

Endüstriyel Simbiyoz (Ortak Yaşam): Çevresel Bir Yaklaşım

Ömer Tanju DURUSOY*

Geliş Tarihi (Received): 03.04.2024 - Kabul Tarihi (Accepted): 16.05.2024

DOI: 10.26745/ahbvuidfd.1464397

Öz

İklim krizi, biyolojik çeşitlilik kaybı, ekolojik bozulma, sınırlı doğal kaynaklara yönelik artan talep, sosyal huzursuzluk, aşırı tüketim ve diğer kentsel sorunlar, yeni çevresel ve ekonomik yaklaşımları zorunlu kılmaktadır. Dolayısıyla bu olumsuzluklarla başa çıkmak için döngüsel ekonomi projeleri kaçınılmaz bir gerekliliktir. Bu makalede, üretim faaliyetlerinin çevre üzerindeki olumsuz sonuçları, endüstriyel işletmeler ile çevresel sorunlar, endüstriyel simbiyotik ilişki bağlamında ele alınmaktadır. Bu konudaki literatürde yer alan tartışmalar ve teorik varsayımlar sunulacaktır. Sürdürülebilir endüstriyel sistemlerin ilkeleri endüstriyel ekoloji kavramı içinde açıklanmaktadır. Endüstriyel ekolojinin en önemli ilkelerinden biri biyolojik sistemde olduğu gibi endüstriyel sistemlerde de atıkların bulunmamasıdır. Doğada, tüm malzemeler çeşitli şekillerde, dairesel (döngüsel), doğal süreç içerisinde büyük bir verimlilikle yeniden kullanılır. Bu bağlamda, endüstriyel sistemler doğadan “öğrenmeli” ve doğrusaldan döngüsel iş modellerine (örüntülere) doğru gelişmeli (gelişmelidir). Bu da bir üretim sürecindeki atıkların ve/veya yan ürünlerin diğer bir süreç için hammadde (kaynak) haline gelmesi anlamına gelir. Burada, atık ve yan ürünlerin kaynak olarak kullanımının ekonomik ve çevresel etkilerine özel önem vererek endüstriyel simbiyoz ve çevre ilişkisi incelenecektir.

Anahtar Kelimeler: Endüstriyel ekoloji, eko-endüstriyel parklar, endüstriyel simbiyoz, çevre

Industrial Symbiosis: An Environmental Approach

Abstract

Climate crisis, biodiversity loss, ecological degradation, increasing demand for limited natural resources, social unrest, overconsumption and other urban problems necessitate new environmental and economic approaches. Therefore, circular economy projects are an inevitable necessity to cope with these negativities. In this article, the negative consequences of production activities on the environment are discussed in the context of the industrial symbiotic relationship between industrial enterprises and the environmental problem. Discussions and theoretical assumptions in the literature on this subject will be presented. The principles of sustainable industrial systems are explained within the concept of industrial ecology. One of the most important principles of industrial ecology is the absence of waste in industrial systems, as in biological systems. In nature, all materials are reused in various ways, circularly, with great efficiency in the natural process. In this context, industrial systems must “learn” from nature and evolve (evolve) from linear to circular business models (patterns). This means that wastes and/or by-products from one production process become raw materials (resources) for another process. Here, the relationship between industrial symbiosis and the environment will be examined, paying special attention to the economic and environmental effects of the use of waste and by-products as resources.

Keywords: Industrial ecology, eco-industrial parks, industrial symbiosis, environment

* Dr. Öğr. Üyesi, Ankara Hacı Bayram Veli Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, İktisat Bölümü, omer.durusoy@hbv.edu.tr, ORCID 0009-0009-1299-5600.

Giriş

Endüstriyel simbiyoz (Industrial Symbiosis - IS) kavramı, “simbiyotik ilişki” kavramından türetilmiştir. Simbiyotik ilişki kavramı ise doğada görülen, birbiriyle ilişkisi olmayan türlerin ortak bir fayda oluşturmak amacıyla enerji ve madde değişimini içermektedir. Benzer şekilde işletmeler de faaliyetlerini devam ettirebilmeleri için doğal çevredeki ya da doğal ortamdaki kaynaklara bağımlıdır. Endüstriyel simbiyoz çalışmalarının odağında bir tesisin ürettiği atıktan geri kazanımı ve öteki tesislerde kaynak olarak kullanımı yer almaktadır (Van Berkel, 2009: 483). Dolayısıyla endüstriyel simbiyoz uygulamasında da atıklar ve enerji, katılımcı öteki işletmeler tarafından kullanılmaktadır. Bundan dolayı sistemin toplam hammadde ve enerji girdileri ihtiyacı ile atık ve emisyon üretim düzeyi azalmaktadır (Chertow, 2000: 314).

Son yıllarda sanayileşme ve kentleşmedeki artış, sera gazlarından büyük ölçüde sorumlu olan karbondioksit emisyonlarında artışa yol açmıştır. Bu artış, Uluslararası İklim Değişikliği Paneli raporlarında da belirtildiği gibi (IPCC, 2014), çevre ve insan sağlığı açısından olumsuz sonuçlar doğuran küresel ısınmaya yol açmıştır. Bunun yanı sıra sanayileşme ve kentleşmenin bir sonucu olarak endüstrilerin ve belediyelerin katı atıklarındaki yükseliş ile birlikte kaynak tüketiminde ciddi artışlar da bu raporlarda vurgulanmaktadır. Ancak uzun vadeli ekonomik büyüme için sanayileşmenin önemli bir rol üstlendiği de bilinmektedir. Bu nedenle ekonomik büyümeyi tehlikeye atmadan bu olumsuz etkilerin azaltılmasına olanak sağlayacak çözümlerin bulunması büyük önem taşımaktadır (Neves vd., 2020: 2).

1992 yılında imzalanan ve 195 ülke tarafından kabul edilen ve onaylanan “Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi”nden Aralık 2015'te varılan en son anlaşma olan Paris Anlaşması'na kadar oluşturulan uluslararası anlaşmalar, iklim değişikliği konusunda farkındalığın artmasına büyük katkı sağlamıştır. Çevre sorunlarının ortaya konulması ve sürdürülebilir çözüm arayışları birçok çalışmanın temelini oluşturmaktadır. Bu çözümler, hem karbondioksit emisyonunun uluslararası anlaşmalarda belirlenen limitlerin altında tutulması hem de kaynakların giderek daha verimli kullanılması açısından vazgeçilmez hale gelmiştir. Endüstriyel simbiyozun, ülkelerin ekonomik büyümesine zarar vermeden bu hedeflere ulaşmada güçlü bir çözüm yolu olduğu görülmektedir (Fan vd., 2017: 791; Martin vd., 2018: 246). Bu durum endüstriyel simbiyozun öneminden bahseden birçok direktif ve tebliğ yayımlayan Avrupa Komisyonu tarafından da kabul edilmiştir (Neves vd., 2020).

Yoğun çevre kirliliğinin topluma ve ekonomiye verdiği zarar göz önüne alındığında, düşük karbonlu kalkınma yöntemlerinin giderek daha fazla ilgi görmeye başlaması yadsınamaz.

Atıkları kaynağında tutmak, sera gazı emisyonlarının payını %15-20'ye düşürebilir. Bir firmanın kirliliği, bu kirliliğin insanları, yaban hayatını ve firma sınırları dışındaki doğal çevreyi etkilemesi nedeniyle topluma olumsuz bir dışsallık empoze eder. Bu nedenle, firmalara kirliliği azaltmaları yönünde uygulanan teşvikler, neden oldukları kirlilik zararıyla orantılı olmadığından ilave bazı düzenlemelerin uygulanmasını kaçınılmaz hale getirmektedir (Cao vd., 2023: 5515).

Bu noktada karşımıza çıkan benzer bir kavram da “döngüsel ekonomi”dir. Döngüsel ekonomi (circular economy - CE), malzemelerin asla atık haline gelmediği ve doğanın yeniden canlandırıldığı bir sistemdir. Döngüsel bir ekonomide ürünler ve malzemeler; bakım, yeniden kullanım, yenileme, yeniden üretim ve geri dönüşüm gibi süreçler aracılığıyla dolaşımda tutulmaktadır. Döngüsel ekonomi kavramı ilk olarak 1990 yılında Pearce ve Turner'in kitabında kullanılmıştır. Daha sonra bu kavramın kullanımı yaygınlaşmıştır (Pearce & Turner, 1990: 29; Narin, 2020: 8).

Endüstriyel ekoloji (Industrial Ecology - IE), doğrudan doğruya kentsel metabolizma, süreç entegrasyonu ve döngüsel ekonomi ile ilgilidir. Döngüsel ekonomi, üretim ve tüketim, atık yönetimi ve ikincil hammadde piyasası gibi geniş bir alanı kapsayan kavramdır. Endüstriyel ekoloji ve endüstriyel simbiyoz ise endüstriyel süreçlere daha fazla odaklanmaktadır. Endüstriyel simbiyoz ile endüstriyel ekoloji birbiriyle yakından ilişkili olup, biri olmadan diğersinin olması mümkün değildir. İki kavram arasındaki fark, ekonominin ölçeğinde değil odak noktasında yatmaktadır. Bu kavramlara ilave olarak kentsel-endüstriyel simbiyoz kavramı da tartışmalarda kullanılmaktadır. Kentsel endüstriyel simbiyoz, arıtma sistemleri ve endüstriyel sistemler de dâhil olmak üzere şehirdeki kaynakların tüketimini azaltmanın etkili yollarından biri olarak ele alınmaktadır (Boom-Cárcamo & Peñabaena-Niebles, 2022).

Endüstriyel simbiyozun çevresel ve ekonomik yararlarının araştırıldığı bu çalışmada, öncelikle endüstriyel simbiyoz kavramı ve tanımları üzerinde durulacaktır. Ardından endüstriyel simbiyozun çevresel ve ekonomik yararları ortaya konulmaya çalışılacaktır. Daha sonra dünyadaki endüstriyel simbiyoz örnekleri ve buna ilişkin literatürdeki tartışmalar ele alınacaktır. Son olarak ise endüstriyel simbiyoz Türkiye örnekleri ile ele alınacak ve çevresel etkileri tartışılacaktır.

1. Endüstriyel Simbiyoz Kavramı ve Tanımları

Endüstriyel simbiyoz, endüstriyel süreçlerden kaynaklanan ihtiyaç fazlası ürünlerin ya da fazladan kalan ürünlerin başka bir üretim sürecinde girdi olarak kullanılmasıdır. Aynı alanda üretim yapan şirketler iş birliği yaparak karşılıklı fayda sağlarlar. Simbiyoz sözcüğü, doğada iki ya da daha fazla türün karşılıklı olarak yarar sağlayacak biçimde aramalı (malzeme), enerji ya da bilgi alışverişinde bulunması olarak ifade edilir. Endüstriyel simbiyoz iyi kurgulanırsa, ekonomik büyüme üzerinde baskı oluşturmadan çevresel yarar sağlanabilir. Bunlara örnek olarak ihtiyaç fazlası hammadde, atık su, enerji kaynakları, atık buhar verilebilir.

Endüstriyel simbiyoz tanımının kökeni, simbiyozun "farklı türlerden bireylerin, karşılıklı yarar sağlayan bir ilişki içinde birleşmesinin" ele alındığı biyoloji bilimine dayanmaktadır (Schwarz & Steininger, 1997: 47). Bu tanım, endüstriyel simbiyozun "materyallerin, enerjinin, suyun ve yan ürünlerin fiziksel değişimini içeren rekabet avantajı için kolektif bir yaklaşımla geleneksel olarak ayrı birimlerin bir araya getirildiği" endüstri kavramına aktarılmıştır (Chertow, 2000: 313). Daha sonraları bu tanıma ilave olarak, endüstriyel simbiyoz aynı zamanda "eko-inovasyon için bir iş fırsatı ve aracı" olarak da tanımlanmıştır (Lombardi & Laybourn 2012: 28). İşbirliği yoluyla daha fazla enerji veya kaynak harcamadan daha fazla üretmek, endüstriyel simbiyozun nihai hedefidir. Burada diğer şirketlerin yan ürünlerini veya atıklarını kullanan şirketler birlikte var olmaktadır. Dolayısıyla endüstriyel simbiyoz, hammadde kullanımını frenlemenin ve bu yolla sıfır düzeyde atık elde etmenin etkili bir yöntemidir (Mantese & Amaral, 2018: 450).

Bu noktada endüstriyel simbiyoz tanımını ve çerçevesini daha belirgin hale getirmek için Chen ve diğerlerinin yapmış olduğu sınıflandırmadan da yararlanılabilir. Chen ve diğerlerinin çalışmasında (2022: 131) endüstriyel simbiyoz türleri dört kategoride ele alınmıştır. Bunlar aşağıda tanımlanmıştır.

1. Maddi simbiyoz: Endüstriyel parklar, biyolojik ekosistemlerin "üretici-tüketici ayrıştırıcı" modelini taklit ederek simbiyoz birimleri arasındaki iş birliğini ve üst üretim birimleri tarafından üretilen yan ürünleri veya atıkların alt üretim için hammadde olarak kullanılmasını teşvik eder. Bu iki kola ayrılır: Ürünlerin derinlemesine işlenmesi ve atıkların yeniden üretilmesi veya geri dönüştürülmesi.

2. Su simbiyozu: Burada endüstriyel parklar üretimde su kullanım verimliliği ve su kirliliğine odaklanmaktadır. Bu nedenle su simbiyozu, simbiyoz sisteminde özel bir tür maddi simbiyoz olarak kabul edilir. Farklı üretim süreçlerinin su kalitesi gereksinimlerindeki

farklılıklara bağılı olarak, su tasarrufu amacıyla su kaynakları maksimum ölçüde yeniden kullanılmaktadır.

3. Enerji simbiyozu: Bu sadece şirketlerin enerji verimliliğini artırmasını gerektirmekle kalmamakta, aynı zamanda endüstriyel parkın genel arz talep ilişkisine uygun olarak enerji değişim ağlarını optimize etmesini de gerektirmektedir. Burada enerji kullanım verimliliğini artırmak için enerji basamaklandırması yöntemini benimsenmektedir.

4. Sinerjistik simbiyoz: Burada kastedilen simbiyoz türü, duruma göre en uygun bileşimin tercih edilerek bir sinerjinin yaratılmasıdır. Diğer bir ifade ile bir simbiyoz ilişkisi içinde değiş tokuş edilen materyaller, enerji ve su arasında farklı farklı kategoriler söz konusudur. Örneğin malzeme-su simbiyozu, malzeme-enerji simbiyozu, su-enerji simbiyozu ve malzeme-su-enerji simbiyozu gibi.

Burada karşımıza çıkan diğer bir kavram da “endüstriyel ekoloji”dir. Endüstriyel ekoloji, endüstriyel ve tüketici faaliyetlerindeki malzeme ve enerji akışının, bu akışların çevre üzerindeki etkilerinin ve ilave olarak ekonomik, politik ve sosyal faktörlerin kaynakların akışı, kullanımı ve dönüşümü üzerindeki etkilerinin incelenmesi olarak tanımlanmaktadır (Ehrenfeld, 2007: 73). Eko-endüstriyel parklar, endüstriyel simbiyoz kavramının somut olarak gerçekleşmiş haliyle karşımıza çıkmaktadır. Diğer taraftan Ehrenfeld (2007: 73), bu kavrama endüstriyel ekolojiyi dâhil etmeyi önermektedir. Endüstriyel ekoloji kavramı, emisyonları en aza indirirken malzeme ve enerji kullanımının optimize edilmeye çalışıldığı ve optimum malzeme döngüsün sağlandığı bir birlikteliği vurgulamaktadır.

Sürdürülebilir kalkınma çerçevesi çok iyi çizilmiş ve iyi test edilmiş bir yol ve kavram değildir. Dolayısıyla bu kavramın iyi anlaşılabilmesi için iktisadi kaynakların kullanım kalıplarının, ekolojik mirasın, demografik yapının ve kültürel değerlerin disiplinler arası incelenmesine ihtiyaç vardır. Endüstriyel ekoloji, endüstride bütünsel bir yaklaşımın kullanılmasına büyük önem vermektedir. Dolayısıyla gelişmekte olan ülkelerin uygulayacağı sürdürülebilir strateji ve politikaların belirlenmesi için değerli bir platform sağlayabilir. Bölgesel kalkınma sorunlarını çözümünde endüstriyel ekoloji yöntemleri ve araçları bize bir çözüm paradigması sunabilir. Gelişmekte olan ülkelerdeki sürdürülebilir endüstriyel kalkınma, kırsal ve kentsel kalkınma stratejileri ve politikaları, enerji verimliliği ile ilgili araştırma ve çalışmalar bu paradigma çerçevesinde geliştirilmelidir.

Buna ilave olarak çoğu zaman simbiyoz kavramı, “Eko-Endüstriyel Parklar” (EIP, Eco-Industrial Parks) ile de ilişkilendirilmektedir. Çünkü endüstriyel park, malzeme, enerji, bilgi

gibi kaynakların paylaşıldığı firmalar topluluğu ile ilişkilidir. Burada da ekonomik, çevresel ve sosyal kazanımlara ulaşmak amaçlamaktadır. Endüstriyel simbiyoz kavramı, bu tanımla da oldukça ilişkilidir ve dolayısıyla mevcut eko-endüstriyel parkların çoğunun firmalar arasında endüstriyel simbiyozla sahip olmaları şaşırtıcı değildir. Bununla birlikte, eko-endüstriyel parklar bünyelerinde, endüstriyel simbiyozun yanı sıra, yenilenebilir enerjilerin kullanımını, çevre dostu binaların tasarımı gibi diğer birçok özelliği de içerir.

Burada belirtilmesi gereken diğer bir husus da, endüstriyel simbiyozun neredeyse her zaman ortak bir alanla sınırlı olmasıdır. Ancak endüstriyel parklar ve dolayısıyla endüstriyel simbiyoz, katılımcılar arasındaki coğrafi yakınlığa bakılmaksızın da yapılabilir.

Bu bağlamda literatürde tartışılan konulardan biri de endüstriyel ekosistemlerin çevresel performansı iyileştirilmesinde iş birliği yapan firmaların coğrafi yakınlığının etkisidir. Simbiyotik alışverişin başarısına katkıda bulunan faktörler arasında iş birliği yapılan şirketlerin yakın konumu literatürde sıklıkla dile getirilmektedir. Araştırmaların çoğu, iş birliği yapan şirketlerin birbirine nispeten yakın konumlandığı tek bir endüstriyel ekosisteme odaklanmıştır. Bu araştırmalar da simbiyotik girişimlerin olumlu çevresel etkisi açıklanmaya çalışılmaktadır. Bu hususa değinen çalışmalardan birisi de Marcinkowski tarafından yapılan çalışmadır (Marcinkowski, 2019: 521). Marcinkowski çalışmasında çevresel etkinin olumlu kaldığı maksimum simbiyotik iletim mesafesinin belirlenmesi üzerinde durmaktadır. Buna göre göreceli mesafe ve kritik mesafe kavramları, endüstriyel simbiyozun çevresel potansiyelini yansıtmada yardımcı görünmektedir. İlgili uç noktalar için elde edilen sonuçlar arasında önemli farklılıklar gözlemlenmiştir. İnsan sağlığı, ekosistem kalitesi ve kaynak kategorileri için çeşitli çevresel etki modelleri, çevresel fayda yapısında belirgin farklılıklara yol açmaktadır. Avrupa düzeyinde binlerce kilometre mesafedeki uluslararası simbiyotik girişimlerin bile çevreye fayda sağlayabileceği vurgulanmaktadır.

Firmaların coğrafi yakınlığı, sinerji yaratılmasını kolaylaştıran ve atık taşıma maliyetlerini azaltan bir faktördür. Ancak Çin'in Tianjin bölgesinde olduğu gibi birbirinden uzak işletmeler arasında da simbiyozun meydana geldiği örnekler vardır (Shi vd., 2010: 191). Benzer şekilde Amerika Birleşik Devletleri'ndeki Choctaw endüstriyel parkı da uzak firmalar arasında oluşturulan endüstriyel simbiyoz örneklerinden biridir (Zhang vd., 2013: 169).

Dolayısıyla endüstriyel simbiyozun kapsamlı bir tanımı artık yapılabilir: “Endüstriyel simbiyoz, eko-yeniliği ve uzun vadeli kültür değişimini teşvik etmek için çeşitli kuruluşları bir ağ içinde bir araya getirmektir. Bu ağ aracılığıyla bilgi yaratmak ve paylaşmak, gerekli girdilerin, katma değerli hedeflerin ve mevcut ürün haricinde ilave çıktılarının ortaya çıkması ve

yeni kaynakların temininin sağlanması ve buna bağlı olarak iş ve teknik süreçlerin geliştirilmesi için karşılıklı olarak kârlı işlemlerin gerçekleştirilmesidir.” (Lombardi & Laybourn, 2012: 28).

Endüstriyel simbiyoz hakkındaki akademik çalışmalar 2000’li yılların başından itibaren hızla artmıştır. Bu alanda en fazla yayına sahip olan ülke Çin’dir ve onu ABD takip etmektedir (Neves vd., 2020). Ancak bunun yanı sıra gelişmekte olan ülkelerde de endüstriyel ekoloji, endüstriyel simbiyoz ve çevre konuları oldukça ele alınan bir konudur. Dolayısıyla burada konunun tamamını ve bütün yönlerini incelemek mümkün değildir. Ancak burada kapsamlı bir literatür taraması yapılarak gelişmekte olan ülkelerde endüstriyel simbiyoz ile çevre sorunlarının çözümü arasında güçlü bir bağın olduğu ortaya konulmaya çalışılacaktır. Bu bağlamda genel bir bakış açısı geliştirilmeye çalışılmaktadır.

Literatürde çoğunlukla endüstriyel simbiyoz ağları analiz edilmekte ve vaka/örnek olay çalışmaları analizlerin çerçevesini oluşturmaktadır. Bu vaka çalışmaları, dünyadaki endüstriyel simbiyozun genel bir değerlendirmesini yapmamıza yardımcı olmaktadır. Buna ilave olarak gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde uygulama potansiyelinin çok büyük olduğunu göstermektedir. Endüstri ve bu endüstride yer alan firmalar arasındaki simbiyoz yani ortak yaşamlar, her iki taraf için de sayısız avantaj sağlayan büyük bir gelişme potansiyeline sahiptir.

2. Endüstriyel Simbiyozun Çevresel ve Ekonomik Analizi

Endüstriyel simbiyoz uygulamalarının çevre üzerindeki olumlu etkileri birçok çalışmada rapor edilmektedir. Bu araştırmalar, endüstriyel simbiyoz uygulamasının seragazi emisyonlarını azaltmaya yönelik önemli yararlar sağladığını ortaya koymuştur. Harris 2007 yılında yaptığı araştırmada, on beş (15) endüstriyel parkı incelenmiştir. Bunlar arasında yer alan Avustralya’daki Kwinana endüstriyel parkı; İskoçya’daki Forth Valley endüstriyel parkı, Danimarka’daki Kalundborg endüstriyel parkı ve Tayland’daki Map Ta Phut endüstriyel parkı olmak üzere dört eko-endüstriyel parkta sağlanan sera gazı emisyonunun azaltımı yönelik rapor hazırlanmıştır (Harris, 2007: 31).

Tablo 1. Örnek Endüstriyel Simbiyoz Bölgelerinde Rapor Edilen Faydalar

BÖLGELER	Bildirilen Sürdürülebilirlik Faydaları	
	ÇEVRESEL FAYDALAR	EKONOMİK VE SOSYAL FAYDALAR
(UK) Forth Valley	<ul style="list-style-type: none">-Çimento üretiminde toz haline getirilmiş uçucu kül kullanılarak 33 bin CO2 tasarrufu sağlandı.-İçki fabrikasından 17-18 bin CO2 geri kazanılarak gıda endüstrisine satıldı.-164 bin ton/yıl çeşitli çamur depolama sahasından yönlendirildi.-11 bin ton/yıl kümes hayvanı çöpü değerlendirildi.-Depolama alanından yılda 500 bin ton uçucu kül yönlendirildi.-40 bin ton/yıl kömür tasarruf edildi.-4 bin birim polimer ve 60 bin birim diğer plastik geri dönüştürüldü.-Yakıt için 7.500 solvent/katran değerlendirildi.	<ul style="list-style-type: none">-1,2 milyon £/yıl kâr edecek şekilde uçucu külün yeniden kullanımı sağlandı.
(UK) Humberside	<ul style="list-style-type: none">183 bin ton/yıl atık malzeme depolama sahasından yönlendirilerek değerlendirildi.	<ul style="list-style-type: none">-87 iş kurtarıldı; 960 iş için potansiyel yaratıldı ve 1.440 dolaylı iş imkânı sağlandı.-ekonomik aktivite de 800 milyon £/yıllık artış sağlandı.
(DK) Kalundborg	<ul style="list-style-type: none">-170 bin ton CO2- 2,1 milyon ton/yıl içme suyu yerini yüzey suyuna bıraktı.- Yılda 30 bin ton kömür ve yılda 19 bin ton petrole eşdeğer enerji tasarrufu sağlandı.- Depolama alanından 280 bin ton/yıl malzeme (uçucu kül, temizleme çamuru vb.) değerlendirildi.- 200 bin ton/yıl alçı kullanımı ve 2.800 ton/yıl kükürt kullanımı engellendi.	<ul style="list-style-type: none">-Toplam yatırım 75 milyon Dolar yatırım yapıldı ve 15 milyon Dolar tasarruf sağlandı.- Toplam tasarruf 160 milyon Dolar olarak gerçekleşti.
(NL) Moerdijk	<ul style="list-style-type: none">-85 bin ton CO2 geri kazanıldı.- 3,4 milyon ton/yıl buhar geri kazanıldı.- 0,5 GL/d suyun yeniden kullanımı sağlandı.	<ul style="list-style-type: none">Bilgi Yok
(NL) Rotterdam	<ul style="list-style-type: none">- Bölgesel ısıtma için 6 MW atık ısı geri kazanımı sağlandı.	<ul style="list-style-type: none">Bilgi Yok
(USA) Fairfield	<ul style="list-style-type: none">Bilgi Yok	<ul style="list-style-type: none">-62 milyon dolarlık yatırım sanayinin yeniden geliştirilmesi tesisler (toprak dâhil) iyileştirme sağlandı.
(USA) Londonderry	<ul style="list-style-type: none">-18 ML/gün arıtılmış atık suyun soğutma suyu olarak yeniden kullanımı gerçekleşti.	<ul style="list-style-type: none">Bilgi Yok
Sarnia Lambton (CAN)	<ul style="list-style-type: none">Yaklaşık 175 bin ton/yıl FGD alçıtaşı çöp depolama alanından yönlendirildi.	<ul style="list-style-type: none">Bilgi Yok
Texas (USA)	<ul style="list-style-type: none">-Çelik üretiminde enerji tasarrufu sayesinde 192 bin ton CO2 önlendi.	<ul style="list-style-type: none">Bilgi Yok

	<ul style="list-style-type: none"> - 250 bin ton/yıl atık depolama alanından yönlendirildi (parçalayıcı kalıntısı ve cürufur). - 18 bin ton demir dışı metal geri kazanıldı. 	
Kawasaki (JAP)	<ul style="list-style-type: none"> -Yüksek fırın indirgeyici olarak kullanılan 30.000 tpa atık plastik - Amonyak üretimi için gazlaştırılan 360 tpd atık plastik 	Bilgi Yok
Map Ta Phut (Thailand)	<ul style="list-style-type: none"> -80 tpa solvent geri kazanıldı. - 11.800 ton/yıl atık yağ yakıt olarak ve/veya yağlı boya olarak yeniden kullanılıyor. - Çimento hammaddesi olarak kullanılan 20 bin ton tufal, toz ve refrakter malzeme ile - 640 bin tpa demir klorür/hidroklorik asit geri kazanıldı. 	
Gladstone (AUS)	<ul style="list-style-type: none"> - 6,5 ML şema suyu, arıtılmış atık su ile değiştirildi. 	
Kwinana (AUS)	<ul style="list-style-type: none"> - CHP'den 170 bin tpa CO₂-eşd emisyon azaltımı - Alümina kalıntısında 70 bin ton CO₂ emildi. - Taşımının azaltılmasıyla 463 ton CO₂ tasarrufu sağlandı. - 10 bin ton/yıl yan ürün alçı yeniden kullanılmak üzere geri kazanıldı. - Arıtılmış atık sudan geri kazanılan 6 GL yüksek dereceli endüstriyel su - 260 bin ton atık depolama alanından yönlendirildi. 	<ul style="list-style-type: none"> -Su arıtma tesisine yatırım 29 Milyon Dolar -İslah edilmiş sudan dolayı fiyatlarda %20 prim sağlandı.

Kaynak: Harris, 2007: 31.

Tablo 1'de belirtildiği üzere, Kwinana'da iki tane ısı ve bir tane de güç santrali bulunmaktadır. Bunlar kombine (birleştirilmiş) ısı ve güç santralleridir. 116 MW gücü olan ve British Petrol (BP) rafinerisinin bünyesinde yapılan ısı ve güç santrali, rafinerinin buhar ihtiyacının tümünü karşılamaktadır. Ayrıca BP için elektrik üretimi yapmakta ve aynı zamanda enerji şebekesi de artan doğalgazdan yararlanmaktadır. Bu uygulama ile bölgede CO₂ emisyonu yılda 170 bin ton azalmıştır.

İlave olarak alüminyum dioksit ve doğalgaz üreticisine CO₂ sağlayan kimyasal bir tesis bulunmaktadır. Bu simbiyotik ilişkide yer alan ve alüminyum dioksit üreten Alcoa işletmesi, boksit artıklarındaki alkaliniteyi yansızlaştırmak (nötralize etmek) için CO₂ kullanmıştır. Bu CO₂'nin kullanımı bölgede bulunan diğer bir işletmenin atığı olarak borularla Alcoa fabrikasına ulaşmıştır. Böylece CO₂ emisyonu yılda en az 70 bin ton azalmıştır.

Bölgedeki HiSmelt, daha basit ve esnek demir üretimi sağlayan doğrudan dökme demir teknolojisini ticari ölçekte ilk kullanan işletmedir. Kok fırınları ve cüruf tesisinde yüksek fırın kullanarak CO₂, nitrik oksit (NO_x) ve kükürt oksit (SO_x) emisyonlarında sırasıyla %20, %40

ve %90 azalma sağlanmıştır. Görüleceği üzere, Kwinana endüstriyel simbiyoz uygulamasında taşıma ve transfer uygulamaları daha dahil yılda 463 ton CO2 emisyon azalımı sağlanabilmiştir.

Gelişmekte olan ülkeler, güçlü bir ekonomiye ulaşmak için zaman ve kaynak yatırımı yapmaktadırlar. Bunu yaparken vatandaşlarının yaşam kalitesindeki iyileştirmelerin ekolojik sistemlerin iyileştirilmesiyle uyumlu bir şekilde elde edilmesini sağlamak için “enerji verimliliği”[†] kavramlarını ve araçlarını kullanabilirler. Nüfus yoğunluğunun yüksek olduğu bölgeler aynı zamanda iklim değişikliği ve sürdürülemez sanayileşmenin neden olduğu diğer çevresel felaketler nedeniyle nüfusları en fazla risk altında olan bölgelerdir. Bu ülkelerden bazıları (özellikle BRICS 2 ülkeleri), nispeten yeni sanayileşme nedeniyle yüksek GSYİH büyüme oranlarına sahiptir ve dar kapsamlı kalkınmaya odaklanmak yerine “kalkınma” paradigmasını ve sürdürülebilir ilerlemeyi benimsemeli ve vizyonlarını yeniden tanımlamalıdır (Shenoy, 2016: 229).

Gelişmekte olan bir ülkenin GSYİH'sini artırmaya yoğun bir şekilde odaklanılmasına rağmen, ünlü çevre ve politika analisti Vaclav Smil'in (1996) ortaya koyduğu gibi, bu ülkenin vatandaşlarının şunu fark etmesi gerekiyor: Çevre kirliliğinin gerçek maliyeti göz önüne alındığında, Çin'in %10'luk etkileyici GSYİH büyümesinin pek değeri yoktur. Bu GSYİH artışının neden olduğu hasar GSYİH'nın yaklaşık %15'idir (Desrochers, 2017: 2). Modası geçmiş “şimdi kirlet, sonra temizle” uygulaması yalnızca ülkenin çevresini ve yaşam kalitesini bozacak ve gelecekteki iyileştirme çabalarına yönelik ekonomik harcamaları artıracaktır. Dahası, bir ülkenin kalkınma paradigması ve altyapısı, fosil yakıtların savurgan kullanımına dayanan modern tüketim temeli üzerine inşa edildiğinde, sürdürülebilirliği sağlamak pahalı, karmaşık ve yönlendirilmesi zor hale gelecektir.

Chiu ve Yong'a göre sürdürülebilir kalkınma kesinlikle basit, tekil ve iyi test edilmiş bir yol değildir. Pek çok farklı çıkar grubu, hangi çevresel ve sosyal zorlukların öncelikle ele alınması gerektiği ve bunların çözümleri konusunda çatışmaktadırlar. Gelişmekte olan ülkelerdeki endüstriyel ekolojiye ilişkin daha önceki incelemelerin önerdiği gibi, endüstriyel ekoloji bir şemsiye paradigma, bireysel yerel krizlere pragmatik çözümlerle yaklaşılabilir bir tür panoramik vizyon sunmaktadır. Endüstriyel ekoloji temelli çözümler, tüm paydaşlar için eş zamanlı faydalar sağlamak üzere birbiriyle bağlantılı diğer birçok sorunu aynı anda ele alma avantajını sunmaktadır (Chiu & Yong, 2004: 1037). Chiu ve Yong (2004) tarafından hazırlanan gelişmekte olan Asya ülkelerinde endüstriyel ekolojiyi inceleyen bir çalışmada kaynak

[†] Enerji verimliliği hakkında ayrıntılı bilgi için bkz. (Narin & Akdemir, 2006).

gösterilerek, gelişmekte olan ülkelerde endüstriyel ekolojinin fayda/zarar analizine yer verilmektedir. Chiu ve Young (2004)'ın çalışmasında sunulan bu analiz ana hatlarıyla Tablo 2'de incelenmektedir. Bu çalışmada hızlı ekonomik büyüme gibi bazı güçlü yönlerin aynı zamanda zayıflık, fırsat ve tehdit olarak da görülebileceği ortaya konulmaktadır (Chiu & Yong, 2004: 1037).

Tablo 2. Gelişmekte olan ülkelerde endüstriyel ekoloji potansiyeli için bir değerlendirme

Güçlü Yönler	Zayıf yönler
1. Ekonomik büyüme: Gelişmekte olan ülkelerin çoğu, özellikle BRICS ülkelerinde, büyük doğrudan yabancı yatırımlar ve yerli sanayileşmeyle hızla büyüyor. Bu durum, endüstriyel ekoloji araştırmalarının ve politika ve endüstriyel inovasyon uygulamalarının finansmanı için ekonomik ivme sağlayabilir.	1. Ülkeye özgü endüstriyel ekoloji tabanlı model ve verilerin geliştirilmesi: Kaynak akışlarını ve bunların gelişmekte olan ülkelerdeki sosyo-ekonomik gruplarla etkileşimini anlamaya yönelik özel modellerin, özellikle örgütlenmemiş/gayri resmi sektörde geliştirilmesi gerekmektedir. Gelişmekte olan ülkeler için daha uygun olan spesifik metrik ve göstergeler belirlenmelidir. Özellikle yaşam döngüsü değerlendirmelerine (LCA'lar) yönelik yaşam döngüsü envanterlerine (LCI'ler) ilişkin arka plan verileri, çoğu gelişmekte olan ülke için eksiktir.
2. İnsan kaynakları: Gelişmekte olan ülkelerin çoğunda, özellikle Hindistan gibi ülkelerde, demografik özellikler genç nüfusa vurgu yaparak yüksek nüfus yoğunluğuna sahiptir.	2. Mali kaynaklardaki kıtlık: Gelişmekte olan ülkelerde enerji mühendisliğinin araştırılması ve geliştirilmesi için yetersiz finansman bulunmaktadır.
3. Araştırma: Gelişmekte olan bazı ülkelerde araştırma ve akademik çevre, endüstriyel ekolojiye maruz kalmış olup, bu durum, endüstriyel ekoloji araştırma ve eğitim merkezlerinin kurulması için ideal bir aşama haline gelmektedir.	3. Eğitim programlarının yetersizliği: Gelişmekte olan ülkelerde, Endüstri Mühendisliği alanında çok az uzmanlaşmış eğitim programı bulunmaktadır. Bu programların çoğu Çin'dedir.
4. Farkındalık: İnsanlar sürdürülebilirliğin bilincindedir ve buna yönelik çözümlerin hayata geçirilmesi için yöntem ve araçlar aramaktadır. Bu farkındalık şirketlerde, vatandaşlarda ve devlette mevcut.	4. Farklı yönetim organlarının rollerinde yetersiz netlik: Gelişmekte olan birçok ülkede, kaynak yönetimine ilişkin yönetim organlarının rollerinde netlik eksikliği vardır. Çoğu durumda yönetişimde büyük boşluklar vardır ve bazı durumlarda kamu sektörü kurumlarının sorumluluklarında örtüşmeler vardır. Kaynak yönetiminde bütünsel ve iş birlikçi bir yaklaşımın eksikliği vardır.
5. Hükümetin rolü: Bazı gelişmekte olan ülkelerdeki hükümet, özellikle Çin'de, enerji verimliliğine ilgi göstermiş ve enerji verimliliğine dayalı politikalar uygulamıştır. Siyasi iş birliği, Güney Asya Bölgesel İş Birliği (SAARC), İngiliz Milletler Topluluğu ülkeleri vb. gibi bu ülkelerin gruplarında endüstriyel ekolojinin büyümesine yol açabilir.	5. Yetersiz veri: İçerik odaklı politika kararları almak için gerekli veriler yetersizdir ve bazen güvenilmezdir.
	6. Yeşil teknolojinin azlığı: Yenilik eksikliği ile yeşil ve temiz endüstriyel teknolojilere erişim.
	7. Yetersiz uygulama: Sürdürülebilir politikaların ve kaynakların yönetiminin uygulanmaması.
Fırsatlar	Tehditler
1. Sürdürülebilir kalkınmayı yeniden tanımlayın: Tüketim odaklı kalkınmanın çevresel etkilerini sınırlandırırken sosyal refahı en üst düzeye çıkarmak için kalkınma paradigmasını ve politikalarını yeniden tanımlama fırsatına sahip olun.	1. Hızlı sanayileşmeden ekonomik büyümeye güçlü odaklanma: Toplumsal refahın artırılmasından ziyade sanayileşmeye ve ekonomik büyümeye güçlü bir odaklanma var. Bu hamle, gelişmekte olan ülkelerin ekolojik sağlığına zaten büyük ölçüde zarar verdi.

2. Uluslararası iş birliği: Çeşitli uluslararası kurumlar, IE kavramlarını ve araçlarını kullanan sistemleri araştırmak için gelişmekte olan ülkelerdeki ortaklarla iş birliği yapmaktadır.	2. Yetersiz endüstriyel ekoloji farkındalığı: Özellikle politika oluşturma ve yönetim alanlarında ve kamusal alanda.
3. Yeni model ve araçların geliştirilmesi: Endüstriyel ekoloji, yeni model ve araçların geliştirilmesine katkıda bulunabilir.	3. Yetersiz veri: Kaynakların sürdürülebilir yönetimine ilişkin politikaları bilgilendirmek için yeterli makro ve mikro düzeyde veri eksikliği.
4. Küresel siyasi arena: Gelişmekte olan birçok ülke, iklim değişikliği gibi küresel anlaşmalara ilişkin müzakereleri ilerletmek için birbirleriyle ittifak yapıyor. Endüstriyel ekoloji tabanlı politikalar ve stratejiler üzerinde çapraz iş birliği yapmak için bu siyasi iş birliklerini kullanabilirler.	4. İyileştirmeye odaklanma: Daha fazla gelişme için “sanayileşme – kirlilik – iyileştirme” çarkında sıkışıp kalmak. Sürdürülebilir politika geliştirme ve uygulamaya nasıl geçiş yapılacağına dair içgörü eksikliği. Dolayısıyla enerji verimliliği, kaynakların verimsiz yönetimi ve çevre politikalarının yeterince uygulanmamasından kaynaklanan kirliliğin iyileştirilmesi için yalnızca teknik bir "ekleme" veya "düzeltme" olarak görülebilir.
	5. Güncelliğini yitirmiş politikalar: Bazı durumlarda politikalar etkili endüstriyel ekoloji uygulamasını engeller. Örneğin Hindistan'daki “Sıfır deşarj politikası” endüstriler arasında suyun akmasına izin vermiyor. Bazı ülkelerde yasalar, atık değişim ağlarının ve endüstriyel simbiyozun oluşumunu engellemektedir.
	6. Sanayileşmenin yüksek dışsallıkları: Birçok ülkede, uygun çalışma koşulları, çevrenin korunması ve sosyal sorumluluk gibi endüstrilerle ilişkili dışsallıklar çok büyüktür. Etkilenen topluluklara sağlanan faydalar üretim maliyetine dahil değildir.

Kaynak: Chiu & Yong, 2004:1037.

Ancak bu bağlamda, kapsamlı bir sürdürülebilir kalkınma paradigmasının yokluğunda, endüstriler için geri dönüşümü pahalı olan endüstriyel kalıntıların en ucuz ve çoğu zaman en temiz olmayan yöntemlerle bertaraf edileceğinin farkına varmak önemlidir. Üstelik eko-endüstriyel parklar kömür yakıtlı enerji santralleri gibi kirletici endüstriler, endüstriyel ağlara daha da hapsolmuş olabilir ve bu da bunların, yenilenebilir kaynaklara dayalı santraller gibi daha temiz teknolojilerle değiştirilmesini zorlaştırabilir. Politika cephesinde, gelişmekte olan ülkelerin bu birbiriyle bağlantılı komplikasyonların farkında olmaları ve ekolojik, sosyal ve ekonomik sağlıklarına uzun vadede net zarar gelmesini önlemenin yollarını düşünmeleri önemlidir.

Endüstriyel simbiyoz ilişkileri, kaynak tasarrufu, ekonomik fayda elde etme, sera gazı emisyonlarının azaltılması gibi çevresel gereksinimlerin karşılanması, doğal kaynakların kıtlığı ve aksi takdirde çöplüklerde ve yakma tesislerinde duracak olan atıkların azaltılması gibi bir dizi faktör aracılığıyla teşvik edilmektedir (Domenech vd., 2019: 76). Dolayısıyla bu ihtiyaçları karşılamak amacıyla endüstriyel simbiyoz olumlu ekonomik, çevresel ve sosyal sonuçlarla tüm dünyaya yayılmıştır.

Çevresel açıdan bakıldığında endüstriyel simbiyoz karbon ayak izini azaltma yolunda atılmış önemli bir adımdır. Buna ilave olarak hammadde kullanımını azaltarak doğal kaynakların korunmasını sağlamaktadır. Endüstriyel simbiyozun diğer çevresel avantajları ise atık oluşumunun önlenmesi, atık üretiminin azalması, çevreye zararlı malzemelerin ortadan kaldırılması, işlenmemiş malzemelere, enerjiye ve suya olan bağımlılığın azalması olarak sıralanabilir.

Ekonomik açıdan bakıldığında ise endüstriyel simbiyozun yararları; maliyetlerde azalma, endüstri içi yeni iş fırsatlarını ortaya çıkması ve katma değer yaratılması ve üretimin bir sonucu olarak ortaya çıkan atıkların değerlendirilmesi olarak özetlenebilir. Bu bir anlamda dışsal ve içsel ekonomilerin birlikte ortaya çıkması anlamına gelmektedir. Diğer taraftan yeni iş kollarının yaratılması ve buna bağlı olarak yeni istihdam olanaklarının ortaya çıkması da önemli bir katkıdır.

Endüstriyel simbiyozun geniş kapsamda uygulanabilmesi ve şirketlerin potansiyelini tam olarak ortaya çıkarabilmesi için bazı alanların gözden geçirilmesinde yarar görülmüştür. Öncelikle üretim süreçleri ve alternatifleri gözden geçirilmelidir. Ardından atık yönetimi ve atık su arıtma sistemleri iyi tanımlanmalıdır. Ayrıca her tür akış alternatifleri dikkatlice değerlendirilmelidir. Bunların yanı sıra firmalar değer zincirlerini iyi tanımlamalı, kendi stratejileri ve aktiviteleri ile ilişkilendirmelidir. Tedarik zincirindeki paydaşlar ve endüstriler arası diyaloglar genişletilmeli, bilgi paylaşımı güçlendirilmelidir. Bu durumda potansiyel tam anlamıyla ortaya çıkabilecek ve doğal kaynaklar korunarak ekonomik büyüme sağlanabilecektir.

3. Dünyada Endüstriyel Simbiyoz Örnekleri

Bütün dünyada endüstriyel simbiyoz örnekleri son yıllarda giderek artmaktadır. Gerek Birleşik Krallık, ABD ve Japonya gibi gelişmiş ülkelerde olsun gerekse de Tayland, Fas ve Cezayir gibi gelişmekte olan ekonomilere sahip ülkelerde olsun dünyanın her yerine dağılmış durumdadır. Literatürde yayınlanan çalışmalar, konum açısından çeşitliliğin yanı sıra, simbiyozda yer alan aktivitenin boyutu ve türündeki muazzam çeşitliliği de yansıtmaktadır. İsveç'teki Västra Götaland'da incelenen iki endüstriyel simbiyoz uygulaması, simbiyozlardan birinin mantar yetiştiricileri ve çiftçiler arasında, diğerinin ise bira üreticileri ve çiftçiler arasında geliştiği, az sayıda şirkete ve az çeşitliliğe sahip uygulama örnekleridir (Neves vd., 2020: 2).

Çin'in Tianjin örneği ise su ve atık su şirketleri, termik santraller, çiftlikler, ilaç, kâğıt, çimento, otomobil ve makine endüstrileri sinerjisini içeren çok çeşitli faaliyetlerin bir araya geldiği çok büyük ölçekte endüstriyel simbiyoz örneklerindedir (Shi vd., 2010: 191).

Avrupa Komisyonu'nun 2020 stratejisini temel alan Avrupa Birliği, 2015 yılında revize edilmiş bir döngüsel ekonomi (circular economy - CE) paketi başlatmıştır. Döngüsel ekonomiye yönelik olan bu eylem planı (EC, 2015), üretimden başlayarak tüm malzeme döngüsünü kapsayan önlemleri içermektedir. Tüketimden atık yönetimine ve ikincil hammadde piyasasını canlandırmaya yönelik somut önlemlere kadar uzanmaktadır. Program özellikle dönüşüm için yenilikçi bir yaklaşım olarak endüstriyel simbiyozun rolüne değinmektedir. Bir endüstrinin atık veya yan ürünlerinin bir başka endüstri için girdi haline gelmesi ve atık yönetiminin revize edilmesi gerekliliğini ortaya koymaktadır.

Endüstriyel simbiyoz modelinin ilk uygulamalarından biri Danimarka'daki Kalundborg eko-endüstriyel parkta uygulanmıştır. Bu uygulamada, Kalundborg'daki petrol rafinerisi, alçı plak tesisi, güç santrali, Kalundborg Belediyesi'nden oluşan ana ortaklar arasında yeraltı suyu, atık su, buhar ve elektrik ile öteki atıkların değişimi gerçekleşmiştir. Böylece uygulama ile yılda yaklaşık 2,9 milyon ton hammadde değişimi gerçekleştirilmiştir. Bunun sonucunda su tüketimi %25 azaltılmış ve beş bin konut atıklarla gerçekleştirilen merkezi ısıtmadan yararlanmıştır. Bu iş birliği çevresel ve ekonomik verimliliği önemli ölçüde artırmıştır. Bunların yanı sıra yeni istihdam olanakları sağlanmış, teknolojik iyileşme, atık yönetimi maliyetlerinde büyük ölçüde azalma ortaya çıkmış, çok büyük bir bilgi birikimi ve paylaşımı sağlanmıştır (Martin & Harris, 2018: 246).

Danimarka'nın Kalundborg şehrinde, yeraltı suyunun yüzey suyuyla değiştirilmesiyle, tüm simbiyoz endüstrileri 30 milyon m³'ten fazla yeraltı suyu kullanımını azaltmış ve 1990-2002 döneminde, enerji santrali ile rafineri arasındaki endüstriyel simbiyoz nedeniyle yeraltı suyu kullanımında daha fazla azaltma sağlanmıştır. Tahminen yeraltı suları yerine 7,6 milyon m³'ten fazla yüzey suyu kullanılmıştır (Jacobsen, 2006: 239).

Endüstriyel simbiyoz ilk uygulama örneklerinden birisi de İsveç'in Sotenäs kentinde uygulamaya konulan endüstriyel simbiyoz ağıdır. Henüz daha uygulamanın başlarında bile 20 civarında faaliyetin korunmasına veya yeni işler yaratılmasına yol açmıştır. Buna ilave olarak 5 yeni şirketin kurulmuş ve yaklaşık kaynak paylaşımı yoluyla yıllık olarak 59 milyon kg CO₂'e eşdeğer emisyonunun azaltılmasına olanak sağlanmıştır (Martin & Harris, 2018: 246).

Endüstriyel simbiyoz yaklaşımına önem veren ülkelerin başında Çin gelmektedir. Çin'de, kirliliği önleme ve kontrol etme mücadelesinin temel hedefleri, karbon seviyesi kontrolü ve karbon nötrlüğü kavramlarıdır. İlk kez 14. Beş Yıllık Plan'da bu temel hedefler ekonomik ve sosyal kalkınmaya yönelik olarak ele alınmış ve plana ilk kez 2021'de yazılmıştır (Anand vd., 2020: 4193).

Dünyanın önemli endüstriyel simbiyoz uygulamalarından biri olan Çin'in Guiyang kentindeki kentsel endüstriyel simbiyoz uygulanması, kentsel karbon ayak izinin yılda yaklaşık 1090 bin ton CO2 civarında azaltılmasına olanak sağlamıştır (Fang vd., 2017: 30).

Diğer taraftan ABD'de de bu yönde adımların atıldığı görülmektedir. ABD Çevre Koruma Ajansı (EPA) da, 2010 yılında kömür yakıtlı enerji santrallerinden kaynaklanan havadaki cıva kirliliğine ilişkin ulusal standartlar önermiştir. Özellikle hükümet veya politika yapıcılar, karbon emisyonlarını azaltmak için karbon emisyon vergileri ve sübvansiyonları gibi çevresel düzenlemeler uygulamaya koymuşlardır. Buna göre her firma çevre emisyonlarıyla orantılı bir vergi öder. Diğer taraftan hükümet, firmaların çevre emisyonlarını azaltma çabalarını hızlandırmak için çevre sübvansiyonları uygulamaktadır. Bu yolla kirletici şirketlerin kirliliği azaltma eylemlerini sübvansiyonla desteklemektedirler. Bilindiği üzere rasyonel davranan üreticiler endüstriyel rekabeti göz ardı edemezler (Cao vd., 2023: 5515).

Avustralya'daki endüstriyel simbiyoz örnekleri iki kategoriye ayrılabilir. Bunlar; ağır sanayi siteleri (eko-endüstriyel parklar olarak da bilinir) ve dijital atık değişim projeleridir. Endüstriyel simbiyoz ilkelerinin Avustralya bağlamına uygulanmasına ilişkin yalnızca birkaç örnek vardır. En dikkate değer örnekler Perth, Batı Avustralya'daki Kwinana ve Queensland, Gladstone gibi ağır sanayi bölgelerindedir (King vd., 2020: 2).

Kwinana, Batı Avustralya'nın Perth şehrine 40 km uzaklıkta bulunan bir sanayi bölgesidir. Bu bölge çimento fabrikaları, petrol rafinerisi, kimya ve doğalgaz üretim tesisleri gibi ağır sanayi üreticilerine ev sahipliği yapmaktadır. Bölgenin ekonomik üretimi Mart 2020 itibarıyla yıllık 15 milyar doların üzerindedir. Kwinana Sanayi Konseyi ilk olarak 1991 yılında bir grup çekirdek şirket tarafından sanayi bölgesi için gerekli hava ve su izlemeyi eşgüdüm sağlamak üzere kurulmuştur. Şirketler arasındaki bu ilk iş birliğinden, endüstriyel simbiyoz biçiminde başka iş birliği fırsatları ortaya çıkmıştır (King vd., 2020: 4).

Bu değişimler büyük ölçüde kendi kendine organize edilmektedir ve mevcut ve potansiyel iş birlikleri akademik çalışmanın konusu olmuştur. 2017'de yayınlanan araştırmada, Kwinana'daki 30 şirketin haritası çıkarılmış ve şirketler arasındaki ürün, yan ürün veya ticari

etkileşimleri içeren 47 sinerji projesi bulunmuştur (King vd., 2020: 4). Kwinana Sanayi Konseyi, hala faaliyetine devam etmektedir (Kwinana Industries Council, 2024).

Gladstone, Queensland'in başkenti Brisbane'in 550 km kuzeyinde yer almaktadır. Sıklıkla Kwinana ile karşılaştırılan ve aynı zamanda birbirine yakın birçok ağır sanayi şirketinin bulunduğu bir bölge olması nedeniyle benzerlikler de bulunmaktadır. Bu benzerlikler; çimento, alüminyum, enerji, kimya ve kömür şirketlerinin olmasıdır. 2014 yılı itibarıyla 5 adet kaynak değişimi yaşanmıştır ve bu durum 2005 yılından bu yana değişmemiştir. Mevcut ve gelecekteki sektörler için toplam 17 potansiyel sinerji belirlenmiş, ancak bu sinerjilerden herhangi birinin gerçekleşip gerçekleşmediği bilinmemektedir. Gladstone'daki ilerleme eksikliğinin nedenleri teknik fizibilitenin ötesine uzanmasıdır. Şirketler ticari hassasiyetler nedeniyle atık ve malzeme akışı verilerini sağlamakta isteksiz davranmışlardır. Dolayısıyla şirketler arasında bilgi paylaşımı konusunda isteksizlik, düzenleyici engeller, ekonomik ve toplumsal engeller bulunmaktadır (Neves vd., 2020: 4).

4. Türkiye’de Endüstriyel Simbiyoz Örnekleri ve Uygulamaları

Tüm dünyada olduğu gibi Türkiye’de de endüstriyel simbiyoz örnekleri görülmektedir. Bu alanda ilgili literatür tarandığında oldukça geniş bir mecra karşımıza çıkmaktadır. Bu çalışmaların çevre ile ilişkili olanları incelenmiş ve belli bir sistematik içerisinde raporlandırılmıştır. Öncelikle Türkiye’deki endüstriyel simbiyoz uygulamaları temel özellikleri belirtilerek özetlenecektir. Daha sonra endüstriyel simbiyoz ve çevre konusundaki akademik çalışmalar derlenecek ve sunulacaktır. Burada Türkiye’deki endüstriyel simbiyoz uygulamalarının belli başlıları ana hatlarıyla incelenmektedir.

Endüstriyel simbiyoz ile ilgili olarak Türkiye’de ilk ivmelenme 2008 yılında başlatılan “Türkiye’nin İklim Değişikliğine Uyum Kapasitesinin Geliştirilmesi” başlıklı Birleşmiş Milletler Ortak Programı gösterilebilir. Bu programa bağlı olarak “Eko-Verimlilik (Temiz Üretim) Programı” sanayi ile ilgili bileşenleri hayata geçmiştir. Bu programın ana fikri iklim değişikliğine uyum sağlamanın yolunun, temiz üretim ve eko-verimlilik uygulamalarından geçtiğidir. Bu noktada eko-verimliliğin sanayi sektörüne uyumlandırılmasına ilişkin çalışmalar Birleşmiş Milletler Sınai Kalkınma Örgütü (UNIDO) ile Türkiye Teknoloji Geliştirme Vakfı (TTGV) tarafından yürütülmüştür.

Türkiye’de endüstriyel simbiyoz konusunda uygulamaya geçen ilk proje, “İskenderun Körfezi Projesi”dir. İskenderun Körfezi’nde yürütülen bu proje, diğer bölgelere özgü modeller geliştirilmesi açısından öncü proje olmuştur. Bu proje Türkiye’de 2011-2014 yılları arasında

TTGV tarafından yürütülen Adana, Mersin, Osmaniye, İskenderun’u kapsayan “İskenderun Körfezi’nde Endüstriyel Simbiyoz Projesi – Uygulama Aşaması” kapsamında gerçekleştirilmiştir. Projenin fizibilite çalışması tamamlanmış olup, hayata geçen, yatırım aşamasına gelen ya da yapılabiliği ortaya konan toplam sekiz (8) simbiyotik uygulama örnek projesi ile İskenderun Körfezinde edilecek kazanımlar ortaya konmuştur (TTGV, 2015). Bu proje kapsamında, meyve posasından hayvan yemi üretimi, tarımsal ve hayvansal atıklardan enerji üretimi, pamuk tohumu atığından biyoremeditasyon[‡] ürünü üretimi, atık yağdan elektrik üretimi, ömrünü tamamlamış lastiklerden granül üretimi, hurda akülerden kurşun geri kazanımı ve demir çelik üretiminden kaynaklanan cürufun yol yapımında kullanılması üzerine endüstriyel simbiyoz çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Bu proje ile İskenderun bölgesinde, yıllık 330 bin ton atık değerlendirilmiştir. Buna ilave olarak yılda 280 bin ton doğal kaynak ikamesi gerçekleşmiştir. Böylece toplam olarak yıllık 34 milyon kWh enerji tasarrufu, yıllık 37 milyon ton da CO2 azaltımı gerçekleşmiştir. Diğer taraftan yıllık 6.500 m3 su tasarrufu ve 45 bin m2 arazi kazancı sağlanmıştır (TTGV, 2015; Özkan vd., 2018: 84).

Ülkemizde gerçekleştirilen bir başka çalışma “UNIDO Eko-Verimlilik Programı” kapsamında yürütülen Adana, Niğde ve Kayseri illerini kapsayan Seyhan Havzası’nda pilot uygulamaların yapılması hedeflenmiştir. Pilot uygulamanın Seyhan’da başlamasının nedeni, iklim değişikliğine bağlı olarak “kullanılabilir su miktarının azalması” olarak belirtilmiştir. Dolayısıyla programın hareket noktasını da üretim sürecinde su tüketiminin minimuma indirilmesi olmuştur.

Bu kapsamda 2011 yılında İzmir Kalkınma Ajansı (İZKA), TTGV ve Ege Bölgesi Sanayi Odası (EBSO) birlikte eko-verimlilik çalışmaları başlatmışlardır. Eko-verimlilik programı ile İzmir bölgesinde eko-verimlilik konusunda eğitimler ve pilot projeler gerçekleştirerek örnek uygulamalar oluşturmayı ve yerel düzeyde kapasite artırımı gerçekleştirmeyi hedeflemiştir (TTGV, 2016). Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, sanayi sektörü ile Dünya Bankası iş birliğinde “Türkiye için Yeşil Organize Sanayi Bölgelerinin (OSB) Çerçevesinin Geliştirilmesi Projesi” yürütülmüştür. Bu projenin hayata geçmesi, özellikle son dönemde eko-verimlilik alanında yürütülen bölgesel uygulamalara örnek oluşturmuştur.

Proje kapsamında seçilen İzmir Atatürk OSB, Bursa OSB, Adana Hacı Sabancı OSB ve Ankara Sanayi Odası 1. OSB’den oluşan dört bölgede yapılacak yatırımlarla gerçekleştirilebilecek verimlilik düzeyi ile ilgili çalışmalar yapılmıştır. Buna göre toplamda 445

[‡] Biyoremeditasyon, çevreyi kirletenlerin mikroorganizmalar yardımıyla uzaklaştırılması işlemine verilen isimdir (Bat vd., 2016).

milyon TL yatırım yapılması, bu yatırımın geri dönüş sürecinin yaklaşık 4,7 yıl olacağı hesaplanmıştır. Bu yatırımla birlikte yıllık yaklaşık 11 milyon m³ su tasarrufu sağlanabileceği tahmin edilmiştir (Çelik vd., 2019: 19).

Yine bu program doğrultusunda Güney Ege Kalkınma Ajansı (GEKA) bünyesinde TR32 Düzey 2 Bölgesinde (Aydın, Denizli, Muğla) 2014 yılı itibariyle 6,1 milyon TL bütçeli “Çevre Mali Destek Programı” ile 2015 yılında dört (4) milyon TL bütçeli “Yenilenebilir Enerji Mali Destek Programı” yürütülmüş ve enerji verimliliğine yönelik projelere GEKA tarafından destek verilmiştir (Çelik vd., 2019: 19).

GEKA’nın enerji verimliliği alanında desteklediği çok sayıda proje bulunmaktadır. Bu projelerin bir kısmı aşağıda sıralanmıştır (GEKA, 2024; Çelik vd., 2019: 19):

1. Muğla Büyükşehir Belediyesi tarafından geliştirilen “Muğla’nın İklim Değişikliği ve Sürdürülebilir Enerji Eylem Planı” Projesi,
2. Enerji Verimliliği Derneği’nin Denizli Şubesi tarafından geliştirilen “Denizli İli Sanayide Enerji Verimliliği Potansiyeli Taraması” Projesi,
3. Denizli Deri İhtisas Organize Sanayi Bölgesi tarafından geliştirilen “Denizli Deri İhtisas OSB’de Enerji Verimliliği” Projesi,
4. Birsan Makina Mühendislik Tic. Ltd. Şti. tarafından geliştirilen “Kömür Kullanımı ve Emisyon Salınımında Tasarruf Sağlayan Türk Linyitlerine Uygun Yakma Sisteminin Geliştirilmesi” Projesi,
5. Aslı Tekstil Tic. A.Ş. tarafından geliştirilen “Tekstil Boyama Üretim Sürecinde Enerji Verimliliği ve Kalite Artışı” Projesi,
6. SÖKTAŞ Dokuma Tic. A.Ş. tarafından geliştirilen “Endüstriyel Tekstilde Yenilikçi Çevre Yaklaşımları” Projesi,
7. Shamrock Tekstil Sanayi A.Ş. tarafından geliştirilen “Atık Sıcak Sulardan Isıl Enerjinin Geri Kazanımı Uygulama” Projesi’dir.

İskenderun Körfezi Projesi’nden hareket ederek bölgesel düzeyde yürütülen programlardan bir başkası da “TR41 Bursa, Eskişehir, Bilecik Endüstriyel Simbiyoz Programı”dır. Bu program 2014 yılından bu yana uygulanmaktadır. TR41 Bölgesi Bursa, Eskişehir ve Bilecik’ten oluşmaktadır. Bu bölgede uygulanan endüstriyel simbiyoz programının fizibilitesi, organize sanayi bölgelerinde (OSB) yoğunlaşan sanayi ile birlikte madencilik, taş ocakçılığı ve tarımsal faaliyet alanlarında da gerçekleşmektedir. Ayrıca bu

bölgede atık yönetimi ve su kirliliği ile ilgili çevre sorunları öne çıkmıştır. Bunların yanı sıra atıkların giderilmesi ve atık geri dönüşümüne yönelik tesislerin yetersizliği konusu üzerinde durulmuştur (BEBKA, 2011). Öte yandan bölgede, yenilikçilik, girişimcilik ve Ar-Ge kapasitesinin geliştirilmesi üzerinde de yoğunlaşmıştır. Bu uygulamalar için bölgedeki üniversiteler, Ar-Ge merkezleri ve kümelenme faaliyetleri ile iş birliği yapılmıştır (BEBKA, 2015). Bu konuların tamamının dikkate alındığı endüstriyel simbiyozun ilgili bölge yönünden büyük bir potansiyeli bulunduğu, kaynak verimliliği ve iş birliği kültürünün geliştirilmesinde çok büyük yararlar sağlayacağı ileri sürülmüştür. Bu program kapsamında bölgesel bir çalışması başlatmıştır. Bu program çerçevesinde dört (4) proje yürütülmekte olup, bu projeler kapsamında 24 sektör belirlenmiştir. Çalışma boyunca toplam 464 potansiyel endüstriyel simbiyoz olanağı tespit edilmiş ve 112 farklı atık türünün değerlendirilme potansiyeli bulunduğu belirlenmiştir. Çalışma sonucunda ön plana çıkan beş projenin hayata geçmesi durumunda toplamda 88 bin ton hammadde tasarrufu sağlanacağı ileri sürülmüştür. Ayrıca atık azaltılmasının yanı sıra üretim maliyetlerinin iki (2) milyon TL civarında, taşıma maliyetlerinin de 1,5 milyon TL azalacağı öngörülmüştür (Şen, 2019: 9; Tepe Şençayır & Yıldız, 2019: 13).

Türkiye’de hâlihazırda devam eden endüstriyel simbiyoz ile ilgili projeleri şunlardır:

-Trakya Endüstriyel Simbiyoz Programı,

-Bursa, Eskişehir, Bilecik Endüstriyel Simbiyoz Programı,

-Antalya Organize Sanayi Bölgesi'nde Endüstriyel Simbiyoz ve Eko-Verimlilik Projesi.

Ayrıca, “Temiz Üretim Programı” çerçevesinde, İzmir’de Ekim 2011- Mayıs 2015 dönemlerini kapsayan dönemde iki aşamalı bir temiz üretim programı oluşturulmuştur. Bu projenin birinci aşamasında, bölgenin mevcut durumu, kapasite, kaynak ve ihtiyaçlar açısından değerlendirilmiştir. Değerlendirme süreci sonrasında elde edilen verilerle endüstriyel sektörlerin temiz üretim uygulamaları için öncelikleri belirlenmiştir. Bu çalışmalardan sonra belirlenen çerçeve koşulların değerlendirilmesiyle eko-verimlilik uygulamalarının yaygınlaştırılması için öneriler geliştirilmiştir. Projenin ikinci aşamasında, birinci aşamada elde edilen sonuçlar ve geliştirilen öneriler değerlendirilmiş, bu kapsamda bölgenin eko-verimlilik olanaklarının geliştirilmesi, pilot uygulamaların gerçekleştirilmesi ve elde edilen kazanımların yaygınlaştırılması belirlenmiştir. Eko-verimlilik kapsamında, yıllık 100 ton hammadde tasarrufu, yıllık 100 ton atık azaltımı, yıllık 63 bin m³ su tasarrufu, 9 bin m³ atıksu azaltımı, 7,8 milyon kWh enerji tasarrufu, yıllık 5 bin ton buhar tasarrufu, yıllık 81 ton kimyasal tasarruf sağlanmıştır.

Türkiye’de gerçekleştirilen bir başka temiz üretim ve eko verimlilik projeleri de “Tekstil Sektöründe Temiz Üretim (Adıyaman, Malatya, Kahramanmaraş ve Gaziantep)” ile “Uluslararası Milletler Endüstri Geliştirme Organizasyonu (UNIDO) Kayseri ve Niğde Temiz Üretim (Eko-Verimlilik) Programları” biçimindedir.

Onuncu Kalkınma Planı hedefleri arasında kaynak kullanımında sürdürülebilirlik kavramına yer verilmiş ve Türkiye Sanayi Stratejisi Belgesi’nde (2015- 2018) “kaynakların etkin kullanıldığı, daha yeşil ve rekabetçi sanayi yapısına dönüşümün sağlanması” hedefi açıkça ortaya konulmuştur (Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, 2015).

Endüstriyel simbiyoz uygulamaları, kaynakların etkin kullanımına katkı sunması, firmalara ekonomik faydalar sağlaması gibi nedenlerle bu hedeflere ulaşmada doğrudan hizmet edebilir durumdadır. Bunun dışında endüstriyel simbiyoz, ülke genelinde 26 Kalkınma Ajansının 19 tanesinin bölge planında, plan hedeflerine ulaşmak amacıyla bir araç olarak yer almıştır. Öte yandan, Türkiye “Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi” kapsamında Paris’te gerçekleştirilen Taraflar Konferansı’na (COP21) “Ulusal Katkı Niyet Beyanı Belgesi” sunmuştur. Bu belge ile sera gazları emisyonlarının azaltılmasına ilişkin hedefler belirlenmiş ve sanayi atıklarının endüstriyel simbiyoz uygulamalarıyla azaltılacağı yönünde taahhütte bulunulmuştur (Şen, 2019: 10; Tepe Şençayır & Yıldız, 2019: 13).

Türkiye’de bölgesel olarak endüstriyel simbiyoz ile ilgili yapılan çeşitli çalışmalar bulunmaktadır. Bu çalışmalardan biri, BEBKA tarafından yapılan “Sürdürülebilir Üretime Geçiş Sonuç Odaklı Programı”dır. Bu program kapsamında, endüstriyel simbiyoz uygulamalarını hayata geçiren bir çalışmayı programına almıştır. Bir başka çalışma ise Dicle Kalkınma Ajansı (DİKA) tarafından tasarlanan “TRC3 Bölgesi için Endüstriyel Simbiyoz Projesi”dir. Bu proje ile bölgedeki endüstriyel simbiyoz olanaklarının araştırılması ve uygulamalarının yaygınlaştırılması hedeflenmiştir. Bir başka çalışma da Trakya Kalkınma Ajansı (TRAKYAKA) tarafından hayata geçirilen “TR21 Trakya Bölgesi Endüstriyel Simbiyoz Potansiyeli Araştırması Projesi”dir. Diğer bir çalışma ise Ahiler Kalkınma Ajansı (AHİKA) tarafından hayata geçirilen Aksaray OSB’de endüstriyel simbiyoz çalışmalarıdır (Şen, 2019: 10).

Ülkemizde endüstriyel simbiyoz ile ilgili bir başka uygulama da “Ankara OSTİM Organize Sanayi Bölgesi Projesi”dir. Bu çalışmada beş (5) binin üzerinde firmanın yer aldığı OSTİM Organize Sanayi Bölgesi (OSB)’nde imalat yapan 812 firmaya odaklanılmıştır. Endüstriyel sektör ve atıklar kapsamında yapılan sınıflandırmada 812 firmanın bilgileri için endüstriyel simbiyoz olanağı belirlenmiştir. Bu çalışma sonunda yapılacak endüstriyel

simbiyoz uygulamaları sonucunda hammadde ve enerji tasarrufu ile atık yönetimi maliyetlerinde önemli kazanımlar sağlanacağı ve OSTİM'in karbon ayak izinin düşürülebileceği ileri sürülmüştür (Doğan Subaşı & Demirer, 2021: 17).

T.C. Kalkınma Bakanlığının On Birinci Kalkınma Planı “Çevre ve Doğal Kaynakların Sürdürülebilir Yönetimi” çalışma grubu raporunda iki husus ön plana çıkarılmıştır: Çevrenin Korunması ve Kaynakların Sürdürülebilir Yönetimi ve Tüketimi (T.C. Kalkınma Bakanlığı, 2018: 89).

Çevre ve kaynak yönetimi ile ilgili 1970'lerden itibaren benimsenmeye başlayan “Kirliten Öder” prensibine ek olarak, günümüzde farklı kavramlar da öne çıkmaktadır. Yeşil satın alma, eko etiketleme, üretici sorumluluğu, görünür ücret gibi uygulamalar, sürdürülebilirlik ve çevrenin korunması için üretim/tüketim süreçlerinde benimsenen uygulamalar olmaktadır. Endüstriyel gelişimde uluslararası eğilimleri yakalaması için Türkiye'nin de bu uygulamaları mümkün kılan bir çevre/sürdürülebilirlik stratejisi benimsemesi gerekmektedir.

Sonuç

Gelişmekte olan ve öncü ekonomilerin ekonomik büyümesi çeşitli küresel zorluklar yaratmaktadır; Bu zorluklardan biri de kaynakların endüstriyel faaliyetlerde yeniden kullanılmaması ve büyük miktarda atık oluşmasıyla ilgilidir. Atık kirliliği modern dünyanın en önemli çevre sorunlarından biridir. Geri dönüşümün önemi hem ekonomik hem de ekolojik nedenlerden dolayı iyi bilinmektedir ve bu bağlamda endüstri yüksek verimlilik talep etmektedir.

İşletmeler arasında oluşturulan endüstriyel geri dönüşüm ağları önemli dışsallıklar ve yararlar sunmaktadır. Hem temel olarak daha geniş yeniden kullanım olanakları Bu yararlar da ağ katılımcılarının sayısı ve çeşitliliğine bağlı olarak daha geniş yeniden kullanım olanakları (bir başka deyişle geri dönüşüm olanakları) sunmaktadır. Katılımcı firmalara sağlanan avantajlar ise şöyle özetlenebilir: Atıkların daha kolay ve ucuz bertaraf edilmesi, hammadde maliyetlerinde azalma ve tedarik ve elden çıkarma risklerinde azalma. Bu da toplum açısından bakıldığında toplam gelir atışına ilave olarak üretilen atık miktarında bir azalma anlamına gelmektedir.

Geri dönüşüm ağı kurumsallaştığı da doğrudan endüstri dışına atık akışının azaltılması daha kolay ve ucuz hale gelmektedir. Bu da maliyetlerinde önemli düşüşler sağlayacaktır. Bu da işletmeler arasında atık geri dönüşüm ağlarının oluşturulmasının gerekliliğini vurgulayan

argümanları güçlendirmektedir. Bu noktada sağlanacak sübvansiyonların ve uygulama maliyetlerinin toplam yarar düşünülduğünde önemsiz kalacağı açıktır (Schwarz & Steininger, 1997: 47).

Bu bağlamda daha iyi kaynak verimliliği için sektörler arası iş birliğini teşvik eden endüstriyel simbiyoz yaklaşımı önem kazanmaktadır. Endüstriyel simbiyoz, şirketler arasındaki iş birliğine dayalı olarak kaynakların verimli bir zincirde kullanılmasına, atıklardan diğer kuruluş için girdi veya hammadde olarak yararlanmanın yollarını bulmasına olanak tanır. Ayrıca endüstriyel simbiyoz, yeni sinerjilerin yaratılmasını kolaylaştırmak için yeni malzeme, enerji ve atık alışverişine yönelik bilgi ağları geliştirmeye yönelik olarak ele alınmalıdır.

Endüstriyel simbiyoz, farklı işletmeler arasındaki ilişkileri ve kaynak alışverişini teşvik ederek kaynak kullanımını optimize etmek için çok önemli bir yaklaşım sunmaktadır. Sürdürülebilir ve birbirine bağlı endüstriyel ağların gelişimini teşvik ederek daha dögüsel ve kaynak açısından verimli bir ekonomiye doğru ilerlemenin yolunu açmaktadır. İşletmeler, endüstriyel simbiyozu benimseyerek daha yeşil bir geleceğe katkıda bulunabilir, atıkları azaltabilir, kaynak kullanımını optimize edebilir ve çevresel ve ekonomik performanslarını geliştirebilirler.

Kaynakça

Anand, K. S., & Giraud-Carrier, F. C. (2020). Pollution regulation of competitive markets. *Management Science*, 66, 4193-4206.

Bat, L., Sezgin, M., Aydın, İ., Şahin, F., Koç, Y., Sönmez, E., & Akbulut, B. (2016). Su Ürünleri Temel Bilimler Terimleri Sözlüğü. <https://web.archive.org/web/20160711201020/http://www.sumae.gov.tr/uploads/sozluk.pdf> (Erişim: 12.02.2024).

BEBKA (2011). TR41 Bölgesi Çevre Durum Raporu. Bursa Eskişehir Bilecik Kalkınma Ajansı.

BEBKA (2015). 2014-2023 Bursa Eskişehir Bilecik Bölge Planı. Bursa Eskişehir Bilecik Kalkınma Ajansı.

Chiu, A. S. F., & Yong, G. (2004). On the industrial ecology potential in Asian Developing Countries. *Journal of Cleaner Production*, 12, 1037–1045.

Boom-Cárcomo, E., & Peñabaena-Niebles, R. (2022). Opportunities and challenges for the waste management in emerging and frontier countries through industrial symbiosis. *Journal of Cleaner Production*, 363, 132607.

Cao, Q., Xiao, Z., & Zhou, G. (2023). Waste emission reduction decision-making for industrial symbiosis chains in a competitive market considering environmental regulations. *Journal of Industrial and Management Optimization*, 19(8), 5515-5543.

Chen, X., Dong, M., Zhang, L., Luan, X., Cui, X., & Cui, Z. (2022). Comprehensive evaluation of environmental and economic benefits of industrial symbiosis in industrial parks. *Journal of Cleaner Production*, 354, 131635.

Chertow, M. R. (2000). Industrial Symbiosis: Literature and Taxonomy. *Annual Review of Energy Environment*, 25(1), 313–37.

Demircioğlu, E. N., & Ever, D. (2020). Döngüsel Ekonomiye Geçişte Endüstriyel Simbiyozun Maliyetler Üzerine Etkisi. *Ç.Ü. Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 29(3), 461-473.

Desrochers, P. (2019). The Paradoxical Malthusian. A Promethean Perspective on Vaclav Smil's Growth: From Microorganisms to Megacities (MIT Press, 2019) and Energy and Civilization: A History (MIT Press, 2017) 2-21, *Energies*, 13(20), 5306.

Deutz, P., & Gibbs, D. (2008). Industrial Ecology and Regional Development: Eco-Industrial Development as Cluster Policy. *Regional Studies*, 42(10), 1313–1328.

Doğan Subaşı, E., & Demirer, G. N. (2021). Bir Kaynak Verimliliği Aracı Olarak Endüstriyel Simbiyoz, EKOIQ, 4 Ekim 2021, <https://www.ekoIQ.com/bir-kaynak-verimliliği-araci-olarak-endustriyel-simbiyoz/> (Erişim: 22.03.2024).

Domenech, T., Bleischwitz, R., Doranova, A., Panayotopoulos, D., & Roman, L. (2019). Mapping industrial symbiosis development in Europe_ typologies of networks, characteristics, performance and contribution to the circular economy. *Resource Conservation and Recycling*, 141, 76-98.

Ehrenfeld, J. R. (2007). Would industrial ecology exist without sustainability in the background? *Journal of Industrial Ecology*, 11(1), 73–84.

Fan, Y., Qiao, Q., Fang, L., & Yao, Y. (2017). Emergy analysis on industrial symbiosis of an industrial park – a case study of Hefei economic and technological development area. *Journal of Cleaner Production*, 141, 791-798.

Fang, K., Dong, L., Ren, J., Zhang, Q., Han, L., & Fu, H. (2017). Carbon footprints of urban transition: tracking circular economy promotions in Guiyang, China. *Ecological Modelling*, 365, 30-44.

GEKA (2024). Muğla'da, enerji verimliliği ve bu alanda geKa'nın desteklediği projeler konuşuldu. Güney Ege Kalkınma Ajansı, <https://www.geka.gov.tr/tr/haber/mugla-da-enerji-verimliliği-ve-bu-alanda-geka-nin-desteklediği-projeler-konusuldu> (Erişim: 12.02.2024).

Harris, S. (2007). The potential role of industrial symbiosis in combating global warming. In International Conference on Climate Change, 29-31 Mayıs, Hong Kong.

IPCC (2014). Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (IPCC) 5. Değerlendirme Raporu. <https://www.tarimorman.gov.tr/ABDGM/Belgeler/Uluslararası%C4%B1%20Kurulu%C5%9Flar/IPCC%20TR.pdf> (Erişim: 10.02.2024).

Jacobsen, N. B. (2006). Industrial symbiosis in Kalundborg, Denmark: a quantitative assessment of economic and environmental aspects. *Journal of Industrial Ecology*, 10(1-2), 239-255.

King, S., Lusher, D., Hopkins, J., & Simpson, G. W. (2020). Industrial symbiosis in Australia: The social relations of making contact in a matchmaking marketplace for SMEs. *Journal of Cleaner Production*, 270, 122146, 1-11.

Kwinana Insutries Council (2024). About. <https://kic.org.au/about/> (Erişim: 15.03.2024).

Lombardi, D. R. & Laybourn, P. (2012). Redefining Industrial Symbiosis Crossing Academic–Practitioner Boundaries. *Journal of Industrial Ecology*, 16(1), 28-37.

Mantese, G. C., & Amaral, D. C. (2018). Agent-based simulation to evaluate and categorize industrial symbiosis indicators. *Journal of Cleaner Production*, 186, 450–464.

Marcinkowski, A. (2019). The Spatial Limits of Environmental Benefit of Industrial Symbiosis – Life Cycle Assessment Study. *Journal of Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems*, 7(3), 521-538.

Martin, M., & Harris, S. (2018). Prospecting the sustainability implications of an emerging industrial symbiosis network. *Resource Conservation and Recycling*, 138, 246-256.

Narin, M. (2020). Sürdürülebilir Kalkınma Kapsamında Doğrusal Ekonomiden Döngüsel Ekonomiye Geçiş. *Toprak İşverenleri Dergisi*, Sayı: 128, Aralık 2020, 4-15.

Narin, M., & Akdemir, S. (2006). Enerji Verimliliği ve Türkiye. Türkiye Ekonomik Kurumu, Uluslararası Ekonomi Konferansı, UEK-TEK, 2006.

Neves, A., Godina, R., Azevedo, S. G., & Matias, J. C. O. (2020). A comprehensive review of industrial symbiosis. *Journal of Cleaner Production*, 247, 119113.

Özkan, A., Günkaya, Z., Özdemir, A., & Banar, M. (2018). Sanayide Temiz Üretim ve Döngüsel Ekonomiye Geçişte Endüstriyel Simbiyoz Yaklaşımı: Bir Değerlendirme. *Anadolu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi B – Teorik Bilimler*, 6(1), 94-97.

Pearce, D. W., & Turner, R. K. (1990). *Economics of Natural Resources and the Environment*. The Johns Hopkins University Press, Baltimore, Maryland.

Schwarz, E. J., & Steininger, K. W. (1997). Implementing nature's lesson: the industrial recycling network enhancing regional development. *Journal of Cleaner Production*, 5, 47-56.

Şen, E. (2019). Türkiye İçin Endüstriyel Simbiyoz Yol Haritası Geliştirilmesi Projesi. T.C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, *Anahtar Verimlilik Dergisi*, 368, 8-12.

Shenoy, M. (2016). Industrial Ecology in Developing Countries. In *Taking Stock of Industrial Ecology* (Ed. Roland Clift and Angela Druckman), Springer open, 229-245.

Shi, H., Chertow, M., & Song, Y. (2010). Developing country experience with eco-industrial parks: a case study of the Tianjin Economic-Technological Development Area in China. *Journal of Cleaner Production*, 18, 191-199.

Tepe Şençayır, N., & Yıldız, Ö. (2019). TR41 Endüstriyel Simbiyoz Programı Fizibilite Çalışması. T.C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, *Anahtar Verimlilik Dergisi*, 368, 13-17.

T.C. Kalkınma Bakanlığı (2018). On Birinci Kalkınma Planı (2019-2023), Çevre ve Doğal kaynakların sürdürülebilir Yönetimi Çalışma Grubu Raporu, Ankara.

TTGV (2015). İskenderun Körfezi'nde Endüstriyel Simbiyoz Projesi Uygulama Aşaması, Sonuçlar ve Kazanımlar 2015. Ankara, <http://www.endustriyelsimbiyoz.org> (Erişim: 15.02.2024).

TTGV (2016). İzmir'de Eko-Verimlilik (Temiz Üretim) Uygulamalarının Yaygınlaştırılması Projesi 2016. Ankara, <http://www.ttgiv.org.tr/content/docs/izmir-ekoverimlilik-brosur.pdf> (Erişim: 15.02.2024).

Van Berkel, R. (2009). Comparability of Industrial Symbioses. *Journal of Industrial Ecology*, 13(4), 483–486.

Zhang, Y., Zheng, H., Chen, B., & Yang, N. (2013). Social network analysis and network connectedness analysis for industrial symbiotic systems: model development and case study. *Frontiers of Earth Science*, 7, 169-181.

Extended Summary

Industrial Symbiosis: An Environmental Approach

The starting point in this article is to examine the relationship between industrial development and natural resources in terms of the negative consequences of production activities on the environment. In this context, we encounter the concepts of industrial ecology, industrial sustainability, eco parks and ultimately industrial symbiosis. One of the most important principles of industrial ecology is the absence of waste in industrial systems, as in the biological system, or the most effective disposal of waste. In nature, all materials are reused in various ways, in a circular (cyclic) natural pattern, with high efficiency.

It is estimated that global warming will increase by 1.0–3.5 °C towards the end of this century and that there will be a corresponding increase in sea levels. Therefore, it is thought that the number of people at risk of coastal flooding will increase from 75 million to 200 million. In this context, the problems brought by the climate crisis, biodiversity loss, ecological degradation, excessive consumption and economic growth necessitate new environmental and economic approaches that will embrace these developments. The all-encompassing concept we need to talk about at this point is the concept of "circular economy". Therefore, circular economy projects are an inevitable necessity to cope with these negativities. Circular economy is a systematic approach to the environment and economy. In this context, circular economy is the revival of the growth limits that define the environmental ceiling, together with the efficient use of economic resources and zero waste practices. In other words, it is a process in which the materials used in production do not turn into waste and nature is renewed again. In a circular economy, products and materials are kept in circulation through processes such as maintenance, reuse, renewal, remanufacturing and recycling. Rather than endless economic growth,

sustainable and balanced development is aimed here by preserving the ecological balance of the planet.

Approaches such as industrial symbiosis, industrial ecology, eco-parks, sustainable development goals and green urbanism cycle, which can be grouped under the main heading of circular economy, are approaches to rethink applicable and intertwined strategies that cover all ecological processes and economic demands. In this respect, the industrial symbiosis model should be considered as a meeting area of economic and administrative actors, where stakeholders act with the awareness and knowledge of ecological and economic interconnection, and where joint strategic decisions are made within this consciousness.

Industrial symbiosis (IS) involves sharing waste, byproducts, heat and logistics flows. Participating organizations benefit by reducing resource use and waste disposal costs, improving reuse, and creating job opportunities.

Industrial symbiosis is the conversion of wastes and byproducts from one industry or industrial process into raw materials that can be used by another industry or business. Thus, IS provides environmental and economic benefits to participants by reducing resource use and increasing reuse potential. Since waste from one industry is used as raw material for other industries, raw material and waste disposal costs are simultaneously reduced. Firms can then take advantage of these lower costs to expand or improve their operations. This will contribute to the expansion of business volume and therefore to increased social welfare due to improved environmental conditions, which can be considered as the social benefits of IS.

IS increases the importance of sustainable industrial operations and use, which has an impact on territorial conservation and reduction of industrial waste. For this reason, countries prefer this approach to ensure clean and sustainable economic growth. It is obvious that the effects of today's climate change are that the traditional methods of the industries are insufficient and unsustainable. Therefore, industrial symbiosis and circular economic relationships are a necessity.

Projects and structural regulations to be prepared with this concern will contribute to the reduction of climate change and will also reduce raw material imports. This will lead to a reduction in greenhouse gas emissions. IS applications around the world prove how successful these projects are. The IS approach has already been adopted by many developed and developing countries, resulting in significant commercial and environmental benefits.

In addition, in industrial symbiosis applications, access and sharing of information among companies located in an eco-park or campus is an important issue. This issue is also one of the main obstacles to the feasibility of industrial symbiosis. In reality, little information is

generally available about the waste and by-products produced by adjacent businesses and the availability of resources such as water and energy. Therefore, it is of great importance for companies to develop a sharing culture in order to overcome these obstacles. In order to meet this need, large data banks should be created and this knowledge should be shared in reliable digital environments.

In this context, industrial systems must 'learn' from nature and evolve from linear to circular business models. This means that wastes and/or by-products from one production process become raw materials (resources) for another production process.

Implementing industrial recycling networks among participating companies will also provide significant advantages on product costs. This will lead to the emergence of internal and external economies within and between firms. Efficient use of this system will make the project a center of attraction and increase participation. Growing the scale will bring an increase in productivity and a decrease in costs. As a result, businesses that operate within a circular economy that capture competitive prices in world markets and respect the ecological boundaries of the planet will coexist in industrial symbiosis.

Project studies and application examples regarding industrial symbiosis have been seen in Turkey since 2011. The first industrial symbiosis project to be implemented is the "İskenderun Bay Project". After the İskenderun Bay Project, the "TR41 Bursa, Eskisehir, Bilecik Industrial Symbiosis Program" was put into practice. In the following years, it is slowly being implemented in other projects. In this study, the developments regarding industrial symbiosis in Turkey have been tried to be presented in outline.

It is seen that symbiosis practices are included in the regional plans of 19 of the 26 Development Agencies in Turkey in order to achieve the plan targets. On the other hand, Turkey submitted a "National Contribution Intent Declaration Document" to the Conference of the Parties (COP21) held in Paris within the scope of the "United Nations Framework Convention on Climate Change". With this document, targets for reducing greenhouse gas emissions were determined and a commitment was made to reduce industrial waste through industrial symbiosis practices.

Therefore, in this article, the concept and applications of industrial symbiosis will be discussed, taking into account the economic and environmental effects of using waste and by-products as resources. In the context of this subject, examples of eco-industrial parks from the world and Turkey will be introduced.