

OlcaY GENÇ



**İSKENDERUN TEKNİK**

ÜNİVERSİTESİ

MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**DOKTORA  
TEZİ**

**DOĞADAN İLHAM ALAN  
SÜRDÜRÜLEBİLİR EKO-ENDÜSTRİYEL  
PARK GELİŞİMİ VE TASARIMI**

**OlcaY GENÇ**

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ  
ANABİLİM DALI

OCAK 2020

OCAK 2020





**DOĞADAN İLHAM ALAN SÜRDÜRÜLEBİLİR EKO-ENDÜSTRİYEL  
PARK GELİŞİMİ VE TASARIMI**

**Olcay GENÇ**

**DOKTORA TEZİ  
İNŞAAT MÜDENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**İSKENDERUN TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**OCAK 2020**

Olcay GENÇ tarafından hazırlanan "DOĞADAN İLHAM ALAN SÜRDÜRÜLEBİLİR EKO-ENDÜSTRİYEL PARK GELİŞİMİ VE TASARIMI" adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile İskenderun Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında DOKTORA TEZİ olarak kabul edilmiştir.

**Danışman:** Prof. Dr. Ercan ERDİŞ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, İskenderun Teknik Üniversitesi  
Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum/~~onaylamıyorum.~~

**İkinci Danışman:** Dr. Öğr. Üyesi Devrim Murat YAZAN

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Twente Üniversitesi  
Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum/~~onaylamıyorum.~~

**Başkan:** Prof. Dr. Emel ORAL

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Çukurova Üniversitesi  
Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum/~~onaylamıyorum.~~

**Üye:** Doç. Dr. Hilmi COŞKUN

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, İskenderun Teknik Üniversitesi  
Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum/~~onaylamıyorum.~~

**Üye:** Doç. Dr. Gülgün MISTIKOĞLU

Mimarlık Anabilim Dalı, Mustafa Kemal Üniversitesi  
Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum/~~onaylamıyorum.~~

**Üye:** Dr. Öğr. Üyesi Abdulkadir BUDAK

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi  
Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum/~~onaylamıyorum.~~

Tez Savunma Tarihi: 24/01/2020

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Doktora Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

Prof. Dr. Tolga DEPCİ  
Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü V.



## ETİK BEYAN

İskenderun Teknik Üniversitesi Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez üzerinde Yükseköğretim Kurulu tarafından hiçbir değişiklik yapılamayacağı için tezin bilgisayar ekranında görüntülediğinde asıl nüsha ile aynı olması sorumluluğunun tarafıma ait olduğunu,
- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

24/01/2020  
Olcay GENÇ



DOĞADAN İLHAM ALAN SÜRDÜRÜLEBİLİR EKO-ENDÜSTRİYEL PARK  
GELİŞİMİ VE TASARIMI  
(Doktora Tezi)

OlcaY GENÇ

İSKENDERUN TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Ocak 2020

ÖZET

Endüstriyel simbiyozun somut gerçeklerinden biri, yan ürün/atık değişimlerinin teşvik edildiği, böylece kaynak verimliliğinin iyileştirilebileceği ve çevresel etkilerin en aza indirilebileceği eko- endüstriyel parklardır. Dünyada pek çok sanayi bölgesi olmasına rağmen bunların çoğu, bu sanayi bölgelerinde yer alan endüstriler arasındaki simbiyotik ilişki yokluğu veya yetersizliği nedeniyle henüz eko-endüstriyel parklar olarak nitelenememektedir. Sıfırdan yüksek maliyetli ve tahmin edilemeyen riskler barındıran eko-endüstriyel parklar inşa etmek yerine, mevcut sanayi bölgelerini eko-endüstriyel parklara dönüştürmek daha stratejik bir yaklaşım olacaktır. Bunun yanında, yeni kurulması planlanan sanayi bölgeleri eko-endüstriyel parklar şeklinde tasarlanabilir. Bu tez çalışmasının amacı, biyomimikri ve sürdürülebilirlik ilkeleri doğrultusunda endüstriyel simbiyoz anlayışını benimseyerek, Türkiye'deki sanayi bölgelerinin eko-endüstriyel parklara dönüşebilme potansiyelini araştırmak ve yeni kurulması planlanan sanayi bölgelerinin eko-endüstriyel parklar şeklinde tasarlanabilmesi için inşaat endüstrisi özelinde teorik prototip bir eko-endüstriyel park tasarlamaktır.

Sosyal ağ analizi ve besin ağı analizi, uygulanabilir endüstriyel simbiyoz ilişkileri açısından simbiyotik ağ konfigürasyonlarındaki farklılıkları değerlendirmeyi sağlar ve eko- endüstriyel parkların esnekliğini, fazlalık etkisini, bağlanabilirliğini ve döngüsellliğini analiz etmeye yardımcı olur. Yöntemin kullanımı, Türkiye'deki sanayi bölgelerinden birinde bir vaka çalışması olarak gösterilmiştir. Sanayi bölgesindeki tesislerin gelecekteki potansiyel ilişkilerini içeren dört potansiyel gelecek senaryosu önerilmiştir. Bu senaryolar, mevcut konfigürasyon ile karşılaştırılmıştır. Sonuçlar; esnekliğin, katılımcı tesislerin sayısının ve bunlar arasındaki simbiyotik etkileşimlerin, sanayi bölgesinde farklı potansiyel gelecek senaryoları uygulayarak arttığını göstermektedir. İnşaat endüstrisi özelinde eko-endüstriyel park tasarımı için, inşaat sektörüne üretim yapan tesisler ile sektörden atık alan ve atık veren sektörler de tespit edilmiş ve iki adet veri seti oluşturulmuştur. Veri setleri ile doğadan esinlenerek belirlenen amaç ve kısıtlar kullanılarak matematik modeller oluşturulmuş ve optimizasyon yapılarak dört adet teorik potansiyel eko-endüstriyel park tasarlanmıştır. Sonuç olarak, tasarlanan eko-endüstriyel parkların doğanın bazı sürdürülebilir özelliklerini takip ettiği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler : Besin ağı analizi, biyomimikri, döngüsel ekonomi, eko-  
endüstriyel park, endüstriyel simbiyoz, sosyal ağ analizi, sürdürülebilirlik  
Sayfa Adedi : 124  
Danışman : Prof. Dr. Ercan ERDİŞ  
İkinci Danışman : Dr. Devrim Murat YAZAN

# BIO-INSPIRED SUSTAINABLE ECO-INDUSTRIAL PARK DEVELOPMENT AND DESIGN

(Ph. D. Thesis)

Olcay GENC

ISKENDERUN TECHNICAL UNIVERSITY  
ENGINEERING AND SCIENCE INSTITUTE

January 2020

## ABSTRACT

One of the concrete examples of industrial symbiosis development is eco-industrial parks, which improves resource efficiency and minimizes environmental impacts by adopting models for waste exchanges between industries. Despite past efforts, many industrial zones around the world are not yet considered as eco-industrial parks because of the low number (or total lack) of symbiotic relationships among industries. A promising strategy is to develop those existing industrial zones into eco-industrial parks. Besides, future industrial zones can be designed as eco-parks. The objectives of this study are to investigate the improving possibility of industrial zones towards eco-industrial parks and to design a theoretical bio-inspired construction industry eco-industrial park.

In order to assess the improving possibility of industrial zones towards eco-industrial parks, this study demonstrates such an assessment approach using an integration of food web analysis and social network analysis to show how to assess the environmental and economic improvement between the current and future potential configurations of an industrial zone. These two methods can assist in assessing differences in network configurations with respect to potential implementations of industrial symbiosis, and in analysing the resilience, redundancy, connectance, and cyclicity of eco-parks. The use of the methods is illustrated in a case study of an industrial zone in Turkey. Four potential future scenarios are proposed including potential future co-location of companies in the industrial zone in order to foster industrial symbiotic network formation. These scenarios are compared with the current configuration. The results indicate the method's ability to assess the resilience of an industrial network. To design the theoretical bio-inspired construction industry eco-industrial parks, two datasets containing construction related sectors and the sectors that send/receive waste/by-products to/from the construction industry are created. Then, mathematical models are created using the data sets, bio-inspired objectives and constraints, and finally four theoretical potential eco-industrial parks are obtained. The results show that the designed eco-industrial parks follow some sustainable properties of natural ecosystems as a result of implementing the industrial symbiosis.

Key Words : Biomimicry, circular economy, eco-industrial park, food web analysis, industrial symbiosis, social network analysis, sustainability  
Page Number : 124  
Supervisor : Prof. Dr. Ercan ERDIS  
Second Supervisor : Dr. Devrim Murat YAZAN

## TEŞEKKÜR

Öncelikle bu tez çalışmasını yapmam için bana kuvvet veren Yüce Yaradan'a sonsuz şükranlarımı sunarım. Tez danışmanım Prof. Dr. Ercan ERDİŞ'e, ikinci danışmanım Dr. Devrim Murat YAZAN'a, tez konusu belirlenmesi sırasında hiç tanışmamamıza rağmen bilgilerini ve değerli zamanlarını benden esirgemeyen Prof. Dr. Julian VINCENT, Prof. Dr. Marc WEISSBURG ve Dr. John REAP'e teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmama güvenerek bana Doktora Sırası Yurt Dışı Araştırma Bursu (2214-A) sağlayan TÜBİTAK'a, çalışmada kullanılan verilerin araştırılması ve sağlanmasında yardımcı olan Dr. Öğr. Üyesi Vahit ÇALIŞIR ve Doğu Akdeniz Kalkınma Ajansı (DOĞAKA)'na , bana okullarımı açarak çalışmalarımı yapmama izin veren Twente Üniversitesine, Hollanda'da yaptığım çalışmalar sırasında tez çalışmama yaptıkları unutamayacağım çok değerli katkılarından dolayı Dr. Atıl KURT ve Guido van CAPELLEVEEN'e, sıkıştığım zamanlarda sorularıma cevap vererek çalışmama katkıda bulunan Dr. Astrid LAYTON'a, Hollanda'da bulunduğum süre içerisinde maddi-manevi desteklerini her daim yanımda hissettiğim Cem GÜNAL ve Mehmet FAKIOĞLU ağabeylerim ile saygıdeğer eşlerine, beni büyütüp yetiştiren ve her daim desteklerini arkamda hissettiğim babam Ali GENÇ ve annem Sevim GENÇ'e, kız kardeşlerime, şirinliği ile her günümü aydınlatan biricik yavrum Mehmet Affan'a ve çalışmama destek veren burada isimlerini saymadığım herkese teşekkürlerimi sunarım.

## İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET .....	iv
ABSTRACT .....	v
TEŞEKKÜR .....	vi
İÇİNDEKİLER .....	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ .....	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	x
SİMGELER VE KISALTMALAR .....	xii
1. GİRİŞ .....	1
2. MATERYAL ve METOT .....	21
2.1. Sanayi Bölgelerinin Eko-Parklara Doğru Geliştirilmesi .....	21
2.1.1. Besin ağı analizi.....	21
2.1.2. Sosyal ağ analizi .....	26
2.1.3. Vaka çalışması .....	29
2.2. Eko-Park Tasarımı .....	37
2.2.1. Problem tanımı.....	37
2.2.2. Doğrusal olmayan programlama.....	41
2.2.3. Matematik model .....	44
3. ARAŞTIRMA BULGULARI.....	49
3.1. Sanayi Bölgelerinin Eko-Parklara Doğru Geliştirilmesi .....	49
3.1.1. Temel durum .....	49
3.1.2. Potansiyel gelecek senaryolarının değerlendirilmesi.....	53
3.2. Eko-Park Tasarımı .....	57
3.2.1. İnşaat endüstrisi eko-parkı .....	57



	<b>Sayfa</b>
3.2.2. Karma eko-park.....	71
<b>4. TARTIŞMA</b> .....	<b>90</b>
4.1. Sanayi Bölgelerinin Eko-Parklara Doğru Geliştirilmesi .....	90
4.2. Eko-Park Tasarımı.....	93
<b>5. SONUÇ ve ÖNERİLER</b> .....	<b>97</b>
<b>KAYNAKLAR</b> .....	<b>111</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ</b> .....	<b>119</b>



## ÇİZELGELERİN LİSTESİ

<b>Çizelge</b>	<b>Sayfa</b>
Çizelge 1.1. Biyomimikri düzeyleri.....	3
Çizelge 2.1. Sanayi bölgesi içindeki tesislerin endüstri branşları ve NACE kodları .....	32
Çizelge 2.2. Uygulanabilir potansiyel simbiyotik ilişkiler .....	34
Çizelge 2.3. Gelecek tesisler ve bunlardan atıkları alabilecek potansiyel NACE kodları.....	36
Çizelge 2.4. Endüstriyel tesislerin ürettiği atık tipleri ( $c_{ik}$ ) ile kendi üretimlerinde girdi olarak kullanabilecekleri atık tipleri ( $e_{ik}$ ).....	43
Çizelge 2.5. Tesisler arasındaki besin ağı matrisi [F].....	43
Çizelge 3.1. Temel durumun besin ağı matrisinden hesaplanan besin ağı metrikleri ....	49
Çizelge 3.2. Sanayi bölgesi içindeki tesislerin merkezilik değerleri ve düğüm dereceleri .....	52
Çizelge 3.3. Potansiyel gelecek senaryolarının besin ağı metrik değerleri .....	54
Çizelge 3.4. Rastgele kapasiteli inşaat eko-parkı sektörel dağılımı .....	58
Çizelge 3.5. Rastgele kapasiteli inşaat eko-parkı besin ağı matrisinden hesaplanan besin ağı metrikleri .....	60
Çizelge 3.6. Tasarlanan rastgele kapasiteli inşaat eko-parkı simbiyotik ilişkileri .....	61
Çizelge 3.7. Tam kapasiteli inşaat eko-parkı besin ağı matrisinden hesaplanan besin ağı metrikleri.....	66
Çizelge 3.8. Tasarlanan tam kapasiteli inşaat eko-parkı simbiyotik ilişkileri .....	67
Çizelge 3.9. Rastgele kapasiteli karma eko-park sektörel dağılımı.....	72
Çizelge 3.10. Rastgele kapasiteli karma eko-park besin ağı matrisinden hesaplanan besin ağı metrikleri .....	74
Çizelge 3.11. Tasarlanan rastgele kapasiteli karma eko-park simbiyotik ilişkileri.....	75
Çizelge 3.12. Tam kapasiteli karma eko-park besin ağı matrisinden hesaplanan besin ağı metrikleri.....	82
Çizelge 3.13. Tasarlanan tam kapasiteli karma eko-park simbiyotik ilişkileri.....	83
Çizelge 3.14. 55 biyolojik besin ağının ortalama besin ağı metrik değerleri. ....	88

## ŞEKİLLERİN LİSTESİ

<b>Şekil</b>	<b>Sayfa</b>
Şekil 1.1. Doğrusal ve kapalı döngü sistem .....	5
Şekil 1.2. Kalundborg eko-parkı endüstriyel simbiyoz ağı .....	6
Şekil 1.3. Mevcut ve simbiyotik ilişkilerin uygulanmasından sonra OSB.....	8
Şekil 1.4. Tasarlanan inşaat sektörü eko-parkı.....	8
Şekil 2.1. Varsayımsal besin ağı ve besin ağı matrisi .....	22
Şekil 2.2. Üç tür döngüsellik .....	25
Şekil 2.3. Yönlü ağ örneği.....	27
Şekil 2.4. Sanayi bölgesi içerisindeki atık akışı .....	31
Şekil 2.5. Sanayi bölgesindeki tesisler tarafından üretilen spesifik bir k atığı için simbiyoz veri tabanı kullanılarak senaryo oluşturma adımları.....	36
Şekil 2.6. Örnek problem için dal-sınır ağacı.....	44
Şekil 3.1. Sanayi bölgesindeki tesislerin merkezlilikleri.....	50
Şekil 3.2. Potansiyel gelecek senaryolarının besin ağı metriklerinin temel durumdan yüzde farkları.....	53
Şekil 3.3. Potansiyel gelecek senaryolarının sosyal ağ metrik ortalamalarının temel durum ortalamasından yüzde farkları .....	55
Şekil 3.4. Sanayi bölgesindeki tesislerin senaryo bazlı merkezilik değişiklikleri.....	56
Şekil 3.5. Rastgele kapasiteli inşaat eko-parkı simbiyotik ağı ve besin ağı matrisi .....	60
Şekil 3.6. Rastgele kapasiteli inşaat eko-parkı yerleşim planı .....	64
Şekil 3.7. Tam kapasiteli inşaat eko-parkı simbiyotik ağı ve besin ağı matrisi .....	66
Şekil 3.8. Tam kapasiteli inşaat eko-parkı besin ağı metriklerinin rastgele kapasiteli inşaat eko-parkı besin ağı metriklerinden yüzde farkı .....	69
Şekil 3.9. Tam kapasiteli inşaat eko-parkı yerleşim planı.....	70
Şekil 3.10. Rastgele kapasiteli karma eko-park simbiyotik ağı ve besin ağı matrisi .....	74
Şekil 3.11. Rastgele kapasiteli karma eko-park yerleşim planı.....	80

<b>Şekil</b>	<b>Sayfa</b>
Şekil 3.12. Tam kapasiteli karma eko-park simbiyotik ağı ve besin ağı matrisi.....	82
Şekil 3.13. Tam kapasiteli karma eko-park besin ağı metriklerinin rastgele kapasiteli karma eko-park besin ağı metriklerinden yüzde farkı.....	86
Şekil 3.14. Tam kapasiteli karma eko-park yerleşim planı .....	87
Şekil 3.15. Tasarlanan eko-parkların besin ağı metriklerinin biyolojik besin ağı metrik ortalamalarından yüzde farkı.....	89



## SİMGELER ve KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

<b>Simgeler</b>	<b>Açıklamalar</b>
[A]	Besin ağı matrisinin transpozu
[F]	Besin ağı matrisi
BC	Arasındalık merkeziliği
$b_i$	i. kısıtın sağ taraf sabiti
C	Bağlılık
$c_{ik}$	k atığının i tesisi tarafından üretilebileceği
D	Derece
DC	Derece merkeziliği
$D_{dış}$	Dış derece
$D_{iç}$	İç derece
$d_{pp'}$	p ile p' arasındaki mesafe
$e_{ik}$	k atığının i tesisi tarafından alınabileceği
$f(x)$	Amaç fonksiyonu
$F_{ijk}$	i tesisinin ürettiği k atığını j tesisine gönderdiği
G	Genelleştirme
$g_i(x)$	i. kısıtın ifadesi
i, j	Tesis indisleri
k	Atık indisleri
K	Atık sayısı
$L_D$	Bağlantı yoğunluğu
M	Yeterince büyük pozitif bir sayı
N	Tesis sayısı
$N_{av}$	Av sayısı
$N_{avc1}$	Avc1 sayısı
$N_L$	Bağlantı sayısı
$p, p'$	Lokasyon indisleri
$P_r$	Av-Avc1 oranı
$S_{ij}$	i tesisinin atığının j tesisi tarafından alınabileceği
$S_R$	Tür zenginliği

**Simgeler****Açıklamalar****V**

Kırılganlık

**V<sub>j</sub>** $\lambda_{\max}$  öz vektörünün elemanları**w<sub>k</sub>**

k atığının maliyet ağırlığı

**X**

Karar değişkenleri vektörü

**Y<sub>i</sub>**

i tesisinin eko-parka açılıp açılmaması

 **$\lambda^*_{\max}$** 

Tüm olasılıkların olduğu maksimum döngüsellik

 **$\lambda_{\max}$** 

Döngüsellik

 **$\sigma_{ij}$** 

Toplam en kısa yol sayısı

 **$\sigma_{ij}(k)$** 

En kısa yollardan k düğümünden geçenlerin sayısı

**Kısaltmalar****Açıklamalar****AB**

Avrupa Birliği

**BAA**

Besin Ağı Analizi

**DE**

Döngüsel Ekonomi

**Eko-Park**

Eko-Endüstriyel Park

**ES**

Endüstriyel Simbiyoz

**ESA**

Endüstriyel Simbiyoz Ağı

**EWC**

Avrupa Atık Kataloğu

**KBDSS**

Bilgi Tabanlı Karar Destek Sistemi

**NACE**

Avrupa Ekonomik Faaliyetlerin İstatistikî Sınıflaması

**SB**

Sanayi Bölgesi

**SAA**

Sosyal Ağ Analizi

**TÜ**

Temiz Üretim

**WCED**

Dünya Çevre ve Kalkınma Komisyonu

## 1. GİRİŞ

İnsan aktivitelerinin bir sonucu olarak, dünya kaynaklarının birçoğunun tükenmeye doğru ilerlediği konusunda giderek artan bir fikir birliği vardır. Yenilenemeyen doğal kaynakların bu şekilde hızlı tükenmesi, insanoğlunu üretim süreçlerinde kullanmak üzere alternatif kaynaklar ve yöntemler aramaya teşvik etmiştir. Doğada, bu kaygıları giderecek dersler ve tavsiyeler bulunmasına rağmen, kaynakların tüketilmesini azaltacak nitelikte yenilikler yeterince hızlı bir şekilde ortaya çıkmamaktadır [1]. Bilinen en eski taşın 3.8 milyar yıldır var olduğundan yola çıkarak elde ettiğimiz yaklaşık dünya yaşı, doğanın sürdürülebilirlik konusundaki başarısını göstermektedir [2, 3]. Toplumların yıkıcı olmak yerine yapıcı bir seviyeye ulaşmasının yolu; uzun yıllar boyunca var olan doğanın düzenini anlamak ve ondan alınan ilhamları, ürün ve üretim ağı geliştirmede uygulamaktan, tüm üretim süreçlerinde yenilenebilir veya geri dönüştürülebilir kaynak kullanımına yönelmekten, atıkları üretim sürecinde tekrar kullanmaktan ve en nihayetinde doğanın sunduğu kaynakları kendiliğinden yenilenebilmelerine olanak tanıyacak hızda kullanmaktan yani sürdürülebilirlikten geçmektedir.

### Sürdürülebilirlik

Son yıllarda, dünyada yaşanan iklimsel ve çevreyle ilgili değişimlerin etkileri ve nedenleri birçok kavramla birlikte sürdürülebilirlik kavramının da görünürlüğünü arttırmıştır. Sürdürülebilirlik kavramı genel anlamıyla belirsiz bir süre boyunca bir durum veya sürecin sürdürülebilme kapasitesini ifade eder. Bu genel anlamıyla sürdürülebilirlik, birçok farklı şekillerde algılanabilmekte ve tanımlanabilmektedir. Sürdürülebilirlik, temelde ekoloji ve ekolojik sistemlerin fonksiyonlarını, süreçlerini ve üretkenliğini gelecekte de devam ettirebilme yeteneği olarak algılanmaktadır [4]. Sosyal açıdan sürdürülebilirlik, bugünkü insan neslinin ihtiyaçlarını gelecek kuşakların ihtiyaç karşılama olanaklarını zedelemeyen karşılamak olarak ifade edilebilir [5]. “Sürdürülebilir Gelişme” terimi ilk defa 1970 yılında H. Brundtland tarafından tanıtılmış, 1989 yılında Dünya Çevre ve Kalkınma Komisyonu (WCED) tarafından yayımlanan “*Our Common Future*” isimli raporla birlikte kullanılmaya başlanmış ve 1992 yılında Rio’da yapılan Birleşmiş Milletler Dünya Zirvesinde de desteklenmiştir [6]. Kavram, ekonomi açısından değerlendirildiğinde, sürdürülebilir gelişme kavramıyla birlikte ele alınarak, Döngüsel Ekonomi (DE) yaklaşımı ile tanımlanabilir. Bu yaklaşımda amaç, üretim faaliyetlerinin çevreye olan etkilerinden

sorumlu olmak, üretim sürecinde yenilenebilir kaynaklara yönelmek, kaynakların kullanımları sırasında maksimum değeri elde etmek için mümkün olduğunca uzun süre kullanılmasını sağlamak ve her kullanılabilir ömürleri sonunda ürün ve malzemeleri geri kazanarak yeniden ürün üretmektir. Son yıllarda, DE'nin bu yeni konsept ve büyüme modeli dünya çapında dikkat çekmiş [7–10], sıfır atık toplum ve ekonomiyi hedefleyen eko-inovasyon modeli için öncü bir ilke olarak kabul edilmiştir [11–13]. Sürdürülebilirliğin sağlanabilmesi konusu farklı bilim dalları kapsamında birçok boyutuyla ele alınmaktadır. Uygulama açısından, işletme faaliyetleri içinde, özellikle üretim süreçlerinin yönetilmesinde mevcut teori ve yaklaşımların bir çatı altında toplanıp irdelenmesi gereği ortaya çıkmıştır [14].

### Biyomimikri

Doğa; tasarım hatalarını minimumda tutan, tasarımı için en uygun malzemeyi seçen, geri dönüşüm sağlayan ve koşullara göre değişmesi gereken özellikleri yeniden gözden geçirebilen büyük bir işletmedir. Doğanın bilgileri ışığında tasarım yaptığımız takdirde, çevre ve yaşam kalitelerinde iyileşme kaçınılmazdır. Doğadan esinlenme olarak da bilinen, etimolojik olarak incelendiğinde *bios* (yaşam) ve *mimesis* (taklit etmek) den gelen Biyomimikri kavramı, ilk olarak Janine M. Benyus tarafından 1990'ların sonuna doğru tanımlanmış ve literatüre kazandırılmıştır. Biyomimikri; doğanın modellerini, sistemlerini, oluşum süreçlerini ve elementlerini inceleyen, elde ettiği bilgileri taklit ederek ya da ilham alarak yararlanan, problem çözmeye yönelik bir bilim dalıdır [2]. Her ne kadar yeni bir bilim dalı olarak kabul edilse de, insanoğlu çok eski zamanlardan bu yana doğayı taklit etme çabası içerisinde olmuştur. Buna örnek olarak, Leonardo Da Vinci'nin kuşlardan esinlenerek tasarladığı ve çizimi yaklaşık olarak 1487-1490 yıllarına rastlayan kanat tasarımı verilebilir [15].

Tasarım sürecinde biyomimetik yaklaşımlar iki kategoriye ayrılır.

- İnsan ihtiyaçlarını ve tasarım problemlerini tanımlayıp, bu problemleri çözmek için doğaya bakmak (biyolojiye sorma).
- Spesifik bir organizmanın ya da ekosistemin karakteristiğini, davranışını ve fonksiyonunu tanımlayıp bunu insan tasarımlarına uyarlamak (biyolojiden öğrenme).



Üç çeşit biyomimikri düzeyi vardır. Bunlar; bir organizmanın kendisi, davranışı ve yaşadığı ekosistemdir. Bu üç sınıfın içerisinde de; şekil, malzeme, inşa, proses ve fonksiyon olmak üzere 5 olası boyut vardır. Çizelge 1.1’de, biyomimikri düzey ve boyutları, termitleri (akkarınca) taklit ederek tasarlanması planlanan bir bina örneği üzerinden açıklanmaktadır [16].

Çizelge 1.1. Biyomimikri düzeyleri [16]

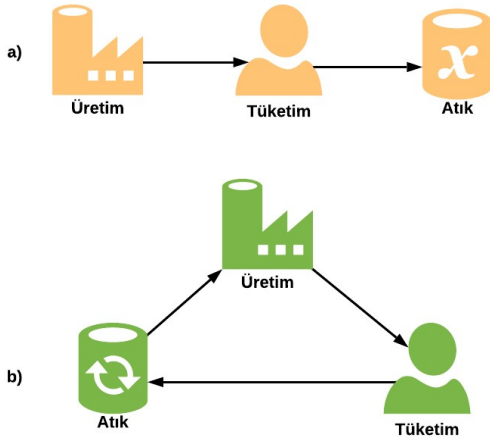
<b>Biyomimikri Düzeyi</b>	<b>Örnek-Termitleri taklit eden bir bina</b>	
<b>Organizma Düzeyi (Belirli bir organizmanın taklidi)</b>	Şekil	Bina, bir termite benziyor.
	Malzeme	Bina, bir termit ile aynı malzemeden yapılır; örneğin termitin dış iskeletini / derisini taklit eden bir malzemeden.
	İnşa	Bina, bir termitin oluşma-gelişme şekline göre yapılır; örneğin çeşitli büyüme döngülerinden geçer.
	Fonksiyon	Bina, bireysel bir termit ile aynı şekilde çalışır; örneğin meta-genomik yoluyla verimli bir şekilde hidrojen üretir.
<b>Davranış Düzeyi (Bir organizmanın nasıl davrandığının veya çevresiyle ilişkisinin taklit edilmesi)</b>	Şekil	Bina, bir termit tarafından yapılmış gibi görünür; örneğin bir termit yuvasının replikası.
	Malzeme	Bina, bir termitin yuvasını oluşturduğu malzeme ile aynı malzemeden yapılır; örneğin birincil malzeme olarak ince toprak kullanarak.
	İnşa	Bina, bir termitin yuvasını inşa ettiği şekilde yapılır; örneğin zeminde belirli zamanlarda belirli yerlere kazık çakarak.
	Fonksiyon	Bina, bir termit yuvası ile aynı şekilde çalışır; örneğin çevreye uyum sağlama, şekil, malzeme seçimi ve doğal havalandırma ile veya termitlerin birlikte nasıl çalıştığını taklit ederek.
<b>Ekosistem Düzeyi (Bir ekosistemin taklidi)</b>	Şekil	Bina, bir ekosisteme benzer; örneğin bir termitin içinde yaşayabileceği bir ekosistem.
	Malzeme	Bina, termit ekosistemin yapıldığı aynı türden malzemelerden yapılır; örneğin birincil kimyasal madde olarak, doğal olarak oluşan ortak bileşikleri ve suyu kullanır.
	İnşa	Bina, bir termit ekosistemi ile aynı şekilde yapılır; örneğin, ardışıklık ve zaman içindeki karmaşıklık artırma prensipleri kullanılır.
	Fonksiyon	Bina, bir termit ekosistemi ile aynı şekilde çalışır; örneğin enerjiyi güneşten alır ve dönüştürür, suyu depolar.
		Bina, bir termit ekosistemin gösterdiği gibi bir fonksiyon gösterir ve prosesler arasındaki ilişkileri kullanarak karmaşık bir sistemin parçası olur; örneğin ekosisteme benzer bir şekilde hidrolojik, karbon ve azot döngülerine katılabilir.

Biyomimikrinin bir düzeyi olan ekosistem düzeyini taklit etme, günümüzün endüstri dünyasında kendisini *endüstriyel simbiyoz* tanımıyla göstermektedir.

### Endüstriyel simbiyoz

Endüstriyel simbiyoz (ES), DE'ye katkıda bulunan ve kaynakların sürdürülebilir kullanımını teşvik eden anahtar strateji olarak kabul edilen yöntemlerden biridir. ES; ekonomik, çevresel veya sosyal rekabet avantajı elde etmek amacıyla, farklı endüstrileri, malzeme, enerji ve hizmetlerin fiziksel olarak değişimini içererek, rekabet avantajına yönelik bir yaklaşımla birbirine bağlayan endüstriyel ekolojinin bir alt dalıdır [17, 18]. Endüstriyel simbiyoz temel olarak, bir firma tarafından üretilen atıkların, diğer firmalar tarafından üretim girdilerinin yerini almak için veya yeni ürünler üretmek için kullanılabilmesi prensibine dayanır. Bu prensibe göre firmalar, girdileri atıklarla değiştirerek, üretim verimliliklerini arttırabilir, aynı zamanda çevresel ve sosyal faydalar yaratmak için ekonomik avantajlar da elde edebilirler [19].

ES'un temel amacı, şirketler arasında, sistemin bütününde ölçülebilen sürdürülebilirliği ve verimliliği arttırmak amacıyla, tüm üretim süreçleri boyunca malzeme ve enerji akışı sağlayan ilişkiler kurmak [20] ve böylece, insan üretiminin ve tüketiminin tüm alanlarında doğrusal sistemden kapalı döngü sisteme geçmektir. Doğrusal sistemde üret-tüket-at prensibi benimsenmişken, kapalı döngü sistemde atık tekrar üretim prosesine sokularak böylece hammadde ve kaynağa bağımlılık azaltılmış, çevreye verilen zarar minimuma indirgenmiş olur (Şekil 1.1). Bu analogik yaklaşımın en geniş uygulaması, üretim komplekslerini "endüstriyel ekosistemler" olarak tanımlamaktır. Endüstriyel ekosistemler, endüstriyel bölgelerde yerel olarak kapalı devre sistemleri geliştirmek için somut bir strateji oluşturur. Endüstriyel ekoloji, endüstriyel sistemlerin yeniden tasarlanmasını yönlendirmek için doğal ekosistemlerin tasarımını kullanmayı önerir. Bu şekilde endüstri dünyası da ekolojik bir modele yaklaşmış olur.



Şekil 1.1. a) Doğrusal sistem b) Kapalı döngü sistem

Endüstriyel ekoloji alanının gelişmesi, yerel, bölgesel ve küresel ekonomiler aracılığıyla, malzeme ve enerji akışına kararlı bir şekilde özen gösterilmesine bağlıdır. Endüstriyel simbiyozun iki ana anahtarı ise, iş birliği ve coğrafi yakınlığın sunduğu sinerjik olasılıklardır. Aralarında simbiyotik ilişki bulunan şirketlerin toplandığı ağ Endüstriyel Simbiyoz Ağı (ESA) olarak adlandırılır. Bu ağlar, eko-endüstriyel parklar (eko-parklar) gibi yukarıdan aşağıya doğru bir yaklaşım modeli benimsenerek tasarlanabileceği gibi, spontane bir şekilde, aralarında simbiyotik ilişki olan firmaların üstlendiği, kendiliğinden gelişen bir süreçle aşağıdan yukarıya yaklaşımıyla da tasarlanabilir [21, 22].

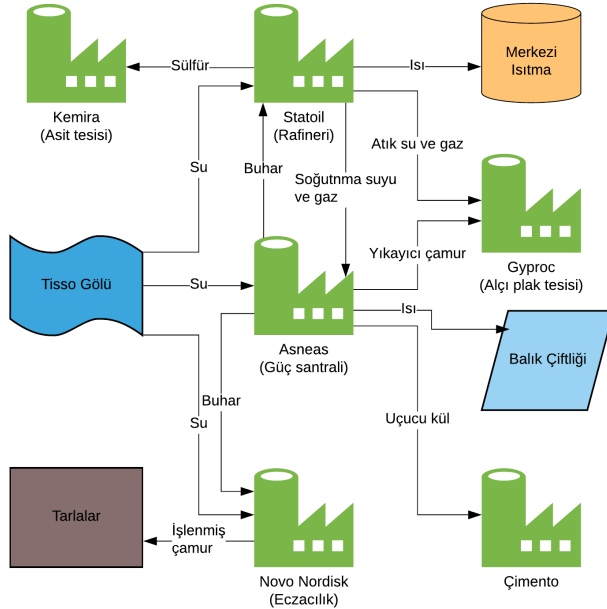
#### *Kendiliğinden gelişen endüstriyel simbiyoz*

Burada herhangi bir jenerik firma diğer firmalarla, merkezi bir kurum tarafından herhangi bir kasıtlı planlama yapılmadan, ekonomik performansını arttırmayı ve rekabet avantajı elde etmeyi amaçlayan endüstriyel simbiyoz ilişkilerini kurmaya karar verir (diğer bir deyişle, diğer firmalara/diğer firmalardan atık göndermek/atık almak vb.) [23, 24]. Birincil girdiler için atık alışverişi yapılarak, firmalar üretim verimliliğini artırabilir, atık bertaraf maliyetlerini ve girdi satın alma maliyetlerini de azaltabilirler [19].

#### *Dizayn edilen endüstriyel simbiyoz: Eko-endüstriyel parklar*

Eko-parklar, endüstriyel simbiyoz kavramının somut gerçekleri olarak görülmektedir. Son yıllarda, kendi kendine gelişen ES ağlarının birçok avantaj ürettiğinin fark edilmiş olmasına rağmen, ES'un bazı uygulamaları eko-parklarda geliştirilmiştir [17, 25, 26]. Endüstriyel simbiyoz ağı modeli ilk olarak Danimarka'nın Kalundborg kentindeki eko-endüstriyel parkta gerçekleştirilmiştir [27–29] (Şekil 1.2). Her ne kadar ilk başta

kendiliğinden gelişen simbiyoz olarak başlasa da ilerleyen zamanlarda birbiriyle atık alışverişinde bulunabilecek tesislerin bölgeye kurulması ile, Kalundborg eko-park halini almıştır. Eko-park, ortak bir mülk üzerinde bir arada bulunan üretim ve hizmet işletmeleri topluluğu olarak nitelendirilebilir [30–33]. Bir eko parkta faaliyet gösteren işletmeler, çevre ve kaynak sorunlarını yönetmede iş birliği yaparak, gelişmiş çevresel, ekonomik ve sosyal performans arayışındadır. Bu işletmeler topluluğu, birlikte çalışarak, her bir işletmenin sadece bireysel performansını optimize ederek gerçekleştirecekleri bireysel faydaların toplamından daha büyük bir fayda amaçlarlar. Bir eko-parkın amacı, birbiri ile atık, yan ürün ve enerji alışverişinde bulunabilecek farklı sektörlerden firmaları tespit edip bir plan çerçevesinde bir alanda toplamak ve böylece bu firmalar arasında kaynak alışverişini sağlayarak [34], [35], katılımcı firmaların ekonomik performanslarını arttırırken çevresel etkilerini de en aza indirmektedir [36–38]. Bu yaklaşımın bileşenleri arasında, eko-park altyapısının ve tesislerinin sürdürülebilir tasarımı, daha temiz üretim, kirlilik önleme, enerji verimliliği ve şirketler arası simbiyotik iş birliği yer alır. Bir eko endüstriyel parkın geliştirilmesinin net etkisinin pozitif olması için, eko-parklar, ayrıca çevresindeki yerleşkeler için de fayda arayışı içerisindedirler [30].



Şekil 1.2. Kalundborg eko-parkı endüstriyel simbiyoz ağı (Kaynak [17]'den yararlanılarak üretilmiştir)

## Tezin amacı, önemi ve kapsamı

Dünyada pek çok sanayi bölgesi olmasına rağmen, bu sanayi bölgelerinin çoğu, içlerinde bulunan endüstriler arasındaki simbiyotik ilişkilerin azlığı veya yokluğu nedeniyle eko-park olarak kabul edilmemektedir [39, 40]. Sıfırdan yüksek maliyetli ve öngörülemeyen bazı riskleri içerisinde barındıran eko-parklar inşa etmektense, mevcut sanayi bölgelerini eko-parklara dönüştürmek daha stratejik ve uygun bir yaklaşım olacaktır [18]. Bu, mevcut sanayi bölgelerindeki endüstrilerin yeniden yapılandırılması ve keşfedilen potansiyel simbiyotik ilişkilerin uygulanması ve ile mümkün olabilir [41]. Bunun yanında, yeni kurulması planlanan sanayi bölgeleri eko-parklar şeklinde tasarlanabilir. İnşaat endüstrisine malzeme sağlayan sektörler dünyada üretim sektörlerinde çoğunluk olarak önemli bir yere sahiptir. Dolayısıyla bu sektörlerin üretim süreçlerinde meydana çıkardıkları atıklar da toplamda diğer sektörlerle nazaran fazla olmaktadır. Bu nedenle aşağıda belirtilen tezin ikinci amacına ulaşmada inşaat sektörünü temel almak doğru olacaktır.

Ülkemizde henüz eko-park mevcut değildir. Eko-parklara alt yapı bakımından en uygun oluşumlar Sanayi Bölgeleri (SB)'dir.

Bu araştırmanın, biyomimikri ve sürdürülebilirlik ilkeleri doğrultusunda ve endüstriyel simbiyoz anlayışı çerçevesinde, temel olarak iki amacı bulunmaktadır:

- Türkiye'deki sanayi bölgelerinin eko-parklara dönüşebilme potansiyelini araştırmak.
- Yeni kurulması planlanan sanayi bölgelerinin eko-parklar şeklinde tasarlanabilmesi için inşaat sektörü özelinde teorik prototip bir eko-park tasarlamak.

Bu sayede:

- ✓ Hangi sektörün atığı/yan ürünü başka bir sektörün hammaddesi/girdisi olabileceğinin tespiti,
- ✓ Hangi sektörler arasında sıfır atık prensibine dayalı kapalı bir döngü oluşturulabileceğinin tespiti,



Keşfedilen simbiyotik ilişkilerin uygulanmasının, sanayi bölgelerindeki endüstriyel ağların sürdürülebilirliği üzerinde olumlu bir etkisinin olup olmadığını ölçmek zorlu bir iştir. Ağ analizi, ağ yapılandırması ile karakterize edilen göstergelerle sürdürülebilirlik konusundaki iyileştirmeleri yakalayabilen yöntemlerden biri olarak önerilmektedir [42]. Bu çalışmanın birinci amacına ulaşmada, endüstriyel simbiyoz ağlarının mevcut ve gelecekteki yapılandırmalarının sürdürülebilirliğini değerlendirmek için, besin ağı analizi (BAA) ve sosyal ağ analizinin (SAA) entegrasyonu metodolojik olarak önerilmiştir. Literatürdeki çalışmalar, BAA ve SAA'nin hâlihazırda mevcut bulunan eko-parkların durumunu değerlendirmek için etkili yöntemler olduğunu göstermektedir. Bununla birlikte literatür, gelecekteki simbiyotik fırsatların değerlendirilmesi için her iki yöntemin entegrasyonunun potansiyel gücünü ele almamaktadır. Endüstriyel simbiyoz ağlarını değerlendirmek için birçok vaka çalışmaları yapılmasına rağmen, bu çalışmaların çoğunda, uygulanabilmesi olası olan potansiyel endüstriyel simbiyoz ilişkilerinin değerlendirilmesine yer verilmeden hâlihazırdaki simbiyotik ilişkilerin durumları ele alınmaktadır. Çalışmanın ilk amacını gerçekleştirmek için, Türkiye'deki sanayi bölgelerinin birinde bir vaka çalışması yaklaşımı benimsenmiştir. Sanayi bölgesinin eko-parka dönüşebilirliğini değerlendirmek amacıyla bölgenin mevcut durumu, keşfedilen potansiyel simbiyotik ilişkilerin varsayımsal olarak uygulandığı dört potansiyel atık akışı senaryosuyla BAA ve SAA'nın entegrasyonu kullanılarak karşılaştırılmış ve tasarlanan potansiyel atık akışlarının sürdürülebilirliği, BAA ve SAA metrikleri ışığında değerlendirilmiştir.

Çalışmanın ikinci amacını gerçekleştirmek içinse, Türkiye'de henüz eko-park bulunmamasından ve literatürde uygulanabilecek genel bir eko-park prototip çalışması mevcut olmadığından dolayı, bu eksikliği gidermek için inşaat sektörü özelinde teorik bir eko-park tasarım çalışması yapılmıştır. Bu amaç doğrultusunda, ilk aşamada inşaat sektörü ile ilgili simbiyotik ilişkiler, literatür ve sektör özelinde toplanan veriler kullanılarak tespit edilmiştir. Bu ilişkiler tespit edilirken sadece inşaat sektörüne üretim yapan tesisler değil ayrıca inşaat sektöründen atık alan ve sektöre atık veren sektörler de tespit edilmiştir. Sadece inşaat sektörüne malzeme üreten tesislerin yer aldığı 1. veri seti ile inşaat sektörüne malzeme üreten tesislerin yanında inşaat sektörüne atık veren ve sektörden atık alan tesislerin de yer aldığı 2. veri seti oluşturulmuştur. Daha sonra veri setleri ve belirlenen amaç ve kısıtlar kullanılarak matematik modeller oluşturulmuş ve

optimizasyon yapılarak 4 adet teorik potansiyel inşaat endüstrisi eko-parkı tasarlanmıştır. Tasarlanan eko-parklar daha sonra besin ağı metrikleri kullanılarak birbirleri ile ve doğal ekosistemler ile kıyaslanmıştır.

### Kabuller ve kısıtlar

Bu tez çalışmasının ana kabulü, doğal ekosistemlerin kendi yapılarından ötürü sürdürülebilir olduğu, dolayısıyla doğal ekosistemlerin davranışı taklit edilerek tasarlanan endüstriyel sitemlerin de doğanın sürdürülebilir işleyişine yaklaşacağıdır. Tez kapsamında kullanılan doğal ekosistemlere ait verilerde bazı hatalar olabilir. Tez yazarının ekoloji uzmanlığı olmadığından ötürü, çalışma sonuçları ve doğal ekosistem kıyaslamaları yapılırken, doğal ekosistemlere ait literatür bilgileri olduğu gibi kullanılmıştır. Tez çalışmasının iki amacına da ulaşmak için potansiyel simbiyotik ilişkileri tespit etmede kullanılan veri tabanında bazı hatalar olabilir. Veri tabanının hazırlanması aşamasına dahil olunmadığı için bu hataları bilebilmek mümkün değildir. Veri tabanı Avrupa Birliği Projesi kapsamında oluşturulduğundan dolayı güvenilir olduğu ve sunduğu simbiyotik ilişkilerin uygulanabilir olduğu kabul edilmiştir. Simbiyotik ilişkilerde kullanılan atıkların kalitesi ve miktarı bu ilişkilerin kurulabilmesi için önemlidir. Bu tez çalışmasında kullanılan verilerde atıkların kalitesi ve miktarı ile ilgili bilgi mevcut değildir. Dolayısıyla, tezin amaçlarına ulaşmak için teorik olarak kurulan simbiyotik ilişkilerde kullanılan atıkların kalite ve miktar bakımından bu ilişkileri kurmak için yeterli olduğu varsayılmıştır. Ayrıca, bazı atıkların kullanılmadan önce bazı iyileştirmelerden geçirilmesi gerekmektedir. Tez çalışması için kullanılan verilerde, simbiyotik ilişkilerde kullanılan atıkların çoğunun atık vericisi veya atık alıcısı tarafından iyileştirildiği bilgisi var olmakla beraber bütün atık çeşitleri için kullanılmadan önce işlemde geçip geçmeyeceği ve geçecekse kim tarafından yapılacağı bilgisi mevcut değildir. Bu yüzden, çalışmada teorik olarak kurulan simbiyotik ilişkilerde, eğer gerekliyse, atık iyileştirme işlemlerinin atık alıcısı veya atık vericisi tarafından yapıldığı varsayılmıştır.

### Önceki çalışmalar

Tez kapsamında, sanayi bölgelerinin eko-parklara dönüşebilme potansiyelini değerlendirmek için metodoloji olarak BAA ve SAA kullanıldığı ve inşaat sektörü özelinde teorik prototip bir eko-park tasarlandığı için, bu kısımda, simbiyotik ağ



değerlendirmelerinde BAA ve SAA kullanan çalışmalar ile farklı sektörler arası simbiyotik işbirliği olanaklarını değerlendirip bu sektörleri birlikte çalışmaya teşvik eden çalışmalar derlenmiştir.

### *Besin ağı analizi (BAA) çalışmaları*

1989’da, Frosch ve Gallopoulos, endüstri literatürüne yeni bir terim kazandırmışlardır: “endüstriyel ekosistem” [43]. Yazarlar, üretim işlemlerinin, hammadde kullanarak ürün ve atık üretilen klasik endüstriyel süreç modelinden entegre bir modele dönüştürülmesini önermişlerdir. Bu modelde, bir prosesin atık/yan ürünleri, bir başka proses için girdi olmakta ve böylece malzeme ve enerji kullanımını optimize edilirken aynı zamanda atık üretimi de en aza indirilmektedir. Endüstriyel ekosistem analojisi, biyolojik ve endüstriyel sistemlerin arasında altı çizilmesi gereken benzerlikler olduğunu vurgulamaktadır [44]. Doğal ekosistem analojisi, çevre ve kaynak sorunlarını çözmek için endüstriyel ekosistemlere uygulanabilir [45, 46]. Endüstriyel ekoloji teorisi, doğal ekosistemlere benzetilerek, biyolojik besin ağlarının yapısını ve özelliklerini taklit edecek şekilde tasarlanan sanayi ağlarının, yine doğayla benzer bir biçimde sürdürülebilir ve verimlilik anlayışına sahip bir durum elde edebileceğini ileri sürmektedir [47]. Besin ağları, doğal ekosistemlerdeki üreticiler (avlar) ve tüketiciler (avcılar) arasındaki trofik bağlantıları göstermektedir ve türler arasındaki ilişkilerin en yaygın olarak bilinen temsili gösterimidir [48]. Besin ağı yaklaşımında, ekolojistler besin ağlarının özelliklerini tahmin etmek için, ağ teorisinden ağırlıklı olmayan yönlü bir ağ kullanırlar [49–52]. Besin ağlarının özelliklerinin birçoğu, hem ekonomik hem de endüstriyel açıdan faydalı olabilir ve emisyon, maliyet ve işlem verimliliğini olumlu yönde etkileyen sonuçları ortaya çıkarabilir [53, 54].

Hardy ve Graedel, var olan ve varsayımsal olarak tasarlanmış olan toplam 18 eko parkın analiz edilip biyolojik besin ağları ile kıyaslanması amacıyla BAA’ni kullanmışlardır [55]. Yazarlar çalışma sonucunda, eko parkların ve besin ağlarının bağlılık değerleri arasında doğrusal bir ilişki olduğunu ifade etmişlerdir.

Reap ve Bras, bir halı fabrikası geri dönüşüm ağı tasarlamak için besin ağı metriklerini kullanmışlardır [56]. Çalışmanın sonucunda yazarlar, biyolojinin halı geri dönüşüm ağı tasarımında rehber olarak kullanmasının sonuçlarda ölçülebilir iyileştirmelere

neden olduğunu vurgulamışlardır.

Layton, Bras ve Weissburg, eko-parklar ve doğal ekosistemler arasındaki benzerlik ve zıtlıkları anlamak için var olan ve varsayımsal olarak tasarlanmış 48 eko parkı, yapısal besin ağı metriklerini kullanarak 144 biyolojik besin ağı ile karşılaştırmıştır [57]. Çalışma sonucunda, eko-parkların çoğunlukla, döngüsel sistemin tasarlanmasında iki önemli etken olan ayrıştırıcılar ve yamyamlıktan yoksun gıda ağları ile benzerlikler taşıdığı vurgulanmıştır.

Layton Bras ve Weissburg, küçük eko parklara göre daha sinerjik ve çevresel açıdan daha başarılı bir eko-park oluşturulabileceği hipotezi ile iki veya daha fazla eko-parkı birleştiren bir eko-park tasarım yaklaşımı sunmuşlardır [58]. Yazarlar, yaklaşımlarının potansiyelini test etmek için BAA'ni kullanmışlardır. Yazarlar çalışmanın sonucunda, eko-parkları büyütmenin performansı arttırmada için en iyi strateji olmasa dahi, ekolojik besin ağlarında bulunan ayrıştırıcılar gibi davranan kilit aktörlerin (geri dönüşümcüler vb.) sisteme dahil edilmesinin döngüsellığı arttıracak olduğunu belirtmişlerdir.

Malone, Weissburg ve Bras, Çin çelik endüstrisinin yapısındaki ve malzeme akışındaki zaman içindeki değişimi değerlendirmek için besin ağı metriklerini kullanmıştır [59]. Çalışma sonucunda, çelik üretim ekosistemi aktörleri arasındaki ikili ilişkilerin hala gelişme aşamasında olmasına rağmen, çelik üretim endüstrisinin yeterliliğini ve kaynakların sürdürülebilir kullanımını arttırdığı vurgulanmıştır.

Dave ve Layton, Kalundborg eko-parkındaki su dağıtım ağını optimize etmek için besin ağı metriklerini kullanmış ve klasik maliyete dayalı optimizasyon ile kıyaslamıştır [60]. Yazarlar çalışma sonucunda her iki optimizasyon yaklaşımının da benzer şekilde temiz su kullanımını en aza indirdiğini fakat biyolojiden ilham alan optimizasyonun, ağıdaki bağlantı kopması gibi durumlarda, ağın işlevini koruması gibi özellikleri dolayısıyla, klasik yöntemle göre daha sürdürülebilir bir çözüm olduğunu vurgulamışlardır.

### *Sosyal ağ analizi (SAA) çalışmaları*

Endüstriyel sektörlerin yönetimleri arasındaki güven, bilgi paylaşımı ve ortak iş birliği gibi sosyal meseleler, endüstriyel simbiyoz ilişkilerinin kurulmasını engelleyebilir. [61, 62]. Bu nedenle, bu tür sosyal meselelerin ele alınması, endüstriyel simbiyoz için en az ekonomik

ve çevresel konular kadar önemlidir [63]. SAA, endüstriyel bir ağdaki kilit aktörleri tanımlamak ve ağdaki esnekliği artırabilecek eylemler geliştirmek için sosyal ilişkileri analiz etmenin etkili yöntemlerinden biridir [64].

Ashton'ın çalışması, ES ilişkilerini analiz etmek için SAA kullanan ilk çalışmalardan biridir [65]. Çalışmada, Porto Riko'daki Barceloneta eko-parkındaki şirketler ile bu eko-parkın civarındaki belediyelerin barındırdığı şirketler ve yöneticileri arasındaki ilişkiler analiz edilmiştir. Çalışmanın sonucunda yazar, bir şirketin sosyal statüsü ve güveninin birbirleri ile pozitif olarak ilişkili olduğunu belirtmiştir.

Domenech ve Davies, Danimarka'daki Kalundborg endüstriyel simbiyoz ağındaki malzeme ve enerji alışverişlerinin ardındaki sosyal amaçları araştırmak için SAA'ni kullanmıştır [66]. Yazarlar, SAA'nin, endüstriyel simbiyoz ağlarının yapısındaki aktörlerin sosyal davranışlarını anlamak için geniş bir metodolojik ve analitik perspektif sağladığını belirtmişlerdir.

Zhang, Zheng, Chen ve Yang, SAA aracılığıyla on adet eko-parkın içerisinde barındırdığı şirketler arasındaki ürün, yan ürün, atık değişimlerini ve ilişkileri karşılaştırmışlardır [67]. Sonuç olarak, endüstriyel ağların yapısından kaynaklanan operasyonel meseleler açığa çıkarılmış olup endüstriyel simbiyoz ağlarının bütünlüğünün iyileştirilmesinin altı çizilmiştir. Yazarlar ayrıca SAA'nin simbiyotik ağlar üzerinde araştırmalar yapmada etkili bir yöntem olduğunu belirtmişlerdir.

Li ve diğerleri, Çin ve Japonya'daki farklı sanayi sektörleri arasındaki endüstriyel ağların zaman içerisindeki evrimini değerlendirmek ve bu bölgelerdeki sektörler arasındaki iç ilişkileri göstermek için SAA'ni kullanmışlardır [68]. Çalışmanın sonuçları, Japonya'daki sanayi ağında gözlemlenen düşük endüstriyel ağ yoğunluklarının aksine, Çin'deki gelişmiş endüstriyel yapıyı ve farklı sektörler arasında kurulan yoğun bağlantı varlığını ortaya çıkarmıştır.

Song, Geng, Dong ve Chen, Çin'deki madencilik bölgelerinden biri olan Gujiao sanayi bölgesinde yer alan firmalar arasındaki simbiyotik ilişkileri değerlendirmek için SAA'ni kullanmışlardır [64]. Çalışmanın sonucunda, söz konusu sanayi bölgesinin halen endüstriyel simbiyozun ilk basamaklarında olduğu ve geliştirilmesinin gerekliliği

vurgulanmıştır.

Huang, Wang ve Chen, endüstriyel simbiyozun mevcut durumunu ve gelişimini analiz etmek için SAA'ni kullanmış, son yıllarda endüstriyel simbiyozla yönelik artan miktarda araştırmanın yapıldığını ve endüstriyel simbiyoz çalışmasının açık bir şekilde disiplinler arası özelliklere sahip olduğunu belirtmişlerdir [69]. Çalışma sonucunda ayrıca endüstriyel simbiyoz hakkındaki güncel araştırmaların, evrim ve gelişim, operasyon, girişim mekanizmaları ve endüstriyel sistemlerin verimlilik değerlendirilmesi olarak dört konu üzerine odaklandığı belirtilmiştir.

### *Sektörler arası simbiyotik iş birliği çalışmaları*

Sürdürülebilir bir simbiyotik ağın hayatta kalabilmesi, kâr marjlarından çok daha fazlasına ihtiyaç duyduğundan ötürü, yalnızca maliyete dayalı ağ optimizasyonları amaca uygun değildir [70]. Kapalı döngü endüstriyel ağların başarılı bir şekilde uygulanması çevreyi korurken aynı zamanda da ekonomik büyümeyi destekler. Bu hedeflerin gerçekleştirilmesi, yan ürünlerin/atıkların tamamen yeniden kullanılmasına bağlıdır.

Schwarz ve Steininger, atık malzeme ve enerji girdilerinin sürdürülebilir seviyelere düşürülmesine yardımcı olmak ve mevcut atıkların azaltılması için, üretici firmalar arası eşleştirme kavramını ortaya koymuşlardır [71]. Çalışmada, doğal bir ekosistemin üretim ve atık biriktirmedeki işleyişini, endüstriyel geri dönüşüm ile karşılaştırmak için bir analogi geliştirilmişlerdir. Çalışma sonucunda, atık geri dönüşüm ve bertaraf maliyet optimizasyonunun hesaplanması için bir matematiksel model oluşturulmuş ve geri dönüşümün bir firma için ekonomik açıdan cazip olan işlem olduğu vurgulanmıştır.

Boyle ve Baetz, farklı endüstriyel tesislerde üretilen atıkların, yeniden kullanımı, birlikte işlenmesi, geri dönüştürülmesi ve bertarafı için potansiyel olanakları tespit etmek amacıyla Bilgi Tabanlı Karar Destek Sistemi (Knowledge Based Decision Support System-KBDSS) geliştirmişlerdir [72]. KBDSS'yi test etmek için, Trinidad'daki Point Lisas Endüstri Parkı'nda faaliyet gösteren gaz işleme tesisi, metanol tesisi, gübre/amonyak tesisi ve çelik işleme tesisi olan dört tesis seçilmiştir. Seçilen tesislerde, çoğunlukla okyanusa dökülen veya havaya yayılan 77 atık çeşidi üretildiği, 17 atık türünün halihazırda endüstriyel alan dışında geri dönüştürüldüğünden dolayı veri tabanına dahil edilmediği belirtilmiştir. Çalışma sonunda; geliştirilen sistemin, atıkların yeniden kullanımı, geri

dönüşümü ve birlikte işlenmesi için kullanılabilir olduğu vurgulanmıştır.

2000 yılında Chertow, o günkü sınırlı endüstriyel simbiyoz literatürünü, önceki çalışmaları ve endüstriyel simbiyoz kavramının somut gerçeği olarak oluşturulmaya çalışılan ilk eko park çalışmalarını incelemiş ve çalışma sonunda bu alanla ilgili bir taksonomi oluşturmuştur [17]. Çalışmada, endüstriyel simbiyoz için gerekli iş birliğinin zamanla geliştiği, bu işbirliğinin bilgi paylaşımı yoluyla hızlandırılabileceği vurgulanmıştır. Çalışmada mevcut ve olası eko-endüstriyel parklardaki simbiyotik ilişkiler; firmaların coğrafi yakınlıklarını ve kurumsal yapılarını göz önüne alarak beş gruba ayrılmıştır. Bunlar; atık alışverişine dayalı olan; bir tesis, firma veya organizasyonun kendi içerisinde bulunan; tanımlanmış bir eko-park içerisindeki firmalar arası; bir eko-park veya endüstriyel alanda bir araya toplanmamış yerel firmalar arasında olan ve daha geniş bir bölgede faaliyet gösteren firmalar arası simbiyotik ilişkilerdir. Çalışmada ayrıca endüstriyel simbiyoz için, önceki ve mevcut çalışmalardan elde edilmiş üç araç tanımlanmıştır. Bunlar; girdi-çıktı eşleşmesi, paydaş süreçleri ve malzeme bütçelendirmedir.

Lowe, endüstri için sürdürülebilir bir yol arayan endüstri liderleri, ekonomik ve çevresel politika yapıcılar, finansörler, sivil toplum örgütlerinin liderleri ve endüstri parklarına ve tesislerine ev sahipliği yapan topluluk liderleri vb. endüstriyel gelişim içinde yer alan tüm paydaşlara destek olmak için, endüstriyel park gelişiminin her yönüne genel bir bakış açısı sunmuştur. Yazar birçok Asya örneğinin yanı sıra başka yerlerden de eko-park örnekleri vererek, sıfırdan bir eko park tasarımının, inşasının ve işletilmesinin yanı sıra, mevcut sanayi parklarının sürdürülebilir parklar haline getirilmesinin de ana hatlarını oluşturmuştur [30].

Kincaid ve Overcash, Kuzey Carolina'da bir endüstriyel simbiyoz ağının geliştirilmesinin olanağını araştırmak için, atık akışlarını tespit etmek ve bunları veri tabanı ve coğrafi bilgi sistemi aracılığıyla eşleştirmek amacıyla 182 firmanın katıldığı, 2 yıl süren bir saha çalışması yapmıştır [73]. Çalışmada toplanan atık bilgilerinden oluşturulan olası girdi-çıktı birliktelikleri tekrardan çalışmaya katılan firmalara sunulup seçim yapmaları istenmiştir. Çalışma sonunda, katılımcıların %48 için simbiyotik birliktelik olanaklarının tespit edildiği belirtilmiştir.

Albino, Dietzenbacher ve Kühtz, içerisinde tek bir ürün üretiminde uzmanlaşmış firmalar

grubunu barındıran yerel bir sanayi bölgesi için girdi-çıkı modeli geliştirmişlerdir. Modelin, malzeme ve enerji akışlarının ayrıntılı kantitatif analizine, sonuç olarak da atık ve kirliliğin takibine izin verdiği belirtilmiştir [74]. Bir planlama aracı olarak modelin, sürdürülebilirlik gereksinimlerini dikkate alarak atıkların yeniden kullanılması olasılığı gibi alternatif senaryoları değerlendirmek için de kullanılabilmesi vurgulanmıştır. Sunulan model, güney İtalya'da deri kanepeler üreten bir sanayi bölgesine uygulanmıştır. Çalışma sonucunda, özellikle, alandan toplanan verilere dayanan malzeme/enerji dengesi verileri ile kurulan modelde elde edilen malzeme/enerji akışları değerlerinin örtüştüğü ve modelin hem hesaplama hem de planlama faaliyetleri için yararlı olabileceği vurgulanmıştır.

Heeres Vermeulen ve de Walle, eko park yaklaşımının ve doğurduğu sonuçların ülkeler bazında farklılıklarını karşılaştırılmak amacıyla, üçü Amerika ve üçü Hollanda'da olmak üzere toplam altı eko parkı incelemiştir [75]. Çalışma sonucunda; en az eko parkların içerisindeki sanayi yapılanması kadar, ülkenin yasal anlamdaki düzenlemeleri ve proje fonlarının tatbikinin de önemli olduğu, yasal düzenlemelerin, eko parkların kurgulanmasını, uygulanmasını ve sürdürülebilirliğini yönlendiren önemli bileşenlerden biri olduğu vurgulanmıştır.

Deutz ve Gibbs, eko parkların sürdürülebilir kalkınma programları için uygulanıp uygulanmayacağını görebilmek adına, Avrupa ve Amerika'da 19 farklı eko parkı içeren bir anket çalışması yapmıştır [76]. Yapılan bu çalışmayla birlikte, atık kullanımı ve madde geri dönüşümü arasındaki ilişkiler ortaya çıkarılmış olup, sonuç olarak eko parklara dair önemli bir potansiyel olduğu ancak bu kavramın ve uygulama alanlarının yeterli gelişimi için hala erken olduğu belirtilmiştir. Ayrıca pro-aktif bir politika izlenmesinin, karşılaşılan sorunları çözmekte etkin bir rol oynayacağı da çalışmada ifade edilmiştir.

Kasar, Şanlıurfa Organize Sanayi Bölgesindeki endüstriyel tesisleri inceleyerek, bu sanayi bölgesinin eko-parka dönüştürülebilme olanağını irdelemiştir [77]. Sanayi bölgesinin eko- parka dönüştürülüp dönüştürülmeyeceğine karar verilebilmesi için sektörlerden kaynaklanan atık tür ve miktarlarının en doğru şekilde tespit edilmesinin gereğine değinilen çalışmada, bir anket çalışması ile OSB'ye ait atık türleri ve potansiyel miktarlar belirlenmiş, böylece bölge içerisinde atık döngüleri için atık tür ve miktarlarının uygunluğu tespit edilmiştir. Çalışma sonucunda; bölgeye özel bir atık

yönetim sisteminin kurgulanmasının gerekliliği vurgulanmış ve Şanlıurfa Organize Sanayi Bölgesinin eko-parka dönüştürülme imkânının olduğu vurgulanmıştır.

Cecelja ve diğerleri, endüstri sektöründe ontoloji mühendisliğinin kullanılmasına öncülük ederek endüstriyel simbiyoz için yeni bir paradigma ortaya koymuşlardır [78]. Yazarlar çalışmalarında, endüstriyel simbiyoz akışlarını ve uygun teknolojileri modellemek ayrıca simbiyoz eşleştirme hizmetlerinin geliştirilmesini sistematize etmek için semantik yaklaşımı kullanılmışlardır. Yaklaşım, sistem mühendisliği ile birleştirilip endüstriyel simbiyoz alanındaki uzmanların ve simbiyotik iş birliği içerisinde bulunanların paylaştığı açık bilgiler şeklinde bir araya getirilmiştir. Çalışmanın sonunda, yaklaşımın gerçek hayat verileri kullanılarak test edilip onaylandığı belirtilmiştir.

Yazan, çeşitli sürdürülebilir ortak üretim zincirleri kombinasyonlarını denemek ve bu üretim zincirlerini birbirine bağlayarak potansiyel çevresel etkilerin nasıl hafifletilebileceğini araştırmak amacıyla bir girdi-çıkı modeli oluşturmuştur [79]. Oluşturulan model kapsamında üretim zinciri kombinasyonları; atık geri dönüşümünü içeren kombinasyonlar ve ömrünü tamamlamış ürün geri dönüşümünü içeren kombinasyonlar olarak iki kategoride analiz edilmiştir. Çalışmada kullanılan iki ampirik örnek olan biokütle atığından elde edilen biyoenerji üretim zinciri ve ömrünü tamamlamış lastikler kullanılarak oluşturulan üretim zincirinin, oluşturulan modelin uygulanabilirliğini doğruladığı ifade edilmiştir.

Yazan, Romano ve Albino, endüstriyel simbiyoz prensipleri temelinde faaliyet gösteren endüstriyel alanın gelecekteki evrimi için kılavuz oluşturmak amacıyla, bir girdi-çıkı yaklaşımı sunmuştur [80]. Önerilen yaklaşım, İtalya'daki Santa Croce sull'Arno sanayi bölgesine uygulanmıştır. Uygulamada yaklaşımın başarılı olduğu vurgulanan çalışmada, önerilen modelin, atık ve birincil girdilerin sayısının ve çeşitliliğinin yüksek olduğu ve atık yönetimi için stratejik kararların alınmasının nispeten daha karmaşık olduğu sistemlerde kullanılabilir olduğu da belirtilmiştir. Çalışmada modelin, karar vericinin en stratejik atıkları belirlemesine ve bu atıklarla başa çıkmak için gerekli eylemleri tanımlamasına olanak tanıdığı vurgulanmıştır.

Hein, Jankovic, Farel ve Yannou, potansiyel simbiyoz olanaklarını belirlemek için çeşitli algoritmaların ve yazılımların geliştirildiğini, fakat bunların kullanılabilmesi için üretim

şirketlerinin kapsamlı verilerine ihtiyaç duyulduğu, bu kısıt yüzünden de bahsedilen çalışmalar kullanılarak tespit edilen şirketler arası simbiyoz olanaklarının sınırlı olduğuna vurgu yaparak, bu eksikliği gidermek için bir metodoloji üzerine çalışmıştır [81]. Metodoloji, spesifik bir endüstriyel tesisin özelliklerinin tanımlanması için, bir tesisin kaynak arzının ve talebin kaba miktarını tahmin eden korelasyonlara ve başarılı endüstriyel simbiyoz örneklerinden gelen bilgiye dayanarak simbiyoz fırsatlarını tanımlayan kural tabanlı bir sisteme dayanmaktadır. Tespit edilen simbiyoz olanaklarından sonra, metodolojinin, ekonomik ve çevresel performans açısından optimal olan eko-park mimarilerini oluşturması hedeflenmiştir. Oluşturulan metodolojinin mevcut endüstriyel simbiyoz ilişkilerini tespit edip edemeyeceğini test etmek amacıyla metodoloji, Kalundborg Eko Endüstriyel Parkına uygulanmıştır. Çalışmanın sonunda, mevcut simbiyotik ilişkilerin çoğunun tespit edilebildiği, tespit edilemeyenlerin ise oluşturulan metodolojide yeterince endüstriyel tesis çeşitliliğine yer verilemediğinden ve metodolojide yer alan tesislerin daha detaylı bilgi girişine ihtiyaç duyduğundan dolayı tespit edilemediği vurgulanmıştır.

Gümüş, sürdürülebilirlik amacıyla Temiz Üretim (TÜ) ve ES kavramları uygulaması için özelleştirilmiş ve ölçeklenebilir bir karar-destek sistemi geliştirmiştir [82]. Yazar, mevcut TÜ ve ES metotları araştırılarak, kavramların daha kolay uygulanması ve elde edilen verilerin yeniden kullanılabilir kılınması için web tabanlı sürdürülebilirlik destek platformu tasarlamıştır. Çalışmada geliştirilen sistemin, TÜ kavramı çalışmalarını firma bazında, ES çalışmalarını ise firmalar arası yapıda uygulanabilir halde tasarlandığı ve yardımcı destek modülleri ile sistem analizlerini rapor olarak sunabildiği belirtilmiştir. Geliştirilen platform üzerinde yapılan sürdürülebilirlik vaka analizleri ışığında oluşturulan platformun başarılı bir şekilde sistem analizi yapabildiği belirtilmiştir.

Leong, Lee, Tan, Foo ve Chew, bir eko-parkın inşası sırasında katılımcı tesislerin tercihlerini önceden tanımlanmış kriterler üzerinde sıralamak için sayısal gösterim kullanan çok amaçlı bir optimizasyon yaklaşımı sunmuşlardır [83]. Önerilen yaklaşım, her bir tesisin karar vericileri için alternatif ağ tasarımları üretme sürecinin ortadan kaldırılması açısından faydalı bulunmuştur. Elde edilen sonuçlara göre, katılımcı tesislerin bir eko-parkta işbirliği yaparak ek maliyet tasarrufu sağlayabileceği ve çevresel etkileri azaltabileceği anlaşılmıştır.

Gómez, González ve Bárcena, ekolojik, ekonomik ve sosyal ölçütlere dayanan, endüstriyel



ekosistemler aracılığıyla kaynakların döngüsellikini destekleyen, endüstriyel metabolizmaya dayalı döngüsel ekonomi için ontolojik bir çerçeve geliştirmişlerdir [84]. Geliştirilen metodolojinin eko-parklarla gerçek zamanlı çalışmayı sağladığı, böylece yalnızca kaynak akış yönetim süresini düşürmekle kalmayıp aynı zamanda değişim sürecinde yardımcı olan ortak bir ontoloji kurduğu ve değişim sürecinde yer alan kuruluşların adaptasyonunu kolaylaştırdığı vurgulanmıştır.

Panyam, Huang, Davis ve Layton, elektrik şebekelerinin tasarımını optimize etmek için, ekosistemlerin sağlamlığını taklit edecek şekilde doğadan ilham alan bir optimizasyon modeli oluşturmuşlardır [70]. Çalışma sonucunda doğadan esinlenerek oluşturulan optimizasyon modellerinin geleneksel modellere kıyasla daha az bozulmalara maruz kaldığı ve doğadan esinlenen modellerin sistemin sağlamlığını desteklediği belirtilmiştir.

### Tezin yapısı

Bu tez çalışması beş bölümden oluşmaktadır. Birinci bölüm olan giriş bölümünde;

- Sürdürülebilirlik, biyomimikri, endüstriyel simbiyoz ve eko-parklar hakkında genel bir giriş yapılmıştır.
- Ardından tezin amacı, önemi ve kapsamı ortaya konulmuş ve tez çalışmasındaki kabul ve kısıtlar hakkında bilgi verilmiştir.
- Daha sonra simbiyotik ağ değerlendirmelerinde BAA ve SAA kullanan çalışmalar ile farklı sektörler arası simbiyotik işbirliği olanaklarını değerlendirip bu sektörleri birlikte çalışmaya teşvik eden çalışmalar detaylı bir şekilde incelenerek uygulama alanları sunulmuştur.

İkinci bölüm olan materyal ve yöntem bölümünde;

- Besin ağı analizi (BAA) ve besin ağı metrikleri hakkında detaylı bilgi verilmiştir.
- Daha sonra sosyal ağ analizi (SAA) ve sosyal ağ metrikleri hakkında detaylı bilgi verilmiştir.

- Sonrasında tezin ilk amacı olan sanayi bölgelerinin eko-parklara doğru geliştirilmesi olanaklarını değerlendirmek için yapılan vaka çalışması ve kurgulanan potansiyel gelecek senaryoları hakkında bilgi verilmiştir.
- Tezin ikinci amacı olan eko-park tasarımı için optimizasyon aşamasında kullanılan doğrusal olmayan programlama ve dal-sınır yöntemi hakkında bilgi verilmiştir.
- Ardından problem tanımını ve tasarlanacak eko-parklar hakkında bilgi verilmiştir.
- Son olarak matematik modeller sunulmuştur.

Üçüncü bölüm olan araştırma bulguları bölümünde;

- Vaka çalışmasındaki temel durumun BAA ve SAA sonuçları grafikler ve tablolar halinde sunulmuştur.
- Potansiyel gelecek senaryolarının BAA ve SAA sonuçlarının temel durum ile kıyaslanması grafikler ve tablolar halinde sunulmuştur.
- Tasarlanan eko-parklar ve bunların birbirleri ve doğal ekosistemler ile besin ağı metrikleri ışığında kıyaslanması grafikler ve tablolar halinde sunulmuştur.

Dördüncü bölüm olan tartışma bölümünde;

- Tezin ilk amacı olan sanayi bölgelerinin eko-parklara doğru geliştirilmesi için yapılan vaka çalışmasının bulguları; bağlılık, döngüsellik, fazlalık ve esneklik kapsamında literatür bilgileri ışığında tartışılmıştır.
- Daha sonra tezin ikinci amacı olan eko-park tasarımı için tasarlanan eko-parkların yapıları yine literatür bilgileri ve besin ağı metrikleri ışığında tartışılmıştır.

Beşinci ve son bölüm olan sonuç ve öneriler bölümünde ise;

- Tez kapsamında tartışılan, incelenen ve önerilen yöntemler için bir değerlendirilme yapılarak elde edilen sonuçlar sunulmuştur.
- Ayrıca tez çalışmalarının daha da ilerletilmesi için bundan sonra yapılabilecek çalışmalar hakkında kısa bir değerlendirme yapılmıştır.

## 2. MATERYAL ve YÖNTEM

Bu bölüm, tezin her iki amacına da ulaşmak için farklı metodolojilerin kullanılmasından dolayı aşağıdaki iki kısma ayrılmıştır:

- Sanayi bölgelerinin eko-parklara doğru geliştirilmesi
- Eko-park tasarımı

### 2.1. Sanayi Bölgelerinin Eko-Parklara Doğru Geliştirilmesi

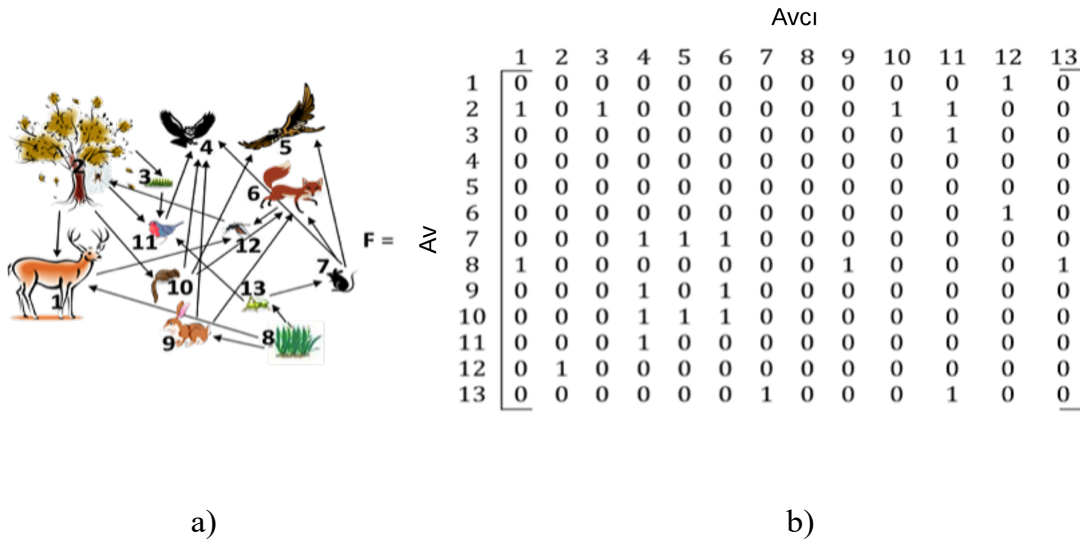
Tez çalışmasının bu kısmında, Türkiye'deki sanayi bölgelerinin birinde bir vaka çalışması yaklaşımı benimsenmiştir. Literatürde, endüstriyel simbiyoz ağlarını değerlendirmek için birçok vaka çalışması yapılmasına rağmen, bu çalışmaların çoğunda, uygulanabilmesi olası olan potansiyel endüstriyel simbiyoz ilişkilerinin değerlendirilmesine yer verilmeden hâlihazırdaki simbiyotik ilişkilerin durumları ele alınmıştır. Vaka çalışması yapılan sanayi bölgesinde 2015'te gerçekleşen atık akışları *temel durum* olarak isimlendirilmiştir. Sanayi bölgesinin eko-parka dönüşebilirliğini değerlendirmek amacıyla temel durum, keşfedilen simbiyotik ilişkilerin varsayımsal olarak uygulandığı dört gelecek potansiyel atık akışı senaryosuyla karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma yapılırken besin ağı analizi (BAA) ve sosyal ağ analizi (SAA) entegrasyonu kullanılarak, uygulanabilir potansiyel endüstriyel simbiyoz ilişkilerinin sürdürülebilirliği ve bu ilişkiler kullanılarak tasarlanan potansiyel eko- parkların esnekliği, içerdiği aktör sayısının etkisi, bağlılığı ve döngüsellığı değerlendirilmiştir.

#### 2.1.1. Besin ağı analizi

Benyus tarafından “doğadan ilham alan inovasyon” olarak tanımlanan biyomimikri, son zamanlarda birçok alanda büyük ilgi görmüştür [2]. Endüstriyel perspektiften bakıldığında bu yaklaşım kendini besin ağları olarak göstermektedir. Besin ağları, endüstride lineer ekonomiden döngüsel ekonomiye (DE) geçişte doğal bir model olarak

rol oynayabilir [18].

Besin zincirleri, enerji akışını doğrusal olarak temsil ederken, besin ağları ise bir ekosistemdeki organizmalar arasındaki etkileşimi gösterirler [85–87]. Bu nedenle, besin ağları ekosistemdeki enerji akışının daha gerçekçi bir tasviridir [54]. Doğal bir ekosistemdeki canlılar arasındaki malzeme ve enerji akışı, Şekil 2.1’de gösterildiği gibi bir besin ağı matrisi [F] ile temsil edilebilir [58]. Besin ağı matrisi [F], bir ekosistemdeki türler arasındaki av-avcı ilişkisini göstermektedir. Bir ekosistemde yer alan bir tür, hem av hem de avcı olabildiğinden dolayı [F] bir kare matristir.



Şekil 2.1. a) Numaralandırılmış türlere sahip varsayımsal bir ekosistemin besin ağı b) Besin ağı matrisi. Not:  $f_{ij} = 1$ , av (i) ve avcı (j) arasındaki tek yönlü bir ilişkiyi temsil ederken,  $f_{ij} = 0$  ilişki olmadığını gösterir. Kaynak [58]’in izni ile kullanılmıştır.

### Besin ağı metrikleri

Ekolojistler, biyolojik besin ağlarını analiz etmek için bazı metrikler kullanırlar [57, 88], 89]. Bu ölçümleri kullanarak tasarlanan endüstri ağı kompozisyonları, düşük maliyet, düşük emisyon ve verimlilikte artış gibi geleneksel endüstriyel tasarım hedeflerini karşılar [53]. Bu çalışmada kullanılan besin ağı metrikleri aşağıda açıklanmıştır.

*Tür Zenginliği ( $S_R$ ):* Tür zenginliği ( $S_R$ ), doğal bir ekosistemdeki toplam tür sayısıdır ve bölgesel çeşitliliği tanımlamanın en basit yoludur [90, 91]. Bu çalışmada ( $S_R$ ), sanayi bölgesi içindeki toplam tesis sayısını temsil etmektedir.

*Bağlantı Sayısı ( $N_L$ ):* Bir besin ağındaki türler arasındaki toplam doğrudan ilişki sayısıdır ve [F] 'deki sıfır olmayan etkileşimlerle temsil edilir. Bu çalışmada  $N_L$ , sanayi bölgesi içindeki tesisler arasındaki doğrudan atık akışlarının sayısını temsil eder ve Eşitlik 2.1 ile gösterildiği gibi hesaplanır.

$$N_L = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n f_{ij} \quad (2.1)$$

*Bağlantı Yoğunluğu ( $L_D$ ):* Bağlantı yoğunluğu, doğal bir ekosistemde yer alan her bir türe doğru olan veya türden çıkan ortalama akış sayısıdır [92]. Bu çalışmada  $L_D$ , sanayi bölgesi içerisindeki tesis başına ortalama atık akış sayısını temsil eder ve Eşitlik 2.2 ile gösterildiği gibi hesaplanır.

$$L_D = \frac{N_L}{S_R} \quad (2.2)$$

*Av ( $N_{av}$ ):* Av, biyolojik ekolojide diğer türler tarafından tüketilen türdür [55, 93]. Bu çalışmada avlar, sanayi bölgesindeki atık üreticisi tesisleri temsil etmektedir ve toplam av sayısı ( $N_{av}$ ), Eşitlik 2.3 ve 2.4 ile gösterildiği şekilde hesaplanır. Sanayi bölgesi içindeki her tesis atık üretmektedir, fakat,  $N_{av}$  metriği ve bu metrik kullanılarak hesaplanması gereken diğer besin ağı metrikleri hesaplanırken, yalnızca atıklarını sanayi bölgesi içerisinde bulunan başka bir tesise gönderen tesisler atık üreticisi (av) olarak düşünülmektedir.

$$f_r(i) = \begin{cases} 0 & \text{eğer } \sum_{j=1}^n f_{ij} = 0 \\ 1 & \text{eğer } \sum_{j=1}^n f_{ij} > 0 \end{cases} \quad (2.3)$$

$$N_{av} = \sum_{i=1}^m f_r(i) \quad (2.4)$$

$f_r$ , [F] içerisinde 0'dan büyük en az bir değer içeren satırların sayısıdır.

*Avcı ( $N_{avcı}$ ):* Avcı, biyolojik ekolojide diğer türleri tüketen türdür [55, 93]. Bu çalışmada avcılar, sanayi bölgesindeki atık tüketicisi tesisleri temsil etmektedir ve toplam avcı sayısı ( $N_{avcı}$ ), Eşitlik 2.5 ve 2.6 ile gösterildiği şekilde hesaplanır.

$$f_c(j) = \begin{cases} 0 & \text{eğer } \sum_{i=1}^m f_{ij} = 0 \\ 1 & \text{eğer } \sum_{i=1}^m f_{ij} > 0 \end{cases} \quad (2.5)$$

$$N_{avcı} = \sum_{j=1}^n f_c(j) \quad (2.6)$$

$f_c$ , [F] içerisinde 0'dan büyük en az bir değer içeren sütunların sayısıdır.

*Av-Avcı Oranı ( $P_r$ ):* Doğal bir ekosistemde yer alan av sayısının avcı sayısına oranıdır. Bu çalışmada  $P_r$ , sanayi bölgesi içerisindeki atık üreten tesis sayısının yine bu sanayi bölgesi içerisindeki atık tüketen tesis sayısına oranını temsil etmektedir ve Eşitlik 2.7 ile gösterildiği şekilde hesaplanır.

$$P_r = \frac{N_{av}}{N_{avcı}} \quad (2.7)$$

*Genelleştirme ( $G$ ):* Bir besin ağında avcı başına tüketilen ortalama av sayısıdır [53]. Bu çalışmada  $G$ , sanayi bölgesi içindeki atık alan tesis başına ilişkide bulunulan ortalama atık üretici tesis sayısını temsil etmektedir ve Eşitlik 2.8 ile gösterildiği şekilde hesaplanır.

$$G = \frac{N_L}{N_{avcı}} \quad (2.8)$$

*Kırılganlık ( $V$ ):* Bir besin ağında av başına düşen ortalama avcı sayısıdır [53]. Bu çalışmada  $V$ , sanayi bölgesi içindeki atık üretici tesis başına düşen ortalama atık alıcı tesis sayısını gösterir ve Eşitlik 2.9 ile gösterildiği şekilde hesaplanır.

$$V = \frac{N_L}{N_{av}} \quad (2.9)$$

*Bağlılık (C)*: Bağlılık, doğrudan etkileşime giren tür çiftlerinin oranını ifade eder. Başka bir deyişle, bir ekosistemdeki türler arası etkileşimlerin ortalama gücünü yansıtır [94,95]. Bu çalışmada C, sanayi bölgesinde gerçekleşen doğrusal atık akışlarının sayısının teorik olarak mümkün olabilecek toplam atık akışı sayısına oranını gösterir ve Eşitlik 2.10 ile gösterildiği şekilde, öz-döngüye izin verildiği takdirde ise Eşitlik 2.11 ile gösterildiği şekilde hesaplanır.

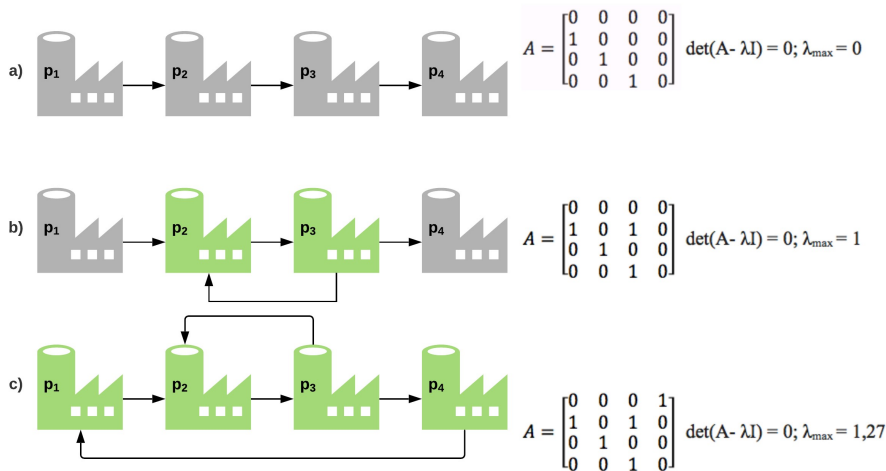
$$C = \frac{N_L}{S_R(S_R-1)} \quad (2.10)$$

$$C = \frac{N_L}{S_R^2} \quad (2.11)$$

*Döngüsellik ( $\lambda_{max}$ )*: Döngüsellik, bir besin ağındaki kapalı döngünün varlığının ve gücünün ölçüsü olup, [F]'in transpozu alınarak oluşturulan yapısal bitişik matrisin [A] maksimum gerçek öz değeri ( $\lambda_{max}$ ) döngüsellik değeridir [96, 97]. Döngüsellik, doğal ve endüstriyel sistemler arasındaki uyumsuzlukların anlaşılmasına da yardımcı olur [98]. Döngüsellik değeri 0 ise sistemde kapalı döngü yok, 1 ise zayıf bir kapalı döngü var, 1'den büyük ise güçlü bir kapalı döngü var anlamına gelir [96, 99]. Bu durum Şekil 2.2' de gösterilmektedir.  $\lambda_{max}$ , Eşitlik 2.12 ile gösterildiği şekilde hesaplanır.

$$\det(A - \lambda I) = 0 \quad (2.12)$$

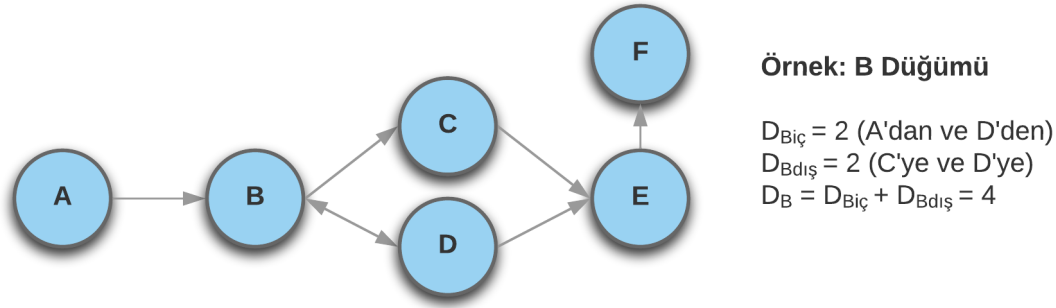
A, [F]' in transpozunu,  $\lambda$ , öz değerleri, I ise birim matrisi temsil etmektedir.



Şekil 2.2. Üç tür döngüsellik a) Kapalı döngü yok b) Zayıf kapalı döngü c) Güçlü kapalı döngü, Kaynak [49]'dan esinlenerek üretilmiştir.







Şekil 2.3. Yönlü ağ örneği

Bu çalışmada, bir düğümden diğerine yönlü tek kenar olduğu varsayılmıştır. Örneğin; A tesisi B tesisine iki tür atık gönderiyorsa, A tesisinin dış derecesi ve B tesisinin iç derecesi hesaplandığında çoklu kenarlar tek sayılır ( $D_{Adış}=1$ ,  $D_{Biç}=1$ ). Aynı şekilde, eğer bir C tesisi kendi ürettiği k atığını girdi olarak kendisi kullanıyorsa (öz-döngü), C tesisinin iç ve dış derecesine 1 değeri eklenir. Buna rağmen, C tesisinin toplam derecesi hesaplanırken, k atığından kaynaklı bu iç ve dış dereceleri toplamak yerine bunlardan sadece bir tanesi göz önüne alınır ( $D_C=1$ ).

$$D_{N_i} = \sum_{i \neq j}^N D_{iç} + \sum_{i \neq j}^N D_{dış} \quad (2.13)$$

$$D_{N_i} = \sum_i^N D_{iç} + \sum_i^N D_{dış} \quad (2.14)$$

*Arasındalık Merkeziliği (BC):* Bir düğümün ortalama arasındalık merkeziliği (BC), o düğüm ile diğer tüm düğümler arasındaki minimum uzaklıkların toplamıdır [106]. BC değeri yüksek olan bir tesis, endüstriyel bir ağdaki atık değişimleri üzerinde kontrol etkisine sahiptir [64]. Bir k düğümünün BC değeri hesaplandıktan sonra, bulunan değer k'yı içermeyen düğüm çiftlerinin sayısına bölünerek hassasiyet kaybı olmayan bir normalizasyon yapılabilir ve böylece  $BC_k \in [0, 1]$  olur. Bu ölçekte 1 değeri, herhangi bir k düğümünün, diğer düğümlerin k dan başka düğümlere ulaşmak için kullandıkları en kısa yolların tümünde üzerinden geçilmek zorunda kalınan teorik olarak mümkün en yüksek değeri ifade eder.

Bu çalışmada BC, sanayi bölgesindeki tesisler arasındaki arkadaşlık ilişkisi gibi ilişkileri temsil etmektedir. Bundan dolayı, BC değerleri hesaplanırken ağın yönsüz olduğu kabulü

yapılmıştır (Eğer A kişisi B kişisi ile arkadaş ise B kişisi de A kişisi ile arkadaşır.). Bir ağdaki herhangi bir k düğümünün BC değeri Eşitlik 2.15' te gösterildiği şekilde hesaplanır.

$$BC_k = \frac{2 \times \sum_{k \neq i \neq j} \frac{\sigma_{ij}(k)}{\sigma_{ij}}}{(N-1)(N-2)} \quad (2.15)$$

$\sigma_{ij}$  i düğümünden j düğümüne toplam en kısa yol sayısıdır,  $\sigma_{ij}(k)$  bu yollardan k düğümünden geçenlerin sayısı ve N ise ağdaki düğümlerin sayısıdır.

*Derece Merkeziliği (DC):* Bir düğümün toplam derecesi aynı zamanda o düğümün derece merkeziliği (DC) değeridir. Bir düğümün normalleştirilmiş derece merkeziliği, o düğümün toplam derecesinin düğümün alabileceği maksimum teorik toplam dereceye bölünmesiyle hesaplanır [107, 108]. Eğer iki düğüm birbiriyle hem iç derece hem de dış derece ilişkisine sahiplerse, örneğin A tesisi B tesisine atık gönderiyor ve aynı zamanda B tesisi de A tesisine atık gönderiyorsa, bu tesislerin birbirleriyle olan ilişkilerinden dolayı meydana gelen derece değerleri hesaplanırken yalnızca tek yönlü ilişkiler hesaba katılır ( $D_A = D_B = 1$ ) ve daha sonra DC değerleri hesaplanır. Diğer düğümlere göre daha yüksek DC değerine sahip bir düğüm daha merkezi bir konumdadır, ancak bu her zaman o düğümün daima ağın merkezinde olduğu anlamına gelmez [109]. Dolayısıyla, derece merkeziliği, bir düğümün diğer düğümler üzerindeki kontrol etkisinden ziyade diğer düğümlere bağlanma yeteneğini yansıtır. DC değerleri Eşitlik 2.16 da gösterildiği şekilde, öz-döngüye izin verildiği takdirde ise Eşitlik 2.17 ile gösterildiği şekilde hesaplanır.

$$DC_{N_i} = \frac{\sum_{j=1}^N x_{ij} + \sum_{i=1}^N x_{ji}}{N-1}, i \neq j \quad (2.16)$$

$$DC_{N_i} = \frac{\sum_{j=1}^N x_{ij} + \sum_{i=1}^N x_{ji}}{N} \quad (2.17)$$

### 2.1.3. Vaka çalışması

Vaka çalışması için, Türkiye bulunan sanayi bölgelerinden birine ait anonimize edilmiş veri kullanılmıştır. Veri seti, sanayi bölgesinde 2015 yılında gerçekleşen, atık türleri, atık üreticileri, atık alıcıları ve atıkların bertaraf/geri dönüşüm proseslerini barındıran bilgileri içermektedir. Veri seti içerisinde ayrıca sanayi bölgesinde yer alan tesislerin faaliyet alanlarını da barındırmaktadır. Tesislerin faaliyet alanları, Avrupa Topluluğunda Ekonomik Faaliyetlerin İstatistikî Sınıflaması (NACE)'na göre, atık türleri ise, Avrupa Atık Kataloğu (EWC)'na göre kodlanmıştır.

Sanayi bölgesinde 2015'te gerçekleşen atık akış ağı "*temel durum*" olarak adlandırılmıştır. Temel durum, sanayi bölgesinin bir eko-parka dönüştürülme potansiyelini değerlendirmek için, keşfedilen simbiyotik ilişkilerin varsayımsal olarak uygulandığı dört potansiyel gelecek senaryosuyla karşılaştırılmıştır.

Sanayi bölgesindeki tesisler ağ içindeki düğümler ile temsil edilmekte olup, bu düğümler arasındaki kenarlar ise tesisler arasındaki atık değişimlerini temsil etmektedir. X'in simbiyotik ağı, N'nin düğümleri ve L'nin kenarları temsil ettiği bir atık akış ağı modeli olan  $X = (N, L)$ , temel durum ve dört potansiyel gelecek senaryosunu temsil eden her veri seti için tanımlanmıştır. Veri setleri aşağıda açıklanmıştır.

*Veri Seti 1:*  $N = (n_1, n_2, \dots, n_i) (i=1, 2, \dots, 58)$  sanayi bölgesinde 58 tesis bulunduğunu,  $L = (l_{12}, l_{13}, \dots, l_{ij}) (i, j=1, 2, \dots, 58)$  ise farklı düğümler arasındaki tüm kenarları ifade eder. Veri Seti 1, *Temel Durum*'u temsil etmektedir.

*Veri Seti 2:*  $N = (n_1, n_2, \dots, n_i) (i=1, 2, \dots, 58)$  sanayi bölgesinde 58 tesis bulunduğunu,  $L = (l_{12}, l_{13}, \dots, l_{ij}) (i, j=1, 2, \dots, 58)$  ise farklı düğümler arasındaki ( $i \neq j$ ) tüm kenarları ifade eder. Veri Seti 2, sanayi bölgesi için potansiyel *Gelecek Senaryosu 1*'i temsil etmektedir.

*Veri Seti 3:*  $N = (n_1, n_2, \dots, n_i) (i=1, 2, \dots, 58)$  sanayi bölgesinde 58 tesis bulunduğunu,  $L = (l_{12}, l_{13}, \dots, l_{ij}) (i, j=1, 2, \dots, 58)$  ise tek bir düğüm (öz-döngü) veya farklı düğümler arasındaki tüm kenarları ifade eder. Veri Seti 3, sanayi bölgesi için potansiyel *Gelecek Senaryosu 2*'yi temsil etmektedir.

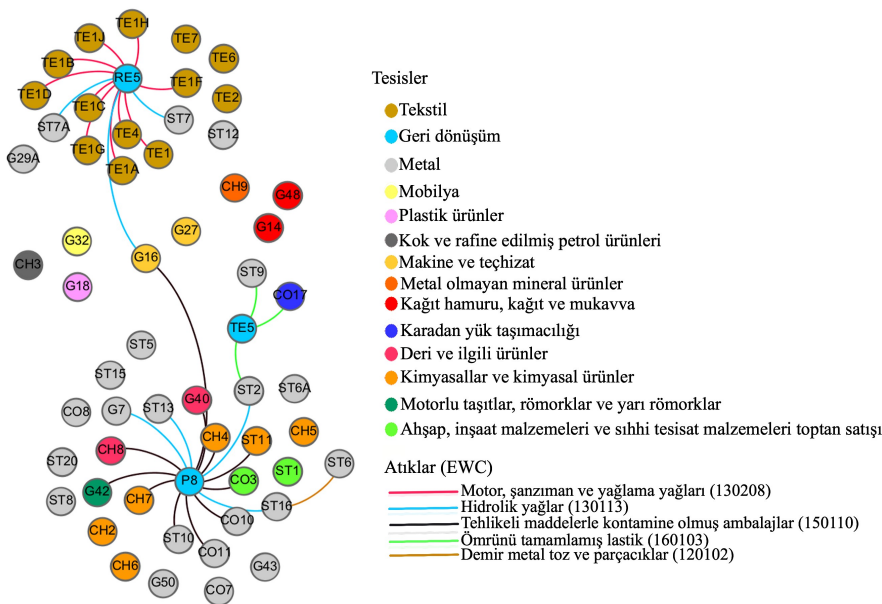
*Veri Seti 4:*  $N = (n_1, n_2, \dots, n_i) (i=1, 2, \dots, 66)$  sanayi bölgesinde 66 tesis bulunduğunu,  $L = (l_{12}, l_{13}, \dots, l_{ij}) (i, j=1, 2, \dots, 66)$  ise farklı düğümler arasındaki ( $i \neq j$ ) tüm kenarları ifade eder. Veri Seti 4, sanayi bölgesi için potansiyel *Gelecek Senaryosu 3*'ü temsil etmektedir.

*Veri Seti 5*:  $N = (n_1, n_2, \dots, n_i) (i=1, 2, \dots, 66)$  sanayi bölgesinde 66 tesis bulunduğunu,  $L = (l_{12}, l_{13}, \dots, l_{ij}) (i, j=1, 2, \dots, 66)$  ise tek bir düğüm (öz-döngü) veya farklı düğümler arasındaki tüm kenarları ifade eder. Veri Seti 5, sanayi bölgesi için potansiyel *Gelecek Senaryosu 4'*ü temsil etmektedir.

Bu tez çalışmasında, zengin analiz seçenekleri ve kullanım kolaylığı nedeniyle, SAA hesaplama aracı olarak *Gephi 0.9.2* seçilmiştir [110]. BAA hesaplamaları ise *MS Excel 2011* ve *Wolfram Mathematica 11* kullanılarak yapılmıştır.

### Temel durum

Sanayi bölgesinde, çeşitli sanayi kollarından olmak üzere 58 tesis bulunmaktadır. Çizelge 2.1, bu tesislerin NACE endüstri branşlarına ve NACE kodlarına göre sınıflandırmasını göstermektedir. Sanayi bölgesinde, tüm tesislerinin katıldığı 271 adet atık akışı vardır. Ancak, bu 271 atık işleminden sadece 32'si sanayi bölgesinin içerisinde gerçekleşmekte olup, geriye kalan akışlar sanayi bölgesi dışına doğru olmaktadır. Sanayi bölgesi içerisinde gerçekleşen 32 atık akışından sadece bir tanesi endüstriyel simbiyoz olarak uygulanmış olup (ST6 ve ST16 arasında), diğer tüm akışlar geri dönüşüm/bertaraf tesislerine (RE5, TE5 ve P8) doğru gerçekleşmiştir. Şekil 2.4, sanayi bölgesi içindeki atık akışlarını göstermektedir.



Şekil 2.4. Sanayi bölgesi içerisindeki atık akışı. *Not: Düğümler tesisleri, düğümler arasındaki kenarlar ise atıkları temsil etmektedir. Atık akış yönü (üreticiden alıcıya) saat yönü ile gösterilmiştir.*

Çizelge 2.1. Sanayi bölgesi içerisindeki tesislerin endüstri branşları ve NACE kodları

No	Endüstri Branşları	Tesis	NACE Kodu
1		CO17	49.41
2		G27	28.29
3		G50	25.62
4		CH8	15.12
5		ST11	20.13
6		ST16	24.20
7		ST20	24.20
8		TE1G	13.10
9		TE5	38.32
10		ST8	24.10
11		CO8	24.20
12		G18	22.19
13		TE6	13.10
14		CH4	20.15
15		CH9	23.64
16		TE4	13.10
17		ST9	24.10
18		G32	31.01
19		ST7	24.34
20		TE1F	13.10
21		ST2	24.10
22		G14	17.22
23	Tekstil	RE5	38.22
24	Deri ve ilgili ürünler	G7	25.92
25	Kâğıt hamuru, kâğıt ve mukavva	TE1J	13.10
26	Kok ve rafine edilmiş petrol ürünleri	G43	25.30
27	Kimyasallar ve kimyasal ürünler	TE1D	13.10
28	Plastik ürünler	ST15	24.20
29	Metal olmayan mineral ürünler	TE1B	13.10
30	Metal	G29A	25.29
31	Makina ve teçhizat	TE1H	13.10
32	Motorlu taşıtlar, römorklar ve yarı römorklar	CO7	25.11
33	Mobilya	P8	38.22
34	Geri dönüşüm	ST7A	25.93
35	Ahşap, inşaat malzemeleri ve sıhhi tesisat malzemeleri toptan satışı	TE1C	13.10
36	Karadan yük taşımacılığı	G40	15.20
37		ST12	24.20
38		ST6	25.12
39		CO11	25.11
40		CH5	20.59
41		G48	17.22
42		ST13	24.10
43		G16	28.29
44		TE7	13.10
45		CO3	46.73
46		CH3	19.20
47		TE1	13.10
48		CH7	20.14
49		TE1A	13.10
50		CH2	20.13
51		G42	29.20
52		ST10	24.52
53		ST1	46.73
54		CH6	20.15
55		CO10	25.62
56		TE2	13.10
57		ST5	24.34
58		ST6A	24.10

### Potansiyel gelecek senaryoları

Sanayi bölgesi içerisinde faaliyet gösteren tesisler tarafından üretilen ve endüstriyel simbiyoz için uygun olan 14 farklı atık türü vardır. Buna rağmen, bu atıklar sanayi bölgesi içerisinde ES ilişkileri için kullanılmamakta olup, sanayi bölgesi içinde veya dışında faaliyet gösteren geri dönüşüm / bertaraf firmalarına gönderilmektedir. Sanayi bölgesinde faaliyet gösteren tesislerin hiçbiri, herhangi bir geri dönüşüm firmasından, üretim süreçlerinde kullanmak için girdi almamaktadır. Bu nedenle, sanayi bölgesi içerisindeki tesisler tarafından üretilen ve herhangi bir geri dönüşüm/bertaraf tesisine gönderilen atıkların hiçbiri, geri dönüştürme vb. işlemlerden sonra sanayi bölgesi içindeki bir tesise geri dönmemektedir. Yukarıda belirtilen 14 atık ile ilgili olası simbiyotik ilişkiler, Cambridge Üniversitesi, Endüstriyel Sürdürülebilirlik Merkezi tarafından geliştirilen bir veri tabanı (MAESTRI) kullanılarak belirlenmiştir. Veri tabanı, makale vb. bilimsel kaynaklardan toplanan ES vaka çalışmaları ve bu çalışmalarda yer alan atık alışverişleri kütüphanesini içermekte olup, Avrupa Birliği (AB) tarafından finanse edilen bir projenin faaliyetlerinin bir parçası olarak geliştirilmiştir [111]. Veri tabanındaki her simbiyotik ilişki için, atık üreten (donör) ve atık alan tesislerin endüstriyel faaliyet alanları NACE kodu kullanılarak tanımlanırken, ES ilişkilerinde kullanılan atıklar EWC kodu kullanılarak tanımlanmıştır. Bundan sonra, MAESTRI veri tabanına *simbiyoz veri tabanı* olarak atıfta bulunulacaktır.

ES için uygun olan 14 atık türünden 6 tanesi için, hâlihazırda sanayi bölgesi içerisinde faaliyet gösteren potansiyel alıcılar mevcut olup, 8 tür atık için bölge içerisinde henüz potansiyel alıcı tesis mevcut değildir. Senaryo 1 ve 2, sadece sanayi bölgesi içerisindeki mevcut potansiyel alıcıları kullanarak, yukarıda bahsedilen 6 tip atık için potansiyel simbiyotik ilişkileri değerlendirmektedir. Henüz sanayi bölgesi içerisinde potansiyel alıcısı mevcut olmayan 8 atık türünün bölgede nasıl kullanılabileceğini değerlendirmek için ise, sanayi bölgesi içerisinde yeni tesislerin kurulmasını içeren 3. ve 4. senaryolar oluşturulmuştur. Potansiyel gelecek senaryolarını oluşturmak için kullanılan uygulanabilir potansiyel simbiyotik ilişkilerin listesi, Çizelge 2.2'de gösterilmiştir.

Çizelge 2.2. Potansiyel simbiyotik ilişkiler

No	EWC Kodu	EWC Kodu Açıklaması	Atığı Sağlayan NACE Kodları	Potansiyel Atık Alıcı NACE Kodları	Sanayi Bölgesi İçerisinde Halihazırda Potansiyel Atık Alıcısı Varlığı	Atığın Kullanıldığı Senaryolar
1	100202	Cüruf	24.10/24.20	20.13	Evet	1,2,3,4
2	100210	Tufal	24.10/24.20	24.10	Evet	1,2,3,4
3	200126	Kullanılmış yağ	13.10/24.10/24.20/25.93/28.29	19.20	Evet	1,2,3,4
4	200139	Plastikler	24.10/24.20/28.29	24.10	Evet	1,2,3,4
5	200140	Metaller	13.10/24.20/25.30/38.32	24.10	Evet	1,2,3,4
6	160103	Ömrünü tamamlamış lastik	24.10/49.41	24.10	Evet	1,2,3,4
7	040222	İşlenmiş tekstil elyafı atıkları	13.10	32.40	Hayır	3,4
8	120101	Demir metal çapakları ve talaşları	24.20/24.34/25.30/25.62/25.93/31.01	24.40	Hayır	3,4
9	150101	Kağıt ve karton ambalaj	19.20/20.14/23.64/24.10/24.20/25.30/28.29/38.32	17.12/23.43	Hayır	3,4
10	150102	Plastik ambalaj	13.10/17.22/23.64/24.20/28.29	10.39/10.73/22.21/22.29	Hayır	3,4
11	170604	Yalıtım malzemeleri	24.10	42.11	Hayır	3,4
12	191201	Kağıt ve karton	28.29	32.99	Hayır	3,4
13	200101	Kağıt ve karton atıkları	13.10/24.20/28.29	01.13/17.10/17.29	Hayır	3,4
14	200138	Ahşap	24.20	17.29	Hayır	3,4

Besin ağlarının eko-parklara nazaran yüksek bağlılık ve döngüsellik değerlerine sahip olmasının nedenlerinden birisi sistemlerinin içerisinde yamyamlığın [57], yani öz-döngünün [112] var olmasıdır. Bir sanayi bölgesinde, kendi ürettiği atığı tekrar kendi üretim süreçlerinde kullanan (öz-döngü) tesisler, yamyamlığın endüstrideki temsili olabilir. Endüstriyel simbiyoz ağları üzerindeki yamyamlık etkisini değerlendirmek için, potansiyel gelecek senaryoları, öz döngülü ve öz döngüsüz olmak üzere iki kategoriye ayrılmıştır.

İlk senaryoda, bir tesis kendi atıklarını girdi olarak kullanabilse bile, kendisi kullanmayıp sanayi bölgesi içerisinde faaliyet gösteren başka bir potansiyel alıcıya göndermektedir. İkinci senaryoda ise, eğer bir tesis kendi atığını girdi olarak kendisi kullanabiliyorsa, bu atığı başka bir potansiyel alıcıya göndermek yerine kendisi kullanmaktadır. Sonuç olarak,

ilk senaryoda öz-döngüye izin verilmezken ikinci senaryoda izin verilmektedir. Sanayi bölgesi içinde henüz potansiyel alıcısı bulunmayan 8 atık türünü alacak yeni tesislerin bölge içerisine kurulmasını içeren üçüncü ve dördüncü senaryolar, sırasıyla birinci ve ikinci senaryonun birer eklentisi olup, bunlar üzerine inşa edilmiştir. Başka bir deyişle, 1. senaryoya yeni kurulacak tesislerin eklenmesi ile 3. senaryo oluşturulurken, aynı yeni tesislerin 2. senaryoya eklenmesi ile ise 4. senaryo oluşturulmuştur. Sonuç olarak, 3. senaryoda öz döngüye izin verilmezken 4. senaryoda izin verilmiştir. Şekil 2.5, sanayi bölgesi içinde bulunan tesisler tarafından üretilen spesifik bir  $k$  atığı için, simbiyoz veri tabanı kullanılarak senaryo oluşturma adımlarını göstermektedir.

Tüm senaryolarda birden fazla potansiyel alıcı seçeneği vardır. Coğrafi yakınlık, herhangi bir ticari ilişkide tedarikçi ile üretici arasındaki mesafeyle orantılı olarak nakliye maliyetini etkiler [113]. Bu nedenle, atıklar genel olarak düşük ekonomik değere sahip olduğundan dolayı, uzak mesafelerde gerçekleştirilebilecek atık değişimlerinin ekonomik olarak olanaksız olması beklenmektedir [114].

Senaryo 1 ve 2'de, potansiyel bir alıcı seçimi yapmak için, atık üreticisi ile potansiyel atık alıcı seçenekleri arasındaki mesafeler, *Google Haritalar* kullanılarak hesaplanmıştır. Mesafeler hesaplanırken, atık üreticisi ile potansiyel atık alıcı tesisler arasındaki en kısa mesafe ölçülmüş, daha sonra en yakın seçenek potansiyel alıcı olarak seçilmiştir. Burada en kısa yollar, sanayi bölgesi içinde yer alan ve araçların kullandığı mevcut gerçek yolları temsil etmektedir.

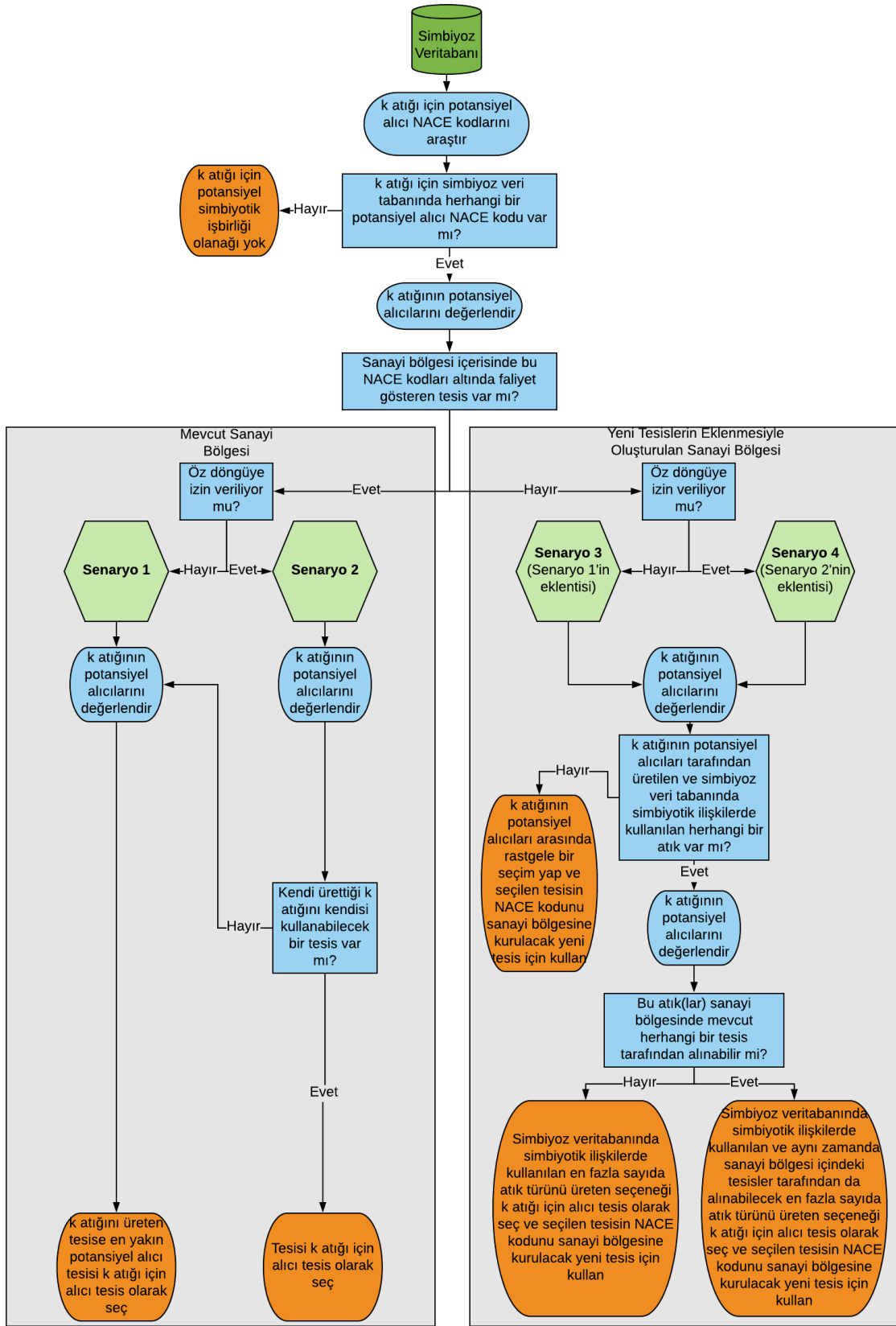
Yukarıda belirtilen 8 atık türünü alacak yeni tesislerin sanayi bölgesine kurulmasını içeren Senaryo 3 ve 4'te, yeni kurulacak tesislerin, eğer mümkünse, atık alıcısı olmalarının yanı sıra, sanayi bölgesi içerisindeki simbiyotik ilişkilerde atık üreticileri olarak da ikinci bir rol oynamaları istenmiştir. Bu nedenle, spesifik bir atığı almak için düşünülen potansiyel gelecek tesis seçenekleri arasında seçim yapılırken, yalnızca bu 8 atık türünden birini alabilecek olan değil, aynı zamanda, sanayi bölgesi içinde yer alan endüstriyel tesisler tarafından kullanılabilir atıkları da üretebilecek olanlar seçilmek istenmiştir. Gelecekteki potansiyel tesislerin atık üreticisi olarak dahil olabileceği ilgili potansiyel simbiyotik ilişkiler de yine simbiyoz veri tabanından tespit edilmiştir. Sonuç olarak, 8 tip atığın gelecekteki potansiyel alıcı seçenekleri değerlendirilirken, simbiyoz veri tabanında simbiyotik ilişkilerde kullanılan ve ayrıca sanayi bölgesi içerisinde de kullanılabilir olan



en fazla sayıda atık türünü üreten seçenek seçilmiştir. Eğer böyle bir seçenek yoksa, sanayi bölgesi içerisinde kullanılabilir olmasına bakmaksızın, simbiyoz veri tabanında simbiyotik ilişkilerde kullanılan atıklardan en fazla sayıda atık çeşidini üreten seçenek seçilmiştir. Böylece, sanayi bölgesi içinde başka gelecek simbiyoz ilişkisi fırsatları oluşturulmuştur. Eğer bu iki seçeneğin hiçbiri mevcut değilse, potansiyel seçenekler arasında rastgele bir seçim yapılmıştır. Rastgele seçim yapmak tek seçenekse, potansiyel atık alıcı seçenekleri arasından rasgele seçim yapmak hesaplamaları etkilememektedir. Çünkü, rastgele seçilen seçenek, sanayi bölgesi içerisindeki tesisler tarafından üretilen 8 atık türünden birini alacak ve bölge içerisinde kullanılabilir herhangi bir atık da üretmeyecektir. Bundan dolayı, bahsi geçen spesifik atığın A veya B isimli bir tesis tarafından alındığı hesaplamalar açısından bir etkiye sahip değildir. Çizelge 2.3, seçilen gelecek tesisleri ve bunlardan atık alabilecek potansiyel NACE kodlarını göstermektedir.

Çizelge 2.3. Gelecek tesisler ve bunlardan atıkları alabilecek potansiyel NACE kodları

<b>Gelecek Tesise Verilen İsim</b>	<b>Gelecek Tesis NACE Kodu</b>	<b>Gelecek Tesislerden Atık Alabilecek NACE Kodları</b>
A100	32.40	-
C100	24.40	-
D100	17.12	17.11/20.15
E100	10.39	10.39/22.29/35.21/38.21
G100	42.11	-
H100	32.99	-
I100	17.10	20.11/20.14/23.51/35.11
K100	17.29	-



Şekil 2.5. Sanayi bölgesindeki tesisler tarafından üretilen spesifik bir k atığı için simbiyoz veri tabanı kullanılarak senaryo oluşturma adımları

## 2.2. Eko-Park Tasarımı

### 2.2.1. Problem tanımı

Türkiye’de birçok sanayi bölgesi mevcut olup, bu sayı her geçen yıl artış göstermektedir. Yeni kurulması planlanan sanayi bölgelerinin eko-parklar şeklinde tasarlanması ile, eko-park içerisinde faaliyet gösteren tesisler tarafından üretilen atıkların yine eko-parkta faaliyet gösteren diğer tesisler tarafından üretim girdilerinin yerini almak için ve yeni ürünler üretmek için kullanılabilir olması sağlanabilir. Böylece, simbiyoz ilişkilerine katılan tesisler girdilerini atıklarla değiştirmek suretiyle doğal hammadde kullanımını azaltarak çevresel ve sosyal faydalar oluştururken, üretim girdisi olarak pahalı hammadde yerine ucuz atık kullandıklarından dolayı da ekonomik avantajlar elde ederler.

Türkiye’de henüz eko-park bulunmamasından ve literatürde uygulanabilecek genel bir eko-park prototip çalışması mevcut olmadığından dolayı, bu eksikliği gidermek için inşaat sektörü özelinde teorik bir eko-park tasarım çalışması yapılmıştır. İlk olarak, simbiyoz veri tabanı ve sektör özelinde toplanan veriler ile inşaat sektörü simbiyotik ilişkileri tespit edilmiştir. Bu ilişkiler tespit edilirken, sadece inşaat sektörüne üretim yapan tesisler değil ayrıca inşaat sektöründen atık alan ve sektöre atık veren diğer sektörler de tespit edilmiş ve iki adet veri seti oluşturulmuştur. Veri setleri aşağıda açıklanmıştır.

*Veri Seti 1:* Sadece inşaat endüstrisine üretim yapan sektörlerin yer aldığı simbiyotik ilişkiler mevcuttur. Veri setinde 28 sektör, 30 atık türü ve 71 adet potansiyel simbiyotik ilişki mevcuttur.

*Veri Seti 2:* İnşaat endüstrisine üretim yapan sektörler ile inşaat endüstrisinden atık alan ve atık veren diğer sektörlerin de yer aldığı simbiyotik ilişkiler mevcuttur. Veri setinde 48 sektör, 63 atık türü ve 170 adet potansiyel simbiyotik ilişki mevcuttur.

Daha sonra tasarım optimizasyon problemi dört aşamaya ayrılmış, veri setleri kullanılarak dört adet teorik eko-park tasarlanmış ve besin ağı metrikleri ışığında birbirleriyle ve doğal ekosistemlerle kıyaslanmıştır. Tasarlanan eko-parklar aşağıda açıklanmıştır.

- *Rastgele kapasiteli inşaat endüstrisi eko-parkı:* Bu eko-parkta sadece inşaat endüstrisine malzeme üreten sektörler yer almakta olup, eko-parkta faaliyet gösteren bir tesisin ürettiği atık veya atıklar eğer simbiyotik ilişkilerde kullanabiliyorsa, bu atıkların her bir çeşidinin miktar olarak tamamını sadece bir tesise verme zorunluluğu yoktur. Örneğin A tesisi x atığından 100 kg ürettiyse ve bu atığı eko-park içerisinde B ve C isimli tesisler kullanabiliyorsa, A tesisi ürettiği x atığının tamamını (100 kg) B veya C tesislerinden birine verebildiği gibi, 40 kg B tesisine 60 kg ise C tesisine verebilir. Ayrıca bir tesis başka bir tesisten tüm miktarını alma koşulu olmaksızın birden fazla atık türü alabilir.
- *Tam kapasiteli inşaat endüstrisi eko-parkı:* Bu eko-parkta, yukarıda belirtilen rastgele kapasiteli inşaat endüstrisi eko-parkı optimizasyon sonucundan elde edilen, dolayısı ile yine sadece inşaat endüstrisine malzeme üreten tesisler yer almakta olup, eko-parkta faaliyet gösteren bir tesisin ürettiği atık veya atıklar eğer simbiyotik ilişkilerde kullanabiliyorsa, bu atıkların her bir çeşidinin miktar olarak tamamını sadece bir tesise verebilmektedir. Örneğin A tesisi x atığından 100 kg ürettiyor ve bu atığı eko-park içerisinde B ve C isimli tesisler kullanabiliyorsa, A tesisi bu x atığının tamamını (100 kg) ya B ya da C tesisine vermektedir. Diğer bir deyişle atık miktarında bölümlenme yaparak 50 kg B tesisine 50 kg C tesisine veremez. Buna rağmen, bir tesis başka bir tesisten birden fazla atık türü alabilir. Örneğin A tesisi hem x hem de y atığını ürettiyse, B tesisi A tesisinden miktar olarak tamamını almak koşuluyla hem x hem de y atığını alabilir. Ayrıca, eğer bir tesis kendi ürettiği herhangi bir atığı kendisi kullanabiliyorsa (öz-döngü), bu atığı kendisi kullanır ve başka bir tesise gönderemez.
- *Rastgele kapasiteli karma eko-park:* Bu eko-parkta, inşaat endüstrisine malzeme üreten sektörlerin yanında inşaat endüstrisine atık veren ve atık alan diğer tesisler de yer almakta olup, eko-parkta faaliyet gösteren bir tesisin ürettiği atık veya atıklar eğer simbiyotik ilişkilerde kullanabiliyorsa, bu atıkların her bir çeşidinin miktar olarak tamamını sadece bir tesise verme zorunluluğu yoktur. Örneğin A tesisi x atığından 100 kg ürettiyse ve bu atığı eko-park içerisinde B ve C isimli tesisler kullanabiliyorsa, A tesisi ürettiği x atığının tamamını (100 kg) B veya C tesislerinden birine verebildiği gibi, 40 kg B tesisine 60 kg ise C tesisine verebilir. Ayrıca bir tesis başka bir tesisten tüm miktarı alma koşulu olmaksızın birden fazla atık türü alabilir.

- *Tam kapasiteli karma eko-park:* Bu eko-parkta, yukarıda belirtilen rastgele kapasiteli karma eko-park optimizasyon sonucundan elde edilen, dolayısı ile yine sadece inşaat endüstrisine malzeme üreten tesislerin yanında, inşaat endüstrisine atık veren ve atık alan diğer tesisler de yer almakta olup, eko-parkta faaliyet gösteren bir tesisin ürettiği atık veya atıklar eğer simbiyotik ilişkilerde kullanabiliyorsa, bu atıkların her bir çeşidinin miktar olarak tamamını sadece bir tesise verebilmektedir. Örneğin A tesisi  $x$  atığından 100 kg üretiliyor ve bu atığı eko-park içerisinde B ve C isimli tesisler kullanabiliyorsa, A tesisi bu  $x$  atığının tamamını (100 kg) ya B ya da C tesisine vermektedir. Diğer bir deyişle, atık miktarında bölümlenme yaparak, 50 kg B tesisine, 50 kg C tesisine veremez. Buna rağmen, bir tesis başka bir tesisten birden fazla atık türü alabilir. Örneğin A tesisi hem  $x$  hem de  $y$  atığını üretiliyorsa, B tesisi A tesisinden miktar olarak tamamını almak koşuluyla hem  $x$  hem de  $y$  atığını alabilir. Ayrıca, eğer bir tesis kendi ürettiği herhangi bir atığı kendisi kullanabiliyorsa (öz-döngü), bu atığı kendisi kullanır ve başka bir tesise gönderemez.

Eko-parklar optimize edilirken birincil olarak besin ağı metriklerinden döngüsellik ( $\lambda_{max}$ ) metriğini maksimum yapan simbiyotik ağ kombinasyonunun elde edilmesi amaçlanmıştır. Döngüsellik ( $\lambda_{max}$ ) metriği, bir ağın yapısına karar verebilen en önemli metriklerden biridir [54]. Bu metriğin atık akış miktarlarında herhangi bir etkisi yoktur. Dolayısıyla, eko-park tasarlandıktan sonra da atık akış miktarlarına karar verilebilir. Tez çalışmasında genel bir eko-park prototipi tasarlanması amaçlandığından ve tasarlanacak olan eko-parktaki tesislerin ne kadar atık üretebileceği bilinemeyeceğinden dolayı bu durum oldukça önemlidir. Doğadan ilham alarak tasarlanmak istenen endüstriyel ağların temel amacı, doğal ekosistemlerin özelliği olan sürdürülebilir döngüsellik ve geri dönüşümü taklit ederek, ideal yüksek verimli bir kapalı döngü üretim sistemi oluşturmaktır. Döngüsellik ( $\lambda_{max}$ ) metriği, bir sistemdeki kapalı döngünün varlığını ve gücünü de temsil edebildiğinden dolayı, tasarlanan eko-parkların optimizasyonunda bu metriği maksimize etmek ana amaç olarak kararlaştırılmıştır. İkincil olarak ağdaki atık çeşidini maksimize etmek amaçlanmıştır. Örneğin optimizasyon için farklı kombinasyonlar denenmiş ve  $\lambda_{max}$  değeri 2 olarak bulunmuş olsun. Eğer bu  $\lambda_{max}$  değeri hem 5 atık çeşidi kullanılarak kurulan simbiyotik ağda hem de 8 atık çeşidi kullanılarak kurulan simbiyotik ağda elde edilebiliyorsa, 8 atık çeşidi ile kurulan simbiyotik ağ seçilmek istenmiştir. Böylece, simbiyotik ağda daha fazla atık çeşidinden faydalanılmış olacaktır.

Üçüncül olarak ise ağdaki bağlantı yoğunluğunu maksimize etmek amaçlanmıştır. Örneğin optimizasyon için farklı kombinasyonlar denenmiş ve  $\lambda_{\max}$  değeri 2 olarak bulunmuş olsun. Eğer bu  $\lambda_{\max}$  değeri hem 5 bağlantı kullanılarak kurulan simbiyotik ağda hem de 8 bağlantı kullanılarak kurulan simbiyotik ağda elde edilebiliyorsa (ağdaki tesis sayısı aynı olmak kaydıyla), 8 bağlantı ile kurulan simbiyotik ağ seçilmek istenmiştir. Böylece, simbiyotik ağda tesis başına daha fazla simbiyotik ilişki mevcut olacaktır. Son olarak ise, eğer bir tesis kendi atığını kendisi kullanabiliyorsa (öz-döngü), atığını başka tesise göndermek yerine kendisinin kullanması amaçlanmıştır (tam kapasiteli eko-park tasarımı). Böylece kendi atığını kullanabilen tesisler kendi içlerinde kapalı döngü oluşturabilecek ve bu tür simbiyotik ilişkilerde kullanılan atıklar için de taşıma vb. ek maliyetler çıkmamış olacaktır.

İnşaat endüstrisi eko-parkında yer alacak sektörlerin ve bu sektörler arasındaki simbiyotik ilişkilerin belirlenmesinden sonra, eko-parkın yerleşim planının tespiti için lokasyon optimizasyonu aşamasına geçilmiştir. Bu aşamada ilk olarak aralarındaki simbiyotik ilişki boru/enerji vb. hattı gerektiren (örneğin atık su simbiyotik ilişkisi, atık ısı simbiyotik ilişkisi vb.) tesislerin birbirine en yakın olması amaçlanmıştır. İkinci olarak ise aralarındaki simbiyotik ilişki sayısı en fazla olanların birbirine en yakın olması istenmiştir.

Tez çalışmasının ikinci amacı olan eko-park tasarımını gerçekleştirmek için, metodoloji olarak yöneylem araştırması yaklaşımı benimsenmiştir. Yöneylem araştırması, bir organizasyon veya sistemin tasarımında, kuruluşunda veya işletilmesinde yer alan faaliyetlerin ne şekilde koordine edileceğine ilişkin problemlere uygulanan karar verme teknikleridir [115]. Verilen amaç veya amaçlar doğrultusunda ve belirli kısıtlamaların da sağlanarak en uygun çözümün elde edilmesi olan optimizasyon, yöneylem araştırmasının birçok kullanım alanından biridir. Bir çok yöneylem araştırması tekniği ve optimizasyon çözüm metodu mevcuttur. Bu çalışmanın yöneylem araştırması tekniği, *Doğrusal Olmayan Programlama Modeli olup*, optimizasyon çözüm metodu olarak ise problem yapısına uygunluğundan dolayı *Dal-Sınır Yöntemi* kullanılmıştır.

## 2.2.2. Doğrusal olmayan programlama

Gerçek hayatta karşılaşılan çoğu problem için geliştirilen karar modellerinin kısıtlarında ve amaç fonksiyonlarında doğrusal ilişkileri gözlemek zordur. Karar modelinin kısıtlarından en az biri veya amaç fonksiyonunun doğrusal olmadığı durumlar için geliştirilen, amaç fonksiyonunu en büyük ya da en küçük kılmayı hedefleyen eşitlik ya da eşitsizlik sistemini çözme işlemi için kullanılan kavram ve teknikler, doğrusal olmayan programlama adı altında incelenmektedir. Doğrusal olmayan karar modelinin genel yapısı aşağıdaki gibidir:

- $X$ : Karar değişkenleri vektörü,  $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ ,
- $g_i(x)$ :  $i$ . kısıtın ifadesi ( $i=1,2,\dots,m$ ),
- $b_i$ :  $i$ . kısıtın sağ taraf sabiti ( $i=1,2,\dots,m$ ),
- $f(x)$ : Amaç fonksiyonu ve

en az bir  $g_i(x)$  ve/veya  $f(x)$  doğrusal olmayan vektör fonksiyonu olmak üzere;  $f(x)$  fonksiyonunu en iyileyen  $X$  vektörünün bulunması.

Doğrusal olmayan karar modellerinin çözümü için genel bir algoritma ve etkin bir yöntem geliştirilmemiştir. Amaç fonksiyonu ve kısıtların yapılarına göre özel modellerin çeşitli çözüm teknikleri söz konusudur. Bu çalışmada çözüm metodu olarak problem yapısına uygunluğundan dolayı *Dal-Sınır Yöntemi* kullanılmıştır.

### Dal-sınır yöntemi

Dal-sınır yöntemi, matematiksel optimizasyonun yanı sıra, ayrık ve birleştirici optimizasyon problemleri için de bir algoritma tasarım paradigması olup, temelde bir problemdeki tüm olurlu çözüm seçeneklerini belirlemeye yönelik bir tekniktir [116]. Yöntemde, optimal çözüme götürmeyen bazı çözüm seçenekleri önceden elimine edilerek çözüm süresi düşürülmüş olur. Bu nedenle, gerekli değerlendirmelerin sayısı genellikle çözüm alanını küçük alt setlere böler. Bu alt setlere *dallandırma noktaları* adı verilir. Her alt set, daha fazla araştırma gerekip gerekmediğinin belirlenmesi üzerine değerlendirilir. Değerlendirme, amaç fonksiyon değerlerini sınırlarla karşılaştırarak gerçekleştirilir. Her problemin çözümü sonucunda en iyi çözüm için bir sınır elde edilir. Ayrıca, tamsayılı değer alması gereken değişkenler sistematik bir şekilde her problemin sonucuna göre

değerlendirilerek yeni düğümler oluşturulur. Dal-sınır algoritmasında her dal aşağıdaki durumlarda sonlandırılır.

- Tamsayılı değer alması gereken değişkenlerin tümü tamamen veya kısmen gevşetilmiş problemde tamsayılı değer alır ve bu çözüme tamsayılı çözüm adı verilerek en iyi amaç fonksiyonu değeri gerekli olursa güncellenir.
- Bir düğümdeki amaç fonksiyonu değeri güncel olan en iyi amaç fonksiyonu değerinden daha kötüdür.
- Bir düğümdeki problemin çözümü kısıtlardan bazılarını sağlamamaktadır.

Bu kriterlere uyularak problem için *dal-sınır* ağacı oluşturulur ve tüm dallar sonlandırıldıktan sonra en iyi çözüme ulaşılır.

Literatürde birçok dal-sınır algoritması mevcut olup, bu çalışmadaki eko-park tasarım problemine göre oluşturulan dal-sınır algoritmasının özellikleri aşağıda sıralanmıştır.

- ✓ Eko-parkta simbiyotik ilişkilerde kullanılacak spesifik bir atık türü eğer sadece bir tesis tarafından üretiliyor veya alınmıyorsa, o tesisin kesinlikle eko-park içerisinde bulunması gerekir (atık çeşidi maksimizasyonundan ötürü)
- ✓ Dal-sınır algoritmasını hızlandırmak için, tesisler potansiyel bağlantı sayısına göre sıralanmıştır (çoktan aza). Daha sonra tesisler bu sıraya göre azaltılmıştır.
- ✓ Çözüme tüm tesislerin eko-parkta açılmasıyla başlanıp, problemin dallandırılması için daha sonra her dallandırma iterasyonunda bir tesisin silinmesiyle alt setler oluşturulur.
- ✓ Her alt set için maksimum döngüsellik ( $\lambda_{max}$ ), ilişkide bulunulan toplam atık sayısı çeşidi ve bağlantı yoğunluğu ( $L_D$ ) hesaplanır. Maksimum döngüsellik ( $\lambda_{max}$ ) ve/veya ilişkide bulunulan toplam atık sayısı çeşidinde bir önceki alt sete göre bir düşüş söz konusu olduğunda (kısıt 2.22 ve 2.24 ihlal olduğunda), söz konusu alt set daha fazla dallandırılmaz. Aynı durum bağlantı yoğunluğu ( $L_D$ ) için geçerli değildir. Çünkü, tesis sayısının azalması ile maksimum döngüsellik ( $\lambda_{max}$ ) ve simbiyotik ilişkilerde kullanılan atık sayısı ya sabit kalıp ya da azalma eğiliminde iken, bağlantı yoğunluğu aynı zamanda artış da gösterebilir.
- ✓ Tüm alt setlerin dallanması durduğu zaman algoritma sonlandırılır ve en optimum çözüm seçilir.



Aşağıda verilen örnekte yöntemin işleyişi kısaca özetlenmiştir.

*Dal-sınır yöntemi örnek problem*

Çizelge 2.4'te altı adet endüstriyel tesisin ürettiği atık tipleri ( $c_{ik}$ ) ile kendi üretimlerinde girdi olarak kullanabilecekleri atık tipleri ( $e_{ik}$ ) verilmiştir. Çizelge 2.5'te ise bu altı tesis arasında gerçekleşmesi olası simbiyotik ilişkiler besin ağı matrisi [F] şeklinde sunulmuştur.

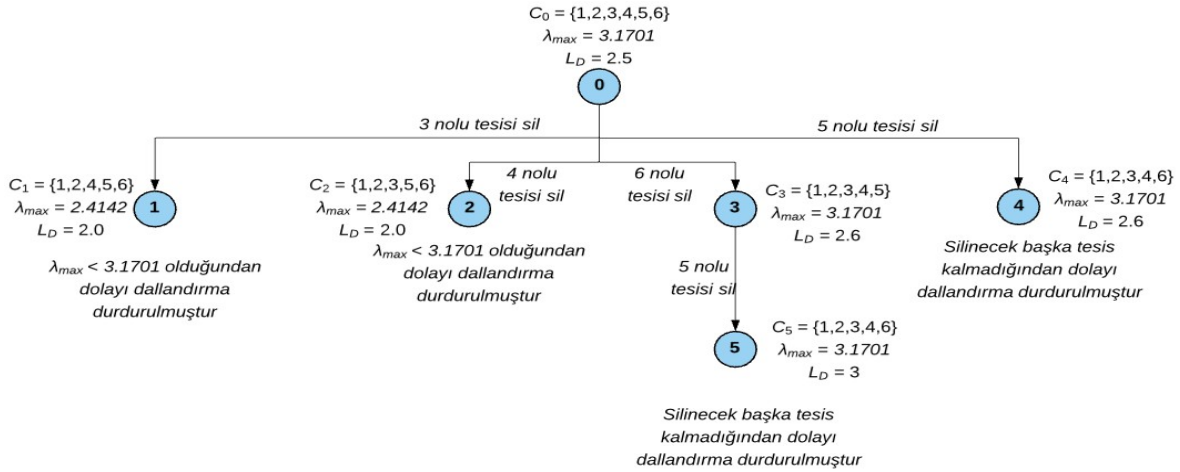
Çizelge 2.4. Endüstriyel tesislerin ürettiği atık tipleri ( $c_{ik}$ ) ile kendi üretimlerinde girdi olarak kullanabilecekleri atık tipleri ( $e_{ik}$ )

Tesisler\Atık tipi	$c_{ik}$				$e_{ik}$			
	1	2	3	4	1	2	3	4
1	1	1	0	0	1	0	1	0
2	0	0	1	0	0	1	1	0
3	0	1	0	1	0	0	1	1
4	0	1	0	1	0	0	1	1
5	0	0	0	0	0	0	1	0
6	0	0	0	0	1	0	0	0

Çizelge 2.5. Tesisler arasındaki besin ağı matrisi [F]

A <sub>v</sub> \A <sub>v</sub> c	1	2	3	4	5	6
1	1	1	0	0	0	1
2	1	1	1	1	1	1
3	0	1	1	1	0	0
4	0	1	1	1	0	0
5	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0

Döngüsellik ( $\lambda_{max}$ ) ve bağlantı yoğunluğunun ( $L_D$ ) maksimum olduğu ağ kombinasyonunu tespit etmek için normal yöntemlerle 64 olasılığın denenmesi gerekmektedir ( $2^6$ ). Şekil 2.6, dal-sınır yöntemi kullanarak optimum çözüme 64 yerine 5 adımda nasıl gidildiğini göstermektedir.



Şekil 2.6. Örnek problem için dal-sınır ağacı (Çözüm: 5 numaralı düğüm)

### 2.2.3. Matematik model

#### Eko-parkların tasarımı için matematik model

Rastgele kapasiteli eko-parklar için matematik model oluşturulurken aşağıdaki iki teorem kullanılmıştır.

- 1)  $[A]$  ve  $[B]$   $n \times n$  boyutunda birer ikili matris,  $\lambda_1$  ve  $\mu_1$  ise sırasıyla  $[A]$  ve  $[B]$ 'nin maksimum öz değerleri olsun. Eğer  $A \geq B$  ise  $\lambda_1 \geq \mu_1$  dir [117].
- 2)  $[A]$ ,  $n \times n$  boyutunda bir ikili matris ve  $\lambda_1$ ,  $[A]$ 'nin maksimum öz değerleri olsun.  $[A]$ 'dan herhangi bir aynı numaralı ( $i=j$ ) satır ve sütun aynı anda silindiğinde elde edilen  $(n-1) \times (n-1)$  boyutundaki matris  $[B]$ , bu matrisin maksimum öz değeri ise  $\mu_1$  olsun. Bu durumda  $\lambda_1 \geq \mu_1$  [54].

Bu teoremler yardımıyla, maksimum döngüsellik değerinin ( $\lambda_{max}$ ), modeli oluşturmak için kullanılan veri setinde yer alan tüm tesislerin tasarlanmak istenen eko-parkta açıldığı ve bu tesislerin aralarında olası tüm ilişkilerin kurulduğu durumda elde edileceği sonucuna varılmıştır.

### Parametre ve indisler

- N Tesis sayısı  
 K Atık sayısı  
 $i, j$  Tesis indisleri ( $i, j = 1, 2, \dots, N$ )  
 $k$  Atık indisleri ( $k = 1, 2, \dots, K$ )  
 $e_{ik}$   $k$  atığının  $i$  tesisi tarafından alınabileceğini ifade eden ikili parametre  
 $c_{ik}$   $k$  atığının  $i$  tesisi tarafından üretilebildiğini ifade eden ikili parametre  
 $\lambda_{\max}^*$  Tüm olasılıkların mevcut olduğu besin ağı matrisinden [F] elde edilen maksimum döngüsellik  
 $S_{ij}$   $i$  tesisinin ürettiği en az bir atığın  $j$  tesisi tarafından alınabileceğini ifade eden ikili parametre

$$S_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{eğer } c_{ik} = e_{jk} = 1 \text{ en az bir atık çeşidi için} \\ 0 & \text{aksi halde} \end{cases} \quad (2.18)$$

### Karar değişkenleri

- $Y_i = \begin{cases} 1 & \text{eğer } i \text{ tesisi eko - parkta açılırsa} \\ 0 & \text{aksi halde} \end{cases} \quad (2.19)$   
 $\lambda_{\max}$  maksimum döngüsellik  
 $V_j$  maksimum döngüsellik ( $\lambda_{\max}$ ) öz vektörünün elemanları

### Amaç fonksiyonu

$$\text{Max } z = \frac{\sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^N S_{ij} Y_j Y_i}{\sum_{i=1}^N Y_i} \quad (2.20)$$

### Kısıtlar

$$\sum_{j=1}^N S_{ij} Y_j V_j = Y_i V_i \lambda_{\max} \quad i = 1, 2, \dots, N \text{ için} \quad (2.21)$$

$$\lambda_{\max} \geq \lambda_{\max}^* \quad (2.22)$$

$$\sum_{i=1}^N c_{ik} Y_i \geq 1 \quad k = 1, 2, \dots, K \text{ için} \quad (2.23)$$

$$\sum_{i=1}^N e_{ik} Y_i \geq 1 \quad k = 1, 2, \dots, K \text{ için} \quad (2.24)$$

$$Y_i \in \{0, 1\} \quad i = 1, 2, \dots, N \text{ için} \quad (2.25)$$

Modeldeki amaç fonksiyonu (Eşitlik 2.20), toplam bağlantı sayısının eko-parkta açılan tesis sayısına bölünmesi ile elde edilen bağlantı yoğunluğunu maksimize etmekte olup, Eşitlik 2.21 ile verilen kısıt maksimum öz değerin tanımıdır. Eşitlik 2.22 ile verilen kısıt modelden elde edilecek maksimum öz değerin ( $\lambda_{\max}$ ) tüm olasılıkların mevcut olduğu besin ağı matrisinden  $[F]$  elde edilen maksimum döngüsellik ( $\lambda_{\max}^*$ ) değerinden küçük olamayacağını garanti ederken, Eşitlik 2.23 ile verilen kısıt her atık çeşidinin üretilmesini, Eşitlik 2.24 ile verilen kısıt her atık çeşidinin alınmasını ve böylece tüm atık çeşitlerinin eko-park içerisinde kullanılmasını garanti etmektedir. Eşitlik 2.25 ile ifade edilen kısıt ise eko-park içerisinde bir tesisin açılıp açılmamasını temsil etmektedir.  $V_j$  ve  $\lambda_{\max}$  herhangi bir kısıta tabi olmadığından ötürü herhangi bir reel değer alabilir.

Tam kapasiteli eko-parklar tasarlanırken rastgele kapasiteli eko-park tasarımından elde edilen sonuçlar kullanıldığından dolayı, sonuçlar üzerinde bazı gözlemler yapılmış ve kendi atığını kendisi kullanabilen tesisler ile bir atığı sadece tek bir tesisin aldığı durumlar tespit edilmiş ve bunlar çözüm yapılırken sabitlenmiştir. Geriye kalan olasılıkların tümü (Tam kapasitelide inşaat endüstrisi eko parkında 144 olasılık, tam kapasiteli karma eko-parkta ise 3.276.800 olasılık mevcuttur.) Microsoft Visual Studio yazılımında çözülmüş ve maksimum döngüsellik ( $\lambda_{\max}$ ) ile maksimum bağlantı yoğunluğunu ( $L_d$ ) veren optimum çözüm elde edilmiştir.

### Lokasyon tespiti için matematik model

#### *Parametre ve indisler*

N	Tesis sayısı
K	Atık sayısı
P	Alternatif lokasyon sayısı
i, j	Tesis indisleri ( $i, j = 1, 2, \dots, N$ )
k	Atık indisleri ( $k = 1, 2, \dots, K$ )
$p, p'$	Lokasyon indisleri ( $p, p' = 1, 2, \dots, P$ )
$e_{ik}$	k atığının i tesisi tarafından alınabileceğini ifade eden ikili parametre
$c_{ik}$	k atığının i tesisi tarafından üretilbildiğini ifade eden ikili parametre
M	Yeterince büyük pozitif bir sayı

$F_{ijk}$  i tesisinin ürettiği k atığını j tesisine gönderdiğini ifade eden ikili parametre

$d_{pp'}$  p ile p' arasındaki mesafe

$w_k$  k atığının maliyet ağırlığı

*Karar değişkenleri*

$$X_{ip} = \begin{cases} 1 & \text{eğer } i \text{ tesisi eko - parkta } p \text{ lokasyonuna yerleşirse} \\ 0 & \text{aksi halde} \end{cases} \quad (2.26)$$

$CF_{ijk}$  i ile j tesisi arasında k atığı ilişkisinden kaynaklı atık akış maliyeti

*Amaç fonksiyonu*

$$\text{Min } z = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \sum_{k=1}^K CF_{ijk} \quad (2.27)$$

*Kısıtlar*

$$\sum_{p=1}^P X_{ip} = 1 \quad i = 1, 2, \dots, N \quad (2.28)$$

$$\sum_{i=1}^N X_{ip} \leq 1 \quad p = 1, 2, \dots, P \quad (2.29)$$

$$CF_{ijk} \geq d_{pp'} w_k - M(2 - X_{ip} c_{ik} - X_{jp'} e_{jk}) \quad i, j = 1, 2, \dots, N; i \neq j \quad k = 1, 2, \dots, K; \\ p, p' = 1, 2, \dots, P \quad (2.30)$$

$$CF_{ijk} \geq 0 \quad i, j = 1, 2, \dots, N; k = 1, 2, \dots, K \quad (2.31)$$

$$X_{ip} \in \{0, 1\} \quad i = 1, 2, \dots, N; p = 1, 2, \dots, P \quad (2.32)$$

Modeldeki amaç fonksiyonu (Eşitlik 2.27) tesisler arasındaki atık akış maliyetlerini minimize ederken, Eşitlik 2.28 ile verilen kısıt bir tesisin bir lokasyona atanmasını garanti eder. Eşitlik 2.29 ile verilen kısıt bir lokasyona sadece bir tesisin atanmasını sağlarken, Eşitlik 2.30 ile verilen kısıt tesisler arasındaki her atık alışverişi için maliyeti hesaplar. Eşitlik 2.31 ile verilen kısıt  $CF_{ijk}$ 'nin negatif olmasını engellerken, Eşitlik 2.32 ile verilen kısıt ise eko-park içerisindeki bir lokasyona bir tesisin yerleşip yerleşmemesini temsil etmektedir.

Tam kapasiteli eko-parkların lokasyon problemini çözmek için, Eşitlik 2.30 ile verilen kısıt, aşağıda Eşitlik 2.33 ve Eşitlik 2.34 ile verilen kısıtlarla değiştirilmiştir.

$$CF_{ijk} \geq d_{pp'}w_k - M(2 - X_{ip} - X_{jp'}), i, j \in N; i \neq j; k \in K; p, p' \in P; F_{ijk} = 1 \quad (2.33)$$

$$CF_{ijk} = 0, i, j \in N; i \neq j; k \in K; F_{ijk} = 0 \quad (2.34)$$

eğer  $k$  atığı  $i$  tesisinden  $j$  tesisine gönderilirse  $F_{ijk}$  1 değerini alırken, aksi halde 0 değerini alır.

Eşitlik 2.33 ile verilen kısıt var olan her atık alışverişi için maliyeti hesaplarken, Eşitlik 2.34 ile verilen kısıt, eğer bir atık akışı yoksa maliyetin 0 olmasını sağlar.

### 3. ARAŞTIRMA BULGULARI

#### 3.1. Sanayi Bölgelerinin Eko-Parklara Doğru Geliştirilmesi

Tezin bu bölümde, vaka çalışması gerçekleştirilen sanayi bölgesindeki mevcut ve gelecek atık akış ağlarının analiz sonuçları verilmiştir. İlk olarak, temel durum hem besin ağı analizi (BAA) hem de sosyal ağ analizi (SAA) sonuçlarıyla ele alınmıştır. Bunu, dört potansiyel gelecek senaryosunun temel durum ile karşılaştırması izlemektedir.

##### 3.1.1. Temel durum

Bu bölümde, temel durum için BAA ve SAA analiz sonuçları sunulmuştur. İlk olarak BAA sonuçları verilmiş olup bunu SAA sonuçları takip etmektedir.

##### BAA sonuçları

Temel durum için besin ağı matrisi [F] oluşturulmuş ve besin ağı metrikleri bu [F]'e göre hesaplanmıştır. Çizelge 3.1, BAA sonuçlarını göstermektedir. Sonuçlar incelendiğinde, temel durumda yüksek bir av-avcı oranı ( $P_r=7,5$ ) olduğu göze çarpmaktadır. Bu, sanayi bölgesi içerisindeki 4 tesisin ( $N_{avcı}=4$ ), 30 tesis ( $N_{av}=30$ ) tarafından üretilen atıkları aldığını göstermektedir. Genelleştirme (G) ve kırılabilirlik (V) metrikleri sırasıyla 8 ve 1,067 olarak bulunmuştur. Bu, her avın (atık üreticisi) ortalama 1,067 avcı (atık alıcısı) tarafından tüketildiği ve her avcının ortalama 8 av tükettiği anlamına gelmektedir. Bağlılık (C) ve bağlantı yoğunluğu ( $L_D$ ) değerleri alabilecekleri maksimum teorik değere göre oldukça düşüktür (Her iki metrik te alabilecekleri maksimum teorik değerin %1'inden daha küçüktür.). Döngüsellik ( $\lambda_{max}$ ) değeri ise 0 olup sanayi bölgesi içerisinde atık alışverişlerinde herhangi bir kapalı döngünün mevcut olmadığını ifade etmektedir.

Çizelge 3.1. Temel durumun besin ağı matrisinden hesaplanan besin ağı metrikleri

Tür Zenginliği (SR)	Bağlantı Sayısı ( $N_L$ )	Avcı ( $N_{avcı}$ )	Av ( $N_{av}$ )	Bağlılık (C)	Bağlantı Yoğunluğu ( $L_D$ )	Av/Avcı Oranı (Pr)	Kırılabilirlik (V)	Genelleştirme (G)	Döngüsellik ( $\lambda_{max}$ )
---------------------	---------------------------	---------------------	-----------------	--------------	------------------------------	--------------------	--------------------	-------------------	---------------------------------

58      32      4      30      0,010      0,552      7,5      1,067      8      0

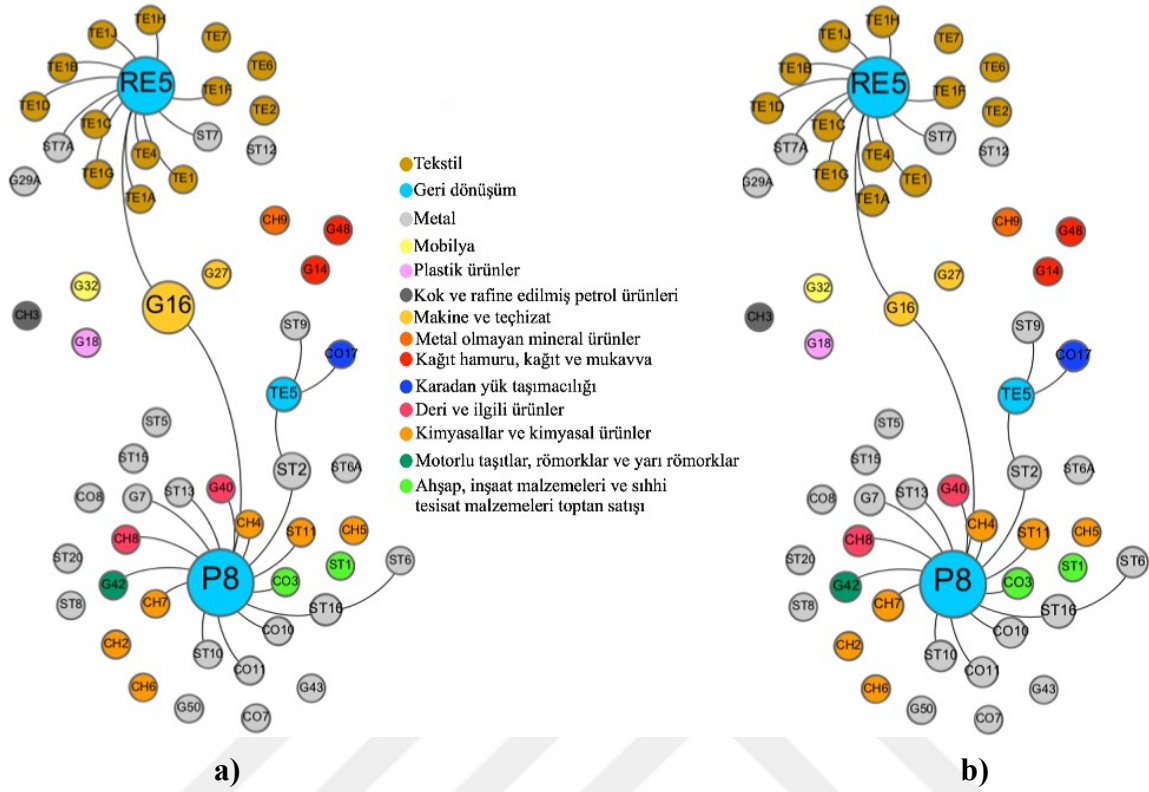
---

*Not: Temel durumda öz dögü ilişkisi olmadığından dolayı, C değeri Eşitlik 2.10 kullanılarak hesaplanmıştır*





### SAA sonuçları



Şekil 3.1. Sanayi bölgesindeki tesislerin merkezlilikleri a) Arasındalık merkezliliği b) Derece merkezliliği Not: Atık akış yönü (üreticiden alıcıya) saat yönü ile gösterilmiştir. Düğümün merkezlik değeri düğüm büyüklüğü ile temsil edilmiştir.

Sonuçlardan elde edilen ilk gözlem, metal üretim endüstrisinin sanayi bölgesi içerisindeki lider endüstri olduğu yönündedir. Bu nedenle, sanayi bölgesi içerisindeki metal üreticileri, ESA'nın geliştirilmesinde önemli rol oynayabilir. Çizelge 3.2, sanayi bölgesi içinde gerçekleşen atık akışlarına ilişkin olarak, sanayi bölgesi içindeki tüm endüstriyel aktörlerin merkezlik değerlerini ve düğüm derecelerini göstermektedir. Ayrıca, sanayi bölgesi dışına doğru gerçekleşen atık akışlarını da dahil edildiğinde, tüm endüstriyel aktörlerin düğüm dereceleri yine Çizelge 3.1'de sunulmuştur. P8 ve RE5 tesisleri (her ikisi de geri dönüşüm tesisi) en yüksek iç derece ( $D_{iç}$ ) değerlerine sahip olup, bu değerler sırasıyla 15 ve 13 tir. Bu durum, diğer 27 tesisin atıklarını bu iki geri dönüşüm tesisine gönderdiği anlamına gelmektedir (G16 tesisi atıklarını bu iki geri dönüşüm tesisine de göndermektedir.). Atık üreticileri açısından, sanayi bölgesi dışına çıkan atık akışları da dahil edildiğinde,  $D_{ST16dış}$  (bir metal üretim tesisi) 25, ve ardından  $D_{ST2dış}$  (başka bir metal üretim tesisi) 22 ile en yüksek iki değere sahiptir. Buna rağmen, sadece sanayi bölgesindeki atık akışları dikkate alındığında,  $D_{ST16dış}$  ve  $D_{ST2dış}$  değerleri sırasıyla 1 ve 2 dir. Bu, ST16 tesisinin sanayi

bölgesi içerisindeki 1 tesise, ST2 tesisinin ise yine sanayi bölgesi içerisindeki 2 tesise atık verdiğini göstermektedir. Sanayi bölgesi dışına akışların da dahil edildiği toplam düğüm dereceleri göz önüne alındığında, ST16 (bir metal üretim tesisi) ve P8 (bir geri dönüşüm tesisi) tesislerinin aldığı değerlerin, her iki tesisinde ES ilişkilerinde rol almak için önemli bir potansiyele sahip olduğunu gösterir derecede yüksek olduğu görünmektedir ( $D_{ST16}=D_{P8}=26$ ). Bu değerler, her iki tesisinde ES ilişkilerinde rol almak için önemli bir potansiyele sahip olduğunu göstermektedir. Sadece sanayi bölgesinde gerçekleşen atık akışları göz önüne alındığında  $D_{ST16}$  değeri  $D_{P8}$  değerinden çok daha düşüktür ( $D_{ST16}=1, D_{P8}=15$ ). Buna rağmen  $D_{P8}$  değerinin çoğu gelen atıklardan kaynaklanmaktadır.

Şekil 3.1 (a) 'dan görülebileceği gibi, bir geri dönüşüm tesisi olan P8, sanayi bölgesi içerisindeki atık akış ağında merkezi bir pozisyon almaktadır. Bu, P8'in yüksek arasındalık merkeziliği değerinin sonucu olup ( $BC_{P8} = \%24,937$ ), tesisin sanayi bölgesi içindeki diğer tesisleri birbirine bağlamak ve kontrol etmek için yüksek bir potansiyele sahip olduğunu gösterir. P8 tesisini başka bir geri dönüşüm tesisi olan RE5, 19,173% lik  $BC_{RE5}$  değeri ile takip etmektedir. Sanayi bölgesi içerisinde yer alan 25 tesis, bölge içerisinde hiçbir atık alışverişinde bulunmamaktadır. Makine ve teçhizat üreticisi olan G16 tesisi, simbiyotik ilişkiler için daha fazla bağlantı geliştirilmesine yardımcı olabilecek *ara tesis* görevi görebilecek özel bir pozisyonda yer almaktadır. Buna rağmen, tesis, ES ağının büyümesini teşvik edecek derece merkeziliği kapasitesine sahip değildir. Sanayi bölgesi içerisinde faaliyet gösteren tesislerin derece merkeziliği değerleri Şekil 3.1 (b) 'de gösterilmektedir. Derece merkeziliği sıralamasında, bir geri dönüşüm tesisi olan P8  $\%26,316$  değeriyle ilk sırada yer alırken, yine başka bir geri dönüşüm tesisi olan RE5  $\%22,807$  değeriyle onu takip etmektedir. Bu durum, sanayi bölgesi içerisindeki atık kullanıcılarının atık akışları üzerinde atık sağlayıcılardan daha fazla güce sahip olduğu anlamına gelebilir.

Çizelge 3.2. Sanayi bölgesi içindeki tesislerin merkezilik değerleri ve düğüm dereceleri

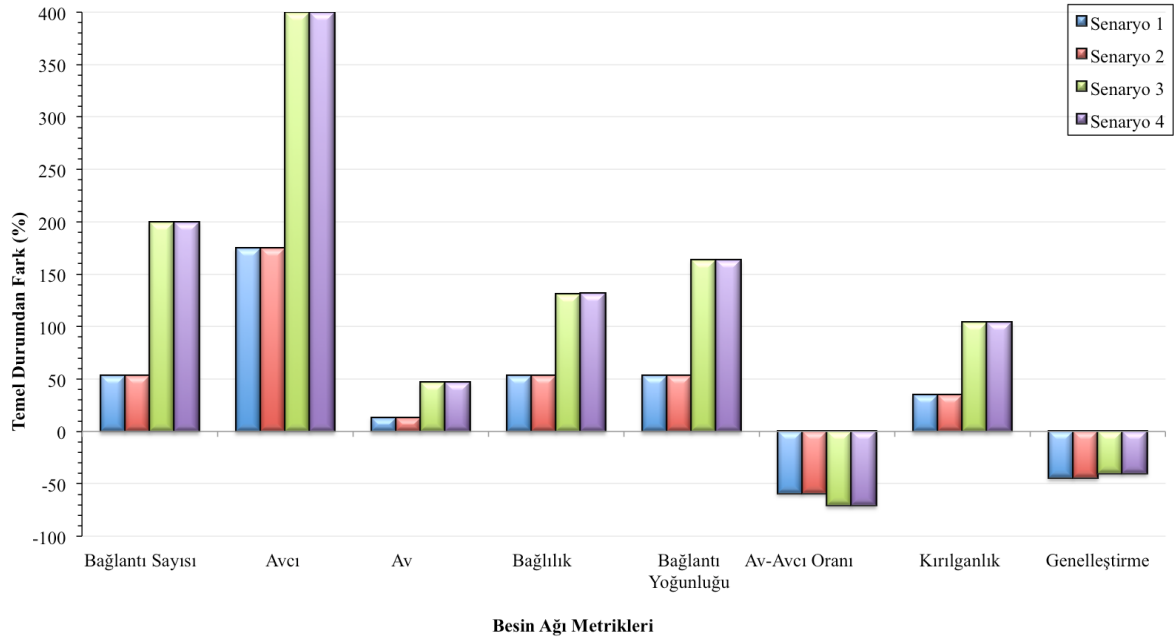
No	Düğüm	Sanayi Bölgesi İçerisindeki Atık Akışları					Sanayi Bölgesi Dışına Doğru Atık Akışları Dahil Durum		
		D <sub>Niç</sub>	D <sub>Ndış</sub>	D <sub>N</sub>	DC <sub>N</sub> (%)	BC <sub>N</sub> (%)	D <sub>Niç</sub>	D <sub>Ndış</sub>	D <sub>N</sub>
1	CO17	0	1	1	0,01754386	0	0	5	5
2	G27	0	0	0	0	0	0	7	7
3	G50	0	0	0	0	0	0	1	1
4	CH8	0	1	1	0,01754386	0	0	4	4
5	ST11	0	1	1	0,01754386	0	0	1	1
6	ST16	1	1	2	0,035087719	0,019424	1	25	26
7	ST20	0	0	0	0	0	0	13	13
8	TE1G	0	1	1	0,01754386	0	0	5	5
9	TE5	3	0	3	0,052631579	0,038221	4	4	8
10	ST8	0	0	0	0	0	0	2	2
11	CO8	0	0	0	0	0	0	1	1
12	G18	0	0	0	0	0	0	1	1
13	TE6	0	0	0	0	0	0	1	1
14	CH4	0	1	1	0,01754386	0	0	3	3
15	CH9	0	0	0	0	0	0	5	5
16	TE4	0	1	1	0,01754386	0	0	6	6
17	ST9	0	1	1	0,01754386	0	0	6	6
18	G32	0	0	0	0	0	0	1	1
19	ST7	0	1	1	0,01754386	0	0	7	7
20	TE1F	0	1	1	0,01754386	0	0	5	5
21	ST2	0	2	2	0,035087719	0,054511	0	22	22
22	G14	0	0	0	0	0	0	3	3
23	RE5	13	0	13	0,228070175	0,191729	20	4	24
24	G7	0	1	1	0,01754386	0	0	10	10
25	TE1J	0	1	1	0,01754386	0	0	5	5
26	G43	0	0	0	0	0	0	5	5
27	TE1D	0	1	1	0,01754386	0	0	5	5
28	ST15	0	0	0	0	0	0	1	1
29	TE1B	0	1	1	0,01754386	0	0	5	5
30	G29A	0	0	0	0	0	0	1	1
31	TE1H	0	1	1	0,01754386	0	0	6	6
32	CO7	0	0	0	0	0	0	1	1
33	P8	15	0	15	0,263157895	0,249373	21	5	26
34	ST7A	0	1	1	0,01754386	0	0	5	5
35	TE1C	0	1	1	0,01754386	0	0	5	5
36	G40	0	1	1	0,01754386	0	0	8	8
37	ST12	0	0	0	0	0	0	7	7
38	ST6	0	1	1	0,01754386	0	0	1	1
39	CO11	0	1	1	0,01754386	0	0	2	2
40	CH5	0	0	0	0	0	0	4	4
41	G48	0	0	0	0	0	0	2	2
42	ST13	0	1	1	0,01754386	0	0	11	11
43	G16	0	2	2	0,035087719	0,154762	0	15	15
44	TE7	0	0	0	0	0	0	1	1
45	CO3	0	1	1	0,01754386	0	0	3	3
46	CH3	0	0	0	0	0	0	2	2
47	TE1	0	1	1	0,01754386	0	0	5	5
48	CH7	0	1	1	0,01754386	0	0	4	4
49	TE1A	0	1	1	0,01754386	0	0	5	5
50	CH2	0	0	0	0	0	0	1	1
51	G42	0	1	1	0,01754386	0	0	1	1
52	ST10	0	1	1	0,01754386	0	0	1	1
53	ST1	0	0	0	0	0	0	2	2
54	CH6	0	0	0	0	0	0	1	1
55	CO10	0	1	1	0,01754386	0	0	2	2
56	TE2	0	0	0	0	0	0	1	1
57	ST5	0	0	0	0	0	0	5	5
58	ST6A	0	0	0	0	0	0	1	1

Not: Temel durumda öz döngü ilişkisi olmadığından dolayı, DC<sub>N</sub> değerleri Eşitlik 2.16 kullanılarak hesaplanmıştır

### 3.1.2. Potansiyel gelecek senaryolarının değerlendirilmesi

Bu bölümde, dört potansiyel gelecek senaryosunun temel durumla karşılaştırılması sunulmuştur. Öncelikle, BAA sonuçlarının karşılaştırılması ve ardından SAA sonuçlarının karşılaştırılması verilmiştir.

#### BAA sonuçları



Şekil 3.2. Gelecek senaryolarının besin ağı metriklerinin temel durumdan yüzde farkları

Çizelge 3.3, her senaryonun besin ağı matrisine [F] göre hesaplanan, dört potansiyel gelecek senaryosunun her biri için besin ağı metrik değerlerini göstermektedir. Bu sonuçların temel durumdan yüzde farklarının değerlendirilmesi ise Şekil 3.2'de sunulmaktadır. Temel durum ile gelecekteki tüm potansiyel senaryolar arasında belirlenen en önemli farklar, sırasıyla, %175 den %400'e ve %53,125 den %200'e değişim gösteren, avcı sayısı ( $N_{avcı}$ ) ve bağlantı sayısı ( $N_L$ ) metrikleridir. Bunu yanında, bağlantı yoğunluğu ( $L_D$ ) ve bağlılık ( $C$ ) metriklerinin sonuçlarında da önemli bir artış görülmektedir (sırasıyla %53,125 ten %163,637'e ve %53,125 ten %131,680'e). Minimum pozitif artış, %13,333 ile %46,667 arasında değişen değerler alan av sayısı ( $N_{av}$ ) metriğinde gözlenmektedir. Bu durum, potansiyel gelecek senaryolarını oluşturmak için kullanılan atıkların yarısından fazlasının, temel durumda geri dönüşümcüler tarafından alındığının göstergesidir.

Kırılganlık (V) açısından, Senaryo 3 ve 4 (Her ikisi de temel durumdan %104,545 farklıdır.), Senaryo 1 ve 2'den (Her ikisi de temel durumdan %35,110 farklıdır.) daha önemli bir artışa sahiptir. Bu durum, her avın (atık üreticisi), sanayi bölgesine yeni tesis kurulumu ile daha fazla avcı (atık alıcısı) tarafından tüketildiğini ifade etmektedir. Av-avcı oranı ( $P_r$ ) ve genelleştirme (G) metriklerinde sırasıyla, -%70,667'den -%58,788'e ve -%44,318 den -%40'a değişen değerlerde negatif değişiklikler görülmektedir. Bu durum, tüm potansiyel gelecek senaryolarının, avdan (atık üreticisi) daha fazla oranda avcı (atık alıcısı) ürettiğini ifade etmektedir. Çizelge 3.3'de görüldüğü üzere, 1. ve 3. senaryolarda döngüsellik ( $\lambda_{max}$ ) değeri 0 iken, 2. ve 4. senaryolarda 1 dir. Bu durum, öz-döngü ilişkilerinin, her ne kadar güçlü olmasa da sanayi bölgesi içerisindeki döngüsellik arttırdığının göstergesidir.

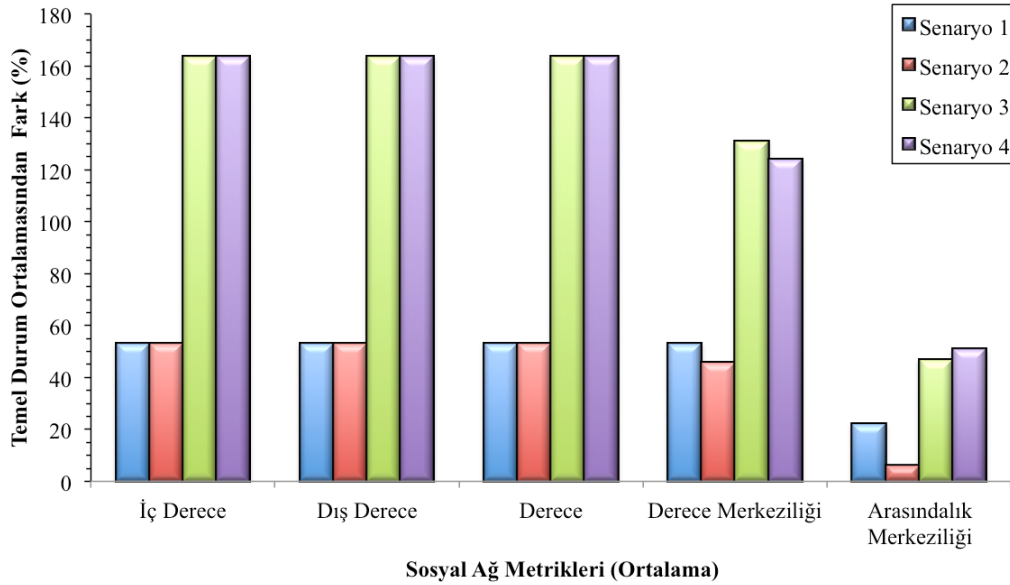
Çizelge 3.3. Potansiyel gelecek senaryolarının besin ağı metrik değerleri

Potansiyel Gelecek Senaryosu	Tür Zenginliği ( $S_R$ )	Bağlantı Sayısı ( $N_L$ )	Avcı ( $N_{avc}$ )	Av ( $N_{av}$ )	Bağlılık (C)	Bağlantı Yoğunluğu ( $L_D$ )	Av/Avcı Oranı ( $P_r$ )	Kırılganlık (V)	Genelleştirme (G)	Döngüsellik ( $\lambda_{max}$ )
Senaryo 1	58	49	11	34	0,0148	0,8448	3,0909	1,4411	4,4545	0
Senaryo 2	58	49	11	34	0,0145	0,8448	3,0909	1,4411	4,4545	1
Senaryo 3	66	96	20	44	0,0223	1,4545	2,2	2,1818	4,8	0
Senaryo 4	66	96	20	44	0,0220	1,4545	2,2	2,1818	4,8	1

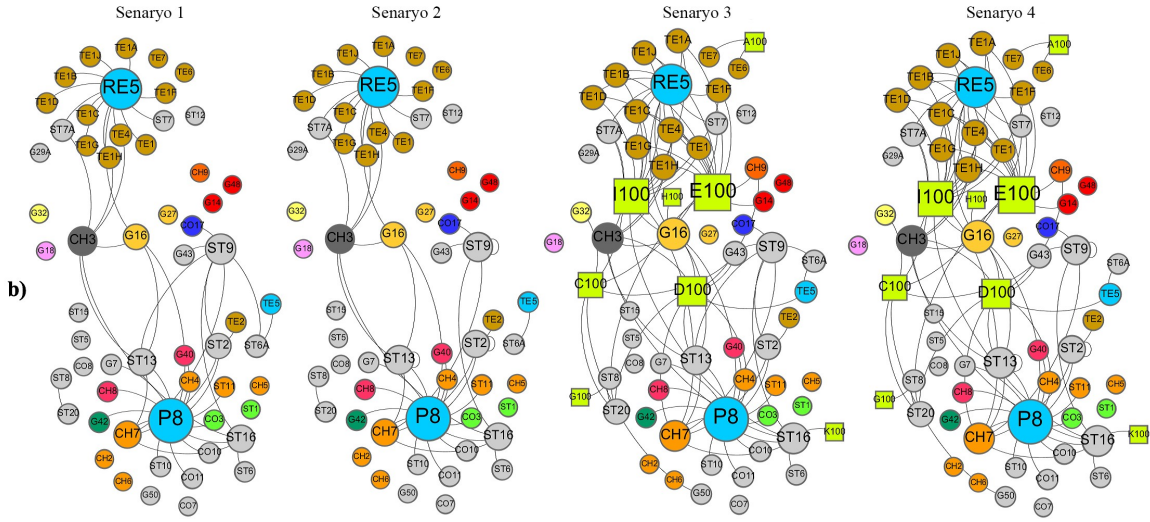
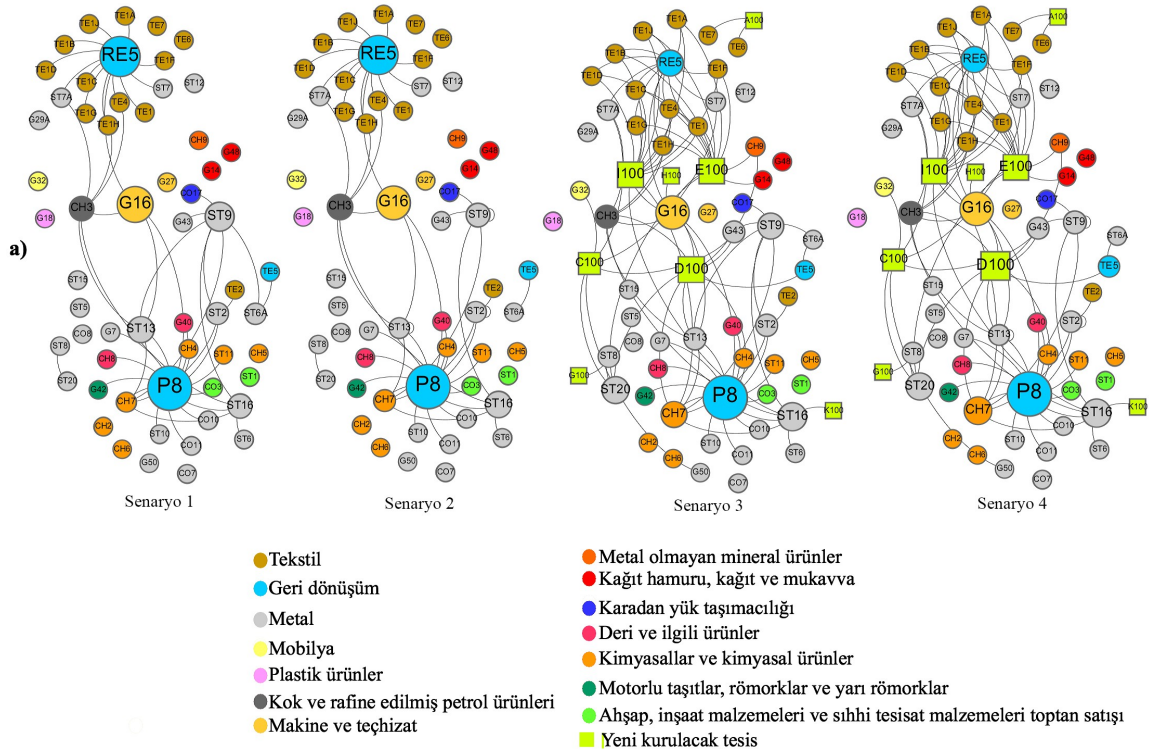
### SAA sonuçları

Şekil 3.3, dört potansiyel gelecek senaryosunun SAA metrik ortalamalarının, temel durum SAA metrik ortalamasından yüzde farklarını göstermektedir. Herhangi iki tesis arasında bir simbiyotik ilişki kurulduğunda, atık üretici tesisinin dış derecesine ( $D_{Ndış}$ ), atık alıcı tesisinin iç derecesine ( $D_{Niç}$ ) ve her iki katılımcı tesisin toplam derecesine ( $D_N$ ) 1 değeri eklenmektedir. Bu nedenle, SAA'nın bu 3 metriği, Senaryo 1 ve 2'de %53,1125 değeriyle, Senaryo 3 ve 4'te %163,636 değeriyle eşit bir yüzde değişime sahiptir. Derece merkeziliği (DC) açısından, Senaryo 3 en yüksek yüzde değişimine sahipken (%131,189), ardından Senaryo 4 (%124,129), Senaryo 1 (%53,125) ve Senaryo 2 (%45,879) gelmektedir. Bu durum, potansiyel yeni simbiyotik ilişkilerin ortalama DC'yi artırdığını,

ancak öz döngü ilişkileri bulunan senaryolarda bu artışın diğer senaryolara göre daha az olduğunu göstermektedir. Arasındalık merkezliliğindeki (BC) en yüksek ortalama yüzde değişim Senaryo 4'te görülmekte olup (%50,972), bunu Senaryo 3 (%46,915), Senaryo 1 (%22,213) ve Senaryo 2 (%6,195) izlemektedir. Bir ağ içerisinde öz-döngü ilişkisi kurulduğunda genel olarak ortalama BC değerlerinde, Senaryo 1 ve Senaryo 2 arasındaki yüzde değişimden de gözlemlendiği üzere bir düşüş beklenir [18]. Buna rağmen BC değerlerinin Senaryo 3 ve Senaryo 4 arasındaki yüzde değişimleri incelendiğinde bu durumun tam tersi gözlemlenmektedir. Bu durum, bazı öz-döngü ilişkilerine sahip düğümlerin diğer bazı düğümleri ağına çevresine ittiğini ve bu çevre düğümlerin birinci derece komşularının ve ikinci derece komşularının BC değerlerini, kendi düğümlerinin BC değerlerinin düşüş oranından daha fazla arttırdığını göstermektedir. Şekil 3.4, sanayi bölgesi içindeki tesislerin senaryo bazlı merkezlik değişimlerini göstermektedir.



Şekil 3.3. Potansiyel gelecek senaryolarının sosyal ağ metrik ortalamalarının temel durum ortalamalarından yüzde farkları



Şekil 3.4. Sanayi bölgesindeki tesislerin senaryo bazlı merkezilik değışiklikleri

a) Arasındalık merkeziliği b) Derece merkeziliği

Not: Atık akış yönü (üreticiden alıcıya) saat yönü ile gösterilmiştir. Düğümün merkezilik değeri düğüm büyüklüğü ile temsil edilir.

## 3.2. Eko-Park Tasarımı

Tezin bu bölümde, tasarlanan eko-parkların optimizasyon sonuçları verilmiştir. İlk olarak, sadece inşaat endüstrisine üretim yapan sektörlerin yer aldığı eko-park optimizasyon sonuçları ele alınmıştır. Bunu, inşaat endüstrisine üretim yapan sektörlerin yanında, inşaat endüstrisine atık verip endüstriden atık alan sektörlerin de dahil edildiği karma eko-park optimizasyon sonuçları izlemektedir.

### 3.2.1. İnşaat endüstrisi eko-parkı

Bu bölümde, inşaat endüstrisi eko-parkı optimizasyon sonuçları sunulmuştur. İlk olarak rastgele kapasiteli inşaat eko-parkı optimizasyon sonuçları verilmiş olup, bunu tam kapasiteli inşaat eko-parkı optimizasyon sonuçları takip etmektedir.

#### Rastgele kapasiteli inşaat eko-parkı

Sadece inşaat endüstrisine üretim yapan 28 sektör, 30 atık türü ve 71 adet potansiyel simbiyotik ilişkinin mevcut olduğu Veri Seti 1 kullanılarak ve sırasıyla döngüsellik ( $\lambda_{max}$ ), simbiyotik ağda kullanılacak atık çeşidi ve bağlantı yoğunluğunu ( $L_D$ ) maksimum yapacak şekilde tasarlanan optimizasyon modeli, Microsoft Visual Studio kullanılarak çalıştırılmıştır. Olasılıkların çok fazla olduğu optimizasyon problemlerinde optimum değerleri elde etmek, çok uzun süreler (aylar hatta yıllar) alacağından veya teknik yetersizliklerden dolayı bazen mümkün olamayabilir. Rastgele kapasiteli inşaat eko-parkı optimizasyonu sonucunda, istenen amaç ve kısıtlar doğrultusunda optimum değerlerin elde edilmesi başarılmıştır. Analiz sonucunda elde edilen eko-parkta; 18 sektör, 30 atık türü ve 56 simbiyotik ilişki mevcuttur. Rastgele kapasiteli inşaat eko-parkında yer alan tesislerin endüstri branşlarına göre dağılımları Çizelge 3.4'te sunulmuştur. Çizelge incelendiğinde, ana metal sanayi (6 adet) ve metal olmayan mineral ürünlerin imalatı (6 adet) endüstri branşlarının, eko-park içerisindeki lider sektörler olduğu görülmektedir. Bunları birer adet tesis ile; kauçuk ve plastik ürünlerin imalatı, ağaç ürünleri imalatı, fabrikasyon metal ürünleri imalatı, boya maddeleri ve pigment imalatı, bina inşaatı ve karayolu inşaatı sektörleri izlemektedir.

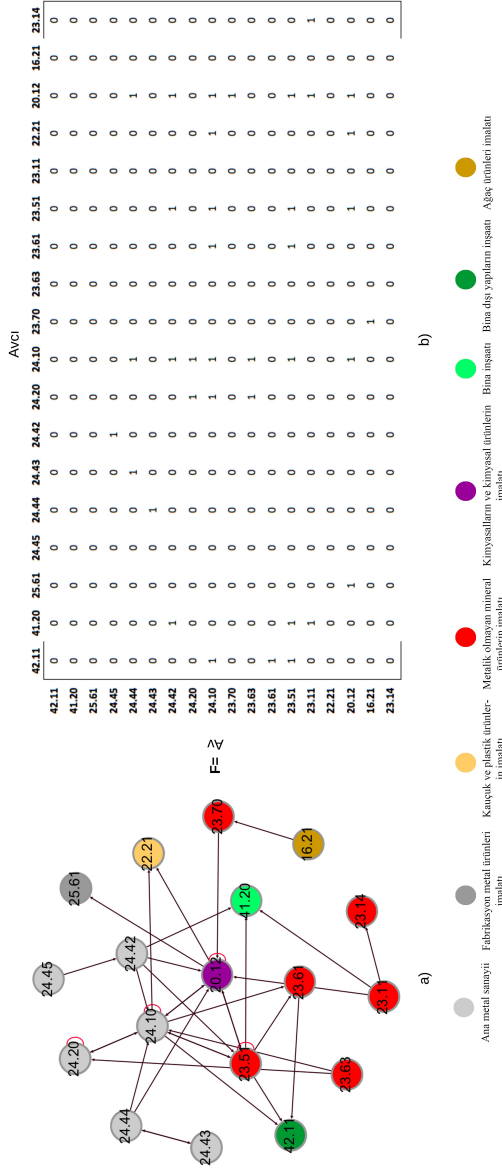


Çizelge 3.4. Rastgele kapasiteli inşaat eko-parkı sektörel dağılımı

NACE Kodu	Faaliyet Alanı	Endüstri Branşı	Adet
24.45	Demir dışı diğer metallerin üretimi	Ana metal sanayii	6
24.44	Bakır üretimi		
24.43	Kurşun, çinko ve kalay üretimi		
24.42	Alüminyum üretimi		
24.20	Çelikten tüpler, borular, içi boş profiller ve benzeri bağlantı parçalarının imalatı		
24.10	Ana demir ve çelik ürünleri ile ferro alaşımların imalatı		
23.63	Hazır beton imalatı	Metal olmayan	6
23.61	İnşaat amaçlı beton ürünlerin imalatı	mineral ürünlerin imalatı	
23.51	Çimento imalatı		
23.11	Düz cam imalatı		
23.70	Taş ve mermerin kesilmesi, şekil verilmesi ve bitirilmesi		
23.14	Cam elyafı imalatı		
22.21	Plastik tabaka, levha, tüp ve profil imalatı	Kauçuk ve plastik ürünlerin imalatı	1
16.21	Ahşap kaplama paneli ve ağaç esaslı panel imalatı	Ağaç ürünleri imalatı	1
25.61	Metallerin islenmesi ve kaplanması	Fabrikasyon metal ürünleri imalatı	1
20.12	Boya maddeleri ve pigment imalatı	Kimyasalların ve kimyasal ürünlerin imalatı	1
41.20	İkamet amaçlı olan ve olmayan binaların inşaatı	Bina inşaatı	1
42.11	Karayolları ve otoyolların inşaatı	Karayolu inşaatı	1
<b>Toplam</b>			<b>18</b>

Tasarlanan rastgele kapasiteli inşaat eko-parkının besin ağı (simbiyotik ilişki ağı) ve besin ağı matrisi [F] Şekil 3.5'te sunulmuştur. Çizelge 3.5, rastgele kapasiteli inşaat eko-parkı besin ağı matrisinden hesaplanan besin ağı metriklerini göstermektedir. Sonuçlar incelendiğinde, optimizasyon probleminin ilk amacı (maksimize) olan döngüsellik ( $\lambda_{max}$ ) yüksek bir değer aldığı göze çarpmaktadır ( $\lambda_{max} = 3,1701$ ). Bu, eko-park içerisindeki atık alışverişlerinde güçlü bir kapalı döngünün ( $\lambda_{max} > 1$ ) mevcut olduğunu ifade etmektedir. Optimizasyon probleminin ikinci amacı (maksimize) olan atık çeşidi ise 30 atık olarak sonuçlanmıştır. Bu, analize sokulan tüm atık çeşitlerinin tasarlanan eko-parkta kullanıldığını göstermektedir. Optimizasyon probleminin son amacı (maksimize) olan bağlantı yoğunluğu ( $L_D$ ) ise 2,0555 olarak elde edilmiştir. Tasarlanan eko-parkta bağlantı sayısı ( $N_L$ ) 37 olarak bulunmuştur. Bu, eko-parkta yer alan bazı tesisler arasında birden fazla simbiyotik ilişki olduğunu göstermektedir (toplam simbiyotik ilişki sayısı  $> N_L$ ). Genelleştirme (G) ve kırılabilirlik (V) metrikleri sırasıyla 2,6428 ve 2,8461 olarak bulunmuştur. Bu, her avın (atık üreticisi) ortalama 2,6428 avcı (atık alıcısı) tarafından tüketildiği ve her avcının ortalama 2,8461 av tükettiği anlamına gelmektedir. Av-avcı oranı

( $P_r$ ) 0,9286 olarak hesaplanmış olup bu eko-park içerisindeki 14 tesisin ( $N_{avcı}=14$ ), 13 tesis ( $N_{av}=13$ ) tarafından üretilen atıkları aldığını göstermektedir. Bağlılık ( $C$ ) değeri ise 0,1142 olarak hesaplanmış olup bu değer alabileceği maksimum teorik değere ( $C_{max}=1$ ) göre düşüktür.



Şekil 3.5. Rastgele kapasiteli inşaat eko-parkı a) NACE kodlarına göre sınıflandırılmış simbiyotik ağ, b) Besin ağı matrisi [F];  $f_{ij} = 1$ , av (i) ve avcı (j) arasındaki tek yönlü bir ilişkiyi temsil ederken,  $f_{ij} = 0$  ilişki olmadığını gösterir.

Çizelge 3.5. Rastgele kapasiteli inşaat eko-parkı besin ağı matrisinden hesaplanan besin ağı metrikleri

Tür Zenginliği ( $S_R$ )	Bağlantı Sayısı ( $N_L$ )	Avcı ( $N_{avcı}$ )	Av ( $N_{av}$ )	Bağlılık ( $C$ )	Bağlantı Yoğunluğu ( $L_D$ )	Av/Avcı Oranı ( $P_r$ )	Kırılgenlik ( $V$ )	Genelleştirme ( $G$ )	Döngüsellik ( $\lambda_{max}$ )
18	37	14	13	0,1142	2,0555	0,9286	2,8461	2,6428	3,1701

Not: Öz döngü ilişkisi olduğundan dolayı,  $C$  değeri Eşitlik 2.11 kullanılarak hesaplanmıştır.

Tasarlanan rastgele kapasiteli inşaat endüstrisi eko-parkında yer alan tesisler arasında gerçekleşen tüm simbiyotik işbirlikleri Çizelge 3.6’te sunulmuştur.

Çizelge 3.6. Tasarlanan rastgele kapasiteli inşaat eko-parkı simbiyotik ilişkileri

Atık Üreticisi (Av)		Atık Alıcısı (Avcı)		Simbiyotik İlişki	
NACE Kodu	Endüstri Branşı	NACE Kodu	Endüstri Branşı	EWC Kodu	EWC Tanımı
24.42	Alüminyum üretimi	24.10	Ana demir ve çelik ürünleri ile ferro alaşımların imalatı	010309	Alüminyum oksit üretiminden çıkan kırmızı çamur
24.42	Alüminyum üretimi	23.51	Çimento imalatı	010309	Alüminyum oksit üretiminden çıkan kırmızı çamur
20.12	Boya maddeleri ve pigment imalatı	25.61	Metallerin işlenmesi ve kaplanması	060102	Hidroklorik asit
23.70	Taş ve mermerin kesilmesi, şekil verilmesi ve bitirilmesi	20.12	Boya maddeleri ve pigment imalatı	060203	Amonyum hidroksit
16.21	Ahşap kaplama paneli ve ağaç esaslı panel imalatı	23.70	Taş ve mermerin kesilmesi, şekil verilmesi ve bitirilmesi	100101	Dip külü, cüruf ve kazan tozu
23.51	Çimento imalatı	42.11	Karayolları ve otoyolların inşaatı	100102	Uçucu kömür külü
23.51	Çimento imalatı	41.20	İkamet amaçlı olan ve olmayan binaların inşaatı	100102	Uçucu kömür külü
23.51	Çimento imalatı	23.61	İnşaat amaçlı beton ürünlerin imalatı	100102	Uçucu kömür külü
23.51	Çimento imalatı	23.51	Çimento imalatı	100102	Uçucu kömür külü
24.10	Ana demir ve çelik ürünleri ile ferro alaşımların imalatı	23.51	Çimento imalatı	100105	Baca gazı kükürt giderme işleminden (desülfürizasyon) çıkan kalsiyum bazlı katı atıklar
24.10	Ana demir ve çelik ürünleri ile ferro alaşımların imalatı	42.11	Karayolları ve otoyolların inşaatı	100202	İşlenmemiş cüruf
24.10	Ana demir ve çelik ürünleri ile ferro alaşımların imalatı	23.61	İnşaat amaçlı beton ürünlerin imalatı	100202	İşlenmemiş cüruf
24.10	Ana demir ve çelik ürünleri ile ferro alaşımların imalatı	23.51	Çimento imalatı	100202	İşlenmemiş cüruf
24.10	Ana demir ve çelik ürünleri ile ferro alaşımların imalatı	24.10	Ana demir ve çelik ürünleri ile ferro alaşımların imalatı	100210	Haddehane tufali
24.10	Ana demir ve çelik ürünleri ile ferro alaşımların imalatı	23.51	Çimento imalatı	100210	Haddehane tufali
24.42	Alüminyum üretimi	23.51	Çimento imalatı	100304	Birincil üretim cürufları
24.42	Alüminyum üretimi	24.10	Ana demir ve çelik ürünleri ile ferro alaşımların imalatı	100318	Anot üretiminden kaynaklanan karbon içerikli atıklar
24.42	Alüminyum üretimi	41.20	İkamet amaçlı olan ve olmayan binaların inşaatı	100322	Partiküller ve tozlar (öğütücü değirmen tozu dahil)
24.42	Alüminyum üretimi	23.51	Çimento imalatı	100329	Tuz cürufları ve kara cürufların artımından çıkan ve tehlikeli maddeler içeren atıklar
24.45	Demir dışı diğer metallerin üretimi	24.42	Alüminyum üretimi	100818	Gaz arıtma çamurları ve filtre kekleri
23.11	Düz cam imalatı	23.14	Cam elyafı imalatı	101103	Cam elyaf atıkları
23.11	Düz cam imalatı	41.20	İkamet amaçlı olan ve olmayan binaların inşaatı	101112	Atık camlar
23.61	İnşaat amaçlı beton ürünlerin imalatı	42.11	Karayolları ve otoyolların inşaatı	101208	Atık seramikler, tuğlalar, fayanslar ve inşaat malzemeleri (ısıtım işlem sonrası)
23.51	Çimento imalatı	24.10	Ana demir ve çelik ürünleri ile ferro alaşımların imalatı	101306	Partiküller ve toz

Çizelge 3.6. (Devam) Tasarlanan rastgele kapasiteli inşaat eko-parkı simbiyotik ilişkileri

Atık Üreticisi (Av)		Atık Alıcısı (Avcı)		Simbiyotik İlişki	
NACE Kodu	Endüstri Branşı	NACE Kodu	Endüstri Branşı	EWC Kodu	EWC Tanımı
23.51	Çimento imalatı	20.12	Boya maddeleri ve pigment imalatı	101306	Partiküller ve toz
23.51	Çimento imalatı	23.61	İnşaat amaçlı beton ürünlerin imalatı	101314	Atık beton ve beton çamurları
24.20	Çelikten tüpler, borular, içi boş profiller ve benzeri bağlantı parçalarının imalatı	24.20	Çelikten tüpler, borular, içi boş profiller ve benzeri bağlantı parçalarının imalatı	120101	Demir metal çapakları ve talaşları
24.20	Çelikten tüpler, borular, içi boş profiller ve benzeri bağlantı parçalarının imalatı	24.10	Ana demir ve çelik ürünleri ile ferro alaşımların imalatı	120101	Demir metal çapakları ve talaşları
24.10	Ana demir ve çelik ürünleri ile ferro alaşımların imalatı	24.20	Çelikten tüpler, borular, içi boş profiller ve benzeri bağlantı parçalarının imalatı	120101	Demir metal çapakları ve talaşları
24.10	Ana demir ve çelik ürünleri ile ferro alaşımların imalatı	24.10	Ana demir ve çelik ürünleri ile ferro alaşımların imalatı	120101	Demir metal çapakları ve talaşları
24.20	Çelikten tüpler, borular, içi boş profiller ve benzeri bağlantı parçalarının imalatı	24.20	Çelikten tüpler, borular, içi boş profiller ve benzeri bağlantı parçalarının imalatı	120102	Demir metal toz ve parçacıklar
24.20	Çelikten tüpler, borular, içi boş profiller ve benzeri bağlantı parçalarının imalatı	24.10	Ana demir ve çelik ürünleri ile ferro alaşımların imalatı	120102	Demir metal toz ve parçacıklar
24.10	Ana demir ve çelik ürünleri ile ferro alaşımların imalatı	24.20	Çelikten tüpler, borular, içi boş profiller ve benzeri bağlantı parçalarının imalatı	120102	Demir metal toz ve parçacıklar
24.10	Ana demir ve çelik ürünleri ile ferro alaşımların imalatı	24.10	Ana demir ve çelik ürünleri ile ferro alaşımların imalatı	120102	Demir metal toz ve parçacıklar
24.10	Ana demir ve çelik ürünleri ile ferro alaşımların imalatı	22.21	Plastik tabaka, levha, tüp ve profil imalatı	150102	Plastik ambalaj
20.12	Boya maddeleri ve pigment imalatı	22.21	Plastik tabaka, levha, tüp ve profil imalatı	150102	Plastik ambalaj
24.42	Alüminyum üretimi	23.51	Çimento imalatı	161101	Metalürjik proseslerden kaynaklanan, tehlikeli maddeler içeren karbon bazlı astarlar ve refraktörler
24.10	Ana demir ve çelik ürünleri ile ferro alaşımların imalatı	42.11	Karayolları ve otoyolların inşaatı	170604	Yalıtım malzemeleri
23.63	Hazır beton imalatı	24.20	Çelikten tüpler, borular, içi boş profiller ve benzeri bağlantı parçalarının imalatı	200140	Metaller
23.63	Hazır beton imalatı	24.10	Ana demir ve çelik ürünleri ile ferro alaşımların imalatı	200140	Metaller
24.45	Demir dışı diğer metallerin üretimi	24.42	Alüminyum üretimi	1000005	Karbondioksit
24.43	Kurşun, çinko ve kalay üretimi	24.44	Bakır üretimi	1000006	Kurtarılmış bakır
24.42	Alüminyum üretimi	24.10	Ana demir ve çelik ürünleri ile ferro alaşımların imalatı	1000008	Elektrik
24.42	Alüminyum üretimi	23.51	Çimento imalatı	1000008	Elektrik
24.42	Alüminyum üretimi	20.12	Boya maddeleri ve pigment imalatı	1000008	Elektrik

Çizelge 3.6. (Devam) Tasarlanan rastgele kapasiteli inşaat eko-parkı simbiyotik ilişkileri

Atık Üreticisi (Av)		Atık Alıcısı (Avcı)		Simbiyotik İlişki	
NACE Kodu	Endüstri Branşı	NACE Kodu	Endüstri Branşı	EWC Kodu	EWC Tanımı
20.12	Boya maddeleri ve pigment imalatı	24.10	Ana demir ve çelik ürünleri ile ferro alaşımların imalatı	1000008	Elektrik
20.12	Boya maddeleri ve pigment imalatı	23.51	Çimento imalatı	1000008	Elektrik
20.12	Boya maddeleri ve pigment imalatı	20.12	Boya maddeleri ve pigment imalatı	1000008	Elektrik
24.44	Bakır üretimi	24.10	Ana demir ve çelik ürünleri ile ferro alaşımların imalatı	1000013	Buhar
24.44	Bakır üretimi	20.12	Boya maddeleri ve pigment imalatı	1000013	Buhar
24.10	Ana demir ve çelik ürünleri ile ferro alaşımların imalatı	24.10	Ana demir ve çelik ürünleri ile ferro alaşımların imalatı	1000013	Buhar
24.10	Ana demir ve çelik ürünleri ile ferro alaşımların imalatı	20.12	Boya maddeleri ve pigment imalatı	1000013	Buhar
20.12	Boya maddeleri ve pigment imalatı	24.10	Ana demir ve çelik ürünleri ile ferro alaşımların imalatı	1000013	Buhar
20.12	Boya maddeleri ve pigment imalatı	20.12	Boya maddeleri ve pigment imalatı	1000013	Buhar
23.11	Düz cam imalatı	20.12	Boya maddeleri ve pigment imalatı	1000016	Atık su
24.44	Bakır üretimi	24.43	Kurşun, çinko ve kalay üretimi	1000017	Kurtarılmış çinko

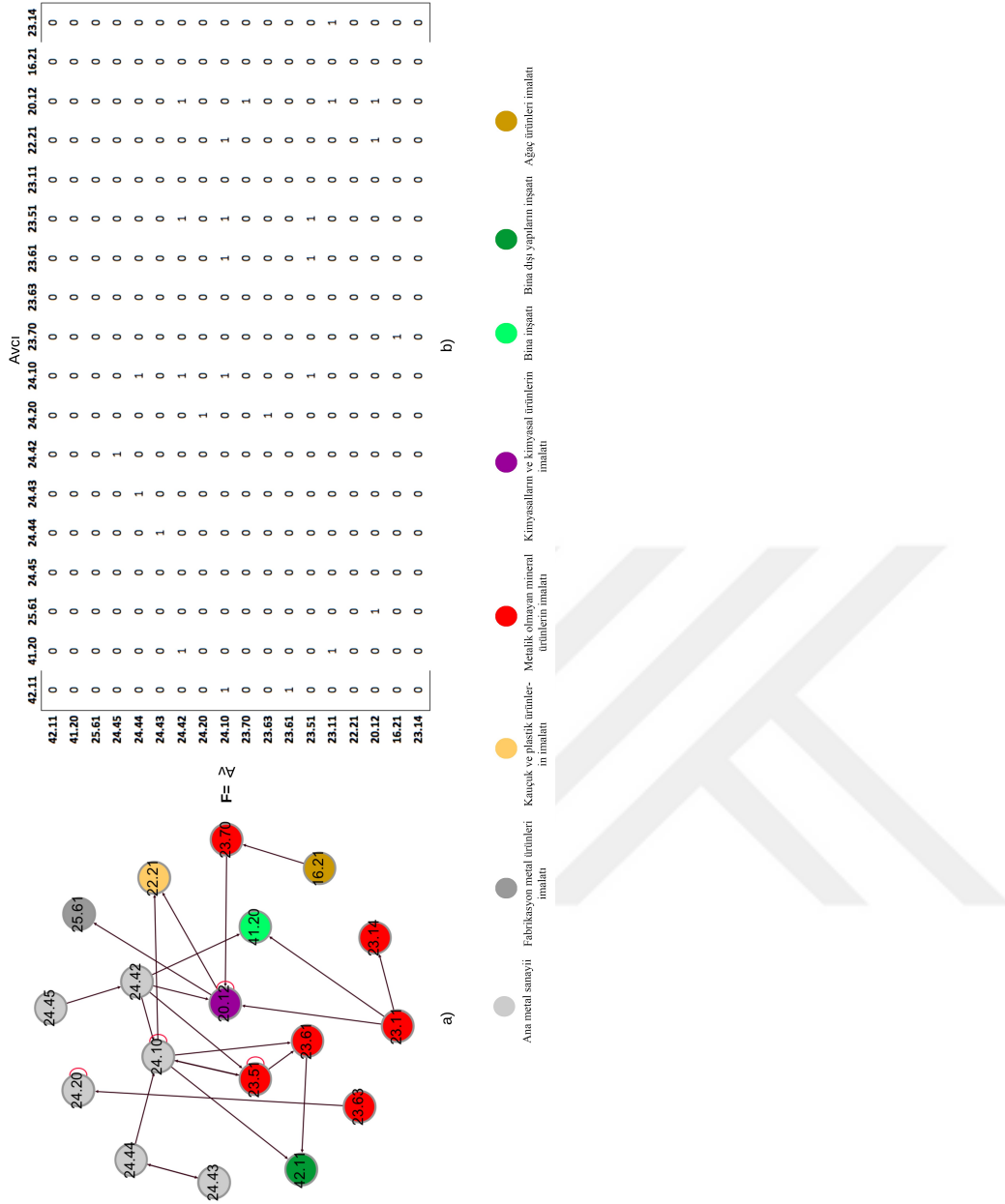
İnşaat endüstrisi eko-parkında yer alacak sektörlerin ve bu sektörler arasındaki simbiyotik ilişkilerin belirlenmesinden sonra, eko-parkın yerleşim planının tespiti için lokasyon optimizasyonu aşamasına geçilmiştir. Bu aşamada ilk olarak aralarındaki simbiyotik ilişki boru/enerji vb. hattı gerektiren (örneğin atık su simbiyotik ilişkisi, atık ısı simbiyotik ilişkisi vb.) tesislerin birbirine en yakın olması amaçlanmıştır. İkinci olarak ise aralarındaki simbiyotik ilişki sayısı en fazla olanların birbirine en yakın olması istenmiştir. Lokasyon optimizasyonu sonucu elde edilen rastgele kapasiteli inşaat endüstrisi eko-parkı yerleşim planı Şekil 3.6'da sunulmuştur.



### Tam kapasiteli inşaat eko-parkı

Rastgele kapasiteli inşaat eko-parkı optimizasyonu sonucundan elde edilen 18 adet inşaat endüstrisi tesisi kullanılarak, bu tesislerin ürettikleri ve simbiyotik ilişkilerde kullanabilen atıkların her bir çeşidinin miktar olarak tamamını sadece bir tesise verebilmeleri kısıtı ile ve sırasıyla döngüsellik ( $\lambda_{max}$ ) ve bağlantı yoğunluğunu ( $L_D$ ) maksimum yapmak amacı ile (atık çeşidi sabit tutulmuştur) tekrar bir matematiksel optimizasyon modeli tasarlanmıştır. Böylece, eko-parkta yer alan tesislerin, ürettiği atıkları bölümleyerek birden fazla tesise göndermeleri yerine tamamını sadece bir tesise göndermeyi tercih ettikleri durumda simbiyotik ağda ne gibi değişiklikler olabileceği besin ağı metriklerindeki değişiklikler ışığında gözlemlenmiştir. Oluşturulan modelin çalıştırılmasından sonra optimum değerlerin elde edilmesi başarılmıştır.

Analiz sonucunda elde edilen eko-parkta yer alan atık çeşidi sabit olduğundan dolayı rastgele kapasiteli inşaat endüstrisi eko-parkı ile aynı olup (30 atık türü), eko parkta yine 18 adet sektör yer almaktadır. Atıkların bölümlenememesi kısıtından ötürü toplam simbiyotik ilişki sayısında doğal olarak bir düşüş meydana gelmiştir (36 adet simbiyotik ilişki mevcuttur.). Tasarlanan tam kapasiteli inşaat eko-parkının besin ağı (simbiyotik ilişki ağı) ve besin ağı matrisi [F] Şekil 3.7’de sunulmuştur. Çizelge 3.7, tam kapasiteli inşaat eko-parkı besin ağı matrisinden hesaplanan besin ağı metriklerini göstermektedir. Sonuçlar incelendiğinde, döngüsellik ( $\lambda_{max}$ ), eko-park içerisinde güçlü bir kapalı döngünün ( $\lambda_{max}>1$ ) varlığını gösteren bir değer aldığı görülmektedir ( $\lambda_{max} = 2$ ). Tasarlanan eko-parkta bağlantı yoğunluğu ( $L_D$ ) 1,5, bağlantı sayısı ( $N_L$ ) ise 27 olarak bulunmuştur. Eko-parkta yer alan toplam simbiyotik ilişki sayısının toplam bağlantı sayısından fazla olması, eko-parkta yer alan bazı tesisler arasında birden fazla simbiyotik ilişki olduğunu belirtmektedir. Genelleştirme (G) ve kırılabilirlik (V) metrikleri sırasıyla 1,9286 ve 2,0769 olup bu değerler, her avın (atık üreticisi) ortalama 1,9286 avcı (atık alıcısı) tarafından tüketildiği ve her avcının ortalama 2,0769 av tükettiği anlamına gelmektedir. Av-avcı oranı ( $P_r$ ) 0,9286 olarak hesaplanmış olup bu eko-park içerisindeki 14 tesisin ( $N_{avcı}=14$ ), 13 tesis ( $N_{av}=13$ ) tarafından üretilen atıkları aldığını göstermektedir. Bağlılık (C) değeri ise 0,0833 olarak hesaplanmış olup bu değer alabileceği maksimum teorik değere ( $C_{max}=1$ ) göre oldukça düşüktür.



Şekil 3.7. Tam kapasiteli inşaat eko-parkı a) NACE kodlarına göre sınıflandırılmış simbiyotik ağ, b) Besin ağı matrisi [F];  $f_{ij} = 1$ , av (i) ve avcı (j) arasındaki tek yönlü bir ilişkiyi temsil ederken,  $f_{ij} = 0$  ilişki olmadığını gösterir.

Çizelge 3.7. Tam kapasiteli inşaat eko-parkı besin ağı matrisinden hesaplanan besin ağı metrikleri

Tür Zenginliği (SR)	Bağlantı Sayısı (NL)	Avcı ( $N_{avcı}$ )	Av ( $N_{av}$ )	Bağlılık (C)	Bağlantı Yoğunluğu (L <sub>D</sub> )	Av/Avcı Oranı (Pr)	Kırılganlık (V)	Genelleştirme (G)	Döngüsellik ( $\lambda_{max}$ )
18	27	14	13	0,0833	1,5	0,9286	2,0769	1,9286	2,0

Not: Öz döngü ilişkisi olduğundan dolayı, C değeri Eşitlik 2.11 kullanılarak hesaplanmıştır



Tam kapasiteli inşaat endüstrisi eko-parkında yer alan tesisler arasında gerçekleşen tüm simbiyotik işbirlikleri Çizelge 3.8’te sunulmuştur.

Çizelge 3.8. Tasarlanan tam kapasiteli inşaat eko-parkı simbiyotik ilişkileri

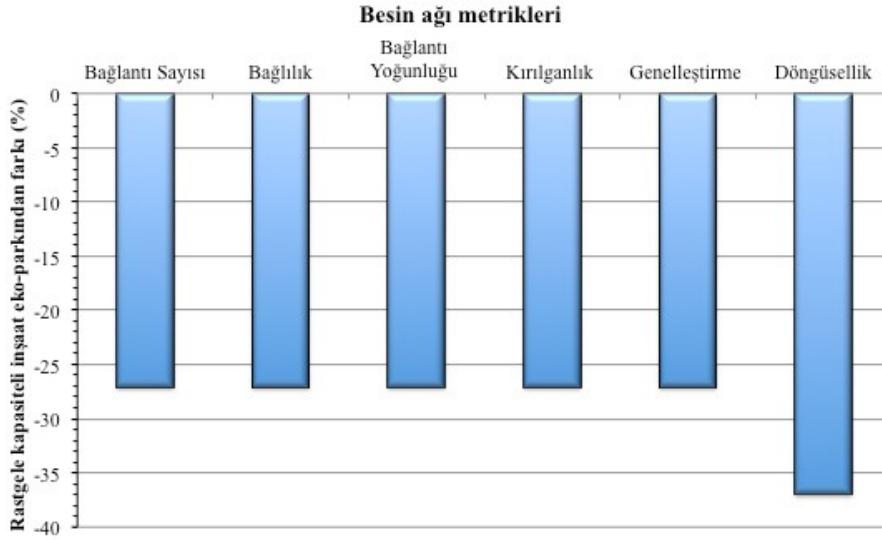
Atık Üreticisi (Av)		Atık Alıcısı (Avcı)		Simbiyotik İlişki	
NACE Kodu	Endüstri Branşı	NACE Kodu	Endüstri Branşı	EWC Kodu	EWC Tanımı
24.42	Alüminyum üretimi	24.10	Ana demir ve çelik ürünleri ile ferro alaşımların imalatı	010309	Alüminyum oksit üretiminden çıkan kırmızı çamur
20.12	Boya maddeleri ve pigment imalatı	25.61	Metallerin işlenmesi ve kaplanması	060102	Hidroklorik asit
23.70	Taş ve mermerin kesilmesi, şekil verilmesi ve bitirilmesi	20.12	Boya maddeleri ve pigment imalatı	060203	Amonyum hidroksit
16.21	Ahşap kaplama paneli ve ağaç esaslı panel imalatı	23.70	Taş ve mermerin kesilmesi, şekil verilmesi ve bitirilmesi	100101	Dip külü, cüruf ve kazan tozu
23.51	Çimento imalatı	23.51	Çimento imalatı	100102	Uçucu kömür külü
24.10	Ana demir ve çelik ürünleri ile ferro alaşımların imalatı	23.51	Çimento imalatı	100105	Baca gazı kükürt giderme işleminden (desülfrizasyon) çıkan kalsiyum bazlı katı atıklar
24.10	Ana demir ve çelik ürünleri ile ferro alaşımların imalatı	23.61	İnşaat amaçlı beton ürünlerin imalatı	100202	İşlenmemiş cüruf
24.10	Ana demir ve çelik ürünleri ile ferro alaşımların imalatı	24.10	Ana demir ve çelik ürünleri ile ferro alaşımların imalatı	100210	Haddehane tufali
24.42	Alüminyum üretimi	23.51	Çimento imalatı	100304	Birincil üretim cürufları
24.42	Alüminyum üretimi	24.10	Ana demir ve çelik ürünleri ile ferro alaşımların imalatı	100318	Anot üretiminden kaynaklanan karbon içerikli atıklar
24.42	Alüminyum üretimi	41.20	İkamet amaçlı olan ve olmayan binaların inşaatı	100322	Partiküller ve tozlar (öğütücü değirmen tozu dahil)
24.42	Alüminyum üretimi	23.51	Çimento imalatı	100329	Tuz cürufları ve kara cürufların arıtımından çıkan ve tehlikeli maddeler içeren atıklar
24.45	Demir dışı diğer metallere üretimi	24.42	Alüminyum üretimi	100818	Gaz arıtma çamurları ve filtre kekleri
23.11	Düz cam imalatı	23.14	Cam elyafı imalatı	101103	Cam elyaf atıkları
23.11	Düz cam imalatı	41.20	İkamet amaçlı olan ve olmayan binaların inşaatı	101112	Atık camlar
23.61	İnşaat amaçlı beton ürünlerin imalatı	42.11	Karayolları ve otoyolların inşaatı	101208	Atık seramikler, tuğlalar, fayanslar ve inşaat malzemeleri (ısıtım işlem sonrası)
23.51	Çimento imalatı	24.10	Ana demir ve çelik ürünleri ile ferro alaşımların imalatı	101306	Partiküller ve toz
23.51	Çimento imalatı	23.61	İnşaat amaçlı beton ürünlerin imalatı	101314	Atık beton ve beton çamurları
24.20	Çelikten tüpler, borular, içi boş profiller ve benzeri bağlantı parçalarının imalatı	24.20	Çelikten tüpler, borular, içi boş profiller ve benzeri bağlantı parçalarının imalatı	120101	Demir metal çapakları ve talaşları
24.10	Ana demir ve çelik ürünleri ile ferro alaşımların imalatı	24.10	Ana demir ve çelik ürünleri ile ferro alaşımların imalatı	120101	Demir metal çapakları ve talaşları
24.20	Çelikten tüpler, borular, içi boş profiller ve benzeri bağlantı parçalarının imalatı	24.20	Çelikten tüpler, borular, içi boş profiller ve benzeri bağlantı parçalarının imalatı	120102	Demir metal toz ve parçacıklar
24.10	Ana demir ve çelik	24.10	Ana demir ve çelik	120102	Demir metal toz ve

ürünleri ile ferro alaşımların imalatı ürünleri ile ferro alaşımların imalatı parçacıklar

Çizelge 3.8. (Devam) Tasarlanan tam kapasiteli inşaat eko-parkı simbiyotik ilişkileri

Atık Üreticisi (Av)		Atık Alıcısı (Avcı)		Simbiyotik İlişki	
NACE Kodu	Endüstri Branşı	NACE Kodu	Endüstri Branşı	EWC Kodu	EWC Tanımı
24.42	Alüminyum üretimi	23.51	Çimento imalatı	161101	Metalürjik proseslerden kaynaklanan, tehlikeli maddeler içeren karbon bazlı astarlar ve refraktörler
24.10	Ana demir ve çelik ürünleri ile ferro alaşımların imalatı	42.11	Karayolları ve otoyolların inşaatı	170604	Yalıtım malzemeleri
23.63	Hazır beton imalatı	24.20	Çelikten tüpler, borular, içi boş profiller ve benzeri bağlantı parçalarının imalatı	200140	Metaller
24.45	Demir dışı diğer metallerin üretimi	24.42	Alüminyum üretimi	1000005	Karbondioksit
24.43	Kurşun, çinko ve kalay üretimi	24.44	Bakır üretimi	1000006	Kurtarılmış bakır
24.42	Alüminyum üretimi	20.12	Boya maddeleri ve pigment imalatı	1000008	Elektrik
20.12	Boya maddeleri ve pigment imalatı	20.12	Boya maddeleri ve pigment imalatı	1000008	Elektrik
24.44	Bakır üretimi	20.12	Boya maddeleri ve pigment imalatı	1000013	Buhar
24.10	Ana demir ve çelik ürünleri ile ferro alaşımların imalatı	24.10	Ana demir ve çelik ürünleri ile ferro alaşımların imalatı	1000013	Buhar
20.12	Boya maddeleri ve pigment imalatı	20.12	Boya maddeleri ve pigment imalatı	1000013	Buhar
23.11	Düz cam imalatı	20.12	Boya maddeleri ve pigment imalatı	1000016	Atık su
24.44	Bakır üretimi	24.43	Kurşun, çinko ve kalay üretimi	1000017	Kurtarılmış çinko
24.10	Ana demir ve çelik ürünleri ile ferro alaşımların imalatı	22.21	Plastik tabaka, levha, tüp ve profil imalatı	150102	Plastik ambalaj
20.12	Boya maddeleri ve pigment imalatı	22.21	Plastik tabaka, levha, tüp ve profil imalatı	150102	Plastik ambalaj

Tam kapasiteli inşaat eko-parkı besin ağı metriklerinin rastgele kapasiteli inşaat eko-parkı besin ağı metriklerinden yüzde farkı Şekil 3.8’de sunulmuştur. Tam kapasiteli eko-parkta rastgele kapasiteli duruma göre daha az simbiyotik ilişki mevcut olduğundan dolayı sonuç olarak tüm besin ağı metriklerinde negatif değişimler gözlenmektedir. En büyük değişim  $-\%36,9103$  ile döngüsellik ( $\lambda_{max}$ ) değerinde görülmektedir. Bağlantı sayısındaki ( $N_L$ ) değişim  $-\%27,0270$  olup bu metrik kullanılarak hesaplanan bağlılık ( $C$ ), bağlantı yoğunluğu ( $L_D$ ), kırılgenlik ( $V$ ) ve genelleştirme ( $G$ ) metriklerinde de aynı oranda değişim görülmektedir ( $-\%27,0270$ ).



Şekil 3.8. Tam kapasiteli inşaat eko-parkı besin ağı metriklerinin rastgele kapasiteli inşaat eko-parkı besin ağı metriklerinden yüzde farkı

Her ne kadar tam kapasiteli inşaat endüstrisi eko-parkında yer alacak sektörler rastgele kapasiteli inşaat endüstrisi eko-parkında yer alan sektörlerle aynı olsa da, sektörler arasındaki simbiyotik ilişkiler değiştiğinden dolayı, eko-parkın yerleşim planının tespiti için yeni bir lokasyon optimizasyonu yapılmıştır. Bu aşamada yine rastgele kapasiteli inşaat endüstrisi eko-parkı lokasyon optimizasyonunda olduğu gibi ilk olarak aralarındaki simbiyotik ilişki boru/enerji vb. hattı gerektiren (örneğin atık su simbiyotik ilişkisi, atık ısı simbiyotik ilişkisi vb.) tesislerin birbirine en yakın olması amaçlanmıştır. İkinci olarak ise aralarındaki simbiyotik ilişki sayısı en fazla olanların birbirine en yakın olması istenmiştir. Lokasyon optimizasyonu sonucu elde edilen tam kapasiteli inşaat endüstrisi eko-parkı yerleşim planı Şekil 3.9’da sunulmuştur.



### 3.2.2. Karma eko-park

Bu bölümde, inşaat endüstrisine üretim yapan sektörlerin yanında, inşaat endüstrisine atık verip endüstriden atık alan sektörlerin de dahil edildiği karma eko-park optimizasyon sonuçları sunulmuştur. İlk olarak rastgele kapasiteli karma eko-park optimizasyon sonuçları verilmiş olup, bunu tam kapasiteli karma eko-park optimizasyon sonuçları takip etmektedir.

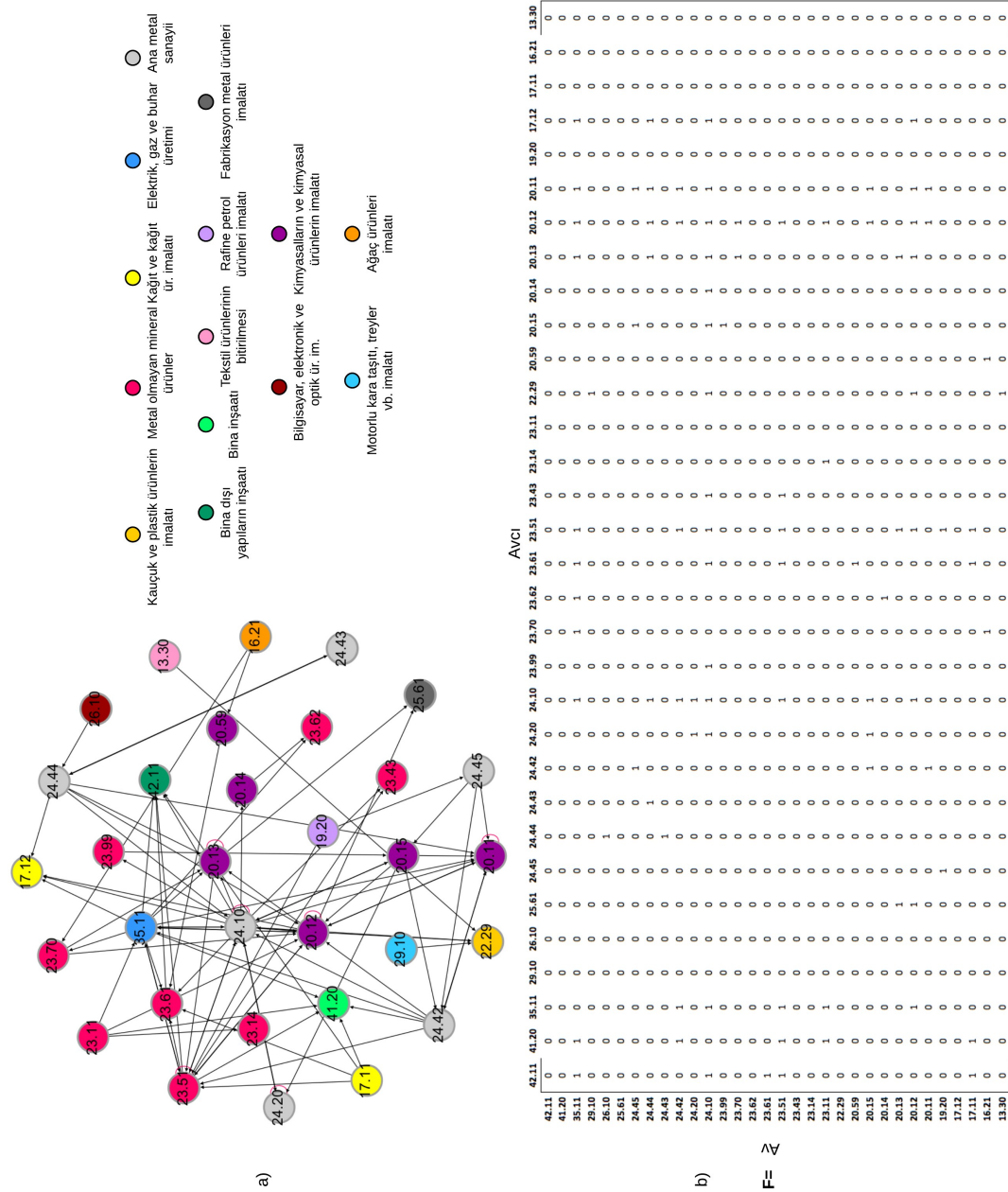
#### Rastgele kapasiteli karma eko-park

İnşaat endüstrisine üretim yapan sektörler ile inşaat endüstrisinden atık alan ve atık veren 48 sektör, 63 atık türü ve 170 adet potansiyel simbiyotik ilişkinin mevcut olduğu Veri Seti 2 kullanılarak ve sırasıyla döngüsellik ( $\lambda_{max}$ ), simbiyotik ağda kullanılacak atık çeşidi ve bağlantı yoğunluğunu ( $L_D$ ) maksimum yapacak şekilde tasarlanan optimizasyon modeli, Microsoft Visual Studio kullanılarak çalıştırılmıştır. Rastgele kapasiteli karma eko-park optimizasyonu sonucunda da istenen amaç ve kısıtlar doğrultusunda optimum değerlere ulaşılmıştır. Analiz sonucunda elde edilen eko-parkta 32 sektör, 63 atık türü ve 139 simbiyotik ilişki mevcuttur. Rastgele kapasiteli karma eko-parkta yer alan tesislerin endüstri branşlarına göre dağılımları Çizelge 3.9’te sunulmuştur. Çizelge incelendiğinde, metal olmayan mineral ürünlerin imalatı branşının eko-park içerisinde yer alan 8 adet tesis ile lider sektör olduğu görülmektedir. Bunu 6’şar adet tesis ile ana metal sanayi ve kimyasal ürün imalatı sektörleri izlemektedir. Kâğıt ürünleri imalatı sektörü 2, tekstil ürünlerinin bitirilmesi, ağaç ürünleri imalatı, rafine petrol ürünleri imalatı, kauçuk ve plastik ürünlerin imalatı, fabrikasyon metal ürünleri imalatı, bilgisayar, elektronik ve optik ürün imalatı, motorlu kara taşıtı, treyler vb. imalatı, elektrik, gaz ve buhar üretimi, bina inşaatı ve karayolu inşaatı sektörleri ise 1’er tesise sahiptir.

Çizelge 3.9. Rastgele kapasiteli karma eko-park sektörel dağılımı

NACE Kodu	Faaliyet Alanı	Ana Endüstri Branşı	Adet
23.99	Başka yerde sınıflandırılmamış metalik olmayan diğer mineral ürünlerin üretimi	Metal olmayan mineral ürünlerin imalatı	8
23.70	Taş ve mermerin kesilmesi, şekil verilmesi ve bitirilmesi		
23.62	İnşaat amaçlı alçı ürünlerin imalatı		
23.61	İnşaat amaçlı beton ürünlerin imalatı		
23.51	Çimento imalatı		
23.43	Seramik yalıtkanların ve yalıtkan bağlantı parçalarının imalatı		
23.14	Cam elyafı imalatı		
23.11	Düz cam imalatı		
24.45	Demir dışı diğer metallerin üretimi	Ana metal sanayii	6
24.44	Bakır üretimi		
24.43	Kurşun, çinko ve kalay üretimi		
24.42	Alüminyum üretimi		
24.20	Çelikten tüpler, borular, içi boş profiller ve benzeri bağlantı parçalarının imalatı		
24.10	Ana demir ve çelik ürünleri ile ferro alaşımların imalatı		
20.59	Diğer kimyasal ürünlerin imalatı	Kimyasalların ve kimyasal ürünlerin imalatı	6
20.15	Kimyasal gübre ve azot bileşiklerinin imalatı		
20.14	Diğer organik temel kimyasalların imalatı		
20.13	Diğer inorganik temel kimyasalların imalatı		
20.12	Boya maddeleri ve pigment imalatı		
20.11	Sanayi gazları imalatı		
17.12	Kâğıt ve mukavva imalatı	Kağıt ve kağıt ürünleri imalatı	2
17.11	Kâğıt hamuru imalatı		
13.30	Tekstil ürünlerinin bitirilmesi	Tekstil ürünlerinin bitirilmesi	1
16.21	Ahşap kaplama paneli ve ağaç esaslı panel imalatı	Ağaç ürünleri imalatı	1
19.20	Rafine edilmiş petrol ürünlerinin imalatı	Rafine petrol ürünleri imalatı	1
22.29	Diğer plastik ürünlerin imalatı	Kauçuk ve plastik ürünlerin imalatı	1
25.61	Metallerin islenmesi ve kaplanması	Fabrikasyon metal ürünleri imalatı	1
26.10	Bilgisayar, elektronik ve optik ürün imalatı	Bilgisayar, elektronik ve optik ürün imalatı	1
29.10	Motorlu kara taşıtı, treyler vb. imalatı	Motorlu kara taşıtı, treyler vb. imalatı	1
35.11	Elektrik enerjisi üretimi	Elektrik, gaz ve buhar üretimi	1
41.20	İkamet amaçlı olan ve olmayan binaların inşaatı	Bina inşaatı	1
42.11	Karayolları ve otoyolların inşaatı	Karayolu inşaatı	1
<b>Toplam</b>			<b>32</b>

Tasarlanan rastgele kapasiteli karma eko-park besin ağı (simbiyotik ilişki ağı) ve besin ağı matrisi [F] Şekil 3.10’te sunulmuştur. Çizelge 3.10, rastgele kapasiteli karma eko-park besin ağı matrisinden hesaplanan besin ağı metriklerini göstermektedir. Sonuçlar incelendiğinde, optimizasyon probleminin ilk amacı (maksimize) olan döngüsellik ( $\lambda_{\max}$ ) değerinin 4,7521 olduğu görülmektedir. Bu değer, yukarıda tasarlanan sadece inşaat endüstrisine ait eko-parkların (rastgele kapasiteli ve tam kapasiteli) döngüsellik değerlerinden de yüksek olup, eko-park içerisinde gayet güçlü bir kapalı döngünün ( $\lambda_{\max} > 1$ ) mevcut olduğunu ifade etmektedir. Optimizasyon probleminin ikinci amacı (maksimize) olan atık çeşidi ise 63 atık olarak sonuçlanmıştır. Bu, analize sokulan tüm atık çeşitlerinin tasarlanan eko-parkta kullanıldığını göstermektedir. Optimizasyon probleminin son amacı (maksimize) olan bağlantı yoğunluğu ( $L_D$ ) ise 2,9063 olarak elde edilmiştir. Tasarlanan eko-parkta bağlantı sayısı ( $N_L$ ) 93 olarak bulunmuştur. Bu, eko-parkta yer alan birçok tesis arasında birden fazla simbiyotik ilişki olduğunu göstermektedir (toplam simbiyotik ilişki sayısı  $> N_L$ ). Genelleştirme (G) ve kırılabilirlik (V) metrikleri sırasıyla 3,72 ve 3,875 olarak bulunmuştur. Bu, her avın (atık üreticisi) ortalama 3,72 avcı (atık alıcısı) tarafından tüketildiği ve her avcının ortalama 3,875 av tükettiği anlamına gelmektedir. Av-avcı oranı ( $P_r$ ) 0,96 olarak hesaplanmış olup bu eko-park içerisindeki 25 tesisin ( $N_{\text{avcı}}=25$ ), 24 tesis ( $N_{\text{av}}=24$ ) tarafından üretilen atıkları aldığını göstermektedir. Bağlılık (C) değeri ise 0,0908 olarak hesaplanmış olup bu değer diğer tasarlanan eko-parklarda olduğu gibi alabileceği maksimum teorik değere ( $C_{\max}=1$ ) göre düşüktür.



Şekil 3.10. Rastgele kapasiteli karma eko-park a) NACE kodlarına göre sınıflandırılmış simbiyotik ağ b) Besin ağı matrisi [F];  $f_{ij} = 1$ , av (i) ve avcı (j) arasındaki tek yönlü bir ilişkiyi temsil ederken,  $f_{ij} = 0$  ilişki olmadığını gösterir.

Çizelge 3.10. Rastgele kapasiteli karma eko-park besin ağı matrisinden hesaplanan besin ağı metrikleri

Tür Zenginliği (SR)	Bağlantı Sayısı (NL)	Avcı ( $N_{avcı}$ )	Av ( $N_{av}$ )	Bağlılık (C)	Bağlantı Yoğunluğu ( $L_D$ )	Av/Avcı Oranı (Pr)	Kırılgnlık (V)	Genelleştirme (G)	Döngüsellik ( $\lambda_{max}$ )
32	93	25	24	0,0908	2,9063	0,96	3,875	3,72	4,7521

Not: Öz döngü ilişkisi olduğundan dolayı, C değeri Eşitlik 2.11 kullanılarak hesaplanmıştır

Rastgele kapasiteli karma eko-parkta yer alan tesisler arasında gerçekleşen tüm simbiyotik



işbirlikleri Çizelge 3.11’te sunulmuştur.

Çizelge 3.11. Tasarlanan rastgele kapasiteli karma eko-park simbiyotik ilişkileri

Atık Üreticisi (Av)		Atık Alıcısı (Avcı)		Simbiyotik İlişki	
NACE Kodu	Endüstri Branşı	NACE Kodu	Endüstri Branşı	EWC Kodu	EWC Tanımı
24.42	Alüminyum üretimi	23.51	Çimento imalatı	010309	Alüminyum oksit üretiminden çıkan kırmızı çamur
24.42	Alüminyum üretimi	24.10	Ana demir ve çelik ürünleri ile ferro alaşımların imalatı	010309	Alüminyum oksit üretiminden çıkan kırmızı çamur
23.99	Başka yerde sınıflandırılmamış metalik olmayan diğer mineral ürünlerin üretimi	20.15	Kimyasal gübre ve azot bileşiklerinin imalatı	010409	Atık kum ve killer
16.21	Ahşap kaplama paneli ve ağaç esaslı panel imalatı	20.59	Diğer kimyasal ürünlerin imalatı	030105	Talaş, yonga, kıymık, ahşap, kontrplak ve kaplamalar
17.11	Kâğıt hamuru imalatı	23.51	Çimento imalatı	030302	Yeşil sıvı çamuru (pişirme sıvısı geri kazanımından)
17.11	Kâğıt hamuru imalatı	23.61	İnşaat amaçlı beton ürünlerin imalatı	030302	Yeşil sıvı çamuru (pişirme sıvısı geri kazanımından)
17.11	Kâğıt hamuru imalatı	23.51	Çimento imalatı	030311	Atık su arıtımından kaynaklanan çamurlar
17.11	Kâğıt hamuru imalatı	23.51	Çimento imalatı	030399	Başka bir şekilde tanımlanmamış atıklar
19.20	Rafine edilmiş petrol ürünlerinin imalatı	24.45	Demir dışı diğer metallerin üretimi	050116	Petrol desülfürizasyonu sonucu oluşan kükürt içeren atıklar
19.20	Rafine edilmiş petrol ürünlerinin imalatı	24.45	Demir dışı diğer metallerin üretimi	050199	Başka bir şekilde tanımlanmamış atıklar
20.13	Diğer inorganik temel kimyasalların imalatı	25.61	Metallerin islenmesi ve kaplanması	060102	Hidroklorik asit
20.13	Diğer inorganik temel kimyasalların imalatı	20.13	Diğer inorganik temel kimyasalların imalatı	060102	Hidroklorik asit
20.12	Boya maddeleri ve pigment imalatı	20.13	Diğer inorganik temel kimyasalların imalatı	060102	Hidroklorik asit
20.12	Boya maddeleri ve pigment imalatı	25.61	Metallerin islenmesi ve kaplanması	060102	Hidroklorik asit
23.70	Taş ve mermerin kesilmesi, şekil verilmesi ve bitirilmesi	20.13	Diğer inorganik temel kimyasalların imalatı	060203	Amonyum hidroksit
23.70	Taş ve mermerin kesilmesi, şekil verilmesi ve bitirilmesi	20.12	Boya maddeleri ve pigment imalatı	060203	Amonyum hidroksit
20.13	Diğer inorganik temel kimyasalların imalatı	25.61	Metallerin islenmesi ve kaplanması	060204	Sodyum ve potasyum hidroksit
24.45	Demir dışı diğer metallerin üretimi	20.15	Kimyasal gübre ve azot bileşiklerinin imalatı	060602	Tehlikeli kükürt bileşenleri içeren atıklar
24.10	Ana demir ve çelik ürünleri ile ferro alaşımların imalatı	20.15	Kimyasal gübre ve azot bileşiklerinin imalatı	060602	Tehlikeli kükürt bileşenleri içeren atıklar
20.13	Diğer inorganik temel kimyasalların imalatı	23.51	Çimento imalatı	060902	Fosforlu cüruf
24.45	Demir dışı diğer metallerin üretimi	20.15	Kimyasal gübre ve azot bileşiklerinin imalatı	061002	Tehlikeli maddeler içeren atıklar
20.15	Kimyasal gübre ve azot bileşiklerinin imalatı	24.42	Alüminyum üretimi	061099	Başka bir şekilde tanımlanmamış atıklar
29.10	Motorlu kara taşıtı, treyler vb. imalatı	22.29	Diğer plastik ürünlerin imalatı	070213	Atık plastik
20.14	Diğer organik temel kimyasalların imalatı	23.62	İnşaat amaçlı alçı ürünlerin imalatı	070710	Diğer filtre kekleri ve kullanılmış absorbanlar
35.11	Elektrik enerjisi üretimi	23.70	Taş ve mermerin kesilmesi, şekil verilmesi ve bitirilmesi	100101	Dip külü, cüruf ve kazan tozu

Çizelge 3.11. (Devam) Tasarlanan rastgele kapasiteli karma eko-park simbiyotik ilişkileri

Atık Üreticisi (Av)		Atık Alıcısı (Avcı)		Simbiyotik İlişki	
NACE Kodu	Endüstri Branşı	NACE Kodu	Endüstri Branşı	EWC Kodu	EWC Tanımı
16.21	Ahşap kaplama paneli ve ağaç esaslı panel imalatı	23.70	Taş ve mermerin kesilmesi, şekil verilmesi ve bitirilmesi	100101	Dip külü, cüruf ve kazan tozu
35.11	Elektrik enerjisi üretimi	23.51	Çimento imalatı	100102	Uçucu kömür külü
35.11	Elektrik enerjisi üretimi	23.61	İnşaat amaçlı beton ürünlerin imalatı	100102	Uçucu kömür külü
35.11	Elektrik enerjisi üretimi	42.11	Karayolları ve otoyolların inşaatı	100102	Uçucu kömür külü
35.11	Elektrik enerjisi üretimi	41.20	İkamet amaçlı olan ve olmayan binaların inşaatı	100102	Uçucu kömür külü
23.51	Çimento imalatı	23.61	İnşaat amaçlı beton ürünlerin imalatı	100102	Uçucu kömür külü
23.51	Çimento imalatı	42.11	Karayolları ve otoyolların inşaatı	100102	Uçucu kömür külü
23.51	Çimento imalatı	41.20	İkamet amaçlı olan ve olmayan binaların inşaatı	100102	Uçucu kömür külü
23.51	Çimento imalatı	23.51	Çimento imalatı	100102	Uçucu kömür külü
17.11	Kâğıt hamuru imalatı	23.51	Çimento imalatı	100102	Uçucu kömür külü
17.11	Kâğıt hamuru imalatı	23.61	İnşaat amaçlı beton ürünlerin imalatı	100102	Uçucu kömür külü
17.11	Kâğıt hamuru imalatı	42.11	Karayolları ve otoyolların inşaatı	100102	Uçucu kömür külü
17.11	Kâğıt hamuru imalatı	41.20	İkamet amaçlı olan ve olmayan binaların inşaatı	100102	Uçucu kömür külü
24.10	Ana demir ve çelik ürünleri ile ferro alaşımların imalatı	23.51	Çimento imalatı	100105	Desülfürizasyon sonrası çıkan kalsiyum bazlı katı atıklar
35.11	Elektrik enerjisi üretimi	23.62	İnşaat amaçlı alçı ürünlerin imalatı	100107	Desülfürizasyon sonrası çıkan kalsiyum bazlı çamurlar
35.11	Elektrik enerjisi üretimi	23.61	İnşaat amaçlı beton ürünlerin imalatı	100114	Tehlikeli maddeler içeren dip külü, cüruf ve kazan tozu
20.59	Diğer kimyasal ürünlerin imalatı	23.61	İnşaat amaçlı beton ürünlerin imalatı	100117	Birlikte yakılmadan kaynaklanan uçucu kül
24.10	Ana demir ve çelik ürünleri ile ferro alaşımların imalatı	23.51	Çimento imalatı	100202	İşlenmemiş cüruf
24.10	Ana demir ve çelik ürünleri ile ferro alaşımların imalatı	20.13	Diğer inorganik temel kimyasalların imalatı	100202	İşlenmemiş cüruf
24.10	Ana demir ve çelik ürünleri ile ferro alaşımların imalatı	42.11	Karayolları ve otoyolların inşaatı	100202	İşlenmemiş cüruf
24.10	Ana demir ve çelik ürünleri ile ferro alaşımların imalatı	23.99	Başka yerde sınıflandırılmamış metalik olmayan diğer mineral ürünlerin üretimi	100202	İşlenmemiş cüruf
24.10	Ana demir ve çelik ürünleri ile ferro alaşımların imalatı	23.61	İnşaat amaçlı beton ürünlerin imalatı	100202	İşlenmemiş cüruf
24.10	Ana demir ve çelik ürünleri ile ferro alaşımların imalatı	20.14	Diğer organik temel kimyasalların imalatı	100202	İşlenmemiş cüruf
24.10	Ana demir ve çelik ürünleri ile ferro alaşımların imalatı	24.10	Ana demir ve çelik ürünleri ile ferro alaşımların imalatı	100210	Haddehane tufali
24.10	Ana demir ve çelik ürünleri ile ferro alaşımların imalatı	23.51	Çimento imalatı	100210	Haddehane tufali

Çizelge 3.11. (Devam) Tasarlanan rastgele kapasiteli karma eko-park simbiyotik ilişkileri

Atık Üreticisi (Av)		Atık Alıcısı (Avcı)		Simbiyotik İlişki	
NACE Kodu	Endüstri Branşı	NACE Kodu	Endüstri Branşı	EWC Kodu	EWC Tanımı
24.10	Ana demir ve çelik ürünleri ile ferro alaşımların imalatı	35.11	Elektrik enerjisi üretimi	100299	Başka bir şekilde tanımlanmamış atıklar
24.42	Alüminyum üretimi	23.51	Çimento imalatı	100304	Birincil üretim çürüfları
24.42	Alüminyum üretimi	24.10	Ana demir ve çelik ürünleri ile ferro alaşımların imalatı	100318	Anot üretiminden kaynaklanan karbon içerikli atıklar
24.42	Alüminyum üretimi	41.20	İkamet amaçlı olan ve olmayan binaların inşaatı	100322	Partiküller ve tozlar
24.42	Alüminyum üretimi	23.51	Çimento imalatı	100329	Çürüfların arıtımından çıkan ve tehlikeli maddeler içeren atıklar
24.45	Demir dışı diğer metallerin üretimi	24.42	Alüminyum üretimi	100818	Gaz arıtma çamurları ve filtre kekleri
23.11	Düz cam imalatı	23.14	Cam elyafı imalatı	101103	Cam elyaf atıkları
23.11	Düz cam imalatı	41.20	İkamet amaçlı olan ve olmayan binaların inşaatı	101112	Atık camlar
23.61	İnşaat amaçlı beton ürünlerin imalatı	42.11	Karayolları ve otoyolların inşaatı	101208	Atık seramikler, tuğlalar, fayanslar ve inşaat malzemeleri
23.51	Çimento imalatı	24.10	Ana demir ve çelik ürünleri ile ferro alaşımların imalatı	101306	Partiküller ve toz
23.51	Çimento imalatı	20.12	Boya maddeleri ve pigment imalatı	101306	Partiküller ve toz
23.51	Çimento imalatı	23.61	İnşaat amaçlı beton ürünlerin imalatı	101314	Atık beton ve beton çamurları
24.20	Çelikten tüpler, borular, içi boş profiller ve benzeri bağlantı parçalarının imalatı	24.20	Çelikten tüpler, borular, içi boş profiller ve benzeri bağlantı parçalarının imalatı	120101	Demir metal çapakları ve talaşları
24.20	Çelikten tüpler, borular, içi boş profiller ve benzeri bağlantı parçalarının imalatı	24.10	Ana demir ve çelik ürünleri ile ferro alaşımların imalatı	120101	Demir metal çapakları ve talaşları
24.10	Ana demir ve çelik ürünleri ile ferro alaşımların imalatı	24.10	Ana demir ve çelik ürünleri ile ferro alaşımların imalatı	120101	Demir metal çapakları ve talaşları
24.10	Ana demir ve çelik ürünleri ile ferro alaşımların imalatı	24.20	Çelikten tüpler, borular, içi boş profiller ve benzeri bağlantı parçalarının imalatı	120101	Demir metal çapakları ve talaşları
24.20	Çelikten tüpler, borular, içi boş profiller ve benzeri bağlantı parçalarının imalatı	24.20	Çelikten tüpler, borular, içi boş profiller ve benzeri bağlantı parçalarının imalatı	120102	Demir metal toz ve parçacıklar
24.20	Çelikten tüpler, borular, içi boş profiller ve benzeri bağlantı parçalarının imalatı	24.10	Ana demir ve çelik ürünleri ile ferro alaşımların imalatı	120102	Demir metal toz ve parçacıklar
24.10	Ana demir ve çelik ürünleri ile ferro alaşımların imalatı	24.10	Ana demir ve çelik ürünleri ile ferro alaşımların imalatı	120102	Demir metal toz ve parçacıklar
24.10	Ana demir ve çelik ürünleri ile ferro alaşımların imalatı	24.20	Çelikten tüpler, borular, içi boş profiller ve benzeri bağlantı parçalarının imalatı	120102	Demir metal toz ve parçacıklar
24.10	Ana demir ve çelik ürünleri ile ferro alaşımların imalatı	23.43	Seramik yalıtkanların ve yalıtkan bağlantı parçalarının imalatı	150101	Kağıt ve karton ambalaj
23.51	Çimento imalatı	23.43	Seramik yalıtkanların ve yalıtkan bağlantı parçalarının imalatı	150101	Kağıt ve karton ambalaj

Çizelge 3.11. (Devam) Tasarlanan rastgele kapasiteli karma eko-park simbiyotik ilişkileri

Atık Üreticisi (Av)		Atık Alıcısı (Avcı)		Simbiyotik İlişki	
NACE Kodu	Endüstri Branşı	NACE Kodu	Endüstri Branşı	EWC Kodu	EWC Tanımı
24.10	Ana demir ve çelik ürünleri ile ferro alaşımların imalatı	22.29	Diğer plastik ürünlerin imalatı	150102	Plastik ambalaj
20.12	Boya maddeleri ve pigment imalatı	22.29	Diğer plastik ürünlerin imalatı	150102	Plastik ambalaj
20.12	Boya maddeleri ve pigment imalatı	35.11	Elektrik enerjisi üretimi	150103	Ahşap ambalaj
26.10	Bilgisayar, elektronik ve optik ürün imalatı	24.44	Bakır üretimi	160209	PCB'ler içeren transformatörler ve kapasiteler
26.10	Bilgisayar, elektronik ve optik ürün imalatı	24.44	Bakır üretimi	160210	PCB içeren iskarta ekipmanlar
26.10	Bilgisayar, elektronik ve optik ürün imalatı	24.44	Bakır üretimi	160214	Iskarta ekipmanlar
19.20	Rafine edilmiş petrol ürünlerinin imalatı	23.51	Çimento imalatı	160802	Tehlikeli geçiş metalleri içeren bitik katalizörler
24.42	Alüminyum üretimi	23.51	Çimento imalatı	161101	Tehlikeli maddeler içeren karbon bazlı astarlar ve refraktörler
24.10	Ana demir ve çelik ürünleri ile ferro alaşımların imalatı	42.11	Karayolları ve otoyolların inşaatı	170604	Yalıtım malzemeleri
13.30	Tekstil ürünlerinin bitirilmesi	22.29	Diğer plastik ürünlerin imalatı	191204	Plastik ve lastik
20.15	Kimyasal gübre ve azot bileşiklerinin imalatı	24.20	Çelikten tüpler, borular, içi boş profiller ve benzeri bağlantı parçalarının imalatı	200140	Metaller
20.15	Kimyasal gübre ve azot bileşiklerinin imalatı	24.10	Ana demir ve çelik ürünleri ile ferro alaşımların imalatı	200140	Metaller
20.12	Boya maddeleri ve pigment imalatı	35.11	Elektrik enerjisi üretimi	1000000	Hava
17.11	Kâğıt hamuru imalatı	23.61	İnşaat amaçlı beton ürünlerin imalatı	1000003	Atık su
20.15	Kimyasal gübre ve azot bileşiklerinin imalatı	20.12	Boya maddeleri ve pigment imalatı	1000004	Kuyu suyu
24.45	Demir dışı diğer metallerin üretimi	24.42	Alüminyum üretimi	1000005	Karbondioksit
24.45	Demir dışı diğer metallerin üretimi	20.11	Sanayi gazları imalatı	1000005	Karbondioksit
20.15	Kimyasal gübre ve azot bileşiklerinin imalatı	24.42	Alüminyum üretimi	1000005	Karbondioksit
20.15	Kimyasal gübre ve azot bileşiklerinin imalatı	20.11	Sanayi gazları imalatı	1000005	Karbondioksit
20.11	Sanayi gazları imalatı	24.42	Alüminyum üretimi	1000005	Karbondioksit
20.11	Sanayi gazları imalatı	20.11	Sanayi gazları imalatı	1000005	Karbondioksit
24.43	Kurşun, çinko ve kalay üretimi	24.44	Bakır üretimi	1000006	Kurtarılmış bakır
24.10	Ana demir ve çelik ürünleri ile ferro alaşımların imalatı	35.11	Elektrik enerjisi üretimi	1000007	Mineralsız su
35.11	Elektrik enerjisi üretimi	20.12	Boya maddeleri ve pigment imalatı	1000008	Elektrik
35.11	Elektrik enerjisi üretimi	24.10	Ana demir ve çelik ürünleri ile ferro alaşımların imalatı	1000008	Elektrik
35.11	Elektrik enerjisi üretimi	20.11	Sanayi gazları imalatı	1000008	Elektrik
35.11	Elektrik enerjisi üretimi	23.51	Çimento imalatı	1000008	Elektrik

Çizelge 3.11. (Devam) Tasarlanan rastgele kapasiteli karma eko-park simbiyotik ilişkileri

Atık Üreticisi (Av)		Atık Alıcısı (Avcı)		Simbiyotik İlişki	
NACE Kodu	Endüstri Branşı	NACE Kodu	Endüstri Branşı	EWC Kodu	EWC Tanımı
24.42	Alüminyum üretimi	23.51	Çimento imalatı	1000008	Elektrik
24.42	Alüminyum üretimi	24.10	Ana demir ve çelik ürünleri ile ferro alaşımların imalatı	1000008	Elektrik
24.42	Alüminyum üretimi	20.12	Boya maddeleri ve pigment imalatı	1000008	Elektrik
24.42	Alüminyum üretimi	20.11	Sanayi gazları imalatı	1000008	Elektrik
20.12	Boya maddeleri ve pigment imalatı	20.11	Sanayi gazları imalatı	1000008	Elektrik
20.12	Boya maddeleri ve pigment imalatı	24.10	Ana demir ve çelik ürünleri ile ferro alaşımların imalatı	1000008	Elektrik
20.12	Boya maddeleri ve pigment imalatı	20.12	Boya maddeleri ve pigment imalatı	1000008	Elektrik
20.12	Boya maddeleri ve pigment imalatı	23.51	Çimento imalatı	1000008	Elektrik
20.12	Boya maddeleri ve pigment imalatı	35.11	Elektrik enerjisi üretimi	1000010	İçilebilir su
20.12	Boya maddeleri ve pigment imalatı	20.11	Sanayi gazları imalatı	1000010	İçilebilir su
20.12	Boya maddeleri ve pigment imalatı	35.11	Elektrik enerjisi üretimi	1000011	Arıtılmış su
20.13	Diğer inorganik temel kimyasalların imalatı	25.61	Metallerin islenmesi ve kaplanması	1000012	Silika
35.11	Elektrik enerjisi üretimi	20.12	Boya maddeleri ve pigment imalatı	1000013	Buhar
35.11	Elektrik enerjisi üretimi	24.10	Ana demir ve çelik ürünleri ile ferro alaşımların imalatı	1000013	Buhar
35.11	Elektrik enerjisi üretimi	20.11	Sanayi gazları imalatı	1000013	Buhar
35.11	Elektrik enerjisi üretimi	20.13	Diğer inorganik temel kimyasalların imalatı	1000013	Buhar
35.11	Elektrik enerjisi üretimi	17.12	Kâğıt ve mukavva imalatı	1000013	Buhar
24.44	Bakır üretimi	24.10	Ana demir ve çelik ürünleri ile ferro alaşımların imalatı	1000013	Buhar
24.44	Bakır üretimi	20.13	Diğer inorganik temel kimyasalların imalatı	1000013	Buhar
24.44	Bakır üretimi	20.12	Boya maddeleri ve pigment imalatı	1000013	Buhar
24.44	Bakır üretimi	20.11	Sanayi gazları imalatı	1000013	Buhar
24.44	Bakır üretimi	17.12	Kâğıt ve mukavva imalatı	1000013	Buhar
24.10	Ana demir ve çelik ürünleri ile ferro alaşımların imalatı	24.10	Ana demir ve çelik ürünleri ile ferro alaşımların imalatı	1000013	Buhar
24.10	Ana demir ve çelik ürünleri ile ferro alaşımların imalatı	20.13	Diğer inorganik temel kimyasalların imalatı	1000013	Buhar
24.10	Ana demir ve çelik ürünleri ile ferro alaşımların imalatı	20.12	Boya maddeleri ve pigment imalatı	1000013	Buhar
24.10	Ana demir ve çelik ürünleri ile ferro alaşımların imalatı	20.11	Sanayi gazları imalatı	1000013	Buhar
24.10	Ana demir ve çelik ürünleri ile ferro alaşımların imalatı	17.12	Kâğıt ve mukavva imalatı	1000013	Buhar

Çizelge 3.11. (Devam) Tasarlanan rastgele kapasiteli karma eko-park simbiyotik ilişkileri

Atık Üreticisi (Av)		Atık Alıcısı (Avcı)		Simbiyotik İlişki	
NACE Kodu	Endüstri Branşı	NACE Kodu	Endüstri Branşı	EWC Kodu	EWC Tanımı
20.12	Boya maddeleri ve pigment imalatı	20.11	Sanayi gazları imalatı	1000013	Buhar
20.12	Boya maddeleri ve pigment imalatı	24.10	Ana demir ve çelik ürünleri ile ferro alaşımların imalatı	1000013	Buhar
20.12	Boya maddeleri ve pigment imalatı	20.13	Diğer inorganik temel kimyasalların imalatı	1000013	Buhar
20.12	Boya maddeleri ve pigment imalatı	20.12	Boya maddeleri ve pigment imalatı	1000013	Buhar
20.12	Boya maddeleri ve pigment imalatı	17.12	Kâğıt ve mukavva imalatı	1000013	Buhar
24.42	Alüminyum üretimi	35.11	Elektrik enerjisi üretimi	1000015	Atık ısı
24.10	Ana demir ve çelik ürünleri ile ferro alaşımların imalatı	35.11	Elektrik enerjisi üretimi	1000015	Atık ısı
23.51	Çimento imalatı	35.11	Elektrik enerjisi üretimi	1000015	Atık ısı
23.11	Düz cam imalatı	35.11	Elektrik enerjisi üretimi	1000015	Atık ısı
35.11	Elektrik enerjisi üretimi	20.12	Boya maddeleri ve pigment imalatı	1000016	Atık su
23.11	Düz cam imalatı	20.12	Boya maddeleri ve pigment imalatı	1000016	Atık su
20.11	Sanayi gazları imalatı	20.12	Boya maddeleri ve pigment imalatı	1000016	Atık su
24.44	Bakır üretimi	24.43	Kurşun, çinko ve kalay üretimi	1000017	Kurtarılmış çinko

Karma eko-parkta yer alacak sektörlerin ve bu sektörler arasındaki simbiyotik ilişkilerin belirlenmesinden sonra, eko-parkın yerleşim planının tespiti için lokasyon optimizasyonu aşamasına geçilmiştir. Bu aşamada ilk olarak aralarındaki simbiyotik ilişki boru/enerji vb. hattı gerektiren (örneğin atık su simbiyotik ilişkisi, atık ısı simbiyotik ilişkisi vb.) tesislerin birbirine en yakın olması amaçlanmıştır. İkinci olarak ise aralarındaki simbiyotik ilişki sayısı en fazla olanların birbirine en yakın olması istenmiştir. Lokasyon optimizasyonu (75555 saniyelik çözüm) sonucu elde edilen rastgele kapasiteli karma eko-park yerleşim planı Şekil 3.11’de sunulmuştur.

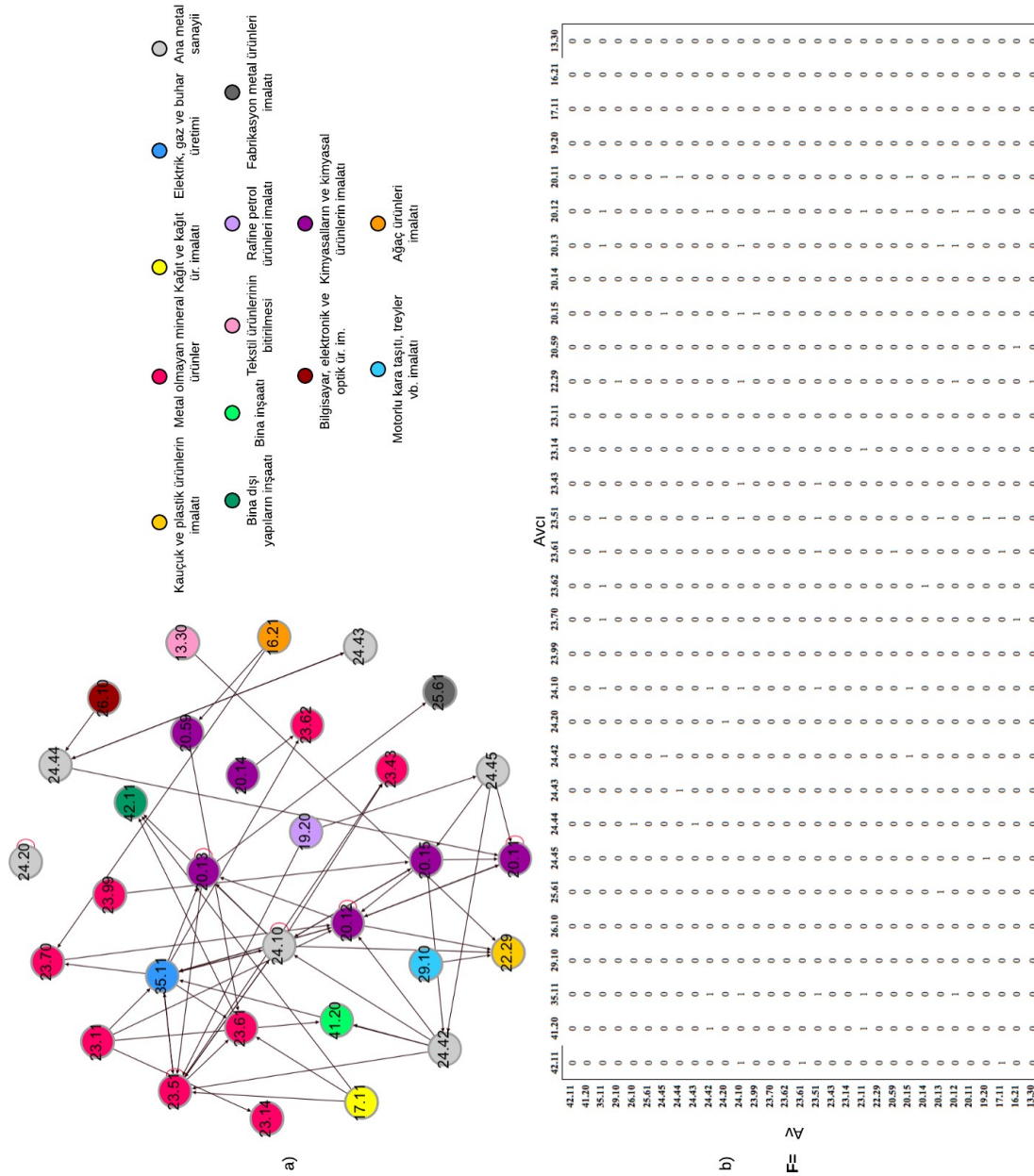


### Tam kapasiteli karma eko-park

Rastgele kapasiteli karma eko-park optimizasyonu sonucundan elde edilen, inşaat endüstrisi ve inşaat endüstrisinden atık alan/atık veren toplam 32 adet tesis kullanılarak, bu tesislerin ürettikleri ve simbiyotik ilişkilerde kullanabilen atıkların her bir çeşidinin miktar olarak tamamını sadece bir tesise verebilmeleri kısıtı ile ve sırasıyla döngüsellik ( $\lambda_{max}$ ) ve bağlantı yoğunluğunu ( $L_D$ ) maksimum yapmak amacı ile (atık çeşidi sabit tutulmuştur) tekrar bir optimizasyon matematik modeli tasarlanmış, böylece, eko-parkta yer alan tesislerin ürettiği atıkları bölümleyerek birden fazla tesise göndermeleri yerine tamamını sadece bir tesise göndermeyi tercih ettikleri durumda, karma eko-park simbiyotik ağında ne gibi değişiklikler olabileceği, besin ağı metriklerindeki değişiklikler ışığında değerlendirilmiştir. Oluşturulan modelin çalıştırılmasından sonra optimum değerlerin elde edilmesi başarılmıştır.

Analiz sonucunda elde edilen eko-parkta atık çeşidi sabit olduğundan dolayı, rastgele kapasiteli karma eko-parktaki atık çeşidi ile aynı olup (63 atık türü), rastgele kapasiteli duruma göre tesis sayısında bir azalma meydana gelmiştir (31 tesis mevcuttur.). Ayrıca, bir tesisin ürettiği aynı tür bir atığı birden fazla tesise gönderememe kısıtından dolayı doğal olarak toplam simbiyotik ilişki sayısında da bir düşüş meydana gelmiştir (86 adet simbiyotik ilişki mevcuttur.). Tasarlanan tam kapasiteli karma eko-parkın besin ağı (simbiyotik ilişki ağı) ve besin ağı matrisi [F] Şekil 3.12’de sunulmuştur. Çizelge 3.12, rastgele kapasiteli inşaat eko-parkı besin ağı matrisinden hesaplanan besin ağı metriklerini göstermektedir. Sonuçlar incelendiğinde, döngüsellik ( $\lambda_{max}$ ), eko-park içerisinde güçlü bir kapalı döngünün ( $\lambda_{max} \square \square 1$ ) varlığını gösteren bir değer aldığı görülmektedir ( $\lambda_{max} = 3,4831$ ). Tasarlanan eko-parkta bağlantı yoğunluğu ( $L_D$ ) 2,09, bağlantı sayısı ( $N_L$ ) ise 65 olarak bulunmuştur. Eko-parkta yer alan toplam simbiyotik ilişki sayısının toplam bağlantı sayısından fazla olması, eko-parkta yer alan bazı tesisler arasında birden fazla simbiyotik ilişki olduğunu göstermektedir. Genelleştirme (G) ve kırılabilirlik (V) metrikleri sırasıyla 2,9545 ve 2,7083 olup bu değerler, her avın (atık üreticisi) ortalama 2,9545 avcı (atık alıcısı) tarafından tüketildiği ve her avcının ortalama 2,7083 av tükettiği anlamına gelmektedir. Av-avcı oranı ( $P_r$ ) 1,0949 olarak hesaplanmış olup bu eko-park içerisindeki 22 tesisin ( $N_{avcı}=22$ ), 24 tesis ( $N_{av}=24$ ) tarafından üretilen atıkları aldığını göstermektedir. Bağlılık (C) değeri ise 0,0676 olarak hesaplanmış olup bu değer alabileceği maksimum teorik değere ( $C_{max}=1$ ) göre düşüktür.





Şekil 3.12. Tam kapasiteli karma eko-park a) NACE kodlarına göre sınıflandırılmış simbiyotik ağ b) Besin ağı matrisi [F];  $f_{ij} = 1$ , av (i) ve avcı (j) arasındaki tek yönlü bir ilişkiyi temsil ederken,  $f_{ij} = 0$  ilişki olmadığını gösterir

Çizelge 3.12. Tam kapasiteli karma eko-park besin ağı matrisinden hesaplanan besin ağı metrikleri

Tür Zenginliği (SR)	Bağlantı Sayısı ( $N_L$ )	Avcı ( $N_{avcı}$ )	Av ( $N_{av}$ )	Bağlılık (C)	Bağlantı Yoğunluğu (Ld)	Av/Avcı Oranı (Pr)	Kırılgenlik (V)	Genelleştirme (G)	Döngüsellik ( $\lambda_{max}$ )
32	65	22	24	0,0676	2,0967	1,0909	2,7083	2,9545	3,4831

Not: Öz döngü ilişkisi olduğundan dolayı, C değeri Eşitlik 2.11 kullanılarak hesaplanmıştır

Tam kapasiteli karma eko-parkta yer alan tesisler arasında gerçekleşen tüm simbiyotik

işbirlikleri Çizelge 3.13'te sunulmuştur.

Çizelge 3.13. Tasarlanan rastgele kapasiteli karma eko-park simbiyotik ilişkileri

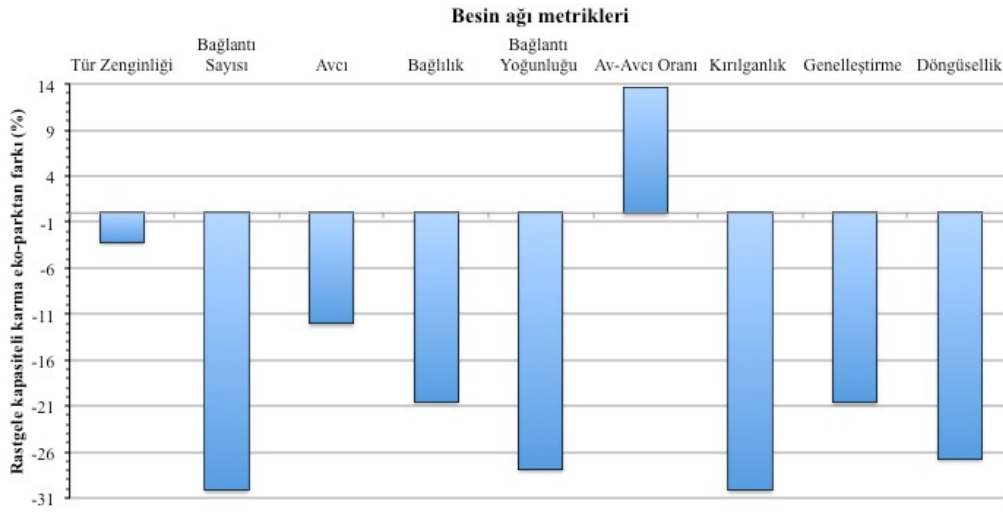
Atık Üreticisi (Av)		Atık Alıcısı (Avcı)		Simbiyotik İlişki	
NACE Kodu	Endüstri Branşı	NACE Kodu	Endüstri Branşı	EWC Kodu	EWC Tanımı
24.42	Alüminyum üretimi	24.10	Ana demir ve çelik ürünleri ile ferro alaşımların imalatı	010309	Alüminyum oksit üretiminden çıkan kırmızı çamur
23.99	Başka yerde sınıflandırılmamış metalik olmayan diğer mineral ürünlerin üretimi	20.15	Kimyasal gübre ve azot bileşiklerinin imalatı	010409	Atık kum ve killeri
16.21	Ahşap kaplama paneli ve ağaç esaslı panel imalatı	20.59	Diğer kimyasal ürünlerin imalatı	030105	Talaş, yonga, kıymık, ahşap, kontrplak ve kaplamalar
17.11	Kâğıt hamuru imalatı	23.61	İnşaat amaçlı beton ürünlerin imalatı	030302	Yeşil sıvı çamuru (pişirme sıvısı geri kazanımından)
17.11	Kâğıt hamuru imalatı	23.51	Çimento imalatı	030311	Atık su arıtımından kaynaklanan çamurlar
17.11	Kâğıt hamuru imalatı	23.51	Çimento imalatı	030399	Başka bir şekilde tanımlanmamış atıklar
19.20	Rafine edilmiş petrol ürünlerinin imalatı	24.45	Demir dışı diğer metallerin üretimi	050116	Petrol desülfürizasyonu sonucu oluşan kükürt içeren atıklar
19.20	Rafine edilmiş petrol ürünlerinin imalatı	24.45	Demir dışı diğer metallerin üretimi	050199	Başka bir şekilde tanımlanmamış atıklar
20.13	Diğer inorganik temel kimyasalların imalatı	20.13	Diğer inorganik temel kimyasalların imalatı	060102	Hidroklorik asit
20.12	Boya maddeleri ve pigment imalatı	20.13	Diğer inorganik temel kimyasalların imalatı	060102	Hidroklorik asit
23.70	Taş ve mermerin kesilmesi, şekil verilmesi ve bitirilmesi	20.12	Boya maddeleri ve pigment imalatı	060203	Amonyum hidroksit
20.13	Diğer inorganik temel kimyasalların imalatı	25.61	Metallerin işlenmesi ve kaplanması	060204	Sodyum ve potasyum hidroksit
24.45	Demir dışı diğer metallerin üretimi	20.15	Kimyasal gübre ve azot bileşiklerinin imalatı	060602	Tehlikeli kükürt bileşenleri içeren atıklar
24.10	Ana demir ve çelik ürünleri ile ferro alaşımların imalatı	20.15	Kimyasal gübre ve azot bileşiklerinin imalatı	060602	Tehlikeli kükürt bileşenleri içeren atıklar
20.13	Diğer inorganik temel kimyasalların imalatı	23.51	Çimento imalatı	060902	Fosforlu cüruf
24.45	Demir dışı diğer metallerin üretimi	20.15	Kimyasal gübre ve azot bileşiklerinin imalatı	061002	Tehlikeli maddeler içeren atıklar
20.15	Kimyasal gübre ve azot bileşiklerinin imalatı	24.42	Alüminyum üretimi	061099	Başka bir şekilde tanımlanmamış atıklar
29.10	Motorlu kara taşıtı, treyler vb. imalatı	22.29	Diğer plastik ürünlerin imalatı	070213	Atık plastik
20.14	Diğer organik temel kimyasalların imalatı	23.62	İnşaat amaçlı alçı ürünlerin imalatı	070710	Diğer filtre kekleri ve kullanılmış absorbanlar
35.11	Elektrik enerjisi üretimi	23.70	Taş ve mermerin kesilmesi, şekil verilmesi ve bitirilmesi	100101	Dip külü, cüruf ve kazan tozu
16.21	Ahşap kaplama paneli ve ağaç esaslı panel imalatı	23.70	Taş ve mermerin kesilmesi, şekil verilmesi ve bitirilmesi	100101	Dip külü, cüruf ve kazan tozu
35.11	Elektrik enerjisi üretimi	23.51	Çimento imalatı	100102	Uçucu kömür külü
23.51	Çimento imalatı	23.51	Çimento imalatı	100102	Uçucu kömür külü
17.11	Kâğıt hamuru imalatı	42.11	Karayolları ve otoyolların inşaatı	100102	Uçucu kömür külü
24.10	Ana demir ve çelik ürünleri ile ferro alaşımların imalatı	23.51	Çimento imalatı	100105	Desülfürizasyon sonrası çıkan kalsiyum bazlı katı atıklar
35.11	Elektrik enerjisi üretimi	23.62	İnşaat amaçlı alçı ürünlerin imalatı	100107	Desülfürizasyon sonrası çıkan kalsiyum bazlı çamurlar
35.11	Elektrik enerjisi üretimi	23.61	İnşaat amaçlı beton ürünlerin imalatı	100114	Tehlikeli maddeler içeren dip külü, cüruf ve kazan tozu

Çizelge 3.13. (Devam) Tasarlanan rastgele kapasiteli karma eko-park simbiyotik ilişkileri

Atık Üreticisi (Av)		Atık Alıcısı (Avcı)		Simbiyotik İlişki	
NACE Kodu	Endüstri Branşı	NACE Kodu	Endüstri Branşı	EWC Kodu	EWC Tanımı
20.59	Diğer kimyasal ürünlerin imalatı	23.61	İnşaat amaçlı beton ürünlerin imalatı	100117	Birlikte yakılmadan kaynaklanan uçucu kül
24.10	Ana demir ve çelik ürünleri ile ferro alaşımların imalatı	23.51	Çimento imalatı	100202	İşlenmemiş cüruf
24.10	Ana demir ve çelik ürünleri ile ferro alaşımların imalatı	20.13	Diğer inorganik temel kimyasalların imalatı	100202	İşlenmemiş cüruf
24.10	Ana demir ve çelik ürünleri ile ferro alaşımların imalatı	24.10	Ana demir ve çelik ürünleri ile ferro alaşımların imalatı	100210	Haddehane tufali
24.10	Ana demir ve çelik ürünleri ile ferro alaşımların imalatı	35.11	Elektrik enerjisi üretimi	100299	Başka bir şekilde tanımlanmamış atıklar
24.42	Alüminyum üretimi	23.51	Çimento imalatı	100304	Birincil üretim cürufları
24.42	Alüminyum üretimi	24.10	Ana demir ve çelik ürünleri ile ferro alaşımların imalatı	100318	Anot üretiminden kaynaklanan karbon içerikli atıklar
24.42	Alüminyum üretimi	41.20	İkamet amaçlı olan ve olmayan binaların inşaatı	100322	Partiküller ve tozlar
24.42	Alüminyum üretimi	23.51	Çimento imalatı	100329	Cürufların arıtımından çıkan ve tehlikeli maddeler içeren atıklar
24.45	Demir dışı diğer metallerin üretimi	24.42	Alüminyum üretimi	100818	Gaz arıtma çamurları ve filtre kekleri
23.11	Düz cam imalatı	23.14	Cam elyafı imalatı	101103	Cam elyaf atıkları
23.11	Düz cam imalatı	41.20	İkamet amaçlı olan ve olmayan binaların inşaatı	101112	Atık camlar
23.61	İnşaat amaçlı beton ürünlerin imalatı	42.11	Karayolları ve otoyolların inşaatı	101208	Atık seramikler, tuğlalar, fayanslar ve inşaat malzemeleri
23.51	Çimento imalatı	24.10	Ana demir ve çelik ürünleri ile ferro alaşımların imalatı	101306	Partiküller ve toz
23.51	Çimento imalatı	23.61	İnşaat amaçlı beton ürünlerin imalatı	101314	Atık beton ve beton çamurları
24.20	Çelikten tüpler, borular, içi boş profiller ve benzeri bağlantı parçalarının imalatı	24.20	Çelikten tüpler, borular, içi boş profiller ve benzeri bağlantı parçalarının imalatı	120101	Demir metal çapakları ve talaşları
24.10	Ana demir ve çelik ürünleri ile ferro alaşımların imalatı	24.10	Ana demir ve çelik ürünleri ile ferro alaşımların imalatı	120101	Demir metal çapakları ve talaşları
24.20	Çelikten tüpler, borular, içi boş profiller ve benzeri bağlantı parçalarının imalatı	24.20	Çelikten tüpler, borular, içi boş profiller ve benzeri bağlantı parçalarının imalatı	120102	Demir metal toz ve parçacıklar
24.10	Ana demir ve çelik ürünleri ile ferro alaşımların imalatı	24.10	Ana demir ve çelik ürünleri ile ferro alaşımların imalatı	120102	Demir metal toz ve parçacıklar
24.10	Ana demir ve çelik ürünleri ile ferro alaşımların imalatı	23.43	Seramik yalıtkanların ve yalıtkan bağlantı parçalarının imalatı	150101	Kağıt ve karton ambalaj
23.51	Çimento imalatı	23.43	Seramik yalıtkanların ve yalıtkan bağlantı parçalarının imalatı	150101	Kağıt ve karton ambalaj
24.10	Ana demir ve çelik ürünleri ile ferro alaşımların imalatı	22.29	Diğer plastik ürünlerin imalatı	150102	Plastik ambalaj
20.12	Boya maddeleri ve pigment imalatı	22.29	Diğer plastik ürünlerin imalatı	150102	Plastik ambalaj
20.12	Boya maddeleri ve pigment imalatı	35.11	Elektrik enerjisi üretimi	150103	Ahşap ambalaj
26.10	Bilgisayar, elektronik ve optik ürün imalatı	24.44	Bakır üretimi	160209	PCB'ler içeren transformatörler ve kapasitörler

Çizelge 3.13. (Devam) Tasarlanan rastgele kapasiteli karma eko-park simbiyotik ilişkileri

Atık Üreticisi (Av)		Atık Alıcısı (Avcı)		Simbiyotik İlişki	
NACE Kodu	Endüstri Branşı	NACE Kodu	Endüstri Branşı	EWC Kodu	EWC Tanımı
26.10	Bilgisayar, elektronik ve optik ürün imalatı	24.44	Bakır üretimi	160210	PCB içeren ıskarta ekipmanlar
26.10	Bilgisayar, elektronik ve optik ürün imalatı	24.44	Bakır üretimi	160214	İskarta ekipmanlar
19.20	Rafine edilmiş petrol ürünlerinin imalatı	23.51	Çimento imalatı	160802	Tehlikeli geçiş metalleri içeren bitik katalizörler
24.42	Alüminyum üretimi	23.51	Çimento imalatı	161101	Tehlikeli maddeler içeren karbon bazlı astarlar ve refraktörler
24.10	Ana demir ve çelik ürünleri ile ferro alaşımların imalatı	42.11	Karayolları ve otoyolların inşaatı	170604	Yalıtım malzemeleri
13.30	Tekstil ürünlerinin bitirilmesi	22.29	Diğer plastik ürünlerin imalatı	191204	Plastik ve lastik
20.15	Kimyasal gübre ve azot bileşiklerinin imalatı	24.10	Ana demir ve çelik ürünleri ile ferro alaşımların imalatı	200140	Metaller
20.12	Boya maddeleri ve pigment imalatı	35.11	Elektrik enerjisi üretimi	1000000	Hava
17.11	Kâğıt hamuru imalatı	23.61	İnşaat amaçlı beton ürünlerin imalatı	1000003	Atık su
20.15	Kimyasal gübre ve azot bileşiklerinin imalatı	20.12	Boya maddeleri ve pigment imalatı	1000004	Kuyu suyu
24.45	Demir dışı diğer metallerin üretimi	20.11	Sanayi gazları imalatı	1000005	Karbondioksit
20.15	Kimyasal gübre ve azot bileşiklerinin imalatı	20.11	Sanayi gazları imalatı	1000005	Karbondioksit
20.11	Sanayi gazları imalatı	20.11	Sanayi gazları imalatı	1000005	Karbondioksit
24.43	Kurşun, çinko ve kalay üretimi	24.44	Bakır üretimi	1000006	Kurtarılmış bakır
24.10	Ana demir ve çelik ürünleri ile ferro alaşımların imalatı	35.11	Elektrik enerjisi üretimi	1000007	Mineralsız su
35.11	Elektrik enerjisi üretimi	24.10	Ana demir ve çelik ürünleri ile ferro alaşımların imalatı	1000008	Elektrik
24.42	Alüminyum üretimi	20.12	Boya maddeleri ve pigment imalatı	1000008	Elektrik
20.12	Boya maddeleri ve pigment imalatı	20.12	Boya maddeleri ve pigment imalatı	1000008	Elektrik
20.12	Boya maddeleri ve pigment imalatı	20.11	Sanayi gazları imalatı	1000010	İçilebilir su
20.12	Boya maddeleri ve pigment imalatı	35.11	Elektrik enerjisi üretimi	1000011	Aritilmiş su
20.13	Diğer inorganik temel kimyasalların imalatı	25.61	Metallerin islenmesi ve kaplanması	1000012	Silika
35.11	Elektrik enerjisi üretimi	20.13	Diğer inorganik temel kimyasalların imalatı	1000013	Buhar
24.44	Bakır üretimi	20.11	Sanayi gazları imalatı	1000013	Buhar
24.10	Ana demir ve çelik ürünleri ile ferro alaşımların imalatı	24.10	Ana demir ve çelik ürünleri ile ferro alaşımların imalatı	1000013	Buhar
24.10	Ana demir ve çelik ürünleri ile ferro alaşımların imalatı	20.13	Diğer inorganik temel kimyasalların imalatı	1000013	Buhar
20.12	Boya maddeleri ve pigment imalatı	20.12	Boya maddeleri ve pigment imalatı	1000013	Buhar
24.42	Alüminyum üretimi	35.11	Elektrik enerjisi üretimi	1000015	Atık ısı
24.10	Ana demir ve çelik ürünleri ile ferro alaşımların imalatı	35.11	Elektrik enerjisi üretimi	1000015	Atık ısı
23.51	Çimento imalatı	35.11	Elektrik enerjisi üretimi	1000015	Atık ısı
23.11	Düz cam imalatı	35.11	Elektrik enerjisi üretimi	1000015	Atık ısı
35.11	Elektrik enerjisi üretimi	20.12	Boya maddeleri ve pigment imalatı	1000016	Atık su
23.11	Düz cam imalatı	20.12	Boya maddeleri ve pigment imalatı	1000016	Atık su
20.11	Sanayi gazları imalatı	20.12	Boya maddeleri ve pigment imalatı	1000016	Atık su
24.44	Bakır üretimi	24.43	Kurşun, çinko ve kalay üretimi	1000017	Kurtarılmış çinko



Şekil 3.13. Tam kapasiteli karma eko-park besin ağı metriklerinin rastgele kapasiteli karma-park besin ağı metriklerinden yüzde farkı

Tam kapasiteli karma eko-park besin ağı metriklerinin rastgele kapasiteli karma eko-park besin ağı metriklerinden yüzde farkı Şekil 3.13’de sunulmuştur. Şekil incelendiğinde tek pozitif artışın av-avcı oranında ( $P_r$ ) olduğu görülmektedir (%13,6364). Bunun nedeni rastgele kapasiteli duruma göre tesis sayısındaki değişimin (-%3,125) sadece atık alan (avcı) tesis sayısındaki değişimden (-%12) kaynaklanmasından dolayıdır. En büyük negatif değişiklikler, bağlantı sayısı ( $N_L$ ) ve kırılganlıkta ( $V$ ) görülmektedir (her ikisi de -%30,1075). Bu metrikleri sırasıyla -%27,8529 ile bağlantı yoğunluğu ( $L_D$ ), -%26,7040 ile döngüsellik ( $\lambda_{max}$ ), -%20,5767 ile genelleştirme ( $G$ ) ve -%20,4779 ile bağlılık ( $C$ ) metrikleri izlemektedir.

Rastgele kapasiteli duruma göre tam kapasiteli karma eko-parkta sektörler arasındaki simbiyotik ilişkiler değiştiğinden dolayı, eko-parkın yerleşim planının tespiti için yeni bir lokasyon optimizasyonu yapılmıştır. Bu aşamada yine rastgele kapasiteli karma eko-park lokasyon optimizasyonunda olduğu gibi ilk olarak aralarındaki simbiyotik ilişki boru/enerji vb. hattı gerektiren (örneğin atık su simbiyotik ilişkisi, atık ısı simbiyotik ilişkisi vb.) tesislerin birbirine en yakın olması amaçlanmıştır. İkinci olarak ise aralarındaki simbiyotik ilişki sayısı en fazla olanların birbirine en yakın olması istenmiştir. Lokasyon optimizasyonu (1 saatlik çözüm) sonucu elde edilen tam kapasiteli karma eko-park yerleşim planı Şekil 3.14’de sunulmuştur.



### 3.2.3. Biyolojik besin ağları ile kıyas

Çizelge 3.14, detrital (geri dönüşüm) bileşenine sahip 55 adet biyolojik besin ağının, ortalama besin ağı metrik değerlerini göstermektedir.

Çizelge 3.14. Detrital (geri dönüşüm) bileşenine sahip 55 biyolojik besin ağının ortalama besin ağı metrik değerleri. (Layton, Bras, Reap, & Weissburg, 2013)

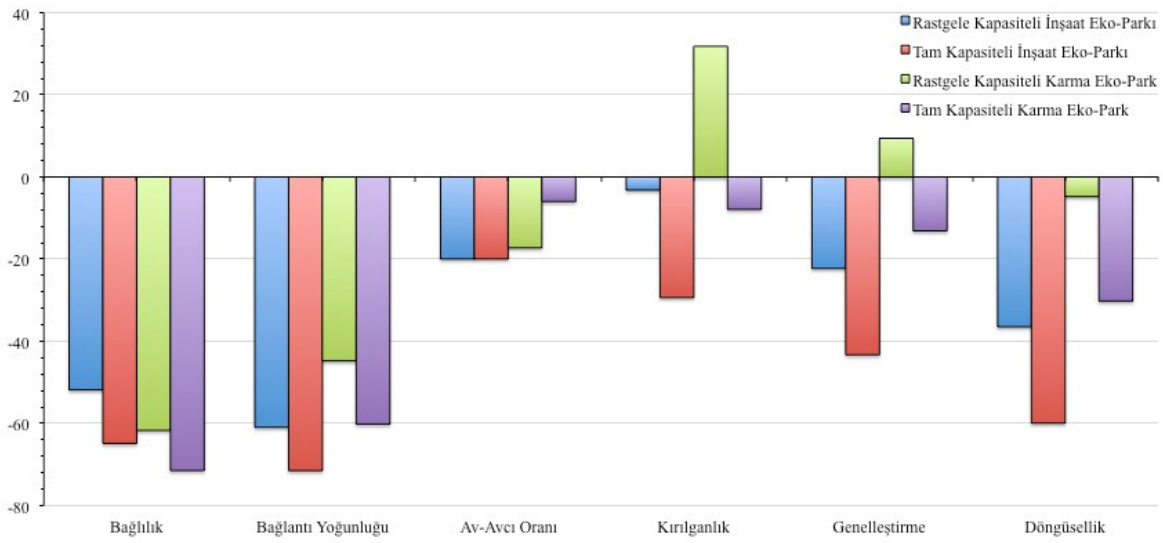
Tür Zenginliği (S <sub>R</sub> )	Bağlantı Sayısı (N <sub>L</sub> )	Avcı (N <sub>avcı</sub> )	Av (N <sub>av</sub> )	Bağlılık (C)	Bağlantı Yoğunluğu (L <sub>D</sub> )	Av/Avcı Oranı (P <sub>r</sub> )	Kırılgnlık (V)	Genelleştirme (G)	Döngüsellik (λ <sub>max</sub> )
40	331	14	16	0,2	5,26	1,16	2,94	3,4	4,99

Not: C değeri Eşitlik 2.11 kullanılarak hesaplanmıştır

Tasarlanan eko-parkların besin ağı metriklerinin biyolojik besin ağı metrik ortalamalarından yüzde farklarının değerlendirilmesi ise Şekil 3.15'de sunulmuştur. Adil bir karşılaştırma yapmak için, tür zenginliği (S<sub>R</sub>), bağlantı sayısı (L<sub>D</sub>), av (N<sub>av</sub>) ve avcı (N<sub>avcı</sub>) metrikleri, ağdaki aktör sayısından doğrudan etkilendiklerinden dolayı seçilmemiştir. Bağlılık (C) metriği de ağın boyutundan doğrudan etkilenen metrikler arasındadır. Bu metriğin bir ağın sağlamlığı hakkında bilgi verebilmesi nedeniyle diğerlerine göre özel bir yeri vardır. Dolayısıyla, tasarlanan eko-parklar ile besin ağları arasında C metriği özelinde sağlıklı bir kıyaslama yapmak için, literatürdeki besin ağlarından, içerisinde 18 ile 32 aktör arasında tür içerenlerden 17 adet besin seçilmiş [118] ve ortalama C değeri 0,237 olarak hesaplanmıştır. Şekil 3.15'te verilen bağlılık (C) metriği kıyaslamaları bu değer üzerinden yapılmış olup diğer metrik kıyaslamaları Çizelge 3.12 de sunulan değerler üzerinden yapılmıştır.

Tasarlanan eko-parklar ile biyolojik besin ağları arasında belirlenen en önemli fark, -%44,7455 den -%71,783'e değişim gösteren bağlantı yoğunluğu (L<sub>D</sub>) metriğidir. Bunun yanında, bağlılık (C) metriklerinin sonuçlarında da önemli bir fark görülmektedir (-%42,90 den -%66,181'e). Tasarlanan dört eko-parkın da doğal ortalamalara en yakın olduğu metrik av-avcı oranı (P<sub>r</sub>) metriğidir (-%5,956 dan -%19,950 ye). Rastgele kapasiteli karma eko-park tasarımı, kırılgnlık (V) ve genelleştirme (G) metriklerinde biyolojik ortalamaların üzerine çıkmıştır (sırasıyla %31,803 ve %9,412). Bu durum, sözü edilen eko-parkta yer alan her avın (atık üreticisi), doğal eko-sistemlere göre daha fazla avcı (atık

alıcısı) tarafından tüketildiğini ayrıca her avcının ise yine doğal ekosistemlere göre daha fazla av ile ilişkide olduğunu ifade etmektedir. Diğer üç eko-parkın kırılgenlik (V) metriğinde -%3,192 den -%29,356 ya genelleştirme (G) metriğinde ise -%13,102 den -%43,277 ye varan değişimler gözlenmiştir. Eko-park optimizasyonunda ana amaç olan döngüsellik ( $\lambda_{max}$ ) metriğine ise yine en çok yaklaşan rastgele kapasiteli karma eko-park olmuştur (-%4,768). Bunu sırasıyla tam kapasiteli karma eko park (-%30,198), rastgele kapasiteli inşaat eko-parkı (-%36,471) ve tam kapasiteli inşaat eko-parkı (-%59,920) izlemektedir.



Şekil 3.15. Tasarlanan eko-parkların besin ağı metriklerinin biyolojik besin ağı metrik ortalamalarından yüzde farkı



## 4. TARTIŞMA

### 4.1. Sanayi Bölgelerinin Eko-Parklara Doğru Geliştirilmesi

Esneklik, bir sistemin işlevini ve yapısını korurken iç ve dış aksaklıkları yutma kabiliyetidir [119]. Bu özelliğe sahip bir endüstriyel simbiyoz ağı (ESA), sistemin işlevini bozabilecek aksaklıkları emebilir. Kırılğanlık (V), esnekliğin bir karşıtı olarak algılanmaktadır ve daha yüksek kırılğanlığa sahip olan bir sistem kaçınılmaz olarak daha düşük bir esnekliğe sahip olacaktır [121]. Arasındalık merkeziliği (BC) ve derece merkeziliği (DC), bir düğümün ağdaki önemini ve sistemin kırılğanlığındaki belirlemeye yönelik metriklerdir [120]. Genel olarak daha yüksek ortalama BC ve DC değerlerine sahip bir ağ, daha az kırılğan ve daha fazla esnek olarak değerlendirilebilir. Ancak, ağın yüksek BC ve DC değerleri birkaç kritik düğüme ve bu düğümler arasındaki kenarlara bağlıysa, kritik düğüm veya kenarlar kaldırıldığında bu esneklik kırılğanlığa dönüşebilir. Temel durumla karşılaştırıldığında tüm potansiyel gelecek senaryolarının SAA sonuçları, tek bir düğümden kaynaklanan kırılğanlıklarda düşüş olduğunu göstermektedir. Bir ESA'da, daha fazla bağlantıya ve yüksek hacimli atık akışlarına sahip tesislerin sınıflandırılması ve korunması, ayrıca bilinmeyen bozulmalara karşı esneklik sağlamak için tesisler arasındaki bağlantıların artırılması gerekmektedir. Araştırma bulguları ayrıca, simbiyotik ilişkilere katılan tesis sayısındaki ve bunlar arasındaki etkileşimdeki artışı da ortaya koymaktadır. Bu durum, çeşitli yeni tesislerin sanayi bölgesine kurulmasının öngörüldüğü Senaryo 3 ve 4'te en belirgindir. Bir ESA'daki kritik tesislerin dağılımının heterojenliğindeki artış, kırılğanlıkta bir azalmaya ve ağın işlevliliğinde de artışa yol açabilir [120]. Her ne kadar öz-döngü ilişkileri döngüsellik dışındaki besin ağı metriklerini etkilemese de, Şekil 3.4'te görüldüğü gibi, öz-döngü ilişkileri olan tesislerin kendi BC değerleri üzerinde olumsuz bir etkisi vardır. Öz döngü ilişkileri ayrıca, Senaryo 3 ve 4 arasındaki ortalama BC değerleri hariç, ESA'daki ortalama BC ve DC değerleri üzerinde de negatif etkiye sahiptir. Şekil 3.4'te görüldüğü üzere, sanayi bölgesi içerisine yeni kurulması önerilen tesislerin çoğu, mevcut tesislerin çoğundan daha yüksek BC ve DC değerlerine sahiptir. Bu durum, yeni tesislerin çoğunun, sanayi bölgesi içinde üretilen atıkları üretim süreçlerinde kullanma ve atıklarını sanayi bölgesinde bulunan başka bir tesise gönderme konusunda mevcut tesislerin çoğundan daha fazla yeteneğe sahip olduğunu göstermektedir. Bu olanak, girişimcileri sanayi bölgesi içinde yeni bir tesis kurmaya çekebilir.

ES'de fazlalık, bir ESA'nın kritik öğelerinin ve işlevlerinin çoğaltılması olarak tanımlanabilir [122]. ES ilişkilerinin uygulanmasında, endüstriyel tesisler bağımsız olarak belirli bir atık için alışveriş yapacak katılımcı sayısını seçebilirler. Belirli bir atık için katılımcı sayısı arttıkça, uzun vadede bozulmalara karşı dayanıklılık artacaktır, ancak kısa vadede ES uygulamasından kaynaklanan ekonomik faydalar, ek işlem maliyetleri nedeniyle düşecektir [80]. Araştırma bulguları, sanayi bölgesinin temel durumda sadece birkaç tesisin geriye kalan tesisler için atık alıcısı olarak davranma eğiliminde olduklarını göstermektedir. Sonuç olarak, avcı (atık alıcısı) başına düşen ortalama av (atık üreticisi) sayısı (G), temel durumda, tüm potansiyel gelecek senaryolara göre önemli ölçüde daha yüksektir. Senaryo 1 ve 2 ile karşılaştırıldığında, Senaryo 3 ve 4'teki her bir tesis ağıdaki diğer tesislerle daha fazla bağlantıya sahiptir ( $L_D$ ). Ayrıca, av-avcı oranından ( $P_r$ ) anlaşılacağı üzere, tüm potansiyel gelecek senaryolarında simbiyotik ilişkilerde atık sağlayan tesisler (av) bu atıkları kullanan tesislerden (avcı) daha fazladır. Sanayi bölgesine yeni tesisler kurulmasını öngören senaryolar, avcılarının sayısını (atık alıcıları) diğer senaryolardan daha fazla artırmakta olup bu durum, yeni tesislerin sadece atık almadığını, aynı zamanda sanayi bölgesi içinde yer alan tesislerin simbiyotik ilişkilerde kullanabileceği atıkları da ürettiğini ifade etmektedir. Biyolojik besin ağı bakış açısından bakıldığında, ekosistemdeki avcılarının sayısındaki bir artış, avcılarının avlar için düşman ve aynı türden beslenen diğer avcılar için ise rakip olacağından dolayı olumsuz bir etki olarak algılanabilir. Endüstriyel bakış açısına göre bu durum simbiyotik ilişkide bulunan katılımcı tesislerin pozisyonuna göre farklı algılanabilir. Örneğin, simbiyotik ilişkide atık veren pozisyonunda olan bir tesis için atık alıcılarının sayısındaki bir artış, atık verilebilecek seçeneklerin artmasından dolayı pozitif olarak algılanabilirken, atık alıcıları açısından ise aynı türden atığı almak için rekabet artacağından dolayı negatif olarak yorumlanabilir. Genel bakış açısına göre, potansiyel atık alıcılar arasındaki rekabet, istikrarlı bir atık pazarı oluşturmak için iyi bir strateji gibi görünebilir, ancak girişimciler üzerinde, içerisinde aynı türden atık için rekabet gerektiren bir sanayi bölgesinde yeni bir tesis açmaya istekli olmamak gibi olumsuz bir etki de yaratabilir.

Bağlılık ve döngüsellik, bir ağın genel yapısını, karmaşıklığını, sağlamlığını ve iç döngüsellliğini gösterdiğinden dolayı özellikle önemli tasarım metrikleridir [98, 123]. Doğal ekosistemlerde, detrital (geri dönüşümlü) besin ağlarındaki aktörler birbirine yüksek derecede bağlıdır ve sistemlerinde yamyamlık ve ayrıştırıcıların bulunması nedeniyle güçlü bir döngüsellığe sahiptir [54, 57]. Ayrıştırıcılar (örneğin, bakteri ve mantarlar), bitki ve

hayvanların ölü organik maddelerini parçalayıp, sonra detritivorlar ve etçiller yoluyla ekosisteme geri dönmesini sağlarlar. Endüstriyel bakış açısından, geri dönüşüm tesisleri doğal ekosistemdeki ayrıştırıcıların rolünü oynayabilir [53]. Sanayi bölgesi içerisinde faaliyet gösteren üç adet geri dönüşüm firması mevcuttur. Şekil 3.4'de görüldüğü üzere, iki geri dönüşüm tesisi olan RE5 ve P8, temel durumda ve tüm potansiyel gelecek senaryolarında yüksek DC ve BC değerlerine sahiptir. Bununla birlikte, ortalama bağlılık değerleri (C), bu geri dönüşüm firmalarının BC ve DC değerleri ile pozitif bir korelasyon göstermeyip, potansiyel gelecek senaryoları arasında önemli değişiklikler sergilemez. Layton, Bras, Reap ve Weissburg, detrital (geri dönüşüm) bileşenine sahip olan 55 biyolojik besin ağı için ortalama besin ağı metriklerini hesaplamış ve ortalama bağlılık (C) değerini 0,2, ortalama döngüsellik değerini ( $\lambda_{max}$ ) ise 4,99 olarak bulmuştur [98]. Temel durum ve dört potansiyel gelecek senaryosu için hesaplanan tüm C ve  $\lambda_{max}$  değerleri, yukarıda belirtilen biyolojik ortalamalardan çok daha düşüktür. Bu durum, sanayi bölgesi içinde faaliyet gösteren geri dönüşüm tesislerinin aldıkları atıkları geri dönüştürme işlemlerden sonra sanayi bölgesi içindeki tesislere geri göndermediğini, dolayısıyla doğal ekosistemde yaşayan ayrıştırıcıların üstlendiği benzer görevlerini yerine getirmediğini göstermektedir. Sanayi bölgesinde faaliyet gösteren tesisler tarafından üretilen ve Senaryo 1 ve 2'deki potansiyel simbiyotik ilişkileri kurmak için kullanılan atıkların çoğu, temel durumda sanayi bölgesi dışında faaliyet gösteren geri dönüşüm firmaları tarafından alınmaktadır. Bu durum, sanayi bölgesi içerisinde faaliyet gösteren geri dönüşüm firmalarının bu atıkları işleme teknolojisine sahip olmadığını gösterebilir. Böyle bir durumda, sanayi bölgesi içindeki geri dönüşüm firmalarını geliştirmek veya sanayi bölgesine, bölge içindeki tesislerin ürettiği atıkları işleme teknolojisine sahip yeni geri dönüşüm firmaları eklemek, sanayi bölgesi içindeki bağlılığı geliştirecektir.

Ekolojistler tarafından bir ekosistem içerisindeki malzeme ve enerji döngüsünün varlığını ve dayanıklılığını test etmek için kullanılan döngüsellik ( $\lambda_{max}$ ), biyolojik besin ağları ile endüstriyel ekosistemler arasındaki uyumsuzlukları anlamaya yardımcı olduğu ve içerisinde endüstriyel ekosistemler için temel amaç olan kapalı döngü imalat amacını barındırdığı için, endüstriyel ekosistemlerin tasarlanmasında kritik bir öneme sahiptir [97]. Doğal bir ekosistemdeki bir aktörün aynı türden bir başka aktörün tamamını ya da bir kısmını besin olarak tüketmesi anlamına gelen yamyamlık, üretim süreçlerinde kendi atıklarını kullanan bir sanayi tesisine benzetilebilir [57]. Döngüsellik ( $\lambda_{max}$ ) değerleri, öz döngü içeren potansiyel gelecek senaryolarda pozitif değişiklikler göstermektedir. Buna rağmen öz

döngü ilişkileri, ESA'nı döngüsel olmayandan ( $\lambda_{\max} = 0$ ) zayıf döngüsel ( $\lambda_{\max} = 1$ ) doğru geliştirmiş olup, sanayi bölgesi içinde güçlü döngüsellik ( $\lambda_{\max} > 1$ ) elde etmek için tesisler arasında kapalı döngü ilişkilere hala ihtiyaç vardır. Sanayi bölgelerinde doğal besin ağlarınınkilere benzer güçlü döngüsellik değerlerinin elde edilmesi, sanayi bölgelerindeki geri dönüşüm tesislerinin doğadaki ayrıştırıcılar gibi işlevsel rolleri olmadan olası görülmemektedir. Bu nedenle, eko-park tasarımcıları daha fazla bağlantı ve güçlü döngüsellik sağlamak için, simbiyotik ağlara karşılıklı iş birliğini entegre etmelidir.

#### 4.2. Eko-Park Tasarımı

Sürdürülebilir tasarımın hedeflerinden biri, üretimi yeniden kullanılabilir kaynaklarla eşleştirmektir. Yapısında halihazırda bu sistemi barındıran doğayı model olarak kullanmak, bu amaca ulaşmada yardımcı olabilir. Besin ağlarını taklit ederek bir endüstri modeli oluşturmanın ilk adımı, benzeşik sistemden oluşturulan modeli istenilen sisteme dönüştürmektir [54]. Endüstriyel bir ağdaki aktörlerin tanımlanmaları bilinçsiz bir şekilde her aktör için eşit olmamalıdır. Eko-parkın veya sürecinin işletilmesi için temelde önemli olan özellikler ve diğer ekolojik büyüklükler, ağda yer alacak aktörlerin tanımlanmasına geçilmeden önce mümkün olduğunca dikkate alınmalıdır. Aktörlerin bir endüstriyel ağdaki işlevleri hakkında ayrıntılı bilgi (üretim kapasiteleri ve bu kapasitelere göre atık üretme oranları vb.) genellikle mevcut değildir ve bu bilgi açığı sonucunda tasarlanmak istenen bir eko-parkta her bir tesisin benzersiz bir tür olarak tanımlamanın yolu, bu aktörlerin buldukları sistemdeki döngü ve çeşitliliğe verdikleri katkıyı değerlendirmekten geçmektedir.

Genellikle bir tür geri dönüşüm biçimi olarak ağlarda bulunan bir içsel döngü ölçüsü olan döngüsellik ( $\lambda_{\max}$ ), sistemdeki materyallerin ve enerjinin verimli kullanımının bir ölçüsüdür. Türler arası madde ve enerji akışlarının büyüklüğü bilgisi, bir ekosistem için edinilmesi imkânsız olmasa da oldukça karmaşık olabilir. Akış büyüklüğü bilgisinin ayrıca endüstriyel bir sistem için de elde edilmesi çok zordur, çünkü bu bilgi genellikle yüksek oranda özel ve gizlidir, bu nedenle, eko-parkların analizlerinde de tamamen yapısal temelli bir ölçüm kullanmak yararlıdır. Döngüsellik ( $\lambda_{\max}$ ) metriği, simbiyotik ilişkileri değerlendirirken, ilişkilerde değiş-tokuş edilen atık ve yan ürünlerin akış büyüklüğü bilgisine ihtiyaç duymaz, yalnızca akış yolu bilgisini gerektirir [85], bu yüzden oldukça kullanışlı ve basit bir ölçüttür. Eko-parklardaki enerji ve malzeme tasarrufu, atıkların ve

yan ürünlerin başarılı bir şekilde kullanılmasına bağlıdır. Sistemin döngüselligi ne kadar yüksek olursa, bileşenleri o kadar birbirine bağlanır ve mevcut malzeme ve enerji akışlarının sistemde kalması için potansiyel o kadar artar.

Tasarlanan eko-parklar ile biyolojik besin ağları döngüsellik ( $\lambda_{max}$ ) metriklerin arasındaki farklar, tasarlanan eko-parkların yapısında mevcut besin ağlarına göre daha az karmaşık olan içsel çevrimi vurgulamaktadır. Buna rağmen, her iki ağ (endüstri ve besin ağı) için döngüsellik ( $\lambda_{max}$ ) değerleri birden büyük olup bu, güçlü iç döngüsellik ( $\lambda_{max} > 1$ ) hem tasarlanan eko-parklarda hem de besin ağlarında mevcut olduğu anlamına gelmektedir. Yüksek döngüsellik değerleri, sistemde tutulan veya sistem tarafından kaybedilen/atılan kaynakların/enerjinin genel oranı ile güçlü bir şekilde ilgilidir. Bundan dolayı, yüksek döngüsel bir yapıya sahip eko-parkların tasarlanmasının daha verimli kapalı devre endüstriyel ağlara yol açabileceğini göstermektedir. Tüketici ve finansal desteğe rağmen, endüstriyel sistemlerdeki geri dönüşüm hala yalnızca mobilize maddenin küçük bir kısmını oluşturmaktadır. Çoğu geri dönüşüm, endüstriyel alan dışındaki bir geri dönüşüm tesisine gönderilen toplanmış metaller şeklindedir. Besin ağlarındaki iç döngü, geri dönüşümcülerin varlığından çok güçlü bir şekilde etkilenir. Ekolojik bir geri dönüşüm bileşeni genellikle türler arasında listelenen “detritus” veya “ayırıştırıcılar” ile birlikte kendi kendine bir döngü yaratan (öz döngü) yamyamlık ile gösterilir. Suyun, atık ısının ve diğer yan ürünlerin sistem içerisinde tekrar kullanılmasının potansiyeli büyüktür ve detritivorların ekosistemdeki rolünü daha iyi yansıtır. Çünkü bu tür yan atık ve yan ürünlerin genellikle kullanılmadan önce bir arıtmadan/iyileştirmeden geçmesi gerekmektedir. Detritivorların endüstrideki karşılığı geri dönüşüm tesisleridir. Simbiyotik ilişkileri tespit etmek için kullanılan veri tabanında her atık türü için kullanılmadan önce iyileştirme gerekip gerekmediği bilgisi mevcut olmadığından dolayı, tez çalışması kapsamında tasarlanan eko-parklarda, tesisler arasında kurulan simbiyotik ilişkilerde kullanılan atık ve yan ürünlerin, eğer kullanılmadan önce bir işleminden geçmesi gerekiyorsa, bu işlemin ya atık üreticisi ya da atık alıcısı tarafından yapıldığı varsayılmıştır. Bu nedenle, her ne kadar ayrı bir tesis olarak olmasa da, tasarlanan eko-parklarda geri dönüşüm varlığının mevcudiyetinden ve doğal eko sistemler kadar olmasa da ulaşılan yüksek döngüsellik ( $\lambda_{max} > 1$ ) bu mevcudiyetten kaynaklandığından bahsedilebilir.

Bağlılık (C), bir sistemin stabilite ve sağlamlık gibi özelliklerini etkilediğinden dolayı

sistem tasarımcıları için önemli bir parametre olarak kabul edilmektedir ve bağlantı yoğunluğu ( $L_D$ ), tür sayısı ( $S_R$ ) ve av-avcı oranı ( $P_r$ ) metrikleri ile birleştirildiğinde, bir sistemin kompleksliğini ve kararlılığını temsil etmeye yardımcı olur [123]. Bağlılık ( $C$ ) metriğinin hesaplanmasını veren Eşitlik 2.11'e baktığımızda, tür zenginliğinin ( $S_R$ ) karesinin eşitliğin paydasında olduğu görülmektedir. Bu durum, matematiksel olarak, daha fazla aktörü olan bir ağda bağlantı yoğunluğu çok daha büyük olsa bile, az aktörlü bir ağdan çok daha küçük bir bağlılığa ( $C$ ) sahip olacağı anlamına gelmektedir. Örneğin, 5 aktör ve 10 bağlantıya sahip bir ağ, 50 aktör ve 100 bağlantıya sahip bir ağdan daha büyük bir bağlılık ( $C$ ) değerine sahip olacaktır. Bu nedenle, büyük  $S_R$  değerlerine sahip besin ağları, bağlılık metriğine ( $C$ ) göre ek-parklarla karşılaştırıldığında bir handikap yaşanır. Bu nedenle, bağlılık ( $C$ ) metriği ile yapılan karşılaştırmaların benzer büyüklükteki ağlara odaklanması gerektiğine dikkat etmek önemlidir. Tasarlanan eko-parklar ve biyolojik besin ağlarının arasında, bağlılık ( $C$ ) metriği özelinde adil bir şekilde karşılaştırma yapmak için, tasarlanan eko-parklardaki tesis sayısına benzer sayıda türe sahip olan besin ağlarına odaklanılmış ve ortalama bir  $C$  değeri hesaplanmıştır. Tasarlanan eko-parklara benzer büyüklükteki besin ağlarına odaklandığımızda ( $18 \leq S_R \leq 32$ ), besin ağları (yamyamlık içeren) için ortalama bağlılık değerleri, tasarlanan eko-parklara oranla %107,535 ile %250,395 arasında farklılık göstermektedir. Buradan, doğanın bağlılık değerlerine erişmek için henüz kat edilmesi gereken çok yolun olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Bağlılık ( $C$ ) metriği gibi, av sayısı ( $N_{av}$ ), avcı sayısı ( $N_{avcı}$ ) ve tür zenginliği ( $S_R$ ) metrikleri de, sistemdeki tür veya aktör sayısı ile doğrudan orantılı olduğundan, farklı ağlar arasındaki tür sayısındaki ve dağılımındaki farklılıklardan etkilenir ve bu metriklerle yapılan karşılaştırmalar sağlıklı olmaz. Buna rağmen, tür zenginliği ( $S_R$ ) ile normalleştirilen metrikler olan; bağlantı yoğunluğu ( $L_D$ ), genelleştirme ( $G$ ), kırılabilirlik ( $V$ ) ve av-avcı oranı ( $P_r$ ) metrikleri, farklı büyüklükteki ağlardaki davranışları karşılaştırmak için kullanılabilir. Tasarlanan eko-parklar ile ortalama besin ağı bağlantı yoğunlukları kıyaslandığında, ortalama besin ağı bağlantı yoğunluklarının ( $L_D$ ) tasarlanan eko-parklara oranla %80,989 ile %155,891 arasında değişen farklara ulaştığı görülmüştür. Bunun nedeni, doğal ekosistemlerde, kendi türünden beslenmenin (yamyamlık) yaygın olduğundan dolayı yüksek bağlantı sayısının ( $N_L$ ) varlığıdır. Ayrıca, tasarlanan eko-parklarda da doğadaki yamyamlığın benzeri olarak düşünülen öz-döngü ilişkilerine yer verilmiş olsa da, bu ilişkilerin sadece birkaç tesis ile sınırlı kalıp, doğadaki kadar yaygın

olamaması da bu farkın nedenlerindedir. Bir ekosistemdeki ilişki türlerinin oluşturulması, av-avcı oranı ile ilgili ve sistemin tüketicileri ve üreticilerine getirdiği gereksinimleri özetleyen genelleştirme (G) ve kırılabilirlik (V) metrikleri ile temsil edilir. Genelleştirme (G), doğal bir ekosistemde, avcı tipi aktör başına sistemdeki ortalama bağlantı sayısıdır ve bir türün tüketebileceği av türü sayısını temsil eder [124]. Yüksek G değerleri, bir avcının ağdaki diğer aktörlere yüksek oranda bağlı olduğu ağlarda ortaya çıkar ve bu, o avcının tükettiği bir avda bir sorun ortaya çıktığında, bu durumun avcıya olan etkisinin minimum olacağı anlamına gelir [60]. Tasarlanan eko-parklardaki tüm G değerleri için ortalama besin ağı değerlerine en yakın olanlar, en yüksek döngüsellığe ( $\lambda_{max}$ ) sahip olanlardır. Bu yine, eko-park tasarımcılarının ve karar vericilerin yapısal tasarımlarında mümkün olan en yüksek döngüsellığı ( $\lambda_{max}$ ) hedeflemeleri gerektiği fikrini desteklemektedir. Kırılabilirlik (V), doğal bir ekosistemde, av türü aktör başına sistemdeki ortalama bağlantı sayısıdır ve bir türün kendini savunabileceği avcı türlerin sayısını temsil eder [124]. Endüstriyel dili kullanırsak, bir üreticinin destekleyebileceği tüketici sayısını gösterir. Kırılabilirlik (V) metriği ışığında yapılan karşılaştırmada, bazı tasarlanan eko-parkların (rastgele kapasiteli inşaat eko-parkı ve tam kapasiteli karma eko-park) sisteme malzeme ve enerji sağlayan tesis sayısı açısından, biyo-ilham verici bir dengeye ulaşmaya yakın olduklarını, rastgele kapasiteli karma eko-parkın ise bu dengenin bile üzerine çıktığı görülmektedir. Endüstriyel bakış açısına göre bir atık üreticisine bağlı olan birçok atık tüketicisi olan bir ağda eğer o atık üreticisi sistemden çıkarsa beraberinde desteklediği atık tüketicilerini de etkileyeceğinden dolayı kırılabilirlikteki (V) artış istenmeyen bir durumdur.

## 5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Dünya kaynaklarının birçoğunun tükenmeye doğru ilerlediği günümüzde, endüstriyel üretim süreçlerinde kullanılmak üzere alternatif kaynaklar ve yöntemler kullanılmak zorunlu hale gelmiştir. Doğal ekosistemlerde bu kaygıları giderecek dersler ve tavsiyeler mevcut olmasına rağmen, biyomimetik tasarım yaklaşımında önemli bir zorluk, nicel analizlerden ziyade felsefesinin henüz çok yaygın olmayışıdır. Yakın zamanda, endüstri tasarımına rehberlik etmek için biyolojik besin ağları analogisini kullanan yeni bir yaklaşım geliştirilmiştir. Doğal ekosistemlerdeki türler ve bağlantılar, bu analogiyi (benzeşim) özetleyen metrikleri tanımlamak için kullanılan yapı taşlarıdır. Ekolojik olarak türlerin ve bağlantıların doğru benzeşik tanımları, bu yaklaşımın kullanımı için çok önemlidir. Endüstriyel ve doğal ekosistemler arasındaki analoginin amacı, doğal ekosistem bilgilerini, endüstri sistemlerinin davranışlarını açıklamak için aktararak bir model oluşturmaktır. İki sistem arasında çok belirgin ortaklıklar vardır. Örneğin ikisi de aralarında akan malzemeleri ve enerjiyi hammaddeye dönüştüren etkileşimli bileşenlerden oluşan karmaşık sistemlerdir ve bu akışlar, rekabet ve karşılıklık (mutualizm) gibi etkenler tarafından düzenlenir. Her iki sistem de sürekli değişime uğrar ve bir biçimden diğerine evrimsel bir süreçle bugünkü durumuna ulaşmıştır. Gerçekten faydalı bir model oluşturulmak isteniyorsa, iki ekosistem arasındaki farklılıkları da anlamak gerekmektedir. Bir analogideki boşlukları bilmenin gerekliliği yanında hiçbir analoginin mükemmel olmayacağını da bilmek gereklidir. Bu yüzden, bir analogiden edinilen faydalı bilgilerin uğruna, kaçırılan bazı noktalar için bazı tavizler verilebilir. Tüm endüstriyel simbiyotik ilişkiler, değiş-tokuş edilen ürünlerin öneminden kaynaklanır ve ürünlere duyulan talep sistemi harekete geçirir. Bu, üretimin sistemdeki mevcut enerji ile sınırlı olduğu girdi güdümlü doğal ekosistemlerin aksine bir durumdur. Sanayide ise üretimin sınırları, doğal ekosistemlerdeki gibi bir sorun değildir. Sürdürülebilir tasarımın amaçlarından biri, üretimi mevcut yeniden kullanılabilir kaynaklarla sınırlandırmaktır ve bu sistemi zaten içinde barındıran doğayı model olarak kullanmak bu amaca ulaşmada yardımcı olabilir. Endüstrinin mevcut tüm materyalleri ve enerjiyi kullanabilme kabiliyetinin düşük olmasının bir sonucu olarak, doğal bir ekosistemin aksine, sistemin dışından çekilen kaynakların miktarında keskin bir zıtlık vardır.



Bu tez çalışması kapsamında; üretim süreçlerinde verimliliği artırmak, maliyeti ve çevresel yükleri azaltmak için, halihazırdaki mevcut bir endüstriyel ağın nasıl geliştirilebileceği ve sıfırdan bir endüstriyel ağın nasıl tasarlanacağı sorunu ele alınmıştır. Endüstriyel simbiyoz (ES), ekonomik, çevresel veya sosyal rekabet avantajı elde etmek amacıyla, farklı endüstrileri; malzeme, enerji ve hizmetlerin fiziksel olarak değişimini içererek, rekabet avantajına yönelik bir yaklaşımla birbirine bağlar. Eko- endüstriyel parklar (eko-park) ise, endüstriyel simbiyoz kavramının somut gerçekleri olarak görülmekte olup, ortak bir mülk üzerinde bir arada bulunan üretim ve hizmet işletmeleri topluluğu olarak nitelendirilebilir. Bir eko-parkın amacı, birbiri ile atık, yan ürün ve enerji alışverişinde bulunabilecek farklı sektörlerden firmaları tespit edip bir plan çerçevesinde bir alanda toplamak ve böylece bu firmalar arasında kaynak alışverişini sağlamaktır. Ülkemizde henüz eko-park mevcut değildir. Eko-parklara alt yapı bakımından en uygun oluşumlar Sanayi Bölgeleri (SB)'dir.

Bu tez çalışmasının, biyomimikri ve sürdürülebilirlik ilkeleri doğrultusunda endüstriyel simbiyoz anlayışı benimsenerek, temel olarak iki amacı bulunmaktadır:

- Türkiye'deki sanayi bölgelerinin eko-parklara dönüşebilme potansiyelini araştırmak.
- Yeni kurulması planlanan sanayi bölgelerinin eko-parklar şeklinde tasarlanabilmesi için inşaat sektörü özelinde teorik prototip bir eko-park tasarlamak.

Tez çalışmasının ana kabulü, doğal ekosistemlerin kendi yapılarından ötürü sürdürülebilir olduğu, dolayısıyla, doğal ekosistemlerin davranışı taklit edilerek tasarlanan endüstriyel sitemlerin de doğanın sürdürülebilir işleyişine yaklaşacağıdır. Tez kapsamında kullanılan doğal ekosistemlere ait verilerde bazı hatalar olabilir. Tez yazarının ekoloji uzmanlığı olmadığından ötürü, çalışma sonuçları ve doğal ekosistem kıyaslamaları yapılırken, doğal ekosistemlere ait literatür bilgileri olduğu gibi kullanılmıştır. Tez çalışmasının iki amacına da ulaşmak için potansiyel simbiyotik ilişkileri tespit etmede kullanılan veri tabanında da bazı hatalar olabilir. Veri tabanının hazırlanması aşamasına dahil olunmadığı için bu hataları bilebilmek mümkün değildir. Veri tabanının, Avrupa Birliği Projesi kapsamında oluşturulduğundan dolayı güvenilir olduğu ve sunduğu simbiyotik ilişkilerin uygulanabilir olduğu kabul edilmiştir. Simbiyotik ilişkilerde kullanılan atıkların kalitesi ve miktarı bu ilişkilerin kurulabilmesi için önemlidir. Bu tez çalışmasında kullanılan verilerde atıkların kalitesi ve miktarı ile ilgili bilgi mevcut değildir. Dolayısıyla, tezin amaçlarına ulaşmak

için teorik olarak kurulan simbiyotik ilişkilerde kullanılan atıkların, kalite ve miktar bakımından bu ilişkileri kurmak için yeterli olduğu varsayılmıştır. Ayrıca, bazı atıkların kullanılmadan önce bazı işlemlerden geçirilmesi gerekmektedir. Tez çalışması için kullanılan verilerde, simbiyotik ilişkilerde kullanılan atıkların çoğunun atık vericisi veya atık alıcısı tarafından iyileştirildiği var olmakla beraber bütün atık çeşitleri için kullanılmadan önce işlemde geçip geçmeyeceği ve geçecekse kim tarafından yapılacağı bilgisi mevcut değildir. Bu yüzden, çalışmada teorik olarak kurulan simbiyotik ilişkilerde, eğer gerekliyse, atık iyileştirme işlemlerinin atık alıcısı veya atık vericisi tarafından yapıldığı varsayılmıştır.

Çalışmanın ilk amacını gerçekleştirmek için, Türkiye'deki sanayi bölgelerinin birinde vaka çalışması yapılmıştır. Sanayi bölgesinin eko-parka dönüşebilirliğini değerlendirmek amacıyla, bölgenin mevcut durumu (temel durum), keşfedilen potansiyel simbiyotik ilişkilerin varsayımsal olarak uygulandığı dört potansiyel atık akışı senaryosuyla karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma yapılırken metodoloji olarak literatürde daha önce uygulanmamış olan besin ağı analizi (BAA) ve sosyal ağ analizinin (SAA) entegrasyonu kullanılmıştır. Yapılan analizler sonucunda;

- Temel durum ile gelecekteki tüm potansiyel senaryolar arasında avcı sayısı ( $N_{avcı}$ ) metriğinde %175 ile %400 arasında değişimler gözlenmiştir. Bu sonuç, üretilen senaryoların temel duruma göre atık alıcı tesisi sayısındaki artışı ifade etmektedir.
- Temel durum ile gelecekteki tüm potansiyel senaryolar arasında bağlantı sayısı ( $N_L$ ) metriğinde %53,125 ile %200 arasında değişimler gözlenmiştir. Bu sonuç, üretilen senaryoların mevcut duruma göre simbiyotik ilişki sayısındaki artışı desteklediğini ifade etmektedir.
- Temel durum ile gelecekteki tüm potansiyel senaryolar arasında bağlantı yoğunluğu ( $L_D$ ) metriğinde %53,125 ile %163,637 arasında değişimler gözlenmiştir. Bu sonuç, üretilen senaryoların mevcut duruma göre bağlantı yoğunluğundaki artışı desteklediğini ifade etmektedir.
- Temel durum ile gelecekteki tüm potansiyel senaryolar arasında bağlılık ( $C$ ) metriğinde %53,125 ile %131,680 arasında değişimler gözlenmiştir. Bu sonuç, üretilen senaryoların mevcut duruma göre kompleks simbiyotik ilişki artışını desteklediğini ifade etmektedir.

- Temel durum ile gelecekteki tüm potansiyel senaryolar arasında av sayısı ( $N_{av}$ ) metriğinde %13,333 ile % 46,667 arasında değişimler gözlenmiştir. Bu sonuç, temel durumda simbiyotik ilişkilerde kullanılacak atıkların sanayi bölgesi içinde değerlendirilmediğini ifade etmektedir.
- Temel durum ile gelecekteki tüm potansiyel senaryolar arasında kırılma (V) metriğinde % 35,110 ile % 104,545 arasında değişimler gözlenmiştir. Bu sonuç, üretilen senaryolarda, sanayi bölgesindeki mevcut duruma göre, her atık üreticisi tesisin daha fazla atık alıcısı tesis ile simbiyotik ilişki kurduğunu göstermektedir.
- Temel durum ile gelecekteki tüm potansiyel senaryolar arasında av-avcı oranı ( $P_r$ ) ve yenileme (G) metriklerinde sırasıyla -%70,667 ile -%58,788 ve -%44,318 - %40 arasında değişimler gözlenmiştir. Bu sonuç, tüm potansiyel gelecek senaryolarının, atık üreticisinden daha fazla oranda atık alıcısı ürettiğini ifade etmektedir.
- Temel durum ile gelecekteki tüm potansiyel senaryolar arasında döngüsellik ( $\lambda_{max}$ ) metriği kıyaslandığında, öz-döngü ilişkilerinin bulunduğu senaryoların, her ne kadar güçlü olmasa da, sanayi bölgesi içerisinde döngüsellik arttırdığı görülmüştür.
- Temel durum ile gelecekteki tüm potansiyel senaryolar arasında derece merkeziliği (DC) açısından Senaryo 3 en yüksek yüzde değişimine sahipken (%131,189), ardından Senaryo 4 (%124,129), Senaryo 1 (%53,125) ve Senaryo 2 (%45,879) gelmektedir. Bu durum, potansiyel yeni simbiyotik ilişkilerin ortalama DC'yi artırdığını, ancak öz-döngü ilişkileri bulunan senaryolarda bu artışın eklentisi olduğu senaryolara göre daha az olduğunu göstermektedir.
- Temel durum ile gelecekteki tüm potansiyel senaryolar arasında arasındalık merkeziliğinde (BC), %6,195 ile %50,972 arasında değişimler gözlenmiştir. Bu sonuç, sanayi bölgesi içerisindeki simbiyotik ağda tek bir düğümünden kaynaklanabilecek kırılmalıklarda düşüş olduğunu göstermektedir.
- Sanayi bölgesi içerisinde faaliyet gösteren üç adet geri dönüşüm tesisinden ikisi olan RE5 ve P8, temel durumda ve tüm potansiyel gelecek senaryolarında yüksek DC ve BC değerlerine sahip olmasına rağmen, ortalama bağlılık değerleri (C), bu geri dönüşüm firmalarının BC ve DC değerleri ile pozitif bir korelasyon göstermeyip, potansiyel gelecek senaryoları arasında önemli değişiklikler sergilemez. Bu durum, sanayi bölgesi içinde faaliyet gösteren geri dönüşüm tesislerinin aldıkları atıkları geri dönüştürme işlemlerden sonra sanayi bölgesi içindeki tesislere geri göndermediğini, dolayısıyla doğal ekosistemde yaşayan

ayrıştırıcıların üstlendiği benzer görevleri yerine getirmediğini göstermektedir. Ayrıca, sanayi bölgesinde faaliyet gösteren tesisler tarafından üretilen ve Senaryo 1 ve 2'deki potansiyel simbiyotik ilişkileri kurmak için kullanılan atıkların çoğu, temel durumda sanayi bölgesi dışında faaliyet gösteren geri dönüşüm firmalarına gönderilmektedir. Bu durum, sanayi bölgesi içerisinde faaliyet gösteren geri dönüşüm firmalarının bu atıkları işleme teknolojisine sahip olmadığını gösterebilir. Böyle bir durumda, sanayi bölgesi içindeki geri dönüşüm firmalarını geliştirmek veya sanayi bölgesine, bölge içindeki tesislerin ürettiği atıkları işleme teknolojisine sahip yeni geri dönüşüm firmaları eklemek, sanayi bölgesi içindeki bağlılığı geliştirecektir.

- Sanayi bölgesine çeşitli yeni tesislerin kurulmasının öngörüldüğü Senaryo 3 ve 4'te kritik tesislerin dağılımının heterojenliğinde artış görülmüştür. Bu durum, simbiyotik ağda oluşabilecek kırılabilirlik olasılığında bir azalmaya ve ağın çok işlevliliğinde de artışa işaret etmektedir.
- Sanayi bölgesi içerisine yeni kurulması önerilen tesislerin çoğu, mevcut tesislerin birçoğundan daha yüksek BC ve DC değerlerine sahiptir. Bu durum, yeni tesislerin çoğunun, sanayi bölgesi içinde üretilen atıkları üretim süreçlerinde kullanma ve atıklarını sanayi bölgesinde bulunan başka bir tesise gönderme konusunda mevcut tesislerin çoğundan daha fazla yeteneğe sahip olduğunu göstermektedir. Bu olanak, girişimcileri sanayi bölgesi içinde yeni bir tesis kurmaya çekebilir.
- Sanayi bölgesine yeni tesisler kurulmasını öngören senaryolar, avcılarının sayısını (atık alıcıları) diğer senaryolardan daha fazla artırmakta olup (eklenen yeni tesis sayısından daha fazla) bu durum, yeni tesislerin sadece atık almadığını, aynı zamanda sanayi bölgesi içinde yer alan tesislerin simbiyotik ilişkilerde kullanabileceği atıkları da ürettiğini ifade etmektedir.

Çalışmanı ikinci amacını gerçekleştirmek için, inşaat sektörü ile ilgili simbiyotik ilişkiler, literatür ve kendi verilerimiz kullanılarak tespit edilmiştir. Bu ilişkiler tespit edilirken sadece inşaat sektörüne üretim yapan tesisler değil ayrıca inşaat sektöründen atık alan ve sektöre atık veren sektörler de tespit edilmiş olup, sadece inşaat sektörüne malzeme üreten tesislerin yer aldığı bir veri seti ile inşaat sektörüne malzeme üreten tesislerin yanında inşaat sektörüne atık veren ve sektörden atık alan tesislerin de yer aldığı başka bir veri seti oluşturulmuştur. Daha sonra veri setleri ve belirlenen amaç (Döngüsellik ( $\lambda_{max}$ ), atık çeşit sayısı ve bağlantı yoğunluğunu ( $L_D$ ) maksimize etmek.) ve kısıtlar kullanılarak matematik

modeller oluşturulmuş ve optimizasyon yapılarak, rastgele kapasiteli inşaat endüstrisi eko-parkı, tam kapasiteli inşaat endüstrisi eko-parkı, rastgele kapasiteli karma eko-park ve tam kapasiteli karma eko-park olmak üzere dört adet teorik potansiyel inşaat eko-parkı tasarlanmıştır. Tasarlanan eko-parklar daha sonra besin ağı metrikleri kullanılarak birbirleri ve doğal ekosistemler ile kıyaslanmıştır.

İlk olarak, sadece inşaat endüstrisine üretim yapan 28 sektör, 30 atık türü ve 71 adet potansiyel simbiyotik ilişkinin mevcut olduğu Veri Seti 1 kullanılarak ve sırasıyla döngüsellik ( $\lambda_{max}$ ), simbiyotik ağda kullanılacak atık çeşidi ve bağlantı yoğunluğunu ( $L_D$ ) maksimum yapacak şekilde rastgele kapasiteli inşaat endüstrisi eko-parkı modeli oluşturulmuş ve çözülmüştür. Yapılan optimizasyon ve kıyaslamalar sonucunda;

- Tasarlanan rastgele kapasiteli inşaat endüstrisi eko-parkında, 18 sektör, 30 atık türü ve 56 simbiyotik ilişki ortaya çıkmıştır.
- Rastgele kapasiteli inşaat endüstrisi eko-parkı besin ağı matrisi oluşturulmuş, bu matris kullanılarak besin ağı metrikleri hesaplanmış ve optimizasyon probleminin ilk amacı (maksimize) olan döngüsellik ( $\lambda_{max}$ ) metriği 3,1701 olarak bulunmuştur. Bu sonuç, tasarlanan eko-park içerisindeki atık alışverişlerinde güçlü bir kapalı döngünün ( $\lambda_{max} > 1$ ) mevcut olduğunu ifade etmektedir.
- Optimizasyon probleminin ikinci amacı (maksimize) olan atık çeşidi ise 30 atık olarak sonuçlanmıştır. Bu, analize sokulan tüm atık çeşitlerinin tasarlanan eko-parkta kullanıldığını göstermektedir.
- Optimizasyon probleminin son amacı (maksimize) olan bağlantı yoğunluğu ( $L_D$ ) 2,0555 olarak, bağlantı sayısı ( $N_L$ ) ise 37 olarak bulunmuştur. Bu, eko-parkta yer alan bazı tesisler arasında birden fazla simbiyotik ilişki olduğunu göstermektedir.
- Genelleştirme ( $G$ ) ve kırılmalılık ( $V$ ) metrikleri sırasıyla 2,6428 ve 2,8461 olarak bulunmuştur. Bu sonuçlar, tasarlanan rastgele kapasiteli inşaat endüstrisi eko-parkında yer alan her atık üreticisinin ortalama 2,6428 atık alıcısı ile, her atık alıcısının ise ortalama 2,8461 atık üreticisi ile ilişkisi olduğu anlamına gelmektedir.
- Av-avcı oranı ( $P_r$ ) metriği 0,9286 olarak hesaplanmış olup bu, eko-park içerisindeki 13 tesisin ( $N_{avcı}=13$ ), 14 tesis ( $N_{av}=14$ ) tarafından üretilen atıkları aldığını göstermektedir.
- Bağlılık ( $C$ ) değeri 0,1142 olarak hesaplanmış olup bu değer alabileceği maksimum teorik değere ( $C_{max}=1$ ) göre düşüktür.

- Rastgele kapasiteli inşaat endüstrisi eko-parkında yer alacak sektörlerin ve bu sektörler arasındaki simbiyotik ilişkilerin belirlenmesinden sonra, eko-parkın yerleşim planının tespiti için lokasyon optimizasyonu aşamasına geçilmiştir. Bu aşamada ilk olarak aralarındaki simbiyotik ilişki boru/enerji vb. hattı gerektiren (örneğin atık su simbiyotik ilişkisi, atık ısı simbiyotik ilişkisi vb.) tesislerin birbirine en yakın olması amaçlanmıştır. İkinci olarak ise aralarındaki simbiyotik ilişki sayısı en fazla olanların birbirine en yakın olması istenmiştir. Optimizasyon modelinin çalıştırılması sonucunda belirlenen amaç ve kısıtlar doğrultusunda optimum değerlere ulaşılmış olup, elde edilen rastgele kapasiteli inşaat endüstrisi eko-parkı yerleşim planı Şekil 3.6'da sunulmuştur.

İkinci olarak, rastgele kapasiteli inşaat endüstrisi eko-parkında yer alan tesislerin, ürettiği atıkları bölümleyerek birden fazla tesise göndermeleri yerine tamamını sadece bir tesise göndermeyi tercih ettikleri durumda simbiyotik ağda ne gibi değişiklikler olabileceğini gözlemlemek amacı ile, rastgele kapasiteli inşaat eko-parkı optimizasyonu sonucundan elde edilen 18 adet inşaat endüstrisi tesisi kullanılarak, bu tesislerin ürettikleri ve simbiyotik ilişkilerde kullanabilen atıkların her bir çeşidinin miktar olarak tamamını sadece bir tesise verebilmeleri kısıtı ile ve sırasıyla döngüsellik ( $\lambda_{max}$ ) ve bağlantı yoğunluğunu ( $L_D$ ) maksimum yapmak amacı ile (atık çeşidi sabit tutulmuştur) tam kapasiteli inşaat endüstrisi eko-parkı optimizasyon matematik modeli oluşturulmuştur. Oluşturulan model çözülmüş ve elde edilen sonuçlar, besin ağı metriklerindeki değişiklikler ışığında bir önceki durum ile kıyaslanmıştır. Yapılan optimizasyon ve kıyaslamalar sonucunda;

- Tam kapasiteli inşaat endüstrisi eko-parkında yer alan sektörler ve atık çeşidi sabit olduğundan dolayı rastgele kapasiteli inşaat endüstrisi eko-parkı ile aynı olup (18 sektör ve 30 atık türü), toplam simbiyotik ilişki sayısında doğal olarak bir düşüş meydana gelmiştir (36 adet simbiyotik ilişki mevcuttur.).
- Tam kapasiteli inşaat endüstrisi eko-parkı besin ağı matrisi oluşturulmuş, bu matris kullanılarak besin ağı metrikleri hesaplanmış ve optimizasyon probleminin ilk amacı (maksimize) olan döngüsellik ( $\lambda_{max}$ ) metriği 2 olarak bulunmuştur. Bu sonuç, tasarlanan eko-park içerisindeki atık alışverişlerinde, her ne kadar rastgele kapasiteli duruma göre düşük olsa da güçlü bir kapalı döngünün ( $\lambda_{max} > 1$ ) hala mevcut olduğunu ifade etmektedir.

- Optimizasyon probleminin diğ er amacı (maksimize) olan bağlantı yoğunluğu ( $L_D$ ) 1,5 olarak, bağlantı sayısı ( $N_L$ ) ise 27 olarak bulunmuştur. Bu, eko-parkta yer alan bazı tesisler arasında birden fazla simbiyotik ilişki olduğunu göstermektedir.
- Genelleştirme (G) ve kırılgnalık (V) metrikleri sırasıyla 1,9286 ve 2,0769 olarak bulunmuştur. Bu sonuçlar, tasarlanan rastgele kapasiteli inşaat endüstrisi eko-parkında yer alan her atık üreticisinin ortalama 1,9286 atık alıcısı ile, her atık alıcısının ise ortalama 2,0769 atık üreticisi ile ilişkisi olduğu anlamına gelmektedir.
- Av-avcı oranı ( $P_r$ ) metriği 0,9286 olarak sabit kalmış olup bu yine, eko-park içerisindeki 13 tesisin ( $N_{avcı}=13$ ), 14 tesis ( $N_{av}=14$ ) tarafından üretilen atıkları aldığını göstermektedir.
- Bağlılık (C) değ eri 0,0833 olarak hesaplanmış olup bu değ er rastgele kapasiteli durumdan ve ayrıca alabileceği maksimum teorik değ ere ( $C_{max}=1$ ) göre de düşüktür.
- Tam kapasiteli eko-parkta rastgele kapasiteli duruma göre daha az simbiyotik ilişki mevcut olduğundan dolayı sonuç olarak tüm besin ağı metriklerinde negatif değ işimler gözlenmektedir. En büyük değ işim  $-\%36,9103$  ile döngüsellik ( $\lambda_{max}$ ) değ erinde görülmektedir. Bağlantı sayısındaki ( $N_L$ ) değ işim  $-\%27,0270$  olup bu metrik kullanılarak hesaplanan bağlantı (C), bağlantı yoğunluğu ( $L_D$ ), kırılgnalık (V) ve genelleştirme (G) metriklerinde de aynı oranda değ işim görülmektedir ( $-\%27,0270$ ).
- Her ne kadar tam kapasiteli inşaat endüstrisi eko-parkında yer alacak sektörler rastgele kapasiteli inşaat endüstrisi eko-parkında yer alan sektörlerle aynı olsa da sektörler arasındaki simbiyotik ilişkiler değ iştiğ inden dolayı, eko-parkın yerleşim planının tespiti için yeni bir lokasyon optimizasyonu yapılmıştır. Bu aşamada yine rastgele kapasiteli inşaat endüstrisi eko-parkı lokasyon optimizasyonunda olduğu gibi ilk olarak aralarındaki simbiyotik ilişki boru/enerji vb. hattı gerektiren (örneğin atık su simbiyotik ilişkisi, atık ısı simbiyotik ilişkisi vb.) tesislerin birbirine en yakın olması amaçlanmıştır. İkinci olarak ise aralarındaki simbiyotik ilişki sayısı en fazla olanların birbirine en yakın olması istenmiştir. Lokasyon optimizasyonu sonucu elde edilen tam kapasiteli inşaat endüstrisi eko-parkı yerleşim planı Şekil 3.9'da sunulmuştur.

Üçüncü olarak, inşaat endüstrisine üretim yapan sektörler ile inşaat endüstrisinden atık alan ve atık veren 48 sektör, 63 atık türü ve 170 adet potansiyel simbiyotik ilişkinin mevcut olduğu Veri Seti 2 kullanılarak ve yine sırasıyla döngüsellik ( $\lambda_{\max}$ ), simbiyotik ağda kullanılacak atık çeşidi ve bağlantı yoğunluğunu ( $L_D$ ) maksimum yapacak şekilde rastgele kapasiteli karma eko-park modeli oluşturulmuş ve çalıştırılmıştır. Yapılan optimizasyon ve kıyaslamalar sonucunda;

- Tasarlanan rastgele kapasiteli karma eko-parkta, 32 sektör, 63 atık türü ve 139 simbiyotik ilişki ortaya çıkmıştır.
- Rastgele kapasiteli karma eko-park besin ağı matrisi oluşturulmuş, bu matris kullanılarak besin ağı metrikleri hesaplanmış ve optimizasyon probleminin ilk amacı (maksimize) olan döngüsellik ( $\lambda_{\max}$ ) metriği 4,7521 olarak bulunmuştur. Bu sonuç, tasarlanan eko-park içerisindeki atık alışverişlerinde çok güçlü bir kapalı döngünün ( $\lambda_{\max} > 1$ ) mevcut olduğunu ifade etmektedir.
- Optimizasyon probleminin ikinci amacı (maksimize) olan atık çeşidi ise 63 atık olarak sonuçlanmıştır. Bu, analize sokulan tüm atık çeşitlerinin tasarlanan eko-parkta kullanıldığını göstermektedir.
- Optimizasyon probleminin son amacı (maksimize) olan bağlantı yoğunluğu ( $L_D$ ) 2,9063 olarak bağlantı sayısı ( $N_L$ ) ise 93 olarak bulunmuştur. Bu, eko-parkta yer alan bazı tesisler arasında birden fazla simbiyotik ilişki olduğunu göstermektedir.
- Genelleştirme (G) ve kırılabilirlik (V) metrikleri sırasıyla 3,72 ve 3,875 olarak bulunmuştur. Bu sonuçlar, tasarlanan rastgele kapasiteli karma eko-parkta yer alan her atık üreticisinin ortalama 3,72 atık alıcısı ile, her atık alıcısının ise ortalama 3,875 atık üreticisi ile ilişkisi olduğu anlamına gelmektedir.
- Av-avcı oranı ( $P_r$ ) metriği 0,96 olarak hesaplanmış olup bu, eko-park içerisindeki 25 tesisin ( $N_{avci}=25$ ), 24 tesis ( $N_{av}=24$ ) tarafından üretilen atıkları aldığını göstermektedir.
- Bağlılık (C) değeri 0,0908 olarak hesaplanmış olup bu değer alabileceği maksimum teorik değere ( $C_{\max}=1$ ) göre düşüktür.
- Rastgele kapasiteli karma eko-parkta yer alacak sektörlerin ve bu sektörler arasındaki simbiyotik ilişkilerin belirlenmesinden sonra, eko-parkın yerleşim planının tespiti için lokasyon optimizasyonu aşamasına geçilmiştir. Bu aşamada yine ilk olarak aralarındaki simbiyotik ilişki boru/enerji vb. hattı gerektiren (örneğin atık su simbiyotik ilişkisi, atık ısı simbiyotik ilişkisi vb.) tesislerin



birbirine en yakın olması amaçlanmıştır. İkinci olarak ise aralarındaki simbiyotik ilişki sayısı en fazla olanların birbirine en yakın olması istenmiştir. Optimizasyon modelinin çözülmesi sonucunda belirlenen amaç ve kısıtlar doğrultusunda optimum değerlere ulaşılmış olup, elde edilen rastgele kapasiteli karma eko-park yerleşim planı Şekil 3.11’de sunulmuştur.

Dördüncü olarak, rastgele kapasiteli karma eko-parkta yer alan tesislerin, ürettiği atıkları bölümleyerek birden fazla tesise göndermeleri yerine tamamını sadece bir tesise göndermeyi tercih ettikleri durumda simbiyotik ağda ne gibi değişiklikler olabileceğini gözlemlemek amacı ile, rastgele kapasiteli inşaat eko-parkı optimizasyonu sonucundan elde edilen 32 adet inşaat endüstrisi tesisi kullanılarak, bu tesislerin ürettikleri ve simbiyotik ilişkilerde kullanabilen atıkların her bir çeşidinin miktar olarak tamamını sadece bir tesise verebilmeleri kısıtı ile ve sırasıyla döngüsellik ( $\lambda_{max}$ ) ve bağlantı yoğunluğunu ( $L_D$ ) maksimum yapmak amacı ile (atık çeşidi sabit tutulmuştur) tam kapasiteli inşaat endüstrisi eko-parkı optimizasyon matematik modeli oluşturulmuştur. Oluşturulan modelin çözülmesi ile elde edilen sonuçlar, besin ağı metriklerindeki değişiklikler ışığında bir önceki durum ile kıyaslanmıştır. Yapılan optimizasyon ve kıyaslamalar sonucunda;

- Tam kapasiteli karma eko-parkta atık çeşidi sabit olduğundan dolayı rastgele kapasiteli karma eko-park ile aynı olup (30 atık türü), rastgele kapasiteli duruma göre tesis sayısında bir azalma meydana gelmiştir (31 tesis mevcuttur.). Toplam simbiyotik ilişki sayısında da doğal olarak bir düşüş meydana gelmiştir (86 adet simbiyotik ilişki mevcuttur.).
- Tam kapasiteli karma eko-park besin ağı matrisi oluşturulmuş, bu matris kullanılarak besin ağı metrikleri hesaplanmış ve optimizasyon probleminin ilk amacı (maksimize) olan döngüsellik ( $\lambda_{max}$ ) metriği 3,4831 olarak bulunmuştur. Bu sonuç, tasarlanan eko-park içerisindeki atık alışverişlerinde, rastgele kapasiteli duruma göre biraz düşük olsa da çok güçlü bir kapalı döngünün ( $\lambda_{max} > 1$ ) hala mevcut olduğunu ifade etmektedir.
- Optimizasyon probleminin diğer amacı (maksimize) olan bağlantı yoğunluğu ( $L_D$ ) 2,09 olarak bağlantı sayısı ( $N_L$ ) ise 65 olarak bulunmuştur. Bu, eko-parkta yer alan bazı tesisler arasında birden fazla simbiyotik ilişki olduğunu göstermektedir.
- Genelleştirme (G) ve kırılabilirlik (V) metrikleri sırasıyla 2,9545 ve 2,7083 olarak

bulunmuştur. Bu sonuçlar, tasarlanan rastgele kapasiteli karma eko-parkta yer alan her atık üreticisinin ortalama 2,9545 atık alıcısı ile, her atık alıcısının ise ortalama 2,7083 atık üreticisi ile ilişkisi olduğu anlamına gelmektedir.

- Av-avcı oranı ( $P_r$ ) metriği 1,0949 olarak sabit kalmış olup bu yine, eko-park içerisindeki 22 tesisin ( $N_{avcı}=22$ ), 24 tesis ( $N_{av}=24$ ) tarafından üretilen atıkları aldığını göstermektedir.
- Bağlılık (C) değeri 0,0676 olarak hesaplanmış olup bu değer rastgele kapasiteli durumdan ve ayrıca alabileceği maksimum teorik değere ( $C_{max}=1$ ) göre de düşüktür.
- Tam kapasiteli eko-parkta rastgele kapasiteli duruma göre daha az simbiyotik ilişki mevcut olduğundan dolayı, sonuç olarak av-avcı oranı ( $P_r$ ) metriği hariç (%13,6364) tüm besin ağı metriklerinde negatif değişimler gözlenmektedir.  $P_r$  metriğindeki pozitif artışın nedeni rastgele kapasiteli duruma göre tesis sayısındaki değişimin (-%3,125) sadece atık alan (avcı) tesis sayısındaki değişimden (-%12) kaynaklanmasından dolayıdır. En büyük negatif değişiklik bağlantı sayısı ( $N_L$ ) ve kırılabilirlikte (V) görülmektedir (her ikisi de -%30,1075). Bu metrikleri sırasıyla -%27,8529 ile bağlantı yoğunluğu ( $L_D$ ), -%26,7040 ile döngüsellik ( $\lambda_{max}$ ), -%20,5767 ile genelleştirme (G) ve -%20,4779 ile bağlılık (C) metrikleri izlenmektedir.
- Sektörler arasındaki simbiyotik ilişkiler değiştiğinden dolayı, eko-parkın yerleşim planının tespiti için yeni bir lokasyon optimizasyonu yapılmıştır. Bu aşamada yine rastgele kapasiteli karma eko-park lokasyon optimizasyonunda olduğu gibi ilk olarak aralarındaki simbiyotik ilişki boru/enerji vb. hattı gerektiren (örneğin atık su simbiyotik ilişkisi, atık ısı simbiyotik ilişkisi vb.) tesislerin birbirine en yakın olması amaçlanmıştır. İkinci olarak ise aralarındaki simbiyotik ilişki sayısı en fazla olanların birbirine en yakın olması istenmiştir. Lokasyon optimizasyonu sonucu elde edilen tam kapasiteli inşaat endüstrisi eko-parkı yerleşim planı Şekil 3.14'de sunulmuştur.

Beşinci ve son olarak, tüm eko parklar tasarlandıktan sonra, doğal dengeye ne kadar yaklaşılabilirdiğini gözlemlemek açısından, tasarlanan eko-parkların besin ağı metrikleri ile biyolojik besin ağı metrik ortalamaları karşılaştırılmıştır. Yapılan karşılaştırmalar sonucunda;

- Tasarlanan eko-parklar ile biyolojik besin ağları arasında belirlenen en önemli farklar, -%44,7455 den -%71,783'e değişim gösteren bağlantı yoğunluğu ( $L_D$ ) metriği ile -%42,901 den -%66,181'e değişim gösteren bağlılık (C) metriği olarak bulunmuştur. Bunun nedeni, doğal ekosistemlerde, kendi türünden beslenmenin (yamyamlık) yaygın olduğundan dolayı yüksek bağlantı sayısının mevcut olduğu, bunun sonucunda ise doğal olarak sistemlerinde yüksek bağlantı yoğunluğu barındırdıkları olarak yorumlanabilir.
- Tasarlanan dört eko-parkın da doğal ortalamalara en yakın olduğu metrik av-avcı oranı ( $P_r$ ) metriğidir (-%5,956 dan -%19,950 ye). Bu durum, tasarlanan eko-parklardaki atık üreticisi-atık alıcısı oranında doğadaki av-avcı oranı dengesine yaklaşıldığı anlamı taşımaktadır.
- Rastgele kapasiteli karma eko-park tasarımı, kırılgenlik (V) ve genelleştirme (G) metriklerinde biyolojik ortalamaların üzerine çıkmıştır (sırasıyla %31,803 ve %9,412). Bu durum, sözü edilen eko-parkta yer alan her avın (atık üreticisi), doğal eko-sistemlere göre daha fazla avcı (atık alıcısı) tarafından tüketildiğini ayrıca her avcının ise yine doğal ekosistemlere göre daha fazla av ile ilişkide olduğunu ifade etmektedir. Diğer üç eko-parkın kırılgenlik (V) metriğinde -%3,192 den -%29,356 ya genelleştirme (G) metriğinde ise -%13,102 den -%43,277 ye varan değişimler gözlenmiştir.
- Eko-park optimizasyonunda ana amaç olan döngüsellik ( $\lambda_{max}$ ) metriğine ise yine en çok yaklaşan rastgele kapasiteli karma eko-park olmuştur (-%4,768). Bunu sırasıyla tam kapasiteli karma eko park (-%30,198), rastgele kapasiteli inşaat eko-parkı (-%36,471) ve tam kapasiteli inşaat eko-parkı (-%59,920) izlemektedir.

Kapsayıcı bir sürdürülebilirlik tanımının, sürdürülebilirliğin ekolojik ve sosyal yapılar açısından değerlendirilmesiyle elde edilebilmesinden dolayı, bu ikisi arasındaki ilişkiyi anlamak önemlidir. Bu tez çalışmasında, BAA ve SAA'nden elde edilen sonuçların birlikte yorumlanması, farklı senaryolarda, ekolojik değişikliklerin sosyal yapı, sosyal yapının da ekoloji üzerindeki etkilerinin nasıl analiz edilebileceğini sağlayan yeni bir anlayış sunmuştur. BAA bileşeni, ekolojik ağ sürdürülebilirliği konusundaki öngörülerini (endüstriyel simbiyotik ağları, taklit etmek istedikleri doğal ekolojik sistemler ile karşılaştırmak gibi) önemli ölçüde geliştirmiştir. BAA çalışmasının sonuçları, gelecekteki olası senaryolar tarafından oluşturulan eko-parkların, doğal ekosistemlerin bazı

sürdürülebilir özelliklerini, aralarında kurulan simbiyotik ilişkiler aracılığıyla takip ettiğini göstermiştir (örneğin, bağlantı değerlerini artırmak ve döngüsel olmayan ağdan zayıf döngüsel ağları geliştirmek vb.). SAA bileşeni ise, bir endüstriyel ağın sürdürülebilirliğinin sosyolojik yönüyle ilgili görüşleri geliştirir. Çalışmadaki kullanılan SAA sonuçları, yöntemin, simbiyotik bir ağdaki önemli aktörleri merkezilik değerlerine göre tanımlamak için yeterli olduğunu göstermiştir. Vaka çalışması sonuçları, bu iki metodun birleştirilmesi yaklaşımının, yeni bir eko-park yapılandırmasının, zaman içindeki çevresel, ekonomik ve sosyal faydaları koruyabilmesini ele alma kabiliyetini güçlendirdiğini göstermektedir. Bu çalışmanın sonuçları, hammadde tüketiminde ve atık bertarafında azalma ile endüstri genelinde maliyet tasarrufu sağlama, verimliliği artırma ve çevresel yükleri azaltma potansiyeline sahiptir. Sonuçlar aynı zamanda finansal rekabetçilik ve sürdürülebilirliğin karşılıklı olarak dışlanması gerekmediği görüşünü desteklemekte olup hem ekonomik hem de çevresel açıdan arzu edilen özellikleri içeren biyolojik besin ağı modellerini kullanarak yeniden tasarlanmış endüstriyel ağlar, hem çevresel hem de ekonomik yükleri azaltabilir.

Bu tez çalışmasının literatüre teorik katkıları;

- 14 ES uygulamasının bir ES ağının sürdürülebilirliğini nasıl güçlendirdiğini ve dolayısıyla konvansiyonel bir sanayi bölgesinin bir eko-parka dönüşümünü nasıl desteklendiğinin gösterildiği bir vaka çalışması ve
- Belirlenen amaçlar doğrultusunda sıfırdan bir eko-park tasarımına yol gösteren bir tasarım rehberi

şeklindedir. Ayrıca, literatüre üç adet metodolojik katkı da sağlanmıştır:

- 1) Gelecekteki muhtemel ES uygulamalarının belirlenmesi ve seçilmesi için genelleştirilmiş ve karar ağacı olarak tasarlanmış bir yöntem.
- 2) ES ağlarının sürdürülebilirliğini değerlendirmek için, her iki yöntemden de sonuçlar üzerinde kombine bir yorum yapılmasını sağlayarak yeni bilgiler sağlayan, BAA ve SAA'nin entegrasyonu.
- 3) Sıfırdan bir eko-park tasarımı için doğadan esinlenen genelleştirilmiş bir yöntem.

Kapalı döngü endüstriyel ağların başarılı bir şekilde uygulanması, hızla büyüyen bir nüfusun taleplerini karşılamak için gerekli olan iki temel faktörü; çevreyi korurken aynı zamanda ekonomik büyümeyi mümkün kılacaktır. Daha verimli ve sürdürülebilir endüstriyel süreçlerle üretimi arttırmak, bu hedeflerin gerçekleştirilmesi için yan ürünlerin/atıkların tamamen yeniden kullanılmasına bağlıdır. Bu bağlamda, bu tez çalışması ile sağlanan katkılar, uygulayıcılara ve politika yapıcılara, ES ağlarının çevresel kazancını ve esnekliğini en üst düzeye çıkarmak için eko-park tasarlamada, ES uygulamalarının belirlenmesi ve seçilmesi konularında karar destek aracı sağlayacaktır.

Bu tez çalışmasında genel olarak fiziki formdaki atıklarla ilgili simbiyotik ağların tasarımı ve analizi, nitel verilerden yoksun ve kısıtlı nicel veriler kullanılarak yapılmıştır. Gelecekte yapılacak çalışmalarda, BAA ve SAA'nin; su, enerji ve servis hizmetleri ile ilgili simbiyotik ağlarda ve doğadan esinlenerek tasarlanan eko-parklarda hem nicel hem de nitel verilerin dahil edilmesi ile uygulanmasına odaklanılacaktır.

## KAYNAKLAR

1. Vincent, J. F. V. (2017). The trade-off: a central concept for biomimetics. *Bioinspired, Biomimetic and Nanobiomaterials*, 6(2), 67–76.
2. Benyus, J. M. (2002). *Biomimicry: Innovation Inspired by Nature*. Perennial.
3. Smart, K. A., Tappe, S., Stern, R. A., Webb, S. J., & Ashwal, L. D. (2016). Early Archaean tectonics and mantle redox recorded in Witwatersrand diamonds. *Nature Geoscience*, 9(3), 255–259.
4. Chapin, F. S., Torn, M. S., & Tateno, M. (1996). Principles of Ecosystem Sustainability. *The American Naturalist*, 148(6), 1016–1037.
5. Eizenberg, E., & Jabareen, Y. (2017). Social Sustainability: A New Conceptual Framework. *Sustainability*, 9(1), 68.
6. Krygiel, E., & Nies, B. (2008). *Green BIM: successful sustainable design with building information modeling*. URL: <https://www.wiley.com/en-us/Green+BIM%3A+Successful+Sustainable+Design+with+Building+Information+Modeling-p-9780470239605>, Son Erişim Tarihi: 10.06.2019.
7. Ghisellini, P., Cialani, C., & Ulgiati, S. (2016). A review on circular economy: the expected transition to a balanced interplay of environmental and economic systems.
8. Murray, A., Skene, K., & Haynes, K. (2017). The Circular Economy: An Interdisciplinary Exploration of the Concept and Application in a Global Context. *Journal of Business Ethics*, 140(3), 369–380.
9. Geissdoerfer, M., Savaget, P., Bocken, N. M. P., & Hultink, E. J. (2017). The Circular Economy – A new sustainability paradigm? *Journal of Cleaner Production*, 143, 757–768.
10. Blomsma, F., & Brennan, G. (2017). The Emergence of Circular Economy: A New Framing Around Prolonging Resource Productivity. *Journal of Industrial Ecology*, 21(3), 603–614.
11. den Hollander, M. C., Bakker, C. A., & Hultink, E. J. (2017). Product Design in a Circular Economy: Development of a Typology of Key Concepts and Terms. *Journal of Industrial Ecology*, 21(3), 517–525.
12. Korhonen, J., Honkasalo, A., & Seppälä, J. (2018). Circular Economy: The Concept and its Limitations. *Ecological Economics*, 143, 37–46.
13. Mirabella, N., Castellani, V., & Sala, S. (2014). Current options for the valorization of food manufacturing waste: A review. *Journal of Cleaner Production*, 65, 28–41.
14. Yavuz, V. A. (2010). Sürdürülebilirlik Kavramı Ve İşletmeler Açısından Sürdürülebilir Üretim Stratejileri. *Mustafa Kemal Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 7(14), 63–86.
15. Preethi, K. P., Sai, M., Bharadwaj, K., Teja, K. R., Dagamoori, K., Venkata, K.,... Vijayan, V. (2016). *Design, Fabrication and Testing Of Flapping Wing Micro Air Vehicle*. *Journal of Engineering Research and Applications*.
16. Zari, M. P. (2007). Biomimetic Approaches To Architectural Design For Increased Sustainability. *School of Architecture, Victoria University, NZ*. URL: <https://www.semanticscholar.org/paper/number-%3a-033-biomimetic-approaches-to-architectural-Zari/1a7b024096491c64beafc4d9b243f84a321cd697>, Son Erişim

Tarihi: 11.05.2019.

17. Chertow, M. R. (2000). Industrial symbiosis: Literature and taxonomy. *Annual Review of Energy Environment*, 25, 313–337.
18. Genc, O., van Capelleveen, G., Erdis, E., Yildiz, O., & Yazan, D. M. (2019). A socio-ecological approach to improve industrial zones towards eco-industrial parks. *Journal of Environmental Management*, 250, 109507.
19. Fraccascia, L., Albino, V., & Garavelli, C. A. (2017). Technical efficiency measures of industrial symbiosis networks using enterprise input-output analysis. *International Journal of Production Economics*, 183, 273–286.
20. Liu, Z., Adams, M., Cote, R. P., Geng, Y., & Li, Y. (2018). Comparative study on the pathways of industrial parks towards sustainable development between China and Canada. *Resources, Conservation and Recycling*, 128, 417–425.
21. Verguts, V., Dessein, J., Dewulf, A., Lauwers, L., Werkman, R., & Termeer, C. J. A. M. (2016). Industrial symbiosis as sustainable development strategy: adding a change perspective. *International Journal of Sustainable Development*, 19(1), 15.
22. Albino, V., Fraccascia, L., & Giannoccaro, I. (2016). Exploring the role of contracts to support the emergence of self-organized industrial symbiosis networks: an agent-based simulation study. *Journal of Cleaner Production*, 112, 4353–4366.
23. Ashton, W. S. (2011). Managing Performance Expectations of Industrial Symbiosis. *Business Strategy and the Environment*, 20(5), 297–309.
24. Yuan, Z., & Shi, L. (2009). Improving enterprise competitive advantage with industrial symbiosis: case study of a smeltery in China. *Journal of Cleaner Production*, 17(14), 1295–1302.
25. Cohen-Rosenthal, E., Musnikow, J., & Musnikow, J. (2017). What is eco-industrial development?, 14–29.
26. Valenzuela-Venegas, G., Salgado, J. C., & Díaz-Alvarado, F. A. (2016). Sustainability indicators for the assessment of eco-industrial parks: classification and criteria for selection. *Journal of Cleaner Production*.
27. Valentine, S. V. (2016). Kalundborg Symbiosis: fostering progressive innovation in environmental networks. *J. Clean. Prod.*, 118, 65–77.
28. Branson, R. (2016). Re-constructing Kalundborg: the reality of bilateral symbiosis and other insights. *J. Clean. Prod.*, 112, 4344–4352.
29. Hein, A. M., Jankovic, M., Farel, R., & Yannou, B. (2016). A Data- and Knowledge-Driven Methodology for Generating Eco-Industrial Park Architectures. In *Volume 4: 21st Design for Manufacturing and the Life Cycle Conference; 10th International Conference on Micro- and Nanosystems*, 1–11.
30. Lowe, E. A. (2001). *Eco-industrial Park Handbook for Asian Developing Countries*.
31. Zhang, C., Zhou, L., Chhabra, P., Garud, S. S., Aditya, K., Romagnoli, A., ... Kraft, M. (2016). A novel methodology for the design of waste heat recovery network in eco-industrial park using techno-economic analysis and multi-objective optimization. *Applied Energy*, 184, 88–102.
32. Wang, D., Li, K. and Fang, S. (2018). Analyzing the factors influencing trust in a construction project: evidence from a sino-german eco-park in China. *J. Civ. Eng. Manag.*, 24( 4), 331–343.

33. M. Pan et al. (2015). Applying Industry 4.0 to the Jurong Island Eco-industrial Park. *Energy Procedia*, 75, 1536–1541.
34. Chertow, M., & Ehrenfeld, J. (2012). Organizing Self-Organizing Systems: Toward a Theory of Industrial Symbiosis. *Journal of Industrial Ecology*, 16(1), 13–27.
35. E. Cohen-Rosenthal, J. Musnikow, and J. Musnikow. (2017). What is eco-industrial development. 14–29.
36. Lowe, E. A. (1997). Creating by-product resource exchanges: Strategies for eco-industrial parks. *Journal of Cleaner Production*, 5(1–2), 57–65.
37. A.T. Ubando et al. (2016) “Fuzzy mixed integer non-linear programming model for the design of an algae-based eco-industrial park with prospective selection of support tenants under product price variability. *J. Clean. Prod.*, 136, 183–196.
38. H. Zeng, X. Chen, X. Xiao, and Z. Zhou. (2017). Institutional pressures, sustainable supply chain management, and circular economy capability: Empirical evidence from Chinese eco-industrial park firms. *J. Clean. Prod.*, 155, 54–65.
39. Mathews, J. A., Tan, H., & Hu, M.-C. (2018). Moving to a Circular Economy in China: Transforming Industrial Parks into Eco-industrial Parks. *California Management Review*, 60(3), 157–181.
40. Côté, R. P., & Liu, C. (2016). Strategies for reducing greenhouse gas emissions at an industrial park level: a case study of Debert Air Industrial Park, Nova Scotia. *Journal of Cleaner Production*, 114, 352–361
41. Afshari, H., Farel, R., & Peng, Q. (2018). Challenges of value creation in Eco-Industrial Parks (EIPs): A stakeholder perspective for optimizing energy exchanges. *Resources, Conservation and Recycling*, 139, 315–325.
42. Vázquez, P., del Río, J. A., Cedano, K. G., van Dijk, J., & Jensen, H. J. (2018). Network characterization of the Entangled Model for sustainability indicators. Analysis of the network properties for scenarios. *plos one*, 13(12), e0208718.
43. Frosch, Robert A, & Gallopoulos, N. E. (1989). Strategies for Manufacturing. *Scientific American*, 261(3), 144–152.
44. Wright, R. A., Côté, R. P., Duffy, J., & Brazner, J. (2009). Diversity and Connectance in an Industrial Context. *Journal of Industrial Ecology*, 13(4), 551–564.
45. Allenby, B. R., & Cooper, W. E. (1994). Understanding industrial ecology from a biological systems perspective. *Environmental Quality Management*, 3(3), 343–354.
46. Tiejun, D. (2010). Two quantitative indices for the planning and evaluation of eco-industrial parks. *Resources, Conservation and Recycling*, 54(7), 442–448.
47. Frosch, R A. (1992). Industrial ecology: a philosophical introduction. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 89(3), 800–803.
48. McDonald-Madden, E., Sabbadin, R., Game, E. T., Baxter, P. W. J., Chadès, I., & Possingham, H. P. (2016). Using food-web theory to conserve ecosystems. *Nature Communications*, 7(1), 10245.
49. Borrett, S. R., Fath, B. D., & Patten, B. C. (2007). Functional integration of ecological networks through pathway proliferation. *Journal of Theoretical Biology*, 245(1), 98–111.
50. D. M. P. Jacoby and R. Freeman. (2016). Emerging Network-Based Tools in



- Movement Ecology. *Trends Ecol. Evol.*, 31(4), 301–314.
51. M. Murphy, R. Dyer, and S. A. Cushman. (2015). Graph Theory and Network Models in Landscape Genetics. *John Wiley & Sons, Ltd.*, 165–180.
  52. G. Wittemyer, L. M. Keating, F. Vollrath, and I. Douglas-Hamilton. (2017). Graph theory illustrates spatial and temporal features that structure elephant rest locations and reflect risk perception. *Ecography (Cop.)*, 40(5), 598–605.
  53. Reap, J. J. (2009). Holistic biomimicry: a biologically inspired approach to environmentally benign engineering. URL: <https://smartech.gatech.edu/handle/1853/31771>, Son Erişim Tarihi: 10.06.2019.
  54. Layton, A. C. (2014). Food webs: Realizing biological inspiration for sustainable industrial resource networks. URL: <https://smartech.gatech.edu/handle/1853/54307>, Son Erişim Tarihi: 10.06.2019.
  55. Hardy, C., & Graedel, T. E. (2002). Industrial Ecosystems as Food Webs. *Journal of Industrial Ecology*, 6(1), 29–38.
  56. Reap, J., & Bras, B. (2014). A Method of Finding Biologically Inspired Guidelines for Environmentally Benign Design and Manufacturing. *Journal of Mechanical Design*, 136(11), 111110.
  57. Layton, A., Bras, B., & Weissburg, M. (2016). Industrial Ecosystems and Food Webs: An Expansion and Update of Existing Data for Eco-Industrial Parks and Understanding the Ecological Food Webs They Wish to Mimic. *Journal of Industrial Ecology*, 20(1), 85–98.
  58. Layton, A., Bras, B., & Weissburg, M. (2017). Improving performance of eco-industrial parks. *International Journal of Sustainable Engineering*, 10(4–5), 250–259.
  59. Malone, S. M., Weissburg, M. J., & Bras, B. (2018). Industrial Ecosystems and Food Webs: An Ecological-Based Mass Flow Analysis to Model the Progress of Steel Manufacturing in China. *Engineering*, 4(2), 209–217.
  60. Dave, T., & Layton, A. (2019). Bio-inspired design for resilient water distribution networks. *Procedia CIRP*, 80, 275–280
  61. Taddeo, R., Simboli, A., Ioppolo, G., & Morgante, A. (2017). Industrial Symbiosis , Networking and Innovation: The Potential Role of Innovation Poles. URL: <https://www.semanticscholar.org/paper/Industrial-Symbiosis-%2C-Networking-and-Innovation-%3A-Taddeo-Simboli/dbc86cd62574c8e1d52385b0d351b03d11b8c5d2>, Son Erişim Tarihi: 10.06.2019.
  62. Mauthoor, S. (2017). Uncovering industrial symbiosis potentials in a small island developing state: The case study of Mauritius. *Journal of Cleaner Production*, 147, 506–513.
  63. Chertow, M. R. (2007). “Uncovering” industrial symbiosis. *Journal of Industrial Ecology*, 11–30.
  64. Song, X., Geng, Y., Dong, H., & Chen, W. (2018). Social network analysis on industrial symbiosis: A case of Gujiao eco-industrial park. *Journal of Cleaner Production*, 193, 414–423.
  65. Ashton, W. (2008). Understanding the Organization of Industrial Ecosystems. *Journal of Industrial Ecology*, 12(1), 34–51.

66. Domenech, T., & Davies, M. (2011). Structure and morphology of industrial symbiosis networks: The case of Kalundborg. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 10, 79–89.
67. 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(2), 169–181.
68. Li, Z., Sun, L., Geng, Y., Dong, H., Ren, J., Liu, Z., ... Higano, Y. (2017). Examining industrial structure changes and corresponding carbon emission reduction effect by combining input-output analysis and social network analysis: A comparison study of China and Japan. *Journal of Cleaner Production*, 162, 61–70.
69. Panyam, V., Huang, H., Davis, K., & Layton, A. (2019). Bio-inspired design for robust power grid networks. *Applied Energy*, 251, 113349.
70. V. Panyam, H. Huang, K. Davis, and A. Layton. (2019). Bio-inspired design for robust power grid networks. *Appl. Energy*, 251, 113349.
71. E. J. Schwarz and K. W. Steininger. (1997). Implementing nature's lesson: The industrial recycling network enhancing regional development. *J. Clean. Prod.*, 5(1–2), 47–56.
72. Boyle, C. A., & Baetz, B. W. (1998). A prototype knowledge-based decision support system for industrial waste management: Part II. Application to a Trinidadian industrial estate case study. *Waste Management*, 17(7), 411–428.
73. Kincaid, J., & Overcash, M. (2001). Industrial Ecosystem Development at the Metropolitan Level. *Journal of Industrial Ecology*, 5(1), 117–126.
74. Albino, V., Dietzenbacher, E., & Kühtz, S. (2003). Analysing Materials and Energy Flows in an Industrial District using an Enterprise Input–Output Model. *Economic Systems Research*, 15(4), 457–480.
75. Heeres, R. R., Vermeulen, W. J. V., & de Walle, F. B. (2004). Eco-industrial park initiatives in the USA and the Netherlands: first lessons. *Journal of Cleaner Production*, 12(8–10), 985–995.
76. Deutz, P., & Gibbs, D. (2008). Industrial Ecology and Regional Development: Eco-Industrial Development as Cluster Policy. *Regional Studies*, 42(10), 1313–1328.
77. Kasar, N. (2013). *Şanlıurfa Organize Sanayi Bölgesi'nin Endüstriyel Eko Parka Dönüştürülme Potansiyelinin Araştırılması*. Harran Üniversitesi.
78. Cecelja, F., Raafat, T., Trokanas, N., Innes, S., Smith, M., Yang, A., ... Kokossis, A. (2015). e-Symbiosis: technology-enabled support for Industrial Symbiosis targeting Small and Medium Enterprises and innovation. *Journal of Cleaner Production*, 98, 336–352.
79. Yazan, D. M. (2016). Constructing joint production chains: An enterprise input-output approach for alternative energy use. *Resources, Conservation and Recycling*, 107, 38–52.
80. Yazan, D. M., Romano, V. A., & Albino, V. (2016). The design of industrial symbiosis: an input–output approach. *Journal of Cleaner Production*, 129, 537–547.
81. A.M. Hein, M. Jankovic, R. Farel, and B. Yannou. (2016). A Data- and Knowledge-Driven Methodology for Generating Eco-Industrial Park Architectures. in *Volume 4: 21st Design for Manufacturing and the Life Cycle Conference; 10th International*

*Conference on Micro- and Nanosystems, 1–11.*

82. Gümüş, T. Ç. (2016). *Eko-Endüstriyel Parklar İçin Temiz Üretim ve Endüstriyel Simbiyoz Karar Destek Sisteminin Geliştirilmesi*. TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi.
83. Leong, Y. T., Lee, J.-Y., Tan, R. R., Foo, J. J., & Chew, I. M. L. (2017). Multi-objective optimization for resource network synthesis in eco-industrial parks using an integrated analytic hierarchy process. *Journal of Cleaner Production*, *143*, 1268–1283.
84. Martín Gómez, A. M., Aguayo González, F., & Marcos Bárcena, M. (2018). Smart eco-industrial parks: A circular economy implementation based on industrial metabolism. *Resources, Conservation and Recycling*, *135*, 58–69.
85. Odum, E. P. (1969). The strategy of ecosystem development. *Science*, *164*(3877), 262–270.
86. B. C. McMeans et al. (2016). The adaptive capacity of lake food webs: from individuals to ecosystems. *Ecol. Monogr.*, *86*(1), 4–19.
87. S. Wang and U. Brose. (2018). Biodiversity and ecosystem functioning in food webs: the vertical diversity hypothesis. *Ecol. Lett.*, *21*(1), 9–20.
88. J. Cucherousset and S. Villéger. (2015). Quantifying the multiple facets of isotopic diversity: New metrics for stable isotope ecology. *Ecol. Indic.*, *56*, 152–160.
89. R. J. Morris, F. H. Sinclair, and C. J. Burwell. (2015). Food web structure changes with elevation but not rainforest stratum. *Ecography (Cop.)*, *38*(8), 792–802.
90. Gotelli, N. J., & Colwell, R. K. (2001). Quantifying biodiversity: procedures and pitfalls in the measurement and comparison of species richness. *Ecology Letters*, *4*(4), 379–391.
91. D. D. Tarasi and R. K. Peet. (2017). The native-exotic species richness relationship varies with spatial grain of measurement and environmental conditions. *Ecology*, *98*(12), 3086–3095.
92. Ulanowicz, R. E., Holt, R. D., & Barfield, M. (2014). Limits on ecosystem trophic complexity: insights from ecological network analysis. *Ecology Letters*, *17*(2), 127–136.
93. O. J. Schmitz, J. R. B. Miller, A. M. Trainor, and B. Abrahms. (2017). Toward a community ecology of landscapes: predicting multiple predator-prey interactions across geographic space. *Ecology*, *98*(9), 2281–2292.
94. Yodzis, P. (1980). The connectance of real ecosystems. *Nature*, *284*(5756), 544–545.
95. T. N. Romanuk, Y. Zhou, F. S. Valdovinos, and N. D. Martinez. (2017). Robustness Trade-Offs in Model Food Webs: Invasion Probability Decreases While Invasion Consequences Increase With Connectance. *Adv. Ecol. Res.*, *56*, 263–291.
96. Fath, B. D., & Halnes, G. (2007). Cyclic energy pathways in ecological food webs. *Ecological Modelling*, *208*(1), 17–24.
97. Bras, B., Layton, A., & Weissburg, M. (2016). Improving Performance of Eco-Industrial Parks. In *Sustainable Design and Manufacturing*, 227–240.
98. Layton, A., Bras, B., Reap, J., & Weissburg, M. (2013). Biologically Inspired Closed Loop Manufacturing Networks. In *Volume 2B: Advanced Manufacturing*,

V02BT02A025

99. Morris, Z., Weissburg, M., & Bras, B. (2018). Towards a Biologically-inspired Urban-industrial Ecosystem. *Procedia CIRP*, 69, 861–866.
100. Newman, M. E. J. (2003). *The Structure and Function of Complex Networks* \*. *Society for Industrial and Applied Mathematics* (Vol. 45). Retrieved from <http://www.siam.org/journals/ojsa.php>
101. Euler, L. (1736). Solutio problematis ad geometriam situs pertinentis. *Commentarii Academiae Scientiarum Imperialis Petropolitanae*, 8, 128–140.
102. Boccaletti, S., Latora, V., Moreno, Y., Chavez, M., & Hwang, D. U. (2006). Complex networks: Structure and dynamics. *Physics Reports*.
103. Otte, E., & Rousseau, R. (2002). Social network analysis: a powerful strategy, also for the information sciences. *Journal of Information Science*, 28(6), 441–453.
104. Kossinets, G., & Watts, D. J. (2006). Empirical analysis of an evolving social network. *Science*, 311(5757), 88–90.
105. Borgatti, S. P., Mehra, A., Brass, D. J., & Labianca, G. (2009). Network analysis in the social sciences. *Science (New York, N.Y.)*, 323(5916), 892–895.
106. Freeman, L. C. (1977). A Set of Measures of Centrality Based on Betweenness. *Sociometry*, 40(1), 35.
107. Everett, M. G., & Borgatti, S. P. (1999). The centrality of groups and classes. *The Journal of Mathematical Sociology*, 23(3), 181–201.
108. P. Bonacich. (2018). Measures of Centrality. in *The Blackwell Encyclopedia of Sociology*, Oxford, UK: John Wiley & Sons, Ltd., 1–2.
109. Golbeck, J. (2015). *Introduction to Social Media Investigation*. *Introduction to Social Media Investigation*. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-801656-5.00015-9>
110. M. Bastian, S. Heymann, M. J. et al. (2009). Gephi: an open source software for exploring and manipulating networks. In *Proceedings of International AAAI Conference on Web and Social Media*, 361–362.
111. M. Evans, S., Benedetti, M., & Holgado Granados. (2017). Library of Industrial Symbiosis case studies and linked exchanges. *Centre for Industrial Sustainability, University of Cambridge*.
112. Polis, G. A. (1991). Complex Trophic Interactions in Deserts: An Empirical Critique of Food-Web Theory. *The American Naturalist*, 138(1), 123–155.
113. Lombardi, D. R., & Laybourn, P. (2012). Redefining Industrial Symbiosis. *Journal of Industrial Ecology*, 16(1), 28–37.
114. Lowe, E. A., & Evans, L. K. (1995). Industrial ecology and industrial ecosystems. *Journal of Cleaner Production*, 3(1–2), 47–53.
115. Demirer, Ö., & Alkan, R. M. (2015). The Usage of Operational Research for Engineering Applications as an Interdisciplinary Approach. *Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 7(1), 37–46.
116. Land, A. H., & Doig, A. G. (1960). An Automatic Method of Solving Discrete Programming Problems. *Econometrica*, 28(3), 497
117. Adinegoro, W., Putri, G. A. T. A., & Sugeng, K. A. (2016). Comparing the largest

- eigenvalue on adjacency and antiadjacency matrices of graphs which constructed using Boolean operation ( $\oplus$  and  $\oplus^-$ ). In *AIP Conference Proceedings* (Vol. 1729, 020005
118. Borrett, S. R., & Lau, M. K. (2014). enaR : An r package for Ecosystem Network Analysis. *Methods in Ecology and Evolution*, 5(11), 1206–1213.
  119. Allenby, B., & Fink, J. (2005). Toward inherently secure and resilient societies. *Science (New York, N.Y.)*, 309(5737), 1034–1036.
  120. Chopra, S. S., & Khanna, V. (2014). Understanding resilience in industrial symbiosis networks: Insights from network analysis. *Journal of Environmental Management*, 141, 86–94.
  121. Holling, C. S. (2001). Understanding the Complexity of Economic, Ecological, and Social Systems. *Ecosystems*, 4(5), 390–405.
  122. Wu, J., Guo, Y., Li, C., & Qi, H. (2017). The redundancy of an industrial symbiosis network: A case study of a hazardous waste symbiosis network. *Journal of Cleaner Production*, 149, 49–59.
  123. Dunne, J. A., Williams, R. J., & Martinez, N. D. (2002). Food-web structure and network theory: The role of connectance and size. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 99(20), 12917–12922.
  124. Schoener, T. W. (1989). Food Webs From the Small to the Large: The Robert H. MacArthur Award Lecture. *Ecology*, 70(6), 1559–1589.

## ÖZGEÇMİŞ

### Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : GENÇ, Olcay  
 Uyruğu : T.C.  
 Doğum tarihi ve yeri : 26.03.1980  
 Osmaniye Medeni hali : Evli  
 Telefon : 0 (326) 613 56 00  
 Faks : 0 (326) 613 56 13  
 e-mail : olcay.genc@iste.edu.tr



### Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Doktora	İskenderun Teknik Üniversitesi / İnşaat Mühendisliği	2020
Yüksek lisans	Çukurova Üniversitesi / İnşaat Mühendisliği	2009
Lisans	Atatürk Üniversitesi / İnşaat Mühendisliği	2005
Lise	Osmaniye İmam Hatip Lisesi	1997

### Yabancı Dil

İngilizce

### Yayınlar

#### A. Uluslararası Hakemli Dergilerde Yayımlanan Makaleler

A.1. Genc, O., van Capelleveen, G., Erdis, E., Yildiz, O., & Yazan, D. M. (2019). A socio-ecological approach to improve industrial zones towards eco-industrial parks. *Journal of Environmental Management*, 250, 109507.

A.2. Erdis, E., Genc, O., and Aydın, S. (2019). Mobbing on construction professionals: causes, consequences, and precautions. *International Journal of Construction Management*

A.3. Erdiş, E., Coskun, H., and Genc, O. (2015). Architects' view of concurrent engineering in construction projects. *International Journal of*

*Thales Engineering Sciences*, 1(1), 1-15.

B. Uluslararası Bilimsel Toplantılarda Sunulan ve Bildiri Kitaplarında Basılan Bildiriler

B.1. Sagir, M., Genc, O., and Coskun, H. (2018). An investigation on work accidents in construction sector. *Çukurova I. Uluslararası Multidisipliner Çalışmalar Kongresi*, 25-29.

B.2. Erdiş, E., Mıstıkoğlu, G., Genc, O. ve Oral, E. L. (2017). Betonarme demir içlerinde verimliliği etkileyen faktörler. *Uluslararası Katılımlı 7. İnşaat Yönetimi Kongresi*, 155-163.

B.3. Mıstıkoğlu, G., Genc, O. ve Erdiş, E. (2017). Mimarlık Öğrencilerinin Etik ve Meslek Etiği Konusundaki Farkındalığı. *Uluslararası Katılımlı 7. İnşaat Yönetimi Kongresi*, 139-148.

B.4. Mıstıkoğlu, G., Erdiş, E., Genç, O. (2017). İnşaat ön lisans öğrencilerinde etik kavramının algılanma düzeyi. 2. *Uluslararası Mühendislik, Mimarlık ve Tasarım Kongresi*, 698-699.

B.5. Coşkun, H., Erdiş, E., Genç, O. (2017). İnşaat sektöründe e-tedarik. 2. *Uluslararası Mühendislik, Mimarlık ve Tasarım Kongresi*, 444-445.

B.6. Genc, O., Erdiş, E., Oral, E. (2016). İnşaat içlerinde yüklenici riskleri ve risk tutumları. *1st International Mediterranean Science and Engineering Congress*, 1143-1147.

B.7. Genc, O., Erdiş, E. (2016). Occupational ethics - civil engineering perspective. *3rd International Scientific Meeting*, 877-885.

B.8. Genc, O., Erdiş, E. (2016). Workplace violence level of construction sector in Turkey. *3rd International Scientific Meeting*, 887-893.

B.9. Genc, O., Coskun, H. (2016). Ways and barriers to achieve success in construction projects: contractors' view. *3rd International Scientific Meeting E-GTZ*, 895-901.

B.10. Genc, O., Coskun, H. (2016). Job satisfaction level of construction industry employees. *3rd International Scientific Meeting E-GTZ*, 903-909.

B.11. Genc, O., Coskun, H., Erdiş, E. (2016). The level of perception and implementation of innovation in construction industry. *International Conference on Natural Science and Engineering*, 2849-2857.

B.12. Genc, O., Erdiş, E., Coskun, H. (2015). Civil engineer' awareness of mobbing. *2nd The IRES International Conference*, 27-30.

### C. Ulusal Hakemli Dergilerde Yayımlanan Makaleler

- C.1. Genç, O., Erdiş, E., Oral, E. (2018). İnşaat firmalarının karşılaştıkları potansiyel risklerin proje başarisına etkisi. *Uludağ University Journal of The Faculty of Engineering*, 23 (1), 441-450.
- C.2. Genc, O., Erdiş, E., Coşkun, H. (2017). İnşaat mühendisleri özelinde eř zamanlı mühendislik yaklaşımının irdelenmesi. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 32(1), 31-37.
- C.3. Coşkun, H., Erdiş, E., Genc, O. (2016). Improving the performance of construction projects by employing concurrent engineering. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 31(2), 47-58.
- C.4. Genc, O., Erdiş, E., Coşkun, H. (2016). İnşaat mühendisleri özelinde meslek etiğinin algılanma ve uygulanma düzeyi. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 31(1), 363-370.
- C.5. Mıstıkoğlu, G., Erdiş, E., Genc, O., Yıldız, O. (2016). Çatı ve cephe kaplamalarında yüksekten düşmeyi etkileyen faktörlerin analizi. *Türkiye Mühendislik Haberleri*, 489, 44-50.
- C.6. Genc, O., Bozkurt, A., Coşkun, H., Erdiş, E. (2015). Türkiye inşaat endüstrisindeki inovasyon düzeyinin inşaat mühendisliği penceresinden görünümü. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 30(2), 183-189.
- C.7. Genc, O., Erdiş, E. (2015). İnşaat sektöründe mobbing sorunsalı. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 30(1), 215-221.
- C.8. Genc, O., Arslan, M. H. (2010). Boşluklu perdeli yapı sistemlerinde güçlendirici kiriş etkisinin incelenmesi. *Çukurova Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 22, 72-83.

### D. Ulusal Bilimsel Toplantılarda Sunulan ve Bildiri Kitaplarında Basılan Bildiriler

- D.1. Coskun, H., Erdiş, E., Genc, O., Gezmen, I. H. (2016). Küçük ölçekli inşaat firmalarında internet tabanlı tedarikçi (e-tedarik) kavramına yaklaşımlar. *4. Proje ve Yapım Yönetimi Kongresi*, 1450-1456.
- D.2. Mistikoglu, G., Erdiş, E., Genc, O., Yıldız, O. (2015). Çatı ve cephe kaplamalarında yüksekten düşmeyi etkileyen faktörlerin analizi. *5. İşçi Sağliğı Ve İş Güvenliği Sempozyumu*, 167-175.
- D.3. Atasever, I. F., Coskun, H., Genc, O., Erdiş, E. (2015). Adana ili özelinde inşaat şantiyelerinde iş güvenliği resmi denetiminin işlevselliği algısı. *8. Ulusal İşçi Sağliğı ve İş Güvenliği Kongresi*, 43-50.



## DİZİN

**A**

- Ağ analizi · 10  
 Analiz · iv, 13, 15, 16, 20, 26, 31, 52, 62, 72, 84, 114  
 Analoji · 16  
 Analojik · 5  
 Atık · iv, ix, x, xiii, xiv, 2, 5, 6, 7, 9, 10, 11, 12, 13, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 34, 36, 38, 39, 38, 39, 40, 41, 42, 44, 45, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 58, 59, 61, 62, 64, 67, 68, 69, 70, 72, 75, 76, 78, 72, 74, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 82, 84, 86, 87, 88, 89, 90, 93, 96, 99, 100, 102, 100, 101, 102, 104, 105, 106, 107, 108, 109, 110, 111, 112, 113, 114  
 Atık alıcısı · 12, 36, 38, 53, 58, 65, 67, 68, 69, 72, 75, 76, 74, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 85, 86, 87, 88, 93, 96, 100, 101, 102, 106, 107, 110, 111, 113  
 Av · xiii, 26, 27, 29, 30, 45, 53, 58, 65, 66, 67, 68, 69, 72, 74, 75, 76, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 85, 86, 87, 88, 92, 93, 96, 101, 102, 113  
 Av-avcı oranı · 29, 53, 58, 65, 66, 73, 74, 75, 85, 86, 90, 92, 93, 96, 100, 101, 102, 106, 108, 110, 112, 113  
 Avcı · xiii, 26, 28, 29, 30, 45, 53, 57, 58, 65, 66, 67, 68, 69, 72, 74, 75, 76, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 85, 86, 87, 88, 90, 92, 93, 96, 101, 102, 101, 112, 113

**B**

- BAA · xiv, 11, 12, 13, 14, 22, 23, 25, 31, 52, 53, 57, 101, 114, 115, 112  
 Bağlantı · xiii, 14, 16, 26, 27, 41, 44, 46, 49, 53, 55, 57, 58, 62, 64, 66, 68, 69, 72, 74, 76, 77, 72, 73, 74, 75, 79, 80, 84, 86, 88, 90, 92, 93, 98, 100, 101, 102, 101, 102, 104, 105, 107, 108, 109, 111, 112, 113, 114  
 Bağlantı yoğunluğu · xiii, 27, 41, 44, 46, 49, 53, 58, 62, 64, 66, 72, 74, 77, 72, 74, 75, 84, 86, 90, 92, 93, 100, 101, 102, 104, 105, 107, 108, 109, 111, 112,

- 113  
 Bağlılık · xiii, 23, 30, 36, 53, 58, 65, 66, 73, 74, 77, 74, 75, 85, 86, 90, 92, 93, 97, 100, 101, 102, 103, 106, 108, 110, 112, 113  
 BC · xii, 27, 28, 55, 59, 95, 97, 103, 104  
 Besin ağı · iv, v, vii, ix, x, xi, xii, xiv, 11, 12, 13, 14, 22, 23, 25, 26, 27, 29, 25, 26, 39, 40, 45, 48, 52, 53, 57, 58, 64, 66, 72, 74, 77, 74, 75, 84, 86, 90, 92, 94, 95, 96, 97, 99, 101, 102, 101, 105, 107, 108, 109, 111, 112, 113, 114  
 Besin ağı analizi · iv, v, vii, xiv, 11, 22, 25, 52, 101  
 Besin ağı metrikleri · ix, x, xi, 12, 14, 22, 23, 26, 27, 39, 40, 53, 57, 64, 66, 72, 74, 77, 74, 75, 84, 86, 90, 92, 94, 95, 97, 105, 107, 108, 109, 111, 112, 113  
 Biyolojik · x, xi, 13, 14, 26, 27, 28, 92, 93, 94, 96, 97, 98, 99, 101, 103, 113, 114  
 Biyomimikri · iv, v, ix, 2, 3, 9, 22, 25, 100

**C**

- C · xiii, 29, 30, 25, 27, 39, 40, 44, 45, 48, 49, 50, 53, 58, 65, 66, 67, 73, 74, 75, 77, 74, 75, 76, 85, 86, 90, 92, 93, 97, 100, 101, 102, 103, 106, 108, 110, 112, 113, 114, 115, 116, 117, 118, 120, 121, 122, 123

**Ç**

- Çevre · xiv, 1, 2, 7, 13, 60

**D**

- D · vi, xiii, 1, 19, 27, 26, 27, 28, 46, 49, 50, 51, 53, 54, 55, 58, 59, 62, 64, 72, 77, 72, 74, 84, 90, 92, 93, 96, 100, 101, 113, 114, 115, 116, 117, 119, 120, 121, 122, 124  
 Dal-sınır yöntemi · x, 22, 42, 43, 44, 45, 46  
 DC · xiii, 28, 29, 59, 95, 97, 103, 104  
 DE · iv, xiv, 1, 2, 3, 5, 6, 7, 9, 10, 11, 12, 13, 18, 20, 25, 26, 28, 31, 34, 36, 38, 39, 38, 39, 40, 41, 43, 44, 52, 54, 55, 58, 59,

- 62, 77, 72, 74, 84, 90, 92, 95, 96, 97, 99, 101, 102, 103, 100, 104, 108, 112, 114, 115, 112, 119  
 Doğa · 2  
 Doğadan · iv, 2, 21, 22, 25, 41, 115, 112  
 Döngüsel ekonomi · v, xiv, 2, 21, 25  
 Döngüsellik · x, xiv, 23, 25, 36, 40, 44, 46, 47, 48, 49, 53, 58, 62, 66, 72, 74, 77, 72, 74, 75, 84, 86, 90, 92, 93, 95, 97, 98, 99, 102, 104, 105, 107, 108, 109, 110, 111, 112, 113  
 Dünya · xiv, 1, 103

**E**

- Eko-endüstriyel park · iv, v, xiv, 6, 9, 17, 119  
 Ekoloji · 1, 5, 6, 12, 13, 100, 114  
 Ekonomik · iv, xiv, 5, 6, 7, 13, 15, 16, 17, 20, 21, 29, 38, 96, 100, 114, 112  
 Eko-park · vii, viii, xi, xiv, 7, 9, 11, 12, 13, 14, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 38, 39, 40, 41, 42, 44, 49, 51, 62, 64, 65, 72, 74, 82, 84, 90, 91, 93, 98, 102, 100, 104, 105, 106, 107, 108, 109, 110, 111, 112, 113, 114, 115, 112, 119  
 Endüstri · 2, ix, 5, 13, 17, 19, 26, 31, 33, 54, 62, 64, 67, 68, 69, 75, 76, 72, 73, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 86, 87, 88, 98, 99, 103, 100, 114  
 Endüstriyel simbiyoz · iv, v, x, xiv, 5, 6, 7, 8, 9, 11, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 22, 25, 31, 34, 36, 95, 100  
 Enerji · 4, 5, 6, 7, 13, 15, 16, 18, 25, 41, 70, 78, 82, 90, 98, 99, 102, 103, 100, 106, 108, 110, 112  
 ES · iv, xiv, 1, 2, 5, 7, 15, 21, 34, 55, 95, 96, 100, 115, 112  
 ESA · xiv, 6, 54, 95, 96, 98  
 Esneklik · 23, 95  
 EWC · xiv, 29, 34, 36, 67, 68, 69, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 86, 87, 88

**F**

- Fazlalık · iv, 23, 96

---

**G**

G · xiii, 29, 25, 26, 28, 43, 53, 58, 64, 65, 66, 72, 74, 77, 74, 75, 84, 86, 90, 92, 93, 96, 97, 98, 99, 101, 102, 105, 106, 107, 108, 109, 111, 112, 113, 114, 115, 116, 117, 118, 121, 122, 124, 125, 126  
 Gelecek senaryosu · iv, vii, ix, xi, 22, 23, 26, 29, 30, 34, 36, 52, 57, 58, 59, 60, 95, 96, 97, 102, 103  
 Genelleştirme · xiii, 29, 53, 58, 65, 66, 72, 74, 77, 74, 75, 85, 86, 90, 92, 93, 101, 102, 106, 107, 108, 109, 111, 112, 113  
 Geri dönüşüm · 2, 13, 16, 17, 19, 29, 31, 33, 34, 41, 54, 55, 58, 92, 97, 98, 99, 100, 103

---

**H**

Hammadde · 5, 10, 13, 38, 114

---

**İ**

İlham · 2, 14, 21, 25, 41  
 İnşaat endüstrisi · iv, viii, 11, 38, 39, 40, 41, 49, 62, 67, 69, 72, 75, 77, 72, 74, 84, 104, 105, 106, 107, 108, 109, 110, 112, 126

---

**K**

Karma eko-park · viii, x, xi, 39, 40, 62, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 86, 87, 88, 90, 91, 93, 102, 104, 109, 110, 111, 112, 113  
 Kaynak · 3, iv, 1, 7, 8, 13, 20, 21, 26, 100  
 Kırılganlık · xiii, 29, 53, 58, 65, 66, 72, 74, 77, 74, 75, 85, 86, 92, 93, 95, 101, 102, 104, 106, 107, 108, 109, 111, 113

---

**L**

LD · xiii, 44, 53, 58, 66, 74, 75, 86, 92, 102, 104, 105, 107, 108, 109, 111, 112, 113  
 Lokasyon · xiii, 41, 49, 50, 51, 70, 77, 82, 90, 106, 108, 110, 112

---

**M**

Maksimize · 41, 49, 64, 74, 104, 105, 107, 109, 111  
 Maksimum · xiii, 2, 25, 28, 40, 44, 46, 47, 48, 49, 53, 62, 65, 72, 73, 72, 74, 84, 85, 105, 106, 107, 108, 109, 110, 111, 112  
 Matematik model · iv, vii, 11, 23, 46, 49, 72, 84, 104, 107, 111  
 Metrik · ix, x, xi, 27, 53, 57, 58, 59, 60, 77, 92, 93, 94, 108, 113  
 Minimize · 51  
 Minimum · 27, 58, 102

---

**N**

NACE · ix, xiv, 29, 31, 33, 34, 36, 39, 64, 66, 67, 68, 69, 74, 75, 76, 73, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 86, 87, 88  
 Nav · xiii, 53, 58, 66, 74, 75, 86, 92, 102, 106, 108, 110, 112  
 Navcı · xiii, 53, 58, 66, 74, 75, 86, 92, 101, 106, 108, 110, 112  
 NL · xiii, 53, 58, 66, 74, 75, 86, 92, 101, 105, 107, 108, 109, 111, 112

---

**O**

Optimizasyon · v, 11, 14, 21, 22, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 62, 64, 72, 74, 84, 104, 105, 106, 107, 109, 110, 111  
 Optimize · 7, 13, 14, 21, 40  
 Optimum · 45, 46, 49, 62, 72, 84, 106, 110  
 Organik · 73, 77, 78, 87, 97  
 Öz-döngü · 27, 30, 36, 39, 40, 41, 58, 59, 95, 102, 103

---

**P**

Pr · xiii, 53, 58, 66, 74, 75, 86, 92, 102, 106, 108, 110, 112, 113

---

**R**

Rastgele kapasiteli · ix, x, xi, 39, 40, 46, 49, 62, 64, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 77, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 86, 87, 88, 90, 93, 102, 104, 105, 106, 107, 108, 109, 110, 111, 112, 113

---

**S**

SAA · xiv, 11, 12, 15, 16, 22, 23, 25, 26, 31, 52, 54, 57, 59, 95, 101, 114, 115, 112  
 Sanayi bölgeleri · iv, vii, viii, 9, 10, 12, 22, 23, 24, 25, 29, 38, 52, 95, 98, 100, 101  
 Sanayi bölgesi · iv, ix, x, xi, xiv, 9, 11, 16, 18, 19, 20, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 25, 26, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 36, 37, 38, 39, 37, 38, 52, 53, 54, 55, 56, 58, 60, 61, 95, 96, 97, 98, 101, 102, 103, 104, 115, 119  
 Senaryo · x, xi, 34, 38, 37, 58, 59, 61, 95, 96, 97, 103, 104  
 Sosyal · iv, v, vii, xi, xiv, 1, 5, 7, 11, 15, 21, 22, 25, 26, 38, 52, 60, 100, 101, 114  
 Sosyal ağ analizi · iv, v, vii, xiv, 11, 22, 25, 26, 52, 101  
 Sosyal ağ metrikleri · 22, 26  
 SR · xiii, 53, 58, 66, 74, 75, 86, 92  
 Sürdürülebilir · v, 1, 5, 7, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 19, 41, 98, 103, 100, 114, 112, 114  
 Sürdürülebilirlik · iv, 1, 9, 10, 18, 21, 34, 100, 114

---

**T**

Taklit · 2, 3, 5, 12, 13, 21, 41, 98, 100, 114  
 Tam kapasiteli · ix, x, xi, 39, 40, 41, 49, 51, 62, 72, 74, 75, 76, 77, 71, 72, 74, 84, 86, 90, 91, 93, 102, 104, 107, 108, 111, 112, 114  
 Temel durum · vii, ix, xi, 23, 25, 26, 29, 30, 31, 52, 53, 56, 57, 58, 59, 60, 95, 96, 97, 101, 102, 103  
 Teorem · 46, 47  
 Tesis · xiii, 17, 20, 26, 27, 29, 30, 27, 30, 31, 33, 34, 36, 38, 39, 40, 41, 44, 45, 48, 49, 50, 53, 55, 58, 59, 63, 65, 73, 72, 74, 84, 90, 95, 96, 100, 101, 102, 104, 106, 108, 110, 111, 112  
 Tüketici · 100, 102  
 Tür zenginliği · xiii, 26, 53, 58, 66, 74, 75, 86, 92, 100, 101

---

**Ü**

Üretici · 16, 29, 30, 38, 59

---

**V**

V · 2, vii, x, xiii, 29, 30, 37, 38,

48, 49, 53, 58, 65, 66, 72, 74,  
77, 74, 75, 85, 86, 90, 92, 93,  
95, 101, 102, 106, 107, 108,  
110, 111, 112, 113, 114, 115,  
118, 119, 121, 122  
Vaka çalışması · iv, vii, 11, 22,  
23, 25, 29, 52, 101, 114, 115  
Veri seti · iv, 11, 29, 30, 38, 47,  
62, 72, 104, 105, 109

---

## Y

Yamyam · 36, 97, 98, 100, 101,  
113  
Yan ürün · iv, 7, 9, 13, 15, 16,  
99, 100, 112  
Yararlı · 18

---

## Z

Zarar · 5, 10

---

## A

$\lambda_{\max}$  · xiii, xiv, 44, 48, 53, 58,  
66, 74, 75, 86, 92, 102, 104,  
105, 107, 108, 109, 110, 111,  
112, 113



## **BİLGİLENDİRME**

Bu tez çalışması, Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu-TÜBİTAK tarafından, Doktora Sırası Yurt Dışı Araştırma Bursu (2214-A, 2018/I) ile desteklenmiştir.





**TEKNOVERSITE**



teknoversite AYRICALIĞINDASINIZ

İSTE

