

## DERLEME

### SANAYİDE TEMİZ ÜRETİM VE DÖNGÜSEL EKONOMİYE GEÇİŞTE ENDÜSTRİYEL SİMBİYOZ YAKLAŞIMI: BİR DEĞERLENDİRME

Aysun ÖZKAN<sup>1</sup>, Zerrin GÜNKAYA<sup>1,\*</sup>, Alp ÖZDEMİR<sup>1</sup>, Müfide BANAR<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Çevre Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir, Türkiye

#### ÖZET

Günümüzde sanayi dünyası, tekil endüstri mantığından uzaklaşarak birbiriyle daha çok iletişim halinde olan çoğul endüstri yaklaşımına doğru hızla ilerlemektedir. Bu durum, işletmeler arasındaki etkileşimin sadece hammadde veya ürün kullanımından ibaret olmadığını, aynı zamanda yan ürün ve diğer birçok atık çeşidinin de birer hammadde olabileceğini göstermektedir. Son yıllarda, hızlı endüstrileşme ile birlikte meydana gelen bu yönelim, öncelikle boru sonu yaklaşımın terkedilmesi ve kirlilik önleme mantığının geliştirilmesi adımlarıyla güçlendirilmiştir. Bu çalışmada, temiz üretim anlayışının son zamanlarda artan bir gelişim gösteren araçlarından birisi olan endüstriyel simbiyoz yaklaşımı irdelenmiş ve bu yaklaşımın temel prensipleri üzerinde durulmuş, Dünya ve Türkiye'deki endüstrilerde gerçekleştirilmiş uygulamalar hakkında bir değerlendirme yapılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Çok ölçütlü karar verme yöntemleri, Döngüsel ekonomi, Endüstriyel simbiyoz, Temiz üretim, Yaşam döngüsü analizi

### INDUSTRIAL SYMBIOSIS APPROACH TOWARDS CLEANER PRODUCTION AND CIRCULAR ECONOMY IN INDUSTRY: A REVIEW

#### ABSTRACT

Today, the industrial world has been rapidly moving away from single industry approach to plural approach which contains more communication with each other. That situation shows that the communication between organizations not only depends on raw materials or product usage but also by-products and other waste materials can be a raw material. In recent years, this trend that coming with rapid industrialization has been reinforced with abandoning the approach of end-of-pipe treatment and improving the cleaner production. In this study, industrial symbiosis approach, one of the recently increasing approaches of cleaner production, has been investigated. In this manner, basic principles of this approach has been examined and industrial applications in World and Turkey have been reviewed.

**Keywords:** Multiple criteria decision making, Circular economy, Industrial symbiosis, Cleaner production, Life cycle assessment

## 1. GİRİŞ

Onsekizinci yüzyılda başlayan modernleşme ile birlikte insanoğlu doğaya hükmetmeye başlamış ancak zamanla, doğal kaynakların sınırlı olduğu ve dikkatli kullanılması gerektiği anlaşılmıştır [1]. Özellikle, 20. yüzyılın ikinci yarısında gerçekleşen teknolojik ve endüstriyel gelişmelerle birlikte çevreye verilen zararda artış, buna karşılık yenilenemeyen kaynaklarda azalma hızlanmıştır. Doğal kaynakların azalmasının beraberinde artan çevresel sorunlar, yerel boyuttan küresel boyuta taşınmaya başlamış, küresel ısınma, ozon tabakasında incelme, asit yağmurları, kuraklık vb. problemler gündeme gelmiştir [2, 3].

Bu problemleri azaltmak ve sağlıklı bir ekonomi ve sağlıklı bir çevre arasındaki kritik dengeyi korumak için ekonomik büyüme ve çevresel kalite tamamlayıcı hedefler olarak değerlendirilmelidir. Bu dengeli perspektif, toplumun “sürdürülebilirliği” için gereklidir. Mayıs 2003’de Florida’da yapılan ‘**The Green Engineering: Defining the Principles Conference**’ toplantısında, 65 mühendis ve bilim adamı tarafından belirlenen sürdürülebilir mühendislik kriterleri bu yol haritasının oluşturulmasında önemli bir yer tutmaktadır;

- Mühendislik prosesleri ve ürünleri bütünseldir ve çevresel etki değerlendirmeye ilgili araçlar kullanılmalıdır.
- İnsan sağlığının yanında doğal ekosistemler de korunmalı ve geliştirilmelidir.
- Tüm mühendislik aktivitelerinde yaşam döngüsü düşüncesi kullanılmalıdır.
- Tüm malzeme ve enerji girdileri ile çıktıları doğal olarak güvenli ve olabildiğince iyi olmalıdır.
- Doğal kaynakların azalması minimize edilmelidir.
- Atığın ortaya çıkmaması için çaba gösterilmelidir.
- Mühendislik çözümleri geliştirilirken ve uygulanırken, yerel coğrafya ve kültürler dikkate alınmalıdır.
- Mühendislik çözümleri mevcut ve dominant teknolojilerin ötesinde yaratılmalı, inovatif ve yaratıcı, sürdürülebilir teknolojiler geliştirilmelidir.
- Mühendislik çözümlerinin geliştirilmesinde toplum ve tüm paydaşların etkin bir şekilde katılım sağlanmalıdır.

Bu bağlamda, çevreye olan etkilerin önlenmesine yönelik olarak geliştirilen ve günümüzde de maalesef yoğun olarak kullanılan ilk yaklaşım, “boru-sonu” (end of pipe treatment) yaklaşımıdır. Bu yaklaşım, kirleticilerin ortaya çıktıktan sonra arıtılarak ya da seyreltilerek bertaraf edilmesine dayanmaktadır [4]. Bu yaklaşımdan sonra, **temiz üretim ve kirlilik önleme** gibi hem çevresel hem de ekonomik avantajların söz konusu olduğu yaklaşımlar gündeme gelmiştir [5]. Günümüzde işletmeler, kullanılan hammadde miktarının azaltılarak üretim verimliliğinin daha çok artırılması ve üretim prosesleri boyunca oluşan atıkların azaltımının sağlanması nedeniyle bu yaklaşımlara uyum sağlamaya çalışmaktadır [6-9].

Bu doğrultuda, hem tek başına üretim tesisi, hem de bir sistem olarak sanayi kümelenmeleri (Organize Sanayi Bölgeleri, sanayi siteleri, vb.) bazında temiz üretim yaklaşımının uygulanmasına yönelik çalışmalar, işletmelerin hem çevresel yükümlülüklerini yerine getirme hem de maddi olarak tasarruf etme konularında yol almalarına önemli derecede yardımcı olmaktadır [10]. Bir tesis için gerçekleştirilen temiz üretim uygulaması, bir sistem için gerçekleştirilmesi durumunda yerini daha karmaşık ve daha etkili bir uygulamaya bırakmaktadır. Bu durum, bir sanayi kümesinin, bir ekosistem olarak ele alınmasıyla birlikte temiz üretim ile birçok yönden örtüşen endüstriyel ekoloji yaklaşımını gündeme getirmektedir.

Bu çalışmada, endüstriyel ekoloji yaklaşımı ve bunun bir parçası olan endüstriyel simbiyoz hakkında bir değerlendirme yapılması amaçlanmış ve bu doğrultuda; endüstriyel simbiyozun tarihsel gelişimi incelenmiş, Dünya’da ve Türkiye’de gerçekleştirilen endüstriyel simbiyoz programları ele alınmış ve bu uygulamaların gerçekleştirilmesinde kullanılacak Malzeme Akış Analizi, Yaşam Döngüsü Analizi ve Çok Ölçütlü Karar Verme Yöntemleri gibi analitik araçlar açıklanmıştır.

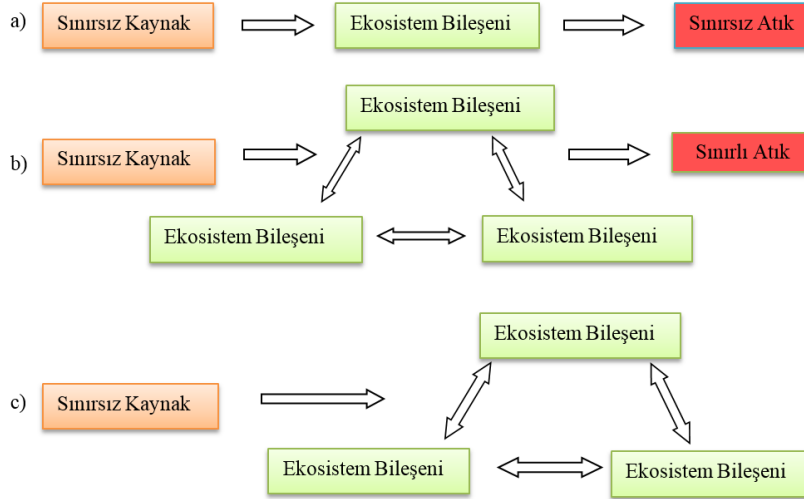
## 2. ENDÜSTRİYEL SİMBİYOZ KAVRAMI VE TARİHSEL GELİŞİMİ

İlk olarak 1989 yılında Frosch ve Gallopoulos [11] tarafından gündeme getirilmiş olan “Endüstriyel Ekoloji” ve “Endüstriyel Ekosistem” kavramları, endüstriyel aktivitelerin doğal yaşam ve ekolojik sistemler ile benzerliğine dayanmaktadır. Bu kavramların ortaya çıktığı ilk dönemlerdeki en temel prensip, aynı endüstriyel ekosistem içinde bulunan bir işletmenin atığının (madde veya enerji) bir diğeri tarafından bir girdi olarak kullanılması ve bu şekilde döngüsel bir sistem içinde çevresel etkilerin azaltılmasıdır. “Endüstriyel Metabolizma” tanımı da ilk olarak Ayres [12,13] tarafından ortaya atılmış olup, Frosch ve Gallopoulos’tan farklı olarak hammaddenin ve enerjinin yanında insan gücünün de,

nihai ürüne ve atığa dönüştürüldüğü prosesler bütünü olarak ifade edilmiştir. Bu tanım, endüstriyel ekolojinin sürdürülebilir üretime en yakın şekli olarak gösterilmiştir. Endüstriyel ekoloji, zaman içinde farklı boyutlarıyla ele alınmış ve farklı şekillerde de tanımlanarak gelişen bir kavram haline gelmiştir. Garner [14] 1995 yılında, o güne kadar yapılmış diğer tanımları da dikkate alarak, endüstriyel ekolojinin kapsamını ve özelliklerini yeniden derlemiştir. Garner’a göre endüstriyel ekoloji;

- endüstriyel ve ekolojik sistemler arasındaki etkileşimlere sistematik bir bakış getirir,
- madde ve enerji akışları dönüşümleri üzerine çalışır,
- birden fazla disiplini ilgilendiren (multidisipliner) bir yaklaşım içerir,
- doğrusal (açık) prosesler sisteminden döngüsel (kapalı) sisteme doğru bir değişimdir (böylece bir işletmenin atığı diğerinin girdisi olmaktadır),
- endüstriyel sistemlerin ekolojik sistemler üzerindeki çevresel etkilerinin azaltılmasına yönelik bir uygulamadır,
- endüstriyel faaliyetlerin uyumlu bir şekilde ekolojik sistemlere entegrasyonuna yönelik bir yaklaşımdır,
- endüstriyel sistemlerin daha etkin ve sürdürülebilir olan doğal sistemlere benzemesinin sağlanmasıdır ve
- endüstriyel ve doğal sistemlerdeki hiyerarşilerin belirlenmesi ve karşılaştırılması ile birlikte potansiyel çalışma ve eylem alanlarının tespit edilmesidir.

Yukarıdaki kapsam dikkate alındığında; endüstriyel ekolojinin temel taşlarını “sistem analizi”, “madde-enerji akımları ve dönüşümleri”, “multidisipliner yaklaşım”, “doğal sistemlerle benzerlik” ve “doğrusal sistemden döngüsel sisteme geçiş” olarak tanımlamak mümkündür. Öte yandan, doğal kaynakların çıkarılması, enerji kullanımı, atıkların üretimi ve geri dönüşüm gibi ekonomi-çevre etkileşimlerini analiz ederken işe yarayan bir kavram olan entropi yasasına göre de, sürdürülebilirliğin sağlanabilmesi için sistemin doğrusal değil, döngüsel olarak tasarlanması gereklidir. Gerçek sürdürülebilirlik, entropinin sıfır olduğu, yani tamamen kapalı ve izole bir sistem içinde gerçekleşebilir. Bu da ancak **döngüsel ekonomi** ve **sıfır atık** ya da **beşikten beşiğe** gibi yaklaşımlar ile mümkündür. Doğrusal ve döngüsel üretimler Şekil 1’de şematize edilmiştir.



Şekil 1. Endüstriyel üretim sistemleri (a) Doğrusal Üretim (b) Yarı-Döngüsel Üretim (c) Döngüsel Üretim [14]

Endüstriyel ekolojinin çözümlenmesi sırasında ortaya çıkan bir uygulama biçimi de “endüstriyel simbiyoz” (endüstriyel ortak yaşam) olmuştur. Aslında “simbiyoz” biyolojik anlamıyla, iki canlının tek bir organizma gibi birbirleriyle yardımlaşarak bir arada yaşamalarıdır [15]. Mantarlar ve fotosentetik alglerden meydana gelen simbiyotik birliktelikler yani likenler bilinen en iyi simbiyotik örnektir.

Endüstriyel simbiyoz ise doğadakine benzer şekilde birbirine yakın iki bağımsız endüstriyel işletme arasındaki madde ve enerji değişimi olarak tanımlanmaktadır [12]. Endüstriyel simbiyozun en önemli yanı coğrafi yakınlığın sunduğu işbirliği ve sinerji olanaklarıdır [10].

Sanayide, endüstriyel ekolojinin en yaygın uygulama şekli olarak ortaya çıkan endüstriyel simbiyoz, bütünsel bir yaklaşım sunması ve birçok çevresel yöntemi bir arada tutması nedeniyle tercih edilmektedir. Tercih nedenlerinden bir diğeri de simbiyozun mevcut ve yeni kurulacak işletmeler için de uygulanabilir bir yaklaşım olmasıdır [16,17].

2000'li yılların başında, "Endüstriyel simbiyoz" kavramı daha da ileri bir düzeyde tartışılmış ve Chertow [18,19] tarafından gözden geçirilerek beş başlık altında toplanmıştır. Buna göre endüstriyel simbiyozun atık ve malzeme paylaşımı tanımıyla ilişkili beş tip uygulama belirlenmiştir [18]:

- *Tip 1: Atık değişimi üzerinden paylaşım*

Bu tür uygulamalar genellikle tek yönlü ve ömrünü tamamlamış malzemelerin geri kazanım veya geri dönüşümü üzerine yapılmaktadır. Belediyelerin atık yönetim uygulamaları ya da geçmişte ülkemizde denenmiş atık borsaları bunlara örnek olarak gösterilebilir. Bu sistemin endüstriyel simbiyoz tanımına uymadığı ve geleneksel yöntemlerden birisi olduğu düşünülmektedir. Ayrıca, enerji ve su alışverişinin olmadığı sadece belli başlı kimyasalların satıldığı bir uygulama biçimidir.

- *Tip 2: Bir firma veya organizasyon üzerinden paylaşım*

Bu tür paylaşım şekli bir firma ya da bir organizasyon içerisindeki prosesler arası veya yakın binalar arasındaki malzeme değişimine dayanmaktadır. Firmaların birden fazla şubesi ya da organizasyonun farklı yerlerde firmaları olması durumunda bu tür paylaşımlar endüstriyel simbiyoz uygulamasına benzese de tek başına bir yerde olan ve etrafındaki diğer tesisleri ve firmaları kapsamayan yaklaşımlar bu tanım kapsamına girmemektedir.

- *Tip 3: Belirli bir eko-endüstriyel park içerisinde yerleştirilmiş firmalar arası paylaşım*

Bu yaklaşımda, bir eko-endüstriyel park içerisinde yer alan firmalar ve organizasyonlar; malzeme, enerji ve su değişiminin ötesine geçerek taşıma, pazarlama ve izin gibi bilgi ve servislerin paylaşımını da gerçekleştirebilirler. Bu tür bir yaklaşım yeni kurulacak eko-endüstriyel sanayi siteleri için uygulanabilecek nitelikte bir paylaşım olup, endüstriyel simbiyozun en etkin uygulanabileceği sistemdir.

- *Tip 4: Yerleşik olmayan yerel firmalar arası paylaşım*

Bu yaklaşım, mevcut firmaların birbiriyle paylaşım sağlaması ve boşlukların yeni firmalarla doldurulması ile gerçekleştirilebilecek ve bir başlangıç noktası olabilecek simbiyotik paylaşım türüdür. Bu tür uygulamalar, birbirine bitişik olmayıp yaklaşık 2-3 km çapında bir alanda bulunan firmalar arasında gerçekleştirilmektedir. Burada, firmalar birbiriyle iletişim kurmak üzere yerleştirilmemiş olsa da firmaların mevcut özellikleri simbiyotik bir paylaşımına imkan sağlamaktadır.

- *Tip 5: Geniş bir alanda sanal olarak organize olan firmalar arası paylaşım*

Firmaların bir yerden başka bir yere simbiyoz amacıyla taşınması, hem maliyetli hem de birçok değişikliğe bağlı olması sebebiyle, çok fazla tercih edilen bir uygulama değildir. Bu nedenle, bu yaklaşım firmaların yeniden yerleştirilmesi yerine sanal olarak birbirine bağlanmasına dayanmaktadır. Bu durum, taşıma maliyetlerini arttırsa da farklı sektörlerin sistemde yer alması ve paylaşım olanaklarının çok fazla olması nedeniyle tercih edilen bir durumdur. Örneğin İngiltere'de Ulusal Endüstriyel Simbiyoz Programı (NISP) ülke çapında uygulanan sanal bir paylaşım ağıdır. Günümüzde sanayinin birbiriyle yaptığı paylaşımlardan Tip 3-5 arasındaki benzerleri endüstriyel simbiyoz tanımı içerisinde kabul edilebilecek türde uygulamalardır.

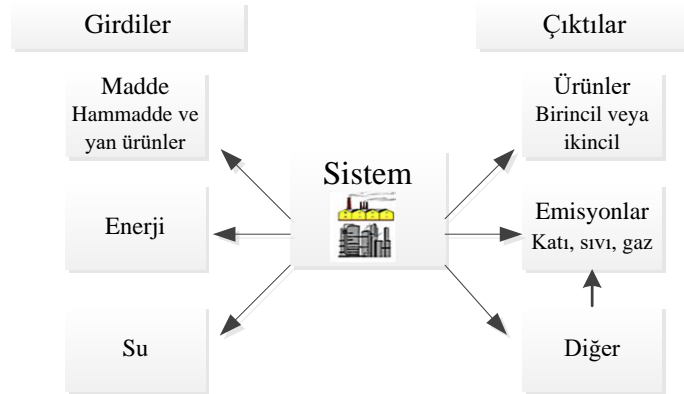
Yukarıda belirtilen simbiyotik paylaşım modellerinin ortak özelliği, farklı alanlarda gerçekleştirilen paylaşım ağlarıdır. Bu potansiyel paylaşımlar hammadde/malzeme açısından ortak satın alımlar, benzer pazarların birlikte değerlendirilmesi, ulaşım/lojistik açısından ortak tedarik, sevkiyat ve alternatif paketleme, üretim süreçleri açısından kirlilik önleme, fire azaltımı, ürün tasarımı, ortak ekipman ve teçhizat kullanımı, teknoloji paylaşımı, insan kaynakları ve halkla ilişkiler açısından ortak eleman alımı, ortak eğitim, sağlık programları ve ortak hizmetler (temizlik ve güvenlik gibi), çevre ve sağlık açısından kazaların önlenmesi, ortak acil durum müdahalesi, atık azaltımı, çevre dostu tasarımlar ve ortak çevresel izinler, enerji açısından ise enerji verimliliği, yeşil binalar, alternatif yakıtlar ve enerji yan ürünleri olarak sıralanabilir. Dolayısıyla, bu uygulamaların genel özellikleri, sadece bir atık paylaşımının ötesinde, işletmeler arasında ekonomik, çevresel ve bunların yanında sosyal paylaşımları içeren ve birbirlerine bu alanlarda katkılar sağlayan uygulamalar olmalarıdır.

### 3. ENDÜSTRİYEL SİMBİYOZ ARAÇLARI

Endüstriyel simbiyozun temel bileşenleri arasında öncelikle sistemin mevcut durumunun ortaya konması için kullanılacak olan analitik araçlar gelmektedir. Endüstriyel simbiyozun uygulanmasında kullanılan başlıca sistem araçları olarak “**Malzeme Akış Analizi (Material Flow Analysis)**”, “**Yaşam Döngüsü Analizi (Life Cycle Assessment)**” ve “**Çok Ölçütlü Karar Verme Yöntemleri (Multiple Criteria Decision Making)**” yer almaktadır. Bu araçlar hem mevcut durumun analizinde hem de karar vermeye yardımcı olmak amacıyla kullanılmaktadır.

#### 3.1. Malzeme Akış Analizi (MFA)

Endüstriyel ekolojinin bileşenlerini oluşturan her bir işletmenin, kendi içindeki girdi ve çıktıları tanımlaması ve bunların miktarlarını belirlemesi, diğer işletmeler ile kuracağı olası simbiyotik ilişki ya da işbirliklerinin belirlenmesi için teknik açıdan kritik öneme sahiptir. Örneğin, İsveç’te işletmeler arası olası simbiyotik ilişkilerin (sinerjilerin) belirlenmesi, tamamen tarafların girdi ve çıktılarının (ya da varlık ihtiyaçlarının) kendileri tarafından ortaya konması ve karşılıklı olarak eşleştirilmesi yöntemiyle gerçekleştirilmektedir. Bu da işletmelerin kendi tesislerindeki malzeme/kaynak akışına hakim olarak girdi ve çıktıları sağlıklı ve ayrıntılı olarak tanımlamalarına bağlıdır. Şekil 2’de belirli bir prosese veya sisteme yönelik girdi ve çıktı analizinin şematik gösterimine yer verilmektedir.



Şekil 2. Malzeme Akış Analizi şematik gösterimi

Ayrıca, işletmelerin kendi tesislerinde gerçekleştirebileceği malzeme akış analizleri, öncelikle tesis içerisinde alınabilecek önlemlerin belirlenmesi, sistem verimsizliklerinin giderilebilmesi ve daha sonraki dönemde sürdürülebilir simbiyotik ilişkiler geliştirebilmelerinin sağlanması açısından da bir gereklilik olarak ortaya çıkmaktadır. Bunun yanında, bir eko-endüstriyel park ya da bir endüstriyel simbiyoz ağı bütün olarak ele alındığında malzeme akış analizi, sistemin yönetimi, girdi-çıktılarının

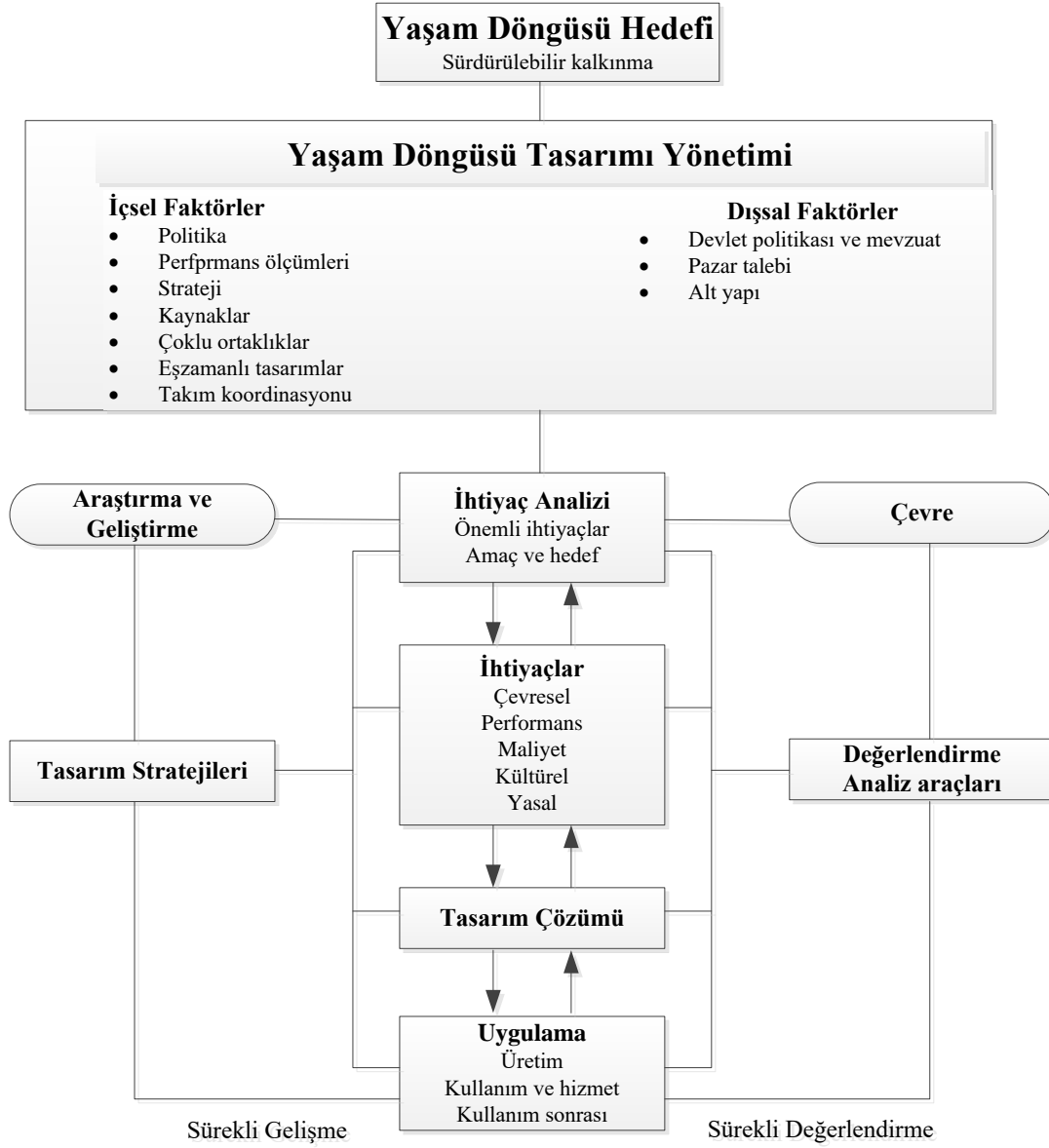
takibi ve performansın belirlenmesi gibi amaçlar doğrultusunda önemli hale gelmektedir. Bu kapsamda, genel (entegre) malzeme akışına ve dengesine bakıldığında;

- Fosil yakıt kullanımının azaltılması ve yenilenebilir kaynak kullanımının artması,
- Malzeme bazında üretim ve tüketim miktarları arasında denge sağlanması ve
- Her türlü kaynağın mümkün olduğunca geri kazanılarak döngüsel olarak kullanımının sağlanması önemli olmaktadır [20].

MFA'lar endüstriyel simbiyoz uygulamalarının faydalarını belirlemede sıkça kullanılan yöntemlerdendir. Felicio vd. eko endüstriyel parkların dinamik bir sistem olarak yönetilmesindeki endüstriyel simbiyoz indikatörlerini belirlemede MFA yöntemini kullanmıştır. Sun vd. Çin'de yer alan tipik bir sanayi bölgesindeki endüstriyel simbiyoz uygulamasının çevresel ve ekolojik faydalarını araştırmak için bir MFA yöntemi geliştirmişlerdir [21]. Ohnishi vd. Japonya'nın Kawasaki Eko-şehri'nde endüstriyel ve kentsel endüstriyel simbiyoz uygulamalarının yararlarını MFA, karbon ayakizi ve emerji (endüstriyel sistemin sürdürülebilirliğini belirleme yöntemi) yöntemlerinin bir bileşimi olan ve yeni geliştirilen bir yöntemle değerlendirmişlerdir [22]. Sharib ve Halog yaptıkları çalışmada, Malezya'nın doğal kauçuk üreticilerinin endüstriyel simbiyoz uygulaması ile üretim yaptıkları Rubber şehrinde MFA kullanarak kaynak döngüsü ve atık yönetimindeki sinerjileri belirlemişlerdir [23]. Guo vd. Çin'in Midong şehrinde bulunan Kimyasal Endüstriyel Park'taki endüstriyel simbiyoz uygulamasında yer alan faaliyetleri MFA uygulayarak incelemişler ve çevresel-ekonomik faydaları değerlendirmişlerdir [24].

### 3.2. Yaşam Döngüsü Analizi (LCA)

Yaşam Döngüsü Analizi (LCA) bir ürün ya da hizmet üretiminde kullanılan hammaddelerin elde edilmesinden başlayarak, ilgili tüm üretim, sevkiyat, tüketici tarafından kullanım ve kullanım sonrası atık olarak bertarafını da kapsayan yaşam döngüsünün farklı aşamalarındaki çevresel etkilerini belirlemek, raporlamak ve yönetmek için kullanılır. Söz konusu çevresel etkiler iklim değişikliği, stratosferik ozon tabakasındaki incelleme, ötrofikasyon, asidifikasyon, toksik emisyonlar gibi kategoriler bazında değerlendirilir. Önceki bölümlerde ifade edildiği gibi, endüstriyel ekolojinin tek bir kirleticiden bütünsel bir sisteme ve yaşam döngüsüne kadar geniş bir odağı mevcuttur. Bu nedenle, gerçekleştirilen tüm faaliyetlerin, kullanılan malzeme ve teknolojilerin yaşam döngüsü bazındaki çevresel etkilerinin dikkate alınması gerekmektedir. Bu kapsamda yaşam döngüsü analizi endüstriyel ekolojinin uygulanması için de gerekli bir araçtır [14]. Endüstriyel simbiyozun çevresel performanslarının yaşam döngüsü temelinde, tüm ağı yukarı ve aşağı akış etkileri bakımından değerlendirilmesine duyulan gereksinim göz ardı edilmemelidir [25] (Şekil 3). Sokka vd. çalışmasında [26] yalnızca simbiyoz ağı tarafından doğrudan emisyon ve kaynak kullanımını göz önünde bulundurarak toplam etkilerin % 50'sinden fazlasının ihmal edildiğini göstermiştir. Felicio vd. eko endüstriyel parkların dinamik bir sistem olarak yönetilmesindeki endüstriyel simbiyoz indikatörlerini belirlemede LCA yöntemini kullanmıştır [27]. Mohammed vd. yaptıkları çalışmada nitrik asit üreten bir tesisin baca gazından adsorpsiyon ile geri kazanılan NOx'in gübre yapımında kullanılmasının LCA'sını gerçekleştirmişlerdir [28]. Zhang vd. Çin'de bulunan Songmudao kimyasal endüstriyel parkın sentetik gaz kimyasal endüstrisi zincirini ele almışlardır. Birbirleri arasında su, malzeme ve enerji alışverişlerinin olduğu yedi işletmeden oluşan bu zincirde malzeme ve enerji değişimlerinin çevresel etkileri LCA yöntemiyle incelenmiştir [29]. Daddi vd. İtalya'da deri kümeleneşindeki endüstriyel simbiyoz uygulamasını dikkate almışlar ve bu uygulamanın çevresel faydalarını LCA yöntemiyle belirlemişlerdir [30]. Husgafvel vd. biyoenerji üretiminden kaynaklanan uçucu kül ve orman ürünleri endüstrisi atıksu arıtımından gelen çamurdan gübre üretiminin LCA çalışmasını yapmışlardır [31]. Dong vd., Çin'in sinerji, kentsel katı atık geri dönüşünü ve atık enerjinin değerlendirilmesi işlemlerinin yer aldığı tipik bir sanayi şehri olan Guiyang şehrinde endüstriyel ve kentsel simbiyozun çevresel faydalarını belirlemek için LCA yöntemini kullanmışlardır [32].



Şekil 3. Endüstriyel simbiyozda yaşam döngüsü tasarımı

### 3.3. Çok Ölçütlü Karar Verme Yöntemleri (MCDM)

Çok ölçütlü karar verme yöntemlerinde amaç, farklı alternatifleri kıyaslayacak farklı boyutlardaki verilerin toplanması ve en uygun alternatifin belirlenmesidir. Söz konusu yöntemler sayesinde karar verici, çok sayıda nicel ve nitel ölçütü karar verme sürecine dahil edebilmekte, ölçütleri amaçları doğrultusunda ağırlıklandırabilmekte, ölçütlerin verimlilik ölçülerinin büyüklüklerini seçebilmekte ve ağırlıklarını toplayarak en uygun alternatifi belirleyebilmektedir. Analizci, öncelikli olarak, hedefini gerçekleştirmeye yönelik ölçütleri belirler. Daha sonra alternatiflerin ölçütlere uygunluğu saptanır [33].

Farklı matematiksel modellere dayanan MCDM yöntemleri mevcuttur. Çevresel çalışmalarda özellikle; öne geçme ve eşik kavramını dikkate alan ELECTRE yöntemi [34-36], hiyerarşik bir yapıya sahip olan Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) [37-39], bir ağ yapısına sahip olan ve fayda/fırsat/maliyet/risk (BOCR) analizi yapmaya imkan tanıyan Analitik Serim Süreci (ANP) [40-42] ve tercih fonksiyonlarını temel alan PROMETHEE [43-45] yöntemleri kullanılmaktadır.

Endüstriyel simbiyoz çalışmalarında MCDM yöntemlerinin kullanılması ile ilgili çalışmalar literatürde sınırlı sayıda ve yeni olmasına karşın [46-47], söz konusu yöntemlerin; endüstriyel simbiyoz projelerine dahil edilecek firmaların önceliklendirilmesi, uygulanacak projelerin seçimi ve fayda/maliyet/risk analizlerinin yapılması gibi uygulamalarla endüstriyel simbiyoz uygulamalarını güçlendireceği muhakkaktır.

#### 4. ENDÜSTRİYEL SİMBİYOZ ÖRNEKLERİ

1990'ların sonlarından itibaren endüstriyel simbiyoz yaklaşımını benimseyen endüstriyel bölgelerin, planlanması ve tasarımına yönelik farklı çalışmalar yapılmıştır.

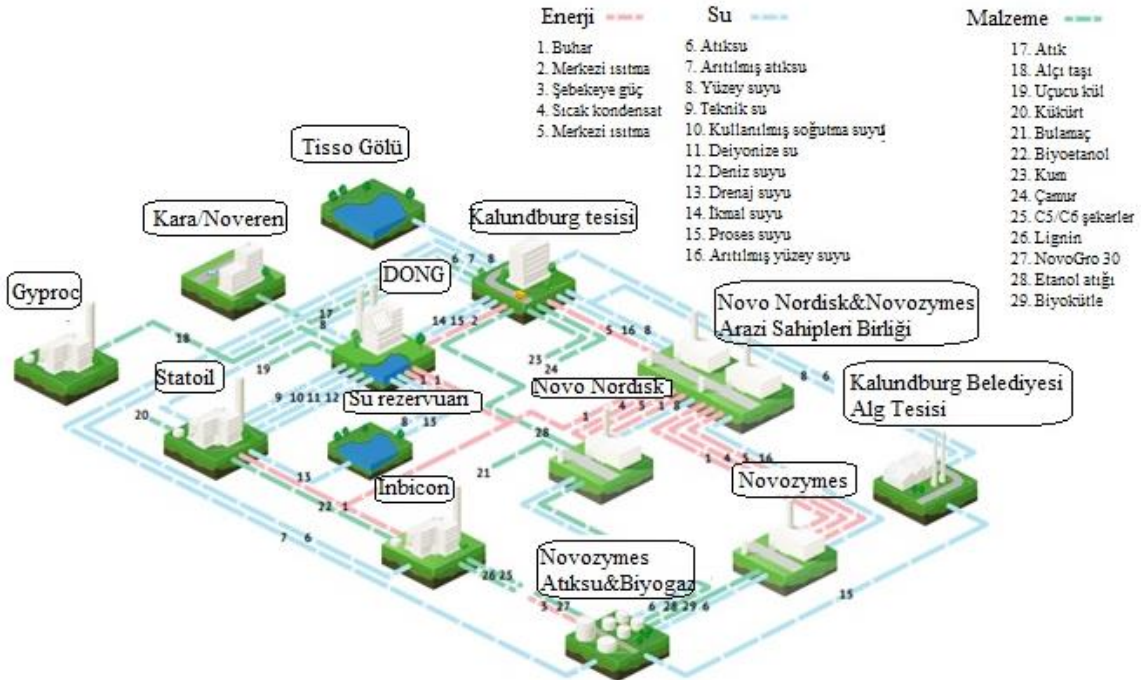
##### 4.1. Dünya'daki Endüstriyel Simbiyoz Uygulama Örnekleri

Mevcut durumda dünya çapında birçok endüstriyel simbiyoz çalışması yapılmakta olup, bunların en önemlilerinden birkaçı şu şekilde sıralanabilir;

1. Kalundborg/Danimarka Endüstriyel Simbiyoz Uygulaması
2. Landskrona/İsveç Endüstriyel Simbiyoz Uygulaması
3. Güney Kore Eko Endüstriyel Parkı (EEP)
4. Tianjin/Çin Endüstriyel Simbiyoz Programı

Dünyada, endüstriyel simbiyoz dendiğinde ilk akla gelen Kalundborg (Danimarka) örneğidir. Kalundborg'un en belirgin özelliği, endüstriyel ekolojinin tamamen işletmeler arasındaki ikili işbirliklerinin kurulmasıyla, adım adım ve kendiliğinden uzun yıllar içinde oluşmuş olmasıdır. Kalundborg'daki mevcut endüstriyel simbiyoz ağı Şekil 4'te verilmiştir. 2015 yılına ait verilere göre, bölgede sağlanan bazı kazanımlar şunlardır [48]:

- İnsülin üretiminden kaynaklanan maya çamurundan biyogaz üretimi
- 3 milyon m<sup>3</sup>/yıl su geri kazanımı,
- 15 milyon GJ enerji değerinde proses buharı (75.000 evin yıllık elektrik tüketimine denk),
- 150.000 ton doğal alçı taşının yerine baca gazının desülfürizasyonundan gelen alçı taşı kullanımı



Şekil 4. Kalundborg'daki Endüstriyel Ekoloji Ağı [48]



Kalundborg'daki yapı, esas olarak işletmeler arasındaki madde ve enerji değişimine dayanmaktadır. Şekil 4'te verilmiş olan simbiyotik ilişkilerin her biri uzun değerlendirmelere dayanan bağımsız iş anlaşmalarıdır ve "ekonomik kazanç" sağladıkları için gerçekleştirilmiştir. Böylece bölge genelindeki çevresel farkındalık ve çevre yönetimi anlayışı yaygınlaşarak sürekli gelişmiş ve işletmelerin motivasyonuna katkı sağlamıştır.

2002 yılında, İsveç – Landskrona endüstri bölgesinde, İsveç İş Geliştirme Ajansı tarafından finanse edilen Landskrona Endüstriyel Simbiyoz Programı (LISP) başlatılmıştır. Bölgede, özellikle belediyenin baskısıyla son 30 yılda çevresel performans açısından önemli bir ilerleme kaydedilirken, aynı zamanda ekonomik yapıda da değişiklikler olmuş, çok farklı alanlarda faaliyet gösteren çok sayıda KOBİ'nin ve az sayıda büyük işletmenin olduğu bir duruma gelmiştir. Bölgedeki işletmeler arasında doğal olarak gelişen bazı simbiyotik ilişkiler olmasına karşın bu program, ilişkileri daha da geliştirmek amacıyla başlatılmıştır [49].

Endüstriyel Simbiyoz, Güney Kore'de ilk olarak 2003 yılında, Eko Endüstriyel Park (EEP) gelişme programı kapsamında ortaya çıkmıştır. Kore ülke olarak son 50 yıl içerisinde hem ekonomik olarak güçlü bir gelişme gösteren, hem de çevresel problemlerin en büyük kaynağı olan yaklaşık 1000 adet endüstri bölgesine sahip olmuştur. Kore Hükümeti, ulusal endüstri şirketlerini yeniden yapılandırmak için mevcut endüstri bölgelerini, EEP'lere yerleştirerek 15 yıllık üç aşamalı bir plan oluşturmuştur. Planlamanın ilk aşamasında (2005-2009), beş adet pilot uygulama ile endüstriyel kompleks tesisleri EEP'lere dönüştürülmüştür. 2009 yılına kadar belirtilen bu beş endüstriyel parkta 45 adet simbiyoz projesinden 8 tanesi tamamlanmıştır. Bu 8 proje ile toplam ekonomik kazanç 38 milyon TL/yıl, CO<sub>2</sub> emisyon azaltımı ise 103.310 ton/yıl olarak belirlenmiştir [50]. Projenin ikinci aşamasında (2009-2014), EEP'lere aşamalı şekilde dönüşümler artırılarak, kaynak döngüleri ile simbiyoz ağları genişletilmiştir. Üçüncü aşamada (2014-2018) yeni EEP'lerin inşa edilmesi, Koreli EEP modellerinin kurulması ve ulusal ölçekte simbiyoz ağlarının tamamlanması hedeflenmektedir [50]. Bu tür uygulamalara Birleşik Krallık (ulusal endüstriyel simbiyoz projesi ile bölgesel atık geri dönüşümüne odaklanarak) gibi bir çok ülke dahil olmuştur [51-53]. EEP projelerinin çevresel performansı değerlendirildiğinde, dolaylı yollardan endüstriyel tesislerin enerji tüketimlerinde, atık, atıksu ve emisyonlarında önemli ölçülerde azalmalar gerçekleştirilmiştir. İlk aşama boyunca, gerçekleştirilen 47 proje ile birlikte 477.633 ton atık, 110.032 ton atıksu ve 176.781 ton enerji azaltılmış olup, oluşan sera gazı miktarında 668.198 ton CO<sub>2</sub> eşdeğeri bir düşüş gerçekleşmiştir. Sera gazı miktarının azaltılması ile ilgili, EEP projesinin ilk aşamasında, Kore'nin düşük karbon-yeşil büyüme politikasında, endüstriyel komplekslerden kaynaklanan sera gazı emisyonlarının 1 milyon 310 bin ton azaltılması hedefi başarıyla gerçekleştirilmiştir. Sera gazı emisyonlarının azaltılmasında, enerji projeleriyle elde edilen enerji tasarrufları ve atık ürün kullanımı ile de atık bertarafının önlenmesi etkili olmuştur.

Çin'de hızlı endüstriyel büyümeyle oluşan kirliliği gidermek için, 2000 yılında bir ulusal EEP Programı başlatılmıştır. Shi vd. çalışmalarında [54], Tianjin Ekonomik-Teknolojik Kalkınma Bölgesi'ni (TEDA) ele almışlardır. İki yıllık saha araştırmalarının ardından, son 16 yıl içerisinde TEDA'da kurulan şirketlerden, otomobil, elektronik, biyoteknoloji, yiyecek-içecek ve kaynak toplama kümelerini içeren 81 firma arasında simbiyotik ilişki ağı belirlenmiştir. Endüstriyel simbiyoz çerçevesinde, yan ürün kullanımı, atık azaltımı ve enerji değişimleri ile çevresel altyapının geliştirilmesine yönelik gerçekleştirilen faaliyetler Tablo 1'de verilmiştir [54].

**Tablo 1.** TEDA’da önemli çevresel altyapı faaliyetlerinin zamanla gelişimi

Yıl	Gerçekleşen aktivite	Yıl	Gerçekleşen aktivite
1987	Kojenerasyon enerji santralinin kurulması	2003	İleri atıksu arıtma tesisinin işletmeye alınması
1987	Çevre düzenleme biriminin kurulması	2003	Tehlikeli atık geri kazanım ve bertaraf tesisinin işletmeye alınması
1995	Kullanma suyu arıtma tesisinin 1.aşamasının işletmeye alınması	2003	Yeni akışkan yataklı yakma tesisinin devreye alınması
1998	Kullanma suyu arıtma tesisinin 2.aşamasının işletmeye alınması	2004	Atıktan enerji elde etme tesisinin işletmeye alınması
2000	Atıksu arıtma tesisinin işletmeye alınması	2004	Hızlı toplu taşıma sisteminin kurulması
2001	Metal atıklarını içeren suları arıtan tesisin kurulması	2007	Deniz suyu tuz giderim tesisinin kurulması
2002	Bacı gazı desülfürizasyon tesislerinin kurulması	2007	Bölgesel elektronik atık geri kazanım tesisinin kurulması
2002	Katı atık düzenli depolama sahasının işletmeye alınması		

#### 4.2 Türkiye’ den Endüstriyel Simbiyoz Uygulama Örnekleri

Ülkemizde son yıllarda endüstriyel simbiyoz konusu ile ilgili çalışma sayılarında önemli bir artış görülmektedir. Bu çalışmalardan en önemlisi, Türkiye Teknoloji Geliştirme Vakfı (TTGV) tarafından 2011-2014 yılları arasında gerçekleştirilen İskenderun Körfezi (Adana, Mersin, Osmaniye, İskenderun) Endüstriyel Simbiyoz Projesidir [55]. Bu projede, meyve posasından hayvan yemi üretimi, tarımsal ve hayvansal atıklardan enerji üretimi, pamuk tohumu atığından biyoremediasyon 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. Endüstriyel simbiyoz ile İskenderun Körfezinde, 330.000 ton/yıl atık değerlendirilmiş olup, doğal kaynak ikamesi 280.000 ton/yıl, toplam tasarruf edilen/üretilen enerji 34.000.000 kWh/yıl, CO<sub>2</sub> azaltımı 37.000 ton/yıl, su tasarrufu 6500 m<sup>3</sup>/yıl ve arazi kazancı ise 45.000 m<sup>2</sup> olmuştur.

Türkiye’de tamamlanmış ve devam eden diğer endüstriyel simbiyoz projeleri, “Trakya Endüstriyel Simbiyoz Programı”, “Bursa, Eskişehir, Bilecik Endüstriyel Simbiyoz Programı” ve “Antalya Organize Sanayi Bölgesi’nde Endüstriyel Simbiyoz ve Eko-Verimlilik Projesi”dir. Ayrıca, Temiz Üretim Programı bünyesinde [56], İzmir İli’nde Ekim 2011- Mayıs 2015 dönemlerini kapsayan, iki aşamalı bir temiz üretim programı oluşturulmuştur. Bu projenin ilk aşamasında, bölgenin mevcut durumu, kapasite, kaynak ve ihtiyaçlar açısından ele alınmış olup, değerlendirme sürecinden 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, ilk aşamada elde edilen sonuçlar ve geliştirilen öneriler değerlendirilerek bölgenin eko-verimlilik kapasitesinin geliştirilmesi, pilot uygulamaların gerçekleştirilmesi ve kazanımların yaygınlaştırılması hedeflenmiştir. Eko-verimlilik kapsamında, hammadde tasarrufu 100 ton/yıl, atık azaltımı 100 ton/yıl, su tasarrufu 63.000 m<sup>3</sup>/yıl, atıksu azaltımı 9.000 m<sup>3</sup>/yıl, enerji tasarrufu 7,8 milyon kWh/yıl, buhar tasarrufu 5.000 ton/yıl, kimyasal tasarrufu 80.500 kg/yıl olarak gerçekleşmiştir.

Ülkemizde gerçekleştirilen diğer temiz üretim ve eko verimlilik projeleri ise “Tekstil Sektöründe Temiz Üretim (Adıyaman, Malatya, Kahramanmaraş ve Gaziantep)” ve “Uluslararası Milletler Endüstri Geliştirme Organizasyonu (UNIDO) Kayseri ve Niğde Şehirleri’nde Temiz Üretim (Eko-verimlilik) Programları” şeklindedir.

## 5. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Bu çalışmada endüstriyel simbiyozun tarihçesi, ulusal ve uluslararası literatürde yapılmış çalışmalar ve endüstriyel simbiyoz çalışmalarında kullanılabilecek araçlarla ilgili bir değerlendirme yapılmıştır. Endüstriyel simbiyoz çalışmaları ile birlikte endüstri tesislerinin yer aldığı sanayi bölgeleri ve endüstriyel parklarda endüstriyel çeşitlilik ve işbirliklerinin sağlandığı, enerji ve su verimliliğinin maksimum düzeyde, atık oluşumunun ve çevresel etkilerin minimize edildiği, ekonomik performansların geliştiği, ürün çeşitliliğinin ve ekonomik rekabetin arttığı ve sürdürülebilir sanayi alanlarının oluşturulduğu sistemler kurulabilmektedir. Ülkemizde henüz sınırlı sayıda görülebilen endüstriyel simbiyoz ağlarının artırılması için öncelikle karar vericilere ve sektör temsilcilerine tüm yönleriyle bilgi aktarımının sağlanması çok önemlidir. Burada özellikle, bu tür ağların sadece çevresel kazançlarının değil aynı zamanda ekonomik getirilerinin de olduğu vurgulanmalıdır. Bu noktada sadece atık odaklı yaklaşımlar değil malzeme, enerji, su, yan ürün, lojistik, uzmanlık kaynakları gibi birçok farklı alanda paylaşımların yapılabileceği de unutulmamalı işbirlikleri tüm bu başlıkları içerecek şekilde kurgulanmalıdır. Bu amaçla ulusal ya da bölgesel bazda oluşturulacak stratejilerle öncelikli sektörlerin belirlenmesi ve işbirliklerinin bu sektörlerde başlatılarak daha sonra diğer sektörlerle yaygınlaştırılması daha başarılı sonuçlar elde edilmesini sağlayacaktır. Türkiye'nin, gelecekle ilgili stratejilerini belirlerken, tüm dünyada meydana gelen kavramsal ve uygulamayla ilgili değişiklikleri de yakından izlemesi ve gerçekleştirmesi gerekir. Bu bağlamda özellikle, endüstriyel simbiyoz çalışmalarını güçlendirecek Malzeme Akış Analizi, Yaşam Döngüsü Analizi ve Çok Ölçütlü Karar Verme Yöntemleri'nin kullanımı yerinde olacaktır.

## KAYNAKLAR

- [1] Sarup M. Post-Yapısalcılık ve Postmodernizm. Ankara: Bilim ve Sanat Yayınları, 1997.
- [2] Uslu İ. Çevre Sorunları. İstanbul, İnsan Yayınları, 1995.
- [3] Demirer G.N. Kirlilik Önleme Yaklaşımlarının Temel Prensipleri. Çevre & Müh- TMMOB 2003; 25: 13-20.
- [4] Kjaerheim G. Cleaner production and sustainability. J Clean Prod 2005; 13: 329-339.
- [5] Frondel M, Horbach J, Rennings K. End-of-Pipe or Cleaner Production? An Empirical Comparison of Environmental Innovation Decisions Across OECD Countries. In: Center for European Economic Research, Discussion Paper 2004; 04-82.
- [6] Staniškis J, Varžinskas V. Life Cycle Based Design and Product Development: Application of LCA to Lithuanian Industry. Environ Res Eng & Manage 2010; 4: 43-53.
- [7] Doğru B. 100 Maddede Sürdürülebilirlik Rehberi. İstanbul: İş Dünyası ve Sürdürülebilir Kalkınma Derneği (SKD), 2016.
- [8] Banar M. Sürdürülebilir Atık Yönetimi'nin Sağlanması ve Endüstriyel Simbiyozun Önemi. Recy Ind-Atık-Geri Dön End & Çev Der 2017; 104: 52-57.
- [9] Cılız N, Daylan B, Baydar G. Sürdürülebilir Üretim ve Tüketim Yayınları-II, Temiz Üretim. Ankara: Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2011.
- [10] Adams WM. The Future of Sustainability: Re-thinking Environment and Development in the Twentyfirst Century. Report of the IUCN Renowned Thinkers Meeting, 2006.

- [11] Frosch R, Gallopoulos N. Strategies for Manufacturing. *Sci Am* 1989; 261: 144–150.
- [12] Ayres RU. *Industrial Metabolism In Technology and Environment*. Washington: National Academy Press, 1989.
- [13] Ayres RU. *Industrial metabolism: Theory and policy*. Tokyo: United Nations University Press, 1994.
- [14] Garner A, Keoleian GA. *Industrial Ecology: An Introduction*. In *Pollution Prevention and Industrial Ecology*. USA: National Pollution Prevention Center for Higher Education, 1995.
- [15] Erhenfeld JR, Gertler N. The evolution of interdependence in Kalundborg. *J Ind Ecol* 1997;1(1): 67-80.
- [16] TTGV, *Industrial Symbiosis Project in Iskenderun Bay – Implementation Phase. 2010-2012 Period Project Activities*. BTC Crude Oil Pipeline Company Regional Development Initiative, 2010.
- [17] Moberg A. *Environmental systems analysis tools for decision-making*. MSc, Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden, 2006.
- [18] Chertow MR. *Industrial Symbiosis: Literature and Taxonomy*. *Energy Environ* 2000; 25: 313-337.
- [19] Chertow MR. *Uncovering industrial symbiosis*. *J Ind Ecol* 2007; 11: 11-30.
- [20] Heeres RR, Vermeulen WJV, Walle FB. *Eco-industrial park initiatives in the USA and the Netherlands: first lessons* *J Clean Prod* 2004; 12: 985-995.
- [21] Sun L, Li H, Dong L, Fang, K, Ren J, Geng Y, Liu Z. *Eco-benefits assessment on urban industrial symbiosis based on material flows analysis and emergy evaluation approach: A case of Liuzhou city, China*. *Resour Conserv & Recyc* 2017; 119: 78-88.
- [22] Ohnishi S, Dong H, Geng Y, Fujii M, Fujita T. *A comprehensive evaluation on industrial & urban symbiosis by combining MFA, carbon footprint and emergy methods—Case of Kawasaki, Japan*. *Ecol Indic* 2017; 73: 513-524.
- [23] Sharib S, Halog A. *Enhancing value chains by applying industrial symbiosis concept to the Rubber City in Kedah, Malaysia*. *J Clean Prod* 2017; 141: 1095-1108.
- [24] Guo B, Geng Y, Sterr T, Dong L, Liu Y. *Evaluation of promoting industrial symbiosis in a chemical industrial park: A case of Midong*. *J Clean Prod* 2016, 135: 995-1008.
- [25] Martin M, Svensson N, Eklund M. *Who gets the benefits? An approach for assessing the environmental performance of industrial symbiosis*. *J Clean Prod* 2015; 98: 263-271.
- [26] Sokka L, Pakarinen S, Melanen M. *Industrial symbiosis contributing to more sustainable energy use – an example from the forest industry in Kymenlaakso, Finland*. *J Clean Prod* 2011; 19: 285-293.
- [27] Felicio M, Amaral D, Esposto K, Durany XG. *Industrial symbiosis indicators to manage eco-industrial parks as dynamic systems*. *J Clean Prod* 2016; 118: 54-64.

- [28] Mohammed F, Biswas WK, Yao H, Tadé M. Identification of an environmentally friendly symbiotic process for the reuse of industrial byproduct—an LCA perspective. *J Clean Prod* 2016; 112: 3376-3387.
- [29] Zhang Y, Duan S, Li J, Shao S, Wang W, Zhang S. Life cycle assessment of industrial symbiosis in Songmudao chemical industrial park, Dalian, China. *J Clean Prod* 2017; 158: 192-199.
- [30] Daddi T, Nucci B, Iraldo F. Using Life Cycle Assessment (LCA) to measure the environmental benefits of industrial symbiosis in an industrial cluster of SMEs. *J Clean Prod* 2017; 147: 157-164.
- [31] Husgafvel R, Karjalainen E, Linkosalmi L, Dahl O. Recycling industrial residue streams into a potential new symbiosis product—The case of soil amelioration granules. *J Clean Prod* 2016; 135: 90-96.
- [32] Dong L, Fujita T, Dai M, Geng Y, Ren J, Fujii M, Ohnishi S. Towards preventative eco-industrial development: an industrial and urban symbiosis case in one typical industrial city in China. *J Clean Prod* 2016; 114: 387-400.
- [33] Özkan A. Kentsel Katı Atık Yönetim Sistemlerinin Oluşturulmasında Farklı Tekniklerin Kullanımı. Phd, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir, Türkiye, 2008.
- [34] Hokkanen J, Salminen P. Choosing a solid waste management system using multicriteria decision analysis. *Eur J Oper Res* 1997; 98: 19-36.
- [35] Özkan A, Banar M, Acar I, Sipahioğlu A. Application of the ELECTRE III Method for a Solid Waste Management System. *Anadolu Univ J Sci & Tech –A App Sci & Eng* 2011; 12 (1): 11-23.
- [36] Banar M, Özkan A, Kulaç A. Choosing a Recycling System Using ANP and Electre III Techniques. *Turk J Eng & Environ Sci* 2010; 24 (3): 145-154.
- [37] Banar M, Acar I, Özkan A, Köse BM. Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) Kullanılarak Katı Atık Düzenli Depolama Sahası Yer Seçimi. *Katı Atık & Çev* 2010; 80: 20-28.
- [38] Hastrup P, Maniezzo V, Mattarelli M, Mazzeo Rinaldi F, Mendes I, Parruccini M. A decision support system for urban waste management. *Eur J Oper Res* 1998; 109: 330-341.
- [39] Hacıoğlu İ, Arı A, Özkan A, Yay OD, Elbir T, Tuncel G, Gaga E. A New Approach for Site Selection of Air Quality Monitoring Stations: Multi-Criteria Decision-Making. *Aero & Air Qual Res* 2016; 16: 1390-1402.
- [40] Özkan A. Evaluation of healthcare waste treatment/disposal alternatives by using multi criteria decision making techniques. *Waste Manage & Res* 2013; 31 (2): 141-149.
- [41] Banar M, Köse BM, Özkan A, Poyraz Acar I. Choosing a municipal landfill site by analytic network process. *Environ. Geol* 2007; 52: 747-751.
- [42] Özkan A, Banar M. Refuse Derived Fuel (RDF) Utilization in Cement Industry by Using Analytic Network Process (ANP). *Chem Eng Trans* 2010; 21: 769-774.
- [43] Banar M, Tulger G, Özkan A. Plant Site Selection for Recycling Plants of Waste Electrical and Electronic Equipment in Turkey By Using Multicriteria Decision Making Methods. *Environ Eng & Manage J*, 2014; 13 (1): 163-172.

- [44] Queiruga D, Walther G, Gonzalez-Benito J, Spengler T. Evaluation of sites for the location of WEEE recycling plants in Spain. *Waste Manage* 2008; 28 (1): 181-190.
- [45] Vego G, Kucar-Dragicevic S, Koprivanac N. Application of multi-criteria decision-making on strategic municipal solid waste management in Dalmatia, Croatia. *Waste Manage* 2008; 28 (11): 2192-2201.
- [46] Montastruc L, Boix M, Pibouleau L, Azzaro-Patenl C, Domenech S, On the flexibility of an eco-industrial park (EIP) for managing industrial water. *J Clean Prod* 2013; 43: 1-11.
- [47] Zhao H, Zhao H, Guo S. Evaluating the comprehensive benefit of eco-industrial parks by employing multi-criteria decision making approach for circular economy. *J Clean Prod* 2017; 142 (4): 2262-2276.
- [48] http1, <http://www.symbiosis.dk/en> (erişim tarihi: 15.07.2017).
- [49] Mirata M, Emtairah T. Industrial symbiosis networks and the contribution to environmental innovation: The case of the Landskrona industrial symbiosis programme. *J Clean Prod* 2005; 13: 993-1002.
- [50] Park JM, Park JY, Park HS. A review of the National Eco-Industrial Park Development Program in Korea: progress and achievements in the first phase, 2005 – 2010. *J Clean Prod* 2016; 114: 33-44.
- [51] Mirata M. Experiences from early stages of a national industrial symbiosis programme in the UK: determinants and coordination challenges. *J Clean Prod* 2004; 12: 967-983.
- [52] Jensen PD, Basson L, Hellawell EE, Bailey MR, Leach M. Quantifying geographic proximity: experiences from the United Kingdom's National Industrial Symbiosis Programme. *Resour Conserv Recycl* 2011; 55: 703-712.
- [53] Costa I, Massard G, Agarwal A. Waste management policies for industrial symbiosis development: case studies in European countries. *J Clean Prod* 2010; 18: 815-822.
- [54] Shi H, Chertow M, Song Y. Developing country experience with eco-industrial parks: a case study of the Tianjin Economic-Technological Development Area in China. *J Clean Prod* 2010; 18: 191-199.
- [55] TTGV İskenderun Körfezi'nde Endüstriyel Simbiyoz Projesi Uygulama Aşaması, Sonuçlar ve Kazanımlar 2015, Ankara, <http://www.endustriyelsimbiyoz.org>
- [56] TTGV İzmir'de Eko-verimlilik (Temiz Üretim) Uygulamalarının Yaygınlaştırılması Projesi 2016, <http://www.ttg.org.tr/content/docs/izmir-ekoverimlilik-brosur.pdf>