve işleme faaliyetleriyle ayrı ayrı kullanılacak; dönüşümün odağı ise iklim ve dijital baskının en belirgin hissedildiği imalat ile enerji yoğun alt sektörler (çelik, çimento, kimya) olacaktır.

Sanayi, özellikle de imalat sanayi, tarihsel olarak yapısal dönüşümün ve kalkınmanın taşıyıcısı olmuştur: iş gücünü daha yüksek katma değerli faaliyetlere kaydırmış, ölçek ekonomileri yaratmış, teknoloji ve bilgi birikimini yaymış, istikrarlı ve ihracata dönük istihdam üretmiştir.

Bu payın büyüklüğü verilerle de doğrulanmaktadır. İmalat sanayii, dünya ekonomisinin yalnızca %16,7'sini oluşturmasına karşın küresel Ar-Ge harcamalarının %53'ünü gerçekleştirmektedir. Sektörün katma değere oranla Ar-Ge yoğunluğu diğer sektörlerin çok üzerinde, yaklaşık %5 düzeyindedir (UNIDO, 2024). Her bir imalat işi, ekonomide ortalama 2,5 ek iş yaratır ve imalat/sanayi firmaları küresel yeşil teknoloji patentlerinin yaklaşık %60'ına sahiptir (UNIDO, 2024). Beceri düzeyi kontrol edildiğinde dahi imalat işleri 2010'larda ortalama %1,5 puanlık kalıcı bir ücret primi taşımaktadır; bu pay 1990'lardaki %4'lük primden düşmüş olsa da hâlen pozitiftir (Bayard vd., 2024). Gelişmekte olan ülkeler açısından ihracat kapasitesi de belirleyicidir: bu ülkeler küresel emtia (ağırlıklı olarak imalat) ticaretinin %44'ünü oluştururken, küresel hizmet ihracatının %30'undan azına sahiptir (UNCTAD, 2025a). Sanayi, bu ülkelerin dış dünyayla bütünleşmesinin başlıca kanalı olmaya devam etmektedir.

Ancak bu tarihsel rol günümüzde zayıflamakta ve daha erken bir aşamada kesintiye uğramaktadır. Rodrik'in "erken sanayisizleşme" tezine göre, sanayileşme ile gelir düzeyi arasındaki ilişkiyi gösteren eğri aşağı ve orijine doğru kaymıştır; gelişmekte olan ülkeler, erken sanayileşen ülkelere kıyasla çok daha düşük gelir seviyelerinde sanayisizleşmeye başlamakta, bunun sonucu düşük ekonomik büyüme ve siyasi istikrarsızlık olarak ortaya çıkmaktadır (Rodrik, 2015). Asian Productivity Organization'ın derlediği ülke incelemelerinden biri, sanayi istihdamının tarihsel olarak kişi başı yaklaşık 10.000 dolarlık gelirde zirveye ulaşıp gerilemeye başladığı eşiğin bugün yaklaşık 3.000 dolara kadar düşmüş olabileceğini aktarmaktadır (Wickramaratne, 2016, akt. APO, 2024);

aynı raporun Hindistan incelemesinde ise imalat sanayii GSYH payının 2021'de %14,04'te kalması, erken sanayisizleşmenin göstergelerinden biri olarak sunulmaktadır (APO, 2024).

Bu eğilim, küresel imalat kapasitesinin dağılımında da görülmektedir. UNIDO'nun son çeyrek verilerine göre, tüm ekonomilerin neredeyse %70'ini oluşturan sanayileşmekte olan ekonomiler, 2025'te küresel imalat katma değerinin yalnızca %12,3'ünü üretmiştir (UNIDO, 2026). Sanayileşme, daha dar gelirli ve daha az sayıda ülkede yoğunlaşmaktadır.

Sanayisizleşmenin bedeli soyut değildir. Altı sanayileşmiş ülkeyi (ABD, Almanya, Fransa, İtalya, Japonya, İngiltere) kapsayan bir araştırma, incelenen 1.993 eski sanayi şehrinden yalnızca %34'ünün 2010 yılına kadar zirve istihdam düzeyine geri dönebildiğini ortaya koymaktadır; ABD'nin "Rust Belt" bölgesi en yavaş toparlanan alan olurken, üniversite mezunu oranı yüksek şehirler (Pittsburgh gibi) görece daha hızlı toparlanabilmiştir (Gagliardi, Moretti ve Serafinelli, 2024). Bulgular, sanayisizleşmenin etkisinin homojen olmadığını; beşerî sermaye ve bölgesel kapasitenin toparlanma hızıyla güçlü biçimde ilişkili olduğunu göstermektedir.

Tablo tek yönlü de değildir. Dünya Bankası'nın sektörel verimlilik incelemesi, 2003-2008 ile 2013-2017 dönemleri arasında gelişmekte olan ekonomilerde imalat sanayii verimlilik artışının iki puandan fazla gerilediğini, Latin Amerika'da düşüşün özellikle keskin olduğunu ortaya koyarken; 2010 sonrasında hizmet sektörünün büyümeye katkısının da arttığını göstermektedir (Dünya Bankası, 2020). Bu nüans, sanayinin kalkınma için tek başına yeterli olmadığını, ama bir kez kaybedildiğinde geri kazanımının da kolay olmadığını göstermektedir.

3.
Dünya Sanayisinin Durumu ve Gelişmekte Olan Ülke Sanayilerinin Mevcut Genel Durumu

Küresel imalat üretimi 2026'nın ilk çeyreğinde %1,2, ihracatı ise %3,5 artmıştır; orta-yüksek ve yüksek teknolojili sanayilerde büyüme daha güçlü olmuş (üretimde %1,9; yüksek teknolojili ürünlerin ihracatında %4,7) ve büyümeye Asya-Pasifik bölgesi öncülük etmiştir (UNIDO, 2026). Sanayileşmekte olan ekonomilerde üretim aynı dönemde bir önceki çeyreğe göre %1,7, sanayi ekonomilerinde %1,1 artmış; büyümenin ana itici gücü yine Asya olmuştur (UNIDO, 2026).

Dikkat edilmesi gereken bir husus, "gelişmekte olan ülke" kategorisinin homojen olmadığıdır. Çin tek başına küresel imalat üretiminin yaklaşık %29'unu oluştururken (Birleşmiş Milletler, akt. Statista, 2025), sanayileşmekte olan ekonomilerin tümü küresel imalat katma değerinin yalnızca %12,3'ünü paylaşmaktadır (UNIDO, 2026). Gelişmekte olan ülkeler arasında sanayi üretimi ve teknolojik kapasite dağılımı son derece eşitsizdir; Çin bu dağılımda belirgin bir ağırlığa sahiptir.

Küresel değer zincirlerindeki yoğunlaşma da benzer bir tablo çizmektedir: 2024'te yalnızca on ekonomi, küresel ihracattaki katma değerin %53,5'ini üretmiştir. Bunun yanında Çin, ABD ve AB gibi büyük ekonomiler dış katma değere bağımlılıklarını azaltarak tedarik zincirlerini kendi bölgelerine çekmektedir (WTO, 2025). Bu "yeniden kıyılaştırma" (İng. reshoring/friend-shoring) eğilimi, Dünya Ticaret Örgütü'nün Küresel Değer Zinciri Hazırlık Endeksi'nde geride kalan Latin Amerika-Karayipler ve Afrika bölgeleri için bir fırsattan çok tehdit oluşturmakta; zayıf dijital altyapı, bu bölgelerin yeni değer zincirlerine entegre olmasını zorlaştırmaktadır (WTO, 2025).

Gelişmekte olan ülkeler arasındaki ayrışma, sanayileşme derecesiyle de ilişkilidir. UNCTAD'a göre 143 gelişmekte olan ülkeden 95'i (%67) 2021-2023 döneminde emtia bağımlısı olmuşken; en az gelişmiş ülkelerde bu oran %80'i aşmıştır. 2012-2014 dönemiyle 2021-2023 dönemi karşılaştırıldığında küresel ticaretin değeri %25,6 artarken emtia ihracatı yalnızca %15,5 büyümüş; sanayisini çeşitlendirmemiş ekonomiler bu büyümeden görece daha az pay almıştır (UNCTAD, 2025b).

Buna karşın gelişmekte olan ekonomilerin küresel ekonomiye katkısı büyümeye devam etmektedir: UNCTAD'ın tahminine göre bu ekonomiler 2025'te %4,3 büyümeyle küresel çıktı büyümesinin yaklaşık %70'ine katkı sağlamıştır; ancak küresel büyümenin genel olarak yavaşlaması (2024'te %2,9'dan 2025'te %2,6'ya) gelişmekte olan ülkelerin de bu ivmeyi 2026'da tam olarak koruyamayacağına işaret etmektedir (%4,2 öngörülmektedir) (UNCTAD, 2025a). Bu tablo, ortalamaların ardında saklanan derin bir ayrışmayı özetlemektedir: sanayisini çeşitlendirebilen ve değer zincirlerine entegre olabilen az sayıda ülke hız kazanırken, geri kalanı emtia bağımlılığı ve zayıf dijital altyapıyla bu ivmenin dışında kalma riskiyle karşı karşıyadır.

Burada kısa bir kavramsal parantez açarak Wallerstein'ın "merkez-yarı çevre-çevre hiyerarşisi" kavramına değinmekte fayda bulunmaktadır. Sosyolog Immanuel Wallerstein'ın Dünya-Sistemleri Analizi'ne göre kapitalist dünya ekonomisi, birbirinden bağımsız ulusal ekonomilerin toplamı değil, aralarında belirgin bir iş bölümü bulunan üç katmanlı, bütüncül bir sistemin ürünüdür: sermaye yoğun, yüksek katma değerli ve teknoloji öncüsü üretimin yoğunlaştığı "merkez" (core); düşük maliyetli, emek yoğun ve genellikle merkeze bağımlı üretimin yapıldığı "çevre" (periphery); ve bu iki katman arasında hem merkeze hem çevreye özgü faaliyetleri bir arada barındıran, sınırlı ama gerçek bir yükselme potansiyeline sahip "yarı çevre" (semi-periphery) (Wallerstein, 1974, 2004). Bu hiyerarşi sabit değildir ve tarih boyunca ülkeler katmanlar arasında hareket edebilmiştir. Ancak yapısal olarak kalıcıdır: merkezin teknolojik ve sermaye üstünlüğü, çevre ve yarı çevrenin bu üstünlüğü aşmasını sistematik olarak zorlaştırır. Güncel araştırmalar bu çerçeveyi küresel değer zincirlerine uyarlamaya devam etmektedir. Çin'in son yirmi yılda yarı çevreden merkeze doğru evrilirken küresel değer zincirleri ve çevre ülkeler üzerindeki etkisini inceleyen yakın tarihli bir çalışma, dünya sistemleri kavramının imalat sanayii yoğunlaşmasını anlamak için hâlâ geçerli bir analiz aracı olduğunu göstermektedir (Chu, Liu ve Yang, 2025). Bu çalışmanın ilerleyen bölümlerinde tekrar başvurulacak merkez-yarı çevre-çevre ayrımı, işte bu teorik temele dayanmaktadır.

4.

Sanayinin Önündeki Zorluklar ve Fırsatlar

Buraya kadar ortaya konan tablo şunu söylemektedir: sanayi kalkınma için hâlâ kritik önemde bir sektördür, ancak bu önemi taşıma potansiyeli eskisinden daha dar bir alana sıkışmıştır. Sanayileşme az sayıda ülkede yoğunlaşmakta; geri kalan gelişmekte olan dünya, emtia bağımlılığı ve zayıf dijital altyapıyla bu daralan fırsatın dışında kalma riskiyle karşı karşıyadır. Bu kırılgan tablonun üzerine, sanayinin rekabetçiliğini önümüzdeki on yıllarda yeniden tanımlayacak üç büyük baskı mevcuttur: iklim değişikliği, dijital dönüşüm/yapay zekâ ve küresel şokların yol açtığı jeopolitik-ekonomik kırılganlık.

Önce üçüncüsünü ele alalım. Jeopolitik-ekonomik kırılganlık baskısı soyut bir değerlendirme değil, son yirmi yılda arka arkaya yaşanan somut olaylarla doğrulanan bir gerçekliktir. 2007-2008 küresel gıda fiyat krizinde FAO Gıda Fiyat Endeksi bir önceki yıla göre %54 artışla o güne kadarki en yüksek düzeyine ulaşmış (FAO, 2008); COVID-19 salgını sırasında 20'den fazla ülke gıda ürünlerine ihracat kısıtlaması getirerek gıda tedarik zincirlerinin ne kadar kırılgan olabileceğini göstermiştir (Espitia vd., 2020). 2021'de Ever Given gemisinin Süveyş Kanalı'nı tıkamasının günde yaklaşık 9,6 milyar dolarlık gemi trafiğinin durmasına yol açtığı tahmin edilmiştir (Bloomberg, 2021). Bölgesel savaşlar da benzer kırılganlıkları açığa çıkarmıştır: Rusya-Ukrayna

Savaşı 2022'de enerji fiyatlarının %50, tarımsal emtia fiyatlarının %18 artmasına ve buğday fiyatlarının tarihi zirveye çıkmasına yol açarak enerji krizini derinleştirmiş (Dünya Bankası, 2022a); Şubat 2026'da başlayan ve Ekim 2026 itibarıyla art arda çöken ateşkeslerle aralıklı biçimde süren ABD-İran savaşı ise, küresel petrol ve sıvılaştırılmış doğal gaz ticaretinin yaklaşık beşte birinin geçtiği Hürmüz Boğazı'ndaki kesintiler yoluyla petrol fiyatlarını varil başına 100 doların üzerine taşımış; IMF bu enerji şokunu gerekçe göstererek 2026 küresel büyüme tahminini %3,1'den %3,0'a düşürmüş, küresel enflasyon beklentisini ise %4,1'den %4,7'ye yükseltmiştir (IMF, 2026). Pandemi geride kalmış olsa da savaşlar ve jeopolitik gerilimler farklı coğrafyalarda sürmekte; iklim değişikliği ise sahneden inmeyecek kalıcı bir baskı unsuru olarak yerleşmiştir. Bu şoklar hem arz hem talep zincirlerini eş zamanlı etkilemekte; hammadde fiyatlarını yükseltmekte, zaman zaman hammaddenin hiç tedarik edilememesine yol açmakta ve sanayiyi üretim girdisi tarafından doğrudan vurmaktadır.

Sanayiye girdi sağlayan hammadde tedarikinin kendisi de bu kırılganlığın bir başka boyutunu oluşturur; özellikle nadir toprak elementleri ve diğer kritik minerallerde arz, az sayıda ülkenin elinde yoğunlaşmıştır. Çin, 2024'te küresel nadir toprak madenciliğinin yaklaşık %69'unu, rafinaj/işleme kapasitesinin ise %91'ini elinde tutmakta; kalıcı mıknatıs (NdFeB) üretiminde bu pay %94'e ulaşmaktadır (IEA, 2025). Uluslararası Enerji Ajansı'nın incelediği 20 kritik mineralin 19'unda Çin en büyük rafinaj kapasitesine sahiptir ve ortalama rafinaj pazar payı yaklaşık %70'tir; yoğunlaşma azalmak yerine artmaktadır. En büyük üç rafinaj ülkesinin toplam payı 2020'de %82'den 2024'te %86'ya yükselmiştir (IEA, 2026). Bu yoğunlaşma, 2023'ten itibaren art arda gelen ihracat kontrolleriyle (galyum ve germanyum, 2023; grafit, 2023; antimon, 2024; tungsten ve tellür, 2025; orta-ağır nadir toprak elementleri ve mıknatıslar, Nisan 2025; kapsamlı nadir toprak kontrolleri, Ekim 2025) somut bir tedarik riskine dönüşmüştür; Nisan 2025 kısıtlamalarının ardından Suzuki, Japonya'daki Swift üretiminin büyük bölümünü yaklaşık 11 gün durdurmak zorunda kalmış; Ford, BMW ve Mercedes-Benz de dahil olmak üzere birden fazla otomotiv üreticisi haftalar içinde tedarik kesintisi yaşamıştır (Nikkei Asia, akt. Business Standard vd., 2025).

Gelişmekte olan ülke sanayileri için bu tablo, dönüşüm teknolojilerinin (güneş paneli, rüzgâr türbini, elektrikli araç bataryası) üretimi için gerekli girdilere erişimin, büyük ölçüde tek bir ülkenin ticaret politikası tercihlerine bağımlı hâle geldiği anlamına gelmektedir.

Bu art arda yaşanan şoklar, küresel sistemlerin beklenenden daha kırılgan olduğunu ortaya koymuş ve somut bir politika tepkisi doğurmuştur. IMF'ye göre küresel ticareti kısıtlayan önlemlerin sayısı 2009'da yılda yaklaşık 500 iken 2022'de yaklaşık 2.500'e yükselmiş, ulusal güvenlik gerekçeli kısıtlamalar 2020 sonrasında belirgin biçimde hızlanmıştır (Aiyar vd., 2023). Küreselleşme yer yer yavaşlamakta, bazı alanlarda tersine dönmekte; ülkeler gıda, enerji, kritik hammaddeler, yarı iletkenler ve sağlık ürünleri gibi stratejik sektörlerde dışa bağımlılıklarını azaltmaya yönelmektedir. ABD'de 2023'te 287.000 imalat işinin ülke içine geri getirildiği bildirilmiş, 2010'dan bu yana geri getirilen toplam iş sayısı 2 milyona yaklaşmıştır (Reshoring Initiative, 2023); ABD'nin CHIPS Yasası 52,7 milyar dolarlık kamu desteğini yarı iletken üretimine yönlendirmiş; AB'nin Çip Yasası ise eşdeğer bir özel sektör katkısıyla toplam 86 milyar avroya ulaşması hedeflenen yatırımın 43 milyar avroyu aşan kamu destekli kısmını hedeflemiş, ancak bu tutarın büyük bölümünün seferber edilmesi üye devletlerin kendi desteklerine bağlı kalmış ve 2026 başı itibarıyla fiilen onaylanan devlet yardımı 13,75 milyar avroda kalmıştır (NIST, 2024; Avrupa Komisyonu, 2023). AB'nin Net-Sıfır Sanayi Yasası ise 2030'a kadar stratejik net-sıfır teknolojilerinde iç talebin %40'ının yurt içi üretimle karşılanmasını hedeflemektedir (AB Konseyi, 2024). Bu eğilim, sanayisizleşmiş "zengin" toplumlarda yeniden sanayileşme isteğini ve planlarını da güçlendirmektedir.

Gelişmiş ve sanayisizleşmiş ülkelerin yeniden sanayileşme çabaları, gelişmekte olan ülkeler için doğal bir tehdit oluşturmaktadır. Bu çabalar giderek yapay zekâ, robotik ve otomasyon temelli üretimle yürütülmekte, bu da sanayileşmenin geleneksel itici gücü olan ucuz iş gücü avantajını aşındırmaktadır: ABD'de her bin işçi başına düşen robot sayısında bir birimlik artışın (2004-2014 döneminde gözlenen artışın yaklaşık iki katı) Meksika'nın ABD'ye işçi başına ihracat büyümesini %6,7 oranında düşürdüğü tespit edilmiştir (Artuc vd., 2019).

Meksika'nın yerel iş gücü piyasalarına odaklanan ayrı bir çalışma ise, ABD robotlarına maruziyetin ihracata dayalı bölgelerde istihdam üzerinde belirgin bir daralmaya yol açtığını, bu etkinin ihracat ve ihracata yönelik üretim tesisi sayısındaki benzer büyüklükteki düşüşlerle örtüştüğünü, yani otomasyonun geri getirmeyi (İng. reshoring) tetiklediğini göstermektedir (Faber, 2020). Buna, tam da bu tip düşük maliyetli, iş gücü yoğun imalata dayalı sanayileşme stratejisi izleyen ülkelerin kırılganlığı eklenmektedir: ASEAN-5 ülkelerinde ücretli istihdamın yaklaşık %56'sı (Vietnam'da %70'e kadar çıkan oranlarla) otomasyon riski yüksek işler olarak sınıflandırılmaktadır; UNCTAD (2017) bu tür tahminlerin gelişmekte olan ülkeler için abartılı olabileceğini öne sürse de riskin yönü konusunda bir itiraz bulunmamaktadır (Chang ve Huynh, 2016). Aynı zamanda Çin, küresel imalat üretiminin %29'unu tek başına elinde tutan ölçek ve teknoloji birikimiyle diğer gelişmekte olan ülkeler için zaten aşılması güç bir rekabet eşiği oluşturmaktadır (Birleşmiş Milletler, akt. Statista, 2025). **Bu üçlü baskı altındaki ülkeler için risk ikiye ayrılır: sanayisizleşme ya da geleneksel, düşük teknolojili sektörlere sıkışıp kalma.** Teknolojik yükselme (İng. upgrading) sağlanamadığında sanayi, ucuz iş gücü ve marjinal kâr marjlarına dayalı bir faaliyet olmaktan öteye geçemez.

İklim değişikliği ve dijital dönüşüm/yapay zekâ baskıları ise, jeopolitik kırılganlıktan farklı olarak, birbirinden bağımsız iki ayrı gündem olmaktan çıkarak zaman içinde iç içe geçmiştir. Dünya Ekonomik Forumu'nun Küresel Fener Kulesi Ağı'ndaki (Global Lighthouse Network) fabrikalarda yapay zekâ ve Endüstri 4.0 uygulamaları, ortalama %30 karbon emisyonu azaltımı ve %28 enerji tüketimi düşüşü sağlamış; bazı tesislerde verimlilik artışıyla karbon azaltımı eş zamanlı gerçekleşmiştir (WEF, 2025a). Ancak diğer yandan teknoloji sorunun da bir parçasıdır: veri merkezlerinin elektrik talebinin 2024-2030 arasında ikiye katlanarak 945 TWh'ye çıkması beklenmekte, buna bağlı emisyonların küresel CO_2'nin %0,5'inden %1-1,4'üne yükselmesi öngörülmektedir (IEA verilerine dayanarak; Gabbatiss, 2025a). Yapay zekâ, sanayi için hem dekarbonizasyonun aracı hem de yeni bir emisyon kaynağıdır.

Gelişmekte olan ülkeler için bu ikili baskı hem fırsat hem risk barındırmaktadır. Fırsat tarafında, dijital ve iklim teknolojilerini birlikte benimseyen ülkeler, kirli ve verimsiz bir sanayileşme aşamasını atlayarak peyderpey doğrudan temiz ve akıllı üretime geçme şansına sahip olabilir. Risk tarafında ise, önceki bölümde görüldüğü gibi zaten sınırlı yatırım kapasitesine sahip bu ülkeler, iki dönüşümü eş zamanlı finanse edemezse hem iklim uyumunda hem dijital rekabette geride kalabilir.

Bunlardan dolayı bu çalışmada, yeşil dönüşüm ile dijital dönüşüm ayrı ayrı değil, birbirini etkileyen ve besleyen müşterek bir dönüşüm ekseni olarak ele alınmıştır. Küresel jeopolitik ve ekonomik kırılganlık, sanayinin bugünkü konumunu şekillendiren önemli bir unsur olmakla birlikte izleyen bölümlerde yeniden işlenmeyecektir. İzleyen bölümler önce iklim değişikliğini ve sanayi üzerindeki etkilerini, ardından dijital dönüşüm ve yapay zekânın sanayiye etkilerini ayrı ayrı inceleyecek ve son olarak bu iki eksenin nasıl "ikiz dönüşüm" olarak birleştiğini ve gelişmekte olan ülkeler için ne anlama geldiğini tartışmaya açacaktır.

5.
İklim Değişikliği: Genel Görünüm

İklim değişikliği, sıcaklık ve yağış ortalamalarıyla birlikte değişkenlik, aşırı hava olayları, deniz seviyesi, buzullar ve okyanus koşullarında onlarca yıl veya daha uzun süre boyunca gözlenen değişimleri ifade eder. IPCC'nin Altıncı Değerlendirme Raporu'na göre insan faaliyetlerinin (özellikle fosil yakıt kullanımı ve arazi kullanımındaki değişiklikler yoluyla) atmosferi, okyanusları ve karaları ısıttığı bilimsel olarak tartışmasızdır (IPCC, 2021). Bu ısınma geleceğe ait bir öngörü değil, günümüzde gözlemlenen ve üretim sistemlerini (tarımdan sanayiye) dönüştürmeye başlamış bir olgudur (IPCC, 2023).

Göstergeler bu tabloyu somutlaştırmaktadır. Atmosferdeki karbondioksit yoğunluğu 2024'te 423,9 ppm ile en az 800 bin yılın en yüksek düzeyine ulaşmıştır (WMO, 2025). Küresel ortalama sıcaklık, sanayi öncesi döneme kıyasla 2024'te 1,55±0,13°C, 2025'te ise 1,43±0,13°C daha yüksek gerçekleşmiş; 2015-2025 dönemi ölçüm tarihinin en sıcak 11 yılı olmuştur. Okyanus ısısı rekor düzeye çıkmış, küresel deniz seviyesinin yıllık yükselme hızı 1993-2011 döneminde 2,65 mm iken 2012-2025 döneminde 4,75 mm'ye çıkarak neredeyse iki katına ulaşmıştır (WMO, 2026).

Geleceğe dair görünüm de kaygı vericidir. Birleşmiş Milletler Çevre Programı'nın değerlendirmesine göre mevcut politikalar dünyayı yüzyıl sonunda yaklaşık

2,8°C'lik bir ısınmaya götürmekte; ülkelerin açıkladıkları iklim taahhütlerinin eksiksiz uygulanması hâlinde dahi bu oran 2,3-2,5°C aralığında kalmaktadır. Çok yıllı ortalamada 1,5°C eşiğinin önümüzdeki on yıl içinde aşılması da olası görülmektedir (UNEP, 2025). Bu risk algısı küresel ölçekte de karşılık bulmaktadır: Dünya Ekonomik Forumu'nun 2025 Küresel Risk Raporu'nda, önümüzdeki on yıl için en kritik risk aşırı hava olayları, ikinci sırada ise biyoçeşitlilik kaybı ve ekosistem çöküşü olarak sıralanmaktadır (WEF, 2025b). Isınmadaki her ilave artış, sıcaklık ekstremlerini, şiddetli yağışları ve bunların üretim sistemleri üzerindeki etkilerini büyütecektir.

Bu tablonun sorumluluk boyutunu somutlaştırmak amacıyla, en güncel verilerle iki ayrı çerçeveden bakmak yararlı olacaktır. İlk çerçeve, güncel yıllık salımlardır: Avrupa Komisyonu Ortak Araştırma Merkezi'nin (JRC) Eylül 2026'da yayımladığı en güncel EDGAR raporuna göre 2025'te küresel sera gazı salımı (arazi kullanımı değişiklikleri -LULUCF- hariç) 54,1 milyar ton CO_2 eşdeğerine ($GtCO_2e$) ulaşmıştır; Birleşmiş Milletler Çevre Programı'nın farklı bir kapsamla hesapladığı 2024 verisi ise 57,7 milyar ton CO_2e'dir (EDGAR/JRC, 2026; UNEP, 2025). En büyük beş salım kaynağı sırasıyla Çin (%29,51), ABD (%11,11), Hindistan (%8,33), AB-27 (%5,78) ve Rusya'dır (%4,75); bu beşli, altıncı sıradaki Endonezya (%2,51) ile birlikte küresel salımın %61,8'ini oluşturmaktadır (EDGAR/JRC, 2026). Gelişmiş ülkeler ile Çin'in toplamının küresel salımdaki payı, yüksek gelirli ülkelerin %29'luk payı ile Çin'in %25,9'luk payının toplanmasıyla türetilen bir hesaplamayla (resmî olarak yayımlanmış tek bir rakam bulunmadığından) 2022 verileriyle yaklaşık %55'e, geri kalan gelişmekte olan ülkelerin payı ise yaklaşık %45'e karşılık gelmektedir (CGD/Our World in Data, 2022 verisi). Türkiye'nin 2025 yılı salımı 610,8 milyon ton CO_2e ile küresel toplamın %1,13'ünü oluşturmuştur (EDGAR/JRC, 2026).

İkinci çerçeve, sanayileşmenin başlangıcından bugüne birikimli (tarihsel) sorumluluktur; bu veriler yalnızca CO_2 için mevcuttur, çünkü metan ve azot oksit gibi diğer sera gazlarının uzun dönemli birikimli serisi tutulmamaktadır. Fosil yakıt ve sanayi kaynaklı salımlar 1751-2024 döneminde küresel olarak yaklaşık 1.850 milyar ton CO_2'ye ulaşmış; arazi kullanımı değişiklikleri de dahil edildiğinde bu rakam 1850-2024 için 2.607 milyar tona çıkmaktadır (Global Carbon Project/Our World in Data, 2025). Carbon Brief'in 1850-2025 dönemi için arazi kullanımını da içeren 2.651 milyar tonluk hesaplamasında ABD 542 milyar ton (yaklaşık %20) ile birinci, Çin 336 milyar ton (yaklaşık %13) ile ikinci, AB-27 bloğu yaklaşık %12 ile üçüncü, Rusya ise 185 milyar ton (yaklaşık %7) ile dördüncü sırada yer almaktadır (Evans, 2026). Yalnızca fosil yakıt kaynaklı birikimli salımlar esas alındığında ABD %23,52, Çin %15,42, Rusya %6,64, Hindistan %3,57 payla sıralanmaktadır. Türkiye'nin birikimli payı ise %0,70'tir (12,9 milyar ton CO_2) (Global Carbon Project/Our World in Data, 2025). Gelişmiş ülkeler ile Çin'in birikimli payı, yüksek gelirli ülkelerin %56'lık payı ile Çin'in %15,42'lik payının toplanmasıyla türetildiğinde yaklaşık %71'e, geri kalan gelişmekte olan ülkelerin payı ise yaklaşık %29'a karşılık gelmektedir (resmî tek bir kaynaktan değil, iki ayrı veri setinin birleştirilmesinden türetilmiş yaklaşık bir hesaplama) (CGD/Our World in Data, 2022 verisi; Global Carbon Project/Our World in Data, 2025).

Bu tabloya karşın bugün bazı ülkeler iklim rejiminden geri adım atmaktadır. ABD, Ocak 2025'te imzalanan bir kararla Paris Anlaşması'ndan çekilme sürecini başlatmış ve bu çekilme 27 Ocak 2026'da hukuken yürürlüğe girmiştir (Birleşmiş Milletler, 2025). ABD, bugün İran, Libya ve Yemen ile birlikte Paris Anlaşması'na taraf olmayan yalnızca dört ülkeden biridir (Birleşmiş Milletler, 2026). ABD ayrıca 27 Şubat 2026'da 1992 tarihli çerçeve Sözleşme'den (UNFCCC) çekilme bildirimini BM'ye iletmiştir; çekilme 27 Şubat 2027'de yürürlüğe gireceğinden ABD o tarihe kadar Sözleşme tarafı kalmaktadır (Civillini, 2026). Dolayısıyla COP31 sırasında Sözleşme'nin tarafı olmayı sürdürecek, ancak Paris Anlaşması'nın dışında kalacaktır. Bu tablo, iklim rejiminin dışında kalmayı tercih eden ülkelerin, kendi rekabetçiliğini korumak veya artırmak amacıyla sorumluluk üstlenmekten kaçınma eğilimini de yansıtmaktadır.

6.
İklim Değişikliğinin Sanayi Üzerindeki Etkileri

İklim değişikliği, sanayiyi iki ayrı kanaldan etkiler: fiziksel riskler ve geçiş riskleri. Fiziksel riskler, aşırı hava olayları ve iklimsel stres etkenlerinin üretim tesislerine, altyapıya ve tedarik zincirlerine doğrudan verdiği zarardan kaynaklanır. Geçiş riskleri ise düşük karbonlu ekonomiye geçiş sürecinde ortaya çıkan karbon fiyatlandırması, düzenleme ve pazar değişikliklerinden doğar. Her iki risk türü de sanayinin rekabetçiliğini, ancak farklı mekanizmalarla, doğrudan etkilemektedir.

Fiziksel risklerin boyutu küresel verilerle somutlaşmaktadır. 2025'te doğal afetlerden kaynaklanan küresel ekonomik kayıp 220 milyar dolara ulaşmış, bunun yalnızca %49'u (107 milyar dolar) sigortalıdır. Sigortasız kalan pay (altyapı, üretim tesisi ve tedarik zinciri hasarlarının önemli bir bölümünü içermektedir) gelişmekte olan ekonomilerde düşük sigorta penetrasyonu nedeniyle yapısal olarak daha büyüktür (Swiss Re Institute, 2026). Sıcaklık stresi de iş gücünü ve üretkenliği doğrudan tehdit etmektedir: ILO'ya göre 2030'a kadar sıcaklık stresi küresel çalışma saatlerinin %2,2'sinden fazlasının (80 milyon tam zamanlı işe eşdeğer) kaybına ve yıllık 2,4 trilyon dolarlık ekonomik maliyete yol açacak; tarım (%60) ve inşaat (%19) en çok etkilenen sektörler olurken, Güney Asya ve Batı Afrika'da kaybın %5'e yaklaşması beklenmektedir (ILO, 2019). Su stresi ise özellikle madencilik, tekstil ve kimya gibi su yoğun sanayi kollarını tehdit eder: yüksek su stresine maruz kalan küresel GSYH'nin 2010'da 15 trilyon dolardan (%24) 2050'de 70 trilyon dolara (%31) çıkacağı öngörülmekte; 2050'de bu riske maruz kalacak GSYH'nin yarısından fazlası yalnızca dört ülkede (Hindistan, Meksika, Mısır ve Türkiye) bulunmaktadır (Kuzma vd., 2023).

Geçiş riskleri ise özellikle karbon yoğun ihracat sektörlerine sahip gelişmekte olan ülkelerde yoğunlaşmaktadır. AB'nin Sınırda Karbon Düzenleme Mekanizması'nın (CBAM) 1 Ocak 2026'dan itibaren uygulanan kesin rejimi çelik, çimento, alüminyum, gübre, elektrik ve hidrojeni kapsamaktadır. Asya Kalkınma Bankası'nın modellemesine göre CBAM yükümlülüğü, Hindistan'ın AB'ye yönelik temel metal (çelik) ihracatının değerinin %38,8'ine, Vietnam'ınkinin %22,1'ine, Çin Tayvanı'nınkinin %20,9'una kadar ulaşabilmektedir. Sektörel yoğunlaşma Gürcistan'ın gübre ihracatında (ihracatının %59,5'i AB'ye yönelik) ve Kazakistan'ın alüminyum ihracatında da benzer biçimde keskindir (toplam Asya ekonomisi üzerindeki etki sınırlı görülse de) (Park vd., 2023). CBAM örneği, düşük karbonlu ekonomiye geçişin, karbon yoğun ihracata bağımlı gelişmekte olan ülkeler için soyut değil, doğrudan ticaret geliri kaybı anlamına gelebileceğini göstermektedir. Türkiye için de benzer bir risk söz konusudur: Dünya Bankası'nın Türkiye İklim ve Kalkınma Raporu'na göre Türkiye'nin demir-çelik ihracatının yaklaşık %40'ı AB'ye yönelmekte, bu da Türkiye'nin toplam mal ihracatının yaklaşık %3'üne karşılık gelmektedir. Türkiye İklim Değişikliği Başkanlığı'nın 2023 tarihli çalışmasına göre CBAM'ın sanayiye maliyeti, karbon fiyatı senaryosuna bağlı olarak 2027'de yıllık 56-138 milyon avro, 2032'de ise 1,08-2,5 milyar avro aralığında gerçekleşebilecektir (Dünya Bankası, 2022b; Türkiye İklim Değişikliği Başkanlığı, 2023).

CBAM'ın ötesinde, daha dağınık ama en az onun kadar bağlayıcı bir baskı da piyasalardan ve uluslararası düzenlemelerden gelmektedir. Başta Avrupa Birliği olmak üzere çeşitli pazarlar, düşük karbonlu ürün talep etmeye yönelmektedir. Bilim Temelli Hedefler Girişimi'ne (SBTi) göre Ocak 2026 itibarıyla 90'dan fazla

ülkede 10.000'i aşkın şirketin bilim temelli hedefi onaylanmıştır (SBTi, 2026). Bu hedefler, tedarik zinciri (Kapsam 3) emisyonlarını da kapsadığında, büyük alıcı şirketlerin iklim taahhütlerini, tedarikçilerinin (gelişmekte olan ülkelerdeki üreticiler dahil) doğrudan karbonsuzlaşma baskısına dönüştüren bir mekanizma işlevi görmektedir. AB düzenlemeleri de bu baskıyı pekiştirmektedir. 2025-2026 Omnibus sadeleştirme paketiyle kapsamları daraltılmış olsa da kurumsal sürdürülebilirlik düzenlemeleri iki ayrı direktif üzerinden sürmektedir. Raporlama yükümlülüğünü düzenleyen Kurumsal Sürdürülebilirlik Raporlama Direktifi (CSRD), artık yalnızca 1.000'den fazla çalışanı ve 450 milyon avronun üzerinde cirosu olan şirketleri kapsamaktadır; AB dışı gruplar için ise AB'deki cironun 450 milyon avroyu, AB'deki iştirak veya şubenin cirosunun 200 milyon avroyu aşması aranmakta ve bu kapsam 2028 mali yılından itibaren uygulanacaktır. Durum tespiti yükümlülüğünü düzenleyen Kurumsal Sürdürülebilirlik Durum Tespiti Direktifi (CSDDD) ise 5.000'den fazla çalışanı ve 1,5 milyar avronun üzerinde cirosu olan şirketlere, AB dışı şirketlerde ise AB'deki cirosu 1,5 milyar avroyu aşanlara uygulanacaktır; üye devletlerin iç hukuka aktarım süresi 26 Temmuz 2028, uygulama tarihi ise 26 Temmuz 2029'dur. Bu şirketler tedarik zincirleri boyunca olumsuz etkileri değerlendirmekle yükümlü olduğundan baskı, doğrudan kapsam dışında kalan tedarikçilere de dolaylı olarak yansımaktadır (Avrupa Parlamentosu ve AB Konseyi, 2026). Bu baskı, en çok karbonsuzlaştırılması zor (İng. hard-to-abate) sektörlerde hissedilmektedir. Çelik, çimento, kimya ve alüminyum gibi sektörler küresel karbon emisyonlarının yaklaşık %30'unu oluşturmakta ve tam da bu nedenle hem CBAM'ın hem de alıcı şirketlerin tedarik zinciri taleplerinin en yoğun hedefi olmaktadır (Mission Possible Partnership, 2024). Bu sektörler için dönüşüm artık bir tercih değil, pazara erişimin ön koşulu hâline dönüşmüştür.

Aynı geçiş süreci, temiz enerji teknolojileri üretiminde de yeni bir sanayi alanı açmaktadır. Ancak bu alan bugün az sayıda ülkede, hatta tek bir ülkede yoğunlaşmış durumdadır. IEA'ya göre altı temel temiz enerji teknolojisinin üretim kapasitesine yönelik küresel yatırım 2024'te 200 milyar doların altına inmiş olsa da üretim Çin'de yoğunlaşmaya devam etmektedir. Çin küresel polisilikon/wafer kapasitesinin %80'inden fazlasını elinde tutmakta, 2030 yılında güneş paneli talebinin %70'inden fazlasını karşılaması beklenmektedir. Çin'in temiz teknoloji ihracatı 2025'te 165 milyar doları (küresel toplamın yarısını) aşmıştır. ABD ve AB'nin toplam küresel üretim yatırımındaki payı ise 2023'teki %15'ten 2025'te yaklaşık %30'a yükselmiştir (IEA, 2026). Tablo, yeşil sanayinin gelişmekte olan ülkeler için hızla daralan bir fırsat penceresi sunduğuna işaret etmektedir.

Gelişmeler, iklim değişikliğinin ve düşük karbonlu geçişin her ülkenin sanayisini aynı ölçüde etkilemeyeceğini ortaya koymaktadır. ND-GAIN Ülke Endeksi'ne göre zengin ülkeler düşük kırılganlığı yüksek uyum kapasitesiyle birleştirirken (Norveç 75,5, Finlandiya 73,3, İsviçre 72,0), en kırılgan ve en az hazırlıklı ülkeler (Çad, Nijer, Orta Afrika Cumhuriyeti, Somali, Solomon Adaları, Tuvalu, Marshall Adaları ve Kiribati vb.) büyük ölçüde Sahra-altı Afrika ve Pasifik'te kümelenmekte, 40 puanın altında kalmaktadır (ND-GAIN, 2023). Aynı küresel sıcaklık artışı, bu nedenle yapısal olarak eşitsiz bir sanayi riski üretmektedir: bazı ülkeler için asıl tehdit fiziksel riskler (altyapı ve üretim kaybı), bazıları için geçişe bağlı riskler (CBAM örneğinde görüldüğü gibi ihracat geliri kaybı), bazıları için ise kritik hammadde ve yenilenebilir enerji potansiyeli üzerinden fırsat olarak belirmektedir.

7.

COP Toplantılarında Bugüne Kadar Sanayi ve Gelişmekte Olan Ülke Sanayileri ile İlgili Alınmış Kararların Özeti

Sanayiyi ve gelişmekte olan ülkelerin sanayileşme hakkını nasıl ele alacağı sorusu, İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi'nin (UNFCCC) 1992'deki kuruluşundan bu yana müzakerelerin merkezinde yer almıştır. Sözleşme'nin 3.1. maddesi, tarafların iklim sistemini "ortak ama farklılaştırılmış sorumluluklar ve ilgili kapasiteler" (CBDR-RC) temelinde korumasını öngörür; 4.7. madde ise gelişmekte olan ülkelerin taahhütlerini yerine getirmesini gelişmiş ülkelerin finansman ve teknoloji desteğine bağlarken, ekonomik ve sosyal kalkınma ile yoksulluğun ortadan kaldırılmasını bu ülkelerin "birinci ve en öncelikli" hedefleri olarak tanımlar (Birleşmiş Milletler, 1992). Bu ilke, izleyen otuz yıl boyunca COP sürecinde sanayiye ilişkin her kararın arka planını oluşturmuştur.

1997'de kabul edilen Kyoto Protokolü, bu farklılaşmayı bağlayıcı hukuki forma dönüştüren ilk metindir: yalnızca gelişmiş (Ek I) ülkeler 2008-2012 döneminde ortalama %5 emisyon azaltımı taahhüdü altına girmiş, gelişmekte olan ülkelere herhangi bir bağlayıcı hedef getirilmemiştir (UNFCCC, t.y.-a). Gelişmekte olan ülke sanayilerinin protokole bağlandığı temel araç Temiz Kalkınma Mekanizması (CDM) olmuştur: 2022 itibarıyla 7.846 proje kayıt altına alınmış ve 2,17 milyar sertifikalandırılmış emisyon azaltımı (CER) ihraç edilmiştir (UNFCCC, t.y.-b). Ancak performans sektörler arası ciddi biçimde farklılaşmıştır. Projelerin yalnızca %2'sini oluşturan endüstriyel HFC-23/N2O imha projeleri toplam azaltımın %41'ini sağlarken, projelerin çoğunluğunu oluşturan hidroelektrik ve rüzgâr projeleri hedeflerinin altında kalmıştır. CER gelirinin %81-90'ını yalnızca dört ülke (başta Çin olmak üzere Hindistan, Güney Kore ve Brezilya) almıştır (Lo ve Cong, 2022). 2010 Cancún Anlaşmaları ile kurulan Teknoloji Mekanizması (Teknoloji Yürütme Komitesi ve İklim Teknolojisi Merkezi ve Ağı) ise gelişmekte olan ülkelere teknoloji transferi için ayrı bir kanal oluşturmuştur (UNFCCC, t.y.-c).

2015 Paris Anlaşması, yukarıdan aşağıya dayatılan Ek I hedeflerini terk ederek her ülkenin (gelişmiş veya gelişmekte olan ayrımı olmaksızın) kendi Ulusal Katkı Beyanını (NDC) belirlediği aşağıdan yukarıya bir sisteme geçmiştir. Farklılıklar bu kez "gelişmekte olan ülke taraflar için emisyonların zirveye ulaşmasının daha uzun süreceği" ve azaltımın "sürdürülebilir kalkınma ve yoksulluğun ortadan kaldırılması çabaları bağlamında" gerçekleşeceği ifadeleriyle korunmuştur (UNFCCC, t.y.-d). Anlaşmanın karbon piyasalarını düzenleyen 6. maddesinin uygulama kuralları, dokuz yıllık müzakerenin ardından ancak COP29'da (Bakü, 2024) tamamlanabilmiştir: Madde 6.4, CDM'nin halefi sayılan merkezi bir kredilendirme mekanizması kurarken, Madde 6.2 ülkeler arası ikili ticareti düzenlemektedir. UNFCCC yetkilileri, işlevsel hâle geldiğinde bu mekanizmaların toplam NDC uygulama maliyetlerinde yıllık 250 milyar dolara varan tasarruf sağlayabileceğini öngörmektedir (UNFCCC, 2024b). Bu kurallar, gelişmekte olan ülkelerdeki çelik, çimento ve hidrojen gibi sanayi projelerinin uluslararası karbon kredisi üretebilmesi için önem taşımaktadır.

Sanayiye özgü ilk somut girişimler COP26'da (Glasgow, 2021) ortaya çıkmıştır. Küresel emisyonların %60'ından fazlasını oluşturan yedi sektörü (enerji, karayolu taşımacılığı, çelik, hidrojen, tarım, binalar ve çimento) kapsayan Atılım Gündemi'ne (Breakthrough Agenda), küresel GSYH'nin %80'inden fazlasını temsil eden 59 ülke katılmıştır. Örneğin Çelik Atılımı, 2030 yılına veya öncesine kadar her bölgede "verimli ve sıfıra yakın emisyonlu" çelik üretimini hedeflemektedir (Breakthrough Agenda, t.y.). Aynı dönemde, Birleşik Krallık ve Hindistan öncülüğünde ve UNIDO sekretaryalığında kurulan Sanayide Derin Karbonsuzlaşma Girişimi (IDDI), hükümetlerin kamu inşaat projelerinde düşük emisyonlu çelik ve çimento kullanımını 2030'a kadar zorunlu kılmasını, 2050'ye kadar ise sıfır emisyonlu malzemeyi standart hâline getirmesini öngören bir "yeşil kamu alımı" taahhüdüne dayanmaktadır ki girişime bugün 17 ülke üyedir (UNIDO, t.y.).

COP27'de (Şarm El-Şeyh, 2022) gelişmekte olan ülkeler açısından bir diğer dönüm noktası yaşanmış, iklim kaynaklı kayıp ve zararları karşılamak üzere özel bir Kayıp ve Zarar Fonu'nun kurulması ilk kez kabul edilmiştir (UNFCCC, 2022). Fon, doğrudan sanayiye özgülenmiş olmasa da iklim afetlerinin üretim tesisleri ve altyapıya verdiği zararı da ilke olarak kapsama alanına almaktadır.

COP28'de (Dubai, 2023) Paris Anlaşması'nın ilk Küresel Envanter Değerlendirmesi (Global Stocktake) tamamlanmış ve enerji sistemlerinde "adil, düzenli ve eşitlikçi bir biçimde fosil yakıtlardan uzaklaşma" yönünde kapsamlı bir çağrı yapılmıştır. Aynı karar 2030'a kadar yenilenebilir enerji kapasitesinin üçe katlanmasını ve enerji verimliliği artış hızının ikiye katlanmasını hedeflemektedir (UNFCCC, 2023). Kayıp ve Zarar Fonu aynı COP'ta işlevsel hâle getirilmiş, Dünya Bankası en az dört yıllığına geçici ev sahibi olarak belirlenmiş; ilk gün BAE ve Almanya'nın 100'er milyon dolarlık taahhütleri dahil 420 milyon doları aşan katkı açıklanmıştır (Carbon Brief, 2023).

COP29'da (Bakü, 2024) iklim finansmanına ilişkin Yeni Kolektif Nicel Hedef (NCQG) kabul edilmiştir. 2009'da Kopenhag'da taahhüt edilen ve 2015'te Paris'te 2025'e kadar uzatılan yıllık 100 milyar dolarlık eski hedefin yerini, gelişmiş ülkelerin liderliğinde 2035'e kadar yılda en az 300 milyar dolarlık yeni bir taban almıştır. Tüm kaynaklardan (kamu-özel, tüm ülkeler) yıllık 1,3 trilyon dolara ulaşılması ise "Bakü'den Belém'e Yol Haritası" ile daha geniş, bağlayıcı olmayan bir hedef olarak belirlenmiştir (UNFCCC, 2024a; COP29 ve COP30 Başkanlıkları, 2025). Aynı COP'ta 6. madde karbon piyasası kurallarının (6.2 ve 6.4) tamamlanması, önceki paragrafta belirtildiği gibi, sanayi projeleri için pratik bir çerçeve oluşturmuştur.

COP30'da (Belém, 2025) Adil Dönüşüm Çalışma Programı kapsamında, yeni bir kurumsal yapı olarak Belém Eylem Mekanizması (BAM) oluşturulmuştur (Çalışma Programı'nın kendisi yürürlükte kalmaya devam etmekte, BAM ona somut bir uygulama kanalı kazandırmaktadır). Uluslararası Sendikalar Konfederasyonu (ITUC), mekanizmanın işçi ve sendikalara resmî bir rol tanıdığını ve özellikle "dönüşüm hâlindeki sanayiler" için önem taşıdığını vurgulamıştır; ancak mekanizma henüz bütçesi belirlenmemiş bir çerçeve niteliğindedir (ITUC, 2025). Uyum finansmanında 2035'e kadar mevcut düzeyin en az üç katına çıkarılması hedefi kabul edilmiştir. Ancak bu, yaklaşık 120 milyar dolarlık bir düzeye işaret etmekte ve gelişmekte olan ülkelerin tahmini 310-365 milyar dolarlık yıllık ihtiyacının yaklaşık %33-39'unu karşılamaktadır (Gabbatiss, 2025b). Gelişmekte olan ülkelerin özellikle talep ettiği, CBAM benzeri tek taraflı ticaret önlemlerine ilişkin doğrudan bir mandat ise nihai metinde yer almamıştır. Bunun yerine 2026-2028 döneminde Bonn'da yıllık diyaloglar yürütülmesi kararlaştırılmıştır (Lo, 2025). İlk Ticaret ve İklim Diyaloğu 13 Haziran 2026'da Bonn'da yapılmış; G77 ve Çin, Afrika Grubu, Arap Grubu ve BASIC gibi gruplar iklimle bağlantılı ticaret önlemlerinin (başta AB'nin CBAM'ı) uyum maliyetlerini artırabileceği ve sanayileşmeyi tehdit edebileceği uyarısında bulunmuştur (Dev, 2026).

Sanayinin karbonsuzlaşması için gereken finansman ile mevcut akışlar arasındaki makas, COP30 civarında yayımlanan bir OECD-IEA raporuyla da somutlaşmıştır. Sıfıra yakın emisyonlu çelik ve çimento teknolojilerine önümüzdeki on yılda en az 500 milyar dolar yatırım gerekmekte, bunun yaklaşık 375 milyar dolarının (küresel çelik üretiminin %75'inden, çimento üretiminin %85'inden fazlasını gerçekleştiren) gelişmekte olan ve yükselen

piyasa ekonomilerine yönlendirilmesi gerekmektedir. Rapor, bu ülkelerdeki sanayi karbonsuzlaşmasına yönelik finansal ve teknik desteğin bugüne kadar "yetersiz" kaldığını belirtmekte ve risk azaltımı için en az yıllık 2 milyar dolarlık uluslararası kamu finansmanını asgari eşik olarak önermektedir (OECD ve IEA, 2025). Sanayinin küresel CO_2 emisyonlarının yaklaşık %40'ını oluşturduğu göz önüne alındığında, bu makas yalnızca sektörel değil, Paris Anlaşması'nın genel yörüngesi açısından da belirleyicidir.

Türkiye'nin ev sahipliğinde 9-20 Kasım 2026'da Antalya'da düzenlenecek COP31, COP30'un Eylem Gündemi'nde (Action Agenda) enerji-sanayi-ulaşım ekseninde çelik, çimento ve gübre gibi sektörlere yönelik olarak başlatılan eşgüdümü, COP31 Başkanlığının Eylem Gündemi'nde sürdürmek ve uygulama odaklı hâle getirmek için bir fırsat sunmaktadır. Başkanlığın açıkladığı on öncelik teması arasında yer alan **"yeşil sanayileşme"**, özellikle karbonsuzlaştırılması zor sektörlere odaklanarak "rekabetçi, dirençli ve düşük karbonlu sanayi üretimini hızlandırmayı" hedeflemektedir (SDG Knowledge Hub, 2026). Bu çerçeve, Atılım Gündemi, IDDI, 6. madde karbon piyasaları ve yeni ticaret diyalogları gibi bugüne kadar dağınık kalan sanayi-iklim girişimlerini COP31'de daha tutarlı bir bütün içinde bir araya getirme potansiyeli taşımaktadır. Atılım Gündemi ve IDDI gibi gönüllü girişimler ile Paris Anlaşması'nın 6. maddesi kapsamındaki resmî mekanizmalar arasında uygulama odaklı eşgüdüm geliştirilebilir.

8. Dijital Dönüşüm ve Yapay Zekâ

Dijital dönüşüm, nesnelerin interneti, büyük veri, bulut bilişim, otomasyon ve robotik gibi bileşenleri içeren (sanayi bağlamında Endüstri 4.0 olarak da adlandırılan) teknolojik dönüşüm sürecidir. Bu sürecin en yeni ve en dönüştürücü dalgası, 2022 sonrasında hız kazanan yapay zekâ, özellikle üretken yapay zekâdır (İng. generative AI). Bugünkü haliyle ve en özlü tanımıyla yapay zekâ, bilgisayarların örneklerden öğrenerek yeni durumlarda tahmin, öneri veya içerik üretmesini sağlayan teknolojidir.

Yatırımların boyutu çarpıcıdır. Küresel kurumsal yapay zekâ yatırımı 2024'te 253 milyar dolardan 2025'te 581 milyar dolara çıkarak iki katından fazla artmıştır. Üretken yapay zekâya yönelik özel yatırım 2024'te 33,9 milyar dolara (%18,7 artış) ulaşmış, 2025'te ise %200'ün üzerinde büyüyerek toplam özel yapay zekâ finansmanının neredeyse yarısını oluşturur hâle gelmiştir (Stanford HAI, 2025, 2026).

Benimseme hızı da aynı ölçüde çarpıcıdır. McKinsey'nin küresel anketine göre, en az bir iş fonksiyonunda düzenli olarak yapay zekâ kullandığını bildiren kuruluşların oranı 2024'te %78 iken 2025'te %88'e, 2026'da ise %89'a yükselmiştir. Bu da hızlı bir benimseme dalgasının ardından bir platoya işaret etmektedir (McKinsey & Company, 2026). UNCTAD'ın tahminine göre küresel yapay zekâ pazarı 2033'e kadar 4,8 trilyon dolara (kabaca Almanya ekonomisinin toplam büyüklüğüne) ulaşacaktır (UNCTAD, 2025c).

Ancak bu dönüşüm eşit yayılmamaktadır. 2025'te dünya nüfusunun yaklaşık %74'ü (6 milyar kişi) internete erişebilirken, bu oran yüksek gelirli ülkelerde %94'e ulaşırken düşük gelirli ülkelerde yalnızca %23'te, buna karşılık en az gelişmiş ülkelerde (ayrı bir BM gruplandırması; bkz. Ek 2) %34'te kalmaktadır. Hâlâ çevrimdışı kalan nüfusun %96'sı düşük ve orta gelirli ülkelerde yaşamaktadır (ITU, 2025). Yapay zekâ özelinde yoğunlaşma daha da keskindir. Küresel kurumsal Ar-Ge harcamalarının %40'ı, esas olarak ABD ve Çin merkezli yalnızca 100 şirket tarafından yapılırken, büyük ölçüde Küresel Güney'de yer alan 118 ülke başlıca yapay zekâ yönetişimi tartışmalarının tamamen dışında kalmaktadır (UNCTAD, 2025c). Bu eşitsiz yayılma, gelişmekte olan ülkeler için farklı bir risk ve fırsat dengesi zemini hazırlamaktadır.

9.
Dijital Dönüşüm ve Yapay Zekânın Sanayiye Etkileri

Dijital dönüşüm ve yapay zekânın sanayi üzerindeki etkisi de iklim değişikliğinde olduğu gibi, tek yönlü değil çok boyutludur. Ancak buradaki ayrışma ekseni iklimden farklıdır. Asıl belirleyici fiziksel maruziyet değil, bilgi, sermaye ve yeteneğe erişimdir. Bu erişim, aşağıda görüleceği gibi, ülkeler arasında giderek daha eşitsiz dağılmaktadır.

Doğrudan verimlilik potansiyeli büyüktür. BCG, uçtan uca (sanal ve fiziksel) yapay zekâ dönüşümünün imalatta %30'un üzerinde verimlilik artışı sağlayabileceğini değerlendirmektedir; bu potansiyelin bileşenleri olarak doğrudan iş gücü görevlerinde yaklaşık %50, dolaylı iş gücü görevlerinde yaklaşık %25 otomasyon, kalite dışı maliyetlerde (hata/yeniden işleme) yaklaşık %30 azalma ve makine performansında yaklaşık %25 artış gösterilmektedir. BCG'nin bir sanayi malları vakasında ise, proje/pilot sürecindeki ilk göstergelere göre, öngörücü analitikle 15 yüzde puanlık Genel Ekipman Etkinliği (OEE) artışı, otomatik hata tespitiyle kalite dışı maliyetlerde %32 azalma ve yıllık 190 milyon avroluk tasarruf bildirilmiştir (BCG, 2025). Ancak bu potansiyelin gerçekleşmesi otomatik değildir. MIT'nin Project NANDA girişiminin araştırmasına göre kurumsal dünya

üretken yapay zekâya 30-40 milyar dolar yatırmış olmasına karşın kuruluşların %95'i ölçülebilir hiçbir finansal geri dönüş elde edememekte, değerin neredeyse tamamı ölçeklenmiş pilotların yalnızca %5'lik diliminde yoğunlaşmaktadır (MIT NANDA, 2025). Bu tablo, Robert Solow'un 1987'deki ünlü olan "bilgisayarlar her yerde, sadece üretkenlik istatistiklerinde yok" gözlemini anımsatmaktadır (Solow, 1987). Teknolojiye erişim, onu etkin biçimde kullanacak veri yönetişimi, iş akışı tasarımı ve kurumsal kapasite olmadan kendiliğinden bir verimlilik artışına dönüşmemektedir.

Bu verimlilik artışının iş gücü piyasasına yansıması da karmaşıktır. Dünya Ekonomik Forumu'nun öngörüsüne göre 2030'a kadar küresel ölçekte, teknolojik gelişme (yapay zekâ ve otomasyon dahil), yeşil dönüşüm ile ekonomik ve demografik değişimlerin bir arada şekillendirdiği yapısal dönüşümle 92 milyon iş ortadan kalkacak, 170 milyon yeni iş yaratılacak ve (net etki +78 milyon iş olsa da) toplam istihdamın %22'si bu değişimden etkilenecektir (WEF, 2025c). İleri imalat sektöründe bu dönüşüm daha da belirgin görünmektedir. Aynı rapora göre sektördeki iş gücü tarafından yürütülen görevlerin payının 2025'te %43'ten 2030'da %31'e gerilemesi, işverenlerin %81'inin yapay zekâ, %69'unun ise robotik teknolojilerini benimsemeyi planlaması beklenmektedir (WEF, 2025c).

Bu dönüşümün en kritik boyutu, tıpkı toplumlar arasındaki gelir uçurumu gibi, ülkeler arasındaki bilgi ve teknoloji uçurumunun da giderek derinleşmesidir. WIPO'nun 2025 verilerine göre, 2024'te uluslararası patent başvurularının %77,8'i yalnızca beş ülkeden (Çin, ABD, Japonya, Güney Kore ve Almanya) gelmiştir. Afrika, Latin Amerika-Karayipler ve Okyanusya'nın toplam payı %1,3'te kalmış, düşük gelirli ülkelerden gelen başvuru yalnızca 21 adet olmuştur. Son on yılda Asya'nın payı %40,6'dan %56,3'e yükselirken Kuzey Amerika'nınki %30,1'den %20,6'ya gerilemiştir. Yenilikçiliğin üretildiği "çekirdek" ülkeler arasında bile yer değiştirme yaşanırken, düşük gelirli ülkelerin payı neredeyse sabit kalmıştır (WIPO, 2025a). UNCTAD'ın verileri bu tabloyu pekiştirmektedir. Küresel kurumsal Ar-Ge yatırımının %40'ından fazlasını, çoğunlukla ABD ve Çin merkezli yalnızca 100 şirket gerçekleştirmekte; bu grupta hiçbir Afrika ülkesi veya küçük Güney Asya ekonomisi yer almamaktadır (UNCTAD, 2025c).

Bu uçurumu bir ölçüde karmaşıklaştıran bir diğer süreç, nitelikli yapay zekâ yeteneğinin ülkeler arasındaki dağılımıdır. MacroPolo'nun küresel yapay zekâ yetenek takibinin ikinci turuna göre (NeurIPS 2022'de kabul edilen 2.671 bildirinin yazarları örneklem alınarak en üst düzey araştırmacılar incelenmiştir ki bu yaklaşık %20'lik dilime denk gelmektedir) ABD, üst düzey yapay zekâ yeteneği için hâlen en cazip merkez olmayı sürdürmekte, ABD ve Çin kökenli araştırmacılar bu havuzun %75'ini oluşturmaktadır. Ancak eğilim tek yönlü değildir. Çin'in kendi üst düzey yapay zekâ yeteneği üretimindeki payı 2019'daki %29'dan 2022'de %47'ye yükselmiştir. Hindistan'da da benzer bir toparlanma görülmektedir. 2019'da yurt dışında çalışmayı tercih eden Hint kökenli üst düzey araştırmacıların oranı neredeyse tamamına yakınken, 2022'de bu araştırmacıların yaklaşık beşte biri kendi ülkesinde kalmayı tercih etmiştir (MacroPolo, 2023). Bu veriler, beyin göçünün tek yönlü ve geri döndürülemez bir süreç olmadığını, büyük ve gelişmekte olan ekonomilerin doğru koşullar altında belirli bir oranda yetenek tutma kapasitelerini geliştirebildiğini göstermektedir.

Bu eşitsizliğin sanayi için en somut sonucu, gelişmekte olan ülkelerin yeni teknolojiye hâkim bir üretici değil, yalnızca bedelini ödeyen bir kullanıcı/operatör konumuna düşme riskidir. UNCTAD'ın ifadesiyle, "yeni teknolojilerin ilk geliştirilmesi tipik olarak gelişmiş ülkeler tarafından yürütülmekte; gelişmekte olan ülkeler ise çoğunlukla yalnızca sınır teknolojilerini benimsemektedir" (UNCTAD, 2025c). Bu yapısal bağımlılık yatırım verilerinde de görülmektedir. Küresel özel yapay zekâ yatırımının %70'ini (yaklaşık 67 milyar dolar) tek başına ABD çekerken, Çin'in payı 7,8 milyar dolarda kalmakta, geri kalan dünyanın payı ise çok daha küçüktür (UNCTAD, 2025c). Rapor, gelişmekte olan ülkelerdeki birçok KOBİ'nin kendi yapay zekâ modelini eğitecek hesaplama gücünü karşılayamadığı için yabancı platformlara bağımlı kaldığını -bir tür "hesaplama uçurumu"- özellikle vurgulamaktadır (UNCTAD, 2025c).

Bu dönüşümün sanayi için taşıdığı bir başka boyut, yapay zekâyı mümkün kılan donanımı üreten sanayilerin kendisidir. Çip tasarımı, ileri çip üretimi, litografi ekipmanı, yüksek bant genişlikli bellek (HBM), fiber optik ağ altyapısı ve veri merkezi soğutma sistemleri gibi alanlar, yapay zekâdan yalnızca

etkilenmemekte, onu fiziksel olarak mümkün kılmakta ve bu sayede son derece kârlı hâle gelmektedir. Yoğunlaşma çarpıcıdır: NVIDIA, veri merkezi yapay zekâ çipi tasarımı pazarının %80'inden fazlasını elinde tutmakta, 2026 mali yılında geliri %65 artışla 215,9 milyar dolara, net kârı ise yaklaşık 120 milyar dolara ulaşmıştır (Atradius, 2026; NVIDIA, 2026). En ileri çiplerin üretimi için zorunlu olan EUV litografi makinelerini dünyada üretebilen tek şirket olan Hollandalı ASML, 2025'te 32,7 milyar avro satış ve 9,6 milyar avro net kâr açıklamıştır (ASML, 2026). Bellek çipleri pazarında da benzer bir tablo görülmektedir. Yapay zekâ talebiyle özellikle yüksek bant genişlikli bellek üretimine kayan Samsung ve SK Hynix'in bellek bölümü brüt kâr marjının 2025'in son çeyreğinde %63-67'ye çıkması ve böylece 2018'den bu yana ilk kez TSMC'nin dökümhane marjını geçmesi beklenmektedir (TrendForce, 2025). Veri merkezi soğutma pazarı da aynı ivmeyle büyümektedir. 2025'te yaklaşık iki katına çıkarak 3 milyar dolara ulaşmış, 2029'a kadar 7 milyar dolara çıkması beklenmektedir (Dell'Oro Group, 2026). Ancak bu kârlı katman coğrafi olarak son derece dardır. En büyük 15 ihracatçı ülke, yapay zekâyı mümkün kılan donanım ihracatının %85-90'ını gerçekleştirmektedir. Hollanda tek başına (ASML sayesinde) bu ihracatın %7'sini oluşturmaktadır (Atradius, 2026). Gelişmekte olan ülkeler için bu tablo hem bir uyarı hem bir soru işaretidir. Dönüşümün en kârlı katmanına girmek neredeyse imkânsız görünse de bu tedarik zincirinin niş ama kritik halkalarında (özel malzemeler, bileşenler, montaj) yer almak, tamamen dışında kalmaktan farklı bir stratejik konum sunabilir.

Ancak aynı teknoloji, bazı faaliyetlerde ölçek dezavantajını azaltabilmektedir. Doğru teknolojiyi ve beceriyi bir araya getirebilen küçük ekipler, bu sayede ölçek dezavantajını bir ölçüde aşabilir. Bu durum, küçük ölçekli aktörlerin (dolayısıyla sınırlı sanayi tabanına sahip küçük ülkelerin de) doğru niş konumlanmayla bu dönüşümde yer alabileceğine dair bir olasılığa işaret etmektedir; ancak bu kesin bir sonuç değil, yalnızca bir olasılıktır. Bunun önkoşulu, hem doğru dönüşümün sistematiklerinin erken dönemde uygulanması hem de bir önceki paragrafta tarif edilen bağımlılık tuzağının tersine çevrilmesi, yani teknolojinin yalnızca kullanılması değil, üretilmesidir.

Acemoğlu ve Johnson'ın (2023) vurguladığı gibi, teknolojik ilerleme kendiliğinden geniş bir refah üretmez; kazanımların nasıl paylaşılacağını kurumlar, pazarlık gücü ve politika tercihleri belirler. Dijital dönüşüm ve yapay zekânın sanayi üzerindeki etkisi, bu nedenle gelişmekte olan ülkeler için tek bir yöne işaret etmez. Verimlilik artışı ve küçük ölçekli aktörler için açılan yeni fırsat penceresi bir arada dururken, bilgi ve teknoloji uçurumunun derinleşmesi, nitelikli yetenek kaybı ve teknolojik bağımlılık riski de aynı anda büyümektedir. Hangi ülkenin bu ikili tablonun hangi tarafında yer alacağı, büyük ölçüde teknolojiyi erken ve üretici bir konumda benimseyip benimseyemeyeceğine bağlıdır.

10.
İkiz ve Üçüz Dönüşüm Kavramları

“İkiz dönüşüm” kavramı, Avrupa Komisyonu’nun 2019’dan itibaren siyasi gündeminin merkezine koyduğu yeşil (iklim) ve dijital dönüşümün birbirini güçlendirecek şekilde eş zamanlı yürütülmesi fikrini ifade eder. Kavram resmî olarak Komisyon’un 2022 Stratejik Öngörü Raporu’nda “Twinning the Green and Digital Transitions” başlığıyla çerçevelenmiştir (Avrupa Komisyonu, 2022). Rapor, enerji, ulaştırma, sanayi, inşaat ve tarımı (AB sera gazı emisyonlarının büyük bölümünden sorumlu hayati ekonomik sektörler olarak nitelendirilir) iki dönüşümün kesiştiği kritik sektörler olarak tanımlamakta ve 2030’a kadar yıllık yaklaşık 650 milyar avroluk ek yatırım gerektiğini öngörmektedir (Avrupa Komisyonu, 2022).

“İkiz” nitelemesi, iki dönüşümün otomatik olarak birbirini beslediği anlamına gelmez; ilişki hem tamamlayıcı hem zorlayıcıdır. Dijital teknolojiler bir yandan iklim nötrlüğüne katkı sağlarken (örneğin dijital ikizler üretim ve bakım süreçlerini optimize eder, sensörler ve uydu verisi enerji arz-talep tahminini iyileştirir) öte yandan aynı teknolojilerin yaygınlaşması enerji tüketimini ve elektronik atığı artırmaktadır (Avrupa Komisyonu, 2022). Bu çalışmanın önceki bölümlerinde ele alınan veri merkezi elektrik talebindeki artış, bu gerilimin sanayi için somut bir örneğidir. Dolayısıyla iki dönüşümün birbirini güçlendirmesi kendiliğinden gerçekleşmez; kasıtlı politika tasarımı gerektirir.

Kavram zamanla genişlemiştir. OECD Kalkınma Merkezi’nin 2023 tarihli “Towards a Triple Transition” raporu, yeşil ve dijital dönüşüme üçüncü bir eksen olarak sosyal dönüşümü eklemektedir. Küresel eşitsizliklerin, yoksulluğun ve toplumsal kutuplaşmanın artması karşısında, iklim ve dijital hedeflerin toplumsal kapsayıcılık gözetilmeden sürdürülmesinin kalkınma kazanımlarını tersine çevirebileceğini savunmaktadır (OECD, 2023). Rapor, özellikle gelişmekte olan ülkeler için bu üç dönüşümün ayrı ayrı değil sistemik bir bütün olarak ele alınması gerektiğini, aksi hâlde ülkelerin bilgi/teknoloji uçurumu, beyin göçü ve iklim kırılganlığının iç içe geçtiği “kalkınma tuzaklarına” düşme riskiyle karşı karşıya kalacağını vurgulamaktadır (OECD, 2023).

Bu çalışma, üçüz dönüşüm çerçevesinin analitik değerini kabul etmekle birlikte, kendi ekseni olarak ikiz dönüşümü (yeşil dönüşüm ile dijital dönüşüm/yapay zekâ) esas almaktadır. Bunun nedeni sosyal boyutun önemsiz görülmesi değildir. Nitekim bu çalışmanın önceki bölümlerinde ele alınan bilgi ve teknoloji uçurumu, beyin göçü, adil dönüşüm mekanizmaları ve eşitsiz iklim kırılganlığı, sosyal dönüşümün meselelerini dokunun içine yedirmektedir. Tercih edilen odaklanma, sanayinin karşı karşıya olduğu en somut ve ölçülebilir iki baskı ekseni olan iklim ve dijital dönüşüme daha derinlemesine eğilebilmek içindir. Sosyal boyut, ayrı bir yapısal sütun olarak değil, her iki eksenin de içinden geçen bir unsur olarak ele alınmaktadır. İkiz dönüşümün somut içeriği (bu iki eksenin kesiştiği teknoloji ve etkinleştirici alanların ayrıntılı dökümü) bu çalışmanın Ek 1’inde ele alınmaktadır.

11.

Endekslerden Bir Okuma: Gelişmekte Olan Ülkelerin Geride Kaldığı Alanlar

Girişte ve Ek 2'de açıklanan IMF ayrımı kullanılırken, EMDE sepetinin kendi içinde homojen olmadığı gözden kaçırılmamalıdır. Bu nedenle aşağıdaki okuma, Çin'i ayrı tutmaktadır: Çin, GII 2025'in kendi tespitiyle de "ilk 25 içinde yüksek gelir grubunda yer almayan tek ekonomi" olacak kadar istisnai bir profile sahiptir ve EMDE ortalamalarını tek başına yukarı çekmektedir (WIPO, 2025c). Geri kalan EMDE sepetine odaklanıldığında, küresel endekslerden dört alanda sistematik ve ölçülebilir bir "geride kalma" ortaya çıkmaktadır. Bu çalışmanın tezi, bu açıklar kapanmadan ikiz dönüşümün EMDE'lerde sağlıklı ve kalıcı biçimde ilerleyemeyeceğidir.

Dijital Altyapı ve Bağlantı Açığı

Gelir grubuna göre bağlantı kalitesi keskin bir kademelenme göstermektedir. 100 kişi başına sabit genişbant abonelik sayısı yüksek gelirli ekonomilerde 38, üst-orta gelirli ekonomilerde 32 iken, alt-orta gelirli ekonomilerde 5'e, düşük gelirli ekonomilerde ise yalnızca 1'e düşmektedir. Mobil genişbantta fark bir miktar daralsa da (153/112/66/40) kapanmamaktadır. Uçurum en keskin haliyle 5G'de görülmektedir. 2024 itibarıyla yüksek gelirli ekonomilerin nüfusunun %84'ü 5G'ye erişebilirken, bu oran üst-orta gelirde %65, alt-orta gelirde %35, düşük gelirli ekonomilerde ise yalnızca %4'tür. Hatta düşük gelir grubunun beşte biri hâlâ hiçbir mobil bağlantıya sahip değildir (WIPO, 2025c). Endüstriyel IoT, MRV ve dijital ürün pasaportu gibi Ek 1'de tanıtılan dijital araçların hiçbiri, bu temel bağlantı altyapısı olmadan işlevsel değildir.

Otomasyon ve İleri Üretim Teknolojisi Benimsemesi

Küresel endüstriyel robot stoku da benzer bir yoğunlaşma göstermektedir. 2023 itibarıyla stokun %41'i Çin'de, geri kalanının önemli bölümü ise yalnızca dört ekonomide (Japonya (%10,2), ABD (%8,9), Güney Kore (%8,9) ve Almanya (%6,3)) toplanmaktadır (WIPO, 2025c). Çin'i istisna olarak bir kenara bıraksak dahi, geri kalan pay yine ileri ekonomilerde yoğunlaşmakta; EMDE sepetinin geneli bu dönüşümün büyük ölçüde dışında kalmaktadır. Bu tablo, 4. bölümde ele alınan otomasyon kaynaklı yeniden kıyılaştırma baskısını (Artuc vd., 2019; Faber, 2020) tamamlayan bir başka boyuttur. EMDE'ler yalnızca otomasyonun iş gücü piyasasına yönelik tehdidiyle değil, bu teknolojiyi kendi üretimlerinde benimseyememe riskiyle de karşı karşıyadır.

Küresel Değer Zinciri ve Ticaret Entegrasyonu

Bu çalışmanın 3. bölümünde belirtildiği gibi, 2024'te yalnızca on ekonomi küresel ihracattaki katma değerin %53,5'ini üretmiştir (WTO, 2025). Bu yoğunlaşma, ikiz dönüşüm teknolojilerinin (güneş paneli, rüzgâr türbini, batarya, yarı iletken) üretim ve ihracatı için de geçerlidir. EMDE'lerin büyük bölümü bu değer zincirlerine hammadde veya düşük katma değerli ara girdi tedarikçisi olarak eklemlenmekte, teknolojinin kendisini üretme ve ihraç etme kapasitesinden büyük ölçüde yoksun kalmaktadır.

İklim ve Dekarbonizasyon Finansmanı

Finansman tarafındaki uçurum belki de en çarpıcı olanıdır. Çelik, çimento ve

kimya sektörleri küresel sanayi kaynaklı CO_2 emisyonlarının yaklaşık %70'ini oluşturmasına karşın, 2000-2023 döneminde EMDE'lere yönelik kalkınma finansmanının %1'inden azını almıştır (OECD ve IEA, 2025). Bu uyumsuzluk, Ek 1'de tanıtılan finansman ve iş modelleri etkinleştiricisinin (madde 16) neden EMDE bağlamında salt bir teknoloji tercihi değil, öncelikli bir yapısal engel olarak ele alınması gerektiğini açıklamaktadır.

Bu dört alan (bağlantı, otomasyon benimsemesi, değer zinciri entegrasyonu ve dekarbonizasyon finansmanı) birbirinden bağımsız da değildir. Zayıf dijital altyapı otomasyon yatırımının önünü kesmekte, değer zincirlerinin dışında kalmak teknoloji transferini sınırlamakta, yetersiz finansman ise hem dijital hem iklim yatırımını aynı anda geciktirmektedir. Bu çalışmanın çıkardığı sonuç şudur: EMDE sanayilerinin ikiz dönüşümün öznesi olarak konumlanabilmesi, önce bu dört yapısal açığın, tek tek değil, birbirini besleyen bir bütün olarak ele alınmasını gerektirmektedir. Aksi hâlde teknolojinin küresel olarak mevcut olması, EMDE sanayileri için gerçek bir seçenek anlamına gelmeyecektir.

12.
Gelişmekte Olan Ülkeler İçin İkiz Dönüşüm: Ama Nasıl?

EMDE sanayileri, önceki alt bölümde belgelenen açıklara rağmen bu tuzaktan çıkabilir. Ancak bunun için sanayilerini dijitalleşme ve iklim teknolojileriyle dönüştürmeleri, bunu da iki yönde eş zamanlı yürütmeleri gerekir.

Mevcut Sanayinin İkiz Dönüşümü

Mevcut sanayinin dönüşümü, sanayi kuruluşlarının ürünlerini, üretim süreçlerini, enerji ve kaynak kullanımlarını, teknolojilerini, tedarik zincirlerini ve iş modellerini iklim ve dijital dönüşüm doğrultusunda yenilemesini ve bu yönde güçlü bir irade ortaya koymasını gerektirir.

Dönüşümü Mümkün Kılan Sanayilerin Kurulması

Bu dönüşümü fiilen gerçekleştirecek ürün, ekipman, yazılım ve hizmetleri üreten yerel ve bölgesel sanayi kapasitelerinin geliştirilmesi.

Bu iki stratejik adımın ortak amacı, bütün teknolojileri yerel olarak üretmek değil; teknolojiyi bilinçli biçimde seçme, özümseme, uyarlama ve geliştirme

kapasitesini güçlendirirken, stratejik olarak seçilen alanlarda üretici ve ihracatçı konuma geçmektir. Potansiyel küçümsenemez: dijital teknolojilerin, yalnızca enerji, malzeme ve mobilite sektörlerinde 2050'ye kadar gereken emisyon azaltımının %20'sine kadarını sağlayabileceği öngörülmektedir (WEF ve Accenture, 2022). Ancak bu potansiyelin gerçekleşmesi, yapay zekâ ve akıllı üretim teknolojilerine erişimin bugün ülkeler arasında ne denli eşitsiz dağıldığına bağlıdır. Bu iki stratejik adımın somut içeriği (hangi teknolojilerin bu dönüşümü taşıyacağı) bu çalışmanın Ek 1'inde ayrıntılı biçimde ele alınan taksonomidir. Aşağıda bu taksonomiden seçilen birkaç örnek, farklı bir mercekten (katacakları değer türü üzerinden) yeniden ele alınmaktadır.

Peki nasıl yapılmalı?

Bu dönüşüm, tekrarlanabilir bir döngüyle ilerlemelidir: Mevcut durumun teşhis edilmesi; sorun ve ihtiyaçların haritalanması; teknoloji, kaynak ve kapasitelerin haritalanması; iklim etkisi, uygulanabilirlik ve toplumsal fayda kriterleriyle önceliklendirilmesi; talep yaratma, ilk risk sermayesi ve demonstrasyon yoluyla uygulanması ve ölçeklendirilmesi; son olarak sonuçların ölçülmesi ve başarılı çözümlerin yaygınlaştırılması. Bu döngü, doğru önceliklendirmenin ölçeklendirmeden önce gelmesini güvence altına almayı mümkün kılar, çünkü ölçeklendirme yalnızca sermaye değil, endüstriyel talep, uygun altyapı, standartlar, nitelikli insan kaynağı, demonstrasyon ortamları ve uzun vadeli politika istikrarı da gerektirir. Bu da kamunun yalnızca düzenleyici değil yön verici bir aktör olarak "misyona yönelik Ar-Ge" yaklaşımını benimsemesini (Mazzucato, 2021), kamu, sanayi, finans ve akademiyi ortak hedefler etrafında hizalayacak güçlü bir kurumsallaşmayı gerektirir. Türkiye'de TTGV'nin talep yönlü Güdümlü Proje modeli ile erken aşamadaki teknolojileri ilk risk sermayesi ve demonstrasyon yoluyla olgunlaştıran Öncül Proje Programı, tam da bu tür bir kurumsallaşmanın somut bir örneğini oluşturmaktadır (bkz. Ek 5).

Döngünün son adımı olan ölçüm, asgari bir gösterge çerçevesine dayanmalıdır. Dört grup yeterlidir: (i) iklim ve kaynak etkisi (örneğin emisyon, enerji ve su kullanımı); (ii) uygulama (örneğin teknoloji seçimi yapan, pilotu tamamlayan ve ölçeklenen işletme sayısı); (iii) fiilen aktarılan ve harekete geçirilen finansman (taahhüt edilen değil, ulaştırılan ve mobilize edilen tutar); (iv) yetkinlik ve toplumsal etki (örneğin yeniden beceri kazanan çalışan, erişim sağlanan KOBİ ve korunan ya da yaratılan istihdam).

Burada önemli bir ayrımın altını çizmek gerekir. Bir teknolojinin dünya ölçeğinde olgunlaşmış ve sahada kanıtlanmış olması, her ülkenin o teknolojiyi benimseyebileceği anlamına gelmez. Aradaki fark yalnızca içsel bir kurumsal geri kalmışlıktan kaynaklanmaz. Çoğu zaman dışsal bir erişim ve teknoloji transferi engeli de (fikri mülkiyet düzenlemeleri, ihracat kısıtları, lisanslama maliyetleri, jeopolitik tercihler) devreye girer. Ancak bu iki engel türü birbirini dışlamaz, genellikle iç içe geçer. Dolayısıyla EMDE'ler için **asıl soru yalnızca "bu teknolojiye erişimimiz var mı, yoksa yok mu?" değil, erişim sağlansa dahi bu erişimi özümseyecek kurumsal kapasitenin mevcut olup olmadığıdır.** Bu nedenle teknoloji ortaklığı, kritik bir husus olarak know-how ve ekipman satışından açıkça ayrıştırılmalıdır. Bu ortaklık ortak Ar-Ge, lisanslama, yerel uyarlama, ortak üretim ve kurumsal/insan kaynağı kapasitesi geliştirmeyi içermelidir ki alışıldık "tek yönlü satış" paradigmasından farklı olarak gerçek bir iş birliği anlamına gelmektedir.

Bu çerçeve, COP30'da Belém'de kurulan Belém Teknoloji Uygulama Programı'nın hedefleriyle doğrudan örtüşmektedir. Program; teknoloji geliştirme ve aktarımındaki engellerin kaldırılmasını, ulusal inovasyon sistemlerinin güçlendirilmesini, fonlanabilir proje hazırlama kapasitesinin artırılmasını ve ortaklık ile eşleştirme çalışmalarını öngörmektedir (UNFCCC, 2025a). Bu çalışma, sanayi alanında bu programın uygulama boyutunu somutlaştıracak bir yaklaşım önermektedir.

Bu çerçevenin sanayi düzeyinde nasıl işlediğini görmek için, Ek 1'den seçilen dört teknoloji alanına, hangi değeri öncelikli olarak taşıdıkları sorusuyla bakmak yararlı olur. Yatırım kararının salt maliyet-fayda hesabına değil, operasyonel (doğrudan verimlilik/maliyet kazanımı), stratejik (pazara ve düzenleyici rejime erişim), öğrenme (kurumsal kapasite birikimi) ve opsiyon (belirsizlik altında

ileride büyümeyi mümkün kılan küçük ölçekli erken konumlanma) değerine, ayrıca dayanıklılığa katkısına bakan bir çerçeveye ihtiyaç vardır.

H_2-DRI ve düşük karbonlu demir-çelik — Öncelikli değeri stratejiktir: İSO'nun CBAM Uygulama Rehberleri tam da bu baskıyla erken karşılaşmanın bir sonucudur (İSO ve T.C. Ticaret Bakanlığı, 2024a, 2024b). Teknoloji henüz Türkiye'de ölçeklenmemiş olsa da, düzenleyici uyum kapasitesi şimdiden inşa edilmektedir.

Endüstriyel Yapay Zekâ ve Dijitalleşme — Öncelikli değeri operasyonel ve öğrenmedir: değerlendirmeler, farkındalığın arttığını ama fiili uygulamanın gerilediğini göstermektedir. Yani öğrenme değeri henüz operasyonel değere dönüşmemiştir; dijital yetkinlik açığı da bu dönüşümün önündeki somut engeldir.

CCUS — Öncelikli değeri opsiyondur: bugün Türkiye'de henüz büyük ölçekte uygulanmasa da özellikle çimento ve kimya gibi elektrifikasyonla kolay çözülemeyen sektörler için erken teknik kapasite ve pilot deneyim birikimi, ileride zorunlu hâle geldiğinde hazırlıksız yakalanmama anlamına gelir.

MRV ve Dijital Ürün Pasaportu — Öncelikli değeri dayanıklılık ve stratejidir: CBAM ve benzeri sınır düzenlemelerinin raporlama yükümlülükleri karşısında, izleme-raporlama-doğrulama kapasitesi artık isteğe bağlı bir yetkinlik değil, ihracat pazarına erişimin ön koşuludur.

EMDE'ler bu dönüşümde, altından kalkabilecekleri ölçüde sıçrama (leapfrog) yapmalıdır. Ancak bu, tek tip bir reçeteyle değil, her ülkenin kendi koşulları içinde ve iş birliği hâlinde yapılmalıdır. Bu noktada gelişmekte olan ülkelerin bir araya gelmesi kritik önem taşımaktadır. Müşterek sorun, tehdit ve ihtiyaçların yanı sıra her birinin sahip olduğu fırsat, teknoloji, çözüm ve yeteneklerin ortaklaşa tespit edilmesi ve mevzuat, düzenleme ve standartların uyumlaştırılarak müşterek piyasa mekanizmalarının oluşturulması gerekmektedir. Bu ortak envanter, kaynakların bir araya getirilmesini (pooling) ve tamamlayıcı yeteneklerin karşılıklı ihtiyaçlarla eşleştirilmesini mümkün kılmaktadır. Böylece tek başına hiçbir ülkenin ulaşamayacağı bir ölçek ekonomisi yaratılabilir. Bu yaklaşım tek başına hiçbir EMDE'nin çözemeyeceği sorunlar için özellikle geçerlidir. Buna Güney-Güney iş birliği ve ilk riski üstlenen katalitik finansman eşlik etmelidir ki yenilikçi finansman ve sigortacılık da bu spektrumun doğal bir tamamlayıcısıdır.

Finansman tasarımında, uygulamayı engelleyen farklı sorunların ayrı ayrı tanınması gerekir: teknolojinin henüz kanıtlanmamış olmasından doğan başarısızlık riski, teknolojinin yüksek maliyeti, yeni ürün ve hizmetler için yetersiz talep, uzun vadeli finansmana erişimin güçlüğü ve kur riski aynı araçla çözülemez. Örneğin ilk risk sermayesi ve garanti mekanizmaları başarısızlık riskine, kamu alımları ve standartlar talep eksikliğine, uzun vadeli ve yerel para cinsinden finansman ise kur riskine yanıt verir. Bu nedenle finansmanın etkisi yalnızca taahhüt edilen tutarla değil, fiilen ulaşan kaynak ve onun karşılığında üretilen somut çıktılarla (devreye alınan tesis, tamamlanan demonstrasyon, yatırıma hazır proje) değerlendirilmelidir.

Dönüşümün toplumsal boyutu, uygulama ilkelerinin içinde yer almalıdır: çalışanların ve temsilcilerinin dönüşüm planlarına katılımı; otomasyondan ve yeşil dönüşümden etkilenen çalışanlar için yeniden beceri kazandırma ve geçiş desteği; KOBİ'lerin teknolojiye, finansmana ve danışmanlığa erişimi; ve dönüşümün maliyetinin ve kazanımlarının adil paylaşımı. Bu ilkeler göz ardı edildiğinde dönüşüm hem toplumsal desteğini hem de uygulama kapasitesini yitirme riski taşır.

Sanayinin dönüşümü tek tip bir reçeteyle ele alınamaz. Teknolojiler küresel olarak geliştirilir, ancak bunların uygunluğu, uygulanabilirliği ve etkisi bölgesel olarak şekillenir; bu nedenle küresel teknoloji gelişmelerini bölgesel öncelik, kapasite ve fırsatlarla buluşturan, düzenli ve bağımsız iklim teknolojisi ufuk taramalarının geliştirilmesi gereklidir. Akdeniz, Orta Doğu, Orta Asya ve komşu bölgeler; sanayi dönüşümü ihtiyaçları, enerji güvenliği kaygıları, su stresi, tarımsal kırılganlık, kentleşme ve iklim uyumu zorluklarının kendine özgü bir bileşimiyle karşı karşıyadır. Bu koşullar, küresel inovasyon ekosistemleriyle bağlantılı ama bölgesel gerçeklere dayanan teknoloji önceliklerini gerektirmektedir. Sanayi

kapasitesi, girişimcilik ekosistemi, jeopolitik konumu, dinamik iş kültürü ve Avrupa ile çevre bölgeler arasındaki bağlantıları sayesinde Türkiye, bölgesel öğrenme ve iş birliği için bir köprü işlevi görebilir. Türkiye'deki deneyim ve kazanımlar tek bir model olarak değil, koşulları ve sınırlılıklarıyla birlikte diğer gelişmekte olan ülkelere uyarlanabilir bir deneyim olarak sunulmalıdır.

Bu köprü işlevinin soyut bir iddia olmadığını, Ek 3'te ayrıntılandırılan somut zeminden görmek mümkündür. Sanayi kapasitesi, girişimcilik ekosistemi, jeopolitik konum, dinamik iş kültürü, Avrupa ile çevre bölgeler arasındaki bağlantılar, nitelikli insan kaynağı, organizasyon becerisi, gelişen Ar-Ge ve teknoloji kapasitesi, Gümrük Birliği ve AB düzenleyici uyum deneyimi, yarı-çevreden yükselme deneyimi, kurumsallaşmış sanayi ve iş dünyası örgütleri, iklim risklerine maruziyet ve uyum deneyimi ve bu unsurların bir aradalığı, Türkiye'yi diğer gelişmekte olan ülkeler için bölgesel eşgüdüm ve bilgi paylaşımı işlevi görebilecek iyi bir merkez adayı hâline getirmektedir. Ek 3'te de vurgulandığı gibi, bu konum bir üstünlük iddiası değil, kendi şartları içinde aktarılabilir bir deneyim önerisidir.

EKLER

Ek 1: Sanayinin İkiz Dönüşümü İçin Teknolojiler

1. İkiz Dönüşümün Teknoloji Boyutu: Kavramsal Çerçeve

İki dönüşümün kesişimi, soyut bir benzeşim değil, en az dört somut mekanizma üzerinden işler. Birincisi, dijital ikizler ve simülasyon araçları üretim ve bakım süreçlerini optimize ederek doğrudan enerji verimliliğine dönüşür: bir prosesin sanal kopyası üzerinde denenen senaryolar, fiziksel sistemde israf edilecek enerji ve malzemeyi önceden tespit etmeyi mümkün kılar. İkincisi, yapay zekâ destekli malzeme keşfi, yeni batarya kimyasalları, katalizörler ve hafif yapı malzemelerinin geliştirilme hızını önemli ölçüde artırmaktadır. Bu da iklim teknolojilerinin kendisinin dijital araçlara bağımlı hâle geldiği anlamına gelir. Üçüncüsü, akıllı şebekeler ve öngörücü bakım sistemleri, değişken üretimli yenilenebilir enerjinin sanayi talebiyle eşleştirilmesini kolaylaştırarak hem kaynak israfını azaltır hem de elektrifikasyon kaldıracının etkinliğini artırır. Dördüncüsü, karbon muhasebesi giderek dijital altyapıya bağımlı hâle gelmektedir: izleme-raporlama-doğrulama (MRV) sistemleri, artık kâğıt üzerinde değil sensör verisi, IoT bağlantısallığı ve otomatik raporlama araçları üzerinden işlemekte; bu da CBAM ve tedarik zinciri raporlama yükümlülükleri karşısında dijital kapasitenin kendisini bir iklim-uyum ön koşuluna dönüştürmektedir. OECD'nin yakın tarihli bir çalışması, dijital inovasyonun iklim teknolojileri patentleriyle kesişiminin son on yılda hızlandığını, ancak bu kesişimin ülkeler arasında son derece eşitsiz dağıldığını ortaya koymaktadır (OECD, 2025a).

Ancak bu kesişim gerilimsiz değildir. Bu çalışmanın 4. ve 9. bölümlerinde aktarıldığı gibi, dijital katmanın kendisi büyüyen bir enerji ve emisyon kaynağıdır (örneğin veri merkezi elektrik talebinin 2030'a kadar ikiye katlanması beklenmektedir) dolayısıyla dijitalleşme iklim dönüşümünün yalnızca aracı değil, aynı zamanda yönetilmesi gereken bir parçasıdır. Yakın tarihli bir kavramsallaştırma çalışması da, sanayi kuruluşlarında ikiz dönüşümün kendiliğinden değil, örgütsel düzeyde bilinçli bir uygulama çerçevesi gerektiren bir süreç olduğunu vurgulamaktadır (Tabares vd., 2025).

Bu noktada ikinci ve daha temel bir tez devreye girer: teknoloji, ikiz dönüşümün gerekli ama tek başına yeterli bileşeni değildir. Bir sanayi tesisinin karbonsuzlaşması ve dijitalleşmesi, altyapılar arasındaki etkileşim üzerinden gerçekleşir. Bu etkileşimi altı tamamlayıcı çözüm türü üzerinden ayırt etmek yararlıdır: üretim uygulamaları ve süreç yönetimi (teknolojinin fiilen nasıl işletildiği); fiziksel ve doğal altyapı (şebeke, su, arazi gibi teknolojinin üzerine oturduğu zemin); bilgi, insan kaynağı ve kurumsal kapasite (teknolojiyi yorumlayacak ve yönetecek yetkinlik); iş modeli, örgütlenme ve hizmet sunumu (teknolojinin hangi ticari çerçevede değere dönüştüğü); ekonomik araçlar, finansman ve risk paylaşımı (teknolojiye erişimin maliyetinin nasıl karşılandığı); ve politika, mevzuat, standart ve yönetişim (teknolojinin hangi kurallar altında teşvik edildiği veya sınırlandığı). Teknoloji bu altı çözümden bağımsız, yedinci bir tür değil, bu altısını güçlendiren yatay bir katmandır. Bir sensör veya yapay zekâ modeli, tek başına hiçbir değer üretmez, ancak doğru üretim uygulaması, güvenilir veri, yetkin kullanıcı, uygun iş modeli, erişilebilir finansman ve destekleyici kurumsal düzenlemeyle bütünleştiğinde değer üretir. MIT NANDA (2025) bulgusu (kurumsal dünyanın üretken yapay zekâya 30-40 milyar dolar yatırmasına karşın kuruluşların %95'inin ölçülebilir getiri elde edememesi) bu tezle tutarlı, güncel ve somut bir gözlemdir.

Bu çerçevenin doğrudan sonucu şudur: aşağıda sunulan taksonomi, yalnızca bir teknoloji envanteri değil, gelişmekte olan ülke sanayileri için bir karar-destek haritasıdır. Her madde altında yer alan teknolojilerin sanayide gerçek etki üretmesi, o teknolojinin edinilmesiyle değil, yukarıdaki altı tamamlayıcı katmanla birlikte (kademeli ve bağlama uygun biçimde) devreye alınmasıyla mümkün olacaktır.

2. Sanayinin İkiz Dönüşümü İçin Teknolojiler

Aşağıdaki taksonomi iki bölümden oluşmaktadır. Birinci bölüm (I), iklim/çevre ve dijital/yapay zekâ teknolojilerini tek ve birleşik bir listede sınıflandırmaktadır ki bu liste sektörden bağımsız olarak sanayinin genelinde geçerlidir. İkinci bölüm (II), elektrifikasyonla kolay çözülemeyen, yüksek sıcaklık gerektiren "karbonsuzlaştırılması zor" sektörlere özgü teknolojilere odaklanmaktadır. Birinci listedeki bazı kaldıraçlar (örneğin elektrifikasyon ve biyo-bazlı hammadde ikamesi) bu sektörlerde de geçerlidir; ikinci bölümde bunların sektöre özgü uygulamaları ele alınmaktadır. Bu teknolojilerin sağladığı emisyon azaltımı, kullanılan enerji kaynağına, yaşam döngüsü etkilerine ve yerel kısıtlara (su, kaynak, altyapı) bağlıdır; örneğin elektrolizle üretilen hidrojen, yalnızca kullanılan elektriğin emisyon yoğunluğu düşükse düşük karbonlu sayılır.

I. Ana Taksonomi — Kaldıraç ve Etkinleştiriciler

A. Doğrudan Emisyon Azaltım Kaldıraçları

1. **Enerji Verimliliği —** Üretim süreçlerindeki enerji kayıplarının azaltılmasına yönelik teknolojiler: yüksek verimli motor ve sürücü sistemleri, atık ısı geri kazanımı, buhar ve basınçlı hava sistemlerinin optimizasyonu, endüstriyel ısı pompaları ve kojenerasyon (birleşik ısı-güç) uygulamaları. Sanayide en düşük maliyetli ve en hızlı uygulanabilir kaldıraçlardan biridir. Teknolojilerin büyük bölümü bugün ticari olgunluğa ulaşmış durumdadır.

2. **Elektrifikasyon (proses ısısı dahil) —** Fosil yakıtla çalışan proseslerin elektrikli alternatiflere dönüştürülmesi: endüstriyel ısı pompaları, elektrikli fırın ve kazanlar, indüksiyon ve dirençli ısıtma sistemleri. Düşük-orta sıcaklık proseslerinde (yaklaşık 150-400°C) bugün teknik olarak olgun bir seçenektir. Yüksek sıcaklık gerektiren proseslerde ise sınırlı kalmakta, bu proseslere özgü teknolojiler Bölüm II'de ayrıca ele alınmaktadır.

3. **Hidrojen, Biyoenerji ve Alternatif Yakıt/Hammadde Değişimi —** Düşük karbonlu hidrojen üretimi (elektroliz) ve kullanımı, biyokütle ve biyoyakıtların proses yakıtı veya hammaddesi olarak ikamesi, sentetik yakıtlar (e-yakıtlar). Elektrifikasyonun teknik veya ekonomik olarak sınırlı kaldığı yüksek sıcaklık ve yüksek enerji yoğunluklu proseslerde tamamlayıcı bir teknoloji alanıdır.

4. **Proses/Malzeme İkamesi —** Üretim prosesinin veya girdi malzemesinin daha düşük emisyonlu bir alternatifle değiştirilmesi: örneğin çimentoda klinker ikamesi, çelikte hurda bazlı üretime geçiş, kimyada biyo-bazlı hammaddeler. Sektöre özgü uygulamaların büyük bölümü Bölüm II'de ayrıca ele alınmaktadır.

5. **CCUS (Karbon Yakalama, Kullanım ve Depolama) —** Proses veya baca gazlarından CO_2'nin yakalanması, kullanılması (ör. sentetik yakıt/malzeme üretiminde girdi olarak) veya jeolojik olarak depolanması. Özellikle çimento ve kimya gibi süreç kaynaklı (yanmadan değil kimyasal reaksiyondan doğan) emisyonların elektrifikasyon veya yakıt değişimiyle azaltılamadığı sektörlerde kritik bir tamamlayıcı teknolojidir.

6. **Döngüsellik ve Malzeme Verimliliği —** Geri dönüşüm, geri kazanım, ikincil kullanım, yeniden üretim (remanufacturing), ürün yaşam döngüsü uzatma, malzeme hafifletme ve tasarımdan itibaren döngüsellik (design for circularity). Hem üretim aşamasındaki emisyonu hem de birincil hammadde talebi ile kritik mineral bağımlılığını azaltır.

7. **CO_2-harici Sera Gazı Azaltımı —** Metan, azot oksit ve florlu gazlar gibi CO_2 dışı sera gazlarının izlenmesi ve azaltılması: metan sızıntı tespiti ve önleme teknolojileri, endüstriyel soğutucu gazların (F-gazları) ikamesi, proses kaynaklı N_2O imha üniteleri. Bu kategorideki projelerin (HFC-23/N_2O imhası) orantısız derecede yüksek etki sağladığı görülmüştür (Lo ve Cong, 2022).

B. Kaynak Yönetimi

8. **Su Yönetimi ve Verimliliği —** Endüstriyel atıksu arıtma teknolojileri (ileri arıtma, membran, ters ozmoz vb.), su geri kazanımı ve yeniden kullanım (proses suyu resirkülasyonu, Sıfır Sıvı Deşarj/ZLD), soğutma sistemleri verimliliği ve kapalı çevrim uygulamaları, alternatif su kaynakları (deniz suyu tuzdan arındırma, yağmur suyu hasadı), su ayak izi ölçümü ve MRV, elektroliz (H2 üretimi) ve CCUS'un su talebinin yönetimi.

9. **Arazi Kullanımı ve Biyoçeşitlilik —** Sanayi tesislerinin arazi ayak izinin yönetimi, biyoçeşitlilik etkisinin izlenmesi ve azaltılması (uzaktan algılama ve yapay zekâ destekli ekosistem izleme dahil), doğaya dayalı çözümler (nature-based solutions) ve rehabilitasyon teknolojileri, tedarik zincirinde ormansızlaşmayla bağlantılı hammaddelerin izlenebilirliği.

C. Dijital ve Yapay Zekâ Teknolojileri (yeşil dönüşümün yardımcısı değil, İkiz Dönüşüm'ün eşit ağırlıklı ikinci sütunu)

10. **Endüstriyel Yapay Zekâ —** Öngörücü bakım, üretim planlama optimizasyonu, kalite kontrolünde görüntü işleme/anomali tespiti, enerji ve kaynak kullanımının makine öğrenmesiyle optimizasyonu. BCG (2025) verileri, uçtan uca uygulamalarda %30'un üzerinde verimlilik artışı potansiyeline işaret etmektedir.

11. **Robotik, Otomasyon ve Fiziksel Yapay Zekâ —** Endüstriyel robotlar, işbirlikçi robotlar (cobot), otonom mobil robotlar (AMR) ve yapay zekâ ile bütünleşen "fiziksel yapay zekâ" (algılama-karar-eylem döngüsü kuran robotik sistemler). Emek yoğun ve tekrarlı süreçlerin otomasyonu yoluyla hem verimlilik artışı hem de yeniden kıyılaştırma (reshoring) dinamiklerinin bir parçasıdır.

12. **Dijital İkiz ve Simülasyon —** Üretim tesisi, proses veya ürünün sanal bir kopyasının oluşturularak test, optimizasyon ve bakımın fiziksel sisteme doğrudan müdahale etmeden yapılabilmesi. Enerji ve malzeme kullanımının senaryo bazlı optimizasyonunu mümkün kılarak, doğrudan

emisyon azaltımı kaldıraçlarının (özellikle enerji verimliliği) etkinliğini artıran bir çarpan işlevi görür.

13. **Endüstriyel IoT, Sensörler, Bağlantısallık ve Siber Güvenlik —** Gerçek zamanlı veri toplama altyapısı (sensörler, 5G/endüstriyel ağlar) ve bu verinin güvenli biçimde işlenmesi, saklanması. Yukarıdaki tüm dijital uygulamaların (yapay zekâ, dijital ikiz, MRV) veri girdisini sağlayan temel katmandır. Artan bağlantısallık aynı zamanda siber güvenlik açığını da büyütmektedir.

14. **MRV ve Dijital Ürün Pasaportu —** Emisyon ve kaynak kullanımına ilişkin dijital izleme-raporlama-doğrulama (MRV) sistemleri, AB'nin öngördüğü Dijital Ürün Pasaportu gibi ürün bazlı izlenebilirlik altyapıları. CBAM ve tedarik zinciri raporlama yükümlülükleri karşısında giderek pazara erişimin ön koşulu hâline gelmektedir.

D. Etkinleştirici Alanlar

15. İklim Risk Yönetimi ve Öngörü Araçları — Fiziksel iklim riskinin (aşırı hava olayları, su stresi) tesis ve tedarik zinciri düzeyinde modellenmesi, yapay zekâ destekli erken uyarı ve senaryo analizi araçları. 6. bölümde aktarılan su ve sıcaklık stresi verileri, bu araçların artan önemine işaret etmektedir.

16. **Finansman ve İş Modelleri —** Yeşil/sürdürülebilir tahvil ve kredi mekanizmaları, enerji performans sözleşmeleri (EPC), teknoloji-hizmet (as-a-service) iş modelleri, risk paylaşım araçları. Bu madde tek başına bir "teknoloji" değil, yukarıdaki teknolojilerin gelişmekte olan ülke sanayilerinde fiilen uygulanabilirliğini belirleyen kritik bir etkinleştiricidir.

II. Karbonsuzlaştırılması Zor Sektörler

Bu bölüm, ana taksonomideki (Bölüm I) bazı teknolojilerin sektöre özgü uygulamalarını ve doğrudan ilgili sektöre özgü ek teknolojileri kapsamaktadır. Ortak kriter, elektrifikasyonla kolay çözülemeyen ve hâlen yanma veya kimyasal reaksiyon temelli bir yüksek sıcaklık ihtiyacına bağlı kalınmasıdır. Denizcilik ve havacılık aynı kritere (elektrifikasyonla zor, yakıt/yanma bağımlı) uymakla birlikte, doğrudan sanayi değil mobilite/ulaştırma kapsamına girdiğinden bu listenin dışında tutulmuştur. Madencilik ise literatürde (ETC/Mission Possible Partnership, WEF Net Zero Industry Tracker) "karbonsuzlaştırılması zor" sektörler arasında sayılmamaktadır çünkü emisyon kaynakları büyük ölçüde mevcut elektrifikasyon ve verimlilik teknolojileriyle çözülebilir niteliktedir.

Demir-Çelik

Hidrojenle doğrudan indirgenmiş demir (H2-DRI), Erimiş Oksit Elektrolizi (molten oxide electrolysis) ve gelişmiş Elektrik Ark Ocağı (EAF) teknolojileri. Bu teknolojiler, geleneksel yüksek fırın-bazik oksijen fırını (BF-BOF) rotasının kok kömürüne dayalı kimyasal indirgeme ihtiyacını ortadan kaldırmayı hedeflemektedir.

Çimento

Klinker oranının azaltılması ve alternatif bağlayıcılar (uçucu kül, yüksek fırın cürufu, kalsine kil bazlı çimentolar), oksi-yakıt fırın teknolojisinin CCUS ile entegrasyonu. Klinker üretimindeki kalsinasyon reaksiyonu emisyonun büyük bölümünü oluşturduğundan, bu emisyon elektrifikasyonla değil ancak proses değişimi veya karbon yakalama ile azaltılabilir.

Alüminyum

İnert anot teknolojisi (geleneksel karbon anotların yerini alarak proses emisyonunu ortadan kaldırma potansiyeli taşır) ve anot etkisi (anode effect) kaynaklı florlu karbon (PFC) emisyonlarının azaltılması.

Cam ve Seramik

Oksi-yakıt ve hibrit-elektrikli eritme fırınları, yüksek sıcaklık gerektiren eritme proseslerinde kademeli elektrifikasyon uygulamaları.

Petrokimya ve Kimya

Elektrikli kraking ve reformasyon teknolojileri (buhar krakerlerinin elektrikli alternatifleri), yeşil hidrojen bazlı amonyak ve metanol sentezi, biyo-bazlı hammadde ikamesi.

Kâğıt ve Selüloz

Siyah likör geri kazanımı ve biyorafineri entegrasyonu (yan ürünlerin yüksek katma değerli biyokimyasallara dönüştürülmesi), kurutma proseslerinin elektrifikasyonu, geri dönüştürülmüş lif kullanımı ve mürekkep giderme (deinking) teknolojileri.

Ek 2: Gelişmekte Olan Ülkeler Bağlamı

Bu bölümde sıklıkla kullanılan “gelişmekte olan ülke” ifadesinin ne anlama geldiğini netleştirmek gerekir. Bu kategori, tek ve evrensel kabul görmüş bir tanıma sahip değildir. Farklı kurumlar farklı ölçütlerle, birbirinden bağımsız sınıflandırma sistemleri kullanmaktadır. IMF, ülkeleri ikili bir eksende ayırır: “gelişmiş ekonomiler” ve bunun dışında kalan “gelişmekte olan piyasalar ve gelişmekte olan ekonomiler” (EMDE). 2026 Nisan itibarıyla yalnızca 43 ekonomi “gelişmiş” olarak sınıflandırılmakta, geri kalan yaklaşık 150 ekonomi tek bir EMDE sepetinde toplanmaktadır (IMF, 2026). Dünya Bankası ise ikili değil, dörtlü bir gelir spektrumu kullanır (düşük, alt-orta, üst-orta ve yüksek gelirli ekonomiler) ve 2026 mali yılı güncellemesinde kişi başı 13.935 dolar eşiğinin üzerinde yaklaşık 87 ekonomiyi “yüksek gelirli” saymaktadır (Dünya Bankası, 2026b). Bu sayı IMF’nin “gelişmiş” saydığı 43 ekonominin neredeyse iki katıdır, çünkü ölçüt teknolojik/kurumsal olgunluk değil yalnızca belli bir gelir düzeyidir. BM’nin diğer uçta tuttuğu “En Az Gelişmiş Ülkeler” (LDC) kategorisi ise gelir, beşerî kalkınma ve ekonomik kırılganlık endekslerini birlikte kullanan, göreli olarak en titiz tanımlanmış alt-küme olup güncel olarak 44 ülkeyi kapsamaktadır (UNCTAD, t.y.). Bu nedenle LDC grubu, Dünya Bankası’nın “düşük gelirli” sınıflamasıyla örtüşür ancak onunla aynı değildir: LDC listesinde alt-orta gelirli ülkeler de bulunabildiğinden (örneğin Bangladeş), bu grubun ortalama göstergeleri düşük gelirli ülkelerin ortalamasından yüksek çıkabilir. Dünya Ticaret Örgütü’nde ise resmî bir tanım yerine kendini beyan mekanizması işlemekte; bir ülke kendini “gelişmekte olan” ilan edebilmekte, bu da kategoriyi teknik olmaktan çok siyasi bir tartışma konusu hâline getirmektedir (WTO, t.y.).

Bu çalışmanın 3. bölümünde de gösterildiği gibi, “gelişmekte olan ülke” sepetinin kendisi derinden homojen değildir. Çin tek başına küresel imalat üretiminin %29’unu oluştururken, aynı sepetteki 143 ülkenin geri kalanı çok daha küçük ve

çeşitlenmemiş bir paya sahiptir. Bu nedenle 3. bölümde tanıtılan merkez-yarı çevre-çevre hiyerarşisi (Wallerstein, 1974, 2004), ikili sınıflandırmanın gözden kaçırdığı bu iç farklılaşmayı yakalamak için tutulmuştur. Türkiye'nin kendi konumu da bu çok-katmanlılığı somutlaştırır: IMF'nin EMDE sepetinde, Dünya Ticaret Örgütü'nde ise kendi beyanıyla "gelişmekte olan ülke" sayılırken; Dünya Bankası sınıflandırmasında üst-orta gelir grubunda yer almaktadır. Üstelik nominal kişi başı gelir rakamı yüksek gelir eşiğine yakın olmasına karşın, kalıcı yüksek enflasyon yaşayan ekonomileri güvenilir sınıflandıramayan Atlas yöntemi gerekçesiyle (Arjantin ile birlikte) bilinçli olarak bu grupta tutulmaktadır (Dünya Bankası, 2026b). Türkiye LDC listesinde ise hiçbir zaman yer almamıştır. Bu tablo, tek bir ülkenin dahi kullanılan ölçüte göre nasıl farklı kategorilere düşebildiğini göstermektedir.

Bu çok-katmanlı tabloya, COP31 bağlamında özellikle önem taşıyan beşinci bir eksen daha eklenmelidir. Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (UNFCCC) kapsamında Türkiye, sanayileşmiş ülkeleri kapsayan Ek I listesinde yer almaktadır. Ancak "özel koşulları" Taraflar Konferansı tarafından resmî olarak tanınmış tek Ek I ülkesi konumundadır (UNFCCC, t.y.-e). Bu durum, IMF'nin EMDE sınıflandırmasının iklim rejimindeki statüyü veya finansmana erişimi kendiliğinden belirlemediğini göstermektedir. Türkiye, ekonomik sınıflandırma sistemlerinin çoğunda gelişmekte olan ülke sayılırken, iklim müzakerelerinde sanayileşmiş ülkeler kategorisinde konumlanmaktadır.

Bu çalışma boyunca, aksi belirtilmedikçe, "gelişmekte olan ülkeler" ifadesiyle ağırlıklı olarak IMF'nin "gelişmiş ekonomiler" ile "gelişmekte olan piyasalar ve gelişmekte olan ekonomiler" (EMDE) ayrımı referans alınacaktır ki bu tercih, IMF sınıflandırmasının bu çalışmada zaten sıklıkla kullanılan büyüme, ticaret ve finansman verileriyle doğrudan uyumlu olmasından kaynaklanmaktadır. Daha ince bir ayrım gerektiğinde (örneğin sepet içi eşitsizliklerin vurgulanması gerektiğinde) 3. bölümde tanıtılan merkez-yarı çevre-çevre çerçevesine, gelir düzeyine dair somut bir eşik gerektiğinde ise Dünya Bankası'nın gelir grubu verilerine başvurulacaktır.

Ek 3: Türkiye Örneği — Sanayinin İkiz Dönüşümünde Bir Köprü Deneyimi

1. Genel Tanıtım

Bu bölümün amacı, Türkiye'yi bir model veya reçete olarak sunmak değildir; sanayi kapasitesi, coğrafi konumu ve düzenleyici deneyimi itibarıyla, gelişmekte olan ülkeler arasında bölgesel öğrenme ve iş birliği için bir köprü işlevi görebilecek bir örneği somut veri ve kurumsal deneyimle anlatmaktır. Aşağıda sunulan Türkiye deneyimi, kendi koşulları ve sınırlılıklarıyla birlikte uyarlanabilir bir deneyim olarak okunmalıdır.

Bu ek, hangi finansman veya politika mekanizmasının seçileceği sorusuna yanıt vermemektedir. Bu çalışmanın vardığı temel ilke, doğru mekanizmaların belirlenmesinin büyük ölçüde müzakereye bağlı olduğudur. Aşağıdaki üç bölüm sırasıyla ele alınmaktadır: Türkiye'nin ikiz dönüşüm gündemindeki güncel gelişmeler; ekonomi, sanayi, araştırma-geliştirme ve inovasyon, dijitalleşme ve yapay zekâ, yeşil dönüşüm ve karbonsuzlaşma boyutlarında mevcut durumu; ve bölgesel köprü rolü için taşıdığı avantajlar.

2. Güncel Gelişmeler

1. **COP31 Ev Sahipliği —** Türkiye, 9-20 Kasım 2026 tarihlerinde Antalya'da COP31'e ev sahipliği yapacak ve başkanlığını yürütecektir (COP31.tr, 2026). Müzakere sürecinin yönetimi, Türkiye ile Avustralya arasında varılan anlaşma uyarınca Avustralya'nın atadığı Müzakere Başkanı'na bırakılmıştır; COP31 Başkanlık modaliteleri bu temsilciye müzakerelerle ilgili münhasır yetki tanımakta, iki ülke arasındaki görüş ayrılıklarının istişareyle çözülmesini öngörmektedir (E3G, 2026; UNFCCC, 2025b).

Bu çalışmanın hazırlanma motivasyonunun doğrudan kaynağını oluşturan bu gelişme, aynı zamanda Türkiye'nin iklim diplomasisindeki görünürlüğünün de somut bir göstergesidir.

2. **İkinci Ulusal Katkı Beyanı (NDC 3.0) —** 2025 yılında sunulan güncellenmiş NDC, 2035 yılı için Referans Senaryo'ya kıyasla 466 Mt CO_2 eşdeğeri azaltım ve toplam emisyonu 643 Mt CO_2 eşdeğerine sınırlama hedefini içermektedir. Bu hedef, Türkiye'nin 2053 net-sıfır vizyonuna bağlanan somut bir ara kilometre taşı niteliğindedir (Türkiye İklim Değişikliği Başkanlığı, 2025).

3. **Yenilenebilir Enerjide Hızlanma —** Elektrik üretiminde yenilenebilir kaynakların payı 2023'te %34,2'den 2024'te %46,1'e yükselmiş (bunun %18,4'ü rüzgâr ve güneşten), 2035 hedefi %69,1 olarak belirlenmiştir (77 GW güneş ve 43 GW rüzgâr kurulu güç ile) (İSO, 2024). Güneş paneli üretim sektörü hâlihazırda 15.000'in üzerinde doğrudan istihdam sağlamaktadır.

4. **Zorunlu Sürdürülebilirlik Raporlaması —** 1 Ocak 2024 itibarıyla IFRS S1-S2 standartlarını temel alan Türkiye Sürdürülebilirlik Raporlama Standartları (TSRS 1-2) yürürlüğe girmiştir. Belirli büyüklük eşiklerini (aktif toplamı 1 milyar TL, net satış 2 milyar TL, çalışan sayısı 500 ve üzeri kriterlerinden en az ikisi) art arda iki dönem aşan halka açık şirketler için raporlama zorunlu hâle gelmiştir. Bu eşikler, Kamu Gözetimi, Muhasebe ve Denetim Standartları Kurumu'nun (KGK) 13 Ocak 2026 tarihli kararıyla yukarı yönlü güncellenmiştir (KGK, 2026). Türkiye, bu adımı atan ilk ülkelerden biri olmuştur (TÜBİTAK MAM ve İSO, 2026).

5. **CBAM'a Sektörel Hazırlık —** İSO, T.C. Ticaret Bakanlığı ile birlikte alüminyum ve demir-çelik sektörlerine yönelik somut SKDM uygulama rehberleri yayımlamıştır. Bu çalışma sahada dört tesise yerinde ziyaret ve sektöre yönelik iki günlük teknik eğitim programlarıyla desteklenmiştir (İSO ve T.C. Ticaret Bakanlığı, 2024a, 2024b).

6. Üretken Yapay Zekâya Artan Kurumsal İlgi — TÜSİAD'ın Nisan 2025 raporu ve Google/Implement Consulting'in Mayıs 2024 analizi, Türk iş dünyasının üretken yapay zekâya yönelik ilgisinin hızla arttığını, ancak stratejik ve altyapısal hazırlığın da bu ilgiyi yakalaması gerektiğini ortaya koymaktadır (Cürgül vd., 2025; Implement Consulting Group, 2024).

3. Beş Boyutta Türkiye

Aşağıda Türkiye'nin ikiz dönüşümle doğrudan ilişkili beş boyuttaki mevcut durumu, mevcut olduğunda Türkiye'ye özgü kaynaklara, bulunmadığında en güncel ve en temel küresel endekse dayanılarak özetlenmektedir.

Ekonomi

Türkiye, son on yılda OECD ülkeleri arasında en hızlı büyüyen ekonomilerden biri olmuştur (OECD, 2025b). Bununla birlikte yapısal zorluklar sürmektedir: OECD ülkeleriyle gelir farkı yüksek seviyesini korumakta, gelir eşitsizliği artmakta, çalışan başına verimlilik artışı ise (özellikle hizmetler sektöründe) yavaşlamaktadır. Bu tabloyu sürdürülebilir kılmak için istikrarlı makroekonomik politika duruşunun yanı sıra iş gücü becerilerinin geliştirilmesi, inovasyon ekosisteminin güçlendirilmesi ve yeşil dönüşümün hızlandırılması öncelikli yapısal reform alanları olarak işaret edilmektedir (OECD, 2025b).

Sanayi

İmalat sanayiinde yüksek ve orta-yüksek teknolojili üretimin payı son on yılda artmış, bu artış Avrupa ülkelerine kıyasla olumlu bir ayrışma göstermiştir. Pandemi sonrası dönemde Ar-Ge harcamaları ve ihracat odaklılık da güçlenmiştir (Erdem ve Gül, 2025). Ancak bu pay hâlâ OECD ortalamasının altındadır ve TÜSİAD'ın Mart 2025 tarihli analizi daha eleştirel bir tablo çizmektedir. Yüksek teknolojili ihracat payında beklenen sıçrama arzu edilen oranda gerçekleşmemiştir; teknoparklar, Ar-Ge merkezleri, teknoloji transfer ofisleri ve girişim sermayesi fonları gibi ekosistem unsurlarındaki sayısal artışa rağmen bu gelişme özel

sektör Ar-Ge'sine ve yüksek teknolojili ihracata yeterince yansımamaktadır. Ayrıca sanayi ve teknoloji yatırımlarının Marmara Bölgesi'nde yoğunlaşması (bölgenin GSYH içindeki payı %45'in üzerindedir), coğrafi çeşitlenmeyi sınırlayan yapısal bir zafiyet olarak öne çıkmaktadır (Arslanhan vd., 2025).

Ar-Ge ve İnovasyon

Global Innovation Index 2025'e göre Türkiye, 139 ülke arasında 43., üst-orta gelir grubunda 3. ve bölgesinde (Kuzey Afrika ve Batı Asya) 4. sıradadır. Yedi alt sütundaki performansı ise oldukça değişkendir. Yaratıcı Çıktılar (30.) ve Beşerî Sermaye (38.) güçlüyken, Kurumlar sütunu (100.) zayıftır, en düşük tekil göstergeler ise iş yapmada politika istikrarı (110.), eğitim harcaması (108.) ve net doğrudan yabancı yatırım girişidir (103.) (WIPO, 2025b). Bu tablo, Ar-Ge harcamasının GSYH içindeki payının %1,4 ile OECD ortalamasının (%2,7) altında kalmasıyla da örtüşmektedir (Neufeld, 2025). Firma düzeyinde de benzer bir görünüm ortaya çıkmaktadır. Türkiye İhracatçılar Meclisi'nin 105 ihracatçı firma üzerinde yürüttüğü bir çalışmaya göre kurumsal inovasyon yönetim olgunluğu %54,8 düzeyinde ("Kısmi Başlandı/Başlandı" aralığında) ölçülmüş, en zayıf boyutlar Açık İnovasyon ve Yönetişim olarak belirlenmiştir (Pasin ve Aydın, 2023).

Dijitalleşme ve Yapay Zekâ

Google'ın desteğiyle hazırlanan bir analiz, üretken yapay zekânın yaygın biçimde benimsenmesi durumunda Türkiye'nin GSYH düzeyini yaklaşık on yıl içinde yaklaşık %5 oranında artırabileceğini öngörmekte, ancak aynı analiz Türkiye'nin yapay zekâ stratejisi ve altyapısında geride kaldığını da belirtmektedir (Implement Consulting Group, 2024). TÜSİAD'ın Nisan 2025 tarihli raporu bu görünümü doğrulamakta, iş dünyasında üretken yapay zekâya yönelik ilginin hızla arttığını ancak kurumsal benimsemenin henüz erken aşamada olduğunu ortaya koymaktadır (Cürgül vd., 2025). Küresel karşılaştırmalı bir referans olarak, IMD'nin 2020 Dünya Dijital Rekabet Sıralaması'nda Türkiye, 63 ekonomi arasında 44. sırada yer almış ve bir önceki yıla göre 52. sıradan yükselmiştir (IMD, 2020).

Yeşil Dönüşüm ve Karbonsuzlaşma

Dünya Bankası'nın Türkiye İklim ve Kalkınma Raporu'na göre Türkiye'nin sera gazı emisyonları göreceli olarak düşük düzeyde olmakla birlikte hızla artmaktadır. 2053 net-sıfır hedefine ulaşılması, önemli ölçüde kamu ve özel yatırım gerektiren yapısal bir politika değişikliğini zorunlu kılmaktadır (Dünya Bankası, 2022b). OECD'nin 2025 değerlendirmesi bu tabloyu güncellemekte, yenilenebilir enerji, atık yönetimi ve su tüketimi alanlarında kayda değer ilerleme kaydedildiğini, ancak kömürden çıkış stratejisinin ve iklim uyum politikalarının (özellikle artan orman yangını riski karşısında) güçlendirilmesi gerektiğini vurgulamaktadır (OECD, 2025b). Climate Change Performance Index 2026'da Türkiye 53. sırada yer almaktadır. Eleştirilen başlıca noktalar mevcut NDC'nin 2030'a kadar emisyon artışı öngörmesi ve net bir kömürden çıkış takviminin bulunmamasıdır (CCPI, 2026).

Boyut	Temel Gösterge	Türkiye Durumu	Kaynak
Ekonomi	Büyüme performansı (son 10 yıl)	OECD'nin en hızlı büyüyen ekonomilerinden biri	OECD, 2025b
Sanayi	Ar-Ge yoğun üretim payı	Artıyor, ama OECD ort. altında	Erdem ve Gül, 2025
Ar-Ge / İnovasyon	GII 2025 genel sırası	43/139 (Kurumlar alt sütunu: 100.)	WIPO, 2025b
Dijitalleşme / YZ	GenAI'nin GSYH potansiyeli	~%5 GSYH düzeyi artışı, ~10 yılda (potansiyel, henüz gerçekleşmedi)	Implement Consulting Group, 2024
Yeşil Dönüşüm	CCPI 2026 sırası	53. sıra (İklim Politikası: Çok Düşük)	CCPI, 2026

Bu beş boyutun ortak noktası, güçlü ve zayıf yönlerin iç içe geçtiği karma bir tablodur: bazı alanlarda (yenilenebilir enerji büyümesi, teknoloji yoğun üretimde olumlu ayrışma, beşerî sermaye) belirgin ilerleme kaydedilirken, bazılarında (kurumsal kalite, Ar-Ge yoğunluğu, iklim politikası tutarlılığı) önemli açıklar sürmektedir. Bu karma profil, aşağıdaki köprü/eşgüdüm rolünü zayıflatmak yerine ona gerçekçi bir zemin sunmaktadır. Türkiye deneyimi, kusursuz bir model

değil, kendi sınırlılıklarıyla birlikte diğer gelişmekte olan ülkelere aktarılabilir somut bir öğrenme kaynağı olarak sunulmaktadır.

4. Türkiye'nin Avantajları

Aşağıdaki on iki madde, Türkiye'nin bölgesel öğrenme ve iş birliği için bir köprü işlevi görebilecek somut nitelikleri olarak değerlendirilmektedir. Bu liste bir üstünlük iddiası değil, yukarıdaki Beş Boyutta Türkiye bölümünde belgelenen karma tabloyla tutarlı, sınırlılıklarıyla birlikte okunması gereken bir envanterdir.

1. **Sanayi kapasitesi —** Türkiye, çeşitlenmiş bir ihracat sepeti ve derinleşmiş bir imalat tabanına sahiptir. Yüksek ve orta-yüksek teknolojili üretimde son on yılda Avrupa ülkelerine kıyasla olumlu bir ayrışma sergilemiştir. Bu kapasite tek başına ileri teknoloji liderliği anlamına gelmemekle birlikte, yeni teknolojilerin sanayiye adapte edilebileceği geniş ve çeşitlenmiş bir uygulama zemini sunmaktadır. Bu, sanayi tabanı sınırlı olan birçok gelişmekte olan ülkeden ayrışan somut bir başlangıç noktasıdır.

2. **Girişimcilik ekosistemi —** Son otuz yılda teknoparklar, Ar-Ge merkezleri, teknoloji transfer ofisleri ve girişim sermayesi fonları gibi otuz yıl önce mevcut olmayan aktörler Türkiye'nin teknoloji ekosistemine yerleşmiş ve sayıları giderek artmıştır. Bu yapıların yüksek teknolojili ihracata henüz yeterince yansımaması, ekosistemin olgunlaşma sürecinde olduğunu, tamamlanmış olmadığını göstermektedir. Buna rağmen bu kurumsal altyapının varlığı bölgesel deneyim aktarımı için kullanılabilir somut bir zemin oluşturmaktadır.

3. **Jeopolitik konum —** Türkiye, Avrupa, Orta Doğu, Kafkasya ve Orta Asya arasında kesişen bir coğrafi konuma sahiptir. Bu konum, farklı gelişmişlik düzeyindeki bölgeler arasında bilgi ve deneyim akışını fiziksel ve kurumsal olarak kolaylaştırabilecek bir köprü işlevi taşımaktadır. Bu avantaj kendiliğinden bir liderlik iddiası değildir. Coğrafi yakınlığın bölgesel öğrenme ağlarına dönüştürülmesi ayrı bir kurumsal çaba gerektirir. Yine de birçok gelişmekte olan ülkenin sahip olmadığı bu çok yönlü coğrafi bağlantısallık, somut bir başlangıç avantajıdır.

4. **Dinamik iş kültürü —** Türk özel sektörü, hızlı karar alma, aile şirketi yapılarının esnekliği ve kriz koşullarına uyum konusunda uzun bir deneyime sahiptir. Bu, hızlı değişen küresel ticaret ve teknoloji koşullarına adaptasyon açısından bir avantaj oluşturabilir. Bununla birlikte bu dinamizm, kurumsallaşma ve uzun vadeli stratejik planlama açısından zaman zaman bir gerilim de yaratmaktadır. Bu iki yönlü tablo, iş kültürünün hem bir güç hem de geliştirilmesi gereken bir alan olduğunu göstermektedir.

5. **Avrupa ile** çevre **bölgeler arasındaki bağlantılar —** Gümrük Birliği üyeliği ve uzun süredir devam eden AB entegrasyon süreci, Türkiye'ye Avrupa düzenleyici standartlarına dair doğrudan ve süregelen bir deneyim kazandırmıştır. Bu deneyim, aynı standartlarla henüz karşılaşmamış diğer gelişmekte olan ülkeler için aktarılabilir niteliktedir. Aynı zamanda Türkiye, çevre bölgelerle (Orta Doğu, Kafkasya, Orta Asya, Afrika) ticari ve kurumsal bağları da sürdürmektedir. Bu çift yönlü bağlantısallık, Avrupa standartlarının çevre bölgelere aktarılmasında pratik bir ara halka işlevi görebilir.

6. **Nitelikli insan kaynağı —** Global Innovation Index 2025'te Türkiye'nin en güçlü olduğu göstergeler arasında yükseköğretime kayıt oranı (2.) ve okullaşma süresi (3.) yer almaktadır (WIPO, 2025b). Bu, geniş bir eğitimli iş gücü havuzuna işaret etmektedir. Bununla birlikte bu insan kaynağı potansiyelinin özel sektör Ar-Ge'sine ve yüksek teknolojili üretime yeterince yansımadığı da aynı bölümde belgelenmiştir. Yine de eğitimli iş gücü tabanının genişliği, teknoloji transferi ve kapasite geliştirme programları için elverişli bir zemin oluşturmaktadır.

7. **Organizasyon becerisi —** Türkiye'nin büyük ölçekli sanayi uyum projelerini kamu-özel sektör iş birliğiyle yürütme deneyimi somut bir organizasyonel yetkinliğe işaret etmektedir. Bu yetkinlik, karmaşık ve çok paydaşlı uyum süreçlerinin (tek bir kurum değil, kamu, özel sektör

ve akademinin birlikte) yönetilmesini gerektiren bölgesel öğrenme programları için doğrudan aktarılabilir bir deneyimdir.

8. **Gelişen Ar-Ge ve teknoloji kapasitesi —** Ar-Ge harcamalarının GSYH içindeki payı hâlâ düşük olmakla birlikte (%1,4, OECD ortalaması %2,7), post-pandemi dönemde bu harcamalarda ve doktora düzeyinde araştırma kapasitesinde bir büyüme gözlenmektedir (Erdem ve Gül, 2025; WIPO, 2025b). Bu, tamamlanmış değil devam eden bir gelişim sürecine işaret etmektedir. Bu sürecin kendisi (eksiklikleriyle birlikte) benzer bir yoldan geçmekte olan diğer gelişmekte olan ülkeler için öğretici bir referans oluşturabilir.

9. **Gümrük Birliği / AB düzenleyici uyum deneyimi —** Türkiye, CBAM-tipi düzenleyici baskıyla karşılaşan ilk gelişmekte olan ülkelerden biridir. Gümrük Birliği çerçevesinde AB standartlarına uyum sağlama deneyimi onlarca yıla dayanmaktadır. Bu ekin "Güncel Gelişmeler" bölümünün 5. maddesinde aktarılan SKDM uygulama rehberleri, bu deneyimin sahada nasıl somutlaştığının doğrudan bir kanıtıdır. Benzer düzenleyici baskıyla henüz karşılaşmamış diğer gelişmekte olan ülkeler için bu deneyim, doğrudan aktarılabilir pratik dersler sunmaktadır.

10. **Yarı-çevreden yükselme / orta gelir basamağını tırmanma deneyimi —** Bu **çalışmanın**

3. bölümünde tartışılan merkez-yarı çevre-çevre çerçevesi içinde Türkiye, uzun süredir yarı-çevre konumundan yükselmeye çalışan bir ülke örneğidir. Bu bir başarı hikâyesi değil, devam eden ve zaman zaman geriye düşüşler de içeren bir mücadele deneyimidir. Tam da bu nedenle (kusursuz bir başarı değil, gerçek bir mücadele olduğu için) benzer basamakta olan diğer ülkeler için daha gerçekçi ve aktarılabilir bir referans oluşturmaktadır.

11. **Kurumsallaşmış sanayi/iş dünyası örgütleri —** Ankara Sanayi Odası, İstanbul Sanayi Odası, TOBB ve TÜSİAD gibi köklü, araştırma kapasitesine sahip iş dünyası örgütleri, Türkiye'nin sanayi politikası tartışmalarına kanıta dayalı katkı sunan kurumsallaşmış bir yapı oluşturmaktadır. Benzer kurumsal yapıları henüz olgunlaşmamış gelişmekte olan ülkeler için bu deneyim, kurum inşası konusunda aktarılabilir bir referans sunabilir.

12. **İklim risklerine (özellikle su stresi) doğrudan maruziyet ve uyum deneyimi —** Türkiye, 2050'de yüksek su stresine maruz kalması öngörülen küresel GSYH'nin yarısından fazlasını barındıran dört ülkeden biridir (Kuzma vd., 2023). Türkiye bu riske sanayi düzeyinde uyum sağlama deneyimini temiz üretim teknolojileri, atıksu geri kazanımı ve iklim duyarlı yol haritaları üzerinden fiilen biriktirmektedir. Bu, yaşanmakta olan bir risk deneyimi olduğundan, benzer risk profiline sahip diğer gelişmekte olan ülkeler için özellikle somut bir referans oluşturmaktadır.

Ek 4: ASO (Ankara Sanayi Odası)

1. ASO'nun Kimliği ve Ankara Sanayisindeki Yeri

Ankara Sanayi Odası (ASO), 18 Kasım 1963'te 11 grupta 259 sanayici üye ile kurulmuş bir meslek kuruluşudur; öncülü, Mayıs 1923'te kurulan Ankara Ticaret ve Sanayi Odası'dır. Bugün 40 meslek grubunda 10.000'i aşan üyesiyle Ankara sanayisinin temsilcisi konumundadır (ASO, t.y.-a).

ASO, misyonunu Ankara sanayisinin çevreye duyarlı biçimde yüksek katma değer üretmesine, verimlilik ve rekabet gücünün artmasına katkı sağlamak olarak tanımlamaktadır. Vizyonu ise başkentin ileri teknolojiyi kullanan ve sürdürülebilir biçimde yüksek katma değer üreten lider bir sanayi kenti olmasıdır. Oda bünyesinde Çevre ve İklim Değişikliği, Girişimcilik ve Yenilikçilik, Uluslararası İlişkiler ve Dış Ticaret gibi birimler yer almaktadır (ASO, t.y.-b).

2. Ankara'nın Sanayi Örüntüsü: Teknoloji ve Ar-Ge Odaklı Üretim

Ankara'nın sanayi yapısını belirleyen temel veriler şunlardır:

- **Teknolojik gelişmişlik:** ASO-İLTEK Endeksi 81 ili beş boyutta ve 37 değişkenle ölçmekte; Ankara teknolojik gelişmişlikte birinci sırada yer almaktadır (ASO, 2024). 2025 sonuçlarında da bu konum korunmuştur (Habertürk, 2026).
- **Ar-Ge yoğunluğu:** 2024'te Türkiye Ar-Ge harcamasının %27,8'i ve Ar-Ge personelinin %19,2'si, ülke nüfusunun yalnızca %6,8'ini barındıran Ankara'da gerçekleşmiştir (TÜİK, 2025a, 2025b). Bu, kişi başına Ar-Ge harcamasında yaklaşık dört kat bir yoğunluk anlamına gelmektedir (oranlar bu çalışmada hesaplanmıştır).
- **Eğitim düzeyi:** 25 yaş üstü nüfusta ortalama eğitim süresi 10,9 yıl ile Türkiye'nin en yüksek değeridir (Türkiye ortalaması 9,6 yıl) (TÜİK, 2026).
- **Ar-Ge altyapısı:** Kasım 2024 itibarıyla 13 teknoloji geliştirme bölgesi, 151 Ar-Ge merkezi ve 12 kümelenme organizasyonu faaliyet göstermektedir (ASO, 2024).
- **Yüksek teknoloji ihracatı:** 2025'te Ankara ihracatının %13'ü yüksek teknolojili ürünlerden oluşmakta ve bu pay Türkiye ortalamasının yaklaşık üç katıdır (ASO, 2026a). 2024'te Türkiye'nin yüksek teknoloji ihracatının yaklaşık %20'si Ankara'dan yapılmıştır (ASO, 2025a).
- **Öne çıkan alanlar:** Yüksek teknoloji ihracatında hava ve uzay taşıtları, ölçme-kontrol cihazları ve tıbbi cihazlar ön plandadır; savunma, havacılık ve uzay sanayi Ankara sanayisinin en güçlü alanları arasındadır (ASO, 2025a).
- **İhracat performansı:** Ankara'nın ihracatı 2025'te %24,3 artışla 17,5 milyar dolara ulaşmıştır (Ekonomi Gazetesi, 2026). 2026'nın ilk yarısında ihracat %27,5 artışla 9,1 milyar dolar olmuş, Türkiye ihracatındaki payı 2021'de %4,24 iken %6,67'ye yükselmiştir (ASO, 2026a).

İstanbul, Türkiye'de sanayinin ve özellikle ticarileşmenin lokomotifidir ve bu liderlik gurur vericidir; ancak Ankara'nın karakteri farklıdır: Ankara, teknolojik gelişmişlikte ilk sırada yer alan, Ar-Ge ve teknoloji odaklı bir sanayi merkezidir. Üniversiteler, kamu araştırma kurumları, Ar-Ge merkezleri ve yüksek eğitimli iş gücü, savunma, havacılık ve uzay gibi teknoloji yoğun sanayilerle aynı kentte bir araya gelmektedir. Bu iki karakter birbirinin alternatifi değil, tamamlayıcısıdır. Ar-Ge birikiminin sanayiye kesintisiz akması ise kendiliğinden gerçekleşmez; bu geçişi destekleyen programlar gerektirir. Ankara'nın örneği, gelişmekte olan ülke sanayilerinin ikiz dönüşümde teknolojiyi yalnızca kullanan değil, üreten taraf olabileceğini göstermesi bakımından değerlidir.

3. İkiz Dönüşüm Alanındaki Çalışmaları

ASO, 2024'te üç yıllık bir yol haritası açıklamış; bu yol haritasında üyelerin ikiz dönüşüme (yeşil ve dijital dönüşüm) ve döngüsel ekonomiye uyumunu artıracak proje ve faaliyetleri planlamış, yeşil ve dijital dönüşümün üyelerin kurumsal kimliğine dönüşmesini hedef olarak belirlemiştir. Karbon ayak izi ve SKDM gibi zorunluluklara uyuma ve hesaplama metodolojisine yönelik eğitim ve sertifika programları ile "yeşil yaka" personelin yetiştirilmesine yönelik bir AB proje başvurusu bu çerçevede öngörülmüştür.

Firma ölçeğinde yürütülen çalışmalardan biri, ASO'nun çözüm ortağı olarak yer aldığı TÜBİTAK 1831 Yeşil İnovasyon Teknoloji Mentorluk Programı'dır. KOBİ'lerin yeşil dönüşüm ve yenilikçilik kapasitelerini geliştirmeyi amaçlayan program kapsamında, işletmelerin mevcut durumları analiz edilerek dönüşüm ihtiyaçları belirlenmekte; yeşil dönüşüm yol haritaları, kurumsal karbon ayak izi hesaplamaları, SKDM raporlaması ve yenilikçilik kapasitesi analizleri aracılığıyla firmalara teknik danışmanlık sağlanmaktadır. Program kapsamında sunulan danışmanlık hizmetlerinin maliyetinin %90'ı hibe desteğiyle karşılanarak KOBİ'lerin yeşil dönüşüm süreçlerinde ihtiyaç duydukları teknik uzmanlığa erişimi kolaylaştırılmaktadır (Capital, 2024).

Bu çalışmaların en somut örneklerinden biri, TTGV'nin yürütücü, Ankara Kalkınma Ajansı ile ASO'nun ortak olduğu Eko-Üretim Dönüşüm Programı'dır. Program, Ankara'daki firmaların iklim değişikliği ve yeşil dönüşümle ilgili ulusal ve uluslararası düzenlemelere uyumunu hızlandırmayı ve nitelikli projeleri belirlemeyi amaçlamaktadır. Üç aşamada ilerleyen programın ilk aşamasında seçilen firmalara EkoReka Ön Analiz aracı ücretsiz uygulanmakta ve bir Ön Değerlendirme Raporu sunulmaktadır. İkinci aşamada projelendirme ve fizibilite desteği verilmekte, firmaların finansman kaynaklarına ve akademi, teknoloji firmaları ile danışmanlara erişimi kolaylaştırılmaktadır. Üçüncü aşama ise yatırıma hazırlıktır (TTGV vd., 2024). Program, TTGV'nin Ek 5'te anlatılan yaklaşımının bir sanayi odası ile birlikte sahaya taşındığı bir örnektir.

ASO, firmaların çevresel performanslarını ölçülebilir ve raporlanabilir hâle getirmeye yönelik uygulamalı destekleri de geliştirmektedir. Ankara Kalkınma Ajansı teknik desteği kapsamında 2026 yılında yürütülen "Sanayinin Yerli Teknoloji Kullanımı Yoluyla İkiz Dönüşüm Kapasitesinin Artırılması" projesi, SKDM ile ilişkili sektörlerdeki 10 ASO üyesi işletmeye yerli dijital yazılım altyapısı üzerinden ISO 14064-1 kurumsal sera gazı envanteri, ISO 14067 ürün karbon ayak izi, ISO 14046 su ayak izi ve SKDM beyanı alanlarında kapasite kazandırmayı hedeflemektedir. Bu örnekte dijitalleşme, çevresel verinin düzenli biçimde toplanması ve raporlanması için bir araç olarak kullanılmaktadır.

ASO tarafından hazırlanan İllerin Teknolojik Gelişmişlik Endeksi (ASO-İLTEK), Türkiye'deki 81 ilin teknolojik gelişmişlik düzeylerini çeşitli göstergeler üzerinden analiz ederek illerin teknoloji üretme kapasitesini, yenilikçilik potansiyelini ve rekabet gücünü ortaya koymayı amaçlayan kapsamlı bir çalışmadır. Her yıl farklı bir teknoloji temasıyla hazırlanan ASO-İLTEK'in 2026 yılı teması "Yeşil Teknolojiler" olarak belirlenmiştir. Bu kapsamda çalışma, illerin yeşil dönüşüm potansiyelini, çevre dostu teknolojilere yönelik kapasitesini ve sürdürülebilir üretim alanındaki gelişimini değerlendirmeye odaklanmaktadır. Yeşil teknolojilerin sanayi rekabeti, enerji güvenliği ve küresel tedarik zincirleri açısından giderek artan stratejik önemi, bu temanın belirlenmesinde etkili olmuştur. Özellikle enerji arz güvenliğine yönelik riskler ve Avrupa Birliği Sınırda Karbon Düzenleme Mekanizması'nın uygulamaya geçmesi, Türkiye sanayisinin yeşil dönüşümünü daha da kritik hâle getirmiştir. ASO-İLTEK 2026, yeşil teknolojilerin iller arasındaki dağılımını ve bölgesel gelişmişlik farklılıkları üzerindeki olası etkilerini ortaya koyarak teknoloji ve sanayi politikalarına veri temelli katkı sunmayı hedeflemektedir.

Dönüşümün insan kaynağı boyutunda ise ASO, Orta Doğu Teknik Üniversitesi koordinasyonunda; Türkiye, Polonya, İsveç ve İtalya'dan üniversiteler ile uzman kuruluşların ortaklığında yürütülen Erasmus+ KA220-VET "Green and Resilient Future Industrial Training" (GREENFIT) projesinde aktif rol almaktadır.

2025-2027 dönemini kapsayan projenin ilk aşamasında, sanayi çalışanlarının yeşil dönüşüm sürecinde ihtiyaç duyduğu bilgi ve beceriler ile mevcut yetkinlik açıkları ve eğitim ihtiyaçları belirlenecektir. Elde edilen bulgular doğrultusunda; sürdürülebilir üretim, döngüsel ekonomi, düşük karbonlu üretim, enerji ve kaynak verimliliği gibi alanlarda çok dilli dijital içerikler ve uygulamaya yönelik eğitim modülleri geliştirilecektir. Proje kapsamında ayrıca işletmelerde görev yapacak sürdürülebilirlik uzmanlarının yetiştirilmesi, kazanılan bilgi ve becerilerin pilot eğitimler aracılığıyla sanayi çalışanlarına aktarılması ve işletmelerde uygulamalı öğrenmenin yaygınlaştırılması amaçlanmaktadır.

ASO'nun ikiz dönüşüm gündemindeki bir başka bileşen, düzenleyici değişikliklerin sanayi üzerindeki etkilerini veri temelli araştırmalarla ortaya koymaktır. ASO tarafından Eylül 2026'da yayımlanan "Sınırda Karbon Düzenleme Mekanizması Kapsamında Türkiye ve Ankara Analizi" araştırması, 2013-2023 dönemine ait firma düzeyindeki dış ticaret, bilanço ve üretim verileri üzerinden SKDM'nin Türkiye ve Ankara sanayisi açısından oluşturduğu riskleri incelemektedir. Araştırmaya göre Ankara firmalarının Türkiye'nin AB'ye yönelik SKDM ürünleri ihracatındaki payı 2013'te %3,33 iken 2023'te %4,44'e yükselmiştir. Aynı dönemde Ankara'nın AB'ye yönelik ilgili ihracat sepetinde ana metal imalatının payı %72,63'ten %25,83'e gerilerken fabrikasyon metal ürünleri ile makine ve ekipman imalatının göreli ağırlığı artmıştır. Bu bulgular, Ankara'nın karbon düzenlemelerinden etkilenme biçiminin doğrudan malzeme üreticileriyle sınırlı olmadığını, daha ileri işlenmiş ürünleri içeren sanayi değer zincirlerinin de değerlendirilmesi gerektiğini göstermektedir (ASO, 2026b).

Araştırmanın ekonometrik sonuçları, 2021 yılındaki SKDM duyurusunun ardından Ankara'da mekanizmaya daha fazla maruz kalan firmaların AB dışı pazarlara yönelik SKDM ürünleri ihracatında artış gözlendiğini; buna karşılık AB'ye ihracat değeri ve yeşil ürün ithalatında istatistiksel olarak anlamlı bir değişim saptanmadığını göstermektedir. Dolayısıyla bulgular, düzenlemenin ilk duyurusuna verilen tepkinin üretim teknolojilerindeki ölçülebilir bir dönüşümden çok pazar çeşitlendirmesi yönünde gerçekleştiğine işaret etmektedir. Finansman koşulları da dönüşüm kapasitesini etkilemektedir: 2023 yılında araştırma kapsamındaki Ankara SKDM ihracatçılarının mali borçları içerisinde banka kredilerinin payı %86,35 iken Türkiye ortalaması %65,89'dur. Rapor, özellikle orta ölçekli firmalar açısından uzun vadeli finansman, ölçme-raporlama-doğrulama altyapısı, teknik danışmanlık ve aşamalı yatırım desteğinin önemini vurgulamaktadır (ASO, 2026b).

ASO, SKDM'ye yönelik araştırma ve analiz çalışmalarını firmaların düzenlemeye uyum kapasitesini güçlendiren bilgilendirme ve teknik destek faaliyetleriyle tamamlamaktadır. Bu kapsamda meslek komiteleri, üye ziyaretleri, sektörel eğitimler ve bilgilendirme toplantıları aracılığıyla pek çok sanayiciye ulaşılmış; demir-çelik ve alüminyum sektörleri özelinde raporlama eğitimleri gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, Ankara'da faaliyet gösteren 3.025 firmanın Gümrük Tarife İstatistik Pozisyonu (GTİP) kodları, Avrupa Birliği'nin SKDM kapsamındaki ürün listeleriyle karşılaştırılarak ürün bazında etkilenebilirlik analizi yapılmıştır. Bu çalışma, düzenlemeden etkilenme potansiyeli bulunan firmaların belirlenmesine ve sektörel bilgilendirme faaliyetlerinin daha hedefli yürütülmesine veri temelli bir zemin sağlamıştır. Yayımlanan SKDM Firma Rehberi ile düzenlemenin kapsamı, emisyon hesaplama esasları ve işletmelerin izlemesi gereken hazırlık adımları bir araya getirilerek sanayicilere uygulamaya yönelik bir başvuru kaynağı sunulmuştur. Bunun yanında, sürdürülebilirlik raporlaması, karbon ayak izi hesaplamaları, yeşil finansman, enerji ve su verimliliği ile yenilenebilir enerji teknolojileri gibi konularda düzenlenen eğitim, panel ve çalıştaylarla firmaların dönüşüm süreçlerine ilişkin bilgi ve teknik yetkinliklerinin geliştirilmesi desteklenmektedir.

Dijital dönüşüm alanında ASO, Avrupa Birliği Dijital Avrupa Programı kapsamında yürütülen Avrupa Dijital İnovasyon Merkezleri (ADİM) girişimi çerçevesinde, AI for Green Technology (AI4GTech) Anatolia projesinde yer almaktadır. Yapay zekâ ve yeşil dijital teknolojilerin sanayi işletmelerinde kullanımını yaygınlaştırmayı hedefleyen proje kapsamında, firmaların dijital olgunluk düzeylerinin değerlendirilmesi, ihtiyaçlarına uygun kapasite geliştirme hizmetlerine yönlendirilmesi, güvenilir yapay zekâ ve yeşil teknolojiler alanında modüler eğitimler geliştirilmesi, finansmana erişimin ve

iş birliklerinin desteklenmesi ile yeni uygulama senaryolarının oluşturulması öngörülmektedir. ASO'nun projedeki rolü; sanayi işletmelerine erişim, dijital olgunluk değerlendirmeleri, eğitim ve yetkinlik geliştirme faaliyetleri, ekosistem paydaşları arasında iş birliği kurulması ve sürdürülebilir iş modellerinin geliştirilmesi üzerinde yoğunlaşmaktadır. Bu çerçeve, dijital araçların sanayide çevresel performansı iyileştirme potansiyelinin, firmaların ölçüm, uygulama ve finansman kapasitesiyle birlikte ele alındığını göstermektedir.

İkiz dönüşümün uzun vadeli sanayi altyapısına yansıması ise ASO Teknoloji Üssü girişiminde görülmektedir. 2025 yılında yayımlanan fizibilite raporu, Ankara'nın Temelli-Alcı aksında yaklaşık 1,0 milyon metrekarelik alanda üretim, Ar-Ge, tasarım, teknoloji geliştirme ve yaşam işlevlerini birlikte içeren yeni nesil bir teknoloji ekosistemi önermektedir. Organize sanayi bölgesi ile teknoloji geliştirme bölgesinin güçlü yanlarını bir araya getirmeyi amaçlayan modelde, üretim ve Ar-Ge birimlerinin aynı yerleşke içinde konumlandırılması; laboratuvarlar, teknoloji transfer mekanizmaları, kuluçka merkezleri ve üniversite-sanayi iş birlikleriyle desteklenmesi öngörülmektedir. Proje tam kapasiteye ulaştığında 800'den fazla firmaya ve 18 bini aşan istihdama ev sahipliği yapması hedeflenmektedir. Net sıfır emisyon hedefi doğrultusunda, çatı ve cephe tipi güneş enerjisi sistemleriyle yerleşkenin yıllık elektrik ihtiyacının yaklaşık %28'inin karşılanması planlanmaktadır. Enerji tüketimini optimize eden akıllı bina sistemleri, doğal aydınlatma ve havalandırmadan yararlanan mimari tasarımlar ile yeşil bina standartlarının uygulanması öngörülmektedir. Ayrıca, sıfır atık ve geri dönüşüm altyapısı, yağmur suyu hasadı ve endüstriyel simbiyoz uygulamalarıyla kaynak verimliliğinin artırılması ve çevresel etkilerin azaltılması hedeflenmektedir. Bunlar tamamlanmış uygulama sonuçları değil, fizibilite ve gelişim planında tanımlanan hedeflerdir (ASO, 2025b).

Kaynak verimliliği ve sanayi bölgeleri arasındaki iş birliği bakımından ASO'nun Eylül 2026 tarihli "Sanayide Endüstriyel Simbiyoz ve Sıfır Atık" çalışması da tamamlayıcı bir yön ortaya koymaktadır. Çalışmada önerilen ASO Döngüsel Sanayi ve Sıfır Atık OSB modeli, işletmelerin malzeme, su, enerji, atık ısı ve yan ürün akışlarının ortak bir veri ve proje geliştirme sistemi üzerinden değerlendirilmesine dayanmaktadır. Önerinin ilk adımı, tesis yatırımlarından önce Ankara Endüstriyel Simbiyoz Platformu'nun kurulması, kaynak akışlarının doğrulanması ve teknik-ekonomik açıdan uygulanabilir pilot projelerin belirlenmesidir. Böylece döngüsel ekonomi, tekil atık yönetimi uygulamalarından çıkarılarak firmalar ve organize sanayi bölgeleri arasında kaynak ilişkilerinin planlandığı bir sanayi politikası aracına dönüştürülmektedir.

Şubat 2026'da gerçekleştirilen ASO Meclis Toplantısı'nda, ASO Yönetim Kurulu Başkanı Seyit Ardıç, yeşil dönüşümü sanayinin rekabet gücü ve ihracatının sürdürülebilirliği açısından bir zorunluluk olarak değerlendirmiştir. Avrupa Yeşil Mutabakatı ve SKDM'nin üretim maliyetleri üzerindeki etkilerine dikkat çekerek yüksek yatırım maliyetleri ve finansmana erişim güçlüklerinin sanayicilerin dönüşüm sürecindeki temel sorunları arasında yer aldığını vurgulamıştır. Bu doğrultuda ASO'nun, üyelerinin yeşil finansman kaynaklarına erişimini kolaylaştırmaya ve düzenleyici yükümlülüklere uyumunu desteklemeye yönelik çalışmalarına öncelik verdiği ifade edilmiştir (YatırımX, 2026).

Birlikte değerlendirildiğinde ASO'nun ikiz dönüşüm alanındaki faaliyetleri; firma düzeyinde ihtiyaç analizi ve teknik danışmanlık, nitelikli insan kaynağının geliştirilmesi, düzenleyici uyum, veri temelli politika üretimi ve teknolojik altyapının güçlendirilmesi eksenlerinde şekillenmektedir. Bu çalışmalar, sanayi işletmelerinin dönüşüm ihtiyaçlarının belirlenmesinden uygulama kapasitesinin geliştirilmesine, bölgesel sanayi ekosisteminin uzun vadeli dönüşümüne kadar uzanan bir kurumsal destek çerçevesi ortaya koymaktadır. ASO'nun bu yaklaşımı, Ek 3'ün 11. maddesinde ele alınan, kurumsallaşmış sanayi örgütlerinin bilgi üretimi, politika geliştirme ve saha uygulamaları arasında üstlenebileceği aracı rolün Ankara ölçeğindeki somut bir örneğini oluşturmaktadır.

Ek 5: TTGV (Türkiye Teknoloji Geliştirme Vakfı) Programları ve Yaklaşımı

1. TTGV'nin Kimliği ve Yaklaşımı

Türkiye Teknoloji Geliştirme Vakfı (TTGV), 1991 yılında Türk sanayisinin Ar-Ge ve teknolojik inovasyon yetkinliğini güçlendirmek amacıyla kurulmuş bir özel hukuk vakfıdır. Otuz beş yılı aşan birikimiyle TTGV, politika ve düşünce üretimine katkı sunan (think-tank) ile finansman, pilot ve demonstrasyon araçlarıyla doğrudan saha eylemine geçen (do-tank) işlevleri bir arada yürüten özgün bir konum kurmuştur.

TTGV, 2023 yılında stratejik odağını iklim teknolojilerine yöneltmiştir. Bununla birlikte kurum, geçmişte de üzerinde çalıştığı dijitalleşme ve yapay zekâ alanlarında da yeniden güçlü biçimde faaliyet göstermektedir. Bu çerçevede TTGV, dünyada ya da en azından Türkiye'de türünün ilk örneği olacak, ölçeklenebilecek ve çoğaltılabilecek teknoloji projelerine yatırım yapmayı amaçlayan Öncül Proje Programı'nı hayata geçirmiştir; program Öncül Tohum, Öncül Demo, Öncül Yatırım ve Güdümlü Proje (GÜP) bileşenleriyle yenilikçi teknolojilerin geliştirilmesini ve yaygınlaştırılmasını desteklemekte, seçilen her teknoloji-sektör kesişiminde kapsamlı bir Derin Analiz (deep dive) çalışması yürütmektedir. Bugüne kadar ağırlığı iklim teknolojileri olmak üzere şebeke ölçeğinde uzun süreli elektrokimyasal enerji depolama, temiz hidrojen teknolojileri, yapı ve inşaat sektörünün karbonsuzlaşmasında sürdürülebilir çimento üretimi, alternatif protein teknolojileri, karbon yakalama, kullanma ve depolama (CCUS), yeni nesil yakıt teknolojileri ve tarım-iklim ilişkisi ile iklim uyumlu tarım teknolojileri konularında Derin Analiz çalışmaları gerçekleştirilmiştir.

2. TTGV'nin Program Yaklaşımı ve Araçları

TTGV, seçtiği odak alanlarında birbirini tamamlayan bir araç seti üzerinden çalışır. Her araç kendi başına anlamlı bir işlev görürken, aynı odak alanı içinde birbirine bağlı olarak da kullanılabilir. İhtiyacın ve konunun niteliğine göre birden fazla araç birlikte devreye girer.

Derin Analiz, konu tam olarak anlaşılmadan uygulamaya geçilmemesini sağlar. Sürecin sonunda TTGV'nin üstlenebileceği proje alanları belirlenir. Bu rapor, bu aracın çıktısıdır. Ön Araştırma, Derin Analiz düzeyinde derinleşmeye gerek görülmeyen konularda hızlı ve odaklı bilgi üretimini sağlar.

GÜP, arz yönlü geleneksel destek modellerinden farklı olarak talep yönlü bir yaklaşımdır. Başlangıç noktası dışarıdan sunulan bir proje önerisi değil, TTGV tarafından tespit edilen bir ihtiyaçtır. Çözülmesi istenen sorun, kullanım bağlamı, hedeflenen performans ve başarı ölçütleri tanımlandıktan sonra bu hedefe ulaşabilecek aktör ve teknolojiler araştırılır. TTGV yalnızca finansman sağlayan veya başvuruları değerlendiren bir kuruluş değildir; çözüm ihtiyacını tanımlayan, içeriği aşamalı olarak geliştiren ve geliştirilecek çözümün bir tür müşterisi olarak hareket eden taraftır (TTGV, 2026). Programın önceliği laboratuvar sonrasında fakat geniş ölçekli pilot ve ticari uygulama öncesindeki kritik geçiş alanıdır. Bu yaklaşım, OECD Frascati Kılavuzu'nda tanımlanan deneysel geliştirme mantığıyla uyumludur: mevcut araştırma ve uygulama deneyiminden elde edilen bilgi, yeni veya geliştirilmiş ürün ve süreçlerin ortaya çıkarılması amacıyla sistematik biçimde kullanılır (OECD, 2015).

Öncül Tohum, erken aşamadaki teknolojilerin yalnızca finansal olarak desteklenmesini değil; teknik ve ticari açıdan kıymetlendirilmesini, doğru pazar ve uygulama alanıyla eşleştirilmesini ve ihtiyaçlarına özgü bir gelişme yol haritasına kavuşturulmasını amaçlar.

Öncül Demo, kavram kanıtı aşamasını geçmiş çözümlerin prototip iyileştirme, pazar doğrulama ve gerçek kullanım koşullarındaki uygulamalar üzerinden ilk ticari kullanıma hazırlanmasına odaklanır.

PoC Fazı, doğrulama ihtiyacının daha kapsamlı olduğu durumlarda devreye girer; teknik doğrulamanın yanında fikri mülkiyet, pazar ihtiyacı, uygulama ortaklığı ve ticarileşme potansiyeli birlikte değerlendirilir.

İklim Lab, TTGV'nin seçtiği odak alanlarında akademi, sanayi, kamu ve girişim ekosisteminden paydaşları bir araya getirmeye, ortak öğrenmeyi ve iş birliklerini kolaylaştırmaya devam ettiği çatıdır.

Bu araçlar birbirinin alternatifi değildir ve her projenin bütün programlardan veya aşamalardan geçmesi gerekmez. Bir Derin Analiz veya Ön Araştırma çıktısından doğan odak alanı GÜP eksenli bir kurguyla ilerleyebilir; niteliğe göre Tohum, Demo veya PoC aşamalarında ilgili teknoloji sahipleriyle buluşabilir; İklim Lab paydaş etkileşimini destekler.

Bu araç seti bir arada değerlendirildiğinde, TTGV'nin kurumsal kimliğinin ortaya çıkardığı asıl özellik netleşir: TTGV, başta iklim teknolojileri ve yapay zekâ olmak üzere teknolojik gelişmeleri yakından izleyen ve iyi anlayan, sahadaki sorunları teknolojik olanaklarla birlikte değerlendiren ve bu değerlendirmeden hareketle yeni programlar tasarlayıp bizzat uygulayan, hem düşünce ve politika üretimini (think-tank) hem de doğrudan saha eylemini (do-tank) aynı çatı altında yürüten esnek bir kuruluştur. Bu esneklik, önceden tanımlanmış tek bir araç veya modele bağlı kalmaksızın, her odak alanının kendine özgü ihtiyacına göre Derin Analiz'den Güdümlü Proje'ye, Öncül Tohum'dan İklim Lab'a uzanan araç setini yeniden bir araya getirebilme kapasitesinde somutlaşmaktadır.

KAYNAKÇA

AB Konseyi. (2024). Net-Sıfır Sanayi Yasası (Net-Zero Industry Act). Brüksel: Avrupa Birliği Konseyi.

Acemoğlu, D. ve Johnson, S. (2023). Power and Progress: Our Thousand-Year Struggle Over Technology and Prosperity. New York: PublicAffairs.

Aiyar, S. vd. (2023). Geoeconomic Fragmentation and the Future of Multilateralism. IMF Staff Discussion Note. Washington DC: Uluslararası Para Fonu.

APO – Asian Productivity Organization. (2024). Global Perspectives on Premature Deindustrialization. Tokyo: APO.

Arslanhan, S., Güven, S. ve Sak, G. (2025). Rekabetin Yeni Dinamiği: Sanayide Teknolojik Dönüşüm. TÜSİAD Yayın No: T/2025-03/645. İstanbul: TÜSİAD/TEPAV, Mart 2025.

Artuc, E., Christiaensen, L. ve Winkler, H. (2019). Does Automation in Rich Countries Hurt Developing Ones? Evidence from the U.S. and Mexico. World Bank Jobs Working Paper No. 25. Washington DC: Dünya Bankası.

ASML. (2026). 2025 Yıllık Sonuçları (Annual Report 2025). Veldhoven: ASML Holding N.V.

ASO – Ankara Sanayi Odası. (t.y.-a). ASO'nun Tarihçesi. [ASO web sayfası; kuruluş, kurucular ve üye sayısı. https://www.aso.org.tr/kurumsal/aso-nun-tarihcesi-5192; erişim: Ekim 2026]

ASO. (t.y.-b). Misyon ve Vizyon. [ASO web sayfası. https://www.aso.org.tr/kurumsal/misyon-amp-vizyon-5225; erişim: Ekim 2026]

ASO. (2024). ASO-İLTEK: İllerin Teknolojik Gelişmişlik Endeksi Raporu (Yayın No: 70, 2. Baskı, Aralık 2024). Ankara: ASO. [https://www.aso.org.tr/uploads/ortam/ASO-ILTEK_IllerinTeknolojikGelişmislikEndeksiRaporu.pdf; erişim: Ekim 2026]

ASO. (2025a). Ankara'nın ve İllerin Dış Ticaretinin Teknolojik Analizi (2004-2024) (Çalışma Raporu, Sayı: 78, Temmuz 2025). Ankara: ASO.

ASO. (2025b). ASO Teknoloji Üssü: Yeni Nesil Sanayi ve Teknoloji Ekosistemi Fizibilite Raporu (Nisan 2025). Ankara: ASO. [https://www.aso.org.tr/upload/aso_tek_rapor.pdf; erişim: Ekim 2026]

ASO. (2026a). ASO'dan Yılın İlk Yarısı İhracat Değerlendirme Raporu (Ocak-Haziran 2026). [ASO web sayfası. https://www.aso.org.tr/post/aso-dan-yilin-ilk-yarisi-ihracat-degerlendirme-raporu-7700; erişim: Ekim 2026]

ASO. (2026b). Sınırda Karbon Düzenleme Mekanizması kapsamında Türkiye ve Ankara analizi: Araştırma raporu. [ASO web sayfası. https://aso.org.tr/uploads/ortam/SKDM%20Kapsam%C4%B1nda%20T%C3%BCrkiye%20ve%20Ankara%20Analizi%20Nihai%20Ara%C5%9Ft%C4%B1rma%20Raporu.pdf; erişim: Ekim 2026]

Atradius. (2026). Concentration Risks in the Global AI Supply Chain. Amsterdam: Atradius. (Bkz. ikincil kaynak: Global Trade Review, "Highly concentrated trade flows pose growing risks to AI supply chain: Atradius", 2026.)

Avrupa Komisyonu. (2022). 2022 Strategic Foresight Report: Twinning the Green and Digital Transitions in the New Geopolitical Context. Brüksel: Avrupa Komisyonu.

Avrupa Komisyonu. (2023). Avrupa Çip Yasası (European Chips Act). Brüksel: Avrupa Komisyonu.

Avrupa Parlamentosu ve AB Konseyi. (2026). Direktif (AB) 2026/470 — Kurumsal Sürdürülebilirlik Raporlama Direktifi (CSRD) ve Kurumsal Sürdürülebilirlik Durum Tespiti Direktifi (CSDDD)'ni değiştiren Omnibus I sadeleştirme direktifi (26 Şubat 2026'da Resmî Gazete'de yayımlanmış, 18 Mart 2026'da yürürlüğe girmiştir). Brüksel: Avrupa Birliği.

Bayard, K., Cajner, T., Gregorich, V. ve Tito, M. D. (2024). Are Manufacturing Jobs Still Good Jobs? An Exploration of the Manufacturing Wage Premium. FEDS Notes (Mart 2022, Eylül 2024'te güncellenmiştir). Washington DC: Federal Reserve Board.

BCG – Boston Consulting Group. (2025). Executive Perspectives: Unlocking the Value Potential of AI in Manufacturing, Haziran 2025. Boston: BCG.

Birleşmiş Milletler. (1992). İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (UNFCCC). New York: Birleşmiş Milletler.

Birleşmiş Milletler. (2025). Depositary Notification C.N.71.2025.TREATIES-XXVII.7.d (27 Ocak 2025): Paris Agreement — United States of America: Withdrawal. New York: BM Antlaşma Bölümü. [https://treaties.un.org/doc/Publication/CN/2025/CN.71.2025-Eng.pdf; erişim: Ekim 2026]

Birleşmiş Milletler. (2026). Paris Agreement — Status of ratification (BM Antlaşma Koleksiyonu, Bölüm XXVII.7.d; 28 Ekim 2026 itibarıyla). New York: BM Antlaşma Bölümü. [https://treaties.un.org/Pages/ViewDetails.aspx?src=TREATY&mtdsg_no=XXVII-7-d&chapter=27&clang=_en; erişim: 28 Ekim 2026]

Birleşmiş Milletler (akt. Statista). (2025, 16 Nisan). China Is the World's Manufacturing Superpower (BM İstatistik Bölümü, 2023 verisi). Hamburg: Statista. [https://www.statista.com/chart/20858/top-10-countries-by-share-of-global-manufacturing-output/; erişim: Ekim 2026]

Bloomberg. (2021, 25 Mart). Suez Canal blockage halts $9.6bn a day of ship traffic. [Al Jazeera üzerinden yayımlanan Bloomberg haberi; https://www.aljazeera.com/economy/2021/3/25/suez-blockage-seen-halting-9-6-billion-a-day-of-ship-traffic; erişim: Ekim 2026]

Breakthrough Agenda. (t.y.). Steel Breakthrough. [COP26'da başlatılan Atılım Gündemi'nin web sayfası]

Capital. (2024). Yeşil dönüşüm için önemli adımlar atıyoruz. [Capital web sayfası; ASO Başkanı Seyit Ardıç'ın 16 Nisan 2024 tarihli açıklamaları. https://www.capital.com.tr/blog/is-dunyasi-433671/yesil-donusum-icin-onemli-adimlar-atiyoruz; erişim: Ekim 2026]

Carbon Brief. (2023, 1 Aralık). COP28: Poor countries win 30-year fight for climate cash. [https://www.carbonbrief.org/daily-brief/cop28-poor-countries-win-30-year-fight-for-climate-cash; erişim: Ekim 2026]

CCPI – Climate Change Performance Index. (2026). Climate Change Performance Index 2026: Türkiye Ülke Profili. Bonn/Berlin: Germanwatch, NewClimate Institute ve Climate Action Network.

CGD – Center for Global Development / Our World in Data. (2022 verisi). Gelişmiş ülkeler ile Çin'in küresel emisyondaki toplam payına ilişkin türetilmiş hesaplama.

Chang, J. ve Huynh, P. (2016). ASEAN in Transformation: The Future of Jobs at Risk of Automation. ILO Bureau for Employers' Activities Working Paper. Cenevre: Uluslararası Çalışma Örgütü.

Chu, Z., Liu, G. ve Yang, J. (2025). Rethinking the Semi-Periphery: China's Impact on Global Value Chains and Environment. Environmental Impact Assessment Review, 115, 108033.

Civillini, M. (2026, 4 Mart). US set to exit UN climate convention in February 2027. Climate Home News. [https://www.climatechangenews.com/2026/03/04/us-set-to-exit-un-climate-convention-in-february-2027/; erişim: Ekim 2026]

COP29 ve COP30 Başkanlıkları. (2025). Report on the Baku to Belém Roadmap to 1.3T (Kasım 2025). [CMA6 ve CMA7 Başkanlıklarınca, 1/CMA.6 sayılı kararın görevlendirmesi uyarınca hazırlanmıştır. https://cop30.br/pt-br/prioridades-em-2026/mapa-do-caminho-de-baku-a-belem-rumo-a-us-1-3-trilhao/relatorio_roadmap_cop30_en_final_regular.pdf/@@download/file; erişim: Ekim 2026]

COP31.tr. (2026). When and Where Is COP31? A Participant Guide. [COP31 resmi bilgilendirme web sayfası; Türkiye'nin 9-20 Kasım 2026 tarihlerinde Antalya'da COP31'e ev sahipliği yapacağını ve başkanlığını yürüteceğini teyit eder]

Cürgül, G., İnel, M. N. ve Gürel, A. K. (2025). Üretken Yapay Zeka Devrimi: Küresel Etkiler ve Türkiye'nin Konumu. TÜSİAD Yayın No: T/2025-04/648. İstanbul: TÜSİAD, Nisan 2025.

Dell'Oro Group. (2026). Data Center Liquid Cooling Market to Approach $7 Billion by 2029 as AI Deployments Accelerate (basın bülteni, 8 Ocak 2026). Redwood City: Dell'Oro Group.

Dev, T. (2026, 15 Haziran). Bonn Climate Conference 2026: Developing countries push back against climate-linked trade measures at UNFCCC dialogue. Down To Earth. [https://www.downtoearth.org.in/amp/story/climate-change/bonn-climate-conference-2026-developing-countries-push-back-against-climate-linked-trade-measures-at-unfccc-dialogue; erişim: Ekim 2026]

Dünya Bankası. (2020). Global Productivity: Trends, Drivers, and Policies (Dieppe, A., ed.). Washington DC: Dünya Bankası.

Dünya Bankası. (2022a). Commodity Markets Outlook: The Impact of the War in Ukraine on Commodity Markets, Nisan 2022. Washington DC: Dünya Bankası.

Dünya Bankası. (2022b). Türkiye İklim ve Kalkınma Raporu (Turkey Country Climate and Development Report). Washington DC: Dünya Bankası.

Dünya Bankası. (2026a). Sanayi tanımı ve sınıflandırması, World Development Indicators metaveri. Washington DC: Dünya Bankası.

Dünya Bankası. (2026b). World Bank Country and Lending Groups (gelir düzeyine göre ülke sınıflandırması, 2026 mali yılı güncellemesi). Washington DC: Dünya Bankası.

E3G. (2026). Türkiye to Host COP31 in 2026 – Australia Appointed President of Negotiations. Londra: E3G. [Avustralya'nın müzakere sürecini yönetme rolünü teyit eder]

EDGAR/JRC – Avrupa Komisyonu Ortak Araştırma Merkezi. (2026). EDGAR – Emissions Database for Global Atmospheric Research, 2026 güncellemesi. İspra: Avrupa Komisyonu JRC.

Ekonomi Gazetesi. (2026, 25 Ocak). ASO 2025 raporu: Ankara'nın ihracatı yüzde 24,3 artarak 17,5 milyar dolara çıktı. [Ekonomi Gazetesi web sayfası; ASO 2025 Yılı İhracat Değerlendirme Raporu'na dayanan haber. https://www.ekonomigazetesi.com/sehirler/aso-2025-raporu-ankaranin-ihracati-yuzde-243-artarak-175-milyar-dolara-cikti-70802; erişim: Ekim 2026]

Erdem, M. ve Gül, S. (2025). Üretimin Teknoloji Yoğunluğu: Türkiye'ye İlişkin Gözlemler. TCMB Ekonomi Notları, Sayı: 2025-18, 17 Eylül 2025. Ankara: Türkiye Cumhuriyet Merkez Bankası.

Espitia, A., Rocha, N. ve Ruta, M. (2020). Covid-19 and Food Protectionism: The Impact of the Pandemic and Export Restrictions on World Food Markets. World Bank Policy Research Working Paper 9253. Washington DC: Dünya Bankası.

Evans, S. (2026, 8 Ocak). Analysis: World's biggest historic polluter – the US – is pulling out of UN climate treaty. Carbon Brief. [https://www.carbonbrief.org/analysis-worlds-biggest-historic-polluter-the-us-is-pulling-out-of-un-climate-treaty/; erişim: Ekim 2026]

Faber, M. (2020). Robots and Reshoring: Evidence from Mexican Labor Markets. Journal of International Economics, 127, Madde No. 103384.

FAO – Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü. (2008). FAO Gıda Fiyat Endeksi, 2007-2008 verileri. Roma: FAO.

Gabbatiss, J. (2025a, 15 Eylül). AI: Five charts that put data-centre energy use – and emissions – into context. Carbon Brief. [https://www.carbonbrief.org/ai-five-charts-that-put-data-centre-energy-use-and-emissions-into-context/; erişim: Ekim 2026]

Gabbatiss, J. (2025b, 3 Aralık). Analysis: Why COP30's 'tripling adaptation finance' target is less ambitious than it seems. Carbon Brief. [https://www.carbonbrief.org/analysis-why-cop30s-tripling-adaptation-finance-target-is-less-ambitious-than-it-seems/; erişim: Ekim 2026]

Gagliardi, L., Moretti, E. ve Serafinelli, M. (2024). The World's Rust Belts: The Heterogeneous Effects of Deindustrialization on 1,993 Cities in Six Countries. NBER Working Paper No. 31948. Cambridge, MA: National Bureau of Economic Research.

Global Carbon Project / Our World in Data. (2025). Global Carbon Budget 2025.

Habertürk. (2026, 16 Ocak). Ankara 2025'te de teknoloji lideri. [Habertürk web sayfası; ASO-İLTEK 2025 sonuçlarına ilişkin haber. https://www.haberturk.com/ankara-2025te-de-teknoloji-lideri-3853667-ekonomi; erişim: Ekim 2026]

IEA – Uluslararası Enerji Ajansı. (2025). Global Critical Minerals Outlook 2025. Paris: IEA.

IEA. (2026). Global Critical Minerals Outlook 2026. Paris: IEA.

ILO – Uluslararası Çalışma Örgütü. (2019). Working on a Warmer Planet: The Impact of Heat Stress on Labour Productivity and Decent Work. Cenevre: ILO.

IMD – International Institute for Management Development. (2020). IMD World Digital Competitiveness Ranking 2020. Lozan: IMD.

IMF – Uluslararası Para Fonu. (2026). World Economic Outlook Update, Temmuz 2026 (bkz. ayrıca World Economic Outlook, Nisan 2026: Global Economy in the Shadow of War). Washington DC: IMF.

Implement Consulting Group. (2024). Yapay Zekanın Türkiye'deki Ekonomik Potansiyeli: Üretken Yapay Zekanın Fırsatlarını Yakalamak. (Google'ın isteği üzerine hazırlanmıştır.) Mayıs 2024.

IPCC. (2021). Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Altıncı Değerlendirme Raporu (AR6), Çalışma Grubu I Katkısı. Cenevre: Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli.

IPCC. (2023). Climate Change 2023: Synthesis Report. Altıncı Değerlendirme Raporu (AR6). Cenevre: Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli.

ITU – Uluslararası Telekomünikasyon Birliği. (2025). Facts and Figures 2025. Cenevre: ITU.

ITUC – Uluslararası Sendikalar Konfederasyonu. (2025). COP30 Belém Eylem Mekanizması değerlendirmesi. Brüksel: ITUC.

İSO – İstanbul Sanayi Odası. (2024). İSO Enerji Görünüm Raporu. İstanbul: İSO.

İSO ve T.C. Ticaret Bakanlığı. (2024a). AB Sınırda Karbon Düzenleme Mekanizması (SKDM) Uygulama Rehberi — Alüminyum Sektörü. İstanbul: İSO.

İSO ve T.C. Ticaret Bakanlığı. (2024b). AB Sınırda Karbon Düzenleme Mekanizması (SKDM) Uygulama Rehberi — Demir ve Çelik Sektörü. İstanbul: İSO.

KGK – Kamu Gözetimi, Muhasebe ve Denetim Standartları Kurumu. (2026). Türkiye Sürdürülebilirlik Raporlama Standartlarının uygulama kapsamını belirleyen ölçütlere ilişkin eşik değerlerin yeniden belirlenmesine dair Kurul Kararı (13 Ocak 2026; Resmî Gazete, 16 Ocak 2026, Sayı: 33139). Ankara: KGK.

Kuzma, S. vd. (2023). Aqueduct 4.0: Updated Decision-Relevant Global Water Risk Indicators. Washington DC: World Resources Institute.

Lo, A. Y. ve Cong, R. (2022). Emission Reduction Targets and Outcomes of the Clean Development Mechanism (2005-2020). PLOS Climate, 1(8), e0000046.

Lo, J. (2025, 3 Aralık). Trade breaks into agenda of UN climate talks – but will it have teeth? Climate Home News. [https://www.climatechangenews.com/2025/12/03/trade-breaks-into-agenda-of-un-climate-talks-but-will-it-have-teeth/; erişim: Ekim 2026]

MacroPolo. (2023). The Global AI Talent Tracker 2.0. Chicago: MacroPolo (Paulson Institute). [NeurIPS 2022 örneklemine dayanır; 2024'te güncellenmiştir]

Mazzucato, M. (2021). Mission Economy: A Moonshot Guide to Changing Capitalism. Londra: Allen Lane.

McKinsey & Company. (2026). The State of AI in 2026: On the Road to ROI, Ağustos 2026. New York: McKinsey & Company (QuantumBlack).

Mission Possible Partnership. (2024). Global Project Tracker Reveals Heavy Industry Transition Has Started but Needs to Accelerate Sevenfold to Meet 2030 Climate Targets (16 Nisan 2024; bkz. tracker.missionpossiblepartnership.org). Londra: Mission Possible Partnership / Energy Transitions Commission.

MIT NANDA. (2025). The GenAI Divide: State of AI in Business 2025. Cambridge: MIT NANDA Initiative.

ND-GAIN – Notre Dame Global Adaptation Initiative. (2023). ND-GAIN Country Index. South Bend: University of Notre Dame.

Neufeld, D. (2025). Ranked: The Countries Investing the Most in R&D. Visual Capitalist, 17 Nisan 2025. (OECD verisine dayanmaktadır.)

Nikkei Asia (akt. Business Standard vd.). (2025). Suzuki'nin Japonya'daki Swift üretimini (Sport hariç) Çin'in nadir toprak/mıknatıs ihracat kısıtlamaları nedeniyle 26 Mayıs-6 Haziran 2025 tarihleri arasında yaklaşık 11 gün durdurmasına, ayrıca Ford, BMW ve Mercedes-Benz'in yaşadığı tedarik kesintilerine ilişkin haber, 5 Haziran 2025.

NIST – National Institute of Standards and Technology. (2024). CHIPS Act uygulama verileri. Washington DC: ABD Ticaret Bakanlığı.

NVIDIA. (2026). 2026 Mali Yılı Sonuçları (Annual Report). Santa Clara: NVIDIA Corporation.

OECD. (2015). Frascati Manual 2015: Guidelines for Collecting and Reporting Data on Research and Experimental Development, The Measurement of Scientific, Technological and Innovation Activities. Paris: OECD Publishing.

OECD. (2023). Towards a Triple Transition: Strategies for Transformational European Development Action. OECD Kalkınma Merkezi. Paris: OECD.

OECD. (2025a). Quantifying Digital Innovation for the Twin Transition. OECD Environment Working Papers No. 261. Paris: OECD Publishing.

OECD. (2025b). OECD Economic Surveys: Türkiye 2025, Cilt 2025/8, Nisan 2025. Paris: OECD Publishing.

OECD ve IEA. (2025). Support for Decarbonising Heavy Industry in Emerging Markets and Developing Economies (EMDEs), Aralık 2025. Paris: OECD/IEA.

Park, C. vd. (2023). CBAM'ın Asya ekonomilerine etkisine ilişkin modelleme. ADB Briefs No. 276, Kasım 2023. Manila: Asya Kalkınma Bankası.

Pasin, M. ve Aydın, M. (2023). Türkiye İnovasyon Haritası. İstanbul: Türkiye İhracatçılar Meclisi / İstanbul Innovation Institute.

Reshoring Initiative. (2023). 2023 Data Report.

Rodrik, D. (2015). Premature Deindustrialization. NBER Working Paper No. 20935. Cambridge, MA: National Bureau of Economic Research. (Yayımlanmış versiyonu: Rodrik, D. (2016). Premature deindustrialization. Journal of Economic Growth, 21(1), 1-33.)

SBTi – Science Based Targets initiative. (2026, 22 Ocak). Corporate climate action momentum builds as SBTi reaches 10,000 companies with validated targets. [https://sciencebasedtargets.org/news/sbti-celebrates-10000-company-validations; erişim: Ekim 2026]

SDG Knowledge Hub. (2026). COP31 Başkanlığı'nın on öncelik temasına ilişkin haber (Başkan mektubu, 24 Ağustos 2026). IISD. [https://sdg.iisd.org/?p=900515; erişim: Ekim 2026]

Solow, R. M. (1987, 12 Temmuz). We'd better watch out [Stephen S. Cohen ve John Zysman'ın Manufacturing Matters: The Myth of the Post-Industrial Economy kitabının eleştirisi]. The New York Times Book Review, 36.

Stanford HAI – Human-Centered Artificial Intelligence Institute. (2025, 2026). AI Index Report. Stanford: Stanford Üniversitesi. (2026 baskısı: Artificial Intelligence Index Report 2026.)

Swiss Re Institute. (2026). Sigma 1/2026: 2025 doğal afet ekonomik kayıpları raporu. Zürih: Swiss Re Institute.

Tabares, S., Parida, V. ve Chirumalla, K. (2025). Twin transition in industrial organizations: Conceptualization, implementation framework, and research agenda. Technological Forecasting and Social Change, 213, 123995. https://doi.org/10.1016/j.techfore.2025.123995

TrendForce. (2025). Memory Price Surge Reportedly to Push Samsung, SK hynix Gross Margins Above TSMC in 4Q25 (basın bülteni, 23 Aralık 2025). Taipei: TrendForce.

TTGV. (2026). Güdümlü Projeler. [TTGV web sayfası; TTGV'nin talep yönlü proje yaklaşımını tanımlar. https://ttgv.org.tr/gudumlu-projeler; erişim: Eylül 2026]

TTGV, Ankara Kalkınma Ajansı ve ASO. (2024). Eko-Üretim Dönüşüm Programı. [Tanıtım broşürü; programın amacı, aşamaları ve takvimi. https://www.aso.org.tr/uploads/attachments/eko-uretim-brosur-web-2024 (1).pdf; erişim: Ekim 2026]. Ankara: TTGV.

TÜBİTAK MAM ve İSO. (2026). ClimaTech4Industry — Orman, Kağıt Ürünleri, Mobilya ve Basım Sanayii İklim Değişikliğine Uyum Kapasitesinin Arttırılması Yol Haritası Raporu, Şubat 2026. İstanbul: İstanbul Sanayi Odası.

TÜİK – Türkiye İstatistik Kurumu. (2021). NACE Rev.2 Ekonomik Faaliyet Sınıflaması. Ankara: TÜİK.

TÜİK. (2025a). Araştırma-Geliştirme Faaliyetleri Araştırması, 2024 (Haber Bülteni, Sayı: 53932, 20 Ekim 2025). Ankara: TÜİK. [https://veriportali.tuik.gov.tr/tr/press/53932; erişim: Ekim 2026]

TÜİK. (2025b). Adrese Dayalı Nüfus Kayıt Sistemi Sonuçları, 2024 (Haber Bülteni, Sayı: 53783, 6 Şubat 2025). Ankara: TÜİK. [https://veriportali.tuik.gov.tr/tr/press/53783; erişim: Ekim 2026]

TÜİK. (2026). Ulusal Eğitim İstatistikleri, 2025 (Haber Bülteni, Sayı: 58002, 2 Haziran 2026). Ankara: TÜİK. [https://veriportali.tuik.gov.tr/tr/press/58002; erişim: Ekim 2026]

Türkiye İklim Değişikliği Başkanlığı. (2023). CBAM'ın Türkiye sanayisine maliyetine ilişkin çalışma. Ankara: T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı.

Türkiye İklim Değişikliği Başkanlığı. (2025). Türkiye Cumhuriyeti İkinci Ulusal Katkı Beyanı (NDC 3.0). Ankara: T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı.

UNCTAD. (2017). Industrial Robots and Inclusive Growth (Policy Brief No. 60, UNCTAD/PRESS/PB/2017/9, 17 Kasım 2017). Cenevre: UNCTAD. [https://unctad.org/publication/industrial-robots-and-inclusive-growth; erişim: Ekim 2026]

UNCTAD. (2025a). Trade and Development Report 2025: On the Brink — Trade, Finance and the Reshaping of the Global Economy. Cenevre: UNCTAD.

UNCTAD. (2025b). The State of Commodity Dependence 2025. Cenevre: UNCTAD.

UNCTAD. (2025c). Technology and Innovation Report 2025: Inclusive Artificial Intelligence for Development. Cenevre: UNCTAD.

UNCTAD. (t.y.). List of Least Developed Countries (güncel liste, 44 ülke). Cenevre: UNCTAD. [Erişim: Eylül 2026]

UNEP – Birleşmiş Milletler Çevre Programı. (2025). Emissions Gap Report 2025. Nairobi: UNEP.

UNFCCC. (2022). COP27 Kararları — Kayıp ve Zarar Fonu. Şarm El-Şeyh: UNFCCC.

UNFCCC. (2023). COP28 Kararları — İlk Küresel Envanter Değerlendirmesi (Global Stocktake). Dubai: UNFCCC.

UNFCCC. (2024a). Decision 1/CMA.6: New collective quantified goal on climate finance (Yeni Kolektif Nicel İklim Finansmanı Hedefi; FCCC/PA/CMA/2024/17/Add.1, 24 Kasım 2024). Bakü: UNFCCC. [https://unfccc.int/sites/default/files/resource/cma2024_17a01E.pdf; erişim: Ekim 2026]

UNFCCC. (2024b). COP29 Agrees International Carbon Market Standards (basın açıklaması, 12 Kasım 2024) — COP29 Baş Müzakerecisi Yalchin Rafiyev'in, uluslararası karbon piyasalarının iklim planlarının uygulanmasında yılda 250 milyar dolara varan tasarruf sağlayabileceğine ilişkin açıklamasını içerir. Bakü: UNFCCC.

UNFCCC. (2025a). Belém Technology Implementation Programme (taslak karar, FCCC/PA/CMA/2025/L.18, 21 Kasım 2025). Belém: UNFCCC. [https://unfccc.int/sites/default/files/resource/cma2025_L18E.pdf; erişim: Ekim 2026]

UNFCCC. (2025b). COP31 Presidency Modalities (21 Kasım 2025). Bonn: UNFCCC. [https://unfccc.int/sites/default/files/resource/20251121_COP31_Presidency_Modalities-CLEAN-AGREED.pdf; erişim: Ekim 2026]

UNFCCC. (t.y.-a). Kyoto Protokolü. [UNFCCC web sayfası]

UNFCCC. (t.y.-b). Clean Development Mechanism (CDM) İstatistikleri. [UNFCCC web sayfası]

UNFCCC. (t.y.-c). Teknoloji Mekanizması (Technology Mechanism). [UNFCCC web sayfası]

UNFCCC. (t.y.-d). Paris Anlaşması Metni. [UNFCCC web sayfası]

UNFCCC. (t.y.-e). Türkiye'nin ulusal koşulları ve İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi kapsamındaki durumu. [UNFCCC teknik belgesi; Türkiye'nin Ek I'de yer alan, "özel koşulları" Taraflar Konferansı'nca resmî olarak tanınmış tek taraf olduğunu belirtir. https://unfccc.int/documents/7731]

UNIDO. (2016). Classification of Manufacturing Sectors by Technological Intensity (ISIC Revision 4). Viyana: UNIDO Statistics Portal.

UNIDO. (2024). Industrial Development Report 2024: Turning Challenges into Sustainable Solutions: The New Era of Industrial Policy. Viyana: UNIDO.

UNIDO. (2026). Quarterly Report, Q1 2026 — World Manufacturing Production (30 Haziran 2026). Viyana: UNIDO İstatistik Portalı.

UNIDO. (t.y.). Industrial Deep Decarbonisation Initiative (IDDI). [UNIDO web sayfası]

UNSD – Birleşmiş Milletler İstatistik Bölümü. (2023). International Standard Industrial Classification of All Economic Activities (ISIC), Rev.4. New York: UNSD.

Wallerstein, I. (1974). The Modern World-System I: Capitalist Agriculture and the Origins of the European World-Economy in the Sixteenth Century. New York: Academic Press.

Wallerstein, I. (2004). World-Systems Analysis: An Introduction. Durham: Duke University Press.

WEF – Dünya Ekonomik Forumu ve Accenture. (2022). Digital Tech Can Reduce Emissions by up to 20% in High-Emitting Industries. Cenevre: WEF.

WEF – Dünya Ekonomik Forumu. (2025a). Global Lighthouse Network — fabrikalarda yapay zeka/Endüstri 4.0 uygulamalarının emisyon ve enerji etkisine ilişkin veri. Cenevre: WEF.

WEF – Dünya Ekonomik Forumu. (2025b). Global Risks Report 2025. Cenevre: WEF.

WEF – Dünya Ekonomik Forumu. (2025c). The Future of Jobs Report 2025. Cenevre: WEF.

Wickramaratne, D. T. R. (2016). Premature Deindustrialization in Developing Countries and Implications for Economic Growth, 30 Nisan 2016 (APO, 2024'ün Kamboçya bölümünde aktarılmıştır). SSRN Working Paper, https://ssrn.com/abstract=3615289.

WIPO – Dünya Fikri Mülkiyet Örgütü. (2025a). World Intellectual Property Indicators 2025. Cenevre: WIPO.

WIPO. (2025b). Global Innovation Index 2025 — Türkiye Ülke Profili. Cenevre: WIPO.

WIPO. (2025c). Global Innovation Index 2025: Innovation at a Crossroads – Charting the Future (tam rapor — küresel sonuçlar, gelir grubu karşılaştırmaları, bağlantı ve otomasyon göstergeleri). Cenevre: WIPO.

WMO – Dünya Meteoroloji Örgütü. (2025). WMO Greenhouse Gas Bulletin, No. 21 (16 Ekim 2025). Cenevre: WMO. [https://wmo.int/publication-series/wmo-greenhouse-gas-bulletin-no-21; erişim: Ekim 2026]

WMO. (2026). State of the Global Climate 2025, WMO-No. 1391. Cenevre: WMO.

WTO – Dünya Ticaret Örgütü. (2025). World Trade Statistical Review 2025 / Global Value Chain Development Report. Cenevre: WTO.

WTO – Dünya Ticaret Örgütü. (t.y.). Development: Who Are the Developing Countries in the WTO? Cenevre: WTO. [Erişim: Eylül 2026]

YatırımX. (2026). ASO Başkanı Ardıç'tan sanayicilere yeşil dönüşüm ve rekabet gücü uyarısı. [YatırımX web sayfası; 25 Şubat 2026. https://www.yatirimx.com.tr/ekonomi/aso-baskani-ardictan-sanayicilere-yesil-donusum-ve-rekabet-gucu-uyarisi/17998; erişim: Ekim 2026]

KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılan kısaltmalar, açılımlarıyla birlikte alfabetik sırayla aşağıda listelenmiştir.

AB	Avrupa Birliği
ABD	Amerika Birleşik Devletleri
ADİM	Avrupa Dijital İnovasyon Merkezleri (İng. European Digital Innovation Hubs)
AFAD	Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı
AI4GTech	Yeşil Teknoloji için Yapay Zekâ (İng. AI for Green Technology)
AMR	Otonom Mobil Robot (İng. Autonomous Mobile Robot)
Ar-Ge	Araştırma ve Geliştirme
ASEAN	Güneydoğu Asya Uluslar Birliği (İng. Association of Southeast Asian Nations)
ASO	Ankara Sanayi Odası
BAE	Birleşik Arap Emirlikleri
BAM	Belém Eylem Mekanizması (İng. Belém Action Mechanism)
BASIC	Brezilya, Güney Afrika, Hindistan ve Çin'den oluşan müzakere grubu (İng. Brazil, South Africa, India, China)
BF-BOF	Yüksek Fırın–Bazik Oksijen Fırını (İng. Blast Furnace–Basic Oxygen Furnace)
BM	Birleşmiş Milletler
BTIP	Belém Teknoloji Uygulama Programı (İng. Belém Technology Implementation Program)
CBAM	Sınırda Karbon Düzenleme Mekanizması (İng. Carbon Border Adjustment Mechanism); bkz. SKDM
CBDR-RC	Ortak Ama Farklılaştırılmış Sorumluluklar ve İlgili Kapasiteler (İng. Common but Differentiated Responsibilities and Respective Capabilities)
CCPI	İklim Değişikliği Performans Endeksi (İng. Climate Change Performance Index)
CCUS	Karbon Yakalama, Kullanma ve Depolama (İng. Carbon Capture, Utilisation and Storage); bkz. KYKD
CDM	Temiz Kalkınma Mekanizması (İng. Clean Development Mechanism)
CER	Sertifikalandırılmış Emisyon Azaltımı (İng. Certified Emission Reduction)
CGEE	Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (Brezilya)
CO_2 / CO_2e	Karbondioksit / Karbondioksit Eşdeğeri (İng. Carbon Dioxide / Carbon Dioxide Equivalent)
COP	Taraflar Konferansı (İng. Conference of the Parties)
CSDDD	Kurumsal Sürdürülebilirlik Durum Tespiti Direktifi (İng. Corporate Sustainability Due Diligence Directive)
CSRD	Kurumsal Sürdürülebilirlik Raporlama Direktifi (İng. Corporate Sustainability Reporting Directive)
E3G	Third Generation Environmentalism (bağımsız iklim düşünce kuruluşu)
EAF	Elektrik Ark Ocağı (İng. Electric Arc Furnace)
EDGAR	Küresel Atmosferik Araştırma İçin Emisyon Veri Tabanı (İng. Emissions Database for Global Atmospheric Research)
EMDE	Gelişmekte Olan Piyasalar ve Gelişmekte Olan Ekonomiler (İng. Emerging Market and Developing Economies)
EPC	Enerji Performans Sözleşmesi (İng. Energy Performance Contract)
ETC	Enerji Dönüşümleri Komisyonu (İng. Energy Transitions Commission)
EUV	Aşırı Mor Ötesi litografi (İng. Extreme Ultraviolet)
FAO	Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü (İng. Food and Agriculture Organization)
G77	Grup 77 (İng. Group of 77); gelişmekte olan ülkelerin müzakere grubu
GII	Küresel İnovasyon Endeksi (İng. Global Innovation Index)
GREENFIT	Green and Resilient Future Industrial Training (Erasmus+ projesi)
GSYH	Gayri Safi Yurt İçi Hasıla
GTİP	Gümrük Tarife İstatistik Pozisyonu
GÜP	Güdümlü Proje
H2-DRI	Hidrojenle Doğrudan İndirgenmiş Demir (İng. Hydrogen-based Direct Reduced Iron)
HBM	Yüksek Bant Genişlikli Bellek (İng. High Bandwidth Memory)
HFC	Hidroflorokarbon (İng. Hydrofluorocarbon)
IDDI	Sanayide Derin Karbonsuzlaşma Girişimi (İng. Industrial Deep Decarbonisation Initiative)
IEA	Uluslararası Enerji Ajansı (İng. International Energy Agency)
IFRS	Uluslararası Finansal Raporlama Standartları (İng. International Financial Reporting Standards)
ILO	Uluslararası Çalışma Örgütü (İng. International Labour Organization)

IMD Uluslararası Yönetim Geliştirme Enstitüsü (İng. International Institute for Management Development)

IMF Uluslararası Para Fonu (İng. International Monetary Fund)

IPCC Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (İng. Intergovernmental Panel on Climate Change)

ISIC Uluslararası Standart Sanayi Sınıflaması (İng. International Standard Industrial Classification)

ITU Uluslararası Telekomünikasyon Birliği (İng. International Telecommunication Union)

ITUC Uluslararası Sendikalar Konfederasyonu (İng. International Trade Union Confederation)

İLTEK İllerin Teknolojik Gelişmişlik Endeksi (ASO-İLTEK)

İSO İstanbul Sanayi Odası

İYD İzleme Yöntemi Dokümanı

JRC Ortak Araştırma Merkezi (İng. Joint Research Centre, Avrupa Komisyonu)

KGK Kamu Gözetimi, Muhasebe ve Denetim Standartları Kurumu

KOBİ Küçük ve Orta Büyüklükteki İşletme

KYKD Karbon Yakalama, Kullanma ve Depolama; bkz. CCUS

LDC En Az Gelişmiş Ülkeler (İng. Least Developed Countries)

LULUCF Arazi Kullanımı, Arazi Kullanım Değişikliği ve Ormancılık (İng. Land Use, Land-Use Change and Forestry)

MAM Marmara Araştırma Merkezi (TÜBİTAK)

METES Mesleki Test ve Sertifikalandırma Merkezi (ASO)

MIT Massachusetts Teknoloji Enstitüsü (İng. Massachusetts Institute of Technology)

MRV İzleme, Raporlama ve Doğrulama (İng. Monitoring, Reporting and Verification)

NACE Avrupa Topluluğu Ekonomik Faaliyetlerin İstatistiki Sınıflaması (Fr. Nomenclature statistique des Activités économiques dans la Communauté Européenne)

NCQG Yeni Kolektif Nicel Hedef (İng. New Collective Quantified Goal)

NDC Ulusal Katkı Beyanı (İng. Nationally Determined Contribution)

ND-GAIN Notre Dame Küresel Uyum Girişimi (İng. Notre Dame Global Adaptation Initiative)

NIST Ulusal Standartlar ve Teknoloji Enstitüsü (İng. National Institute of Standards and Technology, ABD)

NÜKSAK Nükleer Sanayi Kümelenmesi (ASO)

OECD Ekonomik İş Birliği ve Kalkınma Örgütü (İng. Organisation for Economic Co-operation and Development)

OEE Genel Ekipman Etkinliği (İng. Overall Equipment Effectiveness)

OSB Organize Sanayi Bölgesi

PFC Perflorokarbon (İng. Perfluorocarbon)

SBTi Bilim Temelli Hedefler Girişimi (İng. Science Based Targets initiative)

SKDM Sınırda Karbon Düzenleme Mekanizması; bkz. CBAM

SMR Küçük Modüler Reaktör (İng. Small Modular Reactor)

TOBB Türkiye Odalar ve Borsalar Birliği

TSKB Türkiye Sınai Kalkınma Bankası

TSRS Türkiye Sürdürülebilirlik Raporlama Standartları

TTGV Türkiye Teknoloji Geliştirme Vakfı

TÜBİTAK Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu

TÜİK Türkiye İstatistik Kurumu

TÜSİAD Türk Sanayicileri ve İş İnsanları Derneği

UNCTAD Birleşmiş Milletler Ticaret ve Kalkınma Konferansı (İng. United Nations Conference on Trade and Development)

UNEP Birleşmiş Milletler Çevre Programı (İng. United Nations Environment Programme)

UNFCCC Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (İng. United Nations Framework Convention on Climate Change)

UNIDO Birleşmiş Milletler Sınai Kalkınma Örgütü (İng. United Nations Industrial Development Organization)

UNSD Birleşmiş Milletler İstatistik Bölümü (İng. United Nations Statistics Division)

WEF Dünya Ekonomik Forumu (İng. World Economic Forum)

WIPO Dünya Fikri Mülkiyet Örgütü (İng. World Intellectual Property Organization)

WMO Dünya Meteoroloji Örgütü (İng. World Meteorological Organization)

WTO Dünya Ticaret Örgütü (İng. World Trade Organization)

YZ Yapay Zekâ

ZLD Sıfır Sıvı Deşarj (İng. Zero Liquid Discharge)

GELİŞMEKTE OLAN ÜLKE SANAYİLERİNİN İKİZ DÖNÜŞÜMÜ

ASO ve TTGV'den COP31'e Çağrı

Kasım 2026

Ankara Sanayi Odası

TÜRKİYE TEKNOLOJİ GELİŞTİRME VAKFI

www.aso.org.tr

www.ttgv.org.tr