

İktisadi Büyümeyi Doğadan İlham Alan Teknolojiler ile Yeniden Düşünmek: Biyomimikri, Yapay Zekâ ve Döngüsel Ekonomi

Rethinking Economic Growth through Nature-Inspired Technologies: Biomimicry, Artificial Intelligence and the Circular Economy

Aslı TAŞBAŞI¹

Araştırma Makalesi/Research Article

Başvuru/Received: 24.02.2025; Revizyon/Revised: 10.04.2025; Kabul/Accepted: 15.04.2025

ÖZ

Üretim ve tüketim artışına dayalı anaakım iktisadi büyüme modelleri, küresel ölçekte çevresel tahribatı ve toplumsal eşitsizlikleri derinleştirmiş; piyasa odaklı reçeteler ise bu sorunlara etkili çözümler üretememiştir. Bu çalışma, ekolojik iktisadın kuramsal temellerinden hareketle, biyomimikri ve döngüsel ekonomiyi büyüme için yeniden tanımlayabilecek dönüştürücü unsurlar olarak ele almakta; gezegenin sınırlarını gözetken, teknolojik ilerleme ve toplumsal refahı önceleyen alternatif bir paradigma önermektedir. Yapay zekânın bu dönüşümdeki belirleyici rolüne dikkat çeken çalışmada, biyomimetik teknolojilerin kısa vadeli kâr maksimizasyonu yerine sürdürülebilirlik ve toplumsal refah ilkeleri doğrultusunda uygulanması gerektiği savunulmaktadır. Bu bağlamda, seçili iktisadi süreçlere ilişkin olarak miselyum ağları ve protoplazmaların yapısal ve işlevsel özelliklerinden esinle, yapay zekâ destekli görsel temsiller geliştirilmiştir. Söz konusu yöntem, hem biyomimetik-analojik eşleştirme yaklaşımıyla, hem de iktisadi sistemlere ilişkin çok katmanlı görsel temsil üretimiyle literatürde özgün bir ilk olma niteliği taşımaktadır.

Anahtar Kelimeler: Ekolojik iktisat, biyomimikri, döngüsel ekonomi, yapay zekâ, iktisadi büyüme.

ABSTRACT

Mainstream economic growth models centered on increased production and consumption have intensified environmental degradation and social inequalities on a global scale, while market-oriented prescriptions have failed to offer effective solutions to these issues. This study, grounded in the theoretical foundations of ecological economics, approaches biomimicry and the circular economy as transformative elements capable of redefining growth and proposes an alternative paradigm that prioritizes technological progress and social welfare while remaining within planetary boundaries. Emphasizing the pivotal role of artificial intelligence (AI) in this transformation, the study argues that biomimetic technologies should be implemented not with a focus on short-term profit maximization, but in line with the principles of sustainability and social welfare. In this context, AI-assisted visual representations have been developed for selected economic processes, drawing inspiration from the structural and functional properties of mycelial networks and protoplasmic forms. This method constitutes a novel contribution to the literature, both through its biomimetic-analogical matching approach and its capacity to produce multi-layered visual representations of economic systems.

Keywords: Ecological economics, biomimicry, circular economy, artificial intelligence, economic growth.

¹ Işık Üniversitesi, İktisat Bölümü, asli.sen@isikun.edu.tr, ORCID: 0000-0002-9640-8582

1. Giriş

Biyomimikri (veya biyomimetik), doğanın milyarlarca yıllık evrim sürecinde sınavarak optimize ettiği sistem ve süreçleri taklit yoluyla, çeşitli alanlarda insan kullanımına uyarlanabilecek yenilikçi çözümler yaratmak olarak tanımlanabilir. Nilüfer yapraklarının lotus etkisi olarak bilinen su itici özelliğinden esinlenerek geliştirilmiş kendi kendini temizleyen yüzeyler, dulavrat otu tohum keselerindeki kancalardan ilham alan Velcro (Türkçede halk arasında bilinen adıyla cırt cırt), yalıçapkınının gaga yapısını taklit eden Shinkansen hızlı trenler ve balina yüzgeçlerinden modellenen rüzgâr türbini tüberkül kanatlarının tasarımı, günlük yaşamda sıklıkla rastlanılan biyomimikri örnekleri arasında gösterilebilir.

Şemsiyeyi dev bir nilüfer yaprağından, testereyi ise tırtıklı bir asma dalından esinlenerek icat ettiği kabul edilen Lu Ban'dan; bisiklet, uçak, helikopter ve paraşütün öncül tasarımlarını doğayı gözlemleyerek geliştiren Leonardo da Vinci'ye kadar, biyomimikrinin izleri yüzyıllar öncesine dek sürülebilir. Ancak “biyomimetik” terimi ilk kez, 20. yüzyılda mürekkep balıklarının sinir sisteminden ilham alarak Schmitt tetiğini icat eden Otto Schmitt tarafından ortaya atılmıştır (Vincent v.d., 2006). Kavram, Benyus'un 1997 yılında yayımladığı *Biyomimikri: İlhamını Doğadan Alan İnovasyon (Biomimicry: Innovation Inspired by Nature)* başlıklı çalışması ile geniş kitlelerce tanınmıştır.

Biyomimikri, mimarlık ve mühendislik alanlarında nispeten yaygın kullanılan bir yöntem olmasına rağmen, iktisat ve kamu politikası çalışmalarında büyük ölçüde göz ardı edilmiştir. Oysa, insanın doğayla ilişkisini yeniden kurma potansiyeline sahip bu araştırma alanı, genel anlamda sosyal bilimler içinde, özel anlamda da iktisadi hayatta karşı karşıya kalınan çok boyutlu problemlere kalkınma ve toplumsal refah odaklı çözümler üretilmesine katkıda bulunabilir.

Ekolojik perspektiften bakıldığında, aslında kendiliğinden sürdürülebilir inovasyon yapan bir sistem olan doğanın, uzun ömürlü ve kaynak açısından verimli ürünler, süreçler ve politikalar yaratarak, adeta doğru sorunun veya gereksinimin ifade edilmesini bekleyen hazır çözümlerden oluşan bir palet sunduğunu söylemek yanlış olmaz. Doğada, bir organizmanın atığı bir diğeri için kaynak olma özelliği taşır ve böylelikle kapalı devre bir sistem ortaya çıkar. Biyomimikri, endüstrilerde benzer ilkeleri teşvik ederek doğrusal ekonomiden döngüsel ekonomiye geçişte destekleyici bir unsur olabilir. Bu şekilde hiçbir kaynağın israf edilmediği ekosistemler

yaratılarak tüketim yerine kaynak yenilenmesine öncelik veren ekolojik bir iktisadi model meydana getirilebilir.

İktisadi büyüme arayışı, özellikle neoklasik gelenekte olmak üzere, uzun zamandır anaakım iktisat teorilerinin merkezinde yer almaktadır (bkz. Ramsey, 1928; Solow, 1956; Cass, 1965; Barro ve Sala-i-Martin, 1995). Ancak, küresel boyuttaki çevresel bozulma ve toplumsal eşitsizlikler, büyüme paradigmalarının yeniden düşünülmesini gerektirmektedir. Bu çalışma, aşırı kaynak kullanımı ve tüketime dayanan geleneksel büyüme anlayışına eleştirel bir perspektiften yaklaşarak, doğadan ilham alan alternatif bir büyüme anlayışını önermekte, bu bağlamda biyomimetik teknolojilerin yapay zekâ yoluyla iktisadi sisteme entegre edilmesinin, çevresel sınırlılıklarla uyumlu toplumsal refah artışına katkıda bulunabileceğini savunmaktadır.

Bilgimiz dahilinde, iktisadi sistemlerin biyomimetik teknikle modellenmesinde yapay zekâ uygulamalarını esas alan herhangi bir çalışma henüz bulunmamaktadır. Bu yönüyle literatürde bir ilk olma niteliği taşıyan bu çalışma, söz konusu alanda bir düşünsel zemin oluşturmayı ve gelecekte gerçekleştirilecek araştırmalara başlangıç noktası teşkil etmeyi amaçlamaktadır. Çalışmada ortaya konan temel düşüncenin somutlaştırılabilmesi amacıyla, seçili iktisadi sistemler doğadaki karşılıklarıyla—etkileşim yapıları ve morfolojik benzerlikler temelinde—eşleştirilmiştir. Bu eşleşmelerin görsel modellemelerinde, yalnızca biçimsel bir kompozisyon sunmakla yetinilmemiş; aynı zamanda kavramsal analogiler kurma hedefi de gözetilmiştir.

Çalışmada yer alan görseller, *OpenAI*'nin *image_gen* yapay zekâ destekli görsel üretim aracı yardımı ile oluşturulmuştur. Görsel üretimde kullanılan metinsel girdiler (*prompt*'lar), hem iktisadi kavramları hem de doğal sistemlerden alınan örnekleri içermektedir. Görsellerin yorumlanmasında ise, görselde temsil edilen sembolik öğelerin yanı sıra, bu öğelerin iktisat literatüründeki karşılıkları da dikkate alınmıştır. Şüphesiz ki burada sunulanlardan daha işlevsel modellerin tasarlanması ve bu modellerin uygulamaya dökülerek sonuçlarının değerlendirilmesi, bu çalışmanın kapsamını aşan ve ayrıca araştırılması gereken süreçlerdir.

Çalışmanın izleyen ikinci bölümünde, konuyla ilişkili henüz genişlememiş literatür, az sayıda da olsa başlıca çalışmalara atıfta bulunarak özetlenmektedir. Üçüncü bölümde, anaakım iktisadi büyüme anlayışına eleştirel ekolojik yaklaşımlar ele alınmaktadır. Bu bölümde *büyümeme* ve *ayrışma* kavramlarına referansla, iktisadi sistemlerin sosyal ve ekolojik bağlamlara gömülü olduğu fikrinin altı çizilmektedir. Dördüncü bölümde, biyomimikrinin iktisadi açıdan döngüsel ekonomi ile uyumu incelenmektedir. Beşinci bölümde, biyomimetik teknolojileri uyarlayan yapay zekâ uygulamalarının bir makroiktisadi politika aracı olarak kullanımı önerilmektedir.

Altıncı bölüm, yapay zekâ destekli biyomimetik görsel modelleri oluşturma sürecine ilişkin esasları açıklayan yöntem bölümüdür. Bu bölümde sırasıyla kavramsal ve görsel üretim süreçleri anlatılmıştır. Çalışma, mevcut araştırmadan elde edilen çıkarımlar ve gelecekteki araştırmalara ilişkin açılımlarla sonlanmaktadır.

2. Literatür

İktisadi sistemlerin sürdürülebilirliği sağlamak için ekolojik ilkelere ilham aldığı biyomimetik ekonomi anlayışını, iktisadi yapıları doğal ekosistemlere göre modelleyerek, çevresel kısıtlamalarla uyumlu, dayanıklı ve uyarlanabilir sistemler yaratma ilkesine dayandırmak mümkündür. Böylesi dönüştürücü potansiyeline rağmen, ekonomi -özellikle büyüme ve kalkınma açısından- ile biyomimikri arasındaki ilişki yeterince araştırılmamıştır. Literatürdeki bu boşluk, biyomimetik ilkelerin iktisadi büyüme ve kalkınma stratejilerine sistematik olarak nasıl entegre edilebileceğini ortaya koyabilmek için daha kapsamlı araştırmalara ihtiyaç olduğunu göstermektedir.

Biyomimikri, biyolog Janine Benyus'un 1997 tarihli *Biyomimikri: Doğadan İlham Alan Yenilik* adlı kitabı ile popülerlik kazanmış olup, doğadaki formların (bir kuşun aerodinamik yapısı gibi), süreçlerin (fotosentez gibi) ve ekosistemlerin (kapalı devre atık sistemleri gibi) taklit edilerek insan ihtiyaçlarına uyarlanması fikrine dayanmaktadır. Benyus, biyomimikrinin sürdürülebilir iktisadi kalkınma açısından potansiyelini incelemiş ve iktisadi faaliyetleri ekolojik dengeyle uyumlu hale getiren yenilikçi çözümlere ilham verme kapasitesine vurguda bulunmuştur (Benyus, 1997). Ancak izleyen yıllarda iktisadi sistemlere içkin biyomimetik teknolojileri ele alan çalışmalara pek de rastlanmamaktadır. Konuyla ilişkili az sayıdaki araştırma arasında erken tarihli denilebilecek çalışmalarıyla Wahl ve Baxter (2008), biyomimetik yaklaşımların daha verimli ve sürdürülebilir endüstriyel süreçler yaratmak için döngüsel ekonomi stratejilerine entegre edilebileceğini ileri sürmüştür.

Literatürde biyomimikri, deniz biyomimetisi yoluyla mavi ekonomi ile de ilişkilendirilmiştir. Bhushan'ın çalışması, deniz organizmalarından ve ekosistemlerinden ilham alınarak, deniz biyoçeşitliliğini bozmadan iktisadi büyümeye katkıda bulunan yeni teknoloji ve malzemelerin geliştirilmesine odaklanmıştır (Bhushan, 2009).

Biyomimikrinin ekonomik sistemlere entegrasyonu, küresel sürdürülebilir kalkınma amaçları (SKA) ile de bağlantılandırılmıştır. Raman v.d. (2024), doğadan ilham alan yeniliklerin, iktisadi kalkınma ve çevresel sürdürülebilirliği destekleyen politika ve stratejiler formüle etmek

konusundaki rolünü, kaynak verimliliği, iklim eylemi ve sürdürülebilir sanayileşme gibi SKA'lar ile eşleştirerek ele almıştır.

Lebdioui (2022), biyomimikrinin küresel dinamiklerini ve iktisadi etkilerini araştırmıştır. Yazar, proaktif politika müdahaleleri yoluyla gelişmiş ekonomilerin biyomimikri alanına hâkim olduğunu, buna karşın gelişmekte olan ekonomilerin biyomimikriyi bir yenilik stratejisi olarak benimsemekten büyük ölçüde dışlandığını vurgulamıştır. Lebdioui'ye göre söz konusu dışlama, yüksek gelirli ülkelerdeki firmalar tarafından gelişmekte olan dünyadaki biyoçeşitliliğin sömürülmesini sürdürme yöntemlerinden biridir. Çalışmada Latin Amerika örneği kullanılarak, biyomimikrinin gelişmekte olan ülkelere yüksek katma değerli, bilgi yoğun faaliyetlere sıçramak için önemli fırsatlar sunduğu ileri sürülmektedir. Lebdioui'nin analizi, özellikle Küresel Güney'de sürdürülebilir kalkınma için biyomimikrinin benimsenmesinde politikanın kritik rolünün altını çizmektedir.

Bu çalışmanın, henüz iktisadi boyutuyla genişlememiş ilgili literatüre katkısı iki yönlüdür. Öncelikle çalışma, iktisadi sistemlerin biyomimetik teknolojiler yardımıyla dönüşümünü, gezegenin karşı karşıya olduğu ekokırımına karşı ekolojik iktisadi perspektif ile uyumlu bir çözüm çağrısı olarak sunmaktadır. Çalışmada biyomimetik iktisadi sistemler, sürekli bir kurtarma ve yeniden kullanım döngüsüyle karakterize edilen, kaynak verimliliği ilkesine dayalı, minimum enerji kullanan, biyolojik çeşitliliği ve ekosistemin sorunsuz işleyişini destekleyen döngüsel sistemler olarak kabul edilmiştir. Bu yapının bileşenlerinin yapay zekâ yoluyla tasarlanması ve uygulanabilir hale getirilmesinin küresel ölçekte gelir eşitsizlikleri ve çevresel eşitsizliklerin azaltılmasına yardımcı olabileceği çalışmanın geleceğe dönük savlarından biridir.

İkinci olarak, çalışmada ortaya konulan önermeleri somutlaştırmak amacıyla, seçili iktisadi sistemler morfolojik olarak benzerlik taşıyan doğadaki sistemlerle eşleştirilerek örnek modellemeler oluşturulmuştur. Söz konusu örnekler yalnızca betimsel olarak ifade edilmemiş, aynı zamanda yapay zekâ destekli görsel temsilleri de üretilmiştir. Bu yönüyle, çalışmanın katkısı kuramsal olmanın ötesine geçerek, aynı zamanda görsel kavramsallaştırma yoluyla alternatif modelleme biçimleri önermesidir.

3. Kuramsal Arka Plan: Anaakım İktisadi Büyüme Anlayışına Eleştirel Ekolojik Yaklaşımlar

Anaakım iktisadi büyüme teorileri, gayrisafi yurtiçi hasıla (GSYİH) artışının yaşam standartlarını iyileştirmek ve refahı artırmak için zorunlu olduğunu ileri sürer. Söz konusu

teoriler, iktisadi büyümeyi yönlendiren başlıca unsurlar olarak sermaye birikiminin, teknolojik ilerlemenin ve işgücü verimliliğinin önemini vurgularken; kaynakların tükenmesini, çevresel tahribatla ilişkili ekolojik kısıtlamaları ve toplumsal maliyetleri göz ardı eder.

Ekolojik iktisat, ekonominin çevresel sistemlerden bağımsız olarak büyüyebileceği fikrini reddeden bir anlayışa duyulan ihtiyaçla, anaakım iktisadi modellere meydan okuyan bir düşünce okulu olarak ortaya çıkmıştır. 20. yüzyılın sonlarında Nicholas Georgescu-Roegen, Kenneth Boulding ve Herman Daly gibi bilim insanlarının düşünce ve çalışmalarından kök salan alan, sürdürülebilir kalkınmayı vurgulamakta, çevresel kısıtlamaları hesaba katarak iktisadi faaliyetleri ekolojik dayanıklılıkla uyumlu hale getiren politikaları teşvik etmektedir. Ekolojik iktisat anlayışı, doğa ve ekonomi arasındaki geleneksel dikotomiye reddederek, iklim değişikliği, biyoçeşitlilik kaybı ve kaynak kıtlığı gibi acil küresel sorunları ele almak için bütünsel bir çerçeve sunmaktadır.

Ekolojik iktisat çatısı altında yeşeren yaklaşımlar, iktisadi faaliyetlerin doğanın dengesi ve toplum refahından daha öncelikli hale getirilmesi nedeniyle büyümenin amansızca sürdürülmesinin ekolojik bozulmaya ve toplumsal adaletsizliklere yol açtığını savunur (Klein, 2014). Ekolojik iktisadın önemli temsilcilerinden Daly (1977), durağan durum ekonomisi (*steady state economy*) kavramı ile, ekonomilerde nüfus ve üretimin gezegenin kaynakları yenileme ve atıkları tolere etme yeteneğiyle uyumlu seviyelerde sabitlenmesi gerektiğini ileri sürer. Daly'ye göre amaç, sınırsız biçimde büyümek yerine, odak noktası servet ve nüfusun ekolojik sınırlar içinde kalmasını sağlamak olan durağan bir durumu sürdürebilmek olmalıdır. Victor (2008), *Büyüme Olmadan Yönetmek* başlıklı çalışmada maddi tüketimi artırmadan refaha ulaşmanın mümkün olduğunu öne sürmüş, yüksek gelir düzeyine sahip ülkelerin iktisadi büyüme öncelikli hedeflerini eleştirmiştir. Victor'un eleştirisi esasen büyümenin diğer başlıca iktisadi, sosyal ve çevresel politika hedeflerini karşılamadaki başarısızlığı üzerine kuruludur. Zengin ülkelerin birincil politika hedefi olarak iktisadi büyümeden uzaklaşarak refahı artırmaya yönelik hedefler izlemeleri gerektiğine dair savlar sunan Victor, küresel iktisadi büyümenin çevresel ve kaynak kısıtlamaları nedeniyle gerçekçi olmadığını da iddia etmektedir. Victor'a göre, artan gelir düzeyi, mutluluğu ve refahı yalnızca zengin ülkelerde artırmaktadır. Dahası, gelirdeki artış; tam istihdam sağlamadan, yoksulluğu ortadan kaldırmadan veya ekonominin çevre üzerindeki yükünü azaltmadan gerçekleşmektedir.

Ekolojik makro iktisat, büyük ölçüde Keynesyen ve Post-Keynesyen iktisadi düşünce okullarının prensiplerinden esinlenmiştir. Ekolojik iktisatçılar, Post-Keynesyen modellerin vurguladığı toplam talep ve kamu mallarına yapılan yatırımların rolünü yeniden ele alarak

(Rezai vd., 2013) çevresel olarak sürdürülebilir sonuçları teşvik etmek amacıyla yorumlar. Fontana ve Sawyer (2013), Keynesyen ilkeleri, parasal döngülerin, yatırımların ve finansal politikaların ekolojik kısıtlar altında nasıl yönlendirilebileceğini ortaya koymak amacıyla genişletir. Bu bağlamda yazarlar, efektif politikaların, sermaye birikim oranını yavaşlatmak ve yatırımların daha düşük ancak sürdürülebilir büyüme hedeflerini desteklemek amacıyla çevre dostu teknolojilere yönlendirilmesi gerektirdiğini savunurlar. Böylelikle, Keynesyen tam istihdam olgusunu ekolojik kısıtlar ekseninde yeniden yorumladıkları söylenebilir. Stagl (2014), çalışma saatlerinin düşürülmesinin, çevresel ekosistem üzerindeki tüketim kaynaklı baskıları ve dolayısıyla ekolojik tahribatı azaltarak refahı artırabileceğini ileri sürer. Bu yaklaşım, Keynes'in (1930) teknolojik ilerlemelerin gelecekte toplumların üretimden çok boş zamana öncelik vereceği öngörüsünü de yansıtmaktadır.

Geri tepme etkisi (rebound effect) -veya Jevons Paradoksu²- bu modellerde gerçekleşmesi olası bir olumsuzluk olarak kabul edilmektedir. Örneğin, Rezai v.d. (2013), Keynesyen dokunuşlu ekolojik kuramsal çerçevelerine geri tepme etkisini dahil etmiştir. Yazarlar, yeni teknolojilerden elde edilen verimlilik artışının maliyetleri düşürebileceği ve istem dışı kaynak tüketimini artırabileceği uyarısında bulunmaktadır. Bu nedenle, kaynak kullanımını sınırlamak ve potansiyel geri tepmeleri önlemek için tüketim kalıplarını ayarlamak üzere politikalar önermektedirler.

Teknolojik yenilik ile çevre arasındaki ilişki, ekolojik makro iktisatta tartışmalı bir konudur. Teknolojinin verimliliği artırma ve çevresel etkileri azaltma potansiyeli olsa da ekolojik iktisatçılar teknolojik çözümlere eleştirel yaklaşır. Binswanger (2001) ve Rezai v.d. (2013) de verimlilik kazanımlarının artan tüketime yol açarak ekolojik faydaları ortadan kaldırdığı geri tepme etkisinin risklerine dikkat çekmektedir. Bu, teknolojik ilerlemenin sürdürülebilirlik hedefleriyle uyumlu olmasını sağlamak için tüketim sınırlamaları ve davranış değişiklikleri gibi tamamlayıcı politikalara olan ihtiyacı vurgulamaktadır. Fontana ve Sawyer (2013), üretim fonksiyonunun doğal kaynakların sermaye veya emekle ikame edilebilir olmaktan ziyade, yeri doldurulamaz girdiler kabul edildiği bir biçimde yapılandırılmasını önermektedir. Çalışmaları, sürdürülebilir bir makro iktisadi çerçevenin yalnızca kaynak kullanımı açısından değil, aynı zamanda yatırımların hacmini ve bileşimini düzenleyerek büyümeyi sınırlaması gerektiğini vurgulamaktadır.

² Geri tepme etkisi: Enerji verimliliğinde meydana gelen yükselişin enerji fiyatlarını düşürmesi yoluyla ortaya çıkan iktisadi kazançların enerji tüketimini artırması. Söz konusu artış %100'den fazla olduğunda *Jevons Paradoksu* adını alır.

Anaakım makro iktisadi modeller, uzak gelecekteki faydalar karşısında bugünün faydasını veya ekolojik açıdan ifade edilirse, kısa vadeli getirileri önceliklendirirken çevresel bozulmanın gelecekteki etkisini küçümseyen yüksek indirim oranlarını (*discount rate*) benimser³. Buna karşılık düşük indirim oranlarının kritik bir bileşen olduğu ekolojik makro iktisadi modellerde, gelecek nesiller için gezegenin korunması gerekliliği vurgulanır (Ackerman v.d, 2010). Benzer şekilde, Stern (2014), çevre konularındaki eylemsizliğin maliyetlerinin, çevresel etkiyi azaltmanın acil maliyetlerinden çok daha ağır bastığının altını çizmektedir. Aghion ve Howitt (1998) ve Grimaud (1999), çevresel modellerde indirim oranlarının etkilerini araştırarak, bu oranlar *I*'in altında tutulduğunda sürdürülebilir büyümenin mümkün olduğunu ileri sürmektedir.

İktisadi büyüme konusunda son yıllarda geniş yankı uyandıran temel ekolojik eleştirel yaklaşımlardan ilki, radikal bir perspektifi benimseyerek üretim ve tüketim artışının sebep olduğu çevresel baskıları hafifletmek için yüksek gelirli ülkelerde iktisadi faaliyetlerin bilinçli olarak azaltılmasını savunan büyümeme (*degrowth*) hareketidir.

Ekolojik iktisadi yaklaşımlar içinde yine anaakım büyüme modellerine eleştirel yapıda ancak küçülme yerine, iktisadi büyümenin kaynak tüketimi ve çevresel bozulmadan bağımsız olarak gerçekleşebileceği fikrini savunan bir başka anlayış da ayrışma (*decoupling*) kavramına dayanmaktadır.

3.1. Büyümeme (Degrowth)

Ekolojik sürdürülebilirlik ve toplumsal eşitliği sağlamak amacıyla üretim ve tüketimin bilinçli olarak azaltılmasını savunan büyümeme hareketi, ekolojik iktisat içinde paradigma değişikliği öneren bir yaklaşım olarak ortaya çıkmıştır (Latouche, 2009). Latouche (2009) ve Kallis (2011), GSYİH'yi düşürmenin ekolojik sürdürülebilirlik ve sosyal adaleti sağlamak için zorunlu olduğunu ileri sürer. Büyümeme anlayışı ile, yalnızca iktisadi büyümeye yönelik “saplantı” değil, aynı zamanda refahı tüketimle bağlantılandıran kültürel değerler de sorgulanır. Kişiler arası ilişkiler, boş zaman ve kamusal mallara erişim gibi maddi olmayan refah kaynaklarına yönelme teşvik edilir. Temel olarak sürekli genişleme ihtiyacını reddediyor olmakla birlikte,

³ İndirim oranı (*discount rate*), bugünkü fayda ile gelecekteki faydayı karşılaştırmak için kullanılan temel bir iktisadi kavramdır. Basitçe ifade etmek gerekirse, gelecekte elde edilecek bir faydanın veya karşılaşılabilecek maliyetin bugünkü değerini belirlemek için kullanılır. Bu oran ne kadar yüksekse, gelecekteki fayda o kadar önemsiz görülür ve bugünkü tüketim daha fazla teşvik edilir. Çevresel iktisat ve sürdürülebilir kalkınma bağlamında, yüksek indirim oranları; gelecekteki çevresel zararların bugünkü iktisadi kararlar üzerindeki etkisinin düşüklüğünü gösterir.

büyümeme anlayışı geleneksel anlamda ekonomik daralmayı ima etmemektedir. Bunun yerine, kaynakları yeniden tahsis ederek, atık miktarını sınırlayarak ve üretim ve tüketim sistemlerini yeniden tasarlayarak ekonomileri dönüştürmeyi amaçlamaktadır. Jackson (2009) ve Victor (2008), büyümemenin çıktı maksimizasyonu yerine yeterlilik ve eşitlik ilkelerine odaklanarak refahı yeniden tanımlama fırsatı sağladığını savunmaktadır.

Büyümeme anlayışı, daha fazlasının her zaman daha iyi olduğu düşüncesine karşı çıkarak yaşam kalitesinin, tüketimin azaltılması, boş zamanın artırılması ve maddi zenginlikten ziyade refaha odaklanmasıyla yükseldebileceğini ileri sürer. Bu anlayış çerçevesinde, büyüme odaklı bir ekonomiden sürdürülebilirlik, eşitlik ve dayanıklılığı önceliklendiren bir ekonomiye geçiş ihtiyacı vurgulanır. Tüketim kalıplarında, üretim süreçlerinde ve sosyal yapılarda sistemsel değişikliklerin gerekliliğinin altı çizilir. Dolayısıyla yalnızca genel anlamda tüketimi azaltmayı değil, aynı zamanda büyümeyi neyin oluşturduğunu yeniden düşünmeyi de içeren bir anlayış benimsenir. Odak noktasını başarının niceliksel ölçütlerinden refahın nitel göstergelerine kaydırarak daha adil ve sürdürülebilir bir toplum yaratmak amaçlanır. Büyümeme hareketi, ekolojik restorasyonu, toplum odaklı uygulamaları ve yerel ekonomileri önceliklendirir. Bu perspektif ile büyüme sonrası stratejilere vurgu yapılır; örneğin, endüstriyel ölçekli tarımı teşvik etmek yerine, yerel gıda sistemlerini ve biyolojik çeşitliliği artıran sürdürülebilir çiftçilik uygulamalarını desteklenir.

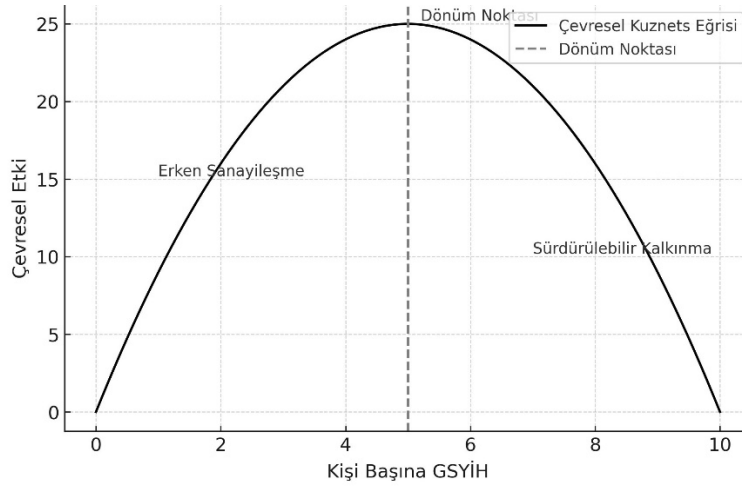
3.2. Ayrışma (Decoupling) ve Karbon Kaçağı (Carbon Leakage)

Ayrışma, ekonomik büyümeyi çevresel bozulmadan ayırma sürecini ifade eder. Bir başka deyişle, büyümenin zorunlu olarak artan kaynak çıkarımı ve atık üretimi anlamına geldiği geleneksel görüşe karşı çıkar. Kavramsal olarak sürdürülebilir kalkınma perspektifinde de merkezi bir rol oynayan ayrışma, iktisadi kalkınmayı ekolojik dayanıklılıkla uzlaştırmaya yönelik bir anlayışın yansımasıdır.

Kuramsal temelleri ekolojik iktisat ve Çevresel Kuznets Eğrisi-ÇKE (Environmental Kuznets Curve-EKC)'ne dayanan ayrışma kavramı, ÇKE çerçevesinde çevresel bozulma ile ekonomik büyüme arasında ters U şeklinde bir ilişki olduğunu varsayar (Bkz. Şekil 1).

Şekil 1

Çevresel Kuznets Eğrisi



Kaynak: Yazar tarafından oluşturulmuştur.

ÇKE'nin altında temel bir kabul yatmaktadır. Bu kabule göre, gelişimin erken aşamalarında, çevresel etkiler yükselen gelir seviyesiyle birlikte artma eğilimindedir. Ancak, belirli bir gelir eşiğine ulaşıldıktan sonra, toplumlar daha çevre dostu teknolojilere yatırım yapar, çevre düzenlemelerini yürürlüğe koyar, sürdürülebilir uygulamaları benimser ve bu da çevresel bozulmada bir düşüşe yol açar. Ayırışma, inovasyon ve politika müdahalelerinin iktisadi büyüme ile çevresel tahribat arasındaki tarihi bağı kopardığı bu dinamiğin bir uzantısı olarak görülmektedir.

Ayrışmanın iki şekilde olabileceği savunulur: İktisadi büyümenin kaynak tüketiminden daha yavaş bir oranda gerçekleştiği *göreceli ayrışma (relative decoupling)* ve büyümenin genel kaynak kullanımını azaltırken elde edildiği *mutlak ayrışma (absolute decoupling)* (Jackson, 2009).

Göreceli ayrışma, çevresel etki artış oranının, ekonomik büyüme oranından daha geride kaldığı durumlarda meydana gelir. Kaynak kullanımı veya emisyonların mutlak seviyeleri artmaya devam etse de bu etkilerin iktisadi çıktı birimi başına yoğunluğu azalır. Örneğin, enerji verimliliğindeki ilerlemeler, üretim artışı nedeniyle toplam emisyonlar hala artarken, birim GSYİH başına daha düşük emisyonlara yol açabilir.

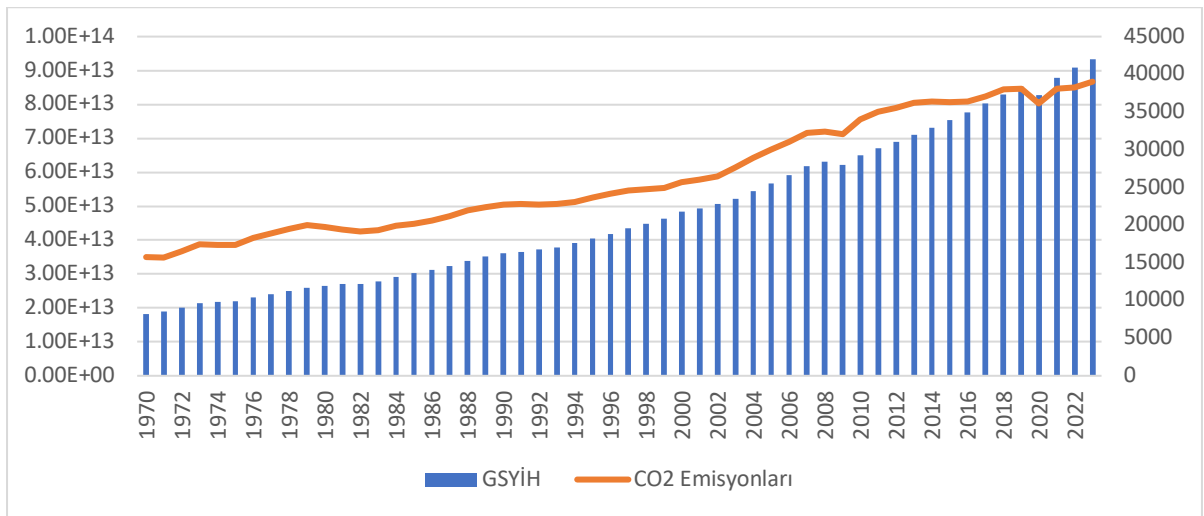
Mutlak ayrışma ise, iktisadi büyümenin çevresel etkilerde mutlak bir azalma ile birlikte olduğu daha iddialı bir hedefi temsil eder. Bu tür bir ayrışma, mevcut iktisadi sistemlerin gezegenin ekolojik sınırlılıkları içinde işleyebileceği anlamını taşımaktadır.

II. Dünya Savaşı sonrası dramatik iktisadi büyüme döneminden 1970'lere kadar, endüstriyel faaliyetlerin hızlanarak talebin sıçraması, büyük ölçüde fosil yakıt tüketimi tarafından yönlendirilen karbon emisyonlarında da önemli artışlara yol açmıştır. Hatta öyle ki, karbon emisyonlarındaki yükseliş, gelir düzeyindeki artışın önüne geçmiştir (Bkz. Şekil 2).

Dünya Bankası, üye ülkelerini kişi başına düşen GSYİH'lerine göre yüksek gelirli, üst-orta gelirli, alt-orta gelirli ve düşük gelirli ülkeler olarak kategorilere ayırmaktadır. Yüksek gelirli ülkeler, kişi başına düşen GSYİH'si 13.204 dolardan fazla olan ülkeleri içerir. Kişi başına düşen GSYİH'si 4.265 ila 13.205 dolar arasında olan ülkeler üst-orta gelirli olarak sınıflandırılmaktadır. Kişi başına düşen GSYİH'si 1.086 ila 4.255 dolar arasında olan ülkeler alt orta gelirli ülkeler olarak tanımlanırken, kişi başına düşen GSYİH'si 1.085 doların altında olanlar düşük gelirli ülkeler olarak gruplandırılır. Dünya Bankası'nın söz konusu gelir gruplarına göre ülke sınıflandırması esas alınarak elde edilen verilere göre, üst-orta gelir grubundaki ekonomilerde artan endüstriyel faaliyetler ve hızlanan kentleşmeye bağlı olarak CO₂ emisyonları 1970'te 2.639,88 milyon metrik tondan 2023'te 18.669 milyon metrik tona yükselmiştir (Bkz. Şekil 3). Söz konusu ekonomilerde aynı dönemde GSYİH ise, küresel ticaret, yatırım ve teknolojiye yaşanan gelişmelerle 25 kat artmıştır. Üst-orta gelir grubu ülkelerde özellikle 2000-2020 yılları arasında karbon emisyonlarındaki artış dramatik ölçüde keskindir (Bkz. Şekil 3).

Şekil 2

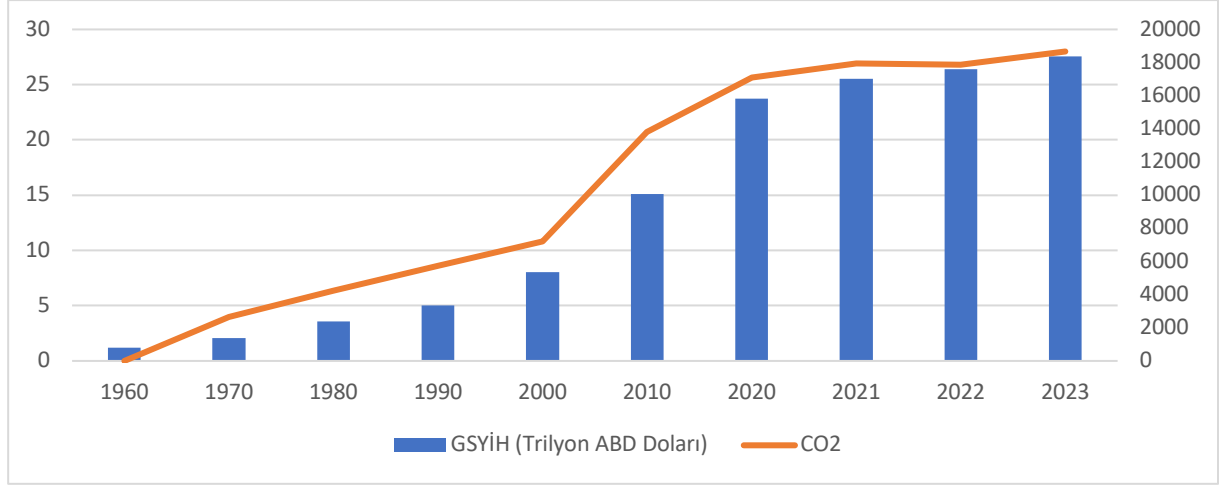
Küresel İktisadi Büyüme ve Karbon Emisyonları (1960-2023)



Kaynak: World Bank, World Development Indicators 2024 verileri kullanılarak oluşturulmuştur.

Şekil 3

Üst-Orta Gelir Grubu Ülkeler İktisadi Büyüme ve Karbon Emisyonları (1960-2023)



Kaynak: World Bank, World Development Indicators 2024 verileri kullanılarak oluşturulmuştur.

Ayrışma prensibi çerçevesinde son yıllarda, az sayıda da olsa kimi gelişmiş ekonomilerin karbon ayak izlerini azaltırken aynı anda büyümeye devam etmesinin mümkün olduğu savına yönelik ampirik bulgulara rastlanılmaktadır. Örneğin, Danimarka ve Almanya’da, karbon emisyonlarında önemli azalmalarla birlikte güçlü iktisadi büyümenin de gerçekleşmiş olması bu iki değişken arasındaki genel kabul gören bağlantıyı yanlışlar görünmektedir. Bu tablonun arkasında çevre dostu teknolojilerin benimsenmesi, enerji verimliliği artışı ve yenilenebilir enerji kaynaklarına geçiş gibi faktörlerin bulunup bulunmadığı ise önemli bir tartışma konusudur. Ayrışmayı başarabilmiş görünen gelişmiş ekonomilerin dış kaynak kullanımı gibi mekanizmalar aracılığıyla emisyonlarını az gelişmiş ekonomilere "ihraç" etmiş olabileceği konusunda artan bir endişe bulunmaktadır. *Karbon kaçağı* olarak adlandırılan bu durum, endüstriyel faaliyetlerin yüksek emisyonlu gelişmiş ülkelere kaydırılması anlamına gelir. Gelişmiş ekonomiler üretimlerini bu bölgelere taşıyarak, küresel karbon çıktılarında artışa katkıda bulunurken yerel emisyonlarını düşürebilirler. Örneğin, tekstil ve elektronik gibi endüstriler genellikle emeğin daha ucuz ve çevre düzenlemelerinin gevşek olduğu ülkelere taşınır ve bu da üretimin çevresel maliyetlerinin dışsallaştırıldığı bir duruma neden olur. Bu eğilim, emisyon sorumluluğu konusunda etik kaygıları gündeme getirirken, adaletsiz ekonomik güç dinamikleriyle karakterize edilen bir sistemde küresel iklim hedeflerine ulaşmanın zorluğunu da gözler önüne sermektedir.

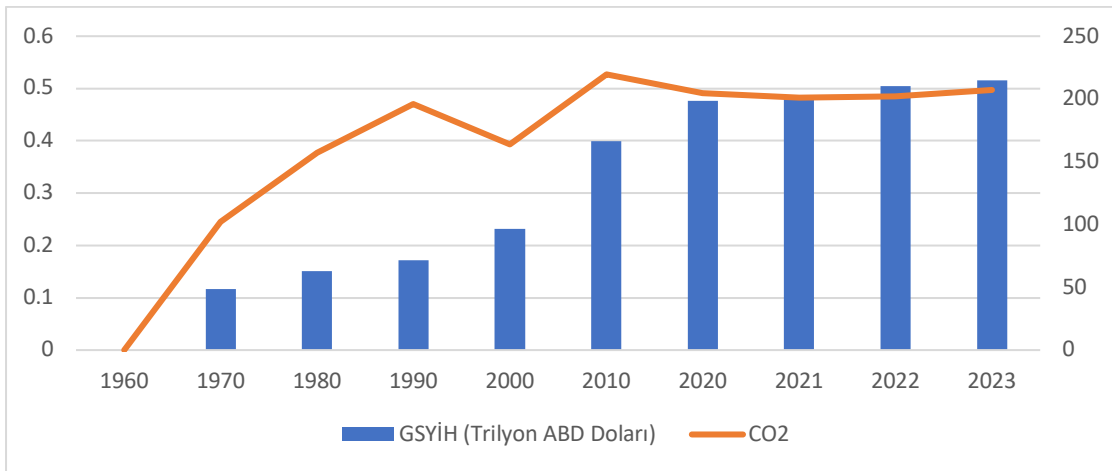
Dünya Bankası sınıflandırmasına göre düşük gelir grubu olarak tanımlanmış ülkelere bakıldığında, 1970–1990 arası dönemde emisyonların 0,117 metrik tondan 0,172 metrik tona

kademeli olarak arttığı görülmektedir (Bkz. Şekil 4). 1990–2020 arası dönemde ise emisyonlar iki kattan fazla artış göstermiştir. Bu artış, belirtilen dönemde düşük gelir grubu ülkelerde enerji üretiminde artan fosil yakıt kullanımı, ulaşım ağlarının genişlemesi ve kentleşmenin hızlanmasıyla ilişkilendirilebilir.

Gelişmekte olan ülkelerin çoğu, yoksulluğun azaltılması ve iktisadi kalkınma çabası içindeyken, gelişmiş ekonomilerden gerçekleşen karbon kaçağının bu ülkelerde fosil yakıtlara olan bağımlılığı daha da güçlendirme olasılığı yüksektir. Söz konusu ülkelerde iktisadi faaliyetler -ve dolayısıyla büyüme- hala büyük ölçüde fosil yakıtlara bağlı olarak gerçekleşmektedir. Bu ülkelerin finansal kaynaklar ve teknolojik alt yapı bakımından yüksek gelir grubu ülkelerle aralarındaki mevcut eşitsizlik, yenilenebilir enerji ve enerji verimliliği alanlarına yatırım yapmayı güçleştirmektedir. Dahası, düşük gelirli ekonomiler küresel olarak emisyonları düşürme baskısı arttıkça, daha katı iklim politikaları uygulamaları durumunda yabancı yatırımların uzaklaşma ihtimalini ekonomik bir risk olarak görebilmektedir.

Şekil 4

Düşük Gelir Grubu Ülkeler İktisadi Büyüme ve Karbon Emisyonları (1960-2023)



Kaynak: World Bank, World Development Indicators 2024 verileri kullanılarak oluşturulmuştur.

Ekolojik iktisat, iktisadi sistemlerin sosyal ve ekolojik bağlamlara gömülü olduğunu kabul ederek çoğulculuğu benimser. Doğal kaynakların sınırlarını vurgulayarak doğanın metalaştırılmasını eleştirir ve iktisadi faaliyetlerin toplumsal refahla uyumlu hale getirilmesi için yeniden kurgulanması gerektiğini savunur. Bu bağlamda biyomimikri, küresel ekonomik sistemin gezegenin ekolojik sınırları içinde nasıl işleyeceğini yeniden düşünmek için önemli bir araç olarak kapsamlı bir yaklaşım sunabilir, böylelikle mevcut ekonomik sistemin temelinde yatan yapısal eşitsizlikler de ele alınmış olur.

4. *Biyomimikri ve Döngüsel Ekonomi*

Biyomimikri, doğaya doğru soruyu sorarak zaman içinde evrimleşen çözümlerin çeşitliliğinden ve optimizasyonundan yararlanılan bir sürecin sonucunda hayat bulur. Birçok alanda araştırma ve faaliyetlerin sürdürülebilir uygulamalarla uyumlu hale getirilmesi amacıyla biyomimetik tasarımlar ve süreçler benimsenmektedir. Ekolojik iktisadi bir perspektiften ele alındığında biyomimikri, rejeneratif bir üretim yapısı içinde ham madde kullanımını ve atıkları azaltarak doğal kaynakların korunmasına katkıda bulunabilir. Biyomimikri yardımıyla sağlanacak yenilenebilir enerji üretiminde artış sayesinde fosil yakıtlara olan bağımlılık azaltılarak yenilenebilir enerji üretiminin maliyetini düşürmek mümkün olabilir.

Örneğin, Zimbabve'de doğal havalandırma sistemleri aracılığıyla sıcaklığı düzenleyen termit höyüklerinden esinlenerek modellenen bir binada, termit höyüğünün dış sıcaklık dalgalanmalarına rağmen sabit bir iç sıcaklığı koruma yeteneği taklit edilerek binanın enerji ihtiyaçları azaltılmaktadır. Binanın mimari tasarımını gerçekleştiren Mick Pierce, konvansiyonel yöntemlerle inşa edilen benzer binaların maliyetinin %10'u kadarına karşılık gelen toplam inşaat maliyetinin yanı sıra, binanın enerji tüketiminin de emsallerine göre %35 daha az olduğunu belirtmektedir (Pierce, 1999).

Bir başka örnekte, kambur balinaların tüberküllü yüzgeç yapısı sayesinde suyun kaldırma kuvvetinden daha fazla yararlanmaları ve sürtünmeyi en aza indirme becerileri, rüzgâr türbinlerinin yapımına ilham vermiş, bu sayede üretilen kanatlarla klasik yapıdaki kanatlara oranla %40'a varan düzeyde enerji verimliliği sağlanmıştır (Van Nierop v.d., 2008).

Döngüsel ekonomi anlayışının ortaya çıkışı tek bir yazar veya tek bir kaynakla bağlantılanmayacak olsa da kavram olarak ilk kez Allan Kneese, (1988) tarafından kullanılmıştır. Döngüsel ekonomi, "satın al, kullan, at" anlayışına dayanan anaakım doğrusal ekonomik modelin tersine, kaynak kullanımı ve atıkları en aza indirmeyi amaçlar. Bu doğrultuda döngüsellik, girdilerin mümkün olduğunca uzun süre iktisadi süreç içinde tutulduğu ve bir ürünün kullanım ömrünün sonuna ulaştığında daha fazla değer yaratmak için tekrar tekrar kullanıldığı bir süreç olarak tanımlanmaktadır. Doğadaki ekosistemler atıksız kapalı devre yapıları gereği kendiliğinden döngüsel sistemler olduğundan, biyomimikri de döngüsel ekonomi ile uyumlu bir yapı sergiler. Döngüsel ekonomiye geçişin önceliklendirildiği bir makro iktisadi politika anlayışı çerçevesinde, biyomimetik teknolojilerin büyüme stratejilerinin bir parçası haline getirilmesinin, söz konusu sürecin iktisadi ve ekolojik iyileşmeyi sağlayacağını ileri sürmek yanlış olmayacaktır. İzleyen bölüm, sunulan bu büyüme paradigması

değişikliği önerisi kapsamında yapay zekânın rolünü ele almakta, yakın gelecekte böylesi bir teknolojik yöntem ve aracı benimsemenin sağlayacağı olası refah artışına işaret etmektedir.

5. Bir Makro İktisadi Politika Önerisi: Yapay Zekâ Destekli Biyomimetik Teknolojileri Kullanarak İktisadi Büyüme

Bu çalışmanın merkezinde yer alan makro iktisadi politika önerisi, biyomimikrinin iktisadi faaliyetleri doğayla uyumlu hale getirmek için sunduğu çerçeveye işlevsellik kazandırmak amacıyla yapay zekâdan faydalanılmasıdır. Yapay zekâ uygulamaları hali hazırda kaynak kullanımını optimize etme, atığı en aza indirme ve sistem dayanıklılığını artırma kapasitesine sahiptir. Örneğin akıllı tarımda, yapay zekâ tarafından yönlendirilen sistemler toprak koşullarını izleyebilmekte ve meteorolojik modeller yapabilmektedir.

Yapay zekâyı doğanın uyarlanabilir ve verimli kaynak yönetimini taklit etmek için kullanmak, iktisadi faaliyetleri başından sonuna ekolojik olarak dönüştürmeyi olası kılabilir. Diğer bir deyişle, yapay zekâ uygulamaları yardımıyla ürünlerin ilk adımdan itibaren, malzemeden başlayıp yaşam döngüleri izlenerek ve optimize edilerek ekolojik üretim süreçleri geliştirilebilir. Örneğin, tekstil endüstrisinde, örümcek ipeği veya bitki yaprakları gibi doğal polimerleri taklit ederek; güçlü, dayanıklı ve doğal olarak ayrıştırılabilen ambalaj malzemeleri oluşturulabilir. Bu süreçler esnasında, makine öğrenimi algoritmaları, tedarik zincirleri boyunca malzeme akışını izleyip verimsizlikleri belirleyerek, biyomimetik ilkelerle uyumlu iyileştirmeler önerebilir. Böylelikle birçok iktisadi faaliyetin ekolojik ayak izi küçültülebilir.

Yapay zekânın kullanımı, biyomimetik tasarımların sanal ortamlarda test edilerek gerçek dünyadaki deneyler için gereken zaman ve kaynakların azaltılmasını da sağlayabilir. Öte yandan yapay zekâ uygulamalarıyla hem ekosistemlerde hem de biyomimetik tasarımlarda sistemik çöküşe yol açabilecek ekolojik dengesizlikleri tespit ederek, hatta önceden tahmin ederek, ekolojik dayanıklılık artırılabilir. Bu becerinin altında, büyük verinin işlenmesi yoluyla kaynak tükenmesi, habitat tahribatı veya biyolojik çeşitlilik kaybının erken uyarı işaretlerinin belirlenmesi yatar. Sonuç olarak karar vericilerin geri döndürülemez hasarlar meydana gelmeden önce harekete geçmeleri mümkün olabilir.

Ancak yapay zekânın varsayımsal iktisadi modeller geliştirerek kısa vadeli karları gözetmesinden ziyade sürdürülebilirliği önceliklendiren rejeneratif sistemleri desteklemek için kullanılması gerekir. Yapay zekânın tahsisi, mevcut eşitsizlikleri güçlendirmek veya ekolojik krizleri derinleştirmek yerine, ekolojik ve sosyal sürdürülebilirlik gibi daha geniş bir hedefe hizmet ettiğinden emin olmak için dikkatlice yönetilmelidir. Yapay zekânın becerileri doğru

şekilde kullanılmadığında, serveti ve piyasanın kontrolünü az sayıdaki firmanın elinde yoğunlaştırarak oligopolist bir piyasa yapısının ortaya çıkmasına neden olabilir. Bu nedenle, yapay zekâ demokratikleştirilmeli, faydaları yaygın olarak paylaşılmalı ve toplumsal refahı artırmak için kullanılmalıdır.

6. Yöntem

Kate Raworth (2017), *doughnut economics* veya Türkçeye çevrilen adıyla *simit ekonomisi* modelini ortaya koyduğu kitabında, doğadaki organizmaların atık üretmeden döngüsel süreçler içinde işlediğini vurgular. İktisadi sistemlerin de bu doğa ilkesinden ilham alarak, kaynakları sürekli yeniden kullanacak şekilde tasarlanması gerektiğini savunur. Raworth, doğadaki eşitlik ve dayanışma temelli yapıların önemine çeşitli kereler dikkat çeker: “*Mercan resifleri, egemenlik kurarak değil iş birliğiyle gelişir: Karşılıklı desteğin olduğu, çeşitliliğe dayalı bir ekosistem*” (Raworth, 2017:197).

Bu çalışmada, doğadaki sistemlerin yapısal ve işlevsel özelliklerinin iktisadi sistemlere uyarlanabilirliğini incelemek amacıyla biyomimikri yaklaşımı kavramsal bir modelleme yöntemi olarak benimsenmiştir. Modellemede analogik eşleşme esas alınarak iki basit örnek geliştirilmiştir. Örneklerden ilkinde, miselyum ağlarının yapısı ile ağ ekonomisi alanı ilişkisel olarak ele alınmıştır. İkinci örnek ise protoplazmaların dış uyaranlar karşısındaki adaptif evrim süreci ile iktisadi sistemlere dış şoklar karşısında kazandırılacak esneklik arasında bağlantı kurmaktadır. Her iki örnek için de yapay zekâ destekli görsel temsiller modellenmiştir. İzleyen bölümlerde, ilgili modellemelerin sırasıyla kavramsal ve görsel üretim süreçlerine ilişkin esaslar açıklanmaktadır.

6.1. Kavramsal Üretim Süreci

Ağ ekonomisi, iktisat disiplininde bir ağ içinde yer alan etkenler arasındaki birbirine bağlılıktan elde edilen değere yoğunlaşarak ilişkilerin ve bilgi akışının iktisadi sonuçları nasıl etkileyebileceğine odaklanan bir alt çalışma alanıdır. Bu alanda yapılan araştırmalar, biyomimikri aracılığıyla, doğada bulunan verimli ağ modellerini uyarlayarak zenginleştirebilir. Örneğin, yeraltındaki nöral ağ benzeri yapılarıyla mantarlardaki miselyumlar, ekolojik inovasyon ağlarının iktisadi analizinde kullanılabilir. Miselyum ağlarının yapısı, merkezi olmayan, dayanıklı sistemlerin çeşitli organizmalar arasında kaynak paylaşımını ve iletişimi nasıl kolaylaştırabileceğini örneklemektedir. Ağ ekonomisinin ilkeleri, ajanlar arasındaki iş birliğini ve simbiyotik ilişkileri vurgulayan bu biyolojik modellerden faydalanabilir (Bkz. Şekil 5).

İktisadi sistemlerde de benzer şekilde iktisadi ajanlar, doğal ekosistemlerde gözlemlenen geri bildirim mekanizmalarını modellerine dahil ederek karar alma süreçlerini iyileştirebilir, şoklara ve belirsizliklere daha dayanıklı ekonomik ağlar ortaya çıkarılabilir. Değişen çevre koşullarına dinamik olarak uyum sağlayabilen miselyum ağlarının kendi kendini organize eden yapısı, iktisadi ağların dış şoklara veya piyasa dalgalanmalarına tepki olarak sergilediği davranışla paralellik göstermektedir. Bu ağlar, gerçek zamanlı olarak kaynak dağıtımını optimize edebilir ve değişen koşullar altında da adaptif bir verimlilik sağlayabilir.

Bir başka örnek üzerinde düşünülecek olursa, doğadaki evrim sürecinde milyonlarca yıl geriye giderek, en basit yaşam formlarından biri olan protoplazmalardan iktisadi sistemlerin yeniden yapılandırılmasında esinlenilebilir. Dünya üzerinde suda yaşamın ilk temsilcileri olan protoplazmalar, kendilerine selüloz, kireç ve silisten meydana gelen zar odacıklar oluşturup, zamanla bu odacıklarda kapı ve pencereler açarak dışarı çıkardıkları plazma telleri yoluyla beslenmişlerdir. Yapay zekâ yardımıyla bu süreç, esnek ve kendini organize edebilen iktisadi sistemlerin tasarlanmasına uyarlanabilir (Bkz. Şekil 6).

Protoplazmaların iç yapısını bölümlere ayırarak işlevsel modüller oluşturmaları, sanayideki modüler üretim süreçleri ile benzerlik göstermektedir. Geleneksel üretim modelleri çoğunlukla hiyerarşik ve katı bir yapıdayken, biyomimikri temelli modüler üretim sistemleri, talebe göre kendini yeniden organize edebilen esnek üretim hatları sunabilir. Protoplazmalar çevresel uyarılara göre morfolojik değişiklikler geçirebilir ve kendilerini yenileyebilir. Bu özellik, dinamik fiyatlandırma sistemleri, tedarik zinciri yönetimi ve stok optimizasyonu gibi iktisadi uygulamalara ilham verebilir. Makine öğrenmesi ve büyük veri analitiği sayesinde, iktisadi sistemler kendi kendini düzenleyebilen adaptif yapılara dönüşebilir.

Protoplazmaların büyüme ve yayılma stratejileri, inovatif girişimcilik ekosistemleri için de bir model sunabilir. Başlangıç aşamasındaki girişimlerin belirli merkezlerde kümelenmesi ve büyüdükçe yeni girişimlerin ortaya çıkmasını teşvik etmesi, doğadaki protoplazma hareketleriyle benzerlik göstermektedir. Kuluçka merkezleri ve açık inovasyon platformları, aslında biyomimikri prensiplerini uygulayan iktisadi mekanizmalardır.

Diğer taraftan, protoplazmalar enerji ve kaynaklarını verimli bir şekilde yöneterek sürdürülebilir yaşam döngüleri oluşturur. Bu biyolojik ilke, akıllı şebekeler ve dağıtık enerji sistemleri için bir temel oluşturabilir. Özellikle yenilenebilir enerji kaynaklarının daha etkin entegrasyonunu sağlamak amacıyla, biyomimikri tabanlı algoritmalar geliştirilerek elektrik tüketimi ve dağıtımını optimize edilebilir.

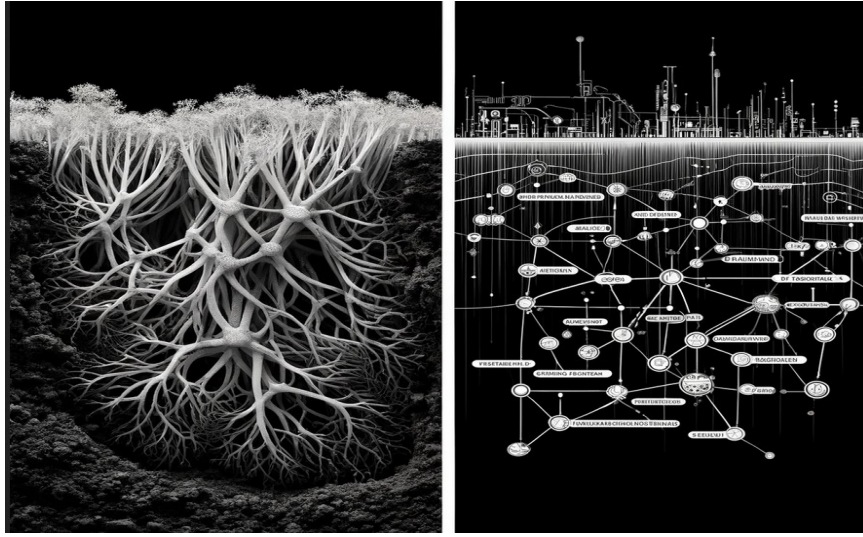
6.2. Görsel Üretim Süreci

Çalışmada geliştirilen her iki doğal sistemin yapısal özellikleri, yapay zekâ destekli görsel üretim aracı olan *image_gen* ile görselleştirilmiştir. Görsel üretim sürecinde, sistemlerin ekonomiyle ilişkilendirilebilir yapıları metinsel betimlemelerle (*prompt*) tanımlanmış, her görsel, ilgili sistemin simgesel bir temsilini oluşturacak şekilde yönlendirilmiştir.

Şekil 5'teki miselyum ağına dayalı iktisadi sistem modellemesi, ekonomideki bilgi akışı, kaynak paylaşımı ve dayanıklılığın doğadaki karşılığı olarak yorumlanmaktadır. Mantar miselyumu, doğada binlerce kilometreye yayılan ve sürekli bilgi iletimi sağlayan bir canlı ağ olarak işlev görür ve çevresel koşullara göre kendini uyarlayabilen yapısıyla, iktisadi sistemler için ideal bir biyomimikri modeli sunar. Şekilde temsil edilen yapı, karmaşık ağlar üzerinden gerçekleşen veri akışı ve karar alma süreçlerinin görselleştirilmiş halidir.

Şekil 5

Miselyumdan İlham Alan Ekolojik İnovasyon Ağı Modellemesi

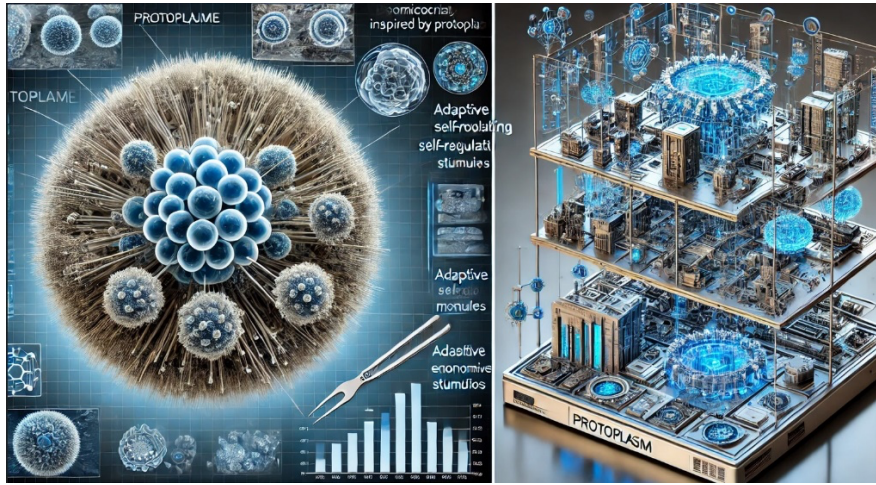


Kaynak: Yazar tarafından *OpenAI image_gen* kullanılarak çizilmiştir.

Şekil 6, biyomimikri temelli iktisadi sistemlerin, protoplazma yapısından esinle kurgulanabileceğine dair temsili bir görsel sunmaktadır. Protoplazmaların yarı akışkan, dinamik ve bütüncül yapısı; iktisadi sistemlerin de durağan olmayan, çevresiyle sürekli etkileşim içinde olan ve kaynakları esnek biçimde yöneten yapılar olarak tasarlanabileceğine işaret etmektedir. Bu görselde, hücresel düzeydeki canlılık ve iç bağlantısallık, sürdürülebilir ekonomi modellerinde arzulanan esneklik ve adaptasyon kapasitesini temsil etmektedir. Görseldeki akışkan formlar ve iç içe geçmiş yapılar, ekonomi ile doğa arasındaki yapısal ve işlevsel benzerlikleri sezgisel biçimde aktarmayı amaçlamaktadır.

Şekil 6

Protoplazmaların İşleyiş Mekanizmalarının İktisadi Sistemlere Uyarlanması



Kaynak: Yazar tarafından *OpenAI image_gen* kullanılarak çizilmiştir.

Yukarıda sunulan örnekler, sadece birer biyomimetik tasarı fikridir. Bu tasarıların geliştirilmesi ya da daha karmaşık ve işlevsel modellerin tasarlanması, bu makalenin kapsamının ötesinde araştırma gerektiren süreçlerdir. Doğada varolan biyolojik sistemlerin homeostazi yeteneği, neredeyse tüm iktisadi sistemler için uygulanabilir modeller sunma potansiyeline sahiptir. Bir makro iktisadi politika perspektifi olarak yapay zekâ destekli biyomimetik modellerin benimsenmesi, sanayi politikalarından yenilik ekosistemlerinin teşvik edilmesine kadar geniş bir yelpazede dönüştürücü etkiler yaratabilir. Özellikle modüler üretim sistemleri, akıllı tedarik zincirleri ve biyomimikri temelli ağ ekonomileri, anaakım iktisat paradigmalarını aşarak döngüsel ekonomi prensipleriyle uyumlu sistemlerin geliştirilmesini mümkün kılabilir.

7. Sonuç

Tipik bir doğrusal iktisadi modelde, üretim ve tüketimdeki artış, daha fazla enerji kullanımı ve atık birikimi ile ilişkilidir. Oysa biyomimikri, atıkların yeniden kullanıldığı düşük entropili ekosistemleri taklit ederek, kaynak kullanımını optimize eden ve çevresel kayıpları en aza indiren iktisadi modellerin geliştirilmesine katkıda bulunabilir.

Biyomimikri ve ekolojik iktisat, insan faaliyetlerini doğal sistemlerle uyumlu hale getirmenin önemini vurguladığından, temel ilkeleri bakımından örtüşmektedir. Biyomimikri, doğanın verimliliğinden ve dayanıklılığından ilham alırken; ekolojik iktisat, gezegenin ekolojik sınırları içinde işleyen iktisadi modelleri savunur. İki yaklaşım birlikte, çevresel zararı en aza indirerek kısa vadeli kazanımlardan çok uzun vadeli refahı önceliklendiren bir iktisadi sistemin temelini oluşturabilir.

Bu çalışma, iktisadi büyüme merkezli iktisat politikalarına eleştirel bir perspektiften yaklaşılarak, biyomimikriyi iktisadi sistemlerle tümleşik hale getirmenin yaratabileceği sistemsel dönüşüm üzerine bir düşünce zemini oluşturmayı amaçlamıştır. Çalışmada yapay zekâ, kaynak verimliliğini artırmak, atık miktarını azaltmak ve ekolojik sınırlarla uyumlu iktisadi sistemler geliştirmek için etkin bir araç olarak değerlendirilmiştir. Böylelikle, yapay zekâ uygulamaları yardımıyla yaratılacak biyomimetik teknolojilerin iktisadi faaliyetlerde kullanımının, doğrusal ekonomiden döngüsel ekonomiye geçişi hızlandırabileceği ileri sürülmüştür. Bu doğrultuda gelecekte, biyomimetik tasarım ve yapay zekânın birleştirildiği politikaların, doğanın adaptif ve dayanıklı sistemlerinden öğrenerek farklı endüstriyel ve iktisadi sistemlere uyarlanması üzerine düşünülmelidir.

Diğer taraftan, yapay zekâ uygulamalarının biyomimikri ilkeleri doğrultusunda kullanılması, yalnızca teknolojik gelişim amacıyla sınırlı kalmamalı, aynı zamanda ekolojik ve sosyal sürdürülebilirliği de gözetmelidir. Yapay zekânın mevcut ekonomik eşitsizlikleri derinleştirmemesi, aksine kaynak tahsisinde adaleti sağlamaya yönelik tasarlanması kritik bir gerekliliktir.

Gezeğenin biyoçeşitlilik stoğunun büyük ölçüde az gelişmiş ve gelişmekte olan ekonomilerde rezerve edildiği düşünüldüğünde, ekolojik kalkınma modellerinin formülasyonuna ilham olabilecek doğa sistemlerinin şekillendirdiği endüstriyel çözümlerin de bu ekonomilerde ortaya çıkması beklenir. Oysa, biyomimikrinin yüksek gelir düzeyine sahip ekonomiler tarafından daha fazla kullanıldığı, hiçbir az gelişmiş veya gelişmekte olan ülkenin biyomimikriyi bir inovasyon stratejisi olarak benimsemediği görülmektedir. Düşük gelir düzeyine sahip ülkelerin eşitlikçi kalkınma hedeflerinden ödün vermeden, biyomimetik teknolojilere dayalı iktisadi faaliyetleri ile bir yeşil geçişin mümkün olabilmesi için ise emisyonların tarihsel bağlamının tanınması gerekir. Diğer bir deyişle, küresel emisyon azaltımına yönelik kapsamlı bir yaklaşım, mevcut ekonomik sistemin temelinde yatan yapısal eşitsizlikleri ele almalıdır. Politika yapıcılar ve iktisatçılar; teknoloji aktarımı, yenilenebilir enerji yatırımları ve çevresel zararlar konusunda gelir düzeylerinden bağımsız olarak tüm ekonomileri sorumlu tutan mekanizmaları yeniden gözden geçirmelidir.

Biyomimikri ile döngüsel ekonomi ve ekolojik iktisat arasındaki ilişkileri daha sistematik şekilde analiz eden ampirik çalışmaların artırılması, biyomimikri temelli politikaların uygulanabilirliği ve iktisadi verimliliği konusunda karşılaştırmalı ülke analizlerinin yapılması, düşük ve orta gelirli ülkelerin biyomimikriyi inovasyon stratejisi olarak benimsemesini teşvik edecek finansal ve kurumsal mekanizmaların araştırılması önem taşımaktadır. Bunun yanı sıra,

yapay zekâ destekli biyomimetik çözümlerin farklı sektörlerdeki potansiyelini değerlendiren saha çalışmalarına da ihtiyaç duyulmaktadır.

Sonuç olarak, biyomimikri ve yapay zekânın iktisadi sistemlerle bütünleşmesinin, döngüsel bir ekonomiye geçişi kolaylaştıracak bir potansiyel taşıdığı fikrinden yola çıkmak, gerçekçilikten uzak değildir. Ancak, bu yeşil geçişin başarısı, yalnızca teknolojik inovasyona değil, aynı zamanda politik kararlara, kurumsal yapıların dönüşümüne ve küresel iktisadi eşitsizliklerin giderilmesine bağlıdır. Biyomimikrinin gelişmekte olan ekonomilerde yaygınlaşmasını sağlamak, yalnızca ekolojik bir gereklilik değil, aynı zamanda adil ve kapsayıcı bir kalkınma modeli inşa etmek için kritik bir adımdır. Bu bağlamda, disiplinler arası araştırmalar ve politika yapıcılar arasındaki iş birlikleri, biyomimikrinin iktisadi sistemlere entegrasyonunu hızlandırarak, insan ve doğa arasındaki dengeyi yeniden tesis etme yolunda önemli bir rol oynayacaktır.

Kaynakça

- Ackerman, Frank, Elizabeth A. Stanton ve Ramón Bueno (2010). “Fat Tails, Exponents, Extreme Uncertainty: Simulating Catastrophe in DICE”, *Ecological Economics*, 69 (8): 1657–1665.
- Aghion, Philippe ve Peter Howitt (1998). *Endogenous Growth Theory*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Barro, Robert J. ve Xavier Sala-i-Martin (1995). *Economic Growth*. New York: McGraw-Hill.
- Benyus, Janine M. (1997). *Biomimicry: Innovation Inspired by Nature*. New York: HarperCollins E-Book.
- Bhushan, Bharat (2009). “Biomimetics: Lessons from Nature – An Overview”, *Philosophical Transactions of the Royal Society*, 367 (1893): 1445–1486. doi: 10.1098/rsta.2009.0011.
- Binswanger, Mathias (2001). “Technological Progress and Sustainable Development: What About the Rebound Effect?”, *Ecological Economics*, 36 (1): 119–132.
- Cass, David (1965). “Optimum Growth in an Aggregative Model of Capital Accumulation”, *Review of Economic Studies*, 32 (3): 233–240.
- Daly, Herman (1977). *Steady-State Economics: The Economics of Biophysical Equilibrium and Moral Growth*. San Francisco: W.H. Freeman.
- Fontana, Giuseppe ve Malcolm Sawyer (2013). “Post-Keynesian and Kaleckian Thoughts on Ecological Macroeconomics”, *European Journal of Economics and Economic Policies: Intervention*, 10 (2): 256–267.
- Grimaud, André (1999). “Growth and Environment: Are They Compatible?”, *Economic Modelling*, 16 (1): 249–267.
- Jackson, Tim (2009). *Prosperity Without Growth: Economics for a Finite Planet*. London: Earthscan.

- Kallis, Giorgos (2011). “In Defence of Degrowth”, *Ecological Economics*, 70 (5): 873–880.
- Keynes, John Maynard (1930). “Economic Possibilities for Our Grandchildren”, *Essays in Persuasion* (ss. 358–373). New York: W.W. Norton & Co.
- Klein, Naomi (2014). *This Changes Everything: Capitalism vs. the Climate*. New York: Simon & Schuster.
- Kneese, Allen V. (1988). “The Economics of Natural Resources”, *Population and Development Review*, 14: 281–309.
- Latouche, Serge (2009). *Farewell to Growth*. Cambridge: Polity Press.
- Lebdoui, Amir (2022). “Nature-Inspired Innovation Policy: Biomimicry as a Pathway to Leverage Biodiversity for Economic Development”, *Ecological Economics*, 202:1-15.
- Pearce, Mick (1999). Sustainable Architecture: Eastgate, Harare–Zimbabwe. <https://www.mickpearce.com/biomimicry.html>
- Raman, Raghu, Aswathy Sreenivasan ve Ma Suresh (2024). “Mapping Biomimicry Research to Sustainable Development Goals”, *Scientific Reports*, 14: 18613. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-69230-9>
- Ramsey, Frank Plumpton (1928). “A Mathematical Theory of Saving”, *Economic Journal*, 38 (152): 543–559.
- Raworth, Kate (2017). *Doughnut Economics: Seven Ways to Think Like a 21st-Century Economist*. London: Random House Business.
- Rezai, Armon, Duncan K. Foley ve Lance Taylor (2013). “Global Warming and Economic Externalities”, *Economic Theory*, 49 (2): 329–351.
- Solow, Robert Merton. (1956). “A Contribution to the Theory of Economic Growth”, *Quarterly Journal of Economics*, 70 (1): 65–94.
- Stagl, Sigrid (2014). “Ecological Macroeconomics: Working Time Reduction, Consumption, and Sustainability”, *Environmental Policy and Governance*, 24 (2): 125–137.
- Stern, Nicholas (2014). *The Economics of Climate Change: The Stern Review*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Van Nierop, Ernst A., Silas Alben ve Michael P. Brenner (2008). “How Bumps on Whale Flippers Delay Stall: An Aerodynamic Model”, *Physical Review Letters*, 100 (5): 054502. <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.100.054502>
- Victor, Peter A. (2008). *Managing Without Growth: Slower by Design, Not Disaster*. Cheltenham: Edward Elgar Publishing.
- Vincent, Julian F.V., Olga.A. Bogatyreva, Nikolaj.R. Bogatyrev, Adrian. Bowyer ve Anja-Karina. Pahl (2006). “Biomimetics: Its Practice and Theory”, *Journal of the Royal Society Interface*, 3 (9): 471–482.
- Wahl, Daniel Christian ve Seaton Baxter (2008). “The Designer's Role in Facilitating Sustainable Solutions”, *Design Issues*, 24: 72–83.
- World Bank (2024). World Development Indicators. <https://databank.worldbank.org/source/world-development-indicators>