EKONOMİK DÖNÜŞÜM, İKTİSAT POLİTİKALARI VE KALKINMA DİNAMİKLERİ

Editör:
DOÇ. DR. FUAT LEBE

BİDGE Yayınları

BİDGE Yayınları

Ekonomik Dönüşüm, İktisat Politikaları ve Kalkınma Dinamikleri

Editör: Doç. Dr. Fuat LEBE

ISBN: 978-625-5474-93-3

1. Baskı
Sayfa Düzeni: Gözde YÜCEL
Yayınlama Tarihi: 2026-10-25
BİDGE Yayınları

Bu eserin bütün hakları saklıdır. Kaynak gösterilerek tanıtım için yapılacak kısa alıntılar dışında yayıncının ve editörün yazılı izni olmaksızın hiçbir yolla çoğaltılamaz.

Sertifika No: 71374
Yayın hakları © BİDGE Yayınları
www.bidgeyayinlari.com.tr - bidgeyayinlari@gmail.com
Krc Bilişim Ticaret ve Organizasyon Ltd. Şti.
Güzeltepe Mahallesi Abidin Daver Sokak Sefer Apartmanı No: 7/9 Çankaya / Ankara

ÖNSÖZ

Küresel ekonomide yaşanan dönüşümler, ekonomik ilişkilerin giderek karmaşıklaşması ve ülkelerin karşı karşıya kaldığı yapısal sorunlar, iktisat politikalarının kapsamını ve uygulama biçimlerini sürekli olarak yeniden şekillendirmektedir. Ekonomik belirsizlikler, maliyet baskıları, üretim yapısındaki değişimler, teknolojik gelişmeler ve kurumsal kapasite farklılıkları, ülkelerin ekonomik performansını ve kalkınma süreçlerini etkileyen temel unsurlar arasında yer almaktadır. Bu gelişmeler, ekonomik sorunların yalnızca mevcut göstergeler üzerinden değerlendirilmesini yetersiz kılmakta; devletin ekonomik sistem içerisindeki rolünün, politika araçlarının etkinliğinin ve teknolojik yeniliklerin kalkınma üzerindeki etkilerinin bütüncül bir yaklaşımla ele alınmasını gerekli hâle getirmektedir.

Ekonomik Dönüşüm, İktisat Politikaları ve Kalkınma Dinamikleri adlı bu eser, çağdaş iktisadi düşüncenin ve ekonomik uygulamaların farklı boyutlarını bir araya getirerek ekonomik dönüşüm süreçlerinin anlaşılmasına katkıda bulunmayı amaçlamaktadır. Kitapta yer alan çalışmalar, devletin ekonomik işlevlerinden makroekonomik dengesizliklere, yapay zekâ destekli enerji yönetiminden kurumsal kapasite ve iktisat politikalarının etkinliğine kadar uzanan geniş bir çerçevede, günümüz ekonomilerinin karşı karşıya olduğu temel meseleleri ele almaktadır. Bu yönüyle eser, ekonomik gelişmeleri yalnızca büyüme ve istikrar göstergeleri üzerinden değil, aynı zamanda kurumsal yapıların, teknolojik yeniliklerin ve kamu politikalarının etkileşimi üzerinden farklı boyutların da değerlendirildiği bir yaklaşım sunmaktadır.

Ekonomik kalkınma sürecinde devletin üstlendiği rol, iktisat literatürünün temel tartışma alanlarından biri olmayı sürdürmektedir. Devletin kaynak dağılımı, üretim kapasitesi, yenilikçilik ve ekonomik gelişme üzerindeki etkileri, değişen küresel koşullar doğrultusunda farklı yaklaşımlar çerçevesinde yeniden ele alınmaktadır. Kalkınmacı devlet anlayışından girişimci devlet

yaklaşımına uzanan tartışmalar, devletin yalnızca piyasa aksaklıklarını gideren bir aktör olmadığını; aynı zamanda teknolojik gelişmeyi destekleyen, yenilik süreçlerini yönlendiren ve uzun vadeli kalkınma hedeflerine katkı sağlayan bir yapı olarak da değerlendirilebileceğini ortaya koymaktadır. Bu çerçevede farklı ülke deneyimlerinin incelenmesi, devletin ekonomik dönüşümdeki rolünün anlaşılması ve kalkınma politikalarının etkinliğinin değerlendirilmesi bakımından önem taşımaktadır.

Makroekonomik istikrar ve üretim yapısının niteliği de sürdürülebilir kalkınmanın temel belirleyicileri arasında yer almaktadır. Özellikle üretim ile dış ticaret arasındaki ilişkiler, cari açığın yapısal nedenleri ve maliyet şoklarının ekonomik değişkenler üzerindeki etkileri, Türkiye gibi dış ekonomik gelişmelere duyarlı ekonomiler açısından önemli araştırma alanları oluşturmaktadır. Üretim maliyetlerinde meydana gelen değişimler, döviz kuru hareketleri ve dış kaynak ihtiyacı, makroekonomik dengeler üzerinde farklı kanallar aracılığıyla etkili olabilmektedir. Bu ilişkilerin doğrusal olmayan dinamikler çerçevesinde incelenmesi, ekonomik şokların etkilerinin her koşulda aynı biçimde ortaya çıkmayabileceğini ve politika tasarımında ekonomik yapının özelliklerinin dikkate alınması gerektiğini göstermektedir. Dolayısıyla üretim kapasitesinin güçlendirilmesi, dışa bağımlılığın azaltılması ve makroekonomik kırılganlıkların sınırlandırılması, uzun vadeli ekonomik istikrar açısından önemini korumaktadır.

Teknolojik dönüşüm ve enerji alanındaki yenilikler, ekonomik kalkınmanın geleceğini şekillendiren bir diğer önemli boyutu oluşturmaktadır. Yapay zekâ uygulamalarının yaygınlaşması, enerji üretimi ve yönetiminde yeni imkânlar ortaya çıkarırken kaynakların daha etkin kullanılması, maliyetlerin azaltılması ve operasyonel süreçlerin iyileştirilmesi açısından da önemli fırsatlar sunmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının daha etkin yönetilmesi, enerji maliyetlerinin kontrol altında tutulması ve enerji sistemlerinin verimliliğinin artırılması, ekonomik rekabet gücü ve sürdürülebilir

kalkınma hedefleri bakımından giderek daha fazla önem kazanmaktadır. Bununla birlikte teknolojik yeniliklerin ekonomik sonuçları, yalnızca teknik kapasiteye değil, bu yeniliklerin uygulanmasını mümkün kılan kurumsal koşullara ve politika tercihlerine de bağlıdır. Bu nedenle teknoloji, enerji ve iktisat politikaları arasındaki ilişkinin birlikte değerlendirilmesi gerekmektedir.

Kurumsal yapıların niteliği ve kullanılabilirliği ise ekonomik politikaların tasarlanması, uygulanması ve sonuçlarının değerlendirilmesinde belirleyici bir konuma sahiptir. Ekonomik politikaların başarısı, yalnızca doğru araçların seçilmesine değil, bu araçların uygulanmasını destekleyen kurumsal kapasiteye, yönetişim anlayışına ve uygulama süreçlerinin etkinliğine de bağlıdır. Kurumların işleyişi, politika hedefleri ile elde edilen sonuçlar arasındaki ilişkinin biçimlenmesinde önemli rol oynamaktadır. Bu bağlamda kurumsal yeterliliklerin geliştirilmesi, politika uygulamalarında tutarlılığın sağlanması ve ekonomik karar alma süreçlerinin etkinleştirilmesi, ekonomik dönüşümün sürdürülebilirliği açısından temel gereklilikler arasında yer almaktadır.

Kitapta bir araya getirilen çalışmalar, farklı araştırma sorularına odaklanmakla birlikte ortak bir düşünsel zeminde buluşmaktadır: ekonomik dönüşümün anlaşılması, etkili iktisat politikalarının geliştirilmesi ve kalkınma süreçlerinin çok boyutlu bir perspektifle değerlendirilmesi. Devletin ekonomik rolü, makroekonomik dengeler, teknolojik yenilikler ve kurumsal kapasite birbirinden bağımsız alanlar olarak ele alınamayacak ölçüde birbiriyle ilişkilidir. Bu alanlar arasındaki etkileşimin anlaşılması, ekonomik sorunların nedenlerinin daha kapsamlı biçimde ortaya konulmasına ve politika seçeneklerinin daha sağlıklı değerlendirilmesine katkı sağlayabilir.

Sonuç olarak ekonomik dönüşümün başarıyla yönetilmesi; üretim kapasitesinin güçlendirilmesini, makroekonomik istikrarın

korunmasını, teknolojik gelişmelerden etkin biçimde yararlanılmasını ve kurumsal yapıların iyileştirilmesini gerektiren kapsamlı bir süreçtir. Bu sürecin başarısı, kısa vadeli ekonomik hedeflerle uzun vadeli kalkınma amaçları arasında dengeli bir ilişki kurulmasına ve iktisat politikalarının değişen koşullara uygun biçimde geliştirilmesine bağlıdır. Bu kitapta sunulan çalışmaların, ekonomik dönüşümün farklı boyutlarına ilişkin bilgi birikimini zenginleştirmesi, akademik tartışmaları desteklemesi ve daha etkin kalkınma politikalarının geliştirilmesine katkı sağlaması temenni edilmektedir.

Bu eser, iktisat alanında çalışan akademisyenler, araştırmacılar, lisansüstü öğrenciler, politika yapıcılar ve güncel ekonomik gelişmelere ilgi duyan okuyucular için yararlı bir başvuru kaynağı olmayı hedeflemektedir. Farklı teorik yaklaşımları ve güncel ekonomik meseleleri bir araya getiren çalışmaların, mevcut tartışmalara katkıda bulunmasının yanı sıra yeni araştırmalara da zemin hazırlaması amaçlanmaktadır. Bu eserin hazırlanmasına bilimsel çalışmaları, araştırmaları ve değerli katkılarıyla destek veren tüm bölüm yazarlarına teşekkür eder; yayına hazırlık sürecinde emeği geçen BİDGE Yayıncılık ekibine şükranlarımı sunarım. Kitabın akademik çevrelere, araştırmacılara ve konuya ilgi duyan tüm okuyuculara faydalı olmasını dilerim.

Doç. Dr. Fuat LEBE
Adıyaman Üniversitesi

İÇİNDEKİLER

KALKINMACI DEVLETTEN GİRİŞİMCİ DEVLETE: TÜRKİYE VE SEÇİLMİŞ ÜLKE DENEYİMLERİ ÜZERİNE TEORİK BİR DEĞERLENDİRME 1

AYVAZ BARTİK

ÜRETİME DAYALI CARİ AÇIK VE MALİYET ŞOKLARI: TÜRKİYE EKONOMİSİNDE DOĞRUSAL OLMAYAN MAKROEKONOMİK DİNAMİKLER 25

SEBAHATTİN KOÇ

YAPAY ZEKA DESTEKLİ YENİLENEBİLİR ENERJİ YÖNETİMİNİN ENERJİ MALİYETLERİ ÜZERİNDEKİ ETKİSİ 52

BURCU KILINÇ SAVRUL, HASAN ALP ÖZEL

KURUMSAL KULLANILABİLİRLİK VE İKTİSAT POLİTİKASININ ETKİNLİĞİ 104

AYŞE AKBABA SADIM

BÖLÜM 1

KALKINMACI DEVLETTEN GİRİŞİMCİ DEVLETE: TÜRKİYE VE SEÇİLMİŞ ÜLKE DENEYİMLERİ ÜZERİNE TEORİK BİR DEĞERLENDİRME

DR. AYVAZ BARTİK[1]

Giriş

Devlet olgusunun ne şekilde kavramsallaştırıldığı ve sınırlarının nasıl çizildiği, iktisadi alanda kamu otoritesine yüklenen misyon ve sorumlulukları doğrudan şekillendirmektedir. Etimolojik ve kuramsal açıdan ele alındığında devlet, belirli bir coğrafi sınır dâhilinde siyasi açıdan örgütlenmiş toplulukların oluşturduğu hükmü ve tüzel kişiliği temsil eder (TDK, 2026). Sözcük kökeni itibarıyla Arapça "devle" kavramından türeyen bu terim; tedavül eden, elden ele aktarılan, servet ve iktidarın dönemsel değişimi anlamlarını barındırır (Çaşkurlu, 2018). İktisat tarihsel boyutta incelendiğinde, piyasa ve devlet ilişkisi sürekli bir etkileşim halindedir. Karl Polanyi'nin kavramsallaştırmasında ifade edildiği üzere devlet, piyasanın kendiliğinden işleyen soyut bir mekanizma olmasından ziyade; bilinçli müdahaleler, hukuki düzenlemeler ve kurumsal yapılar aracılığıyla serbest piyasa ekonomisini inşa eden

[1] Dr., Bağımsız Araştırmacı, İktisat Politikası, Orcid: 0000-0003-2856-5137

ve sürdürülebilir kılan merkezi bir aygıt rolü üstlenir (Polanyi, 1944).

Devletin iktisadi alandaki müdahale biçimleri ve piyasaya müdahale derecesi, zamanla farklı devlet modellerinin doğmasına zemin hazırlamıştır. Özellikle küresel rekabet ortamı ve sanayileşme dinamikleri, kamunun sınırlarını daraltan pasif müdahale anlayışının ötesine geçerek; piyasayı yönlendiren, sermaye birikimini teşvik eden ve stratejik sektörleri inşa eden "Kalkınmacı Devlet" ile risk alan ve inovasyonu şekillendiren "Girişimci Devlet" yaklaşımlarını gündeme taşımıştır. Bu çalışma kapsamında; kalkınmacı ve girişimci devlet modellerinin teorik arka planı açıklanarak, bu politikaları başarıyla uygulayan Asya ülkeleri ile Türkiye'nin tarihsel ve güncel iktisadi tecrübeleri karşılaştırmalı bir çerçevede ele alınmaktadır.

Kalkınmacı Devlet Kavramı ve Teorik Temelleri

Kalkınmacı devlet (*developmental state*) kavramı, literatürde ilk kez Chalmers Johnson tarafından 1982 yılında Japonya'nın İkinci Dünya Savaşı sonrası sergilediği olağanüstü iktisadi büyüme performansını (MITI – Uluslararası Ticaret ve Sanayi Bakanlığı deneyimi) açıklamak amacıyla kavramsallaştırılmıştır. Bu model; Japonya başta olmak üzere Güney Kore, Tayvan ve Singapur gibi Doğu Asya ekonomilerinin kısa sürede yakaladığı endüstriyel dönüşümü ve küresel rekabet gücünü analiz etmekte temel açıklayıcı araç haline gelmiştir (Chang, 2003).

Tarihsel olarak bakıldığında kalkınmacı devlet modelinin ilk prototipleri, Sanayi Devrimi sürecinde İngiltere'nin korumacı hamlelerinde ve ABD'nin erken dönem kalkınma stratejilerinde gözlemlenmektedir. Kalkınmacı devlet yapısında kamu; piyasa başarısızlıklarını pasif biçimde telafi eden bir izleyici olmanın ötesine geçerek, ekonomiye doğrudan ve aktif biçimde müdahil olur. Bu modelde devlet, gerektiğinde piyasada aktör olarak yer alan bir rekabetçi, gerektiğinde ise yerli ve ulusal özel sektörle stratejik

ortaklıklar kurarak temel sanayi kollarının inşasını üstlenen rehber niteliğindedir (Evangelista, 1996).

Gelişmekte olan ya da geç sanayileşen ülkelerde sermaye birikiminin yetersizliği ve özel sektörün yüksek riskli yatırımlardan kaçınması, kamu otoritesinin sermaye birikim süreçlerini bizzat örgütlemesini zorunlu kılar. Kalkınma ivmesinin yakalanmasında hükümetler; sermaye temini, vasıflı iş gücünün yetiştirilmesi, teknolojinin ülkeye transferi ve girişimcilik kültürünün yaygınlaştırılmasında aktif rol üstlenirler. Bu süreçte sübvansiyonlar, gümrük tarifeleri, ithalat kotaları, yönlendirilmiş kredi mekanizmaları ve rekabetçi döviz kuru politikaları gibi makroekonomik ve ticari araçlar stratejik birer kalkınma aygıtı olarak kullanılır (Wade & White, 1988).

Girişimci Devlet (Entrepreneurial State) Kavramı ve Teorik Çerçevesi

Kalkınmacı devlet modelinin tarihsel evriminde, devletin ekonomik maddedeki rolü zamanla geleneksel sanayileşme politikalarından teknoloji, inovasyon ve risk yönetimi eksenli bir yapıya evrilmiştir. Bu dönüşümün en önemli teorik kavramsallaştırması Mariana Mazzucato tarafından literatüre kazandırılan "Girişimci Devlet" (*Entrepreneurial State*) yaklaşımdır (Acemoğlu, 2005).

Girişimci devlet modeli; kamunun piyasadaki eksiklikleri veya aksaklıkları (*market failure*) sonradan telafi eden pasif bir aktör olmaktan öte, piyasayı biçimlendiren ve yeni pazarlar yaratan (*market shaping/creating*) aktif bir girişimci gibi hareket etmesini ifade eder. Klasik iktisat teorisi devletin ekonomik alana müdahalesini sadece "kamu malları üretmek" veya "mülkiyet haklarını korumak" gibi sınırlı alanlarla çevrelerken; girişimci devlet yaklaşımı, internet, yapay zekâ, nanoteknoloji ve modern ilaç sanayi gibi en riskli, sermaye yoğun ve çığır açıcı inovasyonların

arkasındaki asıl risk alıcının bizzat devlet olduğunu ortaya koymaktadır (Weiss, 1998). Girişimci devlet anlayışında kamu otoriteleri; özel sektörün yüksek maliyet ve belirsizlik nedeniyle kaçındığı uzun vadeli Ar-Ge yatırımlarını finanse eder, stratejik riskleri üstlenir ve teknolojik paradigma değişimlerine öncülük eder. Bu durum göz önüne alındığında devlet, sadece kural koyucu bir hakem değil; yenilik süreçlerinin, risk sermayesi ağlarının ve teknolojik dönüşümün kurucu merkezidir (Lall, 1994).

Asya Mucizesi ve Girişimci/Kalkınmacı Devlet Tartışmaları: Kore Örneği Üzerinden Bir Değerlendirme

Kalkınmacı Devlet Modeline Dair Teorik Yaklaşımlar ve "Otonomi" Tartışmaları

Kalkınmacı devlet yaklaşımı, özellikle Doğu Asya'daki hızlı sanayileşme süreçlerini açıklamak için devletin piyasa üzerindeki yönlendirici ve aktif rolünü merkeze alır. Neoklasik iktisat okulunun devleti piyasa süreçlerini bozan pasif ve hatta olumsuz bir unsur olarak gören yaklaşımına karşılık; Chalmers Johnson, Alice Amsden, Robert Wade ve Peter Evans gibi yazarlar, bu coğrafyalardaki başarının temelinde devletin kurumsal kapasitesinin ve "kalkınmacı otonomisinin" yattığını savunmuşlardır (Chung, 2007).

Neoklasik yaklaşım, Kore ekonomisinin başarısını piyasa serbestleşmesine ve dışa açık kalkınma modellerine bağlarken, revizyonist/statist yazarlar bu sürecin bütünüyle devlet tarafından sıkı bir şekilde yönetildiğini ("governing the market") ortaya koymuşlardır. Statizme göre, gelişmekte olan ülkelerde sermaye birikiminin yetersizliği ve özel sektörün yüksek riskli yatırımlardan kaçınması, kamu otoritesini doğrudan bir planlayıcı ve disipline edici aktör haline getirmektedir. Bu nedenle kalkınmacı devlet, bürokratik otonomisi sayesinde kısa vadeli sermaye çıkarlarının

ötesine geçebilen ve ulusal kalkınma hedeflerini hayata geçirebilen bir yapı olarak kavramsallaştırılmıştır (Cho, 2001).

Kalkınmacı Devlet Anlayışının Eleştirisi ve Sınırlılıkları (Dae-oup Chang Yaklaşımı)

Bununla birlikte, kalkınmacı devlet teorilerine yönelik en köklü eleştirilerden biri Dae-oup Chang (2003) tarafından geliştirilmiştir. Chang, kalkınmacı devlet literatürünün devleti "kurumlar seti", sermayeyi ise "iş insanları grubu" olarak indirgeyen a-tarihsel ve biçimsel bir yaklaşımla ele alındığını vurgulamaktadır. Bu yaklaşım, devletin sermayeden tamamen "özerk" olduğu yanılsamasını (*mystification*) üretmekte; devlet ile toplum (ve özel olarak emek) arasındaki gerçek çelişkileri göz ardı etmektedir (Harvie & Lee, 2003).

Marksist form analizi çerçevesinde ise kapitalist devlet, sermaye ilişkilerinin yeniden üretilmesinin farklılaştırılmış ancak tamamlayıcı bir momentidir. Kore tecrübesinde devlet; mali akışları sıkı bir şekilde denetlerken ve yerli endüstriyi seçici olarak desteklerken, aynı zamanda emek gücünü baskı altında tutarak sermaye birikim sürecinin kesintisiz sürmesini güvence altına almıştır. Dolayısıyla, devletin "kalkınmacı otonomisi" söylemi, devletin sınıfsal karakterini ve emek üzerindeki baskıcı rolünü gizleyen ideolojik bir örtü işlevi görmektedir (Park, 2011).

Kalkınmacı Devletten Girişimci Devlete Geçiş ve Teknolojik Dönüşüm

Doğu Asya tecrübesinde (Japonya, Güney Kore, Tayvan) ve günümüz ekonomilerinde devletin rolü, ucuz iş gücü ve ihracata dayalı klasik kalkınmacı modellerden, bilgi ekonomisine ve yüksek teknolojiye dayalı girişimci devlet reflekslerine evrilmiştir.

Japonya Örneği: Modelin kurucusu olarak kabul edilen Japonya'da, geçmişte MITI (Uluslararası Ticaret ve Sanayi

Bakanlığı) öncülüğünde yürütülen stratejik planlama ve bürokratik koordinasyon (Johnson, 1982), günümüzde bilgi ekonomisinin gereklerine uygun olarak yapay zekâ, robotik, yeşil enerji ve ileri malzeme teknolojileri alanlarında Ar-Ge odaklı girişimci devlet politikalarıyla sürdürülmektedir (Routley, 2012).

Güney Kore Örneği: Geleneksel kalkınmacı modelde *chaebol* (konglomera) yapılarını ucuz kredi ve sübvansiyonlarla destekleyen devlet, günümüzde Ar-Ge teşvikleri, yarı iletken (çip) teknolojileri, batarya üretimi ve dijital altyapı projeleriyle doğrudan teknoloji üreten bir girişimci vizyon bürünmüştür (Noland, 2012).

Tayvan Örneği: Tayvan'da devlet, büyük ölçekli konglomeralar yerine küçük ve orta ölçekli işletmelerin (KOBİ) teknolojik kapasitesini artırmaya yönelik kamu araştırma enstitüleri (örneğin ITRI) aracılığıyla girişimci bir rol üstlenmiş; yarı iletken ve bilgi teknolojileri (BT) üretiminde küresel bir üs oluşturulmasında kilit bir finansör ve yönlendirici olmuştur (Wade, 1990; Çetin & Ecevit, 2008).

Singapur Örneği: Singapur ise Doğrudan Yabancı Yatırımları (DYY) ülkeye çekmek ve küresel tedarik zincirlerine entegre olmak amacıyla Stratejik Kalkınma Kurulu (EDB) vasıtasıyla yüksek katma değerli sektörleri, biyoteknoloji ve bilgi yoğun endüstrileri bizzat fonlayarak girişimci devlet pratiklerini başarıyla uygulamıştır (Huff, 1995).

Kore'de Kapitalist İlişkilerin ve Devletin Erken Oluşumu: Sömürge Döneminden Asya Mucizesine

Kore'de kapitalist üretim ilişkilerinin kökenleri, 20. yüzyılın başındaki Japon sömürge yönetimi dönemine dayanmaktadır. 1910 öncesinde Joseon Hanedanlığı döneminde tarım odaklı, feodal bağımlılık ilişkilerinin baskın olduğu ve piyasa ekonomisinin henüz yaygınlaşmadığı bir yapı hâkimdi. Japon sömürge yönetimi (Joseon Genel Valiliği), Kore ekonomisini metropolün çıkarlarına entegre

etmek amacıyla devlet destekli bir ilkel birikim (*primitive accumulation*) süreci başlatmıştır (Kim, 2004).

1912 tarihli Toprak Araştırma Kanunu (*Land Survey Law*) ve kadastro çalışmaları, üreticileri topraklarından koparark mülksüzleştirmiş; bu durum geniş bir köylü kesiminin proleterleşmesine ve ucuz emek havuzunun oluşmasına zemin hazırlamıştır. Sömürge devleti, polis ve askerî aygıtların mutlak gücünü kullanarak hem tarımsal artık değere el koymuş hem de iş gücünün denetimini doğrudan sağlamıştır. Bu süreç, Kore'deki devlet-sermaye-emek üçgeninin otoriter ve baskıcı karakterinin tarihsel temellerini oluşturmuştur (Harlan, 2011).

Park Chung-Hee Dönemi ve "Kalkınmacı Devlet" Pratiğinin Kurumsallaşması

1961 askerî darbesiyle iktidara gelen Park Chung-Hee yönetimi, Kore'de devlet kapitalizminin ve kalkınmacı modelin zirveye ulaştığı dönemi başlatmıştır. Bu dönemde devlet; bankaları ve finansal kurumları millileştirerek, dış kredileri ve döviz akışlarını merkezi olarak yönlendirerek bireysel kapitalistleri (*chaebol* yapılarını) sıkı bir disiplin altına almıştır. Bununla birlikte, bu "girişimci ve kalkınmacı" görünüm, emek gücünün sistematik olarak baskılanması ve demokratik hakların askıya alınması pahasına gerçekleşmiştir. Devlet, sermaye birikimini hızlandırmak adına işçi sınıfının örgütlenme haklarını kısıtlamış, grevleri engellemiş ve toplumsal muhalefeti bastırmıştır. Sonuç olarak Kore'deki kalkınmacı devlet modeli, piyasayı yönlendiren etkin bir bürokratik mekanizma olarak sunulurken, özünde kapitalist sınıf ilişkilerini ve sömürü mekanizmalarını güvenceye alan otoriter bir devlet formu olarak işlev görmüştür (Hundt, 2009).

Diğer Asya Ekonomilerinde Kalkınmacı Devlet Pratikleri (Japonya, Tayvan ve Singapur)

Japonya: Modelin Kurucusu ve MITI Deneyimi

Kalkınmacı devlet (*developmental state*) kavramı, literatürde ilk kez Chalmers Johnson tarafından 1982 yılında Japonya'nın İkinci Dünya Savaşı sonrasında sergilediği olağanüstü iktisadi büyüme performansını açıklamak amacıyla kavramsallaştırılmıştır. Bu sürecin merkezinde, dönemin güçlü bakanlığı olan MITI (Uluslararası Ticaret ve Sanayi Bakanlığı) yer almıştır (Jwa, 2001). MITI, Japonya'nın kıt kaynaklarını stratejik sanayi kollarında yoğunlaştırarak küresel rekabet gücü elde etmesini koordine etmiştir. Japonya tecrübesi, daha sonra Güney Kore, Tayvan ve Singapur gibi Doğu Asya ekonomilerinin kısa sürede gerçekleştirdiği endüstriyel dönüşüm için temel bir prototip oluşturmuştur (Cheng et al., 1998).

Tayvan ve Singapur: Stratejik Devlet Müdahaleleri

Doğu Asya mucizesini temsil eden Tayvan ve Singapur, Güney Kore ile benzer şekilde serbest piyasa mekanizmalarına körü körüne teslim olmak yerine devletin piyasayı aktif olarak yönlendirdiği (*governing the market*) modeller benimsemiştir. Bu ülkelerde kalkınmacı devlet yapısı; sermaye birikiminin yetersiz olduğu ve özel sektörün yüksek riskli yatırımlardan kaçındığı dönemlerde kamu otoritesinin doğrudan planlayıcı ve disipline edici bir rol üstlenmesini sağlamıştır. Devletler; sübvansiyonlar, yönlendirilmiş kredi mekanizmaları, gümrük tarifeleri, ithalat kotaları ve rekabetçi döviz kuru politikaları gibi araçları stratejik birer kalkınma aygıtı olarak devreye sokmuştur (Dicken, 2011).

Doğu Asya'dan Bilgi Ekonomisine ve "Girişimci Devlet" Reflekslerine Geçiş

Doğu Asya tecrübesinde devletin iktisadi alandaki rolü, zamanla ucuz iş gücü ve ihracata dayalı klasik kalkınmacı modellerden, bilgi ekonomisine ve yüksek teknolojiye dayalı "girişimci devlet" reflekslerine evrilmiştir. Bu dönüşüm sürecinde kamusal otoriteler; özel sektörün yüksek maliyet, yüksek risk ve belirsizlik nedeniyle kaçındığı uzun vadeli Ar-Ge yatırımlarını finanse etmiş, stratejik riskleri üstlenmiş ve teknolojik paradigma değişimlerine öncülük etmiştir (Routley, 2012).

Literatürde sıklıkla vurgulandığı üzere, 20. yüzyılın klasik kalkınmacı devlet yapısı ağırlıklı olarak imalat sanayi, çelik, gemi inşası ve ucuz ihracat kapasitesine odaklanırken; 21. yüzyılın girişimci devleti yapay zekâ, biyoteknoloji, yarı iletken (çip) teknolojileri ve yeşil enerji gibi alanlarda piyasayı biçimlendiren (market-shaping) ve yeni pazarlar yaratan kurumsal bir merkez konumuna gelmiştir (Evans, 2010). Bundan dolayı devlet, sadece piyasa aksaklıklarını gideren pasif bir hakem veya düzenleyici değil; inovasyon ekosistemlerinin, risk sermayesi ağlarının ve teknolojik sıçramanın kurucu aktörüdür (Lee, 2000).

Doğu Asya tecrübesinde (Japonya, Güney Kore, Tayvan) devletin rolü zamanla ucuz iş gücü ve ihracata dayalı klasik kalkınmacı modellerden, bilgi ekonomisine ve yüksek teknolojiye dayalı girişimci devlet reflekslerine evrilmiştir. Bu ülkelerde kamu otoriteleri; özel sektörün yüksek maliyet ve belirsizlik nedeniyle kaçındığı uzun vadeli Ar-Ge yatırımlarını finanse etmiş, stratejik riskleri üstlenmiş ve teknolojik paradigma değişimlerine öncülük etmiştir. Böylece devlet, sadece kural koyucu bir hakem olmaktan çıkıp yenilik süreçlerinin, risk sermayesi ağlarının ve teknolojik dönüşümün kurucu merkezi haline gelmiştir (Evangelista, 1996).

Kalkınmacı ve Girişimci Devlet Tartışmalarında Kurumsal Kapasite, Otonomi ve Eğitim İlişkisi

Kalkınmacı devletlerin başarısının arkasındaki en temel kurumsal dinamiklerden biri, Peter Evans'ın kavramsallaştırdığı "gömülü otonomi" (embedded autonomy) modelidir (Evans, 1995). Bu model, bürokrasinin özel sektör baskılarından ve kısa vadeli siyasi çıkarlardan yalıtılmış (otonom) olmasını, ancak aynı zamanda ekonomik aktörlerle stratejik projeler üretebilecek kadar da toplumsal ağların içinde (gömülü) olmasını ifade eder (Routley, 2012).

Bu süreçte bürokratik etkinliğin ve liyakatin sağlanmasında eğitim sisteminin, özellikle de yükseköğretimin rolü kritik düzeydedir. Doğu Asya örneklerinde (Japonya, Güney Kore ve Tayvan); devlet bürokrasisinin üst kademelerine en nitelikli ve başarılı yükseköğretim kurumlarından liyakat esaslı atamalar yapılmış, eğitim politikaları doğrudan teknolojik dönüşüm ve imalat kabiliyetleri ekseninde şekillendirilmiştir. Dolayısıyla kalkınmacı devletlerin başarısı, yalnızca iktisadi teşviklere değil, aynı zamanda nitelikli beşeri sermayeyi üreten kurumsal eğitim altyapısına dayanmaktadır (Pempel, 1999).

Modellerin Aktarılabilirliği Tartışmaları ve "Yerel Materyallerle İnşa" Yaklaşımı

Doğu Asya ve Güneydoğu Asya ekonomilerinin yakaladığı bu olağanüstü büyüme ve kalkınma başarısı, söz konusu modelin diğer coğrafyalara (özellikle Sahra Altı Afrika ve gelişmekte olan ülkelere) transfer edilip edilemeyeceği yönündeki tartışmaları beraberinde getirmiştir (Routley, 2012). Chalmers Johnson ve Peter Evans gibi yazarlar, Doğu Asya modelinin dogmatik bir şekilde kopyalanmasının (kurumsal monokültür / institutional mono-cropping) başarısızlıkla sonuçlanacağını vurgulamaktadırlar (Johnson, 1982).

Bunun yerine, kalkınmacı ve girişimci devlet pratiklerinin başka ülkelere uyarlanmasında, dışarıdan hazır reçeteler ithal etmek

yerine ülkelerin kendi iç dinamikleriyle, yerel malzemeleriyle ve özgün kurumsal inovasyonlarıyla bu yapıları inşa etmeleri gerektiği savunulmaktadır (Leftwich, 2000). Bu sebeple, kalkınmacı devlet yaklaşımlarının evrensel ilkeleri (güçlü bürokratik kapasite, stratejik vizyon, devlet-özel sektör iş birliği) korunmakla birlikte; her ülkenin kendi tarihsel, coğrafi ve sosyal koşullarına göre esnek bir uyum sürecinden geçmesi hayati önem taşımaktadır.

Türkiye'de İktisadi Politikaların Evrimi: 1980 Sonrasından Günümüze Kalkınmacı ve Girişimci Devlet Arayışları

1980 Sonrası Dönem: İthal İkamecilikten Dışa Açık Ekonomiye ve Devletin Rolünün Dönüşümü

Türkiye ekonomisi, 1980'li yıllarla birlikte küresel kapitalist sisteme entegrasyonu hedefleyen köklü bir yapısal dönüşüm sürecine girmiştir. 24 Ocak 1980 kararlarıyla birlikte benimsenen dışa açık ihracata dayalı büyüme stratejisi; korumacı ve iç pazara odaklı ithal ikameci sanayileşme modelinden, küresel rekabete dayalı serbest piyasa ekonomisine geçişin miladını oluşturmuştur (Boratav, 2015). Bu dönemde devletin iktisadi alandaki konumu yeniden tanımlanmış; Kamu İktisadi Teşebbüslerinin (KİT) küçültülmesi, özelleştirme uygulamaları ve piyasa mekanizmalarının serbestleştirilmesi ön plana çıkmıştır (Öniş & Şenses, 2005).

1980 sonrası neoliberal dönüşüm, kalkınmacı devlet reflekslerinin zayıfladığı, kamunun doğrudan üretimden çekilerek alanı özel sektöre devrettiği bir dönemi işaret etmiştir. Ancak Doğu Asya örneklerinden farklı olarak Türkiye'de devlet, piyasayı disipline eden ve stratejik sektörleri uzun vadeli planlarla yönlendiren güçlü bir "büyüme koalisyonu" veya "gömülü otonomi" yapısını tam anlamıyla kurumsallaştıramamıştır (Öniş, 1991). Finansal serbestleşmenin erken ve kontrolsüz bir şekilde hayata geçirilmesi, Türkiye'nin makroekonomik istikrarını dış şoklara karşı

kırılgan hale getirmiş ve 1990'lı yıllar boyunca yaşanan kronik krizlerin zeminini hazırlamıştır (Yeldan, 2012).

2000'li Yıllar ve "Girişimci Devlet" Arayışları: Milli Teknoloji Hamlesi ve Stratejik Sektörler

2000'li yılların ikinci yarısından itibaren küresel ekonomide yaşanan paradigma değişimleri, Türkiye'de devletin iktisadi rolünün yeniden tartışılmasına ve klasik kalkınmacı reflelerin ötesinde "Girişimci Devlet" pratiklerinin filizlenmesine zemin hazırlamıştır. Özellikle Mariana Mazzucato'nun kavramsallaştırdığı anlamda kamunun; yüksek riskli, sermaye yoğun ve özel sektör tek başına üstlenemediği stratejik alanlarda doğrudan risk alıcı, pazar yaratıcı ve finansör konumuna gelmesi yönünde önemli adımlar atılmıştır (Ekinci & Kalça, 2008).

Bu durum göz önüne alındığında Türkiye'de son yıllarda hayata geçirilen;

Savunma Sanayii Projeleri: TUSAŞ, Baykar ve Aselsan gibi kurumların öncülüğünde yürütülen projelerle devlet, hem ana alıcı hem de teknolojik ekosistemi inşa eden stratejik bir aktör konumuna gelmiştir.

TÜBİTAK ve KOSGEB Destekleri: Kamu kaynaklarının Ar-Ge, inovasyon, start-up ekosistemleri ve yüksek teknoloji odaklı girişimlere yönlendirilmesi, girişimci devlet reflekslerinin kurumsal yansımaları olarak öne çıkmaktadır.

TOGG (Türkiye'nin Otomobili Girişim Grubu) ve Stratejik Hamleler: Otomotiv sektöründe elektrikli ve otonom teknolojilere geçiş sürecinde kamunun öncülük ettiği konsorsiyum modelleri, devletin piyasayı biçimlendirme ve yeni teknolojik pazarlar yaratma kapasitesinin somut örneklerindendir.

Milli Teknoloji Hamlesi: Havacılık, uzay, yapay zekâ ve kritik dijital altyapı projeleriyle devlet, sadece kural koyucu bir

hakem değil; teknolojik dönüşümün kurucu merkezi rolünü üstlenmiştir (Aktan & Vural, 2005).

Bununla birlikte, Türkiye'nin bu girişimci devlet reflekslerini sürdürülebilir kılabilmesi; liyakat esaslı ve güçlü bürokratik kapasiteye (Weberyan bürokrasi), nitelikli yükseköğretim ve beşeri sermaye yatırımlarına ve güçlü bir Ar-Ge altyapısına olan ihtiyacı 21. yüzyılda da canlı tutmaktadır (Çetin & Ecevit, 2008).

Türkiye'nin 1980 sonrasında yakaladığı ihracat artışı, imalat sanayinin ithalata olan yüksek bağımlılığı nedeniyle istenilen düzeyde katma değere dönüşememiştir. Örneğin TÜİK verilerine göre Türkiye, 2017 yılında 157 milyar dolar ihracat gerçekleştirirken, buna karşılık 233.8 milyar dolar ithalat yapmıştır (Eşiyok, 2014). Söz konusu dış ticaret açığının temel sebebi, ihracata konu olan ürünlerin büyük ölçüde ara malı ve ham madde ithalatına dayanmasıdır. İmalat sanayinin genel yapısı incelendiğinde; geleneksel imalat kalıplarından yüksek teknolojili ve inovatif üretim süreçlerine geçişte yapısal engellerin bulunduğu görülmektedir (Çetin ve Ecevit, 2008). Düşük teknolojili ürün ihracatı ile yüksek teknolojili ürün ithalatı arasındaki makas, Türkiye'nin bilgi ekonomisine geçiş sürecindeki en temel engellerden biridir.

Uluslararası rekabetçilik endeksleri de bu yapısal tıkanıklığı teyit etmektedir. Dünya Ekonomik Forumu (WEF) Küresel Rekabetçilik Endeksi raporlarına göre Türkiye; 2013 yılında 144 ülke arasında 43. sıradayken, verimlilik ve yenilikçilik ekseninde yaşanan gerilemelere paralel olarak 2016 yılında 140 ülke arasında 51., 2017 yılında ise 138 ülke arasında 55. sıraya gerilemiştir (World Bank, 2018). Benzer şekilde, 2017 yılı Küresel İnovasyon Endeksi'nde 127 ülke arasında 43. sırada yer almıştır. Çetin ve Ecevit (2008)'in vurguladığı üzere; yenilikler alanındaki başarı verimliliği artırarak kalkınmayı tetiklerken, başarısızlık ekonomik durgunluğa neden olmaktadır. Bu nedenle Türkiye'nin uluslararası piyasalarda kalıcı rekabet avantajı yakalayabilmesi, pasif piyasa

politikalarının ötesine geçerek araştırma-geliştirme (Ar-Ge) faaliyetlerine, hayat boyu öğrenmeye ve aktif devlet müdahalesine olan ihtiyacı açıkça ortaya koymaktadır.

2023 Hedefleri ve Stratejik Dönüşüm Ekseninde "Girişimci Devlet" Pratikleri

Türkiye'nin uzun vadeli kalkınma stratejilerinde stratejik bir kilometre taşı olan 2023 Hedefleri, ekonomik büyüklüğün yanı sıra teknolojik bağımsızlık, yüksek katma değerli üretim ve küresel ölçekte rekabet edebilir bir sanayi altyapısı kurma iddialarını barındırmıştır. Bu vizyon çerçevesinde devlet, klasik "kural koyucu ve denetleyici" rolünden çıkarak, özellikle özel sektörün yüksek maliyet, belirsizlik ve risk nedeniyle çekildiği alanlarda doğrudan risk üstlenen bir girişimci devlet kimliği kazanmıştır (Özateşler, 2013).

2023 vizyonu ve sonrasındaki süreçte bu girişimci devlet reflekslerinin somut yansımaları şu alanlarda gözlemlenmektedir:

Savunma Sanayiinde Yerlileşme ve Teknolojik Sıçrama: TUSAŞ, Baykar, Aselsan ve Roketsan gibi kurumların öncülüğünde yürütülen projelerle devlet, hem ana alıcı hem de Ar-Ge ekosistemini finanse eden ana aktör konumuna gelmiştir. Savunma sanayiindeki yerlilik oranlarının artması, devletin stratejik sektörlerde pazar yaratma (market-shaping) kapasitesinin en başarılı örneğidir (Alçın, 2016).

Milli Teknoloji Hamlesi ve Ar-Ge Finansmanı: TÜBİTAK ve KOSGEB hibeleri aracılığıyla teknogirişimlerin (start-up) desteklenmesi, yapay zekâ, biyoteknoloji ve otonom sistemler gibi çığır açıcı alanlarda kamu kaynaklarının risk sermayesi gibi işlev görmesini sağlamıştır (Akçacı & Bulut, 2017).

Stratejik Yatırımlar ve Konsorsiyum Modelleri: TOGG (Türkiye'nin Otomobili Girişim Grubu) örneğinde olduğu gibi,

elektrikli araçlar ve batarya teknolojileri gibi geleceğin paradigmalarında devletin öncülük ettiği kamu-özel iş birliği modelleri, geç sanayileşen ülkelerin küresel değer zincirlerinde üst basamaklara tırmanmasında girişimci devletin kilit rolünü doğrulamaktadır (Terzi et al., 2018).

Sonuç olarak, 2023 hedefleri doğrultusunda atılan bu stratejik adımlar; Türkiye'nin orta gelir tuzağından kurtulması, ithalata bağımlı üretim yapısından yüksek katma değerli bilgi ekonomisine geçmesi ve Çetin ve Ecevit (2008)'in vurguladığı "öğrenen bölge / öğrenen ekonomi" dinamiklerinin ulusal düzeyde kurumsallaştırılması açısından hayati bir dönemeç teşkil etmektedir.

Türkiye'nin girişimci devlet vizyonu, 2023 hedeflerinin ötesinde On İkinci Kalkınma Planı (2024-2028) ve 2030 Sanayi ve Teknoloji Stratejisi belgeleriyle yeni bir boyuta taşınmıştır (Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, 2025). Milli Teknoloji Hamlesinin devamı niteliğindeki bu yeni stratejik çerçevede devlet; yalnızca klasik imalat sanayiini desteklemekle kalmayıp yeşil ve dijital dönüşüm ("ikiz dönüşüm"), yarı iletken (çip) tasarımı ve üretimi, yapay zekâ, otonom sistemler, kritik teknolojiler ve net sıfır emisyon hedefleri doğrultusunda doğrudan yönlendirici ve pazar yaratıcı (market-shaping) bir misyon üstlenmiştir (SETA, 2025). Bu doğrultuda 2030 Vizyonu; Türkiye'nin küresel değer zincirlerindeki yerini üst basamaklara çıkarmayı, yüksek teknoloji odaklı sanayileşmeyle imalat sanayiinin katma değerini yükseltmeyi ve küresel krizlere karşı sanayi altyapısının esnekliğini ile dayanıklılığını artırmayı hedeflemektedir (Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, 2025). Böylece kamu otoritesi; Ar-Ge finansmanını, teşvik mekanizmalarını ve kamu alım politikalarını doğrudan kritik teknoloji kollarında yoğunlaştırarak 21. yüzyılın gerektirdiği aktif girişimci devlet reflekslerini kurumsallaştırmaya devam etmektedir (TÜBİTAK, 2026).

Sonuç ve Politika Önerileri

Bu çalışmada, devletin iktisadi alandaki rolü ve müdahale biçimleri; tarihsel, teorik ve ampirik boyutlarıyla "Kalkınmacı Devlet" ve "Girişimci Devlet" modelleri çerçevesinde incelenmiştir. Doğu Asya tecrübesi (Japonya, Güney Kore, Tayvan, Singapur) ile Türkiye'nin 1980 sonrası iktisadi evrimi karşılaştırmalı bir analizle ele alınmıştır.

Elde edilen temel bulgular şu şekilde özetlenebilir:

Devletin Rolündeki Paradigma Kayması: Klasik kalkınmacı devlet modeli; sermaye birikimini sağlamak, temel sanayi kollarını kurmak ve ithal ikamesi/ihracata dayalı sanayileşmeyi disipline etmek üzere kurgulanmışken (Johnson, 1982; Wade, 1990); 21. yüzyılın girişimci devleti (Bagliacino, Mazzucato, 2011) piyasa aksaklıklarını pasif biçimde gidermenin ötesine geçerek çığır açıcı teknolojilerde, yapay zekâda, yeşil enerjide ve yüksek riskli Ar-Ge alanlarında piyasayı biçimlendiren (*market-shaping*) ve yeni pazarlar yaratan (*market-creating*) kurucu bir aktöre dönüşmüştür.

Kurumsal Kapasite ve Gömülü Otonomi: Doğu Asya mucizesinin arkasındaki temel dinamik, Evans (1995)'ın ifade ettiği "gömülü otonomi" (*embedded autonomy*) ilkesinde yatmaktadır. Liyakate dayalı, siyasi baskılardan yalıtılmış bürokratik yapı (otonomi), özel sektör ve toplumsal ağlarla kurulan stratejik iş birliği mekanizmalarıyla (gönüllülük) birleştiğinde sürdürülebilir bir kalkınma ivmesi yakalanabilmektedir.

Türkiye Tecrübesi ve Yapısal Sınırlar: Türkiye, 1980 sonrası dönemde neoliberal serbestleşme politikaları ile devletin üretimdeki rolünü küçültmüş, ancak Doğu Asya örneklerinde görülen güçlü büyüme koalisyonunu ve kurumsal yönlendirme

kapasitesini tam anlamıyla tesis edememiştir (Öniş, 1991). Sonuç olarak ihracat artmış olsa da imalat sanayinin ithal ara malına olan yüksek bağımlılığı ve yüksek teknolojili ürünlerin toplam ihracattaki düşük payı, ülkeyi orta gelir tuzağı ve cari açık sarmalına itmiştir.

Girişimci Devlet Yönelimleri ve Milli Teknoloji Hamlesi: 2000'li yılların ikinci yarısından itibaren, özellikle savunma sanayii projeleri (TUSAŞ, Baykar, Aselsan), TOGG, TÜBİTAK/KOSGEB teknogirişim destekleri ve Milli Teknoloji Hamlesi vizyonu çerçevesinde Türkiye, girişimci devlet reflekslerini somut biçimde sergilemeye başlamıştır. Savunma sanayiinde yakalanan yüksek yerlilik oranı, kamunun stratejik bir alıcı ve ekosistem kurucu olarak hareket ettiğinde ne kadar başarılı olabileceğini kanıtlamıştır.

Politika Önerileri

Türkiye'nin mevcut girişimci ve kalkınmacı devlet uygulamalarını münferit başarı hikâyelerinin ötesine taşıyarak bütüncül, sürdürülebilir ve yüksek katma değerli bir iktisadi modele dönüştürebilmesi için şu stratejik adımların atılması gerekmektedir:

Kurumsal Kapasitenin ve Weberyan Bürokrasi İdealinin Güçlendirilmesi

Liyakat ve Otonomi: Kalkınmacı ve girişimci vizyonun sürdürülebilirliği, kısa vadeli siyasi mülahazalardan bağımsız, liyakat esaslı çalışan stratejik planlama ve uygulama kurumlarına bağlıdır. Bu doğrultuda, kalkınma ajansları, sanayi/teknoloji bakanlıkları ve üst kurullar liyakatli insan kaynağı ile tahkim edilmelidir.

Gömülü Otonomik Yapılanma: Devlet, özel sektörün talep ve ihtiyaçlarını dinleyecek esnekliğe (gönüllülük) sahip olurken; kamusal kaynakları dağıtırken ve performans denetimi yaparken tarafsızlığını ve disipline edici gücünü (otonomi) korumalıdır.

İnovasyon Ekosistemi ve Ar-Ge Maliyetlerinin Stratejik Yönetimi

Sadece Ar-Ge Değil, Yayılım ve Ekipman Yatırımı: Evangelista vd. (1996) çalışmalarında vurgulandığı üzere, inovasyon harcamalarının büyük bölümünü makine, teçhizat ve altyapı yatırımları oluşturmaktadır. Türkiye'de destekler sadece teorik Ar-Ge projeleriyle sınırlı kalmamalı; teknolojinin sanayiye adaptasyonunu ve altyapı kurulumunu kapsayan bütüncül bir hibrit fonlama modeline dönüştürülmelidir.

Kamu Alımları Yoluyla Pazar Oluşturulması (Public Procurement): Savunma sanayiinde uygulanan "kamu alım garantili teknoloji geliştirme" modeli; sağlık teknolojileri, biyoteknoloji, yenilenebilir enerji ve çip/yarı iletken tasarımı gibi sivil alanlara da yaygınlaştırılmalıdır.

Eğitim-Sanayi Entegrasyonu: Girişimci devletin en kritik girdisi nitelikli insan kaynağıdır. Yükseköğretim müfredatı ve teknopark yapıları, küresel teknolojik trendler (yapay zekâ, veri analitiği, otonom sistemler, yeşil dönüşüm) doğrultusunda radikal bir biçimde güncellenmelidir.

Beyin Göçünün Önlenmesi ve Tersine Beyin Göçü: Yetişmiş nitelikli araştırmacı ve mühendislerin ülke içinde kalmasını sağlayacak cazip araştırma iklimi ve özlük hakları güvence altına alınmalı, uluslararası fonlarla desteklenen Ar-Ge merkezleri çoğaltılmalıdır.

Sanayide Girdilerde Dışa Bağımlılığın Azaltılması ve Yeşil Dönüşüm

Stratejik Ara Malı Üretimi: İhracatın ithalata olan bağımlılığını kırmak adına, imalat sanayinin en çok ithal ettiği kritik ara malı ve hammaddelerin yerli imkânlarla veya stratejik

ortaklıklarla üretilmesi için hedeflenmiş teşvik mekanizmaları uygulanmalıdır.

Yeşil ve Dijital İkiz Dönüşümü: AB Yeşil Mutabakatı ve sürdürülebilirlik normları çerçevesinde, girişimci devlet sanayinin karbonsuzlaşma ve dijitalleşme yatırımlarına doğrudan risk sermayesi ve hibe sunarak öncülük etmelidir.

Sonuç olarak, 21. yüzyılda küresel rekabet gücü kazanmak ne tek başına serbest piyasanın kendi kendine işleyen dinamiklerine ne de devasa ancak hantal bir kamu aygıtına bırakılabilir. Türkiye'nin ihtiyacı olan model; özel sektörün dinamizmini göz ardı etmeyen, ancak stratejik alanlarda risk alan, yön veren, piyasayı şekillendiren ve güçlü kurumsal altyapıya dayanan "Kalkınmacı ve Girişimci Devlet" sentezidir.

Kaynakça/References

Acemoğlu, D. (2005). Politics and Economics in Weak and Strong States. *Journal of Monetary, 52*(7), 1199-1226. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0304393205000838

Aktan, C. C., & Vural, İ. Y. (2005). Çok Uluslu Şirketler ve Ekonomik Kalkınma. *Sivil Toplum: Düşünce & Araştırma Dergisi*, *3*(11), 37.

Akçacı, T., & Bulut, E. (2017). Endüstri 4.0 ve İnovasyon Göstergeleri Kapsamında Türkiye Analizi. *ASSAM Uluslararası Hakemli Dergi*, *4*(7), 55-77. https://dergipark.org.tr/en/pub/assam/article/345689

Alçın, S. (2016). Üretim için yeni bir izlek: Sanayi 4.0. *Journal of life Economics*, *3*(2), 19-30. https://www.ceeol.com/search/article-detail?id=705684

Bogliacino, F., Mazzucato M. (2011), The Entrepreneurial State. *Economia politica*, *29*(2), 284-285. https://www.ingentaconnect.com/content/lwish/sou/2011/00000049/00000049/art00012

Boratav, K. (2015). *Dünyadan Türkiye'ye, iktisattan siyasete*. Yordam Kitap.

Ekinci, A., & Kalça, A. (2008). Kayıtdışı Ekonomi ve İktisadi Dalgalanmalar İlişkisi: Türkiye (1968-2005). *Çukurova Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, *17*(3), 211-227. https://izlik.org/JA32CR82PL

Chang, H. J. (2003). *Globalisation, economic development & the role of the state*. Zed Books.

Cheng, T., Haggard, S. & Kang, D., 1998. Institutions and Growth in Korea and Taiwan: The Bureaucracy. *Journal of Development Studies*, *34*(6), pp.87–111. https://doi.org/10.1080/00220389808422547

Cho, Hyo-rae 2001, `Nodonghwangyeongui Byeonhwawa Mosaek' (Changes in the Circumstances of Labour and Attempt), in Choi et al. (eds.) *Cheongubaekpalsipchilnyeon Ihu Han gukui Nodongundong* (Korean Labour Movement After 1987), Seoul: KU.

Chung, Y., 2007. *South Korea in the fast lane: economic development and capital formation*, Oxford; New York: Oxford University Press.

Çaskurlu, S. (2018). Confirming the subdimensions of teaching, social, and cognitive presences: A construct validity study. *The Internet and Higher Education*, *39*, 1-12. https://doi.org/10.1016/j.iheduc.2018.05.002

Çetin, M., & Ecevit, E. (2008). Yenilikler, Öğrenme ve Ekonomik Kalkınma: Gelişmiş Bölgesel Ekonomiklerden Örnek Uygulamalar. *Erciyes Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, *1*(24), 203-228. https://izlik.org/JA37KJ65MU

Dicken, P., 2011. *Global shift: Mapping the changing contours of the world economy* 6th ed., New York: Guilford Press.

Eşiyok, B. A. (2014). Türkiye–AB arasında dış ticaretin teknolojik yapısı, rekabet gücü ve endüstri-içi ticaret: Ampirik bir değerlendirme. *Ankara Avrupa Çalışmaları Dergisi*, *13*(1), 91-124. https://doi.org/10.1501/Avraras_0000000202

Evangelista, R. (1996). Embodied and disembodied innovative activities: evidence from the Italian innovation survey. In *Innovation, patents and technological strategies* (139-162). OECD.

Evans, P.B., 1995. *Embedded autonomy: states and industrial transformation*, Princeton, N.J.: Princeton University Press.

Evans, P.B., 2010. Constructing the 21th century developmental state: potentialities and pitfalls. In O. Edigheji, ed. *Constructing a democratic developmental state in South Africa: Potentials and challenges*. HSRC Press,: Pages37–58.

Harlan, C., 2011. South Korea‟s young people are wary of unification. *The Washington Post.* [Accessed January 2, 2013].

Harvie, C. & Lee, H., 2003. Export-led Industrialisation and Growth: Korea‟s Economic Miracle, 1962-1989. *Australian Economic History Review*, 43(3), 256–286. https://doi.org/10.1046/j.1467-8446.2003.00054.x

Huff, W. G. (1995). The developmental state, government, and Singapore's economic development since 1960. *World Development*, *23*(8), 1421-1438. https://doi.org/10.1016/0305-750X(95)00043-C

Hundt, D., 2009. *Korea's Developmental Alliance: State, Capital and the Politics of Rapid Development*, London

Johnson, C., 1982. *MITI and the Japanese miracle: the growth of industrial policy, 1925-1975*, Stanford, Calf.: Stanford University Press.

Jwa, S., 2001. *A New Paradigm for Korea's Economic Development: From Government Control to Market Economy*. Springer.

Kim, H., 2004. *Korea's development under Park Chung Hee: rapid industrialization, 1961-1979*, Routledge.

Lall, S. (1996). 'The East Asian Miracle'Study: Does the Bell Toll for Industrial Strategy?. In *Learning from the Asian Tigers: Studies in Technology and Industrial Policy* (107-123). London: Palgrave Macmillan UK.

Lee, K. Y. (2000). From Third to First World: the Singapore story, 1965-2000. *Singapore: Singapore Press Holdings*.

Leftwich, A. (2000) States of Development: On the Primacy of Politics in Development, Cambridge: Polity Press.

Noland, M., 2012. Korea"s Growth Performance: Past and Future. *Asian Economic Policy Review*, 7(1), pp.20–42. https://doi.org/10.1111/j.1748-3131.2012.01212.x

Öniş, Z. 1991, The Logic of the Developmental State, *Comparative Politics,* 24, 1:109-26. https://doi.org/10.2307/422204

Öniş, Z., & Şenses, F. (2005). Rethinking the emerging post-Washington consensus. *Development and change*, *36*(2), 263-290. https://doi.org/10.1111/j.0012-155X.2005.00411.x

Özateşler, M. (2013). XXI. Yüzyılın Başlarında Türkiye Ekonomisinin Ekonomik Büyümesi ve 2023 Yılı Ekonomik Hedefleri. *Dokuz Eylül Üniversitesi İktisadi İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, *28*(1), 145-168. https://izlik.org/JA93RR22GN

Park, Y.S., 2011. Revisiting the South Korean developmental state after the 1997 financial crisis. *Australian Journal of International Affairs*, *37*(41). https://doi.org/10.1080/10357718.2011.607148

Pempel, T. J. (Ed.). (1999). *The politics of the Asian economic crisis*. Cornell University Press.

Polanyi, K. (1944). *The great transformation* (Vol. 2).

Routley, L, (2012). Developmental States: A Review of the Literature. ESID Working Paper http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.2141837

Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı. (2025). *2030 Sanayi ve Teknoloji Stratejisi: Türkiye'nin milli teknoloji hamlesi ve dijital dönüşüm vizyonu*. T.C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı Yayınları.

SETA. (2025). *Milli Teknoloji Hamlesi ve Türkiye'nin teknolojik bağımsızlık vizyonu* (Analiz No. 382). Siyaset, Ekonomi ve Toplum Araştırmaları Vakfı.

Terzi, D., Tınmaz, G., Tutar, H., (2018). Türkiye'nin "Vizyon 2023" Stratejisi ile Almanya'nın "2025" Stratejik Hedeflerinin Endüstri 4.0 Göstergeleri İtibariyle Karşılaştırılması. *International Journal of Entrepreneurship and Management Inquiries*, *2*(3), 195-212. https://izlik.org/JA36HM57PB

Türk Dil Kurumu. (2026). Kelime hazinesi. İçinde *Güncel Türkçe Sözlük*. https://sozluk.gov.tr

Yeldan, E. (2012). Türkiye ekonomisi için beşerî sermaye ve bilgi sermayesi birikimine dayalı bir içsel büyüme modeli. *Ekonomi-tek*, *1*(2), 21-60. https://izlik.org/JA62HH39NJ

Weiss, L. (1998). *The myth of the powerless state*. Cornell University Press.

White, G., & Wade, R. (1988). Developmental states and markets in East Asia: an introduction. In *Developmental States in East Asia.* (1-29). London: Palgrave Macmillan UK.

World Bank (2018) World Development Report 1999/2000: Entering the 21st Century (New York: Oxford University Press).

BÖLÜM 2

ÜRETİME DAYALI CARİ AÇIK VE MALİYET ŞOKLARI: TÜRKİYE EKONOMİSİNDE DOĞRUSAL OLMAYAN MAKROEKONOMİK DİNAMİKLER

Sebahattin KOÇ[1]

Giriş/Introduction

Cari işlemler dengesi, gelişmekte olan ekonomilerde makroekonomik istikrarın ve dış kırılganlığın en yakından izlenen göstergelerinden biridir. Geleneksel yaklaşım dış dengeyi döviz kuru ayarlamalarına bağlar; ancak küresel üretim ağlarının yaygınlaşması dış dengenin kura duyarlılığını zayıflatmıştır. Doğrusal modeller ilişkiyi simetrik kabul ederken uygulamalı çalışmalar asimetrik yapılar bulmaktadır (Shin et al., 2014).

Türkiye'de cari açık, üretimin ithal ara malı ve enerji girdilerine bağımlılığıyla ilişkilendirilmektedir (Aydın, 2021; Dineri & Işık, 2021; Sarıtaş et al., 2018). Bu bağımlılık, maliyet şoklarının cari dengeye asimetrik yansımasına yol açabilir: ithalat fiyatlarındaki bir artış cari açığı genişletirken bir düşüş aynı ölçüde

[1] Dr. Öğr. Üyesi, Bitlis Eren Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, İktisat Bölümü, ORCID: 0000-0002-1911-445X

dengeyi iyileştirmeyebilir. Sanayi üretimi kanalında da benzer bir asimetri olabilir.

İnançlı & Akı (2022), 1990–2019 yıllık verilerle Türkiye'de enerji ithalatı ile cari açık arasındaki nedensellik ilişkisini incelemiş; enerji ithalatından cari açığa doğru bir nedenselliğin 1999–2008 ve 2010–2019 dönemlerinde ortaya çıktığını bulmuştur. Bu bulgu, enerji bağımlılığının cari dengeye etkisinin dönemlere göre değişebildiğine işaret etmektedir. İthal girdi bağımlılığı yalnızca enerjiyle sınırlı değildir: Paul & Kumar (2021), Hindistan'da imalat ihracatının ithal girdi yoğunluğunu sektör düzeyinde ele almıştır.

Döviz kuru geçişkenliği literatürü de asimetriye işaret etmektedir. Bhat & Bhat (2022), Hindistan için Shin et al. (2014) çerçevesinde yaptıkları analizde uzun dönemde yerel paranın değer kazanmasının etkisinin değer kaybından daha güçlü olduğunu bulmuştur. Obradović (2025), 2012–2021 çeyreklik verilerle Sırbistan için NARDL modeli kullanmış ve uzun dönemde enflasyonun değer kaybına değer kazanmasından daha güçlü tepki verdiğini göstermiştir. Türkiye için Şen (2009), imalat sanayi fiyatlarının kur hareketlerine tepkisinin toplam talep koşullarına göre değiştiğini; ekonomi canlanırken geçişin daha büyük olduğunu ortaya koymuştur. Lee & Chinn (2006) ise G7 ülkelerinde cari denge ile reel döviz kuru arasındaki dinamikleri incelemiştir. Bhat & Bhat, Obradović ve Şen'in bulguları, kur şoklarının etkisinin yönüne ve ekonomik koşullara göre değiştiği görüşünü desteklemektedir.

Bu çalışmanın amacı, cari işlemler dengesinin ithalat birim değer endeksi (LIGE_SA), sanayi üretimi (LTRIPI_SA) ve döviz kuru (LUSD) şoklarına tepkisini NARDL yöntemiyle incelemektir. 2010M06–2026M02 dönemine ait 189 aylık gözlemle enflasyon (INF_SA) ve pandemi-kriz kuklası (DUM_COVID_KRIZ) denetim değişkeni olarak eklenmiştir. Bulgular, ithalat birim değerindeki artışların cari dengeyi uzun dönemde azalttığını, düşüşlerin ise

dengeyi iyileştirmediğini göstermektedir; ikinci bulgu yalnızca %10 düzeyinde anlamlıdır. Sanayi üretiminde asimetri kısa dönemde görülmekte; uzun dönem artış katsayısı pozitiftir. Eşbütünleşme kanıtı ve uzun dönemli asimetri pandemi ve kriz dönemi gözlemlerine duyarlıdır.

Katkı üç noktadadır: ithalat birim değeri ve sanayi üretiminin pozitif ve negatif şokları aynı NARDL modelinde birlikte incelenmiştir; döviz kuru denetlenirken üretim ve maliyet kanalları ayrı değerlendirilmiştir; bulgular önyüklemeli sınır testi ve sağlamlık kontrolleriyle sınanmıştır.

Ampirik Literatür

Aydın (2021), ithal girdi geriye bağlantı etkisinin en yüksek olduğu üç sektörün kok kömürü-rafine petrol, plastik-kauçuk ve ana metal olduğunu bulmuştur. Cabrero Bravo & Tiana Álvarez (2012), İspanya sanayisinin ithal içeriğinin euro bölgesi ekonomilerine kıyasla yüksek olduğunu göstermiştir. Dineri & Işık (2021), 2007–2018 aylık verilerle imalat üretimi ile ara malı ithalatı arasında uzun dönemli bir eşbütünleşme saptamıştır. Sarıtaş et al. (2018), enerji ithalatının cari açığın Granger nedeni olduğunu ve cari açıktaki değişimin %15,42'sinin enerji ithalatından kaynaklandığını bulmuştur. Eken & Yalçın (2026) ise cari dengedeki iyileşmenin başlıca kaynağının reel sektör tasarruflarındaki artış ve ithal girdi kullanımının göreli yavaşlaması olduğunu göstermektedir.

Uluslararası literatürde Giuliodori (2004), 14 OECD ülkesi için nominal şokların cari denge dalgalanmalarında önemli bir rol oynadığını; Bahmani-Oskooee & Fariditavana (2016) ise NARDL ile J-eğrisi olgusunun asimetrik etkilerine daha fazla kanıt bulduğunu göstermiştir. Geçişkenlik literatüründe Forbes et al. (2020), para politikası kaynaklı kur hareketlerinin geçişkenliğinin talep şoklarından kaynaklananlara göre anlamlı ölçüde yüksek

olduğunu göstermiştir. Anderl & Caporale (2023), doğrusal olmayan modelde geçişkenliğin daha güçlü olduğunu bulmuştur. Atil et al. (2014), ham petrol–benzin geçişinde negatif şokların pozitif şoklardan daha büyük etkisi olduğunu göstermiştir. Türkiye için Bilgili et al. (2024), 2010–2019 döneminde geçişkenliğin frekanslara göre değiştiğini; Karaoğlu & Demirel (2021), geçişkenliğin uzun dönemde asimetrik olduğunu; Simonyan (2020), kısa dönemde değer kaybının geçiş katsayısının (0,95) değer kazancına ilişkin toplamdan (0,59) büyük olduğunu ve simetrinin reddedildiğini bulmuştur.

Türkiye için Akgül & Özdemir (2014), 1998:01–2008:09 döneminde cari işlemler dengesinin GSYH'ye oranının doğrusal olmadığını göstermiştir. Öğünç & Özel (2025), uzun dönemli geçişkenliğin ılımlı değer kayıplarında yüzde 38–40 bandında kalırken büyük ve ani değer kayıplarında yüzde 66–73 bandına çıkabildiğini göstermektedir. Cari denge ile reel döviz kuru arasında Kara (2023), etki-tepki analizindeki küçük tepkiler dışında bir ilişki bulamamıştır; Sümer & Peker (2024) ise politika faizinin cari açık üzerinde anlamlı ve asimetrik bir etkisi olmadığını göstermiştir. Taranan literatürde, ithalat birim değeri ile sanayi üretiminin pozitif ve negatif şoklarını aynı eşbütünleşme çerçevesinde birlikte sınayan çalışma sınırlıdır; bu çalışma söz konusu iki kanalı birlikte ele almaktadır.

Veri Seti ve Değişkenlerin Tanımı

Çalışmada 2010M01'den itibaren mevcut aylık veriler kullanılmış; kısmi toplamlar 2010M01 başlangıçlı olarak oluşturulmuş ve gecikme yapısı nedeniyle tahmin örneklemi 2010M06–2026M02 (n = 189) olmuştur. Bağımlı değişken, enerji, altın, hizmetler ve gelir kalemlerini de içeren toplam cari işlemler dengesidir (CAD_SA; milyon ABD doları; negatif değer cari açığı göstermektedir). Açıklayıcı değişkenler ithalat birim değer endeksi

(LIGE_SA), sanayi üretim endeksi (LTRIPI_SA), ABD doları kuru (LUSD) ve aylık enflasyon oranı (INF_SA)'dır. Veriler TCMB EVDS'den alınmıştır; DUM_COVID_KRIZ kuklası yazar tarafından oluşturulmuştur. LIGE_SA ithalat fiyatlarındaki genel değişimin göstergesidir; ithal ara malı, enerji ya da girdi maliyetlerinin doğrudan ölçüsü değildir.

CAD_SA, LIGE_SA, LTRIPI_SA ve INF_SA serileri EViews 13'te X-13 yöntemiyle mevsimsellikten arındırılmıştır; LUSD ham kur serisinin logaritmasıdır. CAD_SA ve INF_SA düzeyde, diğer değişkenler doğal logaritmadadır; bu nedenle katsayılar yarı-esneklik olarak okunur: açıklayıcı değişkende %1'lik bir değişim, katsayının yüzde biri kadar (milyon ABD doları) cari denge değişimiyle ilişkilidir. Pandemi ve izleyen kriz dönemi DUM_COVID_KRIZ kuklasıyla (2020M05–2023M05 = 1) denetlenmiştir; bu 37 aylık dönem en düşük LIGE_SA (2020M05), en yüksek aylık enflasyon (2021M12) ve en derin cari açık (2023M01) gözlemlerini içerir.

Ekonometrik Yöntem: Doğrusal Olmayan ARDL (NARDL) Modeli

ARDL modeli (Pesaran et al., 2001), açıklayıcı değişkenlerin bağımlı değişkene simetrik ve doğrusal etki ettiğini varsayar. Shin et al. (2014) yaklaşımında asimetrik uzun dönemli regresyon modeli (1) numaralı eşitlikle gösterilir:

$$y_t = \beta^+ x_t^+ + \beta^- x_t^- + u_t \quad (1)$$

Shin et al. (2014), açıklayıcı değişkeni (2) numaralı eşitlikteki gibi $x_0 + x_t^+ + x_t^-$ biçiminde ayrıştırır; pozitif ve negatif kısmi toplam süreçleri (3) numaralı eşitlikle tanımlanır:

$$x_t = x_0 + x_t^+ + x_t^- \quad (2)$$

$$x_t^+ = \sum_{j=1}^{t} \Delta x_j^+ = \sum_{j=1}^{t} \max(\Delta x_j, 0)$$
$$x_t^- = \sum_{j=1}^{t} \Delta x_j^- = \sum_{j=1}^{t} \min(\Delta x_j, 0) \quad (3)$$

LIGE_SA, LTRIPI_SA ve LUSD için kısmi toplamlar, her değişkenin artışları ve azalışları ayrı ayrı toplanarak (4) numaralı eşitliklerle oluşturulur:

$$\begin{aligned}
\text{LİGE_SA}_t^+ &= \sum_{j=1}^{t} \max(\Delta \text{LİGE_SA}_j, 0) \\
\text{LİGE_SA}_t^- &= \sum_{j=1}^{t} \min(\Delta \text{LİGE_SA}_j, 0) \\
\text{LTRIPI_SA}_t^+ &= \sum_{j=1}^{t} \max(\Delta \text{LTRIPI_SA}_j, 0) \\
\text{LTRIPI_SA}_t^- &= \sum_{j=1}^{t} \min(\Delta \text{LTRIPI_SA}_j, 0) \\
\text{LUSD}_t^+ &= \sum_{j=1}^{t} \max(\Delta \text{LUSD}_j, 0) \\
\text{LUSD}_t^- &= \sum_{j=1}^{t} \min(\Delta \text{LUSD}_j, 0)
\end{aligned} \quad (4)$$

Burada Δ birinci fark operatörünü göstermektedir. Negatif kısmi toplam sıfırdan büyük değer almadığından ($x_t^- \leq 0$), bir azalış x_t^- değerini daha da negatif kılar. Bu nedenle negatif bileşenin katsayısı pozitifse azalışlar bağımlı değişkeni azaltır; katsayı negatifse artırır. Bulgular bu işaret düzenine göre yorumlanmıştır.

Model EViews 13 ile tahmin edilmiş; gecikmeler AIC ile 500 alternatif model arasından ARDL(4, 1, 4, 0) olarak seçilmiştir. CAD_SA dört gecikmelidir; LIGE_SA bir gecikmeli düzey ile yalnızca eşzamanlı fark terimi içerir; LTRIPI_SA bir gecikmeli düzey ile eşzamanlı ve üç gecikmeli fark terimi içerir; LUSD yalnızca eşzamanlı düzey terimleriyle yer alır ($q_3 = 0$). INF_SA ve DUM_COVID_KRIZ gecikmesiz regresördür; sabit terim uzun dönem ilişkiye kısıtlıdır (Durum 2). Model, LIGE_SA ve LTRIPI_SA için kısa ve uzun dönemde, LUSD için yalnızca uzun dönemde asimetri içeren kısmi asimetrik bir NARDL yapısındadır. Tablolardaki değerler çalışma dosyasındaki ham serilerden yeniden hesaplanarak doğrulanmıştır.

Shin et al. (2014) NARDL(p, q) modelini (5) numaralı eşitlikte yazar; koşullu doğrusal olmayan hata düzeltme biçimi ise (6) numaralı eşitlikle verilir. Tahmin edilen UECM bu genel biçimin ARDL(4, 1, 4, 0) durumudur.

$$y_t = \sum_{j=1}^{p} \varphi_j y_{t-j} + \sum_{j=0}^{q} \left(\theta_j^{+\prime} x_{t-j}^{+} + \theta_j^{-\prime} x_{t-j}^{-} \right) + \varepsilon_t \quad (5)$$

$$\Delta y_t = \alpha_0 + \rho y_{t-1} + \theta^{+\prime} x_{t-1}^{+} + \theta^{-\prime} x_{t-1}^{-} + \sum_{j=1}^{p-1} \gamma_j \Delta y_{t-j} + \sum_{j=0}^{q-1} \left(\pi_j^{+\prime} \Delta x_{t-j}^{+} + \pi_j^{-\prime} \Delta x_{t-j}^{-} \right) + \varepsilon_t \quad (6)$$

Modelin kısıtlanmamış hata düzeltme biçimi (UECM) (7) numaralı eşitlikte gösterilmiştir. Düzey terimlerinin zamanlaması ARDL gecikme yapısını izler: LUSD'nin düzey terimleri eşzamanlı ($X_{3,t}$), LIGE_SA ve LTRIPI_SA'nınki bir dönem gecikmelidir ($X_{1,t-1}$, $X_{2,t-1}$).

$$\Delta \text{CAD_SA}_t = \alpha_0 + \rho \text{CAD_SA}_{t-1} + \sum_{k=1}^{2} \left(\beta_k^{+} X_{k,t-1}^{+} + \beta_k^{-} X_{k,t-1}^{-} \right) + \left(\beta_3^{+} X_{3,t}^{+} + \beta_3^{-} X_{3,t}^{-} \right) + \sum_{i=1}^{p-1} \gamma_i \Delta \text{CAD_SA}_{t-i} + \sum_{k=1}^{3} \sum_{i=0}^{q_k-1} \left(\delta_{k,i}^{+} \Delta X_{k,t-i}^{+} + \delta_{k,i}^{-} \Delta X_{k,t-i}^{-} \right) + \lambda \text{INF_SA}_t + \psi \text{DUM_COVID_KRIZ}_t + \varepsilon_t \quad (7)$$

Eşitlikte ε_t hata terimini göstermektedir; X_1, X_2 ve X_3 sırasıyla LIGE_SA, LTRIPI_SA ve LUSD'dir. ρ hata düzeltme katsayısıdır; uzun dönem katsayıları $\beta = -\theta/\rho$ ile hesaplanır, burada θ ilgili düzey terimlerinin katsayısıdır.

Uzun dönemli ilişki F-sınır testiyle sınanmıştır (Pesaran et al., 2001). Durum 2 için PSS t-sınır kritik değerlerini vermediğinden t istatistiği için önyüklemeli değerler kullanılmıştır; Banerjee et al.

(1998) ECM t-testinin değerlerini yalnızca en fazla beş değişken için tabulamaktadır. Dejenere durumlar için McNown et al. (2018) önyüklemesi uygulanmıştır: genel F ($F_{overall}$), t_{DV} ve ortak F (F_{ind}) birlikte değerlendirilmiş; eşbütünleşme ancak üçünün birlikte reddedilmesiyle kabul edilmiştir (50.000 yineleme, tohum 20261017; zaman sırası ve varyans profilini koruyan tekrarlı önyükleme de uygulanmıştır).

Pozitif ve negatif bileşenlerin farkı Wald testleriyle (Shin et al., 2014) sınanmış; Wald testleri ve katsayı t istatistikleri HC1 dirençli kovaryansa, F-sınır ve önyükleme istatistikleri olağan kovaryansa dayanmıştır. Tanısal sınamalar Breusch–Godfrey, Harvey, ARCH-LM, Ramsey RESET ve Jarque–Bera testleriyle; parametre istikrarı CUSUM ve CUSUMSQ testleriyle (Brown et al., 1975) yapılmıştır. Şokların zaman içindeki yayılımı dinamik çarpan grafikleriyle incelenmiştir (Shin et al., 2014).

Birim Kök Testi Bulguları

Sahte regresyon riskini önlemek için serilerin durağanlığı ADF ve PP testleriyle sabitli ve sabitli-trendli modeller için incelenmiştir (Tablo 1'de). NARDL yaklaşımı serilerin I(0) ya da I(1) olmasına izin verir; hiçbir serinin I(2) olmaması gerekir (Shin et al., 2014).

Tablo 1'e göre enflasyon tüm model ve testlerde düzeyde durağandır [I(0)]. LIGE_SA ve LUSD düzeyde birim kök içerir, birinci farkta durağandır [I(1)]. CAD_SA PP testinde her iki modelde düzeyde durağan, ADF testinde sabitli modelde %10 düzeyinde durağan, sabitli-trendli modelde birinci farkta durağandır. LTRIPI_SA sabitli modelde birinci farkta durağan, sabitli-trendli modelde düzeyde durağandır. Hiçbir seri ikinci farkta durağan olmadığından NARDL sınır testi uygun görülmüştür.

Tablo 1. Birim Kök Testi Sonuçları

Değişken	Model	Test	Düzey	1. fark	Karar
CAD_SA	Sabitli	PP	−5,9717***	−24,8060***	I(0)
		ADF	−2,7475*	−15,3765***	I(0)
	Sabitli+Trend	PP	−6,3542***	−24,7454***	I(0)
		ADF	−2,8588	−15,3396***	I(1)
INF_SA	Sabitli	PP	−5,3776***	−33,2072***	I(0)
		ADF	−3,7718***	−15,1821***	I(0)
	Sabitli+Trend	PP	−6,8946***	−33,0972***	I(0)
		ADF	−4,9646***	−15,1417***	I(0)
LIGE_SA	Sabitli	PP	−1,3202	−13,9985***	I(1)
		ADF	−1,6470	−4,8025***	I(1)
	Sabitli+Trend	PP	−1,4842	−13,9913***	I(1)
		ADF	−1,7838	−4,8117***	I(1)
LTRIPI_SA	Sabitli	PP	−2,0163	−21,1353***	I(1)
		ADF	−1,8627	−11,1946***	I(1)
	Sabitli+Trend	PP	−4,8526***	−24,2110***	I(0)
		ADF	−5,1275***	−11,2585***	I(0)
LUSD	Sabitli	PP	1,6536	−8,7479***	I(1)
		ADF	1,6347	−9,6845***	I(1)
	Sabitli+Trend	PP	−1,6823	−8,7012***	I(1)
		ADF	−1,7916	−10,0114***	I(1)

*Not: ***, ** ve *: sırasıyla %1, %5 ve %10 anlamlılık. Karar: düzeyde %10'da reddedilirse I(0); aksi halde birinci farkta %1'de reddedilirse I(1). ADF gecikmeleri Schwarz ölçütüyle (en çok 14) seçilmiştir; PP'de Bartlett çekirdeği ve Newey–West bant genişliği kullanılmıştır. Kaynak: Yazar hesaplamaları.*

Eşbütünleşme Sınır Testi ve Uzun Dönem Tahminleri

Uzun dönemli ilişki F-sınır ve t-sınır istatistikleriyle sınanmış; sonuçlar Tablo 2'de özetlenmiştir. Model kısıtlı sabitli ve trendsiz (Durum 2) kurulduğundan karşılaştırmalar bu durum için yapılmıştır.

F-istatistiği (5,0330), %1 asimptotik üst sınırının (3,990) üzerindedir. Sabit terimin sınamaya dahil edilmediği Durum 3'te ($F = 5{,}4951$) ise %1 üst sınırı (4,430) aşılmaktadır. Önyüklemeli sınamada aynı F istatistiği %5 düzeyinde reddedilmekte, %1 düzeyinde reddedilmemektedir (Tablo 3). t-sınır istatistiği (−5,1927) önyüklemeli %5 kritik değerini (−4,8911) aşmakta, %1 kritik değerini (−5,6006) aşmamaktadır. Hata düzeltme katsayısının (−0,4402) negatif ve anlamlı olması (HC1 $t = -5{,}3564$) bir gösterge olmakla birlikte tek başına sınır testi kararının yerine geçmez.

Tablo 2. Eşbütünleşme Sınır Testi Sonuçları (F ve t)

Test	İstatistik	Düzey	I(0) / alt	I(1) / üst	Karar
F-sınır (Durum 2)	5,0330	%10	1,990	2,940	H_0 %1'de reddedilir (asimptotik)
		%5	2,270	3,280	
		%1	2,880	3,990	
F-sınır (Durum 3)	5,4951	%10	2,120	3,230	H_0 %1'de reddedilir (asimptotik)
		%5	2,450	3,610	
		%1	3,150	4,430	
t-sınır (olağan)	−5,1927	%5 (önyükleme)	−4,8911	–	H_0 %5'te reddedilir; %1'de reddedilmez
		%1 (önyükleme)	−5,6006	–	

Not: I(0) ve I(1): asimptotik alt ve üst sınırlar (Pesaran et al., 2001; k = 6). t-sınırı için önyüklemeli kritik değerler. Durum 2: sekiz kısıt (sabit dahil); Durum 3: yedi kısıt. n = 189. Kaynak: Yazar hesaplamaları.

Önyüklemeli sınamada temel tahminde F_{overall}, t_{DV} ve F_{ind} için olasılık değerleri 0,0146, 0,0266 ve 0,0458'dir; üç istatistik %5 düzeyinde birlikte boş hipotezi reddetmekte, %1 düzeyinde reddetmemektedir. Tekrarlı önyüklemede olasılık değerleri 0,0612, 0,0921 ve 0,1364'e yükselmektedir. HC1 istatistikleriyle genel F %5 düzeyinde anlamlı kalırken ($p = 0{,}0113$), t_{DV} ($p = 0{,}0517$) ve F_{ind} ($p = 0{,}0652$) sınırda kalmaktadır. Kriz dönemi hariç örneklemde (n = 152) ve SC modelinde (ARDL(3, 0, 0, 0)) üç sınamanın hiçbiri

önyüklemeyle reddedilmemektedir. Bu nedenle uzun dönemli ilişkiye dair kanıt sınırlı ve kriz dönemi gözlemlerine duyarlıdır. Eşbütünleşme kanıtının bulunmadığı bu modelde uzun dönem asimetri sonucu bağlayıcı sayılmamalıdır.

Uzun dönem katsayıları Tablo 4'te verilmiştir. Katsayılar bağımlı değişken düzeyde ve milyon ABD doları cinsinden olduğu için, açıklayıcı değişkende %1'lik bir değişime karşılık gelen cari denge değişimi katsayının yüzde biridir. Örneklemdeki ortalama aylık cari açık yaklaşık 2.601 milyon dolardır.

Tablo 3. Önyüklemeli Sınır Testi Sonuçları

Model / örneklem	**İstatistik**	**Gözlenen**	**%5 KD**	**%1 KD**	***p***	***p* (wild)**
Temel tahmin (n = 189)	$F_{overall}$	5,0330	4,2003	5,2680	0,0146**	0,0612*
	t_{DV}	−5,1927	−4,8911	−5,6006	0,0266**	0,0921*
	F_{ind}	4,8862	4,8204	6,1703	0,0458**	0,1364
Kriz dönemi hariç (n = 152)	$F_{overall}$	3,1395	3,9314	4,9817	0,1516	0,2826
	t_{DV}	−3,1166	−4,6728	−5,4626	0,4121	0,5140
	F_{ind}	2,8035	4,5572	5,9790	0,3062	0,4185
SC modeli (n = 189)	$F_{overall}$	3,5123	4,9843	6,3249	0,2495	0,4299
	t_{DV}	−4,2852	−5,3406	−6,1306	0,2400	0,3769
	F_{ind}	3,3603	5,7969	7,5162	0,3483	0,5192

*Not: KD: önyükleme kritik değeri (B = 50.000; tohum 20261017). **, *: sırasıyla %5 ve %10 anlamlılık. p (wild): Rademacher ağırlıklı tekrarlı önyükleme. Kaynak: Yazar hesaplamaları.*

İthalat birim değerinin pozitif bileşeni için katsayı −21.277,18'dir (%1 düzeyinde anlamlı); %1'lik bir artış cari dengeyi yaklaşık 213 milyon dolar azaltmakta, bu tutar ortalama aylık açığın yaklaşık %8'i kadardır. Negatif bileşenin katsayısı 10.338,46'dır (%10 düzeyinde anlamlı); negatif kısmi toplam sıfırdan büyük olmadığından %1'lik bir düşüş cari dengeyi yaklaşık 103 milyon dolar azaltmaktadır. Uzun dönemde maliyet artışları cari dengeyi

belirgin biçimde bozarken maliyet düşüşleri dengeyi iyileştirmemektedir; ikinci bulgu temkinle yorumlanmalıdır; negatif bileşenin önyüklemeli %95 aralığı sıfırı içerdiğinden bu bulgu kesin sayılmamalıdır.

Tablo 4. NARDL Modeli Uzun Dönem Tahmin Sonuçları

Değişken	**Katsayı**	**Std. hata**	***t***	***p***	**Karar**
LIGE_SA^{+}	−21.277,18	6.719,14	−3,1667	0,0018***	%1'de anlamlı
LIGE_SA^{-}	10.338,46	6.104,07	1,6937	0,0922*	%10'da anlamlı
LTRIPI_SA^{+}	18.021,28	8.998,96	2,0026	0,0468**	%5'te anlamlı
LTRIPI_SA^{-}	13.811,62	9.533,49	1,4487	0,1493	Anlamsız
LUSD^{+}	6.360,05	4.371,74	1,4548	0,1476	Anlamsız
LUSD^{-}	−201,51	8.160,50	−0,0247	0,9803	Anlamsız
Sabit	−5.478,89	1.525,16	−3,5923	0,0004***	%1'de anlamlı

*Not: ***, **, *: sırasıyla %1, %5 ve %10 anlamlılık. (+)/(−): pozitif/negatif kısmi toplam ($x^{-} \leq 0$). $\beta = -\theta/\rho$; t ve p, HC1 standart hatalarına dayanır; $SE(\beta) = SE(\theta)/|\rho|$ (delta yöntemi). Kaynak: Yazar hesaplamaları.*

Sanayi üretiminin pozitif bileşeninin katsayısı 18.021,28'dir (%5 düzeyinde anlamlı, $p = 0{,}0468$); %1'lik bir artış cari dengede yaklaşık 180 milyon dolarlık bir iyileşmeyle ilişkilidir. Negatif bileşen (13.811,62) anlamsızdır. Döviz kurunun pozitif (6.360,05; $p = 0{,}1476$) ve negatif (−201,51; $p = 0{,}9803$) bileşenleri asimptotik olarak anlamsızdır. Pozitif bileşen için önyüklemeli %95 yüzdelik aralık (1.881; 10.932) sıfırı dışlasa da bu bulguya dayanarak kesin bir yargı verilmemelidir; kurun etkisinin bulunmadığı sonucuna varılmamalı, etki bu çerçevedekesin olarak belirlenememektedir (Kara, 2023). Kısmi toplamlar arasındaki yüksek ilinti (mutlak korelasyon 0,91–0,99) bireysel katsayıların kesinliğini düşürdüğünden asimetri değerlendirmesinde Wald testleri esas alınmıştır.

Tanısal Testler ve Parametre İstikrarı

Tanısal test sonuçları Tablo 5'te özetlenmiştir. Breusch–Godfrey (2 gecikme) ve Ramsey RESET testlerinin olasılık değerleri 0,05'in üzerindedir; seri korelasyon ya da spesifikasyon hatasına dair kanıt bulunmamaktadır. Harvey testi regresörlere bağlı değişen varyansa dair kanıt vermemektedir. Buna karşılık ARCH-LM(4) testi ($F = 4{,}8053$; $p = 0{,}0010$) kalıntı varyansının zaman içinde değiştiğine işaret etmektedir. Jarque–Bera testi kalıntıların normal dağılmadığını göstermektedir.

Tablo 5. Modelin Tanısal Test İstatistikleri

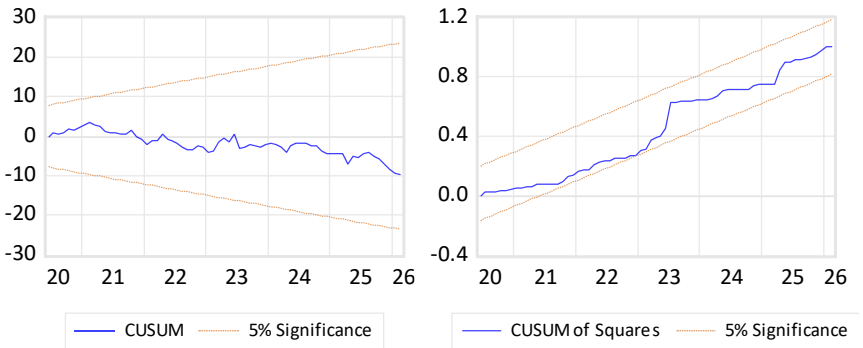
Test	İstatistik	Olasılık	Sonuç
Breusch-Godfrey LM (otokorelasyon, 2 gecikme)	1,9388 (F)	0,1472	Otokorelasyon kanıtı yok
Harvey (değişen varyans)	0,7091 (F)	0,8261	Regresörlere bağlı değişen varyans kanıtı yok
ARCH-LM (zamanla değişen varyans, 4 gecikme)	4,8053 (F)	0,0010***	Zamanla değişen varyans kanıtı var
Ramsey RESET (spesifikasyon)	0,0142 (F)	0,9052	Spesifikasyon hatası kanıtı yok
Jarque-Bera (normallik)	14,1727 (χ^2)	0,0008***	Normallikten sapma var

*Not: ***: %1 anlamlılık. ARCH-LM, kalıntı karelerinin dört gecikmesiyle hesaplanmıştır ($Obs \cdot R^2 = 17{,}8492$). Kaynak: EViews 13; ARCH-LM için yazar hesabı.*

Parametre istikrarı, kukla değişken 2020M05'e kadar sıfır olduğundan 2020M06'dan başlayan özyinelemeli tahminlerle izlenmiştir (Şekil 1). CUSUM istatistiği %5 kritik sınırlar içindedir. CUSUMSQ istatistiği 2022'nin ikinci yarısında alt sınıra yaklaşmakta, 2023 başı ile 2024 sonu–2025 başında sıçramalar göstermekte ancak sınırları aşmamaktadır. Bu nedenle belirgin bir

kararsızlık görülmemekle birlikte 2022–2025 aralığında varyans yapısında kısmi bir değişim olabileceği düşünülmektedir.

Şekil 1. CUSUM (a) ve CUSUMSQ (b) Testi Sonuçları



Not: Kesikli çizgiler %5 düzeyinde kritik sınırları gösterir. Kaynak: Yazar hesaplamaları.

Wald Asimetri Testi Sonuçları

Pozitif ve negatif bileşenlerin farkı Wald testleriyle sınanmıştır (Shin et al., 2014; H_0: simetri); Tablo 6'da özetlenmiştir. İthalat birim değeri için simetri uzun dönemde asimptotik olarak %1 düzeyinde reddedilmekte ($p = 0{,}0098$); önyüklemeli p değeri ($p = 0{,}0285$) ile yalnızca %5 düzeyinde reddedilmektedir. Kısa dönemde simetri reddedilememektedir ($p = 0{,}5804$). Sanayi üretiminde asimetri kısa dönemde belirginleşmekte ($p = 0{,}0024$), uzun dönemde simetri reddedilmemektedir ($p = 0{,}3816$). Döviz kurunda uzun dönem simetrisi reddedilmemekte; kısa dönem testi LUSD için fark terimi bulunmadığından hesaplanamamaktadır (NA). Ortak testlerde hem LIGE_SA ($p = 0{,}0245$) hem LTRIPI_SA ($p = 0{,}0095$) için simetri reddedilmektedir. Buna göre ithalat birim değeri şoklarının etkisi uzun dönemde asimetrik, kısa dönemde simetriktir; sanayi üretiminin kısa dönem asimetrisi ise Nisan–Temmuz 2020 gözlemleri çıkarıldığında ortadan kalkmakta ($p = 0{,}3539$) ve dayanıklı sayılmamalıdır (Tablo 8).

Tablo 6. Katsayı Simetri (Wald) Testi Sonuçları

Dönem	Değişken	İstatistik	Değer	Olasılık	Sonuç
Uzun dönem	LIGE_SA	*F*	6,8245	0,0098***	Asimetrik
	LTRIPI_SA	*F*	0,7695	0,3816	Simetrik
	LUSD	*F*	1,8565	0,1749	Simetrik
Kısa dönem	LIGE_SA	*F*	0,3067	0,5804	Simetrik
	LTRIPI_SA	*F*	9,4737	0,0024***	Asimetrik
	LUSD	*F*	NA	NA	Hesaplanamadı
Ortak	LIGE_SA	*F*	3,7939	0,0245**	Asimetrik
	LTRIPI_SA	*F*	4,7924	0,0095***	Asimetrik

*Not: ***, **: sırasıyla %1 ve %5 anlamlılık. H_0: simetri. NA: LUSD için kısa dönem fark terimi olmadığından hesaplanamamıştır. Ortak: uzun ve kısa dönem kısıtlarının birlikte testi. Kaynak: Yazar hesaplamaları.*

Kısa Dönem Dinamikleri ve Hata Düzeltme Terimi

Kısa dönem katsayıları ve hata düzeltme terimi Tablo 7'de verilmiştir. Hata düzeltme katsayısı (−0,4402; HC1 $t = -5{,}3564$) beklenen yönde ve yüksek ölçüde anlamlıdır: her ay önceki dengesizliğin yaklaşık %44'ü giderilmektedir. Bu hıza göre yarı ömür yaklaşık 1,2 ay, sapmanın %95'inin giderilmesi yaklaşık 5,2 ay, %99'unun giderilmesi yaklaşık 7,9 ay sürmektedir (geometrik uyum varsayımıyla). Önyüklemeli ortanca değer (−0,548) bu hızın daha yüksek olabileceğine işaret ettiğinden verilen süreler tahmin yanlılığına duyarlıdır.

İthalat birim değerinde kısa dönemde yalnızca negatif bileşen anlamlıdır (−21.850,83; $p = 0{,}0361$): %1'lik bir değer düşüşü aynı ay içinde cari dengedeki aylık değişimi yaklaşık 219 milyon dolar artırmakta, ancak bu etki uzun dönemde tersine döndüğünden kalıcı değildir.

Sanayi üretiminde eşzamanlı negatif bileşen (18.463,81; p < 0,01) %1'lik bir daralmada aylık cari denge değişimini yaklaşık

185 milyon dolar azaltır; bir ve üç dönem gecikmeli artış etkileri (−22.011,57; −15.482,13) da azaltıcıdır, iki dönem gecikmeli daralma (−15.676,47) ise artırıcıdır. Bu yapı kısa dönem asimetrisiyle uyumludur; ancak asimetri HC3 kovaryansı altında ($p = 0{,}2201$) ve Nisan–Temmuz 2020 gözlemleri çıkarıldığında ($p = 0{,}3539$) anlamsızdır.

Tablo 7. NARDL Modeli Kısa Dönem ve Hata Düzeltme Sonuçları

Değişken	**Katsayı**	**Std. hata**	***t***	***p***
CAD_SA(−1) (hata düzeltme terimi)	−0,4402	0,0822	−5,3564	0,0000***
ΔCAD_SA(−1)	−0,2944	0,1252	−2,3519	0,0199**
ΔCAD_SA(−2)	−0,1086	0,1016	−1,0683	0,2870
ΔCAD_SA(−3)	0,1119	0,0770	1,4528	0,1482
ΔLIGE_SA^{+}	−12.322,19	10.734,69	−1,1479	0,2527
ΔLIGE_SA^{-}	−21.850,83	10.341,09	−2,1130	0,0361**
ΔLTRIPI_SA^{+}	1.361,71	7.823,07	0,1741	0,8620
ΔLTRIPI_SA^{-}	18.463,81	3.006,91	6,1405	0,0000***
ΔLTRIPI_SA^{+}(−1)	−22.011,57	7.177,13	−3,0669	0,0025***
ΔLTRIPI_SA^{-}(−1)	−5.493,04	6.447,57	−0,8520	0,3955
ΔLTRIPI_SA^{+}(−2)	2.067,98	7.327,55	0,2822	0,7781
ΔLTRIPI_SA^{-}(−2)	−15.676,47	5.167,03	−3,0339	0,0028***
ΔLTRIPI_SA^{+}(−3)	−15.482,13	6.104,67	−2,5361	0,0121**
ΔLTRIPI_SA^{-}(−3)	−1.806,82	6.136,94	−0,2944	0,7688
INF_SA	−67,39	123,51	−0,5456	0,5860
DUM_COVID_KRIZ	−791,32	768,02	−1,0303	0,3044
Sabit (α_0)	−2.411,67	671,33	−3,5923	0,0004***

*Not: ***, **, *: sırasıyla %1, %5 ve %10 anlamlılık. Bağımlı değişken ΔCAD_SA; HC1 standart hatalar. (+)/(−): pozitif/negatif bileşen; parantez içi gecikme. n = 189; R^2 = 0,4800; Durbin–Watson = 2,0100. Kaynak: Yazar hesaplamaları.*

Dinamik Çarpan Analizi

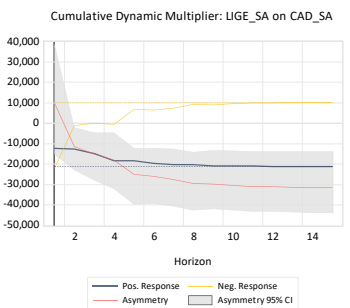
Dinamik çarpanlar, bir birimlik pozitif ve negatif şokun cari denge üzerindeki birikimli etkisinin zamanla değişimini gösterir

(Shin et al., 2014). Şekillerde pozitif ve negatif yanıtlar, bunların farkı olan asimetri eğrisi ve %95 güven aralığı verilmiştir (güven aralıkları EViews çıktısındandır). Dikey eksen, logaritmik değişkende bir birimlik değişime karşılık milyon dolar cinsinden birikimli değişimi gösterir; %1'lik değişim için değerler yüzde biri olarak okunmalıdır. Aşağıdaki değerler katsayılardan yeniden hesaplanmıştır (h, şoktan sonra geçen dönemdir).

Dinamik Çarpanlar: İthalat Birim Değeri (LIGE_SA)

Pozitif yanıt h = 0'da −12.322, h = 8'de −20.823 ve h = 24'te −21.276'dır ve uzun dönem katsayısına (−21.277,18) yakınsar; değerin %98'ine h = 8'de, %99'una h = 11'de ulaşılır. Negatif yanıt h = 0'da −21.851, h = 2'de 159 iken h = 24'te 10.337'ye (katsayı 10.338,46) yükselir. Asimetri eğrisi h = 24'te −31.614'tür ve %95 güven aralığı uzun dönemde sıfırın altında kalır (Şekil 2). Bu görünüm, cari dengenin maliyet artışlarına uzun dönemde duyarlı olduğunu, düşüşlerin ise dengeyi iyileştirmediğini göstermektedir; düşüş bileşeninin %10 düzeyinde anlamlı olması, önyüklemeli aralığın bu bileşen için sıfırı içermesi ve asimetrinin kriz gözlemlerine bağlı görünmesi (Tablo 8) nedeniyle temkinle yorumlanmalıdır.

Şekil 2. İthalat birim değeri (LIGE_SA) için birikimli çarpanlar

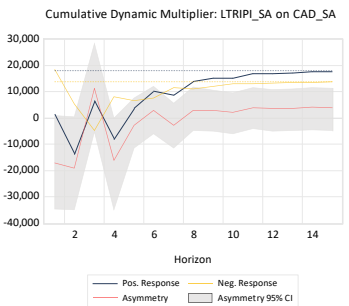


Not: Pos./Neg.: pozitif/negatif şok yanıtı; Asymmetry: iki yanıtın farkı. Kaynak: Yazar hesaplamaları.

Dinamik Çarpanlar: Sanayi Üretimi (LTRIPI_SA)

Pozitif yanıt h = 0'da 1.362, h = 2'de 6.612 ve h = 3'te −8.043 olup h = 8'de 15.175, h = 24'te 18.017'ye (katsayı 18.021,28) yükselir. Negatif yanıt h = 0'da 18.464 iken h = 24'te 13.809'da (katsayı 13.811,62) yerleşir. Asimetri eğrisi ilk üç dönemde −17.102, −19.205 ve 11.322, uzun dönemde 4.208 değerlerini alır; güven aralığı ilk dönemlerde çok geniştir ve uzun dönemde sıfırı kapsar (Şekil 3). Kısa dönemde üretim artışlarının gecikmeli etkisi negatif, uzun dönemde pozitiftir; bu işaret farkının mekanizması bu çalışmada sınanmamıştır ve uzun dönem katsayısı HC3 altında %5 düzeyinde anlamlı değildir (p = 0,0851).

Şekil 3. Sanayi üretimi (LTRIPI_SA) için birikimli çarpanlar

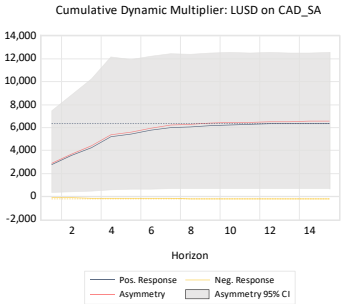


Not: Pos./Neg.: pozitif/negatif şok yanıtı; Asymmetry: iki yanıtın farkı. Kaynak: Yazar hesaplamaları.

Dinamik Çarpanlar: Dolar Kuru (LUSD)

Pozitif kur şoku yanıtı h = 0'da 2.800, h = 8'de 6.190 ve h = 24'te 6.360'tır (katsayı 6.360,05); negatif yanıt tüm ufuklarda −89 ile −202 arasında kalır. Asimetri eğrisinin güven aralığı tüm ufuklarda sıfırın üzerindedir (Şekil 4). Wald testi ise uzun dönemde simetriyi reddetmediğinden (p = 0,1749) kur bileşenindeki asimetri güven aralığına değil Wald testine dayanılarak yorumlanmış ve temkinli sunulmuştur.

Şekil 4. Dolar kuru (LUSD) için birikimli çarpanlar



Not: Pos./Neg.: pozitif/negatif şok yanıtı; Asymmetry: iki yanıtın farkı. Kaynak: Yazar hesaplamaları.

Ek Sağlamlık Kontrolleri

Temel tahminin dayanıklılığı HC3 kovaryansı (MacKinnon & White, 1985), Hannan–Quinn (HQ) ve Schwarz (SC) ölçütleriyle seçilen gecikmeler ile Nisan–Temmuz 2020 ve kriz dönemi (2020M05–2023M05) gözlemlerinin çıkarılmasıyla sınanmıştır (Tablo 8). Kısmi toplamlar tam örneklemden hesaplanmıştır.

Özetle, İthalat birim değerinin uzun dönem asimetrisi HC3, HQ, SC ve Nisan–Temmuz 2020 hariç örneklerde asimptotik olarak %1–%5 düzeyinde anlamlıdır; kriz dönemi hariç örneklemde ise simetri reddedilmemektedir ($p = 0{,}4421$). Eşbütünleşme kanıtı SC modelinde ve kriz dönemi hariç örneklemde zayıflamakta, önyüklemeli sınamada bu iki durumda hiçbir sınama reddedilmemektedir. Sanayi üretiminin kısa dönem asimetrisi Nisan–Temmuz 2020 hariç anlamsızdır; kurda simetri hiçbir kontrolde reddedilmemektedir ($p \geq 0{,}14$). Bu nedenle uzun dönemli asimetri ve eşbütünleşme bulguları pandemi ve kriz dönemine bağlı görünmektedir.

Tablo 8. Temel Bulguların Sağlamlık Kontrolleri

Model / örneklem	*n*	F-sınır	Uzun dönem simetri (*p*)			Kısa dönem (*p*)
			LIGE	LTRIPI	LUSD	LTRIPI
Temel tahmin (HC1)	189	5,0330	0,0098***	0,3816	0,1749	0,0024***
Temel tahmin (HC3)	189	5,0330	0,0247**	0,4563	0,2303	0,2201
HQ modeli	189	4,7220	0,0074***	0,3436	0,2550	0,0027***
SC modeli	189	3,5123	0,0287**	0,5589	0,1400	–
Nisan–Temmuz 2020 hariç	185	5,4159	0,0068***	0,2363	0,1920	0,3539
Kriz dönemi hariç	152	3,1395	0,4421	0,1787	0,2371	0,6923

*Not: Simetri sütunları Wald p değerleridir; ***, **, *: sırasıyla %1, %5 ve %10 anlamlılık. –: SC modelinde kısa dönem terimi yok. Kaynak: Yazar hesaplamaları.*

Sonuç ve Öneriler

Bu çalışma, Türkiye'de cari işlemler dengesinin ithalat birim değer endeksi, sanayi üretimi ve döviz kuru şoklarına asimetrik tepkisini 2010M06–2026M02 verileriyle NARDL yöntemiyle incelemiştir. F-sınır istatistiği asimptotik %1 üst sınırının üzerindedir; ancak önyüklemeli sınamada eşbütünleşme kararı %5 düzeyinde desteklenmekte, tekrarlı önyüklemede bu destek zayıflamaktadır. Hata düzeltme katsayısı (−0,4402) negatif ve anlamlıdır; kısa dönemli sapmaların her ayda yaklaşık %44'ü giderilmektedir.

İthalat birim değer endeksinin uzun dönem pozitif bileşeni cari dengeyi asimptotik olarak %1 düzeyinde bozmakta; asimetri uzun dönemde Wald testiyle saptanmakta ($p = 0,0098$; önyüklemeli $p = 0,0285$ ile %5 düzeyinde), ancak kriz dönemi gözlemleri çıkarıldığında kaybolmaktadır. Döviz kurunun uzun dönem katsayıları asimptotik olarak anlamsızdır; pozitif bileşen için

önyüklemeli aralık sıfırı dışlasa da kesin bir yargı verilmemelidir. Simetri hiçbir kontrolde asimptotik olarak reddedilmemektedir; bu, kurun etkisinin bulunmadığı değil, bu çerçevede kesin olarak belirlenemediği biçiminde yorumlanmalıdır.

Bu çalışmanın bulgularından hareketle aşağıdaki öneriler yazarın değerlendirmesi olarak sunulmaktadır. Öneriler ampirik modelde doğrudan sınanmamış olup bulgulara dayalı yorumlardır ve ilgili literatürle karşılaştırılarak gerekçelendirilmiştir:

1. Yapısal dönüşüm ve ithal girdi ikamesi: Önerimiz, enerji, ara malı ve hammadde kalemlerinde dış bağımlılığın azaltılmasıdır. Cari dengenin ithalat birim değeri artışlarına duyarlılığı bu önerinin başlıca gerekçesidir; bu yöndeki bulgular Aydın (2021) ile Sarıtaş et al. (2018) tarafından da raporlanmıştır. Stratejik ara malı üretimini destekleyen tedbirler tartışılabilir (Dineri & Işık, 2021).
2. Yüksek katma değerli üretim: Önerimiz, üretim yapısının katma değeri yüksek ve ithal girdi yoğunluğu düşük sektörlere doğru evrilmesidir. Bu çalışmada sanayi üretiminin kısa dönem asimetrisi Nisan–Temmuz 2020 hariç anlamlı çıkmamıştır; yine de ithal girdi bağımlılığının yüksek katma değerli üretimin önündeki engellerden biri olduğu Taymaz & Voyvoda (2023) tarafından vurgulanmaktadır. Bu dönüşüm, sanayi üretiminin olası bozucu etkisini azaltabilir.
3. Enerji ve beşeri sermaye: Önerimiz, yenilenebilir enerji ve nitelikli işgücü yatırımlarının uzun dönemde dayanıklılığı destekleyebileceğidir. Enerji ithalatının cari açık değişimindeki payı Sarıtaş et al. (2018) tarafından da gösterilmiştir. Bu öneri çalışmada doğrudan sınanmamıştır.

4. Dinamik enflasyon ve kur yönetimi: Önerimiz, enflasyon tahminlerinde ve kur yönetiminde döviz kuru geçişkenliğinin doğrusal olmadığının dikkate alınmasıdır; bu amaçla doğrusal olmayan modellerin ve şeffaf iletişimin kullanılması değerlendirilebilir. Geçişkenliğin büyük şoklarda arttığı ve doğrusal olmadığı literatürde gösterilmiştir (Öğünç & Özel, 2025; Karaoğlu & Demirel, 2021). Bu öneri, çalışmadaki kur etkisine ilişkin çekinceli bulgulara dayanmaktadır.

Sonuç olarak bulgular, cari açık sorununun yalnızca kur müdahaleleri veya para politikası araçlarıyla çözülemeyeceğini; üretim yapısındaki ithal girdi bağımlılığı gibi yapısal etkenlerin ise ayrıca incelenmesi gerektiğini düşündürmektedir.

Sınırlılıklar: bağımlı değişken toplam cari dengedir ve LIGE_SA genel bir ithalat fiyat endeksidir; ithal girdi kanalı doğrudan ölçülmemiştir. Kısmi toplamlar arasındaki ilinti katsayıların kesinliğini düşürmektedir. Gelecek çalışmalar ithalat fiyatlarını alt kalemlere ayırabilir ve Sam et al. (2019) genişletilmiş sınır testini uygulayabilir.

Kaynakça/References

Akgül, İ., & Özdemir, S. (2014). Modelling and forecasting of Turkey current account imbalance with threshold autoregressive models. *Journal of Business Economics and Finance, 3*(2), 207–232. https://izlik.org/JA96KP52RK

Anderl, C., & Caporale, G. M. (2023). Nonlinearities in the exchange rate pass-through: The role of inflation expectations. *International Economics, 173*, 86–101. https://doi.org/10.1016/j.inteco.2022.10.003

Atil, A., Lahiani, A., & Nguyen, D. K. (2014). Asymmetric and nonlinear pass-through of crude oil prices to gasoline and natural gas prices. *Energy Policy, 65*, 567–573. https://doi.org/10.1016/j.enpol.2013.09.064

Aydın, A. (2021). Türkiye ekonomisinde ithal girdi bağımlılığının analizi. *Akademik Yaklaşımlar Dergisi, 12*(2), 223–249. https://doi.org/10.54688/ayd.876593

Bahmani-Oskooee, M., & Fariditavana, H. (2016). Nonlinear ARDL approach and the J-curve phenomenon. *Open Economies Review, 27*(1), 51–70. https://doi.org/10.1007/s11079-015-9369-5

Banerjee, A., Dolado, J. J., & Mestre, R. (1998). Error-correction mechanism tests for cointegration in a single-equation framework. *Journal of Time Series Analysis, 19*(3), 267–283. https://doi.org/10.1111/1467-9892.00091

Bhat, J. A., & Bhat, S. A. (2022). On the dynamics of exchange rate pass-through: Asymmetric evidence from India. *International Journal of Emerging Markets, 17*(8), 2110–2133. https://doi.org/10.1108/IJOEM-12-2019-1071

Bilgili, F., Kuşkaya, S., Gençoğlu, P., Ünlü, F., & Magazzino, C. (2024). Exchange rate pass-through at high and low frequencies in Turkey: A continuous wavelet transform model approach. *Journal of Economic Structures, 13*, Article 21. https://doi.org/10.1186/s40008-024-00341-2

Brown, R. L., Durbin, J., & Evans, J. M. (1975). Techniques for testing the constancy of regression relationships over time. *Journal of the Royal Statistical Society: Series B (Methodological), 37*(2), 149–163. https://doi.org/10.1111/j.2517-6161.1975.tb01532.x

Cabrero Bravo, A., & Tiana Álvarez, M. A. (2012). The import content of the industrial sectors in Spain. *Economic Bulletin*, April, 81–92. https://repositorio.bde.es/handle/123456789/7915

Dineri, E., & Işık, N. (2021). İthalat bağımlılığı ve Türkiye ekonomisinde imalat sanayi: Hatemi-J asimetrik nedensellik testi. *Gazi İktisat ve İşletme Dergisi, 7*(1), 68–82. https://doi.org/10.30855/gjeb.2021.7.1.005

Eken, A. A., & Yalçın, C. (2026). Reel sektörün yapısal cari işlemler dengesi ve ithal girdi kullanımı. *Başkent Üniversitesi Ticari Bilimler Fakültesi Dergisi, 10*, 61–76. https://izlik.org/JA24PU65PE

Forbes, K., Hjortsoe, I., & Nenova, T. (2020). International evidence on shock-dependent exchange rate pass-through. *IMF Economic Review, 68*(4), 721–763. https://doi.org/10.1057/s41308-020-00124-2

Giuliodori, M. (2004). Nominal shocks and the current account: A structural VAR analysis of 14 OECD countries. *Review of World Economics, 140*(4), 569–591. https://doi.org/10.1007/BF02659615

İnançlı, S., & Akı, A. (2022). Türkiye'de enerji ithalatı ile cari açık ilişkisinin 2010-2019 dönemi için ampirik analizi. *Business &*

Management Studies: An International Journal, 10(1), 120–131. https://doi.org/10.15295/bmij.v10i1.1952

Kara, E. (2023). An empirical investigation on current account balance, inflation, and real exchange rate. *Fiscaoeconomia, 7*(3), 2232–2347. https://doi.org/10.25295/fsecon.1313171

Karaoğlu, N., & Demirel, B. (2021). Asymmetric exchange rate pass-through into inflation in Turkey: A NARDL approach. *Fiscaoeconomia, 5*(3), 845–861. https://doi.org/10.25295/fsecon.925369

Lee, J., & Chinn, M. D. (2006). Current account and real exchange rate dynamics in the G7 countries. *Journal of International Money and Finance, 25*(2), 257–274. https://doi.org/10.1016/j.jimonfin.2005.11.002

MacKinnon, J. G., & White, H. (1985). Some heteroskedasticity-consistent covariance matrix estimators with improved finite sample properties. *Journal of Econometrics, 29*(3), 305–325. https://doi.org/10.1016/0304-4076(85)90158-7

McNown, R., Sam, C. Y., & Goh, S. K. (2018). Bootstrapping the autoregressive distributed lag test for cointegration. *Applied Economics, 50*(13), 1509–1521. https://doi.org/10.1080/00036846.2017.1366643

Obradović, S. (2025). Exchange rate and inflation dynamics: Asymmetric effects in a NARDL framework. *Financial Markets, Institutions and Risks, 9*(1), 30–42. https://doi.org/10.61093/fmir.9(1).30-42.2025

Öğünç, F., & Özel, O. (2025). *Büyük kur şokları ve kur geçişkenliğinde doğrusal olmayan etkiler* (Çalışma Tebliği No. 25/05). Türkiye Cumhuriyet Merkez Bankası.

https://www.tcmb.gov.tr/wps/wcm/connect/TR/TCMB+TR/Main+Menu/Yayinlar/Arastirma+Yayinlari/Calisma+Tebligleri/2025/25-05

Paul, M., & Kumar, R. A. (2021). Import intensity of India's manufactured exports: An industry level analysis. *Indian Economic Review, 56*(1), 67–90. https://doi.org/10.1007/s41775-020-00104-3

Pesaran, M. H., Shin, Y., & Smith, R. J. (2001). Bounds testing approaches to the analysis of level relationships. *Journal of Applied Econometrics, 16*(3), 289–326. https://doi.org/10.1002/jae.616

Sam, C. Y., McNown, R., & Goh, S. K. (2019). An augmented autoregressive distributed lag bounds test for cointegration. *Economic Modelling, 80*, 130–141. https://doi.org/10.1016/j.econmod.2018.11.001

Sarıtaş, H., Genç, A., & Avcı, T. (2018). Türkiye'de enerji ithalatı, cari açık ve büyüme ilişkisi: VAR ve Granger nedensellik analizi. *Ekonomik ve Sosyal Araştırmalar Dergisi, 14*(2), 181–200. https://dergipark.org.tr/tr/pub/esad/article/538611

Shin, Y., Yu, B., & Greenwood-Nimmo, M. (2014). Modelling asymmetric cointegration and dynamic multipliers in a nonlinear ARDL framework. In R. C. Sickles & W. C. Horrace (Eds.), *Festschrift in honor of Peter Schmidt: Econometric methods and applications* (pp. 281–314). Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4899-8008-3_9

Simonyan, S. (2020). Asymmetric exchange rate pass-through to import and export prices for Turkey: A nonlinear autoregressive distributed lag (NARDL) approach. *Asian Academy of Management Journal of Accounting and Finance, 16*(1), 35–44. https://doi.org/10.21315/aamjaf2020.16.1.2

Sümer, A. L., & Peker, O. (2024). The relationship between current account deficit and CBRT policy rates after the 2008 crisis: ARDL and NARDL bounds test approach. *Hacettepe Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 42*(3), 517–535. https://doi.org/10.17065/huniibf.1372660

Şen, B. (2009). *Asymmetric behavior of exchange rate pass through in Turkey* [Yüksek lisans tezi, Bilkent Üniversitesi]. https://hdl.handle.net/11693/15005

Taymaz, E., & Voyvoda, E. (2023). Türkiye ekonomisinde dış ticaret, cari denge ve yapısal dönüşüm. *ODTÜ Gelişme Dergisi, 50*, 29–54. https://hdl.handle.net/11511/104473

BÖLÜM 3

YAPAY ZEKA DESTEKLİ YENİLENEBİLİR ENERJİ YÖNETİMİNİN ENERJİ MALİYETLERİ ÜZERİNDEKİ ETKİSİ

Hasan Alp ÖZEL[1]
Burcu KILINÇ SAVRUL[2]

Giriş

Enerji, modern ekonomik sistemlerin üretim, tüketim, ulaştırma, sanayi, hizmetler ve hanehalkı refahı üzerindeki belirleyici rolü nedeniyle yalnızca teknik bir girdi değil, aynı zamanda makroekonomik istikrarın, rekabet gücünün ve sürdürülebilir kalkınmanın temel unsurlarından biridir. Küresel ölçekte artan enerji talebi, fosil yakıt fiyatlarındaki dalgalanmalar, enerji arz güvenliği riskleri ve iklim değişikliğine bağlı çevresel maliyetler, ülkeleri enerji sistemlerini yeniden yapılandırmaya yöneltmektedir. Bu dönüşüm sürecinde yenilenebilir enerji

[1]Karabük Üniversitesi, İşletme Fakültesi, Aktüerya Bilimleri Bölümü, alpalp78@hotmail.com, Karbük, Türkiye, ORCİD: 0000-0001-7435-7641.
[2]Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, İ.İ.B.F. İktisat Bölümü, kilincburcu@hotmail.com, Çanakkale, Türkiye. ORCİD: https://orcid.org/0000-0001-7114-0084.

kaynakları, düşük karbonlu üretim yapısı ve yakıt maliyeti gerektirmeyen teknolojik özellikleri nedeniyle enerji politikalarının merkezinde yer almaktadır. Bununla birlikte, yenilenebilir enerji dönüşümü yalnızca kurulu gücün artırılması veya fosil yakıtların ikamesiyle sınırlı değildir. Asıl iktisadi mesele, yenilenebilir enerji kaynaklarının enerji sistemine hangi maliyetlerle entegre edildiği, bu maliyetlerin nasıl yönetildiği ve dönüşüm sürecinin toplam enerji maliyetleri üzerindeki etkisinin hangi mekanizmalar aracılığıyla ortaya çıktığıdır.

Son yıllarda güneş ve rüzgar enerjisi teknolojilerinde gözlenen maliyet düşüşleri, yenilenebilir enerji kaynaklarının yeni elektrik üretim yatırımları içinde giderek daha rekabetçi hale gelmesini sağlamıştır. Yenilenebilir enerji teknolojileri üretim maliyeti bakımından önemli bir avantaj elde ettirmektedir. Tabiki üretim maliyetlerindeki bu düşüş, yenilenebilir enerji sistemlerinde toplam maliyet sorununun tamamen ortadan kalktığı anlamına gelmemektedir. Güneş ve rüzgar gibi değişken yenilenebilir enerji kaynaklarının sisteme entegrasyonu; şebeke yatırımları, dengeleme ihtiyacı, enerji depolama, üretim kesintileri, yedek kapasite, piyasa fiyat oynaklığı ve finansman maliyetleri gibi yeni maliyet alanlarını gündeme getirmektedir.

Bu noktada enerji maliyetleri, yalnızca bir elektrik üretim tesisinin birim üretim maliyeti üzerinden değil, sistem ölçeğinde ortaya çıkan çok boyutlu maliyetler üzerinden değerlendirilmelidir. Yenilenebilir enerji tesislerinin düşük marjinal maliyetli olması önemli bir avantaj yaratmakla birlikte, bu kaynakların kesintili ve meteorolojik koşullara bağlı üretim yapısı elektrik sisteminin işletim mantığını değiştirmektedir. Üretim tahminlerindeki sapmalar, talep ile arz arasındaki zamansal uyumsuzluk, iletim kapasitesi kısıtları ve depolama ihtiyacı, yenilenebilir enerji dönüşümünde maliyet etkinliği sorununu daha karmaşık hale getirmektedir. Bu nedenle yenilenebilir enerji maliyetleri; yatırım maliyetleri, finansman

maliyetleri, işletme ve bakım maliyetleri, şebeke bağlantı maliyetleri, dengeleme maliyetleri, depolama maliyetleri ve karbon dışsallıkları ile birlikte ele alınmalıdır.

Yapay zeka destekli enerji yönetimi, bu çok boyutlu maliyet yapısının daha etkin biçimde yönetilebilmesi açısından giderek daha önemli bir araç haline gelmektedir. Yapay zeka; büyük veri, makine öğrenmesi, derin öğrenme, tahminleme algoritmaları, optimizasyon teknikleri ve karar destek sistemleri aracılığıyla enerji üretimi, tüketimi, iletimi, dağıtımı ve piyasa işlemleri arasındaki ilişkileri daha hassas biçimde analiz edebilmektedir. Özellikle güneş ve rüzgar üretim tahminlerinin iyileştirilmesi, talep tarafı yönetimi, enerji depolama sistemlerinin şarj-deşarj optimizasyonu, prediktif bakım, arıza tespiti, şebeke esnekliği ve piyasa teklif stratejileri gibi alanlarda yapay zeka uygulamaları enerji maliyetlerini azaltıcı bir potansiyel taşımaktadır. Yapay zeka enerji üretimi, iletimi ve tüketiminde maliyetleri azaltma, arz güvenliğini artırma, varlık ömrünü uzatma, duruş sürelerini azaltma ve emisyonları düşürme amacıyla kullanılabilinmektedir.

Yapay zekanın enerji maliyetleri üzerindeki rolü, özellikle yenilenebilir enerji sistemlerinin değişken üretim yapısı dikkate alındığında daha belirgin hale gelmektedir. Üretim ve talep tahminlerinin doğruluğundaki artış, sistem operatörlerinin daha düşük işletme rezerviyle çalışmasına, dengeleme maliyetlerinin azalmasına ve yenilenebilir enerji kesintilerinin sınırlandırılmasına katkı sağlayabilmektedir. Bunun yanında prediktif bakım uygulamaları, ekipman arızalarının önceden tespit edilmesini sağlayarak plansız duruşları ve bakım-onarım maliyetlerini azaltabilmektedir. Enerji depolama sistemlerinde yapay zeka destekli optimizasyon ise bataryaların düşük maliyetli üretim fazlası dönemlerde şarj edilmesini, yüksek talep ve yüksek fiyat dönemlerinde ise sisteme enerji vermesini mümkün kılarak depolama yatırımlarının ekonomik etkinliğini artırmaktadır.

Dijitalleşme ve yapay zeka tabanlı çözümler güç sistemlerinde maliyetleri düşürme, düşük maliyetli yenilenebilir enerji kaynaklarının entegrasyonunu kolaylaştırma ve sistem güvenilirliğini artırma potansiyeline sahiptirler.

Yapay zeka destekli yenilenebilir enerji yönetimi, yalnızca teknik performans artışı sağlayan bir uygulama alanı olarak değil, aynı zamanda enerji ekonomisi açısından maliyet azaltıcı bir yönetim mekanizması olarak değerlendirilmelidir. Çünkü enerji maliyetleri, işletmelerin üretim maliyetlerini, hanehalklarının tüketim harcamalarını, kamu politikalarının mali yükünü, enerji ithalatçısı ülkelerde cari dengeyi ve genel fiyat istikrarını doğrudan etkileyen stratejik bir değişkendir. Özellikle enerji ithalatına bağımlı ekonomilerde yenilenebilir enerji kapasitesinin etkin yönetimi, fosil yakıt fiyat şoklarına karşı makroekonomik dayanıklılığı artırabilir. Bununla birlikte, yenilenebilir enerji yatırımlarının maliyet avantajı ancak şebeke entegrasyonu, finansman, depolama, bakım ve piyasa yönetimi alanlarında etkin bir yönetim kapasitesiyle sürdürülebilir hale gelebilmektedir. Bu çerçevede yapay zeka, enerji dönüşümünün yalnızca teknolojik değil, aynı zamanda iktisadi sürdürülebilirliğini güçlendiren bir araç olarak öne çıkmaktadır.

Gelişmekte olan ülkeler açısından konu daha özel bir önem taşımaktadır. Bu ülkelerde enerji talebinin hızlı artması, sanayileşme ve kentleşme süreçlerinin devam etmesi, enerji arz güvenliği ihtiyacının güçlenmesi ve temiz enerji yatırımlarının yüksek sermaye gerektirmesi, yenilenebilir enerji dönüşümünü daha karmaşık bir politika alanı haline getirmektedir. Gelişmekte olan ülkelerde yenilenebilir enerji dönüşümü yalnızca teknoloji maliyetleriyle değil, finansmana erişim, sermaye maliyeti, kur riski, düzenleyici kapasite ve dijital altyapı düzeyiyle birlikte ele alınmalıdır. Dolayısıyla yapay zeka destekli enerji yönetimi, bu ülkelerde sınırlı kaynakların daha etkin kullanılmasına, enerji altyapısının daha verimli işletilmesine ve yenilenebilir enerji

yatırımlarının maliyet etkinliğinin artırılmasına katkı sunabilecek stratejik bir politika bileşenidir.

Çalışma, yapay zeka destekli yenilenebilir enerji yönetiminin enerji maliyetleri üzerindeki rolünü iktisadi bir bakış açısıyla değerlendirmeyi amaçlamaktadır. Çalışmanın temel sorusu, yapay zeka uygulamalarının yenilenebilir enerji sistemlerinde hangi maliyet kanalları üzerinden etkili olduğu ve bu etkinin enerji dönüşümünün ekonomik sürdürülebilirliği açısından ne anlama geldiğidir. Bu doğrultuda çalışmada öncelikle yenilenebilir enerji dönüşümünde maliyet sorunu ele alınmakta; ardından yenilenebilir enerji sistemlerinde maliyet oluşum mekanizmaları açıklanmakta; daha sonra yapay zekanın enerji maliyetlerini azaltma kanalları üretim tahmini, dengeleme, depolama, bakım, şebeke yönetimi ve piyasa kararları açısından incelenmektedir. Son bölümde ise konu gelişmekte olan ülkeler bağlamında değerlendirilerek finansman, altyapı, veri kapasitesi ve politika tasarımı açısından tartışılmaktadır.

Çalışmanın literatüre katkısı; yenilenebilir enerji maliyetlerinin yalnızca seviyelendirilmiş elektrik maliyeti çerçevesinde değil, sistem maliyetleri ve entegrasyon maliyetleri bağlamında da ele alınmasındandır. Yapay zeka uygulamaları mühendislik odaklı teknik bir araç olarak değil, enerji maliyetlerini azaltan iktisadi bir yönetim mekanizması olarak değerlendirilmektedir. Yine çalışmada gelişmekte olan ülkeler açısından finansman maliyeti, şebeke altyapısı, depolama kapasitesi, dijitalleşme açığı ve kurumsal kapasite gibi sınırlılıklar dikkate alınarak yapay zeka destekli enerji yönetiminin uygulanabilirliği tartışılmaktadır. Bu yönüyle çalışma, yenilenebilir enerji dönüşümünün maliyet etkinliğini yapay zeka destekli yönetim perspektifiyle ele alarak enerji ekonomisi literatürüne kavramsal ve politika odaklı bir katkı sunabilmektedir.

Yenilenebilir Enerji Dönüşümünde Maliyet Sorunu

Yenilenebilir enerji dönüşümü, yalnızca çevresel sürdürülebilirlik veya karbon emisyonlarının azaltılması bağlamında değil, aynı zamanda enerji maliyetlerinin yeniden yapılandırılması açısından da kritik bir dönüşüm alanı haline gelmiştir. Fosil yakıtlara dayalı enerji sistemlerinde maliyet yapısı büyük ölçüde yakıt fiyatlarına, ithalat bağımlılığına, jeopolitik risklere ve karbon emisyonu maliyetlerine bağlı olarak şekillenirken; yenilenebilir enerji sistemlerinde maliyet dinamikleri daha çok ilk yatırım maliyeti, finansman koşulları, şebeke entegrasyonu, dengeleme ihtiyacı, depolama kapasitesi ve sistem esnekliği üzerinden belirlenmektedir. Bu nedenle yenilenebilir enerjiye geçiş süreci, yalnızca daha düşük üretim maliyeti arayışı olarak değil, enerji sisteminin bütününde maliyet etkinliğini artırmayı amaçlayan yapısal bir dönüşüm olarak değerlendirilmelidir.

Son yıllarda güneş ve rüzgar enerjisi teknolojilerinde yaşanan maliyet düşüşleri, yenilenebilir enerji kaynaklarının ekonomik rekabet gücünü önemli ölçüde artırmıştır. 2025 yılında güneş fotovoltaik enerjisinin küresel ağırlıklı ortalama seviyelendirilmiş elektrik maliyeti 44 ABD doları/MWh düzeyinde kalırken, kara tipi rüzgar enerjisinde bu maliyet 33 ABD doları/MWh'ye, deniz üstü rüzgar enerjisinde ise 78 ABD doları/MWh'ye gerilemiştir. 2010'dan bu yana güneş fotovoltaik maliyetleri %89, kara tipi rüzgar maliyetleri %71 ve deniz üstü rüzgar maliyetleri %63 oranında düşmüştür (IRENA, 2026, ss. 4-5). Bu gelişme, yenilenebilir enerji kaynaklarını birçok piyasada yeni elektrik üretim kapasitesi için en düşük maliyetli seçeneklerden biri haline getirmiştir. Ancak bu durum, yenilenebilir enerji dönüşümünde maliyet sorununun tamamen ortadan kalktığı anlamına gelmemektedir. Aksine, üretim teknolojilerindeki maliyet

düşüşüyle birlikte maliyet tartışması üretim aşamasından sistem entegrasyonu, finansman ve işletme aşamalarına doğru kaymıştır.

Yenilenebilir enerji kaynaklarının özellikle güneş ve rüzgar gibi değişken üretim yapısına sahip olması, enerji sistemlerinde yeni maliyet kalemleri ortaya çıkarmaktadır. Bu kaynakların üretimi meteorolojik koşullara bağlı olduğu için arz-talep dengesinin sağlanması geleneksel enerji sistemlerine kıyasla daha karmaşık hale gelmektedir. Üretim tahmin hataları, şebeke kısıtları, enerji kesintileri, dengeleme piyasası maliyetleri ve yedek kapasite ihtiyacı, yenilenebilir enerji entegrasyonunun toplam sistem maliyetini artırabilmektedir. Yenilenebilir enerji kapasitesi hızla artmasına rağmen birçok ülkede yetersiz şebeke altyapısı, uzun bağlantı izinleri ve sistem esnekliği eksikliği, yeni güneş ve rüzgar yatırımlarının devreye alınmasını geciktirmektedir (IEA, 2024, s. 39). Bu nedenle yenilenebilir enerji dönüşümünde temel iktisadi sorun yalnızca üretim maliyetlerinin düşürülmesi değil, aynı zamanda değişken üretim yapısından kaynaklanan sistem maliyetlerinin etkin biçimde yönetilmesidir.

Maliyet sorununun bir diğer önemli boyutu finansman maliyetleridir. Yenilenebilir enerji yatırımları çoğunlukla yüksek ilk yatırım maliyetine ve düşük işletme maliyetine sahip sermaye yoğun projelerdir. Bu nedenle sermaye maliyeti, projenin toplam elektrik üretim maliyeti üzerinde belirleyici bir rol oynamaktadır. 2025 yılı itibarıyla yenilenebilir enerji projelerinde teknolojik maliyetlerden ziyade ülke riski, faiz oranları, enflasyon ve finansmana erişim koşulları, maliyet farklılıklarını açıklamada daha etkili olduğu belirlenmiştir. Aynı teknoloji, düşük riskli ve gelişmiş bir piyasada daha ucuz finanse edilebilirken, yüksek riskli gelişmekte olan ekonomilerde daha yüksek seviyelendirilmiş elektrik maliyetine yol açabilmektedir (IRENA, 2026, ss. 8-9). Bu durum, özellikle gelişmekte olan ülkelerde yenilenebilir enerji dönüşümünün

önündeki temel engelin artık teknoloji maliyetinden çok finansman yapısı ve yatırım riskleri olduğunu göstermektedir.

Yenilenebilir enerji dönüşümünde maliyet sorunu ayrıca enerji güvenliği ve dışa bağımlılık açısından da değerlendirilmelidir. Yenilenebilir enerji kaynakları, işletme aşamasında yakıt maliyeti gerektirmediği için fosil yakıt fiyatlarındaki dalgalanmalara karşı ekonomilere daha dayanıklı bir enerji yapısı sunmaktadır. Yenilenebilir enerji kullanımı 2025 yılında küresel ölçekte yaklaşık 480 milyar ABD doları tutarında fosil yakıt maliyetinin önlenmesine katkı sağlamıştır (IRENA, 2026, s. 9). Bu bulgu, yenilenebilir enerji yatırımlarının yalnızca çevresel değil, aynı zamanda makroekonomik maliyet azaltıcı bir işleve sahip olduğunu göstermektedir. Özellikle enerji ithalatçısı ülkelerde yenilenebilir enerji kapasitesinin artırılması; ithal yakıt faturalarının düşürülmesi, cari açık baskısının hafifletilmesi ve enerji fiyat şoklarına karşı ekonomik dayanıklılığın artırılması bakımından stratejik önem taşımaktadır.

Bununla birlikte, yenilenebilir enerji kaynaklarının düşük marjinal maliyetli olması, sistemin otomatik olarak düşük toplam maliyetle işleyeceği anlamına gelmemektedir. Yüksek oranda güneş ve rüzgar enerjisi içeren sistemlerde üretim fazlası dönemlerde enerji kesintileri, düşük veya negatif piyasa fiyatları, iletim darboğazları ve dengeleme maliyetleri ortaya çıkabilmektedir. Bu nedenle yenilenebilir enerji dönüşümünde maliyet sorunu, üretim teknolojisinin ucuzlamasından daha geniş bir çerçevede ele alınmalıdır. Şebeke altyapısının güçlendirilmesi, enerji depolama sistemlerinin yaygınlaştırılması, talep tarafı esnekliğinin artırılması ve gerçek zamanlı enerji yönetimi uygulamalarının geliştirilmesi maliyet etkinliği açısından zorunlu hale gelmektedir.

Bu noktada yapay zeka destekli enerji yönetimi, yenilenebilir enerji dönüşümünde maliyet sorununun azaltılmasına yönelik önemli bir araç olarak öne çıkmaktadır. Yapay zeka; üretim tahmini,

talep tahmini, şebeke optimizasyonu, arıza tespiti, bakım planlaması, enerji depolama yönetimi ve elektrik piyasalarında karar destek süreçlerinde kullanılarak yenilenebilir enerji sistemlerinin daha düşük maliyetle işletilmesine katkı sağlayabilmektedir. Yapay zeka, enerji üretimi, iletimi ve tüketiminde maliyetleri azaltma, arz güvenliğini artırma, varlık ömrünü uzatma, duruş sürelerini azaltma ve emisyonları düşürme gibi çok sayıda amaç için kullanılmaktadır (IEA, 2025, s. 16). Benzer şekilde, yapay zeka ve makine öğrenmesi uygulamaları ile tahminleme, talep yönetimi ve akıllı şebeke yönetimi yoluyla enerji israfı azaltılmakta ve enerji verimliliği arttırılmaktadır (Shahverdi et al., 2025, s. 5551).

Yapay zekanın maliyet azaltıcı rolü özellikle şebeke yönetimi ve dengeleme maliyetleri açısından önemlidir. Değişken yenilenebilir enerji kaynaklarının sisteme entegrasyonunda üretim tahminlerinin doğruluğu arttıkça, dengeleme piyasalarındaki maliyetler, enerji kesintileri ve yedek kapasite ihtiyacı azalabilmektedir. Ayrıca yapay zeka destekli dinamik hat kapasitesi uygulamaları, mevcut iletim altyapısının daha etkin kullanılmasına imkan sağlayarak yeni iletim hattı yatırımı ihtiyacını azaltmaktadır. Dinamik hat kapasitesi uygulamaları dünya genelinde 115-175 GW ilave iletim kapasitesini, yeni hat inşasına kıyasla çok daha düşük maliyetle kullanılabilir hale getirmektedir (IEA, 2025, ss. 134-135). Bu tür uygulamalar, yenilenebilir enerji yatırımlarının yalnızca üretim tarafında değil, şebeke işletimi ve sistem planlaması tarafında da maliyet etkinliğini artırabileceğini göstermektedir.

Sonuç olarak, yenilenebilir enerji dönüşümünde maliyet sorunu çok boyutlu bir iktisadi durumdur. Güneş ve rüzgar enerjisinde üretim maliyetlerinin düşmesi önemli bir avantaj yaratmakla birlikte, finansman maliyetleri, şebeke entegrasyonu, dengeleme ihtiyacı, depolama yatırımları ve sistem esnekliği gibi unsurlar toplam enerji maliyetlerini belirlemeye devam etmektedir. Bu nedenle yenilenebilir enerji dönüşümünün başarısı, yalnızca

kurulu kapasite artışına değil, bu kapasitenin ne ölçüde düşük maliyetle, güvenilir ve verimli biçimde yönetilebildiğine bağlıdır. Yapay zeka destekli yenilenebilir enerji yönetimi bu noktada maliyetleri azaltan, sistem verimliliğini artıran ve yenilenebilir enerji dönüşümünü ekonomik olarak daha sürdürülebilir hale getiren stratejik bir araçtır.

Yenilenebilir Enerji Sistemlerinde Maliyet Oluşum Mekanizmaları

Yenilenebilir enerji sistemlerinde maliyet oluşumu, yalnızca elektrik üretim tesisinin kurulum maliyetiyle açıklanabilecek dar bir alan değildir. Güneş ve rüzgar gibi değişken yenilenebilir enerji kaynaklarında maliyetler; ilk yatırım harcamaları, finansman koşulları, kapasite faktörü, işletme ve bakım giderleri, şebeke bağlantı maliyetleri, dengeleme ihtiyacı, depolama gereksinimi, üretim kesintileri, sistem esnekliği ve karbon dışsallıkları gibi çok sayıda unsurun birlikte etkisiyle oluşmaktadır. Bu nedenle yenilenebilir enerji sistemlerinde maliyet analizi yapılırken yalnızca santral düzeyindeki seviyelendirilmiş elektrik maliyeti değil, sistem düzeyinde ortaya çıkan entegrasyon ve işletim maliyetleri de dikkate alınmalıdır (Hirth et al., 2015, s. 925).

Yenilenebilir enerji sistemlerinde ilk maliyet unsuru, sermaye yoğun yatırım yapısından kaynaklanan kurulum maliyetleridir. Güneş ve rüzgar enerjisi tesislerinde yakıt maliyeti bulunmadığı için toplam maliyetlerin önemli bir bölümü yatırımın başlangıç aşamasında ortaya çıkmaktadır. Panel, türbin, inverter, trafo, bağlantı altyapısı, arazi hazırlığı, mühendislik, izin süreçleri ve inşaat maliyetleri bu kapsamda değerlendirilmektedir. 2010–2024 döneminde yenilenebilir enerji teknolojilerinin toplam kurulum maliyetlerinde önemli düşüşler gerçekleşmiştir. 2024 yılı itibarıyla toplam kurulum maliyeti güneş fotovoltaik sistemlerinde 691 ABD

doları/kW, kara tipi rüzgarda 1.041 ABD doları/kW ve deniz üstü rüzgarda 2.852 ABD doları/kW düzeyine gerilemiştir (IRENA, 2025, s. 4). Bu düşüş, teknolojik öğrenme, ölçek ekonomileri, tedarik zinciri gelişimi ve üretim süreçlerindeki verimlilik artışlarıyla ilişkilidir. Ancak kurulum maliyetlerinin düşmesi, yenilenebilir enerji sistemlerinde toplam maliyet sorununun ortadan kalktığı anlamına gelmemektedir; çünkü değişken üretim yapısı, sistem düzeyinde yeni maliyet kalemleri yaratmaktadır.

İkinci maliyet oluşum mekanizması, seviyelendirilmiş elektrik maliyeti çerçevesinde ortaya çıkar. LCOE, bir elektrik üretim tesisinin ömrü boyunca yaptığı yatırım, işletme, bakım ve finansman giderlerinin toplam elektrik üretimine bölünmesiyle elde edilen bir maliyet göstergesidir. 2024 yılında kara tipi rüzgar enerjisinin küresel ağırlıklı ortalama LCOE değeri 0,034 ABD doları/kWh, güneş fotovoltaik enerjisinin 0,043 ABD doları/kWh ve hidroelektriğin 0,057 ABD doları/kWh düzeyindedir. 2024 yılında yeni devreye alınan büyük ölçekli yenilenebilir enerji kapasitesinin %91'inin en ucuz yeni fosil yakıtlı alternatiften daha düşük maliyetle elektrik ürettiği belirlenmiştir (IRENA, 2025, s. 4). Bu durum, yenilenebilir enerji teknolojilerinin üretim düzeyinde güçlü bir maliyet avantajı kazandığını göstermektedir. Ancak LCOE göstergesi, tek başına sistem entegrasyon maliyetlerini, şebeke kısıtlarını, dengeleme giderlerini ve üretim kesintilerini tam olarak yansıtmaz. Bu nedenle iktisadi analizlerde LCOE'nin yanında toplam sistem maliyetleri de dikkate alınmalıdır.

Yenilenebilir enerji yatırımları yüksek ilk yatırım maliyetine sahip olduğu için sermaye maliyeti, projenin toplam maliyeti üzerinde belirleyici bir rol oynamaktadır. Düşük faiz, güçlü kurumsal yapı ve öngörülebilir gelir mekanizmalarının bulunduğu piyasalarda yenilenebilir enerji yatırımları daha düşük maliyetle finanse edilebilirken; yüksek risk primi, makroekonomik istikrarsızlık ve politika belirsizliği olan ülkelerde aynı teknoloji

daha yüksek LCOE değerlerine yol açabilmektedir. 2024 yılında finansman maliyetleri özellikle yüksek riskli piyasalarda LCOE'nin önemli bir bileşeni haline gelmiştir. Ağırlıklı ortalama sermaye maliyeti Avrupa'da %3,8 iken Afrika'da %12'ye kadar çıkmaktadır. Bu fark, benzer teknolojilerin farklı bölgelerde farklı maliyet yapılarıyla karşılaşmasına neden olmaktadır (IRENA, 2025, s. 13). Bu nedenle yenilenebilir enerji sistemlerinde maliyet oluşumu yalnızca teknolojik değil, aynı zamanda finansal ve kurumsal bir meseledir.

Güneş enerjisi yalnızca güneşlenme koşullarına, rüzgar enerjisi ise rüzgar hızına bağlı olarak üretim yapmaktadır. Bu nedenle üretim profili her zaman elektrik talebiyle örtüşmemektedir. Talebin yüksek olduğu saatlerde üretimin düşük kalması veya üretimin yüksek olduğu saatlerde talebin sınırlı olması, sistem dengesinin sağlanmasını zorlaştırmaktadır. Bu durum, elektrik sisteminde dengeleme maliyetlerinin, yedek kapasite ihtiyacının ve esneklik gereksiniminin artmasına neden olmaktadır. Rüzgar ve güneş enerjisinin sisteme entegrasyonunda maliyetler temel olarak üç kaynaktan doğmaktadır. Zamansal değişkenlik, üretim belirsizliği ve konumsal kısıtlar. Bu maliyetler yüksek yenilenebilir enerji paylarında ihmal edilemeyecek büyüklüğe ulaşabilmektedir (Hirth et al., 2015, ss. 925-926).

Yenilenebilir enerji kaynakları çoğu zaman tüketim merkezlerinden uzak bölgelerde kurulmaktadır. Rüzgar santralleri yüksek rüzgar potansiyeline sahip kıyı, dağlık veya açık deniz alanlarında; güneş santralleri ise yüksek güneşlenme süresine sahip geniş arazilerde yoğunlaşmaktadır. Bu mekansal ayrışma, yeni iletim hatları, trafo merkezleri, dağıtım altyapısı ve şebeke güçlendirme yatırımlarını gerekli kılmaktadır. Elektrik şebekeleri temiz enerji dönüşümünde temel altyapıdır. Ancak yeterli şebeke yatırımı yapılmadığında yenilenebilir enerji projelerinin sisteme bağlanmasını da geciktirebilmektedir. Küresel ölçekte en az 3.000

GW yenilenebilir enerji projesi şebeke bağlantı kuyruğunda beklemekte, bunun 1.500 GW'lık kısmı ileri geliştirme aşamasında bulunmaktadır (IEA, 2023, s. 8). Bu durum, yenilenebilir enerji yatırımlarında maliyetin yalnızca santral yatırımından değil, aynı zamanda bağlantı ve sistem altyapısından da kaynaklandığını göstermektedir.

Yenilenebilir enerji üretiminin yüksek olduğu ancak şebekenin bu elektriği taşıyamadığı durumlarda üretim kısıntısına gidilmekte, yani teknik olarak üretilebilecek elektrik sisteme verilememektedir. Bu durum, yatırımın kapasite kullanım oranını düşürmekte ve birim elektrik maliyetini artırmaktadır. Özellikle yüksek yenilenebilir enerji payına sahip bölgelerde iletim darboğazları, bağlantı kapasitesi yetersizlikleri ve bölgesel arz-talep uyumsuzlukları üretim kesintilerinin temel nedenleri arasında yer almaktadır. Yenilenebilir enerji entegrasyon maliyetleri depolama, iletim altyapısı ve üretim kısıntısı gibi unsurları içermekte; Avustralya örneğinde yüksek değişken yenilenebilir enerji paylarında entegrasyon maliyetleri 0,028–0,032 ABD doları/kWh düzeyinde ek maliyet yaratabilmektedir (IRENA, 2025, s. 12). Bu bulgu, yenilenebilir enerji sistemlerinde üretim maliyeti düşük olsa bile sistem entegrasyonunun ayrıca maliyet doğurduğunu göstermektedir.

Güneş ve rüzgar kaynaklı üretimin zamanlaması her zaman talep yapısıyla uyumlu olmadığı için batarya, pompaj depolamalı hidroelektrik, hidrojen ve diğer uzun süreli depolama teknolojileri giderek daha önemli hale gelmektedir. Depolama sistemleri üretim fazlası dönemlerde elektriğin saklanmasını, talebin yüksek olduğu dönemlerde ise sisteme geri verilmesini sağlayarak yenilenebilir enerji sistemlerinin esnekliğini artırmaktadır. Ancak depolama yatırımları ek sermaye maliyeti oluşturur. Büyük ölçekli batarya enerji depolama sistemlerinin toplam kurulum maliyeti 2010-2024 döneminde %93 düşerek 2.571 ABD doları/kWh seviyesinden 192

ABD doları/kWh seviyesine gerilemiştir (IRENA, 2025, s. 10). Bu düşüş depolamayı daha ekonomik hale getirse de batarya kapasitesi, şarj-deşarj yönetimi, ömür kaybı ve geri dönüşüm maliyetleri toplam sistem maliyetinin önemli bileşenleri olmaya devam etmektedir.

Yenilenebilir enerji tesislerinde yakıt maliyeti bulunmadığı için işletme ve bakım maliyetleri özellikle varlık performansı, arıza riski, ekipman ömrü ve üretim kaybı açısından önem kazanmaktadır. Güneş panellerinde kirlenme, gölgelenme, inverter arızaları ve performans kayıpları; rüzgar türbinlerinde ise mekanik aşınma, kanat hasarı, jeneratör arızası ve plansız duruşlar maliyetleri artırabilmektedir. Yapay zeka uygulamaları enerji üretim tesislerinde işletme ve bakım maliyetlerini azaltıp, varlık ömrünü uzatıp, duruş sürelerini düşürebilmektedir. Yapay zekanın elektrik üretim tesislerinde yaygın kullanımı, 2035'e kadar küresel ölçekte yıllık 110 milyar ABD dolarına kadar potansiyel maliyet tasarrufu sağlayabilecektir. Bunun yaklaşık 40 milyar ABD doları işletme ve bakım maliyetlerindeki azalmadan kaynaklanacaktır (IEA, 2025, ss. 128-129). Bu nedenle işletme ve bakım maliyetleri, yapay zeka destekli yenilenebilir enerji yönetimi açısından en önemli maliyet azaltım alanlarından biridir.

Yenilenebilir enerji teknolojileri; güneş modülleri, rüzgar türbinleri, batarya hücreleri, inverterler, transformatörler, kablolar, nadir metaller ve yarı iletken bileşenler gibi küresel tedarik zincirlerine bağımlıdır. Tedarik zinciri yoğunlaşması, jeopolitik gerilimler, ticaret tarifeleri, lojistik darboğazlar ve kritik maden fiyatlarındaki dalgalanmalar proje maliyetlerini artırabilmektedir. Çin güneş, rüzgar ve batarya tedarik zincirlerinde güçlü maliyet avantajına sahiptir; ancak bu yoğunlaşma jeopolitik riskler ve tedarik kırılganlıklar yaratmaktadır (IRENA, 2025, s. 12). Bu nedenle yenilenebilir enerji sistemlerinde maliyet oluşumu, yalnızca yerel yatırım koşullarından değil, küresel üretim ve ticaret yapısından da etkilenmektedir.

Yenilenebilir enerji projelerinde izin süreçlerinin uzaması, bağlantı onaylarının gecikmesi, ihale mekanizmalarının belirsizliği, geriye dönük düzenleyici değişiklikler ve gelir garantisi eksikliği yatırım riskini artırmaktadır. Bu riskler doğrudan finansman maliyetine yansımakta ve projenin LCOE değerini yükseltmektedir. İstikrarlı gelir mekanizmaları, enerji alım anlaşmaları ve fark sözleşmeleri düşük maliyetli sermayeye erişim açısından önemlidir. Buna karşılık belirsiz ihale süreçleri ve geriye dönük politika değişiklikleri yatırımcı güvenini zedelemektedir (IRENA, 2025, s. 14). Bu nedenle yenilenebilir enerji maliyetleri yalnızca teknoloji fiyatlarının değil, aynı zamanda kurumsal güvenilirliğin, düzenleyici öngörülebilirliğin ve piyasa tasarımının da fonksiyonudur.

Yenilenebilir enerji sistemlerinde maliyet oluşumu karbon ve çevresel dışsallıklar açısından da değerlendirilmelidir. Fosil yakıtlı elektrik üretimi, yakıt maliyetinin yanında karbon emisyonu, hava kirliliği, sağlık harcamaları ve iklim değişikliği kaynaklı toplumsal maliyetler doğurmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının yaygınlaşması bu dışsal maliyetleri azaltma potansiyeline sahiptir. 2024 yılında yenilenebilir enerji üretimi küresel ölçekte yaklaşık 467 milyar ABD doları tutarında fosil yakıt maliyetinin önlenmesine katkı sağlamıştır (IRENA, 2025, s. 4). Yenilenebilir enerji üretimi yalnızca LCOE açısından değil, fosil yakıt çıkarımı, taşınması, yakıt fiyat oynaklığı ve hava kirliliği maliyetlerini azaltması bakımından da daha geniş bir ekonomik değer yaratmaktadır (IRENA, 2025, ss. 14-15). Bu açıdan yenilenebilir enerji sistemlerinin maliyet analizi, yalnızca özel yatırımcı maliyetleriyle değil, toplumsal maliyetler ve uzun dönemli ekonomik dayanıklılık çerçevesinde ele alınmalıdır.

Yenilenebilir enerji sistemlerinde maliyet oluşum mekanizmaları çok katmanlıdır. Santral düzeyinde güneş ve rüzgar teknolojilerinin maliyetleri önemli ölçüde düşmüş olsa da şebeke bağlantısı, dengeleme, depolama, üretim kesintisi, finansman, tedarik zinciri ve politika belirsizliği gibi unsurlar toplam sistem

maliyetlerini belirlemeye devam etmektedir. Bu nedenle yenilenebilir enerji dönüşümünde temel mesele, yalnızca daha ucuz elektrik üretmek değil; değişken yenilenebilir üretimi düşük maliyetli, güvenilir ve esnek biçimde yönetebilen bir enerji sistemi kurmaktır. Yapay zeka destekli enerji yönetimi de bu noktada maliyet oluşum mekanizmalarını daha iyi izleme, tahmin etme ve optimize etme kapasitesi nedeniyle stratejik önem kazanmaktadır.

Yapay Zekanın Enerji Maliyetlerini Azaltma Kanalları

Yapay zeka destekli yenilenebilir enerji yönetimi, enerji maliyetlerini yalnızca üretim aşamasında değil, elektrik sisteminin bütün değer zinciri boyunca azaltma potansiyeline sahiptir. Güneş ve rüzgar gibi değişken yenilenebilir enerji kaynaklarının enerji sistemine entegrasyonu; üretim tahmini, talep yönetimi, dengeleme, şebeke işletimi, depolama, bakım-onarım ve piyasa katılımı gibi çok sayıda karar alanını daha karmaşık hale getirmektedir. Bu karmaşıklık, geleneksel enerji yönetimi yaklaşımlarıyla kontrol edildiğinde dengeleme maliyetleri, üretim kesintileri, yedek kapasite ihtiyacı, bakım maliyetleri ve tüketici fiyatları üzerinde baskı oluşturabilmektedir. Yapay zeka ise büyük veri setlerini işleyebilme, öğrenme, tahminleme, optimizasyon ve otomatik karar destek kapasitesi sayesinde bu maliyet kalemlerinin daha etkin yönetilmesine imkan sağlamaktadır. Dijitalleşme ve yapay zeka tabanlı çözümler elektrik sistemlerinde maliyetleri düşürme, düşük maliyetli yenilenebilir üretim varlıklarının entegrasyonunu kolaylaştırma ve sistem güvenilirliğini artırma potansiyeline sahiptir (IRENA, 2025, ss. 5-6).

Yapay zekanın enerji maliyetlerini azaltmada ilk ve en temel kanalı, yenilenebilir enerji üretim tahminlerinin iyileştirilmesidir. Güneş ve rüzgar enerjisi üretimi meteorolojik koşullara bağlı olduğu için üretimin kısa ve uzun vadede doğru tahmin edilmesi, sistem

maliyetleri açısından kritik öneme sahiptir. Gelişmiş tahminleme sistemleri, tarihsel ve gerçek zamanlı hava verilerini, sensör verilerini, uydu görüntülerini, rüzgar hızı, sıcaklık, nem ve güneş radyasyonu gibi meteorolojik göstergeleri işleyerek daha doğru üretim tahminleri oluşturabilmektedir. Yapay zeka ve büyük veri destekli gelişmiş tahminleme yöntemleri, değişken yenilenebilir enerji üretiminin şebekeye entegrasyonunu kolaylaştırmakta; kısa vadede piyasa tekliflerinin daha doğru yapılmasına, dengesizlik cezalarının azaltılmasına, üretim planlamasının iyileştirilmesine, işletme rezervi ihtiyacının düşürülmesine ve sistem işletiminin daha güvenli yürütülmesine katkı sağlamaktadır (IRENA, 2020, ss. 5-7). Bu nedenle üretim tahmin doğruluğundaki artış, doğrudan dengeleme ve sistem işletim maliyetlerini azaltan bir mekanizma olarak değerlendirilmektedir.

Yenilenebilir enerji üretimindeki belirsizlik arttıkça sistem operatörleri daha fazla yedek kapasite ve dengeleme kaynağı tutmak zorunda kalmaktadır. Bu durum, elektrik sisteminin işletim maliyetlerini artırmaktadır. Yapay zeka destekli üretim ve talep tahminleri, sistem operatörlerinin ihtiyaç duyduğu rezerv miktarını daha doğru belirlemesine yardımcı olur. Böylece gereğinden fazla rezerv tutulmasının önüne geçilmekte ve işletme maliyetleri düşürülebilmektedir. 2025 yılında, Danimarka'da yapay zeka destekli tahminleme uygulamalarının işletme rezervi maliyetlerini %10-15 oranında azalttığı ve tüketiciler için yıllık 9 milyon ABD dolarının üzerinde tasarruf sağladığı belirlenmiştir (IRENA, 2025, s. 6). Bu bulgu, yapay zekanın yalnızca teknik bir tahminleme aracı değil, aynı zamanda enerji maliyetlerini azaltan iktisadi bir yönetim aracı olduğunu göstermektedir.

Yüksek yenilenebilir enerji payına sahip sistemlerde, üretim fazlası dönemlerde şebeke kısıtları nedeniyle güneş ve rüzgar üretiminin kısıtlanması gerekebilmektedir. Bu durum, üreticinin elde edebileceği geliri azaltırken sistemin toplam maliyetini de

yükseltmektedir. Yapay zeka destekli tahminleme ve otomasyon sistemleri, üretim fazlası veya eksikliği durumlarını önceden tahmin ederek şebeke operatörlerinin ve üreticilerin daha etkili karar almasını sağlar. Yapay zeka destekli değişken yenilenebilir enerji tahminleri daha düşük işletme rezervi ihtiyacı, daha etkin üretim dağıtımı, daha az kesinti ve daha düşük dengesizlik cezası yoluyla maliyetleri azaltmaktadır (IRENA, 2025, ss. 31-32). Benzer biçimde, makine öğrenmesi modelleri rüzgar hızı ve güneş radyasyonu gibi yerel hava koşullarını yüksek hassasiyetle tahmin ederek rüzgar ve güneş santrallerinin beklenen üretimini daha doğru hesaplayabilmektedirler (IEA, 2025, s. 123).

Yenilenebilir enerji tesislerinde yakıt maliyeti bulunmadığı için işletme ve bakım maliyetleri, özellikle varlık performansı ve tesis ömrü açısından önem kazanmaktadır. Güneş panellerinde inverter arızaları, panel kirlenmesi, gölgelenme ve performans kaybı; rüzgar türbinlerinde ise kanat hasarı, jeneratör arızası, dişli kutusu problemleri ve plansız duruşlar maliyetleri artırabilmektedir. Yapay zeka destekli prediktif bakım sistemleri, sensörler ve nesnelerin interneti aracılığıyla toplanan gerçek zamanlı verileri analiz ederek ekipman arızalarını oluşmadan önce tahmin edebilir. Bu sayede bakım faaliyetleri rastgele veya periyodik olarak değil, ihtiyaç anına en yakın zamanda ve daha düşük maliyetle planlanabilmektedir. Prediktif bakım uygulamaları arıza riskini tahmin ederek bakım faaliyetlerini zamanında başlatmakta; bu durum da duruş sürelerini azaltarak sistem güvenilirliğini arttırmakta, bakım operasyon giderlerini düşürmektedir (IRENA, 2025, ss. 29-30). Yapay zeka enerji santrallerinde işletme ve bakım maliyetlerini %10'a kadar azaltıp, bu kanaldan yıllık yaklaşık 40 milyar ABD doları tasarruf sağlayabilmektedir (IEA, 2025, s. 127).

Yenilenebilir enerji sistemlerinde batarya ve diğer depolama teknolojileri, üretim fazlası dönemlerde elektriğin saklanması ve talebin yüksek olduğu saatlerde sisteme verilmesi açısından stratejik

öneme sahiptir. Ancak depolama sistemleri yüksek yatırım maliyetine sahiptir ve yanlış yönetildiğinde ekonomik etkinliğini kaybedebilir. Yapay zeka, elektrik fiyatları, talep profili, yenilenebilir üretim tahmini ve batarya durumu gibi değişkenleri birlikte değerlendirerek şarj-deşarj kararlarını optimize edebilir. Böylece bataryalar düşük fiyatlı veya üretim fazlası saatlerde şarj edilip yüksek fiyatlı veya arz açığı olan saatlerde kullanılmaktadır. Bu durum hem sistem dengeleme maliyetlerini hem de tüketici ve üretici düzeyindeki enerji maliyetlerini azaltmaktadır. Yapay zeka destekli sistemler yenilenebilir enerji üretimi, yerel şebeke koşulları ve esnek tüketim davranışlarıyla birlikte çalışarak enerji maliyetlerini düşürmektedir (IRENA, 2025, ss. 25-28).

Enerji maliyetleri yalnızca arz tarafında değil, tüketimin zamanlaması ve esnekliği üzerinden de şekillenmektedir. Yapay zeka destekli enerji yönetim sistemleri, elektrik talebini fiyatların düşük olduğu saatlere kaydırarak tüketicilerin elektrik maliyetlerini düşürmektedir. Özellikle akıllı sayaçlar, akıllı cihazlar, elektrikli araç şarj sistemleri ve bina enerji yönetim sistemleri bu alanda önemli araçlardır. Akıllı şarj sistemleri, gerçek zamanlı şebeke koşulları, yerel yenilenebilir enerji üretimi, fiyat sinyalleri ve kullanıcı tercihlerini dikkate alarak elektrikli araç şarjını optimize edebilmektedir. Bu sistemler, şarjın düşük fiyatlı veya düşük talep dönemlerine kaydırılması yoluyla nihai kullanıcı maliyetlerini azaltabilmekte; ayrıca talep tarafının dengeleme ve yan hizmet piyasalarına katılımı aracılığıyla ek gelir yaratabilmektedir (IRENA, 2025, ss. 26-27). Bu mekanizma, yenilenebilir enerji yönetiminin yalnızca üretici tarafında değil, tüketici davranışı ve piyasa esnekliği üzerinden de maliyet azaltıcı etkiler yaratabileceğini göstermektedir.

Yenilenebilir enerji yatırımları çoğu zaman tüketim merkezlerinden uzak bölgelerde yoğunlaşmakta ve bu durum yeni iletim hattı, trafo merkezi ve şebeke güçlendirme ihtiyacını artırmaktadır. Yapay zeka destekli şebeke yönetimi, mevcut şebeke

kapasitesinin daha etkin kullanılmasına yardımcı olarak yeni altyapı yatırımı ihtiyacını azaltabilir veya erteleyebilir. Bu bağlamda dinamik hat kapasitesi uygulamaları önemlidir. Dinamik hat kapasitesi teknolojisi, iletim hatlarının hava koşullarına bağlı olarak güvenli biçimde daha fazla elektrik taşımasına imkan vermekte; küresel deneyimler, iletim hatlarının yılın yaklaşık %90'ında maksimum nominal kapasitesinin %20-30 üzerinde güvenli biçimde çalışabileceğini göstermektedir (IEA, 2025, s. 132). Yapay zeka, bu ek kapasitenin hangi koşullarda ve nasıl kullanılacağını optimize ederek yenilenebilir enerji kesintilerini azaltmakta ve maliyetli yeni şebeke yatırımlarının bir bölümünü ertelemektedir.

Yenilenebilir enerji üreticileri için piyasa tekliflerinin doğru yapılması, dengesizlik cezalarından kaçınmak ve gelir kaybını azaltmak açısından önemlidir. Yapay zeka destekli sistemler, üretim tahmini, talep tahmini ve fiyat beklentilerini birleştirerek üreticilerin gün öncesi, gün içi ve dengeleme piyasalarında daha doğru karar almasına katkı sağlamaktadırlar. Kısa vadeli yenilenebilir enerji üretim tahminleri üreticilere elektrik piyasalarında daha doğru teklif verme imkanı sağlamakta ve tahmin hatalarından kaynaklanan dengesizlik cezalarını azaltabilmektedir (IRENA, 2020, s. 6). Bu çerçevede yapay zeka, yenilenebilir enerji üreticileri için yalnızca teknik üretim yönetimi değil, aynı zamanda piyasa gelirlerinin korunması ve maliyet risklerinin azaltılması açısından da önemlidir.

Yenilenebilir enerji yatırımlarında yanlış yer seçimi, uygun olmayan kapasite planlaması ve yetersiz şebeke bağlantısı uzun dönemli maliyetleri artırabilmektedir. Yapay zeka, rüzgar ve güneş potansiyeli, arazi koşulları, şebeke bağlantı imkanı, talep merkezlerine uzaklık, fiyat beklentileri ve çevresel kısıtlar gibi çok sayıda değişkeni birlikte analiz ederek daha etkin yatırım kararları alınmasına yardımcı olmaktadır. Yapay zeka yenilenebilir enerji projelerinde ekipman seçimi, panel yönelimi, türbin yerleşimi, destekleyici altyapı planlaması ve proje tasarımı kararlarında da

kullanılmaktadır (IEA, 2025, s. 124). Bu kanal, enerji maliyetlerinin yalnızca işletme döneminde değil, yatırımın planlama ve tasarım aşamasında da azaltılabileceğini göstermektedir.

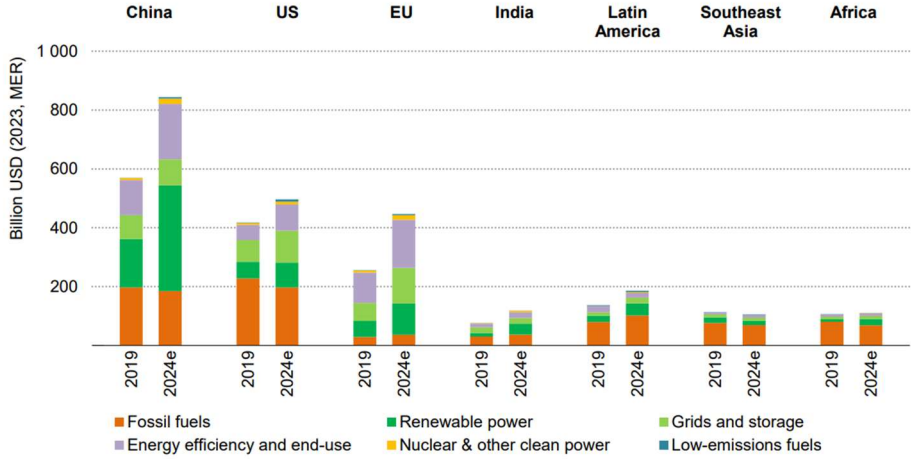
Son olarak yapay zeka, karbon azaltım maliyetlerinin düşürülmesi yoluyla enerji maliyetleri üzerinde dolaylı fakat önemli bir etki yaratmaktadır. Yenilenebilir enerji üretiminin daha yüksek oranda sisteme entegre edilebilmesi, fosil yakıtlı yedek kapasite kullanımını ve buna bağlı yakıt maliyetlerini azaltmaktadır. Aynı zamanda düşük karbonlu üretimin daha etkin yönetilmesi, karbon fiyatı veya emisyon maliyeti bulunan piyasalarda elektrik üreticilerinin maliyet yapısını iyileştirmektedir. Yapay zeka elektrik sistemlerinde yenilenebilir enerji entegrasyonunu kolaylaştırmakta ve enerji santrali işletme süreçlerinde verimlilik artışı sağlayarak yakıt kullanımını ve emisyonları azaltmaktadır (IEA, 2025, ss. 108, 127). Bu yönüyle yapay zeka destekli yenilenebilir enerji yönetimi, hem özel maliyetlerin hem de çevresel dışsallıkların azaltılmasına katkı sunan bir mekanizma olarak değerlendirilebilir.

Yapay zeka enerji maliyetlerini azaltma kanalları birbirinden bağımsız değil, tamamlayıcı niteliktedir. Üretim tahminlerindeki iyileşme dengeleme maliyetlerini azaltırken; talep tarafı yönetimi, depolama optimizasyonu ve şebeke esnekliği bu etkiyi güçlendirmektedir. Prediktif bakım uygulamaları tesis ve şebeke varlıklarının ömrünü uzatırken, piyasa tahminleri ve yatırım planlaması gelir kayıplarını ve sermaye maliyetlerini azaltabilmektedir. Dolayısıyla yapay zeka destekli yenilenebilir enerji yönetimi, enerji maliyetlerini yalnızca tek bir teknik unsur üzerinden değil; üretim, tüketim, şebeke, depolama, bakım, piyasa ve yatırım kararlarını birlikte optimize eden bütünleşik bir iktisadi yönetim aracı olarak ele alınmalıdır.

Gelişmekte Olan Ülkeler Açısından Değerlendirme

Yapay zeka destekli yenilenebilir enerji yönetiminin enerji maliyetleri üzerindeki rolü, gelişmekte olan ülkeler açısından gelişmiş ekonomilere kıyasla daha kritik bir anlam taşımaktadır. Bunun temel nedeni, gelişmekte olan ülkelerde enerji talebinin hızlı nüfus artışı, kentleşme, sanayileşme ve elektrikleşme süreçleriyle birlikte hızla artmasıdır. Bu ülkeler bir yandan artan enerji talebini karşılamak, diğer yandan enerji arz güvenliğini sağlamak, dışa bağımlılığı azaltmak ve enerji maliyetlerini kontrol altında tutmak zorundadır. Bu nedenle yenilenebilir enerji yatırımları gelişmekte olan ülkeler için yalnızca çevresel sürdürülebilirlik aracı değil, aynı zamanda enerji maliyetlerini düşürmeye, cari açık baskısını azaltmaya ve uzun dönemli kalkınma kapasitesini güçlendirmeye yönelik stratejik bir araçtır.

Grafik 1.Seçilmiş Ülke ve Bölgelerde Yıllık Enerji Yatırımları, 2019 ve 2024



Kaynak: IEA, 2024, s. 5.

Grafik, 2019 ve 2024 dönemlerinde seçilmiş ülke ve bölgelerde enerji yatırımlarının hem düzey hem de bileşim

bakımından belirgin biçimde farklılaştığını göstermektedir. Grafik incelendiğinde, enerji yatırımlarının küresel ölçekte büyük ölçüde Çin, ABD ve Avrupa Birliği'nde yoğunlaştığı; Hindistan, Latin Amerika, Güneydoğu Asya ve Afrika gibi gelişmekte olan veya yükselen piyasa bölgelerinde ise yatırım hacminin görece sınırlı kaldığı görülmektedir. Bu durum, enerji dönüşümünün yalnızca teknolojik kapasiteyle değil, aynı zamanda finansman imkanları, sermaye birikimi, yatırım ortamı ve kurumsal kapasiteyle yakından ilişkili olduğunu ortaya koymaktadır.

Çin, 2019-2024 döneminde enerji yatırımlarında en dikkat çekici artışı gösteren ülke konumundadır. Özellikle yenilenebilir enerji, şebeke ve depolama yatırımları ile enerji verimliliği ve nihai kullanım alanlarındaki genişleme, Çin'in enerji dönüşümünde ölçek avantajı elde ettiğini göstermektedir. Buna karşılık ABD ve Avrupa Birliği'nde de enerji yatırımlarının önemli bir düzeyde olduğu görülmekle birlikte, bu bölgelerde yatırım bileşimi daha dengeli bir yapı sergilemektedir. Avrupa Birliği'nde enerji verimliliği ve nihai kullanım yatırımlarının yüksek payı, enerji dönüşümünün yalnızca arz tarafında değil, talep tarafı ve tüketim verimliliği üzerinden de yürütüldüğünü göstermektedir.

Gelişmekte olan bölgeler açısından bakıldığında, Hindistan'da 2019'a kıyasla 2024 yılında enerji yatırımlarında belirli bir artış görülmekte; ancak yatırım hacmi Çin, ABD ve Avrupa Birliği ile karşılaştırıldığında oldukça sınırlı kalmaktadır. Latin Amerika, Güneydoğu Asya ve Afrika'da ise toplam enerji yatırımları düşük düzeyde seyretmekte ve bu bölgelerde fosil yakıt yatırımlarının halen önemli bir paya sahip olduğu görülmektedir. Bu bulgu, gelişmekte olan ülkelerde temiz enerji dönüşümünün önünde yalnızca teknolojiye erişim sorunu olmadığını; aynı zamanda finansman, şebeke altyapısı, depolama kapasitesi ve yatırım ölçeği açısından da ciddi sınırlılıklar bulunduğunu göstermektedir.

Grafik yapay zeka destekli yenilenebilir enerji yönetiminin gelişmekte olan ülkelerde neden stratejik bir araç olarak değerlendirilmesi gerektiğini göstermektedir. Çin, ABD ve Avrupa Birliği gibi büyük yatırım kapasitesine sahip ekonomilerde enerji dönüşümü hem yenilenebilir üretim hem de şebeke, depolama ve verimlilik yatırımlarıyla desteklenirken; gelişmekte olan bölgelerde yatırım hacminin düşük kalması, mevcut enerji altyapısının daha etkin kullanılmasını zorunlu hale getirmektedir. Bu nedenle yapay zeka destekli üretim tahmini, talep yönetimi, şebeke optimizasyonu, depolama planlaması ve prediktif bakım uygulamaları, gelişmekte olan ülkelerde sınırlı yatırım kaynaklarının daha verimli kullanılmasına ve enerji maliyetlerinin azaltılmasına katkı sağlayabilecek önemli mekanizmalar olarak değerlendirilmektedir. Grafik küresel enerji yatırımlarında belirgin bir merkez-çevre ayrışmasına işaret etmektedir. Enerji dönüşümüne yönelik yatırımlar büyük ölçüde gelişmiş ekonomiler ve Çin'de yoğunlaşırken, birçok gelişmekte olan bölgede yatırım açığı devam etmektedir. Bu durum, gelişmekte olan ülkeler açısından yenilenebilir enerji dönüşümünün yalnızca yeni kapasite yatırımı meselesi olmadığını; aynı zamanda maliyet etkinliği, finansmana erişim, şebeke modernizasyonu ve dijital enerji yönetimi kapasitesiyle birlikte ele alınması gerektiğini ortaya koymaktadır.

Tablo 1.Gelir Gruplarına Göre Güç Sistemi Maliyeti ve Yenilenebilir Enerjinin Elektrik Üretimindeki Payı

Ülke Grubu	**Sistem Maliyeti**		**2050 Yenilenebilir Enerji Payı**	
	Baz Senaryo	**Karbonsuzlaşma Senaryosu**	**Baz Senaryo (%)**	**Karbonsuzlaşma Senaryosu (%)**
Yüksek Gelirli Ülkeler	100	109	70	89
Orta Gelirli Ülkeler	109	121	66	86

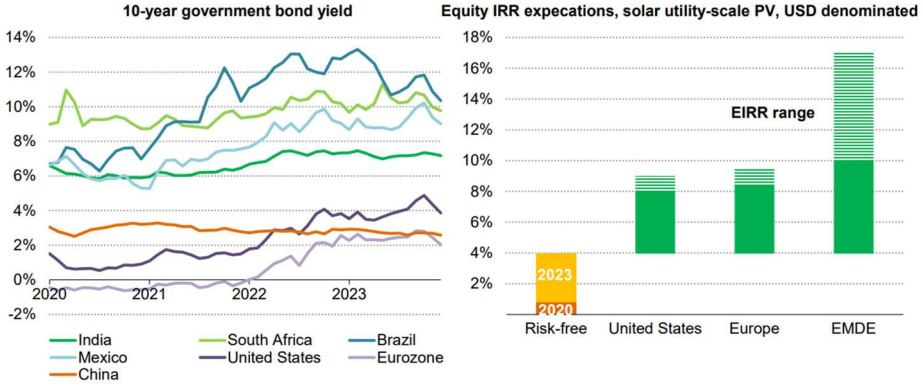
Ülke Grubu	Sistem Maliyeti		2050 Yenilenebilir Enerji Payı	
	Baz Senaryo	Karbonsuzlaşma Senaryosu	Baz Senaryo (%)	Karbonsuzlaşma Senaryosu (%)
Düşük Gelirli Ülkeler	125	140	59	83

Kaynak: World Bank, 2023, s. 7.
Not: Sistem maliyeti yüksek gelirli ülkelerin baz senaryosu 100 kabul edilerek normalize edilmiştir. Tablo, farklı sermaye maliyeti varsayımlarının güç sistemi maliyeti ve yenilenebilir enerji payı üzerindeki etkisini göstermektedir.

Tablo, sermaye maliyetindeki farklılıkların enerji dönüşümünün toplam sistem maliyeti üzerinde belirleyici olduğunu göstermektedir. Düşük gelirli ülkelerde sistem maliyetinin hem baz senaryoda hem de karbonsuzlaşma senaryosunda daha yüksek gerçekleşmesi, enerji dönüşümünün gelişmekte olan ülkeler açısından yalnızca teknolojik değil, aynı zamanda finansal bir sorun olduğunu ortaya koymaktadır.

Gelişmekte olan ülkelerde yenilenebilir enerji dönüşümünün önündeki temel engellerden biri, temiz enerji yatırımlarının sermaye yoğun yapısıdır. Güneş ve rüzgar gibi yenilenebilir enerji teknolojileri işletme aşamasında düşük yakıt maliyeti avantajı sunsa da yatırımın başlangıç aşamasında yüksek sermaye gerektirmektedir. Dünya Bankası'na göre düşük ve orta gelirli ülkelerin, Çin hariç olmak üzere, enerji dönüşümünü gerçekleştirebilmeleri için elektrik sektörü yatırımlarını 2016–2020 dönemindeki yıllık ortalama 240 milyar ABD doları düzeyinden 2030 yılında yaklaşık 1 trilyon ABD dolarına çıkarmaları gerekmektedir (World Bank, 2023, s. 3). Bu durum, gelişmekte olan ülkelerde yenilenebilir enerji dönüşümünün yalnızca teknolojik değil, aynı zamanda finansman yapısı ve sermaye maliyetiyle doğrudan ilişkili bir kalkınma meselesi olduğunu göstermektedir.

Grafik 2.Gelişmekte Olan Ülkelerde Güneş PV Yatırımları İçin Finansman Maliyeti Göstergeleri



Kaynak: IEA, 2024, s. 26.

Not: EMDE, yükselen piyasa ekonomileri ve gelişmekte olan ekonomileri ifade etmektedir. Sol panel 10 yıllık devlet tahvili getirilerini; sağ panel ise ABD doları cinsinden büyük ölçekli güneş PV yatırımları için özsermaye iç getiri oranı beklentilerini göstermektedir.

Grafik, gelişmekte olan ülkelerde güneş fotovoltaik yatırımlarının finansman maliyetleri bakımından gelişmiş ekonomilere kıyasla daha dezavantajlı bir konumda bulunduğunu göstermektedir. Grafiğin sol panelinde yer alan 10 yıllık devlet tahvili getirileri, borçlanma maliyetlerinin ülke grupları arasında önemli ölçüde farklılaştığını ortaya koymaktadır. Brezilya, Güney Afrika, Hindistan ve Meksika gibi yükselen piyasa ekonomilerinde tahvil getirileri ABD, Euro Bölgesi ve Çin'e kıyasla daha yüksek düzeylerde seyretmektedir. Bu durum, söz konusu ülkelerde kamu borçlanma maliyetlerinin ve buna bağlı olarak özel sektör yatırım finansmanının daha pahalı olduğunu göstermektedir. Grafiğin sağ paneli ise büyük ölçekli güneş PV yatırımları için özsermaye iç getiri oranı beklentilerinin gelişmekte olan piyasa ekonomileri ve gelişmekte olan ekonomilerde daha yüksek olduğunu göstermektedir. ABD ve Avrupa'da güneş PV yatırımları için beklenen özsermaye getirisi görece daha düşük ve dar bir aralıkta yer alırken, EMDE grubunda beklenen getiri oranı daha yüksek ve daha

geniş bir bantta gerçekleşmektedir. Bu farklılık, gelişmekte olan ülkelerde yatırımcıların ülke riski, kur riski, düzenleyici belirsizlik, piyasa oynaklığı ve finansmana erişim kısıtları nedeniyle daha yüksek risk primi talep ettiğini göstermektedir.

Bu bilgi, yenilenebilir enerji teknolojilerinde yaşanan maliyet düşüşlerinin tüm ülkelerde aynı yatırım maliyetine dönüşmediğini ortaya koyması bakımından önemlidir. Güneş PV teknolojisinin küresel ölçekte ucuzlamasına rağmen, sermaye maliyetinin yüksek olduğu ülkelerde projelerin toplam maliyeti artmakta ve seviyelendirilmiş elektrik maliyeti yükselmektedir. Dolayısıyla gelişmekte olan ülkelerde yenilenebilir enerji dönüşümünün önündeki temel sorun yalnızca teknoloji maliyeti değil, aynı zamanda finansman maliyeti ve yatırım riskidir.

Grafik, yapay zeka destekli yenilenebilir enerji yönetiminin maliyet azaltıcı rolünü finansman koşullarıyla birlikte düşünme gereğini vurgulamaktadır. Yapay zeka destekli üretim tahmini, şebeke optimizasyonu, depolama yönetimi ve prediktif bakım uygulamaları operasyonel maliyetleri azaltır. Ancak gelişmekte olan ülkelerde yüksek sermaye maliyeti devam ettiği sürece yenilenebilir enerji yatırımlarının toplam maliyeti üzerinde finansman koşulları belirleyici olmaya devam eder. Bu nedenle yapay zeka uygulamaları, enerji maliyetlerini düşürmede tek başına yeterli bir araç olarak değil; düşük maliyetli finansman, düzenleyici öngörülebilirlik, kur riski yönetimi ve yatırım güvenliğiyle birlikte ele alınması gereken tamamlayıcı bir mekanizma olarak değerlendirilmelidir. Gelişmekte olan ülkelerde yenilenebilir enerji yatırımları finansal kırılganlıklara daha duyarlıdır. Yüksek borçlanma maliyetleri ve yüksek özsermaye getirisi beklentileri, güneş PV yatırımlarının maliyet etkinliğini sınırlamakta; bu durum enerji dönüşümünde finansman yapısının en az teknoloji maliyeti kadar belirleyici olduğunu ortaya koymaktadır. Bu çerçevede gelişmekte olan ülkelerde enerji maliyetlerinin azaltılması için yalnızca yenilenebilir enerji kapasitesinin artırılması

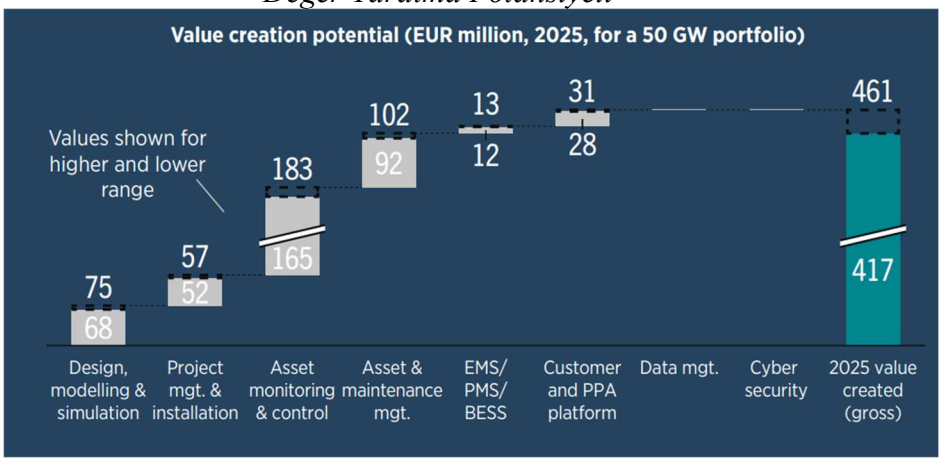
değil, aynı zamanda finansman maliyetlerini düşüren, yatırım risklerini azaltan ve mevcut enerji altyapısını daha verimli kullanan yapay zeka destekli yönetim sistemlerinin geliştirilmesi gerekmektedir.

Gelişmekte olan ülkelerde finansmana erişim ve sermaye maliyeti, yenilenebilir enerji maliyetlerinin belirlenmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Temiz enerji projeleri gelişmiş ekonomilerde daha düşük faiz ve daha düşük risk primiyle finanse edilebilirken, gelişmekte olan ülkelerde ülke riski, kur riski, siyasi belirsizlik, düzenleyici çerçeve eksiklikleri ve zayıf finansal piyasalar yatırım maliyetlerini artırmaktadır. Gelişmekte olan ekonomilerde temiz enerji projeleri için finansman maliyetleri gelişmiş ekonomilere kıyasla en az iki kat yüksektir (IEA, 2024, s. 24). Benzer şekilde, düşük gelirli ülkelerde yüksek sermaye maliyeti yenilenebilir enerji yatırımlarını dezavantajlı hale getirmektedir. Aynı elektrik talebini karşılama, yalnızca sermaye maliyeti farkı nedeniyle düşük gelirli bir ülkede yüksek gelirli bir ülkeye göre %25 daha pahalı olabilmektedir (World Bank, 2023, s. 4). Bu nedenle yapay zeka destekli enerji yönetimi, gelişmekte olan ülkelerde yalnızca operasyonel maliyet azaltımı değil, aynı zamanda sınırlı sermayenin daha etkin kullanılmasını sağlayan bir kaynak tahsis mekanizması olarak değerlendirilmelidir.

Gelişmekte olan ülkelerde enerji maliyetlerinin yüksek olmasının bir diğer nedeni, fosil yakıtlara dayalı üretim yapısı ve ithal enerji bağımlılığıdır. Dünya Bankası, düşük ve orta gelirli ülkelerin, Çin hariç olmak üzere, elektrik üretiminde kullanılan fosil yakıtlar için yıllık yaklaşık 500 milyar ABD doları harcadığını belirtmektedir (World Bank, 2023, s. 3). Bu harcamalar, ithal yakıt fiyatlarındaki dalgalanmalar, döviz kuru oynaklığı ve jeopolitik riskler nedeniyle enerji maliyetlerini artırmakta ve makroekonomik kırılganlık yaratmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynakları yakıt maliyeti gerektirmediği için bu ülkelerde enerji ithalat faturasını

azaltma potansiyeline sahiptir. Ancak yenilenebilir enerjinin bu maliyet avantajının gerçekleşebilmesi, üretimin şebekeye etkin entegrasyonuna, enerji kesintilerinin azaltılmasına, depolama kapasitesinin verimli kullanılmasına ve arz-talep dengesinin doğru yönetilmesine bağlıdır. Bu noktada yapay zeka, yenilenebilir enerji sistemlerinin daha düşük maliyetle işletilmesini sağlayan önemli bir yönetim aracı haline gelmektedir.

Grafik 3.Dijitalleşmenin Yenilenebilir Enerji Geliştiricileri İçin Değer Yaratma Potansiyeli



Kaynak: IRENA, 2025, s. 21.
Not: Değerler 50 GW büyüklüğünde bir yenilenebilir enerji portföyü altında milyon Avro cinsinden verilmiştir. Kesikli çizgiler ilgili kalemler için alt ve üst değer aralıklarını göstermektedir.

Grafik, dijitalleşme ve yapay zeka tabanlı uygulamaların yenilenebilir enerji geliştiricileri açısından değer yaratma potansiyelini proje yaşam döngüsünün farklı aşamaları itibarıyla göstermektedir. 2025 yılı için 50 GW büyüklüğünde bir yenilenebilir enerji portföyü varsayımı altında dijital çözümlerin toplam brüt değer yaratma potansiyeli yaklaşık 417-461 milyon Avro aralığındadır. Bu bulgu, dijitalleşmenin yenilenebilir enerji sektöründe yalnızca teknik bir destek aracı olmadığını; yatırım

planlama, kurulum, varlık izleme, bakım yönetimi, enerji yönetim sistemleri ve müşteri sözleşmeleri gibi çok sayıda alanda doğrudan ekonomik değer üreten bir mekanizma olduğunu göstermektedir. En yüksek değer yaratma potansiyeli varlık izleme ve kontrol alanında yoğunlaşmıştır. Bu alandaki potansiyel katkı 165-183 milyon Avro aralığında gerçekleşmektedir. Bu sonuç, yenilenebilir enerji tesislerinde gerçek zamanlı izleme, performans analizi, üretim sapmalarının tespiti ve operasyonel kontrol süreçlerinin maliyet etkinliği açısından merkezi bir konumda bulunduğunu göstermektedir. Güneş ve rüzgar santrallerinde üretim performansının sürekli izlenmesi, ekipman verimsizliklerinin erken tespit edilmesi ve üretim kayıplarının azaltılması, enerji maliyetlerinin düşürülmesine doğrudan katkı sağlayabilmektedir.

Grafikte varlık ve bakım yönetimi alanı için 92-102 milyon Avro aralığında bir değer yaratma potansiyeli gösterilmektedir. Bu bilgi, yapay zeka destekli prediktif bakım uygulamalarının yenilenebilir enerji maliyetleri üzerindeki rolünü güçlendirmektedir. Çünkü bakım faaliyetlerinin arıza gerçekleştikten sonra değil, arıza ihtimali ortaya çıkmadan önce planlanması; plansız duruşların, üretim kayıplarının, bakım-onarım giderlerinin ve ekipman ömrü kayıplarının azaltılmasına imkan vermektedir. Bu nedenle bakım yönetimi, yenilenebilir enerji sistemlerinde işletme maliyetlerini azaltan temel kanallardan biridir. Grafikte tasarım, modelleme ve simülasyon alanında 68-75 milyon Avro; proje yönetimi ve kurulum alanında ise 52-57 milyon Avro düzeyinde değer yaratma potansiyeli görülmektedir. Bu alanlar, yapay zeka ve dijitalleşmenin yalnızca işletme döneminde değil, yatırımın planlama ve kurulum aşamalarında da maliyet azaltıcı işlev üstlendiğini göstermektedir. Daha doğru saha seçimi, kapasite planlaması, üretim simülasyonu, türbin veya panel yerleşimi, inşaat süreci optimizasyonu ve proje gecikmelerinin azaltılması, toplam yatırım maliyetlerinin düşürülmesine katkı sağlar. Bu yönüyle dijitalleşme, yenilenebilir

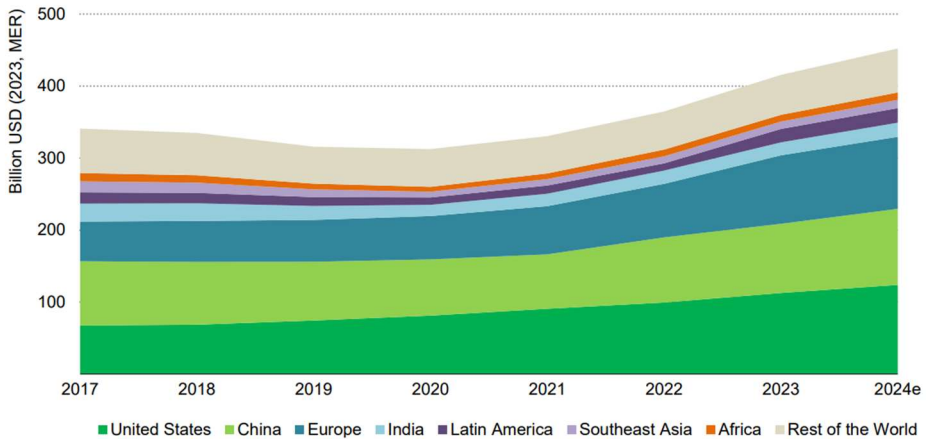
enerji projelerinde sermaye maliyetinin daha etkin kullanılmasını destekleyen bir araçtır.

Enerji yönetim sistemleri, portföy yönetim sistemleri ve batarya enerji depolama sistemleri alanında değer yaratma potansiyeli 12-13 milyon Avro düzeyinde; müşteri ve enerji alım anlaşması platformlarında ise 28-31 milyon Avro aralığındadır. Bu değerler, varlık izleme ve bakım yönetimi alanlarına kıyasla daha düşük olmakla birlikte, enerji piyasası katılımı, sözleşme yönetimi, depolama optimizasyonu ve müşteri ilişkileri açısından tamamlayıcı niteliktedir. Özellikle yenilenebilir enerji üretiminin fiyat oynaklığına, dengesizlik maliyetlerine ve sözleşme risklerine açık olduğu piyasalarda bu tür dijital platformlar gelir kayıplarını azaltır ve maliyet yönetimini güçlendirir.

Grafikte veri yönetimi ve siber güvenlik ayrı bir parasal katkı kalemi olarak sayısallaştırılmamakta; ancak bu iki alan dijital değer yaratma sürecinin tamamlayıcı altyapısı olarak konumlanmaktadır. Yapay zeka destekli enerji yönetiminin etkinliği, büyük ölçüde veri kalitesi, veri erişilebilirliği, sistemler arası entegrasyon ve siber güvenlik kapasitesine bağlıdır. Veri yönetimi zayıf olan veya siber güvenlik riskleri yüksek olan enerji sistemlerinde dijitalleşmenin beklenen maliyet azaltıcı etkisi sınırlıdır. Yapay zeka ve dijitalleşmenin yenilenebilir enerji maliyetlerini azaltma etkisi tek bir kanal üzerinden değil, proje yaşam döngüsünün tamamına yayılan çok boyutlu bir mekanizma aracılığıyla ortaya çıkmaktadır. En yüksek ekonomik katkının varlık izleme, kontrol ve bakım yönetimi alanlarında yoğunlaşması, yapay zeka destekli yenilenebilir enerji yönetiminin özellikle işletme maliyetleri, üretim kayıpları ve varlık performansı üzerinde güçlü bir maliyet azaltıcı potansiyele sahip olduğunu ortaya koyar. Yapay zeka destekli yenilenebilir enerji yönetimi, yenilenebilir enerji sistemlerinde yalnızca teknik verimliliği değil, aynı zamanda maliyet etkinliğini ve ekonomik sürdürülebilirliği artıran stratejik bir yönetim aracıdır.

Yapay zeka destekli enerji yönetimi, gelişmekte olan ülkelerde özellikle üretim tahmini ve sistem dengeleme maliyetleri açısından önemli fırsatlar sunmaktadır. Güneş ve rüzgar enerjisi meteorolojik koşullara bağlı olduğu için üretim tahminindeki hatalar dengeleme maliyetlerini, yedek kapasite ihtiyacını ve üretim kesintilerini artırabilmektedir. Dijitalleşme ve yapay zeka tabanlı çözümler güç sistemlerinde maliyetleri azaltabilmekte, düşük maliyetli yenilenebilir enerji kaynakları entegrasyonu kolaylaştırabilmekte ve sistem güvenilirliğini artırabilmektedir. Gelişmiş tahminleme uygulamaları rezerv ihtiyacını ve yenilenebilir enerji kesintilerini azaltarak sistem maliyetlerini düşürmektedir. Amerika Birleşik Devletleri ve Kanada'daki bir pilot uygulamada olasılıksal güneş tahminlerinin rezerv tedarik maliyetlerinde %10-25 aralığında tasarruf sağladığı ortaya çıkmıştır (IRENA, 2025, s. 5-15). Bu tür maliyet azaltım mekanizmaları, enerji arz güvenliği ve finansman imkanları sınırlı olan gelişmekte olan ülkeler için daha yüksek değer taşımaktadır.

Grafik 4. Bölgelere Göre Şebeke ve Enerji Depolama Yatırımları, 2017–2024



Kaynak: IEA, 2024, s. 7.
Not: Yatırım tutarları 2023 fiyatlarıyla milyar ABD doları cinsindendir.

Grafik, 2017-2024 döneminde şebeke ve enerji depolama yatırımlarının küresel ölçekte artış eğilimine girdiğini göstermektedir. 2017-2020 döneminde toplam yatırım hacminde sınırlı bir gerileme ve yataylaşma görülürken, 2021 sonrasında belirgin bir artış yaşanmıştır. Bu yükseliş, yenilenebilir enerji kapasitesindeki hızlı büyümenin yalnızca üretim yatırımlarıyla sürdürülemeyeceğini; aynı zamanda iletim, dağıtım ve depolama altyapısının da güçlendirilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır. Enerji dönüşümünün maliyet yapısı üretim tesislerinden şebeke ve esneklik yatırımlarına doğru genişlemektedir. Bölgesel dağılım incelendiğinde, şebeke ve depolama yatırımlarının büyük ölçüde Amerika Birleşik Devletleri, Çin ve Avrupa'da yoğunlaştığı görülmektedir. Bu üç bölge, dönem boyunca toplam yatırımlar içinde en yüksek paya sahip olmuştur. Özellikle 2021 sonrasında Çin ve Amerika Birleşik Devletleri'nde yatırım hacminin belirgin biçimde arttığı, Avrupa'nın da yüksek düzeyde katkı sunduğu görülmektedir. Bu durum, gelişmiş ekonomiler ve Çin'in yenilenebilir enerji entegrasyonunu destekleyecek tamamlayıcı altyapı yatırımlarında daha güçlü bir finansman ve uygulama kapasitesine sahip olduğunu göstermektedir. Buna karşılık Hindistan, Latin Amerika, Güneydoğu Asya ve Afrika'nın grafikteki payı oldukça sınırlı kalmaktadır. Bu bilgi, gelişmekte olan bölgelerde yenilenebilir enerji dönüşümünün önünde yalnızca üretim kapasitesi yatırımı açısından değil, şebeke modernizasyonu ve depolama altyapısı açısından da önemli bir yatırım açığı bulunduğunu göstermektedir. Şebeke ve depolama yatırımlarının yetersiz kalması, yenilenebilir enerji kaynaklarının sisteme entegrasyonunu zorlaştırmakta; üretim kesintileri, iletim darboğazları, dengeleme maliyetleri ve arz-talep uyumsuzlukları gibi maliyet kalemlerini artırabilmektedir.

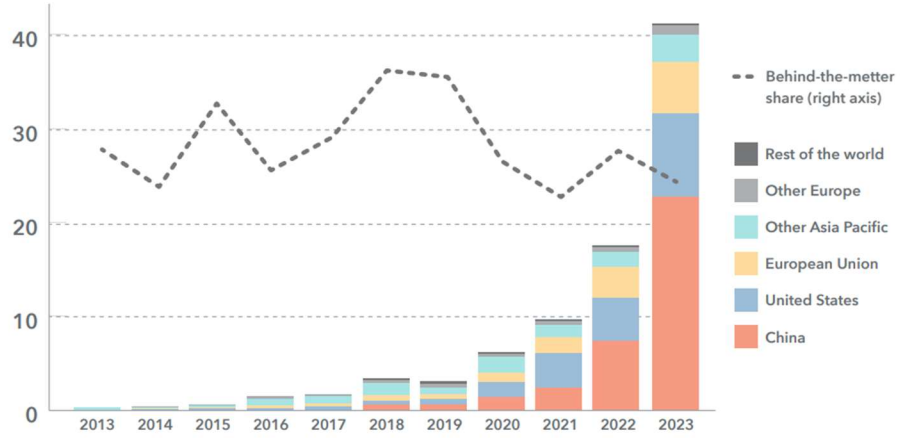
Yenilenebilir enerji sistemlerinde maliyetlerin azaltılabilmesi için şebeke kapasitesinin, depolama imkanlarının ve

sistem esnekliğinin etkin yönetilmesi gerekmektedir. Yapay zeka destekli yük tahmini, dinamik şebeke yönetimi, enerji depolama optimizasyonu, arıza tespiti ve talep tarafı yönetimi uygulamaları, özellikle yatırım kapasitesi sınırlı olan gelişmekte olan ülkelerde mevcut altyapıdan daha yüksek verim elde edilmesine katkı sağlar. Yapay zeka fiziksel altyapı yatırımlarının yerine geçemez; yapay zeka mevcut şebeke ve depolama kapasitesinin daha etkin kullanılmasını sağlar. Ancak yetersiz iletim hatları, sınırlı depolama kapasitesi ve eski dağıtım altyapısı gibi yapısal sorunların çözümü için doğrudan altyapı yatırımları da gereklidir. Bu nedenle gelişmekte olan ülkelerde enerji maliyetlerinin azaltılması, yapay zeka destekli dijital enerji yönetimi ile şebeke ve depolama yatırımlarının birlikte ele alınmasına bağlıdır. Yenilenebilir enerji dönüşümünde maliyet etkinliği yalnızca düşük maliyetli güneş ve rüzgar üretimiyle sağlanamaz. Şebeke ve depolama yatırımları, yenilenebilir enerji kaynaklarının güvenilir, esnek ve düşük maliyetli biçimde sisteme entegre edilmesi için tamamlayıcı altyapı niteliğindedir. Bu nedenle şebeke ve depolama yatırımlarında geri kalan gelişmekte olan ülkeler açısından yapay zeka destekli enerji yönetimi, mevcut kaynakların daha verimli kullanılmasını sağlayan stratejik bir araç olarak değerlendirilir.

Grafik, şebeke ve enerji depolama yatırımlarının bölgesel dağılımında belirgin bir asimetri bulunduğunu göstermektedir. Gelişmiş ekonomiler ve Çin'de şebeke ve depolama yatırımları daha yüksek düzeyde gerçekleşirken, birçok gelişmekte olan bölgede bu yatırımlar sınırlı kalmaktadır. Bu durum, gelişmekte olan ülkelerde yapay zeka destekli şebeke yönetimi, yük tahmini, kayıp-kaçak analizi ve dinamik kapasite yönetimi gibi uygulamaların mevcut altyapıdan daha yüksek verim elde edilmesi açısından önemini artırmaktadır. Gelişmekte olan ülkeler açısından yapay zeka destekli enerji yönetiminin bir diğer önemli katkısı, mevcut şebeke altyapısının daha verimli kullanılmasını sağlamasıdır. Birçok

gelişmekte olan ülkede elektrik şebekeleri eski, yetersiz ve yüksek kayıp oranlarına sahiptir. Ayrıca yenilenebilir enerji yatırımları çoğu zaman tüketim merkezlerinden uzak bölgelerde yoğunlaştığı için iletim ve dağıtım altyapısının güçlendirilmesi gerekmektedir. Gelişmiş ekonomiler ve Çin küresel şebeke harcamalarının yaklaşık %80'ini gerçekleştirmektedir, diğer gelişmekte olan ülkelerde ise şebeke yatırımları küresel ortalamanın gerisinde kalmaktadır (IEA, 2024, s. 81). Bu nedenle gelişmekte olan ülkelerde yapay zeka destekli şebeke izleme, arıza tespiti, yük tahmini, kayıp-kaçak analizi ve dinamik kapasite yönetimi uygulamaları, yeni yatırım ihtiyacını tamamen ortadan kaldırmasa da mevcut altyapının daha verimli kullanılmasına ve birim enerji maliyetlerinin düşürülmesine katkı sağlamaktadır.

Grafik 5.Batarya Depolama Kapasite Artışlarının Küresel Dağılımı



Kaynak: Clean Energy Ministerial, 2024, s. 15.
Not: Kesikli çizgi, sayaç arkası depolama sistemlerinin toplam batarya depolama kapasite artışları içindeki payını göstermektedir.

Grafik 2013-2023 döneminde batarya depolama kapasite artışlarının küresel ölçekte hızlandığını ve bu artışın özellikle 2020 sonrasında belirgin bir ivme kazandığını göstermektedir. 2013-2017

döneminde batarya depolama kapasite artışları oldukça sınırlı kalmış; 2018 sonrasında yükseliş eğilimi başlamıştır. 2021, 2022 ve özellikle 2023 yıllarında ise kapasite artışlarının keskin biçimde hızlandığı görülmektedir. Bu gelişme, yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik sistemindeki payının artmasıyla birlikte enerji depolama teknolojilerinin sistem esnekliği, arz-talep dengesi ve yenilenebilir enerji entegrasyonu açısından stratejik bir unsur haline geldiğini göstermektedir. Bölgesel dağılım açısından bakıldığında, batarya depolama kapasite artışlarının büyük ölçüde Çin, Amerika Birleşik Devletleri ve Avrupa Birliği'nde yoğunlaştığı görülmektedir. Özellikle 2023 yılında Çin'in batarya depolama kapasite artışlarında en yüksek paya sahip olması, ülkenin yalnızca yenilenebilir enerji üretiminde değil, aynı zamanda enerji depolama ve sistem esnekliği yatırımlarında da güçlü bir ölçek avantajı elde ettiğini göstermektedir. Amerika Birleşik Devletleri ve Avrupa Birliği de batarya depolama yatırımlarında önemli paya sahip olmakla birlikte, küresel artışın ağırlıklı olarak sınırlı sayıda büyük ekonomi tarafından sürüklendiği anlaşılmaktadır.

Grafikte dünyanın geri kalanı kategorisinin toplam içindeki payının görece sınırlı kalması, gelişmekte olan ülkeler açısından önemli bir politika sorununa işaret etmektedir. Yenilenebilir enerji kapasitesinin artırılması, tek başına enerji dönüşümünün maliyet etkin biçimde gerçekleşmesini garanti etmemektedir. Güneş ve rüzgar gibi değişken yenilenebilir enerji kaynaklarının etkin biçimde sisteme entegre edilebilmesi için depolama kapasitesinin de eş zamanlı olarak geliştirilmesi gerekmektedir. Depolama altyapısının yetersiz olduğu ülkelerde üretim fazlası dönemlerde enerji kesintileri, arz açığı dönemlerde fosil yakıtlı yedek kapasite ihtiyacı ve daha yüksek dengeleme maliyetleri ortaya çıkabilmektedir.

Grafikte yer alan kesikli çizgi, sayaç arkası depolama sistemlerinin toplam batarya depolama kapasite artışları içindeki payını göstermektedir. Bu payın yıllar itibarıyla dalgalı bir seyir

izlemesi, batarya depolama piyasasının yalnızca büyük ölçekli şebeke tipi yatırımlardan değil, aynı zamanda hanehalkı, ticari işletme ve sanayi tesisleri düzeyindeki dağıtık depolama uygulamalarından da etkilendiğini göstermektedir. Ancak son yıllarda toplam kapasite artışının hızlanması, özellikle büyük ölçekli şebeke bağlantılı batarya sistemlerinin enerji piyasalarında daha merkezi bir rol üstlenmeye başladığını düşündürmektedir. Yapay zeka destekli yenilenebilir enerji yönetiminin depolama sistemleriyle olan ilişkisi önemlidir. Batarya depolama sistemleri yüksek yatırım maliyetine sahip olduğu için bu sistemlerin ne zaman şarj edileceği, ne zaman deşarj edileceği, hangi piyasa koşullarında kullanılacağı ve hangi yenilenebilir üretim profiliyle entegre edileceği maliyet etkinliği açısından kritik öneme sahiptir. Yapay zeka destekli enerji yönetimi, üretim tahmini, talep tahmini, elektrik fiyat beklentileri ve batarya durumunu birlikte analiz ederek depolama sistemlerinin daha verimli kullanılmasına katkı sağlar. Bu yolla hem yenilenebilir enerji kesintileri azaltılır hem de dengeleme maliyetleri ve fosil yakıtlı yedek kapasite ihtiyacı sınırlandırılır.

Gelişmekte olan ülkeler açısından sonuç, batarya depolama kapasite artışlarının küresel ölçekte hızlanmasına rağmen bu artışın eşit dağılmadığıdır. Çin, ABD ve Avrupa Birliği'nin depolama yatırımlarında belirgin üstünlüğe sahip olması, gelişmekte olan ülkelerde yenilenebilir enerji entegrasyon maliyetlerinin daha yüksek kalabileceğini göstermektedir. Bu nedenle söz konusu ülkelerde yapay zeka destekli depolama optimizasyonu, sınırlı batarya kapasitesinden daha yüksek ekonomik verim elde etmek için önemli bir araç haline gelmektedir. Ancak yapay zeka, fiziksel depolama yatırımlarının yerine geçemez; yalnızca mevcut ve yeni kurulacak depolama kapasitesinin daha etkin kullanılmasını sağlayabilir. Yenilenebilir enerji dönüşümünde batarya depolama kapasitesi giderek daha merkezi bir maliyet unsuru haline gelmektedir. Depolama yatırımlarının yetersiz olduğu ülkelerde

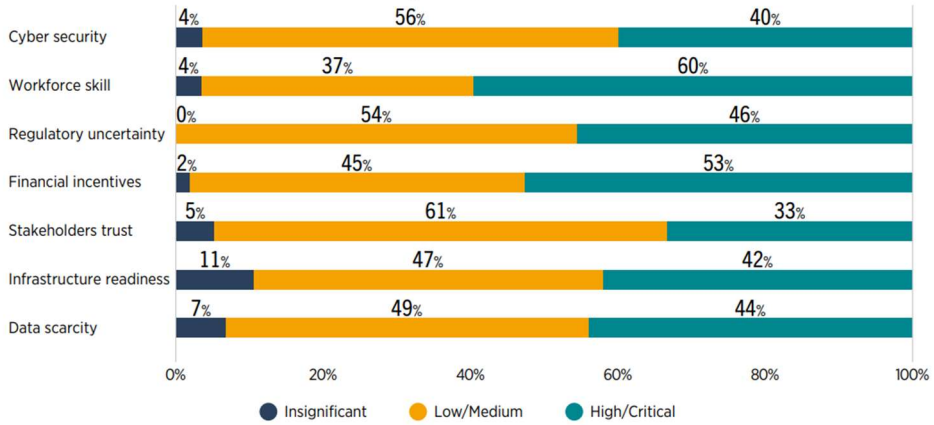
yenilenebilir enerji üretiminin sisteme entegrasyonu daha maliyetli ve daha kırılgandır. Bu nedenle enerji maliyetlerinin azaltılması için yenilenebilir enerji üretim yatırımları, batarya depolama altyapısı ve yapay zeka destekli enerji yönetim sistemleri birlikte değerlendirilmelidir.

Enerji depolama sistemleri gelişmekte olan ülkelerde yenilenebilir enerji maliyetlerinin yönetilmesi bakımından stratejik önemdedir. Ancak batarya depolama yatırımları küresel ölçekte oldukça dengesiz dağılmaktadır. 2023 yılında batarya depolama yatırımlarının %90'ı Çin, Amerika Birleşik Devletleri ve Avrupa'da yoğunlaşmış; gelişmiş ekonomiler ve Çin'de batarya depolamaya yatırılan her 1 ABD dolarına karşılık, diğer gelişmekte olan ülkelerde yalnızca 1 sent yatırım yapılmıştır (IEA, 2024, s. 82). Bu dengesizlik, gelişmekte olan ülkelerde yenilenebilir enerji entegrasyon maliyetlerini artırmakta ve sistem esnekliğini sınırlamaktadır. Yapay zeka destekli şarj-deşarj optimizasyonu, sınırlı depolama kapasitesinin daha verimli kullanılmasını sağlayarak bu ülkelerde depolama yatırımlarının ekonomik getirisini arttırmaktadır. Böylece enerji depolama sistemleri yalnızca teknik bir dengeleme aracı değil, aynı zamanda maliyet azaltıcı bir araç olarak değerlendirilmektedir.

Gelişmekte olan ülkelerde yapay zeka destekli yenilenebilir enerji yönetiminin bir diğer potansiyel alanı dağıtık enerji sistemleri, mikro şebekeler ve enerji erişimidir. Kırsal bölgelerde veya ana şebekeye erişimin sınırlı olduğu alanlarda güneş enerjisi, batarya ve mikro şebeke sistemleri, elektrik arzının genişletilmesi açısından önemli bir seçenek sunmaktadır. Ancak bu sistemlerin maliyet etkin çalışabilmesi için üretim, depolama ve tüketim kararlarının gerçek zamanlı olarak yönetilmesi gerekir. Yapay zeka tabanlı enerji yönetim sistemleri, mikro şebekelerde talep tahmini, batarya kullanımı, yük önceliklendirmesi ve bakım planlamasını optimize ederek hem hizmet sürekliliğini artırır hem de işletme maliyetlerini

düşürür. Gelişmekte olan ekonomilerde enerji dönüşümü güvenilir temiz elektrik, şebekeler ve verimlilik yatırımları üzerine kurulmalıdır. Bu ülkelerde elektrik tüketimi gelişmiş ekonomilere kıyasla yaklaşık üç kat daha hızlı artmaktadır (IEA, 2021, s. 13). Bu durum, yapay zeka destekli maliyet etkin enerji yönetiminin gelişmekte olan ülkelerde yalnızca çevresel değil, aynı zamanda kalkınmacı bir işlev üstlenebileceğini göstermektedir.

Grafik 6.Enerji Sektöründe Dijital Çözümlerin Önündeki Algılanan Engeller



Kaynak: IRENA, 2025, s. 45.

Grafik enerji sektöründe dijital çözümlerin yaygınlaşmasının önünde yer alan engellerin önem derecesine ilişkin algıyı ortaya koymaktadır. Grafikten aynı zamanda hiçbir engelin tamamen önemsiz görülmediği; buna karşılık engellerin büyük bölümünün katılımcılar tarafından düşük/orta ile yüksek/kritik düzey arasında değerlendirildiği anlaşılmaktadır. Bu durum, enerji sektöründe dijital dönüşümün teknik bir yenilik sürecinin ötesinde; insan sermayesi, kurumsal kapasite, düzenleyici yapı, finansman imkanları ve veri yönetişimi gibi çok boyutlu unsurlara bağlı olarak şekillendiğini göstermektedir. İşgücü becerisi değişkeni en yüksek

oranda yüksek/kritik engel olarak değerlendirilmiştir. Katılımcıların %60'ı işgücü becerisi eksikliğini yüksek ya da kritik bir engel olarak görürken, yalnızca %4'ü bu unsuru önemsiz kabul etmektedir. Bu sonuç, enerji sektöründe yapay zeka, büyük veri analitiği, akıllı şebeke uygulamaları ve dijital enerji yönetimi gibi alanlarda nitelikli insan kaynağı eksikliğinin, dijital çözümlerin ölçeklenmesinin önündeki en temel sorunlardan biri olduğunu ortaya koymaktadır. Dolayısıyla dijitalleşmenin başarısı, yalnızca teknoloji yatırımlarına değil, aynı zamanda uzman işgücü yetiştirilmesine, teknik eğitim kapasitesinin geliştirilmesine ve kurumsal öğrenme süreçlerine bağlıdır. İkinci olarak, finansal teşvikler değişkeninin de oldukça güçlü bir engel olarak algılandığı görülmektedir. Katılımcıların %53'ü bu alanı yüksek/kritik düzeyde bir sorun olarak değerlendirmiştir. Bu bulgu, dijital enerji çözümlerinin uygulanmasında başlangıç yatırım maliyetlerinin, finansmana erişimin ve uygun teşvik mekanizmalarının belirleyici olduğunu göstermektedir. Özellikle yapay zeka tabanlı enerji yönetim sistemleri, akıllı sayaçlar, sensör ağları, veri merkezleri ve siber güvenlik altyapıları önemli maliyetler gerektirmektedir. Bu nedenle finansal teşviklerin zayıf olduğu ortamlarda dijital çözümlerin yaygınlaşma hızı sınırlı kalabilmektedir.

Düzenleyici belirsizlik de dikkat çekici bir başka bulgudur. Katılımcıların %46'sı bu faktörü yüksek/kritik düzeyde bir engel olarak tanımlarken, %54'ü düşük/orta düzeyde değerlendirmiştir. Bu sonuç, enerji sektöründe dijitalleşmenin yalnızca teknoloji ve finansman meselesi olmadığını, aynı zamanda açık, öngörülebilir ve uyumlu bir düzenleyici çerçeve gerektirdiğini göstermektedir. Veri paylaşımı, dijital altyapı standartları, siber güvenlik yükümlülükleri, yapay zeka uygulamalarının sorumluluk alanları ve piyasa tasarımı konularında belirsizlikler sürdükçe, özel sektör yatırımlarının ertelenmesi veya yavaşlaması olasıdır. Katılımcıların %44'ü veri kıtlığını yüksek/kritik, %49'u ise düşük/orta düzeyde engel olarak

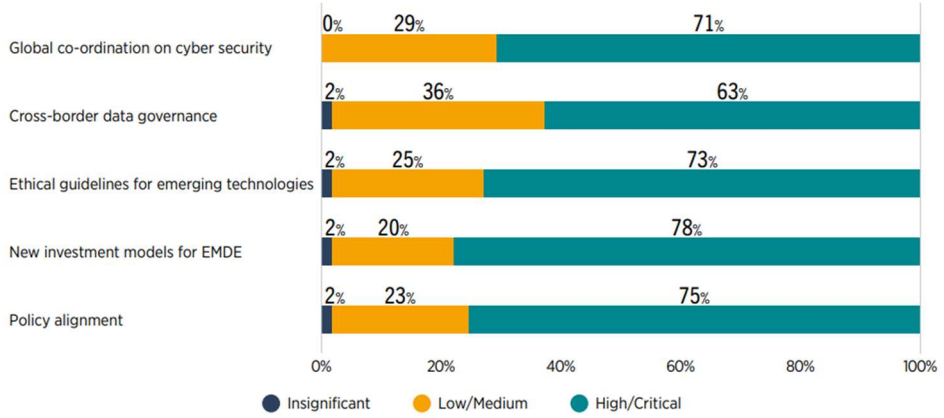
görmektedir. Bu durum, enerji sektöründe dijital çözümlerin işleyişinin güvenilir, sürekli, tutarlı ve yüksek kaliteli veri akışına dayandığını göstermektedir. Yapay zeka destekli tahminleme, talep yönetimi, prediktif bakım ve şebeke optimizasyonu uygulamalarının başarılı olabilmesi için yeterli veri hacmine, uygun veri altyapısına ve veri erişim mekanizmalarına ihtiyaç vardır. Veri üretimi ve veri paylaşımındaki eksiklikler, dijital çözümlerin potansiyel verimlilik kazanımlarını sınırlandırmaktadır. Benzer şekilde altyapı hazırlığı da önemli bir sınırlayıcı unsur olarak ortaya çıkmaktadır. Katılımcıların %42'si altyapı hazırlığını yüksek/kritik engel olarak değerlendirirken, %47'si düşük/orta düzeyde değerlendirmiştir. Bu durum, dijital çözümlerin etkin biçimde çalışabilmesi için yalnızca yazılım ve algoritma yeterliliğinin değil; haberleşme altyapısı, akıllı sayaç sistemleri, sensör ağları, veri depolama kapasitesi ve şebeke dijitalleşmesi gibi fiziksel ve dijital altyapı bileşenlerinin de yeterli olması gerektiğini göstermektedir. Özellikle gelişmekte olan ülkelerde altyapı eksiklikleri, dijital enerji çözümlerinin beklenen maliyet azaltıcı etkisini sınırlayabilmektedir. Siber güvenlik değişkeni de dikkate değer bir risk alanı olarak öne çıkmaktadır. Her ne kadar katılımcıların çoğunluğu (%56) bu başlığı düşük/orta düzeyde değerlendirmiş olsa da, %40 gibi yüksek bir oran bu alanı yüksek/kritik engel olarak görmektedir. Dijital enerji sistemlerinin artan ölçüde veri temelli, uzaktan erişimli ve birbirine bağlı yapılara dönüşmesi, enerji altyapılarını siber tehditlere daha açık hale getirmektedir. Bu nedenle yapay zeka destekli enerji yönetiminin maliyet azaltıcı ve verimlilik artırıcı faydaları, ancak güçlü siber güvenlik protokolleri ve veri koruma mekanizmalarıyla sürdürülebilir olabilir.

Grafikte paydaş güveni değişkeni diğerlerine kıyasla görece daha düşük düzeyde kritik bir engel olarak algılanmaktadır. Katılımcıların %33'ü bu unsuru yüksek/kritik, %61'i ise düşük/orta düzeyde değerlendirmiştir. Bu durum, dijital enerji çözümlerine

ilişkin güven sorununun önemli olmakla birlikte, beceri, finansman veya düzenleyici belirsizlik kadar baskın bir engel olarak görülmediğini göstermektedir. Enerji sektöründe dijital çözümlerin yaygınlaşmasının önündeki engeller esas itibarıyla insan sermayesi, finansal kapasite, düzenleyici çerçeve, veri altyapısı ve teknolojik hazırlık alanlarında yoğunlaşmaktadır. Bu sonuç, yapay zeka destekli yenilenebilir enerji yönetiminin başarı koşullarının yalnızca teknolojik yenilikten ibaret olmadığını; tamamlayıcı kurumsal ve yapısal unsurların da en az teknoloji kadar önemli olduğunu ortaya koymaktadır. Özellikle gelişmekte olan ülkeler açısından bu bulgular, dijital enerji dönüşümünün maliyet etkinliğini artırmak için eş zamanlı olarak teşvik mekanizmaları oluşturma, düzenleyici belirsizlikleri azaltma, veri altyapısını güçlendirme ve siber güvenlik kapasitesini artırma yönünde politika çerçevelerine ihtiyaç bulunduğunu göstermektedir.

Sonuç olarak yapay zeka destekli yenilenebilir enerji yönetiminin gelişmekte olan ülkelerde uygulanması önemli sınırlılıklar içermektedir. Yapay zeka uygulamalarının etkin biçimde çalışabilmesi için güvenilir veri altyapısı, akıllı sayaçlar, sensörler, haberleşme altyapısı, dijital platformlar, teknik uzmanlık ve siber güvenlik kapasitesi gerekmektedir. Gelişmekte olan bölgelerde telekomünikasyon gibi tamamlayıcı sektörlerde dijitalleşme düzeyinin artırılması gerekmektedir. Özellikle uzak topluluklarda güvenilir internet erişimi yetersizdir (IRENA, 2025, s. 50). Gelişmekte olan ekonomilerde uzman teknisyen eksikliği önemli bir sorundur. Dijital teknolojiler gelişmiş ekonomiler ile gelişmekte olan ülkeler arasındaki farkı büyütmek yerine bu farkı azaltacak biçimde tasarlanması gerekmektedir (IRENA, 2025, ss. 44-45). Bu nedenle yapay zeka destekli enerji yönetimi, yalnızca yazılım ve algoritma yatırımı olarak değil, veri altyapısı, insan sermayesi ve kurumsal kapasite yatırımıyla birlikte ele alınmalıdır.

Grafik 7.Dijital Enerji Çözümlerinin Desteklenmesine Yönelik Küresel Öncelikler



Kaynak: IRENA, 2025, s. 48.
Not: EMDE, gelişmekte olan piyasa ekonomileri ve gelişmekte olan ekonomileri ifade etmektedir. Yüzdeler, ilgili politika alanının önemsiz, düşük/orta ve yüksek/kritik düzeyde öncelik olarak değerlendirilme oranlarını göstermektedir.

Grafik dijital enerji çözümlerinin desteklenmesine yönelik küresel politika önceliklerinin ağırlıklı olarak yüksek/kritik düzeyde değerlendirildiğini göstermektedir. Grafikte yer alan beş politika alanının tamamında yüksek/kritik önem atfedilen oran %60'ın üzerindedir. Bu durum, enerji sektöründe dijitalleşmenin ve yapay zeka destekli enerji yönetiminin yalnızca teknolojik kapasite meselesi olmadığını; aynı zamanda uluslararası koordinasyon, veri yönetişimi, etik standartlar, yatırım modelleri ve politika uyumu gerektiren çok boyutlu bir dönüşüm alanı olduğunu ortaya koymaktadır. Grafikte en yüksek öncelik, gelişmekte olan piyasa ekonomileri ve gelişmekte olan ekonomiler için yeni yatırım modelleri geliştirilmesi başlığında görülmektedir. Katılımcıların %78'i bu alanı yüksek/kritik düzeyde önemli görmektedir. Bu sonuç, dijital enerji çözümlerinin gelişmekte olan ülkelerde yaygınlaşabilmesi için geleneksel finansman mekanizmalarının yeterli olmadığını göstermektedir. Yapay zeka destekli şebeke yönetimi, akıllı sayaçlar, veri altyapısı, sensör sistemleri, batarya

yönetimi ve siber güvenlik yatırımları başlangıçta yüksek sermaye gerektirmektedir. Bu nedenle EMDE ülkelerinde dijital enerji dönüşümünün hızlanması, düşük maliyetli finansman, kamu-özel sektör ortaklıkları, risk paylaşım mekanizmaları ve kalkınma finansmanı araçlarıyla desteklenmelidir.

Politika uyumu alanında; katılımcıların %75'i politika uyumunu yüksek/kritik düzeyde önemli değerlendirmiştir. Bu durum, dijital enerji çözümlerinin başarılı biçimde uygulanabilmesi için enerji politikası, sanayi politikası, dijitalleşme politikası, iklim politikası ve finansman politikası arasında tutarlı bir çerçeve kurulması gerektiğini göstermektedir. Parçalı ve birbirinden kopuk düzenlemeler, yatırımcı güvenini azaltmakta, veri paylaşımını zorlaştırmakta ve yapay zeka tabanlı enerji yönetimi uygulamalarının ölçeklenmesini sınırlamaktadır. Dolayısıyla politika uyumu, dijital enerji dönüşümünün maliyet etkin biçimde yürütülmesinde temel kurumsal koşullardan biridir.

Grafikte etik ilkeler başlığının da yüksek öncelik taşıdığı görülmektedir. Katılımcıların %73'ü gelişen teknolojiler için etik rehberleri yüksek/kritik önemde değerlendirmiştir. Bu durum, yapay zeka destekli enerji yönetiminin yalnızca verimlilik ve maliyet azaltımı üzerinden ele alınamayacağını göstermektedir. Enerji sistemlerinde algoritmik karar alma süreçleri; tüketici verilerinin kullanımı, fiyatlandırma mekanizmaları, talep tarafı yönetimi, enerji erişimi ve sistem güvenilirliği üzerinde doğrudan etkiler yaratabilmektedir. Bu nedenle yapay zeka uygulamalarında şeffaflık, hesap verebilirlik, açıklanabilirlik ve ayrımcılık risklerinin önlenmesi, dijital enerji çözümlerinin toplumsal kabulü açısından önem taşımaktadır. Küresel siber güvenlik koordinasyonu da %71 oranında yüksek/kritik öncelik olarak değerlendirilmiştir. Enerji altyapılarının dijitalleşmesi, şebeke işletimi, üretim tahmini, depolama yönetimi ve talep tarafı uygulamalarında veri akışını artırırken, aynı zamanda kritik enerji altyapılarını siber tehditlere

daha açık hale getirmektedir. Bu nedenle siber güvenlik yalnızca ulusal düzeyde çözülebilecek teknik bir konu değil, enerji piyasalarının karşılıklı bağımlılığı nedeniyle uluslararası koordinasyon gerektiren stratejik bir politika alanıdır. Özellikle yapay zeka destekli sistemlerde veri bütünlüğünün bozulması, yanlış üretim tahminleri, hatalı şebeke kararları ve sistem kesintileri yoluyla enerji maliyetlerini artırabilir.

Sınır ötesi veri yönetişimi başlığında yüksek/kritik önem oranı %63'tür. Bu oran diğer başlıklara kıyasla nispeten daha düşük olmakla birlikte, yine de çoğunluğun veri yönetişimini stratejik bir öncelik olarak gördüğünü göstermektedir. Dijital enerji çözümlerinin başarısı, farklı ülkeler, piyasa aktörleri, şebeke işletmecileri ve teknoloji sağlayıcıları arasında güvenilir, standartlaştırılmış ve güvenli veri paylaşımına bağlıdır. Veri akışının sınır ötesi niteliği, enerji piyasalarında hem teknik entegrasyonu hem de düzenleyici iş birliğini zorunlu kılmaktadır. Bu nedenle veri yönetişimi, yapay zeka destekli yenilenebilir enerji yönetiminin maliyet azaltıcı etkisinin sürdürülebilirliği açısından tamamlayıcı bir koşuldur. Dijital enerji çözümlerinin desteklenmesinde öncelikler yalnızca teknoloji geliştirme ekseninde değil, kurumsal yönetişim ve finansman ekseninde de yoğunlaşmaktadır. Özellikle yeni yatırım modelleri, politika uyumu, etik rehberler ve siber güvenlik koordinasyonu başlıklarının yüksek/kritik düzeyde öne çıkması, yapay zeka destekli yenilenebilir enerji yönetiminin başarılı olabilmesi için düzenleyici ve kurumsal altyapıya ihtiyaç duyulduğunu ortaya koymaktadır. Bu çerçevede gelişmekte olan ülkelerde enerji maliyetlerinin azaltılması, yalnızca yapay zeka uygulamalarının benimsenmesiyle değil; bu uygulamaları destekleyecek finansman, veri yönetişimi, siber güvenlik, etik standartlar ve politika uyumunun birlikte güçlendirilmesiyle mümkün olacaktır.

Sonuç olarak garafik, dijital enerji çözümlerinin yaygınlaştırılmasında yalnızca teknolojik kapasitenin değil, aynı zamanda siber güvenlik koordinasyonu, sınır ötesi veri yönetişimi, etik ilkeler, gelişmekte olan ülkeler için yeni yatırım modelleri ve politika uyumunun da belirleyici olduğunu göstermektedir. Bu nedenle yapay zeka destekli yenilenebilir enerji yönetimi, gelişmekte olan ülkeler açısından yalnızca maliyet azaltıcı bir araç değil, aynı zamanda güçlü bir kurumsal ve düzenleyici altyapı gerektiren çok boyutlu bir politika alanıdır. Siber güvenlik ve veri yönetişimi de gelişmekte olan ülkeler açısından önemli bir risk alanıdır. Elektrik sistemlerinin dijitalleşmesi, veri akışını ve uzaktan kontrol imkanlarını artırırken, kritik enerji altyapılarını siber saldırılara karşı daha hassas hale getirebilmektedir. Gelişmekte olan ekonomiler sınırlı kurumsal kapasite ve parçalı siber güvenlik yönetişimi nedeniyle daha yüksek risklerle karşılaşabilmektedir. Afrika'daki elektrik kuruluşları üzerine yapılan bir ankette, şirketlerin yaklaşık %85'inin daha önce siber saldırıya uğradığını, yaklaşık %40'ının ise yılda birden fazla kez saldırıya maruz kaldığını bildirdiği aktarılmıştır (IRENA, 2025, s. 42). Bu bulgu, yapay zeka destekli enerji yönetiminin gelişmekte olan ülkelerde maliyet azaltıcı potansiyelinin ancak veri güvenliği, kurumsal yönetişim ve düzenleyici kapasiteyle birlikte değerlendirildiğinde sürdürülebilir olabileceğini göstermektedir.

Gelişmekte olan ülkelerde yapay zeka destekli yenilenebilir enerji yönetimi, enerji maliyetlerinin düşürülmesi bakımından önemli fırsatlar sunmaktadır. Bu ülkelerde yüksek sermaye maliyetleri, yetersiz şebeke yatırımları, sınırlı depolama kapasitesi, fosil yakıt bağımlılığı ve enerji arz güvenliği sorunları, yapay zeka tabanlı optimizasyon uygulamalarını iktisadi olarak daha değerli hale getirmektedir. Bununla birlikte, yapay zeka uygulamalarının beklenen maliyet azaltıcı etkiyi yaratabilmesi için dijital altyapı, veri kalitesi, insan sermayesi, finansman mekanizmaları, siber güvenlik

ve düzenleyici çerçeve birlikte güçlendirilmelidir. Bu nedenle gelişmekte olan ülkeler açısından temel politika önceliği, yapay zekayı yenilenebilir enerji yatırımlarına eklenen teknik bir araç olarak değil, enerji dönüşümünün maliyet etkinliğini artıran bütünleşik bir kalkınma politikası bileşeni olarak konumlandırmak olmalıdır.

Sonuç

Yenilenebilir enerji dönüşümü, günümüzde yalnızca çevresel sürdürülebilirlik veya karbon emisyonlarının azaltılması ekseninde değerlendirilemeyecek kadar çok boyutlu bir dönüşüm alanı haline gelmiştir. Güneş ve rüzgar başta olmak üzere yenilenebilir enerji teknolojilerinde son yıllarda gözlenen maliyet düşüşleri, bu kaynakların elektrik üretiminde rekabet gücünü artırmış; ancak yenilenebilir enerji sistemlerinin toplam maliyet yapısına ilişkin sorunları tamamen ortadan kaldırmamıştır. Çalışma yenilenebilir enerji maliyetlerinin yalnızca üretim tesislerinin seviyelendirilmiş elektrik maliyetiyle açıklanamayacağını; şebeke entegrasyonu, dengeleme ihtiyacı, depolama kapasitesi, üretim kesintileri, finansman maliyetleri, bakım-onarım giderleri, tedarik zinciri kırılganlıkları ve düzenleyici belirsizlikler gibi çok sayıda unsurun toplam sistem maliyetleri üzerinde belirleyici olduğunu göstermektedir.

Bu çerçevede yenilenebilir enerji dönüşümünde temel sorun, yalnızca daha düşük maliyetli elektrik üretim teknolojilerine yönelmek değil, değişken yenilenebilir enerji kaynaklarını düşük maliyetli, güvenilir, esnek ve sürdürülebilir biçimde yönetebilen bir enerji sistemi kurabilmektir. Güneş ve rüzgar enerjisinin meteorolojik koşullara bağlı üretim yapısı, elektrik sistemlerinde arz-talep dengesinin sağlanmasını geleneksel üretim kaynaklarına kıyasla daha karmaşık hale getirmektedir. Üretim tahmin hataları,

bölgesel iletim darboğazları, yedek kapasite ihtiyacı, dengeleme piyasası maliyetleri ve üretim kısıntıları, yenilenebilir enerji sistemlerinde maliyet etkinliğini sınırlandıran temel unsurlar arasında yer almaktadır. Dolayısıyla yenilenebilir enerji dönüşümünün ekonomik başarısı, kurulu kapasite artışından çok, bu kapasitenin sistem düzeyinde ne ölçüde etkin yönetilebildiğine bağlıdır.

Yapay zeka destekli enerji yönetimi, yenilenebilir enerji sistemlerinin maliyet yapısını iyileştirebilecek stratejik bir araç olarak öne çıkmaktadır. Yapay zeka; üretim tahmini, talep tahmini, şebeke optimizasyonu, enerji depolama yönetimi, prediktif bakım, arıza tespiti, piyasa teklif stratejileri ve yatırım planlaması gibi alanlarda enerji sistemlerinin daha etkin işletilmesine katkı sağlayabilmektedir. Yapay zeka enerji maliyetlerini tek bir kanal üzerinden değil, elektrik sisteminin bütün değer zinciri boyunca azaltma potansiyeline sahiptir. Üretim tahmin doğruluğundaki artış dengeleme maliyetlerini azaltırken; talep tarafı yönetimi tüketimin daha düşük maliyetli saatlere kaydırılmasını, depolama optimizasyonu batarya kapasitesinin daha verimli kullanılmasını, prediktif bakım ise plansız duruşların ve bakım giderlerinin azaltılmasını mümkün kılmaktadır.

Bununla birlikte, yapay zeka destekli yenilenebilir enerji yönetiminin maliyet azaltıcı rolü mutlak ve kendiliğinden ortaya çıkan bir sonuç olarak değerlendirilmemelidir. Yapay zeka uygulamalarının beklenen katkıyı sağlayabilmesi için sürekli veri akışı, gelişmiş dijital altyapı, akıllı sayaçlar, sensör sistemleri, haberleşme ağları, siber güvenlik kapasitesi, teknik uzmanlık ve düzenleyici uyum gereklidir. Veri kalitesinin zayıf, dijital altyapının yetersiz veya kurumsal kapasitenin sınırlı olduğu enerji sistemlerinde yapay zeka uygulamalarının maliyet azaltıcı etkisi sınırlı kalır. Bu nedenle yapay zeka, fiziksel altyapı yatırımlarının yerine geçen bir araç olarak değil, mevcut ve yeni kurulacak enerji

altyapısının daha etkin kullanılmasını sağlayan tamamlayıcı bir yönetim kapasitesi olarak ele alınmalıdır.

Gelişmekte olan ülkeler açısından bu konu daha önemli bir anlam taşımaktadır. Bu ülkelerde enerji talebinin hızlı artması, sanayileşme ve kentleşme süreçlerinin devam etmesi, enerji arz güvenliği ihtiyacının güçlenmesi ve enerji ithalatına bağımlılığın yüksek olması, yenilenebilir enerji yatırımlarını stratejik hale getirmektedir. Ancak gelişmekte olan ülkelerde yenilenebilir enerji dönüşümü çoğu zaman yüksek sermaye maliyetleri, kur riski, finansmana erişim güçlükleri, yetersiz şebeke yatırımları, sınırlı depolama kapasitesi, düzenleyici belirsizlikler ve dijitalleşme açığı nedeniyle daha maliyetli ve kırılgan bir süreç olarak ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle yapay zeka destekli enerji yönetimi, gelişmekte olan ülkelerde yalnızca operasyonel maliyetleri azaltan teknik bir çözüm değil, sınırlı sermaye ve altyapı kapasitesinin daha etkin kullanılmasını sağlayan bir politika aracı olarak değerlendirilmelidir.

Küresel enerji yatırımlarının büyük ölçüde Çin, ABD ve Avrupa Birliği'nde yoğunlaşması, gelişmekte olan bölgelerde enerji dönüşümüne yönelik yatırım açığının sürdüğünü göstermektedir. Finansman maliyeti göstergeleri, gelişmekte olan ekonomilerde güneş PV yatırımlarının daha yüksek risk primi ve daha yüksek özsermaye getirisi beklentileriyle karşı karşıya olduğunu ortaya koymaktadır. Şebeke ve depolama yatırımlarının bölgesel dağılımı, enerji dönüşümünün yalnızca üretim kapasitesiyle değil, tamamlayıcı altyapı yatırımlarıyla birlikte düşünülmesi gerektiğini göstermektedir. Batarya depolama kapasite artışlarının sınırlı sayıda büyük ekonomide yoğunlaşması ise gelişmekte olan ülkelerde yenilenebilir enerji entegrasyon maliyetlerinin daha yüksek kalabileceğine işaret etmektedir. Dijital enerji çözümlerine ilişkin engeller ve küresel öncelikler ise insan sermayesi, finansman, siber

güvenlik, veri yönetişimi, etik ilkeler ve politika uyumunun dijital enerji dönüşümünde belirleyici olduğunu ortaya koymaktadır.

Bu sonuçlar, yapay zeka destekli yenilenebilir enerji yönetiminin enerji maliyetleri üzerindeki rolünün yalnızca mikro düzeyde işletme maliyetleriyle sınırlandırılamayacağını göstermektedir. Konu, aynı zamanda makroekonomik istikrar, enerji ithalatı, cari denge, fiyat oynaklığı, yatırım maliyetleri, teknolojik kapasite ve sürdürülebilir kalkınma ile doğrudan ilişkilidir. Enerji ithalatçısı ülkelerde yenilenebilir enerji kaynaklarının etkin yönetimi, fosil yakıt fiyat şoklarına karşı ekonomik dayanıklılığı artırır. Ancak bu katkının gerçekleşebilmesi için yenilenebilir enerji yatırımlarının şebeke, depolama, dijitalleşme ve finansman politikalarıyla birlikte planlanması gerekmektedir. Politika açısından değerlendirildiğinde, yapay zeka destekli yenilenebilir enerji yönetiminin yaygınlaştırılması için bütüncül uygulamalar gereklidir. Öncelikle enerji sistemlerinde veri altyapısı güçlendirilmeli, akıllı sayaçlar ve sensör tabanlı izleme sistemleri yaygınlaştırılmalı, veri paylaşımı ve veri güvenliği konusunda açık standartlar oluşturulmalıdır. Yenilenebilir enerji projelerinde yapay zeka destekli üretim tahmini, depolama optimizasyonu ve prediktif bakım uygulamalarını teşvik eden yatırım ve destek mekanizmaları geliştirilmelidir. Şebeke ve depolama yatırımları yapay zeka destekli yönetim sistemleriyle birlikte ele alınmalı; dijitalleşme, fiziksel altyapı yatırımlarının tamamlayıcısı olarak konumlandırılmalıdır. Gelişmekte olan ülkelerde düşük maliyetli finansman, kalkınma finansmanı, kamu-özel sektör ortaklıkları ve risk paylaşım mekanizmaları yoluyla yenilenebilir enerji ve dijital enerji yatırımlarının sermaye maliyeti düşürülmelidir.

Sonuç olarak, yapay zeka destekli yenilenebilir enerji yönetimi, yenilenebilir enerji dönüşümünün maliyet etkinliğini artırabilecek önemli bir yönetim aracıdır. Ancak bu aracın başarısı, yalnızca kapasiteye değil, enerji sisteminin veri kalitesine, şebeke

altyapısına, depolama kapasitesine, finansman koşullarına, insan sermayesine, siber güvenlik düzeyine ve düzenleyici çerçevesine bağlıdır. Bu nedenle yapay zeka, yenilenebilir enerji dönüşümünün tek başına çözümü değil, maliyetleri azaltma, sistem esnekliğini artırma ve enerji dönüşümünü ekonomik olarak daha sürdürülebilir hale getirme potansiyeline sahip tamamlayıcı bir politika olarak değerlendirilmelidir. Bu yönüyle yapay zeka destekli yenilenebilir enerji yönetimi, enerji ekonomisinde yalnızca teknolojik bir yenilik alanı değil, aynı zamanda maliyet etkinliği, yatırım verimliliği ve sürdürülebilir kalkınma açısından stratejik bir politika alanı olduğunu ortaya koymaktadır.

Kaynakça

Hirth, L., Ueckerdt, F., & Edenhofer, O. (2015). Integration costs revisited: An economic framework for wind and solar variability. Renewable Energy, 74, 925–939. https://doi.org/10.1016/j.renene.2014.08.065

International Energy Agency. (2021). Financing clean energy transitions in emerging and developing economies. International Energy Agency.

International Energy Agency. (2023). Electricity grids and secure energy transitions: Enhancing the foundations of resilient, sustainable and affordable power systems. IEA.

International Energy Agency. (2024). Renewables 2024: Analysis and forecast to 2030. IEA.

International Energy Agency. (2024). World energy investment 2024. International Energy Agency.

International Renewable Energy Agency. (2019). Innovation landscape brief: Artificial intelligence and big data. International Renewable Energy Agency.

International Renewable Energy Agency. (2020). Innovation landscape brief: Advanced forecasting of variable renewable power generation. International Renewable Energy Agency.

International Renewable Energy Agency. (2025). Renewable power generation costs in 2024: Executive summary. IRENA.

International Renewable Energy Agency. (2025). Digitalisation and AI for power system transformation: Perspectives for the G7. International Renewable Energy Agency.

International Renewable Energy Agency. (2025). Digitalisation and AI for power system transformation: Perspectives for the G7.

International Renewable Energy Agency. (2025). Digitalisation and AI for power system transformation: Perspectives for the G7. International Renewable Energy Agency.

International Renewable Energy Agency. (2026). Renewable power generation costs in 2025: Executive summary. IRENA.

Shahverdi, N., Saffari, A., & Amiri, B. (2025). A systematic review of artificial intelligence and machine learning in energy sustainability: Research topics and trends. Energy Reports, 13, 5551–5578.

World Bank. (2023). Scaling up to phase down: Financing energy transitions in the power sector. World Bank.

BÖLÜM 4

KURUMSAL KULLANILABİLİRLİK VE İKTİSAT POLİTİKASININ ETKİNLİĞİ

AYŞE AKBABA SADIM[1]

Giriş

Bir yasanın Resmî Gazete'de yayımlanması, o yasanın ekonomik hayatta karşılık bulduğu anlamına gelmemektedir. Kuralın davranışı yönlendirebilmesi için aktörün kuralı bulabilmesi, kendisinden ne istendiğini anlayabilmesi, kuralın kendisine nasıl uygulanacağını öngörebilmesi ve tanınan imkâna katlanılabilir bir maliyetle ulaşabilmesi gerekmektedir. Bu koşullardan biri eksik olduğunda, kural yürürlükte olsa bile aktörün kararına beklenen ölçüde girememektedir. Dolayısıyla kurumların ekonomik etkisi neyi düzenlediklerinin yanında, kullanıcıları tarafından nasıl deneyimlendikleriyle de ilgilidir. Bu bölüm, yürürlükte olduğu hâlde aktörlerce kullanılamayan ve bu nedenle hedeflediği davranışı üretemeyen kurallar sorununa yöneliktir.

Kurumsal iktisat, kurumların ekonomik performansı nasıl etkilediğini açıklarken işlem ve üretim maliyetlerine merkezi bir yer vermektedir (North, 1990). Bu açıdan bakıldığında, kuralın davranışı

[1] Arş. Gör., Yalova Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, İktisat Bölümü, ORCID: 0000-0002-1525-2257

yönlendirebilmesi için gereken her koşul, aktör için ayrı bir maliyet kalemidir. Kuralı bulmak ve anlamak bilgi maliyetine, uygulamanın öngörülememesi belirsizlik maliyetine, tanınan imkâna ulaşmak ise zaman ve belge maliyetine yol açmaktadır. Söz konusu çerçeveyi kuralın kullanıcısına yaklaştıran iki literatür bu maliyetleri farklı yönlerden incelemektedir. Hukuk ve iktisat literatürü, kuralların ayrıntı düzeyi arttıkça davranışı daha hassas yönlendirebildiğini, ancak kuralı öğrenme ve uygulama maliyetinin de yükseldiğini ortaya koymaktadır (Kaplow, 1992a). Kamu yönetimi literatürü ise vatandaşın devletle etkileşiminde ortaya çıkan maliyetleri idari yük kavramıyla ele almaktadır (Moynihan et al., 2015). Birinci literatür kuralın tasarımına, ikincisi aktörün idareyle etkileşimine odaklanmaktadır. Mevzuatta tanımlanan kurum ile fiilen işleyen kurum arasındaki farka da kurumsal iktisadın ölçüm tartışmalarında yer verilmektedir (Voigt, 2013). Ancak bu yaklaşımlar arasındaki bağ çoğu zaman ihmal edilmektedir. Bu bağın kurulması, konunun ekonomik önemi nedeniyle gereklidir.

Kuralların kullanılabilirliğinin etkisi, tek tek aktörlerin kararlarının ötesine geçmektedir. Düzenleme niteliği ile ülkelerin büyüme performansı arasındaki ilişkiyi ortaya koyan kanıtlar (Djankov et al., 2006), kuralların işleyişini iktisat politikası tartışmasının da konusu hâline getirmektedir. Bir teşvik ya da destek programı da ancak hedeflediği aktörlerce kullanılabildiği ölçüde etkindir. Kullanım oranının düşüklüğü ise farklı mekanizmalardan kaynaklanabilmekte ve her mekanizma farklı bir müdahale gerektirmektedir. Bu nedenle bir kuralın neden kullanılmadığını doğru teşhis etmek, politika etkinliği açısından kritik öneme sahiptir.

Bu bölümün amacı, formel kuralların hangi koşullarda ekonomik aktörler için öngörülebilir, erişilebilir ve kullanılabilir bir kurumsal çevreye dönüştüğünü açıklamaktır. Bu kapsamda dönüşümün nerede aksadığını ayırt etmeye yarayan bir teşhis çerçevesi geliştirilmekte ve yukarıda değinilen literatürler aktörün

karar süreci etrafında birleştirilmektedir. Çerçevenin merkezinde kurumsal kullanılabilirlik kavramı bulunmaktadır. Aktörün kuralla yaşadığı deneyimi ifade eden bu kavram, ürün ve hizmet tasarımındaki kullanılabilirlik fikrinden esinlenmektedir. Uluslararası standart, kullanılabilirliği bir derece olarak tanımlamaktadır. Bu derece, bir sistemin, ürünün ya da hizmetin belirli kullanıcılar tarafından belirli bir bağlamda ne ölçüde kullanılabildiğini göstermektedir (International Organization for Standardization, 2018). Tanımın önemi, kullanılabilirliği nesnenin sabit bir özelliği olarak değil, belirli bir kullanıcının belirli bir bağlamdaki kullanımının sonucu olarak görmesidir. Aynı bakış burada kurallara uygulanmaktadır.

Kurumsal kullanılabilirlik, bir kuralın aktör tarafından makul maliyetle anlaşılabilmesini ve uygulamasının karar öncesinde yeterli ölçüde öngörülebilmesini ifade etmektedir. Ayrıca, kuralın tanıdığı hak, izin, hizmet ya da ekonomik imkâna idari süreçler tamamlandıktan sonra fiilen erişilebilmesini de kapsamaktadır. Kavram, kuralın niteliğini onu yazanın değil, onu kullananın konumundan değerlendirmeyi önermektedir. Bu bakımdan iki tür kayıp ayırt edilmektedir. Öngörülebilirlik kaybı, kuralın vaat ettiği belirlilik ile aktörün karar anında fiilen kullanabildiği bilgi arasındaki farktır. Erişim kaybı ise hukuken tanınan imkân ile öğrenme ve uyum maliyetleri (Moynihan et al., 2015) ödendikten sonra fiilen kullanılabilen imkân arasındaki farka karşılık gelmektedir. Bölümün özgünlüğü, literatürde ayrı ayrı ele alınan unsurları tek bir aktörün kararı etrafında birleştirmesinde ve işlem maliyeti diliyle karşılaştırılabilir kılmasında yatmaktadır. Bu bütünleştirme, dört boyutlu bir teşhis çerçevesi ve iki kaybın bileşiminden türetilen dört kurumsal durum aracılığıyla ortaya konmaktadır. Böylece bir kuralın neden kullanılmadığı sorusu, kaybın hangi mekanizmayla doğduğu sorusuna çevrilebilmekte ve her kayıp için farklı bir reform aracı belirlenebilmektedir.

Girişin ardından bölümde dokuz ara başlık yer almaktadır. İlk başlıkta hukuki belirlilik ile kurumsal öngörülebilirlik arasındaki ayrım ele alınmakta, öngörülebilirliğin üç boyutu tanımlanmaktadır. İkinci başlıkta düzenleyici karmaşıklığın aktörlerin bilgi maliyetlerini nasıl etkilediği tartışılmaktadır. Üçüncü başlıkta idari yük literatürü üzerinden etkin erişim maliyetleri incelenmektedir. Dördüncü başlıkta öngörülebilirlik kaybı ile erişim kaybı, kurumsal işlem maliyeti kavramı aracılığıyla işlem maliyeti kuramına bağlanmaktadır. Beşinci başlık, iki kaybın kredi piyasaları, firma girişi ve büyüme üzerindeki sonuçlarını ve maliyetlerin aktörler arasındaki dağılımını değerlendirmektedir. Altıncı başlık, kurumsal kullanılabilirlik çerçevesini dört boyut ve iki kaybın bileşiminden türetilen dört kurumsal durum üzerinden sunmakta ve işleyişini varsayımsal bir örnekle göstermektedir. Yedinci başlıkta güvenin gönüllü uyumla ilişkisi irdelenmektedir. Sekizinci başlık, her boyut için ölçülebilir göstergeler önermektedir. Dokuzuncu başlık, çerçevenin reform tasarımına yansımalarını içermektedir. Sonuç kısmında ise bölümün temel çıkarımları özetlenmekte ve bunlara dayanan öneriler sunulmaktadır.

Hukuki Belirlilikten Kurumsal Öngörülebilirliğe

Hukuki belirlilik geleneksel olarak kuralın erişilebilir, anlaşılır ve istikrarlı olmasıyla ilişkilendirilmektedir. Fuller (1969), hukukun iç ahlakı olarak adlandırdığı ilkeler arasında kuralların ilan edilmesini, açık olmasını, zaman içinde istikrar göstermesini ve resmî uygulamanın ilan edilen kuralla örtüşmesini saymaktadır. Bu ilkeler kuralın niteliğini kural koyucunun yükümlülükleri üzerinden tanımlamaktadır. Ekonomik karar açısından aynı niteliklerin değeri ise aktörün gelecekte karşılaşacağı hukuki sonucu yeterli doğrulukla tahmin etmesine yaptıkları katkıyla ölçülmektedir. Yatırım, sözleşme ya da ruhsat kararı veren bir işletme yalnızca mevzuat metnine bakmamaktadır. Uygulayıcı makamların geçmiş kararlarını, yorum farklılıklarını, uyuşmazlıkların süresini ve kuralın değişme

ihtimalini de hesaba katmaktadır. Öngörülebilirlik bu anlamda metinsel açıklıktan daha geniş bir karar çevresini kapsamaktadır.

Bu ayrım, açık bir metnin her zaman öngörülebilir bir sonuç üretmediğine de işaret etmektedir. Nitekim hukuki belirsizlik, hâkimlerin karar eğilimlerindeki farklılıklardan doğan bir olgu olarak da incelenmektedir (Lee et al., 2026). Mevzuatın açık olduğu bir alanda uygulayıcılar aynı hükmü farklı yorumluyorsa normatif belirlilik yüksek, kurumsal öngörülebilirlik ise düşük kalabilir. Tersi de mümkündür. Genel kavramlarla yazılmış bir düzenleme, zamanla yerleşen tutarlı uygulama örüntüleri sayesinde aktörlere güvenilir bir beklenti çerçevesi sunabilmektedir. Öngörülebilirliği belirleyen etken bu durumda metnin ayrıntısından çok metin, uygulama ve sonuç arasındaki ilişkinin istikrarıdır. Kurumların ölçümüne ilişkin literatür de bir kurumun mevzuatta tanımlandığı biçim ile fiilen uygulandığı biçimin ayrı ayrı ölçülmesini önermektedir (Voigt, 2013). Kurumsal öngörülebilirlik, bu iki biçim arasındaki farkın aktörün karar hesabına nasıl yansıdığıyla ilgilenmektedir.

Bölüm kurumsal öngörülebilirliği birbiriyle bağlantılı üç boyutta incelemektedir. Anlaşılabilirlik, aktörün kendisine uygulanacak kuralı ve temel yükümlülüklerini makul bir bilgi maliyetiyle belirleyebilmesidir. Uygulama tutarlılığı, benzer olayların benzer usul ve yorum örüntüleriyle karşılanmasını ifade etmektedir. Sonuç öngörülebilirliği ise hukuki sonucun olasılık dağılımının karar öncesinde iktisadi hesaba katılabilmesine karşılık gelmektedir. Bu boyutlar ardışık aşamalar oluşturmamakta, birindeki zayıflık diğer ikisinin ekonomik değerini de düşürmektedir. Açık ve erişilebilir bir kuralın farklı makamlarca farklı yorumlanması ya da istikrarlı bir metnin uzun ve değişken karar süreçlerine bağlanması kaybı büyütmektedir. Hukuki belirsizlik böylece metnin tek kusuru olmaktan çıkmakta, metin, uygulama ve sonuç arasındaki ilişkiden doğan bir kurumsal maliyete dönüşmektedir.

Düzenleyici Karmaşıklık ve Bilgi Maliyeti

Anlaşılabilirlik boyutu, düzenlemenin ne ölçüde ayrıntılı ve karmaşık olduğu sorusunu gündeme getirmektedir. Belirsizliği azaltmanın akla ilk gelen yolu kuralı daha ayrıntılı yazmaktır. Ancak ayrıntılı bir düzenlemenin daha yüksek öngörülebilirlik sağlayacağı varsayımı her durumda geçerli değildir. Kaplow (1992a), karmaşık kuralların farklı davranış türlerini daha hassas biçimde ayırabildiğini, buna karşılık bireylerin bu kuralları önceden anlamasını ve uygulayıcının sonradan uygulamasını daha maliyetli hâle getirdiğini modellemektedir. Modelin dikkat çekici sonuçlarından biri, öğrenme maliyeti yükseldikçe bazı bireylerin karmaşık kuralı hiç öğrenmemeyi seçebilmesidir. Kurallar ile standartlar arasındaki tercihe ilişkin analiz de benzer bir ödünleşime işaret etmektedir. Bu analize göre kuralları önceden oluşturmak standartlara kıyasla daha maliyetlidir. Standartlarda ise yük sonraya kaymaktadır. Birey nasıl davranacağına karar verirken standardı yorumlamak, uygulayıcı da onu sonradan uygulamak zorundadır (Kaplow, 1992b). Aynı çalışma, bir düzenlemenin ayrıntı düzeyi sorusunu içeriğinin önceden mi sonradan mı belirlendiği sorusundan ayırmaktadır. Bu nedenle ayrıntı ile öngörülebilirlik arasında doğrusal bir ilişki bulunmamaktadır.

Karmaşıklık yalnızca metnin uzunluğuyla ölçülememektedir. Düzenlemeyi bir girdiyi düzenleyici bir karara dönüştüren algoritma gibi ele alan bir çalışma, karmaşıklığın metin uzunluğunun yakalayamadığı boyutlarını görünür kılmaktadır (Colliard & Georg, 2020). Bu yaklaşıma göre daha kısa bir düzenleme, üst düzey kavramlara yaslandığı için daha az karmaşık olmayabilir. Kurumsal tasarım açısından bu bulgu önemli bir uyarı niteliğindedir. Daha kısa bir kural ile daha basit bir kural arasında kendiliğinden bir özdeşlik söz konusu değildir.

Karmaşıklığın maliyeti hedef kitlenin kapasitesine göre değişmektedir. Uzman hukuk ve uyum birimlerine sahip büyük bir

işletme karmaşık bir düzenlemeyi yönetebilirken küçük bir işletme aynı kural karşısında oransal olarak çok daha yüksek bilgi maliyetine katlanabilir. OECD (2019), düzenleyici prosedür karmaşıklığının özellikle küçük ve orta ölçekli işletmeler ile girişimciler için önemli bir engel olduğuna değinmektedir. Kurumsal kullanılabilirlik değerlendirmesi bu nedenle kuralın teorik kesinliğinin yanında hedef kitlenin kuralı fiilen kullanma kapasitesini de içermelidir.

Karmaşıklık ile belirsizliğin kavramsal olarak da ayrılması gerekmektedir. Karmaşık ama istikrarlı ve tutarlı uygulanan bir düzenlemenin sonucu, yüksek öğrenme maliyetine rağmen öngörülebilmektedir. Basit ama geniş takdir alanı bırakan ve uygulayıcılar arasında farklılaşan bir düzenleme ise yüksek sonuç belirsizliği üretmektedir. Bu ayrım, mevzuatı kısaltmayı ya da ayrıntıyı azaltmayı hedefleyen reformların neden tek başına yetersiz kalabildiğinin göstergesidir.

Öngörülebilirliğin kendisi de maliyetsiz değildir. Kurallar ve standartlar tartışmasında, önceden ayrıntılı biçimde belirlenmiş kuralların amaçlanandan daha geniş ya da daha dar bir alanı kapsayabileceği uzun süredir dile getirilmektedir (Kaplow, 1992b). Kesin bir eşik, aktörlerin davranışını eşiğin hemen altında tutmasına da yol açabilir. Örneğin Fransa'da birçok iş gücü düzenlemesinin 50 ve üzeri çalışanı olan firmalar için bağlayıcı hâle gelmesiyle, firmaların bu eşiğin hemen altında yığıldığı gözlenmiştir (Garicano et al., 2016). Kurumsal kullanılabilirlik bu nedenle öngörülebilirliğin sınırsız biçimde artırılmasına yönelik bir savunu değildir. Çerçevenin ilgilendiği kayıp, kuralın amacına hizmet etmeyen ve aktörün karar hesabını gereksiz yere bulandıran belirsizliktir.

İdari Yük ve Etkin Erişim

Kurumsal kullanılabilirliğin ikinci boyutu, aktörün hukuken tanınan bir imkâna hangi maliyetle ulaşabildiğidir. Bir programın mevzuatta yer alması ya da bir başvuru yolunun hukuken açık

olması, hedef aktörün bu imkândan yararlanacağının güvencesi değildir. Bilgi arama, belge toplama, form doldurma, doğrulama, bekleme, yeniden başvurma ve itiraz gibi adımlar düzenlemenin görünmeyen işlem maliyetleridir. Erişim kaybı bu adımların toplamından doğmaktadır.

İdari yük kavramı, bireyin bir politikanın uygulanmasını külfetli olarak deneyimlemesi biçiminde tanımlanmaktadır (Burden et al., 2012). Moynihan et al. (2015), idari yükü vatandaşların devletle etkileşimlerinde karşılaştıkları öğrenme, uyum ve psikolojik maliyetler üzerinden kavramsallaştırmaktadır. Öğrenme maliyeti bir programın ya da yükümlülüğün varlığını ve şartlarını öğrenmek için harcanan kaynakları kapsamaktadır. Uyum maliyeti belge ve prosedür gereklerini yerine getirmenin yükünü anlatmaktadır. Psikolojik maliyet ise stres, damgalanma ve özerklik kaybı gibi deneyimleri içermektedir. Bu literatürü 119 çalışma üzerinden sistematik olarak inceleyen bir değerlendirme, ampirik bulguların yüklerin sonuç doğurduğu, eşit dağılmadığı ve devletin tercihleriyle kurulduğu yönündeki temel iddiaları desteklediğini ortaya koymaktadır (Halling & Baekgaard, 2024). Aynı değerlendirme, yük deneyimini hizmetlerden yararlanma ve demokratik katılım gibi sonuçlara bağlayan yeni çalışmalara ihtiyaç bulunduğunu da belirtmektedir.

Yüklerin yararlanma kararını etkilediğine ilişkin deneysel kanıtlar da vardır. Amerika Birleşik Devletleri'nde hak ettiği vergi kredisini talep etmeyen 35.050 mükellefe gönderilen bildirimlerle yürütülen bir deney, bildirimin sadeleştirilmesinin ve sağlanan yararın görünür kılınmasının talebi belirgin biçimde artırdığını göstermektedir (Bhargava & Manoli, 2015). Çalışma, programın yeterince bilinmemesinin ve bilgi karmaşıklığının düşük yararlanma oranına katkıda bulunduğu sonucuna varmaktadır. Bu bulgu, bir kuralın anlaşılabilirliği ile tanıdığı imkâna erişim arasındaki bağı görünür kılmaktadır.

İdari yük yalnızca sosyal politika alanına özgü değildir. Danimarka'daki kamu alımı sözleşmelerini inceleyen bir çalışma, işletmelerin de devletle etkileşimlerinde öğrenme ve uyum maliyetleriyle karşılaştığını belgelemektedir (Petersen et al., 2024). Bulgulara göre bu maliyetler, seferber edilebilen idari kaynaklardan ziyade bürokratik prosedür ve gerekliliklerle şekillenmektedir. Bu sonuç, erişim kaybının önemli bir kısmının aktörün yetersizliğine değil, usulün tasarımına bağlı olduğunu düşündürmektedir.

Erişim kaybını prosedürün nesnel uzunluğuna indirgemek de gerçekçi değildir. Christensen et al. (2020), bilişsel kaynakların idari yüklerle başa çıkma kapasitesini etkilediğini, aynı yükün daha düşük beşeri sermayeye sahip kişiler için daha ağır hissedildiğini ileri sürmektedir. Bürokratik kuralları, süreçleri, davranış örüntülerini kavramaya yarayan idari sermayenin de yüklere verilen tepkileri farklılaştırdığı savunulmaktadır (Masood & Nisar, 2021). Sosyal güvenlik ağı programlarına ilişkin güncel bir değerlendirme ise en az kaynağa ve en fazla ihtiyaca sahip olanların bu yükleri aşmakta daha çok zorlandığına ve mevcut eşitsizliklerin pekişebildiğine işaret etmektedir (Herd & Moynihan, 2025). Eşit biçimde uygulanan bir prosedür bu nedenle eşit bir fiili erişim üretmeyebilir.

Sorun yalnızca başvuran tarafa özgü değildir. Kırtasiyecilik literatürü, prosedür maliyetlerinin uygulayıcı örgütün kapasitesini de etkilediğini göstermektedir. Kaufmann et al. (2019), idari gecikmenin daha fazla kırtasiyeciliğe, müşteri şikâyetlerine ve örgütün hizmet sunmakta zorlanmasına yol açtığını ileri sürmektedir. Kamu yönetimi kanıtlarını birleştiren bir analiz de kırtasiyeciliğin örgütsel performans ve çalışan sonuçları üzerinde anlamlı ve olumsuz etkisi olduğunu raporlamaktadır (George et al., 2021). Bu nedenle talep tarafındaki erişim maliyetleri ile arz tarafındaki uygulama kapasitesi ayrı ayrı değerlendirilmelidir.

İki Kaybın Etkileşimi ve Kurumsal İşlem Maliyetleri

İşlem maliyeti kavramı, bir işlemin yapılabilmesi için katlanılması gereken maliyetlerin ekonomik sonuçları belirlediği düşüncesine dayanmaktadır. Coase (1960), bir piyasa işleminin gerçekleşmesi için karşı tarafın bulunması, koşulların bildirilmesi, pazarlık yapılması, sözleşmenin kurulması ve koşullara uyulup uyulmadığının denetlenmesi gerektiğini, bu faaliyetlerin ise çoğu zaman son derece maliyetli olduğunu vurgulamaktadır. Dahlman (1979) bunları arama ve bilgi, pazarlık ve karar, denetim ve yaptırım maliyetleri olarak üç grupta toplamaktadır. North (1990) da değişime konu olan şeyin niteliklerini ölçmenin ve anlaşmaları uygulatmanın maliyetini kurumsal analizin merkezine yerleştirmektedir.

Burada kurumsal işlem maliyeti, aktörün bir kuraldan doğan hakkı kullanmak ya da yükümlülüğü yerine getirmek için kuralın kendisiyle kurduğu ilişkide katlandığı maliyetleri anlatmaktadır. Klasik işlem maliyetleri iki özel taraf arasındaki değişimde ortaya çıkarken kurumsal işlem maliyetleri aktör ile kuralı uygulayan kurum arasındaki ilişkide doğmaktadır. Öngörülebilirlik kaybı ile erişim kaybı bu maliyetin iki ayrı kaynağına karşılık gelmektedir. Birinci kaynak belirsizliktir. Hangi sonucun doğacağını bilmeyen aktör araştırma, danışmanlık, güvence ve risk primi gibi maliyetler üstlenmektedir. Bu maliyetler arama, bilgi ve karar maliyetlerinin (Dahlman, 1979) kurumsal karşılığıdır. İkinci kaynak erişimdir. Sonucu yeterince öngörebilen aktör bile o sonuca ulaşmak için zaman, belge, doğrulama ve takip maliyetlerine katlanmaktadır.

İki kayıp arasındaki sınır, maliyetin karar sürecinin hangi aşamasında doğduğuna göre çizilmektedir. Öngörülebilirlik kaybı karar öncesine aittir ve aktörün başvurmaya, yatırım yapmaya ya da sözleşme kurmaya değip değmeyeceğini hesaplarken katlandığı maliyetleri kapsamaktadır. Erişim kaybı karar sonrasına aittir ve aktörün kullanmaya karar verdiği imkâna ulaşana kadar ödediği maliyetlerden oluşmaktadır. İdari yük literatüründeki öğrenme

maliyeti (Moynihan et al., 2015) bu ayrımda ikiye bölünmektedir. Kuralın ne istediğini ve hangi sonucu doğuracağını öğrenmenin maliyeti öngörülebilirlik kaybına, başvurunun nerede ve nasıl yapılacağını öğrenmenin maliyeti ise erişim kaybına yazılmaktadır. Bekleme de aynı biçimde ikiye ayrılmaktadır. Kararın ne zaman çıkacağının önceden kestirilememesi öngörülebilirlik kaybına, süresi önceden bilinen bir beklemenin aktöre yüklediği zaman maliyeti ise erişim kaybına yazılmaktadır. Bu ayrım aynı maliyetin iki kez sayılmasını önlemektedir.

Aktörün kararı bu iki kaybın toplamına bağlıdır. Kuralın tanıdığı imkânın beklenen değeri, belirsizliğin yol açtığı maliyetler ile erişim maliyetlerinin toplamını aşmadığında aktör imkânı kullanmaktan vazgeçmektedir. Kural bu durumda yürürlükte kalmakta, ancak hedeflediği davranışı üretmemektedir. Aynı politika aracı bu iki maliyeti birlikte azaltmayabilir. Bu sebeple reform teşhisinde ikisinin ayrıştırılması önemlidir.

Başvuru kriterlerinin ayrıntılı biçimde yayımlanması bu durumu örneklemektedir. Böyle bir düzenleme sonuç belirsizliğini azaltmaktadır. Ancak kriter sayısı ve belge yükü aşırı arttığında erişim kaybı büyüyebilir. Tersine, başvurunun tek bir forma indirilmesi uyum maliyetini düşürmektedir. Ancak karar ölçütleri belirsiz bırakılmışsa öngörülebilirlik kaybı sürmektedir. Kurumsal kullanılabilirlik bu nedenle basitlik, açıklık ya da dijitalleşme gibi tek bir özelliğe indirgenememektedir.

Ekonomik Sonuçlar ve Maliyetlerin Dağılımı

Hukuki belirsizlik ve erişim maliyetleri yalnızca idari bir rahatsızlık yaratmamakta, ekonomik işlemin yapılıp yapılmamasını da etkileyebilmektedir. Wagner (2011), hukuki belirsizliğin bilgi edinme ve uyuşmazlık çözümü gibi işlem maliyetlerini yükselttiğini ve tüketiciler ile küçük girişimcileri sınır ötesi işlemlerden uzaklaştırdığını tartışmaktadır. Yazar, tam hukuk uyumlaştırmasının

kendisinin de yüksek ekonomik maliyetler doğurduğunu ve genel olarak önerilemeyeceğini savunmaktadır. Belirsizliği azaltma hedefi bu nedenle bütün kuralları tek biçime dönüştürme önerisine denk değildir.

Belirsizliğin ekonomik etkisini doğrudan ölçen çalışmalar da bu tartışmayı desteklemektedir. Kore'deki iflas hâkimlerine ve kurumsal kredilere ilişkin mikro verileri kullanan Lee et al. (2026), daha yüksek hukuki belirsizliğin daha küçük kredi piyasalarıyla sonuçlandığını, etkinin özellikle yüksek riskli firmalarda yoğunlaştığını göstermektedir. Çalışmaya göre bankalar riski borçlular arasında dağıtabildiği için kredi arzı, belirsizliğin çeşitlendirilebilir türüne kredi talebinden daha az duyarlıdır. Hukuki öngörülebilirlik bu bulgular ışığında soyut hukuk devleti niteliğinin ötesinde, finansman koşullarına yansıyan ekonomik bir değişkendir.

İki tür kayıp aktörler arasında eşit dağılmamaktadır. Bilgi, danışmanlık ve likidite kapasitesi yüksek aktörler, belirsizliği ve idari yükü daha kolay yönetebilmektedir. Küçük işletmeler ve sınırlı idari kapasiteye sahip kişiler için aynı yük, işlemin bütünüyle terk edilmesine kadar varan sonuçlar doğurabilmektedir. Bir kuralın herkese nominal olarak aynı biçimde uygulanması, kurumsal işlem maliyetlerinde eşit dağılımın güvencesi değildir. Kullanılabilirlik analizi bu nedenle ortalama maliyetin yanında bu maliyeti kimin taşıdığını da incelemelidir.

Düşük kullanılabilirlik her zaman bir tasarım hatasından doğmamaktadır. İdari yükler bilinçli bir politika tercihinin sonucu da olabilir (Herd & Moynihan, 2018). Düzenleme yükü aktörler arasındaki rekabeti de etkilemektedir. Amerika Birleşik Devletleri'nde 1998 ile 2011 arasındaki dönemi inceleyen bir çalışma, daha yoğun düzenlenen sektörlerde daha az yeni firma kurulduğunu ve büyük firmaların bu sektörlerden çıkma olasılığının küçük firmalara göre daha düşük olduğunu göstermektedir (Bailey & Thomas, 2017). Aynı çalışma, büyük firmaların rakiplerinin

maliyetini yükseltmek amacıyla düzenlemelerin artırılması yönünde girişimde bulunabileceğine de dikkat çekmektedir. Bu durumda yükü taşıyabilen aktörlerin sadeleştirmeyi talep etmek için güçlü bir nedeni yoktur. Kullanılabilirlik sorunu bu nedenle yalnızca teknik bir tasarım sorunu olarak değil, maliyetin yükleneceği tarafa ilişkin bir tercih olarak da okunabilir.

Tüm bulgular birlikte değerlendirildiğinde kullanılabilirliğin toplam ekonomiye uzanan kanalları belirmektedir. Hukuki belirsizlik kredi piyasalarını küçültmektedir (Lee et al., 2026). Yoğun düzenleme yeni firma kuruluşunu azaltmaktadır (Bailey & Thomas, 2017). Eşiğe bağlanan yükümlülükler ise firmaların büyüklük dağılımını etkilemektedir (Garicano et al., 2016). Ülkeler arası kanıtlar da aynı yöne işaret etmektedir. Örneğin 135 ülkeyi kapsayan bir çalışmaya göre, iş düzenlemeleri daha elverişli olan ülkeler daha hızlı büyümektedir. Düzenleme niteliğinde en kötü çeyrekten en iyi çeyreğe geçiş ise yıllık büyümede 2,3 yüzde puanlık bir artış anlamına gelmektedir (Djankov et al., 2006). Bu nedenle kuralların kullanılabilirliği mikro düzeyde erişim sorunu olmanın ötesinde, gelişme ekonomisi ve iktisat politikasının bir unsuru niteliğindedir.

Kurumsal Kullanılabilirlik Çerçevesi

Gerçekleştirilen tartışma, kurumsal kullanılabilirliğin dört soru üzerinden değerlendirilebileceğini düşündürmektedir. Aktör kuralı makul bir maliyetle anlayabilmekte midir? Uygulama benzer durumlarda yeterli tutarlılık göstermekte midir? Hukuki sonuç karar öncesinde yeterli ölçüde öngörülebilmekte midir? Tanınan hak ya da ekonomik imkân idari maliyetler ödendikten sonra fiilen erişilebilir midir? İlk üç soru öngörülebilirlik kaybını, dördüncü soru ise erişim kaybını görünür kılmaya yöneliktir.

Çerçevenin amacı bütün kurumsal kalite boyutlarını tek bir endekste toplamak değildir. Amaç, aynı başarısızlığın farklı

mekanizmalardan doğabileceğini göstermek ve reform aracını teşhis edilen mekanizmaya bağlamaktır. Düşük kullanılabilirlik metinsel karmaşıklıktan, uygulama farklılığından, sonuç belirsizliğinden ya da aşırı idari yükten kaynaklanabilir. Bu kaynakların birbirinden ayrılması, kurumları güçlendirme gibi genel reform çağrılarından daha işlevsel bir analiz olanağı sunmaktadır. Tablo 1 çerçevenin dört boyutunu, her boyutta sorulacak temel soruyu, kaybın olası kaynaklarını ve örnek göstergeleri özetlemektedir.

Tablo 1. Kurumsal Kullanılabilirliğin Boyutları

Boyut	Temel soru	Kaybın olası kaynakları	Örnek göstergeler
Anlaşılabilirlik	Kural makul maliyetle anlaşılıyor mu?	Karmaşık metin, dağınık mevzuat	Kuralı bulma süresi, doğru yorumlama oranı
Uygulama tutarlılığı	Benzer durumlar benzer biçimde karşılanıyor mu?	Yorum farkları, geniş takdir alanı	Benzer dosyalarda karar dağılımı
Sonuç öngörülebilirliği	Sonuç önceden tahmin edilebiliyor mu?	Değişken süreler, sık değişen kurallar	Karar süresi dağılımı, tahmin doğruluğu
Etkin erişim	Tanınan imkâna fiilen ulaşılabiliyor mu?	Belge ve bekleme yükü, psikolojik maliyet	Belge sayısı, yarıda bırakılan başvurular

Kaynak: Yazar tarafından oluşturulmuştur.

Dört boyutun üçü öngörülebilirlik kaybının, biri erişim kaybının karşılığıdır. Bu dağılım erişimin daha az önemli olduğu anlamına gelmemektedir. Öngörülebilirlik metin, uygulama ve sonuç olmak üzere üç ayrı düzeyde bozulabildiği için üç boyuta ayrılmıştır. Erişim kaybı ise idari yük literatüründe öğrenme, uyum ve psikolojik maliyet ayrımıyla (Moynihan et al., 2015) zaten ayrıntılı biçimde çözümlendiği için tek boyuttadır.

Çerçeve, iki kaybın düzeyi birlikte ele alındığında dört kurumsal durumu da ayırt etmeye imkân vermektedir. Tablo 2 bunların tipik görünümlerini ve her birinde öncelik taşıyan reform

odağını göstermektedir. Tablodaki ayrım kesin sınırlara değil, düzenlemenin hangi kayba daha yakın durduğuna ilişkin bir teşhise yöneliktir.

Tablo 2. Öngörülebilirlik ve Erişim Kaybına Göre Dört Kurumsal Durum

Kurumsal durum	Kayıpların bileşimi	Tipik görünüm	Öncelikli reform odağı
Kullanılabilir kural	İki kayıp da düşük	Sonuç öngörülebilir, imkâna ulaşılabilir	Koruma ve izleme
Öngörülebilir ama külfetli kural	Yalnızca erişim kaybı yüksek	Sonuç belli, başvuru yükü caydırıcı	Orantılı usul, yükün idareye aktarılması
Erişilebilir ama belirsiz kural	Yalnızca öngörülebilirlik kaybı yüksek	Başvuru kolay, sonuç belirsiz	Açık ölçütler, uygulamada eş güdüm
Kullanılamayan kural	İki kayıp da yüksek	Kural yürürlükte, karara giremiyor	İki kaybın birlikte ele alınması

Kaynak: Yazar tarafından oluşturulmuştur.

Tablonun en önemli çıkarımı, aynı gözlemin farklı durumlardan kaynaklanabilmesidir. Bir destek programından yararlanma oranının düşük olması öngörülebilir ama külfetli bir kurala, erişilebilir ama belirsiz bir kurala ya da kullanılamayan bir kurala işaret edebilir. Her durumda gereken müdahale farklıdır. Külfetli bir kuralda karar ölçütlerini yeniden yazmak, belirsiz bir kuralda ise dijitalleşmek asıl kaybı gidermeyecektir.

Çerçevenin işleyişi varsayımsal bir örnekle gösterilebilir. Örnekte küçük bir imalat işletmesi, makine yatırımı için bir kamu destek programına başvurmayı değerlendirmektedir. İşletme sahibi önce programın kendisini kapsayıp kapsamadığını anlamak zorundadır. Koşullar birden çok düzenlemeye dağılmışsa ve uzman yardımı gerektiriyorsa kayıp anlaşılabilirlik boyutundadır. Koşullar açık olsa bile aynı nitelikteki başvuruların farklı birimlerde farklı sonuçlandığı biliniyorsa kayıp uygulama tutarlılığı boyutuna

kaymaktadır. Kararın ne zaman çıkacağı kestirilemiyorsa işletme makine siparişini ertelemekte ya da desteksiz hareket etmektedir. Bu durumda kayıp sonuç öngörülebilirliği boyutundadır. İşletme başvurmaya karar verdikten sonra ise istenen belgelerin sayısı, aynı bilginin yeniden istenmesi ve beklemenin uzunluğu etkin erişim boyutunu belirlemektedir.

Örnek, dört boyutun aynı kararın farklı aşamalarına denk geldiğini göstermektedir. İlk üç boyuttaki kayıp işletmeyi başvurmaktan alıkoymakta, dördüncü kayıp ise başvurunun tamamlanmasını engellemektedir. Dışarıdan bakıldığında dört durumun sonucu aynıdır ve destek kullanılmamıştır. Çerçevenin yararı, bu tek gözlemin ardındaki mekanizmayı ayırt etmeye ve buna yönelik reform üretmeye imkân vermesidir.

Güven ve Gönüllü Uyum

Kurumsal kullanılabilirlik ile güven aynı şey değildir. Bir aktör öngörülebilir ve erişilebilir kuruma normatif olarak güvenmeyebilir ya da tam aksine güven duyduğu kurumun süreçlerini karmaşık bulabilir. Güven bu nedenle çerçevenin temel boyutlarından biri değil, tekrarlanan kurumsal deneyimin davranışsal sonuçlarını etkileyen bir geri besleme kanalı niteliğindedir.

Hükümete duyulan güven ile uyum arasındaki ilişkiyi inceleyen bir çalışma, politikanın yararına inanan vatandaşların politikaya uymaya daha istekli olduğu bir mekanizma geliştirmektedir (Besley & Dray, 2024). Bu mekanizmada artan uyum politikayı uygulama maliyetini düşürmekte, devletin etkinliği de güvenle birlikte yükselmektedir. Bulgu, kurumsal kullanılabilirlik açısından ihtiyatlı bir bağlantı kurmaya imkân vermektedir. Tutarlı ve öngörülebilir süreçler güvenin tek kaynağı değildir, ancak aktörün kurumla yaşadığı tekrarlanan deneyimde kurumun güvenilirliğine

ilişkin yargısını besleyebilmektedir. Bu yolla artan gönüllü uyum da denetim ve yaptırım kaynakları üzerindeki baskıyı hafifletebilir.

Buradaki nedensellik tek yönlü değildir. Güven uyumu etkileyebildiği gibi uygulama da güveni güçlendirebilir. Düşük idari maliyet her zaman daha yüksek meşruiyet üretmeyebilir. Bu nedenle güven ve uyum kurumsal kullanılabilirliğe dâhil edilmemelidir. Bunlar, ampirik olarak ayrıca ölçülmesi gereken olası sonuçlar ve geri besleme kanalları olarak görülmelidir.

Ölçüm İçin Araştırma Gündemi

Kurumsal kullanılabilirliğin ampirik olarak sınanması, tek bir genel algı göstergesi yerine mekanizmaya özgü ölçüler gerektirmektedir. Kurumların ölçümüne ilişkin tartışmada, hukukun üstünlüğü gibi geniş ve bulanık toplam göstergeler yerine belirli kurumların ölçülmesi ve mümkün olduğunca nesnel ölçülere başvurulması önerilmektedir (Voigt, 2013). Bu bölümde sunulan göstergeler söz konusu ölçüm mantığının kurumsal kullanılabilirlik sorununa yansıtılmasına ilişkindir.

Anlaşılabilirlik için kuralı bulma süresi, gerekli bilgi kaynaklarının sayısı, uzman yardımına duyulan ihtiyaç ve hedef kitlenin kuralı doğru yorumlama oranı kullanılabilir. Uygulama tutarlılığı benzer dosyalardaki karar dağılımı, kurumlar arası yorum farkları ve kararları gerekçelendirme örüntüsü üzerinden izlenebilir. Karar süresi, sonuç varyansı ve aktörlerin tahminlerinin doğruluğu ise sonuç öngörülebilirliğini değerlendirmeye elverişli ölçülerdir.

Etkin erişim için tamamlanan başvuruların yanında yarıda bırakılan süreçler, gereken belge sayısı, başvuru süresi, parasal uyum maliyeti, yeniden başvuru oranı ve farklı aktör gruplarının kullanım oranları izlenmelidir. Psikolojik maliyetler ise algıya ve deneyime dayalı ölçüler gerektirmektedir. Davranışsal kamu politikası literatürü bu tür aşırı ya da gerekçesiz sürtünmeleri “sludge” kavramıyla ele almakta ve kurumların bunların maliyetini düzenli

denetimlerle kayda geçirmesini önermektedir (Sunstein, 2022). Kavram Türkçe yazında "çamur" karşılığıyla tartışılırken, sosyal yardım başvurularındaki olası sürtünmeleri tespit etmeye yönelik örnek puan kartları sunulmaktadır (Özdemiray, 2025). Bu alanda OECD (2024), hizmet süreçlerindeki gereksiz sürtünmeleri ve psikolojik maliyetleri belirlemeye, ölçmeye, önlemeye yönelik yapılandırılmış davranışsal değerlendirmeleri on vaka çalışması üzerinden ele almaktadır. İşletmeler söz konusu olduğunda ise kamu alımlarında öğrenme ve uyum maliyetlerini ölçen çalışmalar (Petersen et al., 2024) yararlı bir başlangıç noktası oluşturmaktadır.

Bu göstergelerin bir kısmı idari kayıtlardan, bir kısmı ise yalnızca hedef kitleye yöneltilen araştırmalardan elde edilmektedir. Karar süreleri, belge sayıları ve yarıda bırakılan başvurular kurumların kendi kayıtlarında bulunmaktadır. Doğru yorumlama oranı ve tahmin doğruluğu gibi ölçüler ise aktörlere aynı örnek olayın sunulduğu ve beklenen sonucun sorulduğu anket tasarımlarını gerektirmektedir. Göstergelerin tümünün aynı anda toplanması çoğu düzenleme alanında mümkün olmadığı için ölçüm, teşhis edilmek istenen kayba göre önceliklendirilmelidir.

Ölçüm tasarımında dağılım ayrı bir özen gerektirmektedir. Ortalama başvuru süresinin düşük olması, küçük işletmelerin ya da bilgi kapasitesi düşük aktörlerin sistematik olarak daha yüksek maliyet taşımasını (Christensen et al., 2020; OECD, 2019) gizleyebilmektedir. Göstergelerin bu nedenle gruplar itibarıyla ayrıştırılarak raporlanması gerekmektedir.

Reform Tasarımı İçin Çıkarımlar

Kurumsal kullanılabilirlik yaklaşımı, reform tartışmasını "daha ayrıntılı mı, daha basit mi?" ikileminin dışına taşımaktadır. Ayrıntı daha hassas davranış ayrımları sağlarken bilgi ve uygulama maliyetlerini de artırdığı (Kaplow, 1992a) için reformun amacı kuralı mümkün olan en kısa hâle getirmek değildir. Amaç, gerekli

hassasiyeti hedef kitlenin bilgi kapasitesi ve uygulama maliyetleriyle dengelemektir.

Öngörülebilirlik kaybının yüksek olduğu alanlarda reformun odağında karar ölçütlerinin açıklığı, uygulayıcılar arası eş güdüm, karar sürelerinin istikrarı ve gerekçelendirmenin kalitesi yer almalıdır. Erişim kaybının yüksek olduğu alanlarda ise belge ve doğrulama gereklerinin orantılılığı, aynı bilginin tekrar tekrar istenmesinin önlenmesi, başvuru kanallarının erişilebilirliği ve aktör grupları arasındaki maliyet farkları incelenmelidir. İki kaybın birlikte yüksek olduğu alanlarda yalnızca dijitalleşmeye ya da mevzuat sadeleştirmesine güvenmek yeterli olmayabilir. Tablo 2'deki ayrım bu nedenle reformun hangi kayıptan başlaması gerektiğine ilişkin bir yol gösterici olarak okunabilir.

Reform, koruyucu işlev ile yük azaltımı arasında da bir denge kurmak durumundadır. Kimlik doğrulama, uygunluk kontrolü, raporlama ve denetim gibi usuller meşru kamusal amaçlara hizmet edebilir. Her idari gerekliliği "gereksiz bürokrasi" olarak görmek bu nedenle yanıltıcı olabilir. İdari yük literatürü de meşruiyet ile yük deneyimi arasındaki ödünleşimin ayrıca araştırılması gerektiğini önermektedir (Halling & Baekgaard, 2024). Yük azaltımı her zaman bir gerekliliğin kaldırılması anlamına da gelmemektedir. Politika yapıcıların bazı durumlarda yükleri vatandaştan devlete aktarabildiği gösterilmiştir (Herd & Moynihan, 2018). Asıl soru, aynı kamusal amacın daha düşük öğrenme, uyum ve psikolojik maliyetlerle gerçekleştirilip gerçekleştirilemeyeceğidir.

Kurumsal kullanılabilirlik perspektifi bir reformun başarısını yeni bir düzenlemenin kabul edilmesiyle ölçmemektedir. Reformdan sonra aktörlerin kuralı daha doğru anlayıp anlamadığı, benzer durumlarda daha tutarlı kararlarla karşılaşıp karşılaşmadığı, sonuçları daha iyi öngörüp öngöremediği ve imkânlara daha düşük maliyetle ulaşıp ulaşamadığı birlikte izlenmelidir. Kurumları ölçebilmek onları istenildiği gibi yaratıp değiştirebilmek anlamına

gelmediği (Voigt, 2013) için bu izleme reformun ayrılmaz bir parçası olmalıdır.

Sonuç

Kurumsal kullanılabilirlik kavramı, formel kuralların ekonomik aktörler için hangi koşullarda kullanılabilir olduğunu açıklamak amacıyla geliştirilmiştir. Bu doğrultuda hukuk ve iktisat ile kamu yönetimi literatürlerinin bulguları, işlem maliyeti kuramı içinde bir araya getirilmiş, kuralların ekonomik etkisi aktörlerce kullanılabilirliği üzerinden değerlendirilmiştir. Geliştirilen teşhis çerçevesinde hukuki öngörülebilirlik ile etkin erişim aynı yapı içinde ele alınmış, ancak bu iki mekanizma birbirine indirgenmemiştir. Çerçeve, küçük bir imalat işletmesinin kamu destek programına başvuru kararını içeren varsayımsal bir örnekle somutlaştırılmıştır. Bu yaklaşımla, yürürlükteki kuralların neden hedeflenen davranışı üretmediğine ilişkin dört temel çıkarıma ulaşılmıştır.

İlk çıkarım, hukuki belirliliğin ekonomik karar açısından tek başına yeterli olmadığıdır. Belirlilik ancak anlaşılabilirlik, uygulama tutarlılığı ve sonuç öngörülebilirliği ürettiği ölçüde işlevseldir. Düzenleyici karmaşıklık bu ilişkiyi iki yönlü etkilemektedir. Ayrıntı kuralın isabetini artırırken aktörün kurala ulaşma ve onu çözümleme yükünü de büyütmektedir. Bu nedenle kuralı daha ayrıntılı yazmak, öngörülebilirliği kendiliğinden artırmamaktadır. İkinci çıkarım, hukuken tanınan erişim ile etkin erişimin aynı şey olmadığıdır. Öğrenme, uyum ve psikolojik maliyetler, kâğıt üzerinde var olan bir hakkın ya da ekonomik imkânın kullanımını sınırlayabilmektedir. Maliyetler eşit dağılmadığında, görünüşte eşit bir prosedür eşitsiz kurumsal sonuçlar doğurabilir. Üçüncü çıkarım, kullanılabilirlik sorununun mikro düzeyle sınırlı kalmadığıdır. Hukuki belirsizlikten ve düzenleme yükünden doğan kayıplar kredi, firma girişi ve firma büyüklüğü kanalları aracılığıyla ekonomiye yansımaktadır. Kuralların kullanılabilirliği bu yönüyle büyüme ve iktisat politikası

açısından da önem taşımaktadır. Dördüncü çıkarım, iki kaybın farklı politika araçları gerektirdiğidir. Belirsizlikten doğan maliyet karar ölçütlerinin açıklığı ve uygulama tutarlılığıyla, erişimden doğan maliyet ise usullerin orantılılığı ve erişim tasarımıyla azaltılabilir. Aynı araç birini azaltırken diğerini artırabildiği için reformların hangi kaybı hedeflediğinin açıkça tanımlanması gerekmektedir.

Politika yapıcılar açısından ilk öneri, reformların mevzuatı kısaltmak ya da dijitalleşmek gibi genel hedeflerden değil, düşük kullanılabilirliğin hangi kayıptan kaynaklandığına ilişkin bir teşhisten hareket etmesidir. İkinci öneri, sadeleştirmenin koruyucu işlevi olan usulleri ayırt ederek yapılmasıdır, çünkü bazı usuller bu işlevi görmekte, bazı belirsizlikler ise kuralın amacına hizmet etmektedir. Üçüncü öneri, reformların yürürlüğe girdikleri anda değil, aktörlerin kuralı anlama, öngörme ve kullanma deneyiminde yarattıkları değişimle değerlendirilmesidir. Bu değerlendirme, küçük işletmeler gibi farklı aktör grupları için ayrı ayrı yapılmalıdır. Araştırmacılar açısından ise çerçevenin belirli düzenleme alanlarında önerilen göstergelerle sınanması ve bu göstergelerin yatırım, firma girişi ve büyüme gibi toplam sonuçlarla ilişkisinin ülkeler arası verilerle incelenmesi verimli bir çalışma alanı sunmaktadır.

Kaynakça

Bailey, J. B., & Thomas, D. W. (2017). Regulating away competition: The effect of regulation on entrepreneurship and employment. *Journal of Regulatory Economics, 52*(3), 237–254. https://doi.org/10.1007/s11149-017-9343-9

Besley, T., & Dray, S. (2024). Trust and state effectiveness: The political economy of compliance. *The Economic Journal, 134*(662), 2225–2251. https://doi.org/10.1093/ej/ueae030

Bhargava, S., & Manoli, D. (2015). Psychological frictions and the incomplete take-up of social benefits: Evidence from an IRS field experiment. *American Economic Review, 105*(11), 3489–3529. https://doi.org/10.1257/aer.20121493

Burden, B. C., Canon, D. T., Mayer, K. R., & Moynihan, D. P. (2012). The effect of administrative burden on bureaucratic perception of policies: Evidence from election administration. *Public Administration Review, 72*(5), 741–751. https://doi.org/10.1111/j.1540-6210.2012.02600.x

Christensen, J., Aarøe, L., Baekgaard, M., Herd, P., & Moynihan, D. P. (2020). Human capital and administrative burden: The role of cognitive resources in citizen-state interactions. *Public Administration Review, 80*(1), 127–136. https://doi.org/10.1111/puar.13134

Coase, R. H. (1960). The problem of social cost. *The Journal of Law and Economics, 3*, 1–44. https://doi.org/10.1086/466560

Colliard, J.-E., & Georg, C.-P. (2020). *Measuring regulatory complexity* (HEC Paris Research Paper No. 1358). HEC Paris. https://doi.org/10.2139/ssrn.3523824

Dahlman, C. J. (1979). The problem of externality. *The Journal of Law and Economics, 22*(1), 141–162. https://doi.org/10.1086/466936

Djankov, S., McLiesh, C., & Ramalho, R. M. (2006). Regulation and growth. *Economics Letters, 92*(3), 395–401. https://doi.org/10.1016/j.econlet.2006.03.021

Fuller, L. L. (1969). *The morality of law* (Rev. ed.). Yale University Press.

Garicano, L., Lelarge, C., & Van Reenen, J. (2016). Firm size distortions and the productivity distribution: Evidence from France. *American Economic Review, 106*(11), 3439–3479. https://doi.org/10.1257/aer.20130232

George, B., Pandey, S. K., Steijn, B., Decramer, A., & Audenaert, M. (2021). Red tape, organizational performance, and employee outcomes: Meta-analysis, meta-regression, and research agenda. *Public Administration Review, 81*(4), 638–651. https://doi.org/10.1111/puar.13327

Halling, A., & Baekgaard, M. (2024). Administrative burden in citizen–state interactions: A systematic literature review. *Journal of Public Administration Research and Theory, 34*(2), 180–195. https://doi.org/10.1093/jopart/muad023

Herd, P., & Moynihan, D. P. (2018). *Administrative burden: Policymaking by other means*. Russell Sage Foundation. https://doi.org/10.7758/9781610448789

Herd, P., & Moynihan, D. (2025). Administrative burdens in the social safety net. *Journal of Economic Perspectives, 39*(1), 129–150. https://doi.org/10.1257/jep.20231394

International Organization for Standardization. (2018). *Ergonomics of human-system interaction — Part 11: Usability:*

Definitions and concepts (ISO Standard No. 9241-11:2018). https://www.iso.org/standard/63500.html

Kaplow, L. (1992a). *A model of the optimal complexity of rules* (NBER Working Paper No. 3958). National Bureau of Economic Research. https://doi.org/10.3386/w3958

Kaplow, L. (1992b). Rules versus standards: An economic analysis. *Duke Law Journal, 42*(3), 557–629. https://doi.org/10.2307/1372840

Kaufmann, W., Taggart, G., & Bozeman, B. (2019). Administrative delay, red tape, and organizational performance. *Public Performance & Management Review, 42*(3), 529–553. https://doi.org/10.1080/15309576.2018.1474770

Lee, J., Schoenherr, D., & Starmans, J. (2026). *The economics of legal uncertainty* (ECGI Law Working Paper No. 669/2022). European Corporate Governance Institute. https://www.ecgi.global/publications/working-papers/the-economics-of-legal-uncertainty

Masood, A., & Nisar, M. A. (2021). Administrative capital and citizens' responses to administrative burden. *Journal of Public Administration Research and Theory, 31*(1), 56–72. https://doi.org/10.1093/jopart/muaa031

Moynihan, D., Herd, P., & Harvey, H. (2015). Administrative burden: Learning, psychological, and compliance costs in citizen-state interactions. *Journal of Public Administration Research and Theory, 25*(1), 43–69. https://doi.org/10.1093/jopart/muu009

North, D. C. (1990). *Institutions, institutional change and economic performance*. Cambridge University Press. https://doi.org/10.1017/CBO9780511808678

OECD. (2019). *OECD SME and entrepreneurship outlook 2019*. OECD Publishing. https://doi.org/10.1787/34907e9c-en

OECD. (2024). *Fixing frictions: 'Sludge audits' around the world: How governments are using behavioural science to reduce psychological burdens in public services* (OECD Public Governance Policy Papers No. 48). OECD Publishing. https://doi.org/10.1787/5e9bb35c-en

Özdemiray, S. M. (2025). Kamu politikalarında 'çamur (sludge)': Sosyal yardım politikalarına yönelik bir kontrol paneli önerisi. *Uluslararası Sosyal ve Ekonomik Çalışmalar Dergisi, 6*(1), 160–181. https://doi.org/10.62001/gsijses.1705786

Petersen, O. H., Hansen, J. R., & Houlberg, K. (2024). The administrative burden of doing business with the government: Learning and compliance costs in business–government interactions. *Public Administration, 102*(1), 188–206. https://doi.org/10.1111/padm.12904

Sunstein, C. R. (2022). Sludge audits. *Behavioural Public Policy, 6*(4), 654–673. https://doi.org/10.1017/bpp.2019.32

Voigt, S. (2013). How (not) to measure institutions. *Journal of Institutional Economics, 9*(1), 1–26. https://doi.org/10.1017/S1744137412000148

Wagner, H. (2011). Costs of legal uncertainty: Is harmonization of law a good solution? In *Modern law for global commerce: Proceedings of the Congress of the United Nations Commission on International Trade Law held on the occasion of the fortieth session of the Commission* (pp. 53–60). United Nations. https://uncitral.un.org/sites/uncitral.un.org/files/media-documents/uncitral/en/09-83930_ebook.pdf


BİDGE