



T.C.
KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SÜRDÜRÜLEBİLİR ENDÜSTRİYEL SİMBİYOZ AĞI
KURULUM SÜRECİNİN MODELLENMESİ: BİR
ENDÜSTRİYEL PARKTA UYGULAMA

EMRE YAZICI
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DOKTORA TEZİ

DANIŞMAN
Doç. Dr. Hacı Mehmet ALAKAŞ

KIRIKKALE-2024



T.C.
KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SÜRDÜRÜLEBİLİR ENDÜSTRİYEL SİMBİYOZ AĞI
KURULUM SÜRECİNİN MODELLENMESİ: BİR
ENDÜSTRİYEL PARKTA UYGULAMA

EMRE YAZICI
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DOKTORA TEZİ

DANIŞMAN
Doç. Dr. Hacı Mehmet ALAKAŞ

KIRIKKALE-2024

KABUL VE ONAY SAYFASI

Emre YAZICI tarafından hazırlanan “SÜRDÜRÜLEBİLİR ENDÜSTRİYEL SİMBİYOZ AĞI KURULUM SÜRECİNİN MODELLENMESİ: BİR ENDÜSTRİYEL PARKTA UYGULAMA” başlıklı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından Oy Birliği ile Kırıkkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalında DOKTORA TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Doç. Dr. Hacı Mehmet ALAKAŞ

İmza

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Kırıkkale Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum.

Başkan: Prof. Dr. Hadi GÖKÇEN

İmza

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum.

Üye: Prof. Dr. Diyar AKAY

İmza

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Hacettepe Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum.

Üye: Doç. Dr. Mehmet PINARBAŞI

İmza

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Kırıkkale Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum.

Üye: Dr. Öğr. Üyesi Enes AYAN

İmza

Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı, Kırıkkale Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum.

Tez Savunma Tarihi: 02/07/2024

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

Prof. Dr. Recep ÇALIN

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYANI

Kırıkkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- 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,
- 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 kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Emre YAZICI

02/07/2024

ÖZET

SÜRDÜRÜLEBİLİR ENDÜSTRİYEL SİMBİYOZ AĞI KURULUM SÜRECİNİN MODELLENMESİ: BİR ENDÜSTRİYEL PARKTA UYGULAMA

Emre YAZICI

Kırıkkale Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Doktora Tezi

Danışman: Doç. Dr. Hacı Mehmet ALAKAŞ

Temmuz 2024, 77 Sayfa

Dünyada yaşanan gelişmeler üretim ve tüketim anlayışının değişmesine neden olmaktadır. Kaynakların hızlı tüketimi ve üretim faaliyetlerinin çevresel etkileri yenilikçi yaklaşımların benimsenmesine katkı sunmuştur. Bu çerçevede sürdürülebilir üretim ve tüketim anlayışına imkan tanıyan ve çevresel etkileri azaltmada etkili olan Endüstriyel Simbiyoz (ES) yaklaşımı üreticilerin tercih ettiği stratejik bir üretim modeli olmuştur.

Bu çalışmada, endüstriyel parklarda ES ağlarının kurulması sürecinde karşılaşılan problemlerin tespiti ile kurulum sürecinde yaşanan bu problemlere çözüm önerisi sunulması amaçlanmaktadır. Endüstriyel parklar simbiyoz ağlarının uygulamaya geçirilmesi ile Eko-Endüstriyel Park olarak isimlendirilmektedir. ES ağları üretim sürecinde ekonomik faydalar elde ederek çevresel etkilerin azaltılması için son zamanlarda tercih edilen etkili bir döngüsel ekonomi aracıdır. Bu uygulamaların hayata geçirilmesi sürecinde kurulum aşamasında karşılaşılan problemler üç aşamaya ayrılarak çözülmüştür. Bunlardan ilki kurulum sürecinde endüstriyel parkta ES ağı için öncelikli sektörün belirlenmesidir. Bu süreçte karar analizi yöntemi ile öncelikli sektör belirlenmiştir. İkinci aşamada ilgili sektörden çıkan atıkları alabilecek işletmelerin ES ağına katılımı için uygunluk seviyeleri belirlenmiştir. Kurulum aşamasında yapılan son uygulamada ise işletmelerin malzeme değişimi için matematiksel modeller önerilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre ES ağı için öncelikli sektörün belirlenmesinde en etkili kriter olarak atıkların kullanım potansiyeli ve atığın talep düzeyi kriterleri belirlenmiştir. Öncelikli sektör olarak döküm sektörü ilk sırada yer almıştır. İş birliği yapılacak işletmelerin ES ağı için uygunluk seviyelerinin değerlendirilmesinde ise ekonomik kriterler öne çıkmıştır. ES ağı için döküm sektörü atığını alma potansiyeli yüksek olan işletmelerin uygun seviyeleri daha yüksek çıkmıştır. Malzeme değişimine ilişkin modellerde arz ve talep miktarlarına göre talebin tamamının karşılanması ve karşılanmaması senaryoları analiz edilmiştir. Üç farklı model ile işletmelere en fazla faydayı sağlayacak atık değişimleri elde edilmiştir. Ayrıca arz ve talep miktarlarındaki belirsizlikler dikkate alınarak bulanık matematiksel programlama modeli önerilmiştir. Bulanık modelde arz ve talep miktarlarının belirsizliği için tolerans değerleri ve bulanık tatmin düzeyleri 96 farklı senaryo ile veriler analiz edilmiştir. Çalışmanın sonuçları ile endüstriyel parkta öncelikli sektörde faaliyet gösteren işletmelerin ortaya çıkardığı atıklar 42 farklı işletmeye dağıtılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Endüstriyel Simbiyoz, Eko-Endüstriyel Park, Çok Ölçütlü Karar Verme, Matematiksel Model, Simbiyoz Ağı Kurulumu

ABSTRACT

MODELING THE SUSTAINABLE INDUSTRIAL SYMBIOSIS NETWORK ESTABLISHMENT PROCESS: AN APPLICATION OF AN INDUSTRIAL PARK

Emre YAZICI

Kırıkkale University

Institute of Science and Technology

Department of Industrial Engineering, PhD Thesis

Advisor: Assoc. Dr. Hacı Mehmet ALAKAŞ

July 2024, 77 Pages

Developments worldwide cause changes in the understanding of production and consumption. The rapid consumption of resources and the environmental impacts of production activities have contributed to adopting innovative approaches. In this context, the Industrial Symbiosis (ES) approach, which enables sustainable production and consumption and is effective in reducing environmental impacts, has become a strategic production model preferred by manufacturers.

This study aims to identify the problems encountered during the establishment of ES networks in industrial parks and propose solutions to these problems encountered during the installation process. Industrial parks are called Eco-Industrial Parks by implementing symbiosis networks. ES networks are an effective circular economy tool that has recently been preferred to reduce environmental impacts by obtaining economic benefits in production. During the implementation of these applications, the problems encountered during the installation phase were solved in three stages. The first is to determine the priority sector for the ES network in the industrial park during the installation process. The priority sector was determined using the decision analysis method. In the second stage, the eligibility levels for businesses receiving waste from the relevant industry to participate in the ES network were determined. In the last application made during the installation phase, mathematical models were proposed for the material replacement of the enterprises. According to the results obtained, the use potential of waste and the demand level of waste criteria were determined as the most effective criteria in deciding the priority sector for the ES network. The casting industry ranked first as a priority sector. Economic criteria came to the fore in evaluating the suitability levels of the businesses to be cooperated with for the ES network. The appropriate levels of enterprises with a high potential to receive foundry sector waste were higher for the ES network. In models related to material change, scenarios of meeting and not meeting the entire demand were analyzed according to the supply and demand amounts. With three different models, waste replacements that will benefit businesses most have been achieved.

A fuzzy mathematical programming model has also been proposed, considering the uncertainties in supply and demand quantities. In the fuzzy model, tolerance values for the uncertainty of supply and demand quantities and fuzzy satisfaction levels were analyzed with 96 different scenarios. The study results show that the waste generated by businesses operating in the priority sector in the industrial park was distributed to 42 other companies.

Keywords: Industrial Symbiosis, Eco-Industrial Park, Multi Criteria Decision Making, Mathematical Model, Symbiosis Network Establishment

TEŞEKKÜR

Doktora eğitimim boyunca yakından ilgi ve alaka gösteren, bu tez çalışmasının yürütülmesi için bilimsel danışmanlığını üstlenen kıymetli hocam Sayın Doç. Dr. Hacı Mehmet ALAKAŞ'a teşekkür eder, minnet duygularımı sunarım. Tez çalışmasının yürütülmesi için bilgi ve deneyimlerini aktaran Tez İzleme Komitesi üyeleri Sayın Doç. Dr. Mehmet PINARBAŞI ve Dr. Öğretim Üyesi Enes AYAN hocalarıma destekleri için teşekkür ederim.

Bu tez çalışmasında konunun belirlenmesi ve çalışmanın yürütülmesi için yol gösteren, tecrübelerini sürekli benimle paylaşan Sayın Prof. Dr. Tamer EREN hocama ayrıca teşekkürlerimi ve şükranlarımı sunarım.

Tüm bu süreç içerisinde her türlü desteği sağlayarak motivasyonumu, azim ve isteğimi arttıran sevgili eşim Av. Merve YAZICI'ya, bugüne kadar hayatımın her anında bana ve kararlarıma destek veren kıymetli anne ve babama en içten teşekkürlerimi sunarım.

Tezin gerçekleşmesinde YÖK 100/2000 Öncelikli Alanlara Yurt İçi Doktora Programı kapsamında maddi destek sağlayan Yükseköğretim Kurumuna teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

ÖZET.....	IV
ABSTRACT	V
TEŞEKKÜR	VI
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	VII
ÇİZELGELER DİZİNİ	IX
ŞEKİLLER DİZİNİ	XI
SİMGELER DİZİNİ	XII
KISALTMALAR DİZİNİ	XII
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Motivasyon Kaynağı	2
1.2 Tezin Amacı, Kapsamı ve Önemi	3
2. ENDÜSTRİYEL SİMBİYOZ TEMEL KAVRAMLARI VE ÖRNEKLERİ... 5	
2.1 Endüstriyel Simbiyoz	5
2.2 Eko-Endüstriyel Park	7
2.3 Endüstriyel Simbiyoz Ağlarının Organize Oluş Biçimleri	7
2.4 Dünyada ve Türkiye’de İlk Endüstriyel Simbiyoz Örnekleri	8
3. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI..... 11	
3.1 Endüstriyel Simbiyoz Ağlarının Kurulum Sürecine İlişkin Çalışmalar.....	11
3.2 Endüstriyel Simbiyoz Ağlarında Yöneylem Araştırma Teknikleri ile Ağ Tasarımını İnceleyen Çalışmalar.....	12
4. YÖNTEM	19
4.1 Pisagor Bulanık Setler.....	19
4.2 Pisagor Bulanık AHP	22
4.2.1 Tutarlılık Oranının Hesaplanması	23
4.3 Pisagor Bulanık TOPSIS.....	24
4.4 Bulanık Doğrusal Programlama.....	25
4.4.1 Verdegay Yaklaşımı.....	25
5. ENDÜSTRİYEL SİMBİYOZ AĞI KURULACAK ÖNCELİKLİ SEKTÖRÜN BELİRLENMESİ..... 27	
5.1 Problem Tanımı.....	27
5.2 Kriterlerin Belirlenmesi ve Ağırlıklarının Hesaplanması	28

5.3 Kriter Ağırlıklarının Hesaplanması.....	29
5.4 Alternatiflerin sıralanması.....	31
6.ENDÜSTRİYEL SİMBİYOZ AĞINA KATILACAK ALICI İŞLETMELERİN DEĞERLENDİRİLMESİ	34
6.1 Döküm Sektörü	34
6.2 Kriterlerin Belirlenmesi ve Ağırlıkların Hesaplanması	36
6.3 Endüstriyel Simbiyoz Ağı İçin İşletmelerin Uygunluk Düzeylerine Göre Sıralanması	39
7.ENDÜSTRİYEL SİMBİYOZ AĞINDA MALZEME DEĞİŞİMİ	42
7.1 Endüstriyel Simbiyoz Ağında Malzeme Değişimi İçin Matematiksel Model: Maliyet ve Fayda Maksimizasyonu	43
7.2 Endüstriyel Simbiyoz Ağında Malzeme Değişimi İçin Matematiksel Model Önerisi: Uygunluk Katsayısı Maksimizasyonu.....	50
7.3 Endüstriyel Simbiyoz Ağında Malzeme Değişimi İçin Bulanık Matematiksel Model Önerisi.....	57
8.SONUÇ	65
KAYNAKÇA	68
ÖZGEÇMİŞ.....	75

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
3.1. Endüstriyel simbiyoz ağı kuruluş sürecini inceleyen çalışmalar	12
3.2. Endüstriyel simbiyoz ağı matematiksel modelleme çalışmaları	15
3.3. Es ağı için matematiksel modelleme çalışmalarının problem tipleri ve kısıtları	16
4.1. PB-AHP ve klasik AHP tutarlılık oranı için dilsel uygunluk tablosu	23
5.1. Endüstriyel simbiyoz ağı için öncelikli sektörün belirlenmesinde etkili olan kriterler	28
5.2. PB-AHP dilsel karşılaştırma ölçeği	29
5.3. Sektörlerin önceliklendirilmesi için PB-AHP karşılaştırma matrisi	29
5.4. Öncelikli sektörlerin belirlenmesinde etkili olan kriterleri ağırlıkları	30
5.5. Pisagor bulanık topsis yöntemi dilsel ifadeler	31
5.6. Öncelikli sektörün belirlenmesi için dilsel karar matrisi	32
5.7. Öncelikli sektörlerin pb-topsis yöntemine göre sıralama sonuçları	33
6.1. Döküm sektöründe ortaya çıkan atıklar ve avrupa atık kodları	35
6.2. Döküm sektöründe ortaya çıkan atıkları alabilecek sektörler ve nace kodları....	36
6.3. Uzmanlara ilişkin bilgiler.....	36
6.4. İşletmelerin endüstriyel simbiyoz ağına katılmak için uygunluğunu değerlendirme etkili olan kriterler	37
6.5. İşletmelerin uygunluk seviyelerini etkileyen kriterlerin ikili karşılaştırma matrisi	38
6.6. İşletmelerin endüstriyel simbiyoz ağına uygunluğunu etkileyen kriterlerin ağırlıkları.....	39
6.7. İşletmelerin endüstriyel simbiyoz ağı için uygunluk seviyelerinin değerlendirilmesine ilişkin bulanık karar matrisi	40
6.8. İşletmelerin endüstriyel simbiyoz için uygunluk seviyelerine ilişkin sonuçlar ..	41
7.1. Senaryolara ilişkin açıklamalar	43
7.2. Model 1 Senaryo 1 sonuçları.....	45
7.3. Bertaraf edilen ürün miktarları.....	46
7.4. Model 1 Senaryo 2 sonuçları.....	47
7.5. Model 1 Senaryo 2 çözümüne göre bertaraf edilecek atık miktarları	48
7.6. Model 1 Senaryo 3 çözüm sonuçları.....	49
7.7. TOPSISj parametresinin hesaplanması	52
7.8. Model 2 Senaryo 1 sonuçları.....	53
7.9. Model 2 Senaryo 2 sonuçları.....	54

7.10. Model 2 Senaryo 2 sonuçlarına göre bertaraf edilmesi gereken atıklar.....	55
7.11. Model 2 Senaryo 3 sonuçları.....	56
7.12. Bulanık matematiksel model için arz miktarının talep miktarından büyük olduğu durum için senaryolar	59
7.13. Bulanık matematiksel model için arz miktarının talep miktarından küçük olduğu durum için senaryolar	60
7.14. Bulanık matematiksel model Veri 1 sonuçları	61
7.15. Bulanık matematiksel model Veri 49 sonuçları	63



ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
2.1. Döngüsel ekonomi süreci.....	6
2.2. Kalundborg endüstriyel simbiyoz ağı	9
6.1. Döküm sektöründe atıkların ortaya çıktığı süreçler	35
7.1. Model 1 Senaryo 3 sonuçlarına göre oluşan ES ağı diyagramı	50
7.2. Bulanık matematiksel model Veri 1-Veri 48 sonuçlarına ilişkin grafik	62
7.3. Bulanık matematiksel model Veri 49-Veri 96 sonuçlarına ilişkin grafik	64



SİMGELER DİZİNİ

μ	: Bulanık Üyelik Derecesi
ν	: Bulanık Üye Olmama Derecesi
π	: Tereddüt Derecesi
μ_u	: Bulanık üyelik üst derecesi
μ_l	: Bulanık üyelik alt derecesi
ν_u	: Bulanık üye olmama üst derecesi
ν_l	: Bulanık üye olmama alt derecesi

KISALTMALAR DİZİNİ

AHP	: Analitik Hiyerarşi Prosesi
ANP	: Analitik Network Prosesi
BM	: Birleşmiş Milletler
BDP	: Bulanık Doğrusal Programlama
ÇÖKV	: Çok Ölçütlü Karar Verme
DP	: Doğrusal Programlama
DDP	: Dinamik Programlama
DEMATEL	: The Decision Making Trial and Evaluation Laboratory
EEP	: Eko-Endüstriyel Park
ES	: Endüstriyel Simbiyoz
EWC	: European Waste Code
HP	: Hedef Programlama
MS	: Meta Sezgisel
NACE	: Uluslararası Ekonomik Faaliyet Kodu
ÖS	: Özel Sezgisel
PBS	: Pisagor Bulanık Set
PB-AHP	: Pisagor Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi
PB-TOPSIS	: Pisagor Bulanık Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution
TDP	: Tam sayılı doğrusal programlama
TOPSIS	: Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution
VIKOR	: Vise Kriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje

1. GİRİŞ

Dünyada son yıllarda yaşanan nüfus artışı ve teknolojik gelişmeler sanayi ve kentleşme alanındaki hızlı büyümenin kaynağı olmuştur. Sanayileşme ve kentsel büyüme ile birlikte ekonomik ve çevresel açıdan bazı problemler ortaya çıkmaktadır. Bunların başında üretim hacminin artması ile kaynaklara erişimin zorlaşması ve emisyon miktarlarındaki artış nedeniyle çevresel olumsuzluklar dikkat çekmektedir (Dong vd., 2019). Artan üretim hacmi aynı zamanda atık miktarlarında da artışa neden olmaktadır. Bu durum da ekonomik ve çevresel sorunların artmasına neden olan bir diğer unsurdur.

Dünyanın hemen hemen her yerinde ortaya çıkan bu problemler sürdürülebilir bir büyüme ve sürdürülebilir bir çevre için önem arz eden bir konu haline gelmiştir. Sanayileşmedeki üretim hızını düşürmeden çevresel ve ekonomik problemlerin çözümü son yılların önemli bir problemidir (Haraguchi vd., 2019). Endüstriyel üretim yapan işletmeler, ekonomik büyümeyi riske maruz bırakmadan çevreye olan olumsuz etkileri minimize etmeye yönelik çözüm arayışındadırlar. Bu süreçte gerek endüstriyel faaliyet yürüten kuruluşlar gerekse çeşitli kamu otoriteleri eko-çevre bağlamında yaklaşımların geliştirilmesi için çaba sarf etmektedir.

Bu çabanın temelinde atık miktarlarının azaltılması, ekonomik büyümenin sürdürülebilir olması ve çevresel etkilerin azaltılmasına dayalı yaklaşımlar yatmaktadır. Bu yaklaşımların başında ise döngüsel ekonomi yaklaşımı gelmektedir. Döngüsel ekonomi atık oluşumunu minimize ederek kaynakların kullanımı sonucunda ortaya çıkan atıkların tekrar üretim döngüsüne dahil edilmesini benimseyen bir yaklaşımdır. Böylelikle kaynakları mümkün olduğu kadar uzun bir süre ekonomik faaliyet içerisinde tutmayı amaçlamaktadır. Döngüsel ekonomi amaçlarına ulaşmada en etkili araçlardan birisi ise Endüstriyel Simbiyoz (ES) uygulamalarıdır.

Endüstriyel simbiyoz Frosch ve Gallopoulos (1989) tarafından tanıtilen “endüstriyel ekoloji” yaklaşımına dayanmaktadır. Endüstriyel ekoloji, çevresel etkileri göz önünde bulunduran bir üretim ve tüketimin anlayışının oluşturulması için, doğal kaynakların

sürdürülebilir kullanımını amaçlamaktadır. Böylelikle hem endüstriyel kalkınma hem de sosyal, ekonomik ve çevresel kazanımlara elde edilmektedir (Berkel vd., 1997). Bu amaçla endüstriyel üretim yapan işletmelerin arasında oluşan ilişkiler dikkate alınarak sanayi bölgeleri endüstriyel ekosistem olarak anılmakta ve bu ilişkileri ifade eden sinerji ise endüstriyel simbiyoz olarak nitelendirilmektedir (Giurco vd., 2011). Endüstriyel simbiyoz, birbirinden bağımsız ve birbirine yakın iki veya daha fazla işletmenin ekonomik ve çevresel fayda elde etmek için bir değişim sinerjisi oluşturmasıdır (Bacudio vd., 2016). Bu sinerjide fiziksel malzeme, atık, yan ürün, su ve enerji olmak üzere çeşitli kaynakların değişimi ile ekonomik ve çevresel faydalar ile kaynak verimliliği amaçlanmaktadır (Chertow, 2000).

Bu tez çalışmasının birinci bölümünde tezin motivasyon kaynağı, amacı, kapsamı ve önemi ifade edilmektedir. İkinci bölümde endüstriyel simbiyoz kavramları hakkında bilgiler verildikten sonra dünyada ve Türkiye’de örneklerine değinilmektedir. Üçüncü bölümde endüstriyel simbiyoz ağının kurulum sürecine yönelik olarak literatürde yer alan çalışmalar özetlenmektedir. Dördüncü bölümde problem çözümünde kullanılan yöntemler sunulmaktadır. Beşinci, altıncı ve yedinci bölüm ise çalışmada ele alınan problemlerin çözümüne ilişkin uygulamalar yer almaktadır. Son bölüm ise çalışmanın sonuç bölümüdür.

1.1 Motivasyon Kaynağı

Dünyada son yıllarda yaşanan kaynağa ulaşım sorunu birçok otoriteyi harekete geçirmiş ve politikalar belirleme ihtiyacını ortaya koymuştur. Bu kapsamda Birleşmiş Milletler (BM) 17 başlıkta sürdürülebilir kalkınma amacı belirlemiştir. Bu amaçlar arasında özellikle 12. Başlıkta yer alan “Sorumlu üretim ve tüketim” amacı ES kavramını doğrudan vurgulayan bir amaçtır. Ülkemizde ise 10. Kalkınma Planı’nda “kaynakların etkin kullanıldığı, daha yeşil ve rekabetçi sanayi yapısına dönüşümün sağlanması” (T.C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, 2015) ve 11. Kalkınma planı ile rekabetçi üretim ve verimliliği sağlanması için belirlenen politikalar doğrultusunda endüstriyel simbiyoz uygulamalarına öncelik verilmektedir. Bununla birlikte kalkınma ajansları ES simbiyoz ağının uygulanmasına yönelik birçok girişimde bulunmuştur. Bunlar arasında Bursa Eskişehir Bilecik Kalkınma Ajansı, “Sürdürülebilir Üretime Geçiş” sonuç odaklı programı kapsamında, ES uygulamalarının hayata geçirilmesini program kapsamına almıştır. Benzer şekilde,

Dicle Kalkınma Ajansı tarafından “TRC3 Bölgesi için Endüstriyel Simbiyoz Projesi” gibi örnekler yer almaktadır. Ancak kalkınma ajanslarının yürüttüğü bu çalışmalar sınırlı süreli projeler düzeyinde kalmaktadır. Ülkemizde ES alanında politikalar ve uygulamalar, paydaşlar arasında rol dağılımının belirli olmaması, yönetim noktasında teknik kapasitenin yeterli olmaması gibi nedenlerle hayata geçirilememiştir.

Bu bağlamda hem üreticiler için hem de kamusal otoriterler için ES uygulamalarının ulusal ve bölgesel kalkınmanın sağlanması, stratejik işbirliğinin oluşturulması ve çevresel etkilerin azaltılması açısından önem arz ettiği vurgulanmaktadır. Ulusal ve uluslararası kuruluşlarda öne çıkarılan ES yaklaşımının sürdürülebilirlik ve kaynak verimliliği açısından önemini burada ortaya koymaktadır.

Buradan hareketle odaklanılan endüstriyel simbiyoz yaklaşımının ülke genelinde uygulanmasına yönelik çalışmaların incelemesi yapılmıştır. İnceleme neticesinde özellikle kalkınma ajanslarının endüstriyel simbiyoz ağının kurulum sürecine yönelik çalışmaları olduğu tespit edilmiştir. Ancak birçok çalışmanın bir fizibilite aşamasında olduğu görülmüş olup uygulamanın hayata geçirilmesine yönelik az sayıda örneğin olduğu tespit edilmiştir.

1.2 Tezin Amacı, Kapsamı ve Önemi

Bu tez çalışmasının amacı çevresel ve ekonomik faydaları amaçlayan endüstriyel simbiyoz ağlarının organize sanayi bölgelerinde diğer bir ifade ile endüstriyel parklarda kuruluş sürecinde ortaya çıkan karar problemlerinin tespiti ve bu problemlere çözüm önerileri sunmaktır. Problemlerin çözümü için karar verme ve optimizasyon tekniklerinden faydalanılmış ve endüstri mühendisliği bakış açısı ile çözüm önerileri sunulmuştur. Bu kapsamda kuruluş sürecinin aktörleri arasında olan ve endüstriyel parkların yönetimini üstlenen stratejik karar vericiler planlama yaklaşımı ile problemi ele almaktadır.

Bu çerçevede tez çalışması, bir endüstriyel parkta endüstriyel simbiyoz ağının kurulum sürecine ilişkin karar verme ve optimizasyon problemlerinin çözümünü kapsamaktadır. Endüstriyel parklarda ES ağı kurulacak öncelikli sektörün belirlenmesine ilişkin karar süreci ve belirlenen öncelikli sektörün atıklarını alabilecek alternatif işletmelerin seçimine yönelik probleme çok ölçütlü karar verme (ÇÖKV) yöntemleri ile çözüm önerisi sunulmuştur. Süreç içerisinde değerlendirme kriterlerine

ilişkin veriler ve sektör kaynaklı verilerin belirsizliği nedeniyle bulanık ÇÖKV yöntemlerinden faydalanılmıştır.

Tez kapsamı içerisinde bir organize sanayi bölgesinin eko-endüstriyel park olarak tasarlanması amacıyla endüstriyel simbiyoz uygulamasının hayata geçirilmesi için öncelikli sektörün belirlenmesi, ilgili sektörde ortaya çıkan atıkları tespiti ile bu atıkların değerlendirilebileceği sektör ve işletmelerin belirlenmesi yer almaktadır. Daha sonra ise işletmelerin malzeme değişimini optimal kılacak matematiksel modellerin önerilmesi tezin kapsamı içerisinde yer almaktadır.

Simbiyoz ağlarının kurulmasına yönelik süreçlerin endüstri mühendisliği bakış açısı ile değerlendirilmesi sürecin planlanması ve problemlerin çözümü ile çalışmanın çevresel ve ekonomik kazanımlar ortaya çıkarma potansiyeli vardır. Özellikle sürecin planlama noktasında ortaya çıkan problemleri ele alarak bütünsel bir yaklaşım ile problemlere çözüm sunulması hem literatür açısından vurgulanan açığı kapatmakta hem de uygulamada yöneticilere yol göstermektedir.

2. ENDÜSTRİYEL SİMBİYOZ TEMEL KAVRAMLARI VE ÖRNEKLERİ

Bu bölümde endüstriyel simbiyoz ağına ilişkin kavramlar ve simbiyoz ağının dünyada ve Türkiye’deki başarılı örnekleri özetlenecektir.

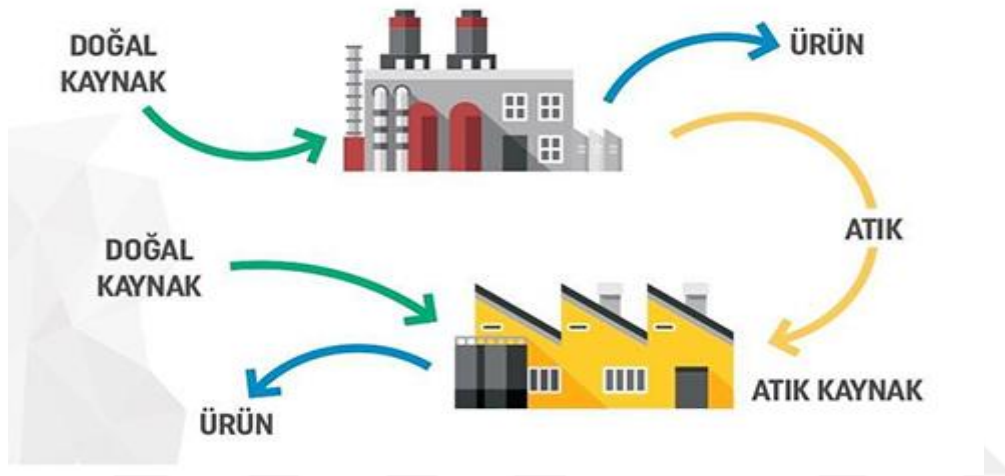
2.1 Endüstriyel Simbiyoz

ES ilk olarak Frosch ve Gallopoulos (1989), tarafından “endüstriyel ekoloji” ve “endüstriyel ekosistem” kavramları ile endüstriyel ekoloji alanında temel bir konsept olarak ifade edilmiştir. ES yaklaşımının temelinde endüstriyel faaliyetlerin, doğal yaşam ve ekolojik sistem ile benzerliği yer almaktadır. ES yaklaşımı, ekonomik ve çevresel faydalar elde etmek için endüstriler arasında bir değişim sinerjisi oluşturmayı amaçlamaktadır (Bacudio vd., 2016).

Kaynak verimliliğini sağlamak ve çevresel olumsuzlukları en aza indirmek için uygulanan önemli stratejilerden birisi ES yaklaşımıdır. Endüstriyel faaliyetler, doğal yaşam ve ekolojik sisteme benzetilmektedir. ES yaklaşımı, ekonomik ve çevresel faydalar elde etmek için endüstriler arasında bir değişim sinerjisi oluşturmayı amaçlamaktadır (Bacudio vd., 2016). ES, birbirinden bağımsız olarak faaliyetini sürdüren iki veya daha fazla işletmenin rekabet avantajı elde etmek amacıyla fiziksel malzeme, enerji, su ve yan ürün değişimi için oluşturduğu bir işbirliğidir (Chertow, 2000). ES yaklaşımının temel felsefesi bir işletmenin atığının bir diğer işletmenin hammadde veya yan ürün olarak kullanabilmesidir. Diğer bir ifade ile Şekil 2.1’de gösterildiği gibi geleneksel üretim sürecinden döngüsel bir üretim sürecine geçiştir. Amaç kaynakların daha verimli kullanılması ve sürdürülebilir yaklaşım çerçevesinde bir işbirliğinin oluşturulmasıdır.

1990’lı yıllarda yapılan tanımlamalarda ES’nin temel amacı, aynı endüstriyel ekosistemde faaliyet gösteren bir işletmenin atığının bir diğer işletmenin girdisini oluşturacak şekilde madde veya enerji değişimi olarak ifade edilmiştir (Frosch ve Gallopoulos, 1989). Zaman içerisinde bu ES tanımının farklılaştığı görülmektedir.

Günümüzde madde ve enerji değişiminin yanı sıra satın alma, lojistik, teknoloji gelişimi, tasarım, ekipman ve teçhizat kullanımı, atık yönetimi, eğitim ve sağlık hizmetleri, yasal izinler ve sertifika süreçleri gibi birçok alanda ortaklıklar kurulması ve dayanışma içerisinde çalışması olarak tanımlanmaktadır (Başer, 2014). Ayrıca endüstriyel işletmelerin fiziksel yakınlığının zorunlu olmadığı ifade edilmektedir. Döngüsel üretim süreci Şekil 2.1’de görülmektedir. Doğal kaynak üretime girmekte ve neticesinde bir ürün ve atık ortaya çıkmaktadır. Ortaya çıkan atığın tekrar üretime dahil edildiği sürece döngüsel üretim süreci denilmektedir.



Şekil 2.1. Döngüsel ekonomi süreci

ES yaklaşımında her ne kadar hammadde ve yan ürün gibi fiziksel unsurların değişimden bahsedilse de işletmelerin lojistik, makine-ekipman ve uzmanlık gibi çeşitli kaynakların işbirliği içerisinde kullanılabilir. Ayrıca eğitim programları, iş güvenliği uygulamaları ve yasal yükümlülöklere yönelik ortak hareket tarzlarının belirlenmesi için önemli fırsatlar ortaya çıkmaktadır (BEBKA, 2020).

ES uygulamaları, endüstriyel süreçlerden kaynaklı olarak ortaya çıkabilecek çevresel ve sosyal problemlere çözüm üretmekle birlikte ekonomik faydalarda sunmaktadır. Bu bağlamda bu tez çalışmasında bir organize sanayi bölgesinde ekonomik, çevresel ve sosyal faydalar elde etmek amacıyla bir endüstriyel simbiyoz ağının kurulması problemi incelenmektedir.

2.2 Eko-Endüstriyel Park

Endüstriyel işletmelerin yoğun olarak bulunduğu bölgelerde endüstriyel simbiyoz uygulamasının hayata geçirildiği endüstriyel parklar Eko-Endüstriyel Park (EEP) olarak tanımlanmaktadır. EEP ekonomik ve çevresel kazanımları artırmak amacıyla, kaynak verimliliği, atık üretimini azaltma ve sürdürülebilir kalkınma gibi önemli faydalar sunan bir endüstriyel park sistemidir. EEP içerisinde faaliyet gösteren işletmeler birbiriyle ve yerel otoriteler ile işbirliği yapan açık bir sistemi ifade etmektedir. Bu işbirliği döngüsel kaynak kullanımını geliştirilmesini teşvik etmektedir. Sonuç olarak, bir işletmede üretim sürecinde elde edilecek fayda bittikten sonra ortaya çıkan atık, diğer işletmeler için geçerli bir girdi görevi görerek atıkların azaltılmasına ve optimum kaynak kullanımının teşvik edilmesine yol açar. Çevresel avantajlarının ötesinde, EEP aynı zamanda kayda değer ekonomik faydalar da sağlıyor. Farklı sektörlerde faaliyet gösteren işletmeler arasında teşvik edilen sinerji ve işbirliği, artan operasyonel verimlilik, artan üretkenlik ve önemli maliyet tasarrufları sağlar. EEP'lerin dünyadaki ilk örneği olan Danimarka Kalundborg endüstriyel simbiyoz projesi önemli düzeyde ekonomik ve çevresel kazanımlar sağlamıştır (Song vd., 2018). Kalundborg endüstriyel simbiyoz uygulamasından sonra, endüstriyel simbiyoz uygulamaları Avustralya, Güney Kore, İsveç ve Çin gibi ülkelerde yaygınlaşmıştır (Bacudio vd., 2016).

2.3 Endüstriyel Simbiyoz Ağlarının Organize Oluş Biçimleri

Endüstriyel simbiyoz ağları organize oluş biçimleri açısından incelendiğinde literatürde üç temel şekilde organize olduğu ifade edilmektedir. Bunlardan ilki “kendiliğinden organize olan” (self organized) simbiyoz ağı, ikincisi “koordinatör tarafından kolaylaştırılan” (facilitated) simbiyoz ağı ve üçüncüsü ise “yukarıdan aşağıya planlanan” (top-down planned) simbiyoz ağı olarak tanımlanmaktadır (Chertow, 2000). Kendiliğinden organize olan ES ağları işletmelerin herhangi bir aracı veya plan dâhilinde olmaksızın kendi aralarındaki doğal işbirliği neticesinde ortaya çıkan bir modeldir. Dünyada bilinen ilk ES ağına örnek olan Kalundborg ES ağı kendiliğinden organize olan modele iyi bir örnektir.

Koordinatör tarafından kolaylaştırılan model ise simbiyoz ağında ise simbiyoz ağının kurulmasında kolaylık sağlayacak aracı kuruluşların yer aldığı bir modeldir. İngiltere’de kurulan Ulusal Endüstriyel Simbiyoz Programı (National Industrial

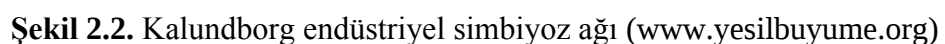
Symbiosis Programme) bu modele örnektir. Burada kalkınma ajanslarının finansman desteğiyle başlatılan program, daha sonra devlet desteğiyle ulusal düzeyde uygulanan bir program haline dönüşmüştür. Başlangıçta ulusal düzeyde bir koordinasyon ile bölgesel ölçekte uygulanan NISP örneği son yıllarda 22 ülkede bölgesel ve ulusal düzeyde uygulanmaktadır. NISP modelinde, uygulayıcı ekipler tarafından firmalardan bilgiler toplanarak, bu bilgiler ışığında ES olanakları belirlenmekte ve bunların hayata geçirilmesi sağlanmaktadır. NISP modelinin uygulanması ile İngiltere’de 2005-2013 yılları arasında 12.000 firmaya ulaşılmış, 3.000’in üzerinde ES projesi hayata geçirilmiş ve 43,4 milyon avro tutarında yatırım yapılmıştır (International Synergies Limited, 2019).

“Yukarıdan aşağıya planlanan” ES modeline örnek olarak ise 2003 yılında uygulanmaya başlanan Güney Kore EEP programı örnek teşkil etmektedir. Program, Sanayi ve Enerji Bakanlığının koordinasyonunda Güney Kore Endüstriyel Kompleks Kurumu tarafından yürütülmektedir. Uygulama kapsamında özel alanlar ise endüstriyel tesisler için bölgeler ayrılmıştır. Programın yürütülmesi için ayrılan özel alanlarda EEP merkezleri kurularak bu merkezler bölgelerdeki firmalar ile Güney Kore Endüstriyel Kompleks Kurumu arasındaki işbirliğini sağlamakla görevlendirilmiştir. Program kapsamında gerçekleştirilecek olan ES projeleri doğrudan EEP merkezleri tarafından hazırlanabileceği gibi bölgedeki firmalardan da gelebilmekte ve bu proje teklifler koordinasyon kurumu tarafından belirli kriterlere göre değerlendirilerek desteklenmektedir. Küçük ve orta ölçekli işletmelerin programa daha çok katılımını sağlamaya yönelik olarak destek miktarları artırılmaktadır. Bu kapsamda Güney Kore’deki EEP modeli ile 11 yıl içerisinde 1.831 firmaya ulaşılmış, 355 ES projesi hayata geçirilmiş ve 551,5 milyon avro tutarında yatırım yapılmıştır (International Synergies Limited, 2019).

2.4 Dünyada ve Türkiye’de İlk Endüstriyel Simbiyoz Örnekleri

Endüstriyel simbiyoz ağına ilişkin literatürde başarılı uygulamaları ile örnek gösterilen simbiyoz ağlarından ilki 1961 yılında Danimarka’da kurulan Kalundborg Simbiyoz ağıdır. Bununla birlikte en başarılı ve hayata geçirilmiş simbiyoz ağları arasında aşağıdaki örnekler yer almaktadır (Alkaya, 2021).

- 1961 yılında ortaya çıkan Kalundborg simbiyoz ağı kendiliğinde organize olan simbiyoz ağı olarak bilinmektedir. Bölgede faaliyet gösteren yerel işletmeler arasında malzeme değişim süreci neticesinden kendiliğinden organize olan bir çalışma sistemine sahiptir. Bölgedeki hayvan çiftlikleri, petrol rafinesisi, çimento fabrikası, bioenerji tesisi ve kimyasal faaliyetlerde bulunan tesislerin atık ısı, kül, çamur, kimyasal atıklar, gaz ve buhar gibi çeşitli atık ve yan ürünlerin değişimini kapsayan başarılı bir örnektir. Kalundborg simbiyoz ağının işleyiş şeması Şekil 2.2'deki gibidir.



Türkiye’de hayata geçirilen çalışmalar arasında ise ilk olarak İskenderun körfezinde gerçekleştirilen endüstriyel simbiyoz çalışmaları karşımıza çıkmaktadır. Bununla beraber simbiyoz ağının kurulması veya araştırılması ilişkin çeşitli örnekler mevcuttur. Bunlar şu şekilde sıralanmaktadır (Alkaya, 2021).

- Ankara Ostim’de Endüstriyel Simbiyoz Olanaklarının Belirlenmesi
- Trakya Bölgesi için Endüstriyel Simbiyoz Potansiyelinin Araştırılması
- Bursa, Eskişehir, Bilecik Endüstriyel Simbiyoz Programı
- Gaziantep Endüstriyel Simbiyoz Projesi
- Petrol Atıklarının Değerlendirilmesinde Endüstriyel Simbiyoz Olanaklarının Tespiti Projesi
- Kayseri Organize Sanayi Bölgesi Endüstriyel Simbiyoz Olanaklarının Araştırılması Projesi
- Endüstriyel Simbiyoz ve İskenderun Körfezi Projesi: Fizibilite Aşaması
- Antalya Organize Sanayi Bölgesi’nde Endüstriyel Simbiyoz ve Eko-verimlilik Projesi
- Aksaray Organize Sanayi Bölgesi Endüstriyel Simbiyoz Olanaklarının Araştırılması Projesi
- Eskişehir Endüstriyel Simbiyoz Olanaklarının Araştırması Projesi
- Eskişehir Sanayi Odası Sharebox Projesi

Türkiye’de hayata geçirilen ve önemli bir örnek teşkil eden İskenderun Simbiyoz ağıdır. İskenderun Körfez simbiyoz projesinin 2008-2009 yıllarında ilk çalışmaları yürütülmeye başlanmıştır. Projede ticari işletmeler, vakıf ve birleşmiş milletler kalkınma programı yürütücülerinin işbirliği sağlanmıştır. Yılda ortalama 330 bin ton atığın değerlendirilme potansiyeli ortaya konulmasının ardından projenin hayata geçirilmiştir. Projenin nihai çıktıları arasında su, atık malzeme ve doğal kaynak olmak üzere çeşitli kaynak tasarrufları sağlanmıştır. Yılda 280 bin ton doğal kaynak ve 6,5 bin ton ise su tasarrufu sağlanmıştır. Bunun yanı sıra sosyal çıktılar arasında istihdam ve kurumsal ilişkilerin geliştirilmesi sağlanmıştır. 21 yeni istihdam 10 yeni ürün ve 5’i üniversite olmak üzere 32 kurum ve kuruluşun sürece katılımı sağlanmıştır.

3. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Endüstriyel simbiyoz alanında literatürde yapılan çalışmalar iki alt başlık halinde bu bölümde özetlenecektir. Tez kapsamında kurulum sürecinin planlanması ele alındığından kurulum sürecine ilişkin problemleri inceleyen ve yöneylem araştırma tekniklerini ES problemlerinin çözümünde kullanan çalışmalar özetlenecektir.

3.1 Endüstriyel Simbiyoz Ağlarının Kurulum Sürecine İlişkin Çalışmalar

Endüstriyel simbiyoz ağlarının hayata geçirilmesinde problemlerin yaygın olarak karşılaşıldığı süreç kurulum sürecidir. Endüstriyel simbiyoz alanındaki güncel çalışmalar ES'yi iki farklı boyutta dinamik ve statik bir süreç olarak değerlendirmektedir. Çalışmalardan bazıları, ES ağının kurulması, geliştirilmesi ve sürdürülebilir olmasına yönelik faktörleri analiz eden çalışmalardır. Bazı çalışmalar simbiyoz ağının kurulum sonrası etkilerini analiz eden ve sonuçlarını değerlendiren dinamik boyutu analiz etmektedir (Yazıcı vd., 2022).

Endüstriyel simbiyoz alanında simbiyoz ağının kurulması, yönetilmesi ve sürdürülmesi süreçlerinde çeşitli karar problemleri ortaya çıkmaktadır. Bu sorunlar, işletmelerin endüstriyel simbiyoz kurma potansiyeline sahip olup olmadığının değerlendirilmesi (Agudo vd., 2022), simbiyoz ağının kurulmasını etkileyen faktörlerin değerlendirilmesi (Bacudio vd., 2016), simbiyoz ağındaki işbirliğini etkileyen kriterlerin (Sonel vd., 2022) ve simbiyoz ağının sürdürülebilirliğini (Alakaş vd., 2020) etkileyen kriterlerin değerlendirilmesi gibi çeşitli amaçlara yönelik olarak ele alınmıştır.

Vimal vd. (2020) işletmelerin rekabet gücünün endüstriyel simbiyoz ağı üzerindeki etkilerini değerlendirmiştir. Çalışmada kriter ağırlıklarının hesaplanmasında AHP (Analitik Hiyerarşi Prosesi) yöntemi kullanılmıştır. Öte yandan Alakaş vd. (2020) ve Sonel vd. (2022) kriterler arasındaki etkileşimlerden dolayı kriter ağırlıklarını hesaplamak için Analitik Ağ Süreci (ANP) yöntemini kullanmıştır.

Alternatif sıralamada kullanılan yöntemler açısından literatür çalışmaları incelendiğinde, MCDM yöntemleri arasında TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution), VIKOR (Vise Kriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje), DEMATEL (The Decision Making Trial and Evaluation Laboratory) gibi yöntemlerin endüstriyel simbiyoz alanında tercih edilen yöntemler olduğu görülmektedir. Razminiene vd. (2021) döngüsel ekonomiye geçişte etkili olan faktörleri sıralamak için TOPSIS yöntemini tercih etmişlerdir. Yang vd. (2022) endüstriyel simbiyozu engelleyen kriterleri değerlendirmek için AHP-TOPSIS yöntemini bütünsel bir şekilde kullanmıştır. Bacudio vd. (2016) ise benzer problemi DEMATEL yöntemini kullanarak incelemiştir. Teh vd. (2021) bir ürünün hangi simbiyoz ağına dahil olacağını değerlendirmek için VIKOR yöntemini kullanmıştır. Çalışmalar Çizelge 3.1’de özetlenmektedir.

Çizelge 3.1. Endüstriyel simbiyoz ağı kuruluş sürecini inceleyen çalışmalar

Yazar (Yıl)	Amaç	Yöntem	Bulanık Yöntem
Bacudio et al. (2016)	KD	DEMATEL	-
Sonel et al.(2022)	KD	ANP	-
Alakaş et al. (2020)	KD-SD	ANP	-
Vimal et al. (2020)	KD	AHP	-
Razminiene et al. (2021)	AD-SD	TOPSIS	-
Yang et al. (2022)	KD-AD	AHP-TOPSIS	-
Teh et al.(2021)	AD	VIKOR	-
Tseng and Bui (2017)	AD	-	B-Delphi
Stević et al. (2017)	KD-AD	-	B-MARCOS
Khan and Ali (2022)	KD	-	B-QFD & B-FUCOM
Prakash and Kumar (2022)	KD-SD	-	B-DEMATEL

KD: Kriterlerin değerlendirilmesi, SD: Sürdürülebilirliğin değerlendirilmesi, AD: Alternatiflerin değerlendirilmesi

3.2 Endüstriyel Simbiyoz Ağlarında Yöneylem Araştırma Teknikleri ile Ağ Tasarımını İnceleyen Çalışmalar

Bu bölümde YA teknikleri ile ES ağının kurulması ve üretim sürecine ilişkin malzeme değişiminin planlanmasını ele alan çalışmalar özetlenecektir. İncelenen çalışmalar Çizelge 3.2’de özetlenmektedir. Çizelgede çalışmalarda ele alınan karar probleminin tipi, kullanılan çözüm yöntemi, dikkate alınan kısıtlar ve amaç fonksiyonlarını içeren dört ana başlık bulunmaktadır. Çalışmalar karar problemlerine göre ES ağında ortaya çıkan operasyonel, taktiksel ve stratejik kararlar olarak üç başlık altında sınıflandırılmıştır. Yöntemler ise doğrusal programlama (DP), dinamik programlama (DDP), tam sayılı doğrusal programlama (TDP), doğrusal olmayan programlama (N-DP), hedef programlama (HP), meta sezgisel yöntemler (MS) ve özel sezgisel (ÖS)

olmak üzere çeşitli başlıklar altında toplanmaktadır. Oldukça geniş bir kısıt kümesi mevcuttur. Bu kısıtlar Çizelge 3.2’de özetlenmektedir. Amaçlar ise ekonomik amaçlar ve çevresel amaçlar olarak iki temel amaç üzerine odaklanmakla birlikte bu iki amacı birlikte gerçekleştirmeyi hedefleyen çalışmalar mevcuttur.

ES uygulamasının dinamik yapısı gereği çalışmaların önemli bir çoğunluğunda operasyonel ve taktiksel karar süreçlerine yönelik problemlere çözüm aranmaktadır. Bazı çalışmalar birden fazla kategoriye dahil edilmiştir. Çalışmada planlama sürecinin uzun bir periyoda yayan çalışmalar hem operasyonel hem de taktiksel karar problemi grubunda değerlendirilmiştir (Cimren vd., 2011). ES uygulamasını stratejik amaçlara yönelik olarak ele çalışmalarda mevcuttur. Afshari vd. (2020) enerji verimliliğine yönelik bir ES uygulamasını modelleyerek enerji tüketimi için önerilerde bulunmaktadır.

Çözüm yöntemleri arasında doğrusal programlama yöntemi diğer yöntemlere göre daha fazla tercih edilmiştir (Jamal & Montemanni, 2018; Zhou vd., 2012). Doğrusal programlama ile yapılan dokuz çalışmanın altı tanesi tam sayılı doğrusal programlama yöntemi ile problemi çözüm sunmuştur. Tam sayılı doğrusal programlama yöntemini kullanan çalışmaların bir kısmında karma tam sayılı programlama yöntemini kullanılarak problem modellenmiştir (Afshari vd., 2020; Gonela & Zhang, 2014). Gonela vd. (2015) problemin olasılıklı yapısını dikkate alarak problemi tam sayılı doğrusal programlama modeli ile olasılıklı olarak modellemiştir. Doğrusal programlama yöntemini yanı sıra hedef programlama ve dinamik programlama yöntemlerinin kullanıldığı çalışmalarda mevcuttur. Bu yöntemler aynı zamanda kesin çözüm yöntemleri olarak da bilinen yöntemlerdir. Kesin çözüm yöntemlerinin dışında ayrıca sezgisel yöntemler de literatürde yer almaktadır. Sezgisel yöntemlerin kullanımı incelendiğinde özel sezgisel yöntemler meta-sezgisel yöntemlere göre daha fazla tercih edilmiştir. Literatürde genetik algoritma, tabu arama, arı kolonisi vb. bilinen meta-sezgisel yöntemler vardır. ES alanında özel sezgisel yöntemlerin meta sezgisel yöntemlere göre daha fazla tercih edilmiştir. Sezgisel yöntemler ile gerçekleştirilen çalışmaların yalnızca birinde parçacık sürü optimizasyonu yöntemi kullanılmıştır (Ren vd., 2016).

Çalışmaların amaç fonksiyonları incelendiğinde ekonomik çıkarların ve çevresel etkilerin optimizasyonu ön plandadır. Ekonomik olarak amaç fonksiyonu maliyet minimizasyonu ve karlılık maksimizasyonu olarak ikiye ayrılmaktadır. Kısıtlarda ise

arz talep dengesi temel kısıttır. Yanı sıra simbiyoz ağı içerisindeki atık malzemelerin ağ içerisinde alım satımını sağlamayan yönelik kısıtları dikkate alan çalışmalar mevcuttur (Jamal & Montemanni, 2018; Yeşilkaya vd., 2020). Çalışmalara ilişkin özet Çizelge 3.2’de sunulmaktadır.

Çalışmalar genel itibariyle değerlendirildiğinde simbiyoz ağına ilişkin malzeme değişim sürecini ele alan çalışmalar genel bir ağ yapısından ziyade daha lokal seviyede bir ağ oluşturmak için atıkların üretim sürecine yönelik planlamasını ele almaktadır. Üretim sürecinde ihtiyaç duyulan hammaddenin simbiyoz ağı kurulacak işletmeler içinden ve dışında teminini dikkate alan çalışmalar malzeme akışına ilişkin optimizasyonu amaçlamaktadır. Bu çalışmalarda kullanılan yöntemler genelde matematiksel modelleme yöntemleri olmuştur.

ÇÖKV yöntemleri ile yapılan çalışmaların özellikle kurulum sürecindeki kriterlerin etkisini incelediği ancak operasyonel süreçlerdeki karar verme problemlerini inceleyen çalışmaların ÇÖKV yöntemleri ile incelenmediği görülmüştür. Operasyonel ve taktiksel süreçlerdeki karar problemlerinin matematiksel modelleme ve simülasyon yöntemi ile çözüldüğü görülmüştür. Operasyonel karar problemlerinin çözümünde ağırlıklandırma yapmak amacıyla ÇÖKV yöntemlerinin matematiksel modelleme yöntemleri ile birlikte kullanılabileceği düşünülmektedir. Ayrıca matematiksel modelleme yöntemlerinin yaygın kullanımı olmasına rağmen kısıt programlama gibi kullanılmayan yöntemlerde mevcuttur.

Çalışmalarda ekonomik karlılık veya maliyetlerin minimizasyonu ortak amaç fonksiyonu olarak ifade edilebilir. Ancak sektörel olarak bakıldığında demir-çelik gibi üretim sürecinde çevresel etkilere sahip ortamlarda ele alınan çalışmaların emisyon miktarlarını minimize etmeye yönelik amaç fonksiyonları kullandığı görülmektedir.

Çizelge 3.2. Endüstriyel simbiyoz ağı matematiksel modelleme çalışmaları

Yazar(Yıl)	Çözüm Yöntemi									Amaç Fonksiyonu							
	N-DP	DP	MM	HP	TDP	DDP	M-S	ÖS	DY	CM	EM	RM	BM	SRM	SCM	SBM	DA
Yeşilkaya vd. (2024)			✓							✓							
Daquin vd. (2023)		✓								✓	✓					✓	
Yu vd. (2023)					✓					✓							
Misrol vd. (2022)	✓											✓					
Foong ve Ng (2021)		✓								✓	✓	✓					
Manaf vd. (2021)	✓										✓	✓					
Suzanne vd. (2021)						✓				✓							
Misrol vd. (2020)	✓											✓					
Ramin vd. (2021)	✓									✓		✓					
Afshari vd. (2020)		✓								✓	✓					✓	
Flood vd. (2020)								✓									✓
Genç vd. (2020)		✓															
Huang vd. (2020)					✓					✓	✓					✓	
Yeşilkaya vd. (2020)			✓							✓	✓						
Nouinou vd. (2019)			✓								✓			✓			
Susur vd. (2019)								✓									
Vimal vd. (2019)			✓								✓	✓	✓				
Afshari vd. (2018)			✓								✓				✓		
Jamal ve Montemanni (2018)		✓										✓					
Maqbool vd. (2017)								✓	✓								
Tiu vd. (2017)				✓						✓	✓						
Xiong vd. (2017)			✓									✓					
Ubando vd. (2016)	✓									✓							✓
Ren vd. (2016)							✓					✓					
Tan vd. (2016)		✓															
Aid vd. (2015)								✓	✓								
Gonela vd. (2015)		✓										✓					
Gonela ve Zhang (2014)		✓										✓					
Yukalov vd. (2012)			✓														✓
Zhou vd. (2012)		✓								✓		✓					
Cimren vd. (2011)					✓					✓							
Karlsson ve Wolf (2008)		✓								✓							
N-DP: Doğrusal Olmayan Programlama, DP: Doğrusal Programlama, MM: Matematiksel Model, HP: Hedef Programlama, TDP: Tamsayılı Doğrusal Programlama, DDP: Dinamik Programlama, M-S: Meta-sezgisel yöntemler, ÖS: Özel sezgisel yöntemler, CM: Maliyet Minimizasyonu, EM: Çevresel Etkilerin Optimizasyonu, RM: Karlılık Maksimizasyonu, BM: Ağırlıklı fayda maksimizasyonu, SRM: Simbiyotik Karlılık Maksimizasyonu, SCM: Kurulum Maliyeti Minimizasyonu, SBM: Toplumsal Fayda Maksimizasyonu. DA: Diğer amaçlar.																	

Karar problemleri ve kısıtlar açısından incelendiğinde ise çalışmalar Çizelge 3.3'te özetlenmektedir.

Çizelge 3.3. ES ağı için matematiksel modelleme çalışmalarının problem tipleri ve kısıtları

Yazar (Yıl)	Karar Problemi Tipi				Kısıtlar											
	OPK	TK	STK	KÇ	DS	PP	ESS	AB	EK	KK	SDK	RK	AK	QK	TMK	DK
Yeşilkaya vd. (2024)	✓				✓	✓	✓	✓	✓	✓						
Daquin vd. (2023)		✓							✓	✓	✓					
Yu vd. (2023)	✓															
Misrol vd. (2022)	✓									✓	✓					✓
Fong ve Ng (2021)	✓				✓					✓		✓				✓
Manaf vd. (2021)			✓													
Misrol vd. (2021)			✓							✓	✓					✓
Ramin vd. (2021)	✓									✓	✓					✓
Suzanne vd. (2021)	✓								✓		✓				✓	
Afshari vd. (2020)	✓		✓		✓					✓	✓	✓				
Flood vd. (2020)		✓														✓
Genç vd. (2020)	✓															
Huang vd. (2020)	✓				✓										✓	
Yeşilkaya vd. (2020)	✓	✓			✓	✓	✓	✓	✓	✓						
Nouinou vd. (2019)					✓					✓						
Susur vd. (2019)			✓													
Afshari vd. (2018)			✓		✓				✓		✓	✓				
Jamal ve Montemanni (2018)							✓			✓	✓					
Vimal vd. (2018)			✓		✓				✓	✓	✓	✓				
Maqbool vd. (2017)				✓												
Tiu vd. (2017)		✓	✓			✓								✓	✓	
Xiong vd. (2017)			✓									✓				
Ubando vd. (2016)		✓														
Ren vd. (2016)		✓			✓		✓				✓					
Tan vd. (2016)	✓															✓
Aid vd. (2015)			✓													
Gonela vd. (2015)		✓	✓		✓				✓		✓		✓		✓	
Gonela ve Zhang (2014)		✓			✓				✓	✓	✓					
Yukalov vd. (2012)			✓													✓
Zhou vd. (2012)		✓	✓						✓	✓	✓					✓
Cimren vd. (2011)	✓	✓			✓					✓	✓					
Karlsson ve Wolf (2008)	✓															✓

OPK: Operasyonel Karar, TK: Taktiksel Karar, STK: Stratejik Karar, KÇ: Kavramsal Çalışmalar, S: Talep Kısıtı, PP: Ürün Tedarik Serbestisi, ESS: ES Ağı İçerisinde Ürün Satışı, AB: Atıkların ES Ağı İçerisinde Kullanımı, EK: Stok/Envanter Kısıtı, KK: Kapasite Kısıtı, SDK: Arz-Talep Kısıtı, RK: Karlılık Kısıtı, AK: Alan Kısıtları QK: Kalite Kısıtı, TMK: Taşıma Kısıtları, DK: Diğer kısıtlar

Çalışmalarda dikkate alınan problem tipleri sürecin operasyonel, taktiksel veya stratejik yaklaşımlardan hangisini benimsediğine göre belirlenmiştir. Genelde üretim planlama faaliyetlerine yönelik operasyonel kararlara ilişkin modellemeler ön plana çıkmaktadır. Bunun yanı sıra taktiksel (Daquin vd., 2023) karar problemlerini dikkate alarak modelleme yapan çalışmalarda mevcuttur. Sürecin stratejik yatırımlarını dikkate alan çalışmalarda oldukça fazladır. Çalışmalar sektörel olarak oldukça çeşitlenmektedir. Orman ürünleri (Daş vd., 2024), inşaat ürünleri (Genc vd., 2020) su

(Ramin vd., 2021) ve enerji (Misrol vd., 2022) gibi çeşitli alanlarda simbiyoz ağı için ilişkilerin modellenmesine yönelik çalışmalar yürütülmüştür. Çalışmaların ortak özellikleri kısıtlarında arz ve talep kısıtlarını genel olarak dikkate almışlardır. Üretim planlama kısıtları yer aldığından genelde ortaya çıkan atığın tekrar üretimde değerlendirilmesine ilişkin miktarlara yönelik kısıtlar mevcuttur. Ancak katılımcı aktörlerin bir araya gelmesine ilişkin kısıtlar söz konusu değildir. Bu çalışmada işbirliği için işletmelerin bir araya gelmesini sağlamaya yönelik kısıtlar tespit edilerek model bu kısıtlar çerçevesinde geliştirilmiştir.

Çalışmalarda ele alınan yöntemler ve problemlerin dışında endüstriyel simbiyozda iş modellerini ortaya çıkarmak, uygulamak ve sürdürmek, endüstriyel aktörler, üçüncü taraflar ve teknolojiler arasında bilgi ve bilgi alışverişini gerektirir. Ancak bilgi ve bilgi paylaşımının çok önemli olduğu düşünülmesine rağmen, çok az araştırmacı bu konuya dikkat çekmektedir. ES ağı içerisinde sürekli bir alışveriş süreci olduğundan bilgi akışı fazla olacaktır. İş ve işlemlere ilişkin bilginin ve ES ağının asıl amacına ulaşması için iş ağı içerisindeki işlemlerin takibi için güncel teknolojilerin uygulanması gerekmektedir. Bu sayede işlemlerin kolaylıkla yapılması uygulama sürecinin sağlıklı işlemesine katkı sağlayacaktır (Basile vd., 2023). Bunun için bir çözüm önerisi olarak Blok Zincir teknolojisinin uygun olacağı düşünülmektedir. ES uygulamasında oluşturulan ağ yapısı bir blok zincir yapısına benzetilebilir. Blockchain teknolojisi ile ES ağı içerisindeki üyeler siparişlerini, finansal işlemlerini ve üretim faaliyetlerini tek bir noktadan takip ederek sürecin işleyişinde önemli tasarruflar sağlayabilir.

Bu sonuçlara göre ES uygulamalarının son 10 yılı ve belki de gelecek 50 yılın önemli bir stratejik araç olarak kullanılacağı bir yöntem olabileceği değerlendirilmektedir. Kaynaklardaki daralma, tüketimdeki artış, endüstrileşme ve atık yönetiminin öneminin artması ES uygulamalarının da artacağına bir işaret olarak değerlendirilebilir. Bu noktada önemli atık potansiyeline sahip sektörlerde özellikle teknolojik atık sektörü, enerji kaynaklarının tüketimini etkileyen sektörler, su tüketimini etkileyen sektörler ve tekstil gibi sektörlerin ES potansiyellerini değerlendirmesi önem arz etmektedir.

Literatürdeki çalışmalarda ES ağının kurulum sürecini bütünüyle dikkate alan bir çalışmaya rastlanılmamıştır. ES ağında katılımcıları dikkate alan çalışmalar incelendiğinde ise atık düzeyinde işletmelerin üretim planlarına yönelik çalışmalar mevcut olmakla birlikte kurulum sürecinde işletmelerin karşılıklı faydalarını dikkate

alan çalışmalar yetersiz düzeydedir. Bu yönüyle bu tez çalışması ile literatürdeki endüstriyel simbiyoz ağı problemlerine endüstri mhendisliğı bakış açısıyla çözüm nerileri sunulmaktadır. Kurulum sürecindeki katılımcıların değerlendirilmesi karar verme yaklaşımlarının sunmuş olduğu analitik yaklaşımlar ile belirlenerek yenilikçi bir yaklaşımlar sunulmuştur. Bu süreçte belirsizlikler dikkate alınarak ES literatürde az sayıda yer alan bulanık mantık temelli yaklaşımlar ile çözümler elde edilmiştir. Ayrıca ES ağındaki katılımcı aktörlerin işbirliğinde faydaları rekabetçi bir yaklaşımlar ile modellenerek katılımcılar arasında faydayı maksimize eden bir kurulum süreci planlanmıştır. Bu yönüyle çalışma literatürdeki çalışmalardan farklı bir bakış açısıyla kurulum sürecini bütünüyle değerlendirerek hem literatüre hem de kullanıcılara katkı sağlayan bir çalışma olmuştur.



4. YÖNTEM

Endüstriyel simbiyoz ağlarının kurulum ve malzeme değişiminin planlanmasını ele alan bu çalışmada karar analizi ve optimizasyon tekniklerinden faydalanılmıştır. Kurulum sürecinde karşılaşılan karar problemlerinin çözümü için ÇÖKV yöntemleri kullanılmıştır. Sürecin ve verilerin belirsizliği dikkate alınarak endüstriyel simbiyoz ağının kurulacağı öncelikli sektörün belirlenmesi ve alıcı işletmelerin simbiyoz ağına uygunluk seviyelerinin değerlendirilmesi için bulanık mantık temelli yaklaşımlar arasında yer alan PB-AHP ve PB-TOPSIS yöntemleri kullanılmıştır.

Simbiyoz ağının kurularak malzeme değişimin optimizasyonu için ise bulanık matematiksel modelleme yaklaşımlarından faydalanılmıştır.

4.1 Pisagor Bulanık Setler

Çok kriterli karar verme yöntemlerinde bulanık setlerin literatüre kazanımında Bellman ve Zadeh'in (1970) çalışmaları öncülük etmiştir. Bulanık setlerin karar verici açısından sunmuş olduğu avantajlar vardır. Bulanık setler uzman görüşlerinin sayısal olarak net bir şekilde ifade edilemediği durumlarda dikkate alınmaktadır. Aynı zamanda belirsizlik durumunda değişkenlerin dilsel olarak ifade edildiği durumu, sayısal değerlere dönüştürmektedir. Kesin kümeler tam üye olanları veya olmayanları dikkate alırken, bulanık setler kısmi üyeliklere de izin vermesi yönüyle daha gerçekçi sonuçlar ortaya koymaktadır (Fouladgar vd., 2012). Kesin veya klasik küme teorisinde temel varsayım bir elemanın herhangi bir kümeye dahil olması kesin bir sınır ile belirlenmiştir. Bir m sayısının P kümesine dahil olması durumunda üyelik değeri 1, aksi halde sayı kümeye dahil değil ise üyelik fonksiyonu 0 şeklinde ifade edilir.

P kümesinin klasik küme üyelik fonksiyonu Denklem 4.1 ile gösterilir (Alkan, 2019).

$$P \Rightarrow \mu = \begin{cases} m \in P \text{ ise } 1 \\ m \notin P \text{ ise } 0 \end{cases} \quad (4.1)$$

Zadeh (1978), tarafından (1965) geliştirilen bulanık küme teorisinde ise bir X evrensel tanım kümesinde P bulanık kümesinin elemanı olan m üyelik fonksiyonu 0 ile 1

arasında değerler alabilmektedir. Üyelik fonksiyonu $\mu_P(x)$ şeklinde tanımlanmaktadır. x 'in alabileceği değerler Denklem 4.2 ile gösterilir (Gürsoy, 2016).

$$\mu_P(x): X \rightarrow [0,1] \quad (4.2)$$

Atanassov (1986) tarafından belirsizliği ifade etmekte daha kolay bir yaklaşım sunmak amacıyla bulanık küme teorisini genişleterek sezgisel bulanık küme teorisini sunmuştur. Bulanık kümelerden farklı olarak X elemanının üyelik derecesini tanımlamakla birlikte üye olmama derecesini de tanımlamıştır. Sezgisel bulanık küme teorisinde üyelik ve üye olmama dereceleri $[0,1]$ aralığında değerler almaktadır. Ayrıca bu iki parametre dışında bir de tereddüt derecesi parametresi tanımlamıştır. P sezgisel bulanık kümesi Denklem 4.3'teki gibi tanımlanmaktadır (Yildirim, 2019).

$$P = \{\langle x, \mu_P(x), v_P(x) \rangle | x \in X\} \quad (4.3)$$

x elemanının P sezgisel bulanık kümesine ait olma derecesi $\mu_P(x)$, ait olmama derecesi ise $v_P(x)$ ile temsil edilmektedir. Ait olma derecesi ve ait olama derecesi toplamı 0 ve 1'e eşit veya 1'den küçüktür. Denklem 4.4'teki gibi gösterilir.

$$0 \leq \mu_P(x) + v_P(x) \leq 1 \quad (4.4)$$

$\mu_P(x) + v_P(x)$ işleminin 1 ile farkı alındığında sezgisel bulanık kümelerde tanımlanan tereddüt derecesi π_P parametresinin değerini elde edilir. Denklem 4.5'teki gibi gösterilir.

$$\pi_P(x) = 1 - (\mu_P(x) + v_P(x)) \quad (4.5)$$

$$0 \leq \pi_P(x) \leq 1 \quad (4.6)$$

Yager (2014), tarafından geliştirilen Pisagor bulanık sayılar, verilere ilişkin net değerlerin belirli olmaması veya karar vericileri yeterli düzeyde bilgiye sahip olmaması gibi bazı durumlarda belirsizlikle başa çıkamayan sezgisel bulanık setlere genelleme olarak geliştirilmiştir. Pisagor bulanık setler belirsizlik içeren problemlerin çözümünde daha güçlü ve daha esnek bir araçtır. Karar vericiler sezgisel bulanık setler ile ifade edemediklerini bu setleri kullanarak ifade edebilirler. Pisagor bulanık setler karmaşık karar verme durumlarında karar vericiler için daha uygundur (Mohd & Abdullah, 2017). Pisagor bulanık setlerde üyelik ve üye olmama derecelerin toplamı 1'den büyük olabilir fakat karelerinin toplamı 1'e eşit veya 1'den küçüktür. Bulanık setler basit kıyaslamalar ve mantıksal ifadelerde belirsizlikleri daha güçlü ifade eder. Sezgisel bulanık setler üç farklı değerlendirme imkanı sunmaktadır. Üyelik derecesi,

tereddüt derecesi ve üyelik dışı derecelendirmeleri ile belirsizlik ve anlaşmazlıklarda çözüm sağlamaktadır. Pisagor bulanık setler, sezgisel bulanık setlere göre üyelik derecelendirmeleri daha geniş bir derecelendirme kapsamına sahiptir (Ak ve Gul, 2019). Mevcut bulanık kümelerden farklı olarak dilsel ifadeleri on farklı değişken ile temsil ederek daha geniş bir skala ile değerlendirmektedir. Buna bağlı olarak sayısal olarak da daha geniş bir değerlendirme imkanı sunmaktadır. Böylelikle karar verici kişisel değerlendirmelerini gerçeğe en yakın şekilde ifade edebilmektedir. Pisagor bulanık sayılar ile ilgili bazı tanımlamalar aşağıdaki şekildedir (Yucesan ve Kahraman, 2019).

Tanım 1: Pisagor bulanık kümesi P Denklem 4.7'deki forma sahiptir.

$$P = \{ \langle x, P(\mu_P(x), v_P(x)) \rangle \mid x \in X \} \quad (4.7)$$

Denklem 4.8'de $\mu_P(x): X \rightarrow [0,1]$ $x \in X$ 'in elemanlarının P kümesine üyelik derecesini ve $v_P(x): X \rightarrow [0,1]$ $x \in X$ ise P kümesine üye olmama derecelerini temsil eder. Üye olma ve üye olmama derecelerinin karelerinin toplamı 0 ile 1 arasında bir değer almalıdır.

$$0 < \mu_P(x)^2 + v_P(x)^2 \leq 1; \quad x \in X \quad (4.8)$$

Denklem 4.9 ile üyelik ve üye olmama derecelerinin karelerinin toplamının 0'dan büyük, 1'e eşit veya küçük olabileceği ifade edilmektedir. 1'den küçük olması durumunda tereddüt parametresinin varlığından söz edilir. Bu durumda P kümesine ait bir elemanın tereddüt dereceleri hesaplanmalıdır. Tereddüt dereceleri ise Denklem 4.9 ile hesaplanır.

$$\pi_P(x) = \sqrt{1 - \mu_P(x)^2 - v_P(x)^2} \quad (4.9)$$

Pisagor bulanık kümelerde temel işlemler aşağıdaki şekilde tanımlanmaktadır.

Tanım 2: $\beta_1 = P(\mu_{\beta_1} - v_{\beta_1})$ ve $\beta_2 = P(\mu_{\beta_2} - v_{\beta_2})$ iki Pisagor bulanık sayı olmak üzere ve $\lambda > 0$ durumunda bu iki Pisagor sayı üzerindeki işlemler aşağıdaki gibidir. İki Pisagor bulanık sayının toplamı Denklem 4.10, iki Pisagor bulanık sayının çarpımı Denklem 4.11, Denklem 4.12 pisagor bulanık sayının sabit bir sayı ile çarpımını ve Denklem 4.13 ise kuvvetini alma işlemlerini temsil etmektedir.

Bulanık sayılarda aritmetik işlemler için $\oplus$ ifadesi toplama, $\otimes$ ifadesi çarpma ve λ ifadesi ise sabit bir sayıyı temsil etmektedir (Gökdalay ve Evren, 2009).

$$\beta_1 \oplus \beta_2 = P \left(\sqrt{\mu_{\beta_1}^2 + \mu_{\beta_2}^2 - \mu_{\beta_1}^2 \mu_{\beta_2}^2}, v_{\beta_1} v_{\beta_2} \right) \quad (4.10)$$

$$\beta_1 \otimes \beta_2 = P \left(\mu_{\beta_1} \mu_{\beta_2} \sqrt{v_{\beta_1}^2 + v_{\beta_2}^2 - v_{\beta_1}^2 v_{\beta_2}^2} \right) \quad (4.11)$$

$$\lambda \beta_1 = P \left(\sqrt{1 - (1 - \mu_{\beta_1}^2)^\lambda}, (v_{\beta_1})^\lambda \right), \lambda > 0 \quad (4.12)$$

$$\beta_1^\lambda = P \left((\mu_{\beta_1})^\lambda, \sqrt{1 - (1 - v_{\beta_1}^2)^\lambda} \right), \lambda > 0 \quad (4.13)$$

4.2 Pisagor Bulanık AHP

Pisagor bulanık sayılar ve ilgili tanımlarda verilen notasyonlar temelinde Pisagor Bulanık AHP yönteminin adımları aşağıdaki şekildedir (İlbahar vd., 2018).

Adım 1: Dilsel değerlendirme tablosu kullanılarak uzman değerlendirmelerini içeren m tane kriterin ikili karşılaştırma matrisinin $R = (r_{ij})_{m \times m}$ oluşturulması

Adım 2: Üyelik ve üye olmama derecelerinin düşük ve yükseklik değerlerine ilişkin fark matrisinin $D = (d_{ij})_{m \times m}$ bulunması. Burada μ_{ijL} , i nci sütun, j nci satırdaki düşük üyelik derecesine sahip eleman, μ_{ijU} , i nci sütun, j nci satırdaki yüksek üyelik derecesine sahip eleman, v_{ijL} , i nci sütun, j nci satırdaki düşük üye olmama derecesine sahip elemanı, v_{ijU} , i nci sütun, j nci satırdaki yüksek üyelik derecesine sahip elemanı temsil etmektedir. Denklem 4.14 ve Denklem 4.15 ile hesaplanır.

$$d_{ijL} = \mu_{ijL}^2 - v_{ijU}^2 \quad (4.14)$$

$$d_{ijU} = \mu_{ijU}^2 - v_{ijL}^2 \quad (4.15)$$

Adım 3: Aralık çarpım matrisinin $S = (s_{ij})_{m \times m}$ bulunması. Denklem 4.16 ve Denklem 4.17'deki gibi hesaplanır.

$$s_{ijL} = \sqrt{1000^{dL}} \quad (4.16)$$

$$s_{ijU} = \sqrt{1000^{dU}} \quad (4.17)$$

Adım 4: Belirlilik değerinin hesaplanması. $\tau = (\tau_{ij})_{m \times m}$ Denklem 4.18'deki gibi hesaplanır.

$$\tau_{ij} = 1 - (\mu_{ijU}^2 - \mu_{ijL}^2) - (v_{ijU}^2 - v_{ijL}^2) \quad (4.18)$$

Adım 5: Normalize edilmemiş ağırlık matrisinin $T = (t_{ij})_{m \times m}$ hesaplanması. Denklem 4.19'daki gibi hesaplanır.

$$t_{ij} = \left(\frac{s_{ijL} + s_{ijU}}{2} \right) \tau_{ij} \quad (4.19)$$

Adım 6: Kriter ağırlıklarının w_i hesaplanması Denklem 4.20'deki gibi hesaplanır.

$$w_i = \frac{\sum_{j=1}^m t_{ij}}{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m t_{ij}} \quad (4.20)$$

4.2.1 Tutarlılık Oranının Hesaplanması

Tutarlılık oranı (CR) uzman görüşleri ile oluşturulan ikili karşılaştırma matrislerinin ne düzeyde tutarlı olduğunu kontrol etmek için hesaplanan bir orandır. Tutarlılık oranının 0,10'dan küçük olması durumunda karşılaştırma matrisinin tutarlı olduğu kabul edilir. Bulanık kümelerin orta çıkması ile birlikte farklı ölçüm teknikleri mevcuttur. Burada Saaty'nin (1990) klasik tutarlılık oranı hesaplanmaktadır. Tutarlılık oranını hesaplamak için dilsel terimler Saaty'nin ölçeği ile eşleştirilerek klasik yaklaşımı takip eden algoritma ile hesaplanır (Karasan vd., 2019). Eşleştirmede Çizelge 4.1'den faydalanılır (Luo vd., 2023). Tutarlılık oranı tutarlılık indeksinin (CI) rastgele indekse (RI) oranlanması neticesinde elde edilir. RI matris boyutuna göre değer alan sabit bir sayı olmakla birlikte CI denklem 4.21'deki gibi hesaplanır (Başaran vd., 2023).

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (4.21)$$

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (4.22)$$

Çizelge 4.1. PB-AHP ve klasik AHP tutarlılık oranı için dilsel uygunluk tablosu (Luo vd., 2023)

Dilsel Terim	AHP Ölçeği	Karşılık Gelen Değer
Kesinlikle Çok Düşük	Aşırı Önemlinin Tersi	1/9
Çok Düşük Önemli	Çok Güçlü Önemlinin Tersi	1/7
Düşük Önemli	Güçlü Önemlinin Tersi	1/5
Ortalamanın Altında Önemli	Ortalama Önemlinin Tersi	1/3
Ortalama Önemli	Eşit Önemli	1
Ortalamanın Üstünde Önemli	Ortalama Önemli	3
Yüksek Önemli	Güçlü Önemli	5
Çok Yüksek Önemli	Çok Güçlü Önemli	7
Kesinlikle Yüksek Önemli	Aşırı Önemli	9
Eşit	Eşit	1

4.3 Pisagor Bulanık TOPSIS

Alternatiflerin değerlendirilmesinde yaygın olarak kullanılan TOPSIS yöntemi klasik ve bulanık mantık temelli olarak problemlere çözüm sunan bir yöntemdir. Net değerlere erişmenin mümkün olmaması ve süreçlerde ortaya çıkan belirsizlikler nedeniyle bulanık TOPSIS yöntemi tercih edilebilir. Ayrıca gerçek hayattaki ÇÖKV problemlerini kullanılan net değerlerle modellemek her zaman yeterli değildir. PFS, belirsizlik altında ÇÖKV problemlerinin çözümünde yaygın olarak kullanıldığından, klasik TOPSIS yaklaşımı PFS'ler için genişletilerek Pisagor bulanık TOPSIS (PFTOPSIS) yöntemi olarak adlandırılmıştır (Rani vd., 2020). Beş adımdan oluşan PFTOPSIS yaklaşımının algoritmik yapısı aşağıdaki şekilde gösterilmiştir (Ak ve Gul, 2019; Çalık, 2021).

Step 1: Pisagor fuzzy sayılar ile karar matrisi (R) kurulur. Denklem 21 kullanılır. $R = ((C_j(x_i))_{m \times n} \quad C_j(j = 1, 2, \dots, n) \quad \text{ve} \quad x_i(i = 1, 2, \dots, m)$ sırasıyla kriterlerin ve alternatiflerin değerlerine bakın. Matris formu Denklem 4.23'deki gibidir:

$$R = ((C_j(x_i))_{m \times n} = \begin{pmatrix} P(\mu_{11}, v_{11}) & P(\mu_{12}, v_{12}) & \dots & P(\mu_{1n}, v_{1n}) \\ P(\mu_{21}, v_{21}) & P(\mu_{22}, v_{22}) & \dots & P(\mu_{2n}, v_{2n}) \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ P(\mu_{m1}, v_{m1}) & P(\mu_{m2}, v_{m2}) & \dots & P(\mu_{mn}, v_{mn}) \end{pmatrix} \quad (4.23)$$

Step 2: Pozitif ideal çözüm (PIS) ve negatif ideal çözüm (NIS) değerlerinin tanımlanması. Denklem 4.24 ve Denklem 4.25 kullanılır ve aşağıdaki şekilde gösterilir.

$$x^+ = \{C_j \max_i (C_j(x_i)) | j = 1, 2, \dots, n\} = \{\langle C_1, P(\mu_1^+, v_1^+) \rangle, \langle C_2, P(\mu_2^+, v_2^+) \rangle, \dots, \langle C_n, P(\mu_n^+, v_n^+) \rangle\} \quad (4.24)$$

$$x^- = \{C_j \min_i (C_j(x_i)) | j = 1, 2, \dots, n\} = \{\langle C_1, P(\mu_1^-, v_1^-) \rangle, \langle C_2, P(\mu_2^-, v_2^-) \rangle, \dots, \langle C_n, P(\mu_n^-, v_n^-) \rangle\} \quad (4.25)$$

Step 3: Ideal çözümlerden uzaklıklar hesaplanır. Denklem 4.26 ve Denklem 4.27 yardımıyla hesaplamalar yapılır.

$$D(x_i, x^+) = \sum_{j=1}^n w_j d(C_j(x_i), C_j(x^+)) = \frac{1}{2} \sum_{j=1}^n w_j (|(\mu_{ij})^2 - (\mu_j^+)^2| + |(v_{ij})^2 - (v_j^+)^2| + |(\pi_{ij})^2 - (\pi_j^+)^2|) \quad (4.26)$$

$$D(x_i, x^-) = \sum_{j=1}^n w_j d(C_j(x_i), C_j(x^-)) = \frac{1}{2} \sum_{j=1}^n w_j \left(|(\mu_{ij})^2 - (\mu_j^-)^2| + |(v_{ij})^2 - (v_j^-)^2| + |(\pi_{ij})^2 - (\pi_j^-)^2| \right) \quad (4.27)$$

Genel olarak $D(x_i, x^+)$ ne kadar küçük x_i alternatifi o kadar uygun olur. Diğer taraftan $D(x_i, x^-)$ ne kadar büyük olursa x_i alternatifi o kadar uygun olur. $D_{min}(x_i, x^+) = \min_{1 \leq i \leq m} D(x_i, x^+)$ ve $D_{max}(x_i, x^-) = \max_{1 \leq i \leq m} D(x_i, x^-)$.

Step 4: Revize edilmiş yakınlık değerleri hesaplanır. $\xi(x_i)$ Denklem 4.28 kullanılır.

$$\xi(x_i) = \frac{D(x_i, x^-)}{D_{max}(x_i, x^-)} - \frac{D(x_i, x^+)}{D_{min}(x_i, x^+)} \quad (4.28)$$

Step 5: Son olarak alternatiflerin en iyi sıralaması belirlenir. En yüksek revize katsayı değerine sahip alternatif en iyi alternatiftir.

4.4 Bulanık Doğrusal Programlama

Bulanık doğrusal programlama (BDP) doğrusal programlama problemlerinde kısıtların veya amaç fonksiyonlarının kesin olarak belirlenmesinin mümkün olmadığı durumlarda problemlerin modellenmesinde kullanılan bir yöntemdir. BDP’de amaçlar ve kısıtlar bulanık kümeler ile ifade edilir ve bulanık kümelerin üyelik fonksiyonları bulunmaktadır. Bulanıklığın kaynağı farklılık arz edebilir. Bu nedenle bulanık doğrusal programlama çeşitli yaklaşımlar ortaya çıkmıştır. Bunlar arasında yaygın olarak bilinen Werners yaklaşımı, Verdegay yaklaşımı ve Zimmerman yaklaşımı gibi yaklaşımlar bulunmaktadır. Her bir yaklaşım bulanıklığın kaynağına göre yani amaç fonksiyonundan, kısıt katsayılarından veya sağ taraf sabit değerlerinden kaynaklanmasına göre farklı durumlara göre kullanılabilir. Bu tez çalışmasında bulanıklığın ortaya çıktığı sağ taraf sabit değerleri olması nedeniyle Verdegay yaklaşımı kullanılmıştır.

4.4.1 Verdegay Yaklaşımı

Verdegay (1982) tarafından geliştirilen bu yaklaşımda matematiksel modelin sağ taraf sabit (B_i) değerini bulanık olarak tanımlamak mümkündür. Verdegay bu tarz problemlerin kesin parametrik doğrusal programlama modeline eş değer olduğunu ispat etmiştir. Modelde her bir kısıt için üyelik fonksiyonu seçilerek bulanık kısıtlar kesin kısıtlara dönüştürülerek formülize edilir. Üyelik fonksiyonu seçimi için eğer

$(Ax)_i \leq B_i$ ise, o zaman i . kısıtın tam karşılandığı, $(Ax)_i \geq B_i + P_i$ gibi, burada p_i karar verici tarafından belirlenen bir tolerans düzeyidir. Buna göre Verdegay tarafından tanımlanan üyelik fonksiyonu aşağıdaki gibi olmaktadır (Paksoy vd., 2013).

Amaç fonksiyonu

$$\text{Maks } c_j x_j \quad (4.29)$$

Kısıt

$$\sum_{j=1}^n A_{ij} x_j \leq B_i \quad (4.30)$$

$$\mu_i(x) = \begin{cases} 1 & A_{ij} x_j \leq B_i \\ 1 - \left[\frac{A_{ij} x_j - B_i}{P_i} \right] & B_i \leq A_{ij} x_j \leq B_i + P_i \\ 0 & A_{ij} x_j \geq B_i + P_i \end{cases} \quad (4.31)$$

Bu modelde $\Theta \in [0 - 1]$ parametre olmak üzere $(1-\alpha)$ ile ifade edilerek parametrik çözüm elde edilir. Burada çözüm için $\Theta=0$ durumunda $\alpha=1$ olur. Θ memnuniyet derecesini ifade eder ve modelin gösterimi Denklem 4.32 ve 4.33'deki gibi olur.

Amaç fonksiyonu

$$\text{Maks } c_j x_j \quad (4.32)$$

Kısıt

$$\sum_{j=1}^n A_{ij} x_j \leq B_i + P_i(1 - \alpha) \quad (4.33)$$

5. ENDÜSTRİYEL SİMBİYOZ AĞI KURULACAK ÖNCELİKLİ SEKTÖRÜN BELİRLENMESİ

Tez çalışmasında Ankara’da bulunan bir organize sanayi bölgesinde simbiyoz ağı kurulum sürecinin planlanması ele alınacaktır. OSB bölgesi coğrafi olarak 2000 hektarın üzerinde alana sahip bir sanayi bölgesi olmakla birlikte faaliyet gösteren işletmeler 40.000’den fazla kişiye istihdam imkanı sağlamaktadır. Toplamda 30 farklı sektörde faaliyet gösteren 260 adet işletme mevcuttur. Bu bölgede simbiyoz ağı kurulumuna ilişkin bir problem mevcuttur. Kurulum sürecinde ortaya çıkan bu problemler üç başlık altında sunulmaktadır. Bunlardan ilki endüstriyel simbiyoz ağı kurulacak öncelikli sektörün belirlenmesi olarak tanımlanmıştır.

5.1 Problem Tanımı

Endüstriyel parkların kurulması için endüstriyel simbiyoz olanaklarının tespit edilmesi endüstriyel park yöneticilerinin önemli bir karar problemidir. Endüstriyel park içerisinde işletme sayısının ve bu işletmelerin sektörel olarak çeşitlenmesi nedeniyle her işletmenin veya sektörün simbiyoz olanaklarının tek aşamada tespit etmesini zorlaştırmaktadır. Aslında var olan potansiyel ilişkilerin tespit edilerek endüstriyel simbiyoz olanaklarının araştırılması sektörlerin önceliklendirilmesi karar verme sürecini kolaylaştırmaktadır. Bu bölümde bir endüstriyel parkta simbiyoz olanaklarının değerlendirilmesi için endüstriyel simbiyozun kurulmasında etkili olan kriterlerin belirlenmesi ve ES ağı kurulabilecek öncelikli sektörün belirlenmesi amaçlanmıştır.

Bu amaç çerçevesinde ilk olarak endüstriyel simbiyoz ağının kurulmasında etkili olan kriterler belirlenerek, ikinci aşamada ise endüstriyel parkta faaliyet gösteren işletmeler sektörel olarak gruplandırılıp sektörler önceliklendirilmiştir. Önceliklendirmenin sektörel olarak yapılmasının en önemli nedeni simbiyoz ağının sürdürülebilirlik riskini dikkate almaktan kaynaklıdır. Endüstriyel simbiyoz ağının bir işletmeye özgü olarak kurulması halinde işletmenin varlığını sürdürememesi simbiyoz ağının da varlığının sona ermesi anlamına gelmektedir. Bu nedenle sektörde faaliyet gösteren işletme

sayılarının azalması veya artmasının sürecin sürdürülebilirliğini bozmaması için sektör bütünüyle değerlendirilmiştir. Sektörde faaliyet gösteren işletmelerin atıkları da ortak olduğu için sektörün simbiyoz potansiyelinin yüksek olması önem arz etmektedir.

5.2 Kriterlerin Belirlenmesi ve Ağırlıklarının Hesaplanması

Sektörlerin önceliklendirilmesi için literatürde endüstriyel simbiyoz ağının kurulmasına yönelik etkili kriterlere ilişkin çalışmalar sınırlıdır. Literatürde yer alan sınırlı çalışmaların çalışmaların yanı sıra üç akademisyen, bir atık yönetim uzmanı ve bir çevresel risk değerlendirme ve atık yönetim uzmanı görüşleri neticesinde belirlenmiştir. Bu bağlamda çalışmada beş farklı uzmanın görüşü alınmıştır. İki uzman endüstriyel simbiyoz alanında akademik çalışmaları olan kişilerdir. Diğer iki uzman ise sektör deneyimi olan kişilerden oluşuyor. Bunlardan biri endüstri parkındaki Çevresel Risk Değerlendirme ve Atık Yönetim Merkezi Müdürü. Diğerisi ise Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı tarafından yetkilendirilen atık yönetimi danışmanıdır. Kriterler Çizelge 5.1'de verilmiştir.

Çizelge 5.1. Endüstriyel simbiyoz ağı için öncelikli sektörün belirlenmesinde etkili olan kriterler

Ana Kriterler	Alt Kriterler	Tanımlar
Ekonomik Faktörler (C1)	Sektörün Hammadde Maliyeti (C11)	Sektörün ürettiği atıkların parasal olarak değerlendirilmesini ifade eder. Sektörde hammadde satın almak yerine atık malzeme satın almanın tercih edildiği bir durum ortaya çıkmalı.
	Atığın Kullanım Potansiyeli (C12)	Atıkların ne kadarının tekrar üretime dahil edilebileceğini ifade eder.
	Endüstriyel Park İçinde Sektörün Payı (C13)	Endüstri parkı içerisinde sektörde faaliyet gösteren işletme sayısını temsil etmektedir.
	Atık Miktarı (C21)	Bir üretim döneminde ortaya çıkan atık miktarı.
Çevresel Faktörler (C2)	Atık Türü (C22)	Sektörün ürettiği atık türü (EWC kodları aracılığıyla değerlendirilebilir).
	Atığın Çevresel Etkisi (C23)	Sektörde oluşan atıkların bertaraf edilmesi sürecinde çevreye etkilerinin değerlendirilmesi.
	Atık Dönüşüm Hızı (C24)	Sektörde 1 ton atığın ortaya çıkma süreci.
	Sektör Atığının Talebi (C31)	Sektörde oluşacak atıkların alıcı sayısı. Atığın bir müşterisinin olması atığa olan talebin sürekliliğini göstermektedir. Simbiyoz ağının sürdürülebilirliğinde etkilidir
Sürdürülebilirlik Faktörleri (C3)	Sektörün İstihdam Potansiyeli (C32)	Sektörde çalışan personel sayısı. Sosyal sürdürülebilirlik açısından önemli bir kriterdir.

5.3 Kriter Ağırlıklarının Hesaplanması

Kriter ağırlıklarının hesaplanmasında Bölüm 4.2'de özetlenen yöntem adımları sırasıyla uygulanmıştır. Uzman görüşleri ile karşılaştırma matrisi oluşturmak için Çizelge 5.2'de Pisagor bulanık dilsel ifadeleri kullanılmıştır.

Çizelge 5.2. PB-AHP dilsel karşılaştırma ölçeği (Ak ve Gul, 2019)

Dilsel Değişken	Pisagor Bulanık Sayılar			
	μ_L	μ_U	v_L	v_U
Kesin Düşük Önemli (KD)	0.0	0.0	0.9	1.0
Çok Düşük Önemli (ÇD)	0.1	0.2	0.8	0.9
Düşük Önemli (D)	0.2	0.35	0.65	0.80
Ortalamanın Altında Önemli (OA)	0.35	0.45	0.55	0.65
Eşit (E)	0.1965	0.1965	0.1965	0.1965
Ortalama Önemli (O)	0.45	0.55	0.45	0.55
Ortalamanın Üstünde Önemli (OÜ)	0.55	0.65	0.35	0.45
Yüksek Önemli (Y)	0.65	0.80	0.2	0.35
Çok Yüksek Önemli (ÇY)	0.8	0.9	0.1	0.2
Kesinlikle Yüksek Önemli (KY)	0.9	1.0	0.0	0.0

Kriterlerin değerlendirilmesi için uzman görüşleri ile elde edilen dilsel karşılaştırma matrisi Çizelge 5.3'te sunulmaktadır.

Çizelge 5.3. Sektörlerin önceliklendirilmesi için PB-AHP karşılaştırma matrisi

Ana Kriterler		C1	C2	C3			
C1		E	OÜ	OÜ			
C2		OA	E	O			
C3		OA	O	E			
Tutarlılık Oranı = 0,001							
Ekonomik Faktörler		C11	C12	C13			
C11		E	OA	O			
C12		OÜ	E	OÜ			
C13		O	OA	E			
Tutarlılık Oranı = 0,001							
Çevresel Faktörler							
	C21	C22	C23	C24	Sürdürülebilirlik Faktörleri	C31	C32
C21	E	OA	D	OÜ	C31	E	ÇY
C22	OÜ	E	OA	OÜ	C32	ÇD	E
C23	Y	OÜ	E	Y	Tutarlılık Oranı = 0,001		
C24	OA	OA	D	E			
Tutarlılık Oranı = 0,076							

Hesaplanan kriter ağırlıkları Çizelge 5.4'te özetlenmiştir. Ana kriterlerin ağırlıkları incelendiğinde ekonomik faktörlerin ön plana çıktığı görülmektedir. C2 ve C3

kriterlerinin ise kriter ağırlıkları birbirine eşittir. Bu iki kriterin önem düzeylerinin birbirine yakın olması dikkat çekicidir. Her üç kriter de endüstriyel simbiyozun en temel hedeflerini içermektedir. Alt kriterlerde de anlamlı ve gerçek hayatla tutarlı sonuçlar bulunmaktadır. Endüstriyel simbiyoz ağının kurulmasında öncelikli sektörlerin belirlenmesinde etki düzeyi en yüksek olan kriterin “atığın kullanım potansiyeli” kriteridir. Bu kriterin ağırlığına en yakın kriter ise “sektör atığının talebi” kriteridir. Bu kriteri önem düzeyi açısından C23, C13 ve C11 kriterleri takip etmektedir. Diğer kriterlerin ağırlığı %10’un altında kalmaktadır. Bu sonuçlar çerçevesinde simbiyoz ağının sürdürülebilir olabilmesi için atığın yeniden üretime dahil edilebilir ve sektörün ürettiği atıklara yönelik belirli bir talebin olması gerektiği görülmüştür.

Çizelge 5.4. Öncelikli sektörlerin belirlenmesinde etkili olan kriterleri ağırlıkları

Ana Kriterler	Ana Kriter Ağırlıkları	Alt Kriterler	Alt Kriter Ağırlıkları	
			Yerel	Global
Ekonomik Faktörler (C1)	0,4840	Sektörün Hammadde Maliyeti (C11)	0,2469	0,1195
		Atığın Kullanım Potansiyeli (C12)	0,4946	0,2394
		Endüstriyel Park İçinde Sektörün Payı (C13)	0,2584	0,1251
Çevresel Faktörler (C2)	0,2580	Atık Miktarı (C21)	0,1563	0,0403
		Atık Türü (C22)	0,2369	0,0611
		Atığın Çevresel Etkisi (C23)	0,5077	0,1310
		Atık Dönüşüm Hızı (C24)	0,0991	0,0256
Sürdürülebilirlik Faktörleri (C3)	0,2580	Sektör Atığının Talebi (C31)	0,9060	0,2337
		Sektörün İstihdam Potansiyeli (C31)	0,0940	0,0243

Kriterlerin önem düzeylerinin gerçek hayat açısından anlamlılığının değerlendirmesi için uzmanlar ile sonuçlar tartışılmıştır. Değerlendirme neticesinde kriterlerin önem düzeyinin gerçek hayat için tutarlı olduğu ifade edilmiştir. Uzmanlar üretim neticesinde atığın oluşma potansiyelinin her zaman var olduğu ancak simbiyoz ağının kurulması ve sürdürülmesi için atığı tekrar kullanma potansiyelinin ve atığa talebin olmasının vazgeçilmez bir faktör olduğunu ifade etmektedir. Aynı zamanda endüstriyel simbiyoz yaklaşımının amaçları arasında ekonomik amaçlar ile birlikte çevresel amaçlarında en temel amaçları arasında yer aldığı ifade edilmektedir. Ekonomik faydaların hemen hemen her tür atıktan elde edildiği ifade edilerek çevresel zararların da minimize edilmesinin önemli bir problem olduğu belirtilmektedir. Aynı zamanda kamusal otoriterler çevreye yönelik önemli düzenlemeler ve yaptırımlar

uygulamaktadır. Bu nedenle çevresel faktörler atığı değerlendirmesindeki en önemli kaygılar arasında yer almaktadır.

5.4 Alternatiflerin sıralanması

Kriter ağırlıklarının hesaplanmasında Pisagor bulanık TOPSIS yönteminin adımları sırasıyla uygulanmıştır. Karar matrisinin oluşturulmasında grup karar verme tekniği ile değerlendirme yapılarak karar vericilerin ortak kararları belirlenmiştir. Değerlendirmede dört uzman bir araya gelerek görüşlerini bildirmiştir. Uzmanlardan üçü endüstriyel simbiyoz alanında akademik yayınları bulunan bir uzman ise Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'ndan yetkili atık yönetim uzmanıdır. Sektörde ve akademik alanda deneyimli uzmanlar ile değerlendirmeler yapılmıştır. Değerlendirmelerde Çizelge 5.5'te verilen dilsel terimler kullanılmaktadır.

Çizelge 5.5. Pisagor bulanık TOPSIS yöntemi dilsel ifadeler

Pisagor bulanık sayılar (μ, v)				
Dilsel terimler	Kısaltmalar	μ	v	
Kesin düşük	KD	0,1	0,99	
Çok düşük	ÇD	0,1	0,97	
Düşük	D	0,25	0,92	
Orta düşük	OA	0,4	0,87	
Orta	O	0,5	0,8	
Orta yüksek	OY	0,6	0,71	
Yüksek	Y	0,7	0,6	
Çok yüksek	ÇY	0,8	0,44	
Kesin yüksek	KY	0,1	0	

Uzmanların görüşleri ile 30 sektör her bir kritere göre dilsel ifadeler ile değerlendirilmiştir. Yapılan değerlendirme neticesinde elde edilen veri matrisi Çizelge 5.4'teki gibidir. Çizelge 5.6'te alternatifler satırda, kriterler ise sütunda yer almaktadır.

Çizelge 5.6. Öncelikli sektörün belirlenmesi için dilsel karar matrisi

Alternatifler	C11	C12	C13	C21	C22	C23	C24	C31	C32
A1	OA	KD	D	KD	KD	KD	KD	KD	KD
A2	O	OA	OA	ÇD	OA	OA	OA	OA	O
A3	OA	ÇD	D	ÇD	KD	ÇD	ÇD	KD	ÇD
A4	OA	ÇD	D	ÇD	KD	ÇD	D	ÇY	ÇD
A5	O	OA	OA	O	O	OA	Y	OY	O
A6	O	ÇD	D	ÇD	ÇD	ÇD	D	OA	OA
A7	Y	OY	OY	Y	Y	OY	Y	Y	Y
A8	ÇY	ÇY	KY	ÇY	ÇY	ÇY	ÇY	KY	Y
A9	OY	Y	O	Y	O	Y	Y	O	Y
A10	OY	D	OA	D	ÇD	D	Y	D	OY
A11	OY	D	OA	D	ÇD	D	Y	D	OY
A12	O	D	D	KD	ÇD	D	D	ÇD	D
A13	O	ÇD	D	KD	ÇD	ÇD	D	ÇD	D
A14	O	ÇD	ÇD	D	ÇD	ÇD	D	ÇD	D
A15	OA	ÇD	ÇD	OA	D	ÇD	D	ÇD	D
A16	Y	Y	OY	OY	Y	Y	OY	Y	OY
A17	OA	ÇD	D	D	D	ÇD	D	D	OA
A18	OY	O	OA	D	OA	O	OY	O	OA
A19	OY	O	OA	D	OA	O	O	O	OA
A20	OA	D	D	D	D	D	OA	D	Y
A21	OA	D	D	D	D	D	OA	O	OA
A22	D	D	D	OA	D	D	OA	O	OA
A23	ÇY	KY	OA	ÇY	ÇY	KY	Y	ÇY	OA
A24	OA	Y	OA	Y	OY	Y	Y	Y	OY
A25	Y	OA	OA	O	OA	OA	OY	O	OA
A26	OA	OA	D	O	D	OA	Y	D	O
A27	OA	OA	D	O	OA	OA	Y	D	OA
A28	D	ÇD	D	D	D	ÇD	OA	D	O
A29	D	O	D	D	D	O	Y	D	O
A30	Y	Y	OY	OY	Y	Y	Y	ÇY	OA

Alternatiflerin sıralanmasına ilişkin Pisagor bulanık TOPSIS yöntemi sonuçları Çizelge 5.7’de özetlenmektedir. Pisagor bulanık TOPSIS yöntemi sonuçlarına göre OSB’de öncelikli sektörün döküm sektörü olduğu tespit edilmiştir. Öncelik açısından ikinci sırada petro ve kimya sektörü üçüncü öncelikli sektör ise demir işleri sanayi sektörü olduğu belirlenmiştir. Elde edilen sonuçların tutarlılığı için uzmanlar ile değerlendirmeler yapılmıştır. Döküm sanayinde ortaya çıkan atıklar miktar açısından oldukça fazladır. Bununla birlikte demir cürufu, döküm kumu ve çeşitli demir atıkları çıkabilmektedir. Bu atıklardan döküm kumu çimento sektöründe, inşaat, asfalt ve madeni eşya gibi çeşitli sektörlerde kullanılmakta ve atığın müşteri potansiyeli oldukça fazladır. Dolayısıyla döküm sektörü hem atığın değerlendirilmesi açısından

önemli bir sektörde hem de atığın bertaraf maliyeti açısından yüksek maliyetlerin ortaya çıkabileceği bir sektördür. Bu nedenle uzmanlar döküm sektörünün öncelikli sektör çıkmasını endüstriyel simbiyoz potansiyelleri açısından gerçek hayat ile tutarlı olduğu ifade etmektedir.

Çizelge 5.7. Öncelikli sektörlerin PB-TOPSIS yöntemine göre sıralama sonuçları

Alternatifler		D(Xi,X+)	D(Xi,X-)	Yakınlık	Sıralama
Altyapı Hizmetleri Sanayi	A1	6,34	0,17	-7,75	30
Alüminyum sanayi	A2	4,87	1,64	-5,70	17
Araç Üstü Ekipmanları	A3	6,23	0,28	-7,60	29
Asansör Akümülatör Sanayi	A4	6,14	0,38	-7,46	28
Ağaç İşleri Sanayi	A5	3,90	2,61	-4,34	8
Ağır Yük ve Hafif Yük Sistemleri Arşiv Rafları	A6	5,67	0,84	-6,82	22
Demir İşleri Sanayi	A7	2,02	4,49	-1,72	3
Döküm Sanayi	A8	0,81	5,89	0,00	1
Diğer İmalat Sanayi	A9	2,54	3,97	-2,44	6
Elektronik Sanayi	A10	4,63	1,88	-5,36	14
Elektrik Sanayi	A11	4,63	1,88	-5,36	14
Endüstriyel Yıkama Makineleri	A12	5,80	0,71	-7,00	24
Gezer Köprülü Elektrikli Tavan Vinçleri	A13	5,96	0,55	-7,21	27
Havalandırma Sistemleri ve Tahkimat Sistemleri	A14	5,94	0,57	-7,19	26
Isıtma ve Klima Cihazları Sanayi	A15	5,87	0,64	-7,10	25
Kauçuk ve Lastik Sanayi	A16	2,16	4,35	-1,91	5
Konveyör Sistemleri ve Yedek Parça İmalatı	A17	5,72	0,79	-6,88	23
Madencilik Sanayi	A18	4,23	2,28	-4,81	10
Madeni Eşya Sanayi	A19	4,35	2,15	-4,98	11
Makine ve Alet Sanayi	A20	5,11	1,40	-6,03	18
Matbaa Sanayi	A21	5,27	1,24	-6,26	20
Muhtelif Gıda Sanayi	A22	5,27	1,24	-6,26	19
Petro ve Kimya Sanayi	A23	1,90	4,84	-1,51	2
Plastik Sanayi	A24	2,62	3,89	-2,55	7
Savunma Sanayi	A25	4,11	2,40	-4,63	9
Taşıt Araçları Sanayi	A26	4,62	1,89	-5,35	12
Tekstil Giyim Sanayi	A27	4,63	1,88	-5,36	13
Zirai Alet ve Yedek Parça Sanayi	A28	5,62	0,89	-6,74	21
İnşaat ve Tesisat Mühendislikleri Sanayi	A29	4,70	1,81	-5,46	16
İzabe ve Hadde Sanayi	A30	2,09	4,42	-1,81	4

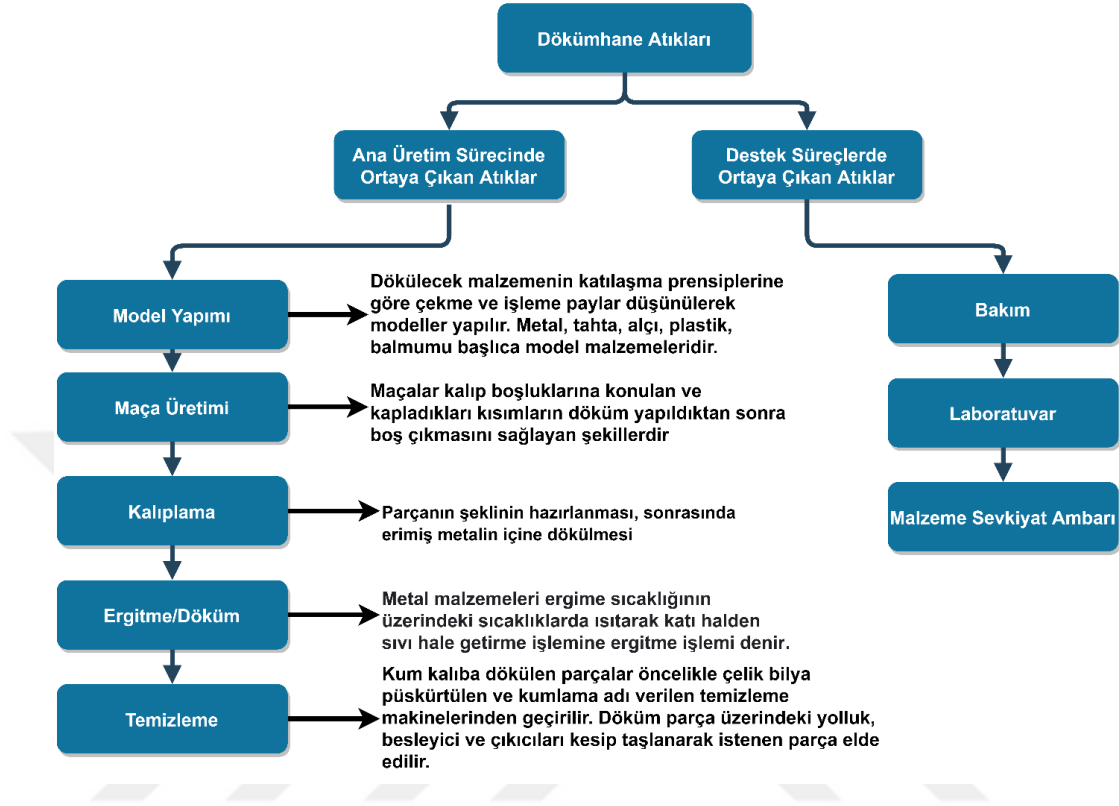
6. ENDÜSTRİYEL SİMBİYOZ AĞINA KATILACAK ALICI İŞLETMELERİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Çalışmanın ikinci aşamasında bir önceki aşamada öncelikli sektör olarak belirlenen döküm sektöründe ortaya çıkan atıkları alabilecek işletmelerin tespit edilmesi ve bu işletmelerin endüstriyel simbiyoz ağı açısından uygunlukları değerlendirilmektedir. Bu noktada döküm sektörünün atıklarını alabilecek 42 adet işletme tespit edilmiştir. Bu işletmelerin her biri döküm sektöründe ortaya çıkan farklı atıkları talep edebilmektedir. İşletmelerin endüstriyel simbiyoz ağı için değerlendirilmesi atıkları alabilecek işletmelerin atıklardan fayda sağlayabilmesi açısından önemlidir. Sadece talep söz konusu olduğundan Simbiyotik ilişki kurmak simbiyoz ağının sürdürülebilirliği ve yasal yükümlüklerin yerine getirilmesi açısından sorun teşkil edebilmektedir. Bu nedenle alıcı işletmelerin değerlendirilmesi önem arz etmektedir. Bu aşamada ele alınan bu problem de karar problemi olarak değerlendirilip karar analizi yaklaşımı ile problemin çözümü gerçekleştirilmiştir. Problem çözümüne ilişkin adımlar takip eden alt bölümlerde özetlenmektedir.

6.1 Döküm Sektörü

Döküm sektörü hemen hemen tüm sanayi sektörlerine girdi üretebilen bir sektördür (www.aso.org.tr, 2017). Üretim faaliyetinde bulunan otomotiv, tarım, savunma sanayi ve sağlık gibi birçok sektöre girdi üretebilen bir sektördür. Dünya çapında üretilen sanayi ürünlerinin %90'ında en az bir adet döküm ürünü bulunmaktadır (www.aso.org.tr, 2017). Bu nedenle döküm sektörü üretim hacmi diğer sektörlerle göre oldukça yüksek bir sektördür. Ülkemiz döküm sektöründe üretim hacmi açısından önde gelen sektörler arasında yer almaktadır. Dünya döküm üretimi 2020 yılı istatistiklerine göre Türkiye döküm sektöründe üretim sıralamasına göre 2.170.759 ton üretim ile Dünya'da 9. Avrupa'da ise 2. sırada yer almaktadır. 4.1 milyar Euro'luk ihracat hacmi ile ekonomik olarak yüksek katkılar sunmaktadır (TÜDOKSAD, 2022).

Döküm sektöründeki bu üretim sürecinde önemli düzeyde atık çıkmaktadır. Atıkların ortaya çıktığı ana süreçler Şekil 3'teki gibi sıralanmaktadır (T.C. Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, 2012) .



Şekil 6.1. Döküm sektöründe atıkların ortaya çıktığı süreçler

Bu süreçlerde katı, sıvı ve gaz olmak üzere üç farklı formda atık ortaya çıkmaktadır. Atıklar işletmeler ile yapılan ziyaretler ve çevre şehircilik bakanlığının raporlarına göre belirlenmiştir (Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, 2012). Bu atıklar ve EWC (European Waste Code) Çizelge 6.1’de listelenmektedir.

Çizelge 6.1. Döküm Sektöründe Ortaya Çıkan Atıklar ve Avrupa Atık Kodları

EWC Kodu	Atık Türü
10.02.01	Cüruf
10.09.05	Döküm Kumu
10.09.09	Baca gazı Tozu
10.09.05	Maça
10.09.12	Yolluk-Çapak
10.10.12	Demir Tozu
15.01.03	Ahşap Hurda
15.01.02	Plastik Atık
10.02.11	Atık Yağ
10.02.12	Atık Su
10.09.13	Kimyasal Atıklar
10.02.15	Atık Çamuru

Döküm sektöründe atık alabilecek işletmeler NACE kodlarına göre 6 farklı grupta kategorize edilebilmektedir. Bu sektörlerin kodları ve açıklamaları Çizelge 6.2’de yer almaktadır (Genc vd., 2020). Bu NACE kodlarına göre endüstriyel parkta faaliyet gösteren işletmeler tespit edilmiştir.

Çizelge 6.2. Döküm Sektöründe Ortaya Çıkan Atıkları Alabilecek Sektörler ve NACE kodları

Alıcı İşletme NACE Kodu	Sektör
23.61	İnşaat Amaçlı Beton Ürünleri (Toprak Ürünleri)
22.21	Plastik levha, boru ve profil imalatı (Plastik ve Kauçuk)
24.20	Çelikten tüp, boru, içi boş profil ve ilgili bağlantı parçalarının imalatı (Demir Çelik)
20.12	Boya ve Pigment Üretimi (Kimyevi Madde)
23.51	Çimento Üretimi (Toprak Ürünleri)
42.11	Yol İnşaatı (Altyapı İnşaatı)

6.2 Kriterlerin Belirlenmesi ve Ağırlıkların Hesaplanması

Öncelikli sektörde ortaya çıkan atıkları alacak işletmelerin endüstriyel simbiyoz ağına katılmadaki uygunluk seviyelerinin belirlenmesi için etkili olan kriterler uzman görüşleri eşliğinde belirlenmiştir. Burada dört uzmanın görüşleri alınmıştır. Uzmanlara ilişkin bilgiler Çizelge 6.3’te sunulmaktadır.

Çizelge 6.3. Uzmanlara ilişkin bilgiler

Uzman Sayısı	Sektör	Tecrübe Yılı	Unvanı	Karşılaştırma Tekniği
1	Tehlikeli Atık Danışmanlığı	15	Atık Yönetim Danışmanı	
2	Döküm Sektörü	8	Çevre Mühendisi	Grup Karar
3	Akademisyen	3	Prof. Dr.	Verme
4	Çevresel Risk Değerlendirme Uzmanı	15	Çevre Mühendisi	Tekniği

İşbirliği yapacak işletmeler örgüte özgü faktörler, ekonomik faktörler, çevresel faktörler ve atığa özgü faktörler dikkate alınarak değerlendirilmek üzere bu kriterlerin önem düzeyleri belirlenmiştir. Bu kriterlerinin önem düzeylerinin hesaplanması için Analitik Hiyerarşi Prosesi yöntemi kullanılmıştır. Ancak kriterlerin değerlendirilmesinde net bir değerlendirmenin mümkün olmaması nedeniyle bulanık mantık yaklaşımlarından faydalanılmıştır. Değerlendirmenin güçlü ve kapsamlı olması için Pisagor bulanık setler tercih edilerek Pisagor Bulanık AHP yöntemi ile

kriterlerin önem düzeyleri hesaplanmıştır. Kriter ağırlıklarına ilişkin sonuçlar Çizelge 6.4’te özetlenmektedir.

Çizelge 6.4. İşletmelerin endüstriyel simbiyoz ağına katılmak için uygunluğunu değerlendirme etkili olan kriterler

Ana Kriterler	Alt Kriterler	Açıklamalar
Örgütsel Faktörler (K1)	Güvenilirlik (K1.1)	Atık alıcı ve atık üretici işletme atıkların transferi ve yönetimi sürecinde kanuni yükümlülükler uygun davranacağı konusunda birbirine karşı güveni ifade eder.
	Süreklilik (K1.2)	Atık alıcı işletmenin taleplerinin sürekli temin edilebilmesi ve atık üretici işletmenin sürekli arz sağlayabilmesini ifade eder.
	Atık devir hızı (K1.3)	Sektörde 1 ton atığın ortaya çıkma süreci.
	Üretim kapasitesi (K1.4)	Alternatif işletmelerin belirli bir seviyenin üzerinde üretim kapasitesine sahip olması.
Atık faktörü (K2)	Atığın depolanma koşulları (K2.1)	Atık alıcı ve atık üretici işletmenin atık depolama sürecinde katlanması gereken maliyetleri ifade eder. Bir işletme atığını satarken katlanacağı maliyeti bertaraf sürecinde de katlanır ise atık alışveriş sürecine gerek duyulmayacaktır. Bu nedenle aynı şekilde atık alıcı işletme atığı aldığında depolama için ekstra maliyetlere katlanması durumunda atık almayı tercih etmeyecektir.
	Ara işlem gereksinimi (K2.2)	Satın alınacak atığın üretime katılması için herhangi bir ara işleme gereksinim duyup duymadığını ifade eder.
	Atığın verim düzeyi (K2.3)	Satın alınacak işletmenin üretime sağlayacağı verimi ifade eder. Hammaddeye oranla sağladığı verim.
Ekonomik Faktörler (K3)	Ulaştırma maliyetleri (K3.1)	Atık alışverişi neticesinde atığın alıcı işletmeye ulaştırılması sürecinde ortaya çıkan maliyetleri ifade etmektedir.
	Finansal fayda (K3.2)	İşletmelerin atık alışverişi için katlanacağı veya elde edeceği finansal faydaları ifade eder. Bu fayda alıcı işletme için daha uygun maliyetli hammadde, satıcı için ise atık bertaraf maliyetinden kurtulma ve atık üründen elde edilen kazancı ve benzerlerini ifade eder.
	İşletme büyüklüğü (K3.3)	İşletmenin yatırım büyüklüğü ve personel düzeyinde işletme büyüklüğünü ifade eder.
	Pazar payı (K3.4)	İşletmenin sahip olduğu pazar payı.
Çevresel Faktörler (K4)	Enerji tüketim düzeyi (K4.1)	İşletmenin üretim sürecinde tükettiği enerji miktarı.
	Baca gazı emisyonları (K4.2)	İşletmenin üretimi sonucu ortaya çıkan sera gazı emisyonlarını ifade eder.

Uzman görüşleri doğrultusunda elde edilen ikili karşılaştırma matrisi Çizelge 6.5’te sunulmaktadır.

Çizelge 6.5. İşletmelerin uygunluk seviyelerini etkileyen kriterlerin ikili karşılaştırma matrisi

Ana Kriterler	K1	K2	K3	K4	Örgütsel Faktörler	K1.1	K1.2	K1.3	K1.4
K1	E	O	OA	O	K1.1.	E	OÜ	Y	Y
K2	O	E	OA	O	K1.2.	OA	E	OÜ	O
K3	OÜ	OÜ	E	OÜ	K1.3.	D	OA	E	O
K4	O	O	OA	E	K1.4.	D	O	O	E
Tutarlılık Oranı = 0,001					Tutarlılık Oranı = 0,043				
Atığa Özgü Faktörler	K2.1	K2.2	K2.3		Ekonomik Faktörler	K3.1	K3.2	K3.3	K3.4
K2.1.	E	OA	OA		K3.1.	E	OA	Y	Y
K2.2.	OÜ	E	E		K3.2.	OÜ	E	Y	Y
K2.3.	OÜ	E	E		K3.3.	D	D	E	O
Tutarlılık Oranı = 0,001					K3.4.	D	D	O	E
Çevresel Faktörler	K4.1	K4.2			Tutarlılık Oranı = 0,057				
K4.1.	E	O							
K4.2.	O	E							
Tutarlılık Oranı = 0,001									

Kriter ağırlıklarının hesaplanmasında Pisagor bulanık AHP yöntemin adımları sırasıyla uygulanmıştır. Hesaplanan kriter ağırlıkları Çizelge 6.6’da özetlenmektedir. Endüstriyel simbiyoz ağının kurulmasında işbirliği yapılacak işletmelerin seçimine etki düzeyi en yüksek kriter ana kriter grubunda “ekonomik faktörler” kriteridir. İşletmeler endüstriyel simbiyoz ağının kurulumuna yönelik iş birliklerinde öncelikli olarak ekonomik unsurlar dikkate aldığı görülmektedir. Ekonomik faydası olmayan ilişkilerin sürdürülebilir olmayacağı ifade edilebilir. Diğer kriterlere bakıldığında ise kriter ağırlıkları birbirine yakın çıktığı görülmüştür. Örgütsel faktörler açısından bakıldığında ikili ilişki kurulacak işletmelerin sürecin sürdürülebilirliğine yönelik unsurlar ön plana çıkmaktadır. Atıkların değişimi yalnızca bir değiş tokuş sürecinden ibaret değildir. Atığı üreten işletme kadar atığı alan işletmede atığı yönetiminden sorumludur. Bu nedenle işletmelerin birbirilerine güvenmesi önem arz etmektedir. Elde edilen sonuçlar ile güvenilirlik kriterinin önem düzeyi de bunu ortaya çıkarmaktadır. Kriter ağırlıkları Çizelge 6.6’da özetlenmektedir.

Çizelge 6.6. İşletmelerin endüstriyel simbiyoz ağına uygunluğunu etkileyen kriterlerin ağırlıkları

Ana Kriterler	Ana Kriter Ağırlıkları	Alt Kriterler	Alt Kriter Ağırlıkları	
			Yerel Ağırlıkları	Global Ağırlıkları
Örgütsel Faktörler (K1)	0,2110	Güvenilirlik (K1.1)	0,508	0,107
		Süreklilik (K1.2)	0,199	0,042
		Üretim kapasitesi (K1.3)	0,139	0,029
		Atık devir hızı (K1.4)	0,154	0,032
Atık Faktörü (K2)	0,1978	Atık depolama (K2.1)	0,228	0,045
		Ara işlem gereksinimi (K2.2)	0,386	0,076
		Atığın verim düzeyi (K2.3)	0,386	0,076
		Ulaştırma maliyetleri (K3.1)	0,378	0,144
Ekonomik Faktörler (K3)	0,3803	Finansal fayda (K3.2)	0,416	0,158
		İşletme büyüklüğü (K3.3)	0,103	0,039
		Pazar payı (K3.4)	0,103	0,039
		Enerji tüketim düzeyi (K4.1)	0,527	0,111
Çevresel Faktörler (K4)	0,2110	Emisyonlar Düzeyleri (K4.2)	0,473	0,100

6.3 Endüstriyel Simbiyoz Ağı İçin İşletmelerin Uygunluk Düzeylerine Göre Sıralanması

Kriter ağırlıklarının hesaplanmasının ardından alternatiflerin sıralanması için Pisagor bulanık TOPSIS yönteminin adımları sırasıyla uygulanmıştır. Değerlendirmelerde Çizelge 5.3'te verilen dilsel terimler kullanılmaktadır.

Uzmanların görüşleri her bir kritere göre dilsel ifadeler ile değerlendirilmiştir. Yapılan değerlendirme neticesinde elde edilen veri matrisi Çizelge 6.7'deki gibidir.

Çizelge 6.7. İşletmelerin endüstriyel simbiyoz ağı için uygunluk seviyelerinin değerlendirilmesine ilişkin bulanık karar matrisi

Alternatifler	Kriterler												
	K11	K12	K13	K21	K22	K23	K24	K31	K32	K33	K34	K41	K42
A1	OY	OY	O	O	Y	ÇY	OY	OY	OY	OY	OY	OY	O
A2	O	OY	O	O	Y	ÇD	O	O	OY	O	O	O	OY
A3	Y	ÇY	Y	Y	Y	ÇY	Y	O	Y	OY	Y	Y	Y
A4	Y	ÇY	Y	Y	Y	ÇY	Y	O	Y	OY	Y	Y	Y
A5	OA	OY	D	D	Y	Y	OA	O	Y	OA	OA	OA	O
A6	OY	Y	O	O	Y	Y	OY	O	Y	O	OY	OY	OY
A7	OY	Y	OY	OY	Y	ÇY	OY	O	Y	OY	OY	OY	Y
A8	O	Y	OA	OA	Y	ÇY	O	O	Y	OY	OY	O	Y
A9	O	Y	O	O	OY	ÇY	OY	OY	Y	O	O	O	OY
A10	OY	O	OY	OY	ÇD	OA	OY	O	OY	Y	Y	OY	OY
A11	O	O	OA	OA	ÇD	ÇD	O	O	OY	O	O	O	OY
A12	O	O	OA	OA	ÇD	ÇD	O	O	OY	O	O	O	OY
A13	OA	OA	OA	OA	ÇD	D	OA	O	OY	O	OA	OA	OY
A14	O	OY	O	O	D	D	O	OY	Y	Y	OY	O	OA
A15	OA	ÇY	D	Y	Y	KY	OA	O	Y	O	OA	OA	OA
A16	O	O	O	O	D	D	O	OY	Y	Y	O	O	OA
A17	O	Y	O	O	D	D	O	OY	Y	Y	OY	O	OA
A18	O	OA	O	O	Y	Y	O	O	OY	O	O	O	O
A19	OA	O	OA	OA	O	Y	OA	O	OY	O	O	OA	OY
A20	OA	OA	OA	OA	O	Y	OA	O	OY	O	OA	OA	OY
A21	OA	OA	D	D	O	Y	OA	O	OY	O	OA	OA	O
A22	O	O	Y	Y	O	Y	O	O	OY	OY	Y	O	OY
A23	O	O	OA	OA	O	Y	O	O	OY	O	O	O	O
A24	O	O	OA	OA	O	Y	O	O	OY	O	O	O	O
A25	OY	O	OY	OY	O	Y	OY	O	OY	OY	Y	OY	OY
A26	O	O	OA	OA	O	Y	O	O	OY	O	O	O	O
A27	O	O	OA	OA	O	Y	O	O	OY	OA	O	OA	O
A28	O	O	OA	OA	O	Y	O	O	OY	O	OA	O	O
A29	OA	OA	OA	OA	O	OY	OA	O	OY	O	OA	OA	OA
A30	OA	OA	OA	OA	O	OY	OA	O	OY	O	OA	OA	OA
A31	O	OA	O	O	D	D	O	O	OA	O	OA	O	OY
A32	O	OA	OA	OA	D	D	O	O	OA	O	OA	O	O
A33	OY	ÇY	Y	Y	Y	KY	OY	O	Y	O	Y	OY	Y
A34	OY	Y	Y	Y	OY	Y	O	O	Y	OY	O	OY	O
A35	OA	O	OY	Y	OY	ÇY	O	O	Y	Y	O	O	O
A36	O	Y	O	O	OY	ÇY	O	O	Y	OY	O	O	O
A37	OY	OY	O	O	Y	ÇY	OY	OY	OY	OY	OY	OA	O
A38	O	Y	OY	OY	OY	ÇY	O	O	Y	O	O	O	O
A39	D	OY	D	D	O	Y	D	O	Y	O	D	D	O
A40	OA	OY	OA	OA	O	OY	OA	O	Y	O	OA	OA	OA
A41	O	OY	O	O	O	OY	O	O	Y	O	O	O	OY
A42	O	OY	OA	OA	O	O	O	O	OY	O	O	O	OY

Alternatiflerin sıralanmasına ilişkin Pisagor bulanık TOPSIS yöntemi sonuçları Çizelge 6.6’da özetlenmektedir. Pisagor bulanık TOPSIS yöntemi sonuçlarına göre Döküm sektörünün atıklarını almak için en uygun alternatifler incelendiğinde 1. ve 2. Alternatif olarak çimento sektörü işletmeleri belirlenmiştir. Öncelik açısından üçüncü sırada Asfalt sektöründen bir işletme yer almaktadır. Dördüncü sırada ise ağaç işleri sanayinde faaliyet gösteren bir palet işletmesi yer almaktadır. Bu sektörlerde döküm sektörünün atıklarını

kullanma potansiyeli oldukça yüksek ve ara işlem gereksinimi az olması nedeniyle sonuçlar gerçek hayatta uygulama açısından anlamlıdır.

Çizelge 6.8. İşletmelerin endüstriyel simbiyoz için uygunluk seviyelerine ilişkin sonuçlar

Alternatif	D(Xi,X+)	D(Xi,X-)	Yakınlık	Sıra	Alternatif	D(Xi,X+)	D(Xi,X-)	Yakınlık	Sıra
A1	0,15	0,65	-2,83	6	A22	0,2	0,67	-4,14	15
A2	0,26	0,69	-5,62	26	A23	0,28	0,68	-5,5	31
A3	0,04	0,64	-0,09	1	A24	0,26	0,67	-5,5	23
A4	0,06	0,64	-0,09	2	A25	0,17	0,66	-3,39	10
A5	0,27	0,68	-5,69	28	A26	0,26	0,67	-5,5	24
A6	0,14	0,65	-2,7	5	A27	0,28	0,68	-5,94	29
A7	0,1	0,65	-1,68	3	A28	0,26	0,67	-5,62	27
A8	0,16	0,67	-3,04	9	A29	0,32	0,69	-7,14	38
A9	0,15	0,66	-2,92	7	A30	0,35	0,70	-7,14	41
A10	0,21	0,68	-4,31	16	A31	0,33	0,69	-7,36	39
A11	0,32	0,7	-6,58	37	A32	0,35	0,7	-7,87	42
A12	0,3	0,7	-6,58	34	A33	0,12	0,6	-2,17	4
A13	0,34	0,7	-7,49	40	A34	0,16	0,66	-3,01	8
A14	0,24	0,69	-5,14	20	A35	0,2	0,68	-3,98	14
A15	0,25	0,64	-5,36	21	A36	0,19	0,68	-3,85	13
A16	0,26	0,69	-5,42	22	A37	0,18	0,66	-3,51	11
A17	0,24	0,7	-4,99	18	A38	0,19	0,67	-3,78	12
A18	0,24	0,67	-5,14	19	A39	0,3	0,7	-6,62	35
A19	0,28	0,69	-6,01	30	A40	0,29	0,69	-6,3	33
A20	0,29	0,69	-6,24	32	A41	0,22	0,67	-4,55	17
A21	0,31	0,69	-6,72	36	A42	0,26	0,68	-5,55	25

7. ENDÜSTRİYEL SİMBİYOZ AĞINDA MALZEME DEĞİŞİMİ

Endüstriyel parkta döküm sektöründe birden fazla üretici diğer bir ifade ile atık ortaya çıkaran işletme mevcuttur. Aynı zamanda sektör önceki bölümde NACE kodlarına göre tasnif edildiği gibi 12 türde atık çıkarmaktadır. Bu atıkları alacak birden fazla potansiyel alıcıların varlığı, değişim miktarlarının optimal bir şekilde yapılması için önemlidir. Atıkları talep eden işletmelerin talepleri yalnızca değişim için yeterli değildir. Alıcı ve satıcı işletmeler atık değişiminde elde edecekleri faydaları da göz önünde bulundurmaktadırlar. Atıkların farklı sektörlerde kullanılabilmesi, atığın kullanılacağı sektörlerin, ürünlerin ve işletmelerin seçimi gibi çeşitli karar problemleri ortaya çıkarmaktadır. Bu kapsamda simbiyotik ilişki çerçevesinde hangi işletme ile ilişki kurulması gerektiği problemine çözüm sunulmaktadır. Ele alınan problemin doğası gereği, atıkların işletmelere sağladığı faydalar ve atıkların çeşitliliği nedeniyle her işletme için atıklar farklı düzeyde fayda sunmaktadır. Bu nedenle simbiyotik ilişkinin sürdürülebilirliğini sağlayacak kısıtlar dikkate alarak problemin matematiksel modeli kurulmaktadır. Bu bölümde sunulan modelin sınırlarını, yani modelin hangi durumlar ve, hangi parametreler ile makul bir sürede çözümleyemediğini belirlemeye çalışarak problemin karmaşıklığını incelenmiştir. Bunun için çeşitli konfigürasyonlarla (farklı kar ve maliyetler, sabit fayda düzeyleri gibi) üretim kapasitesini ve katılımcı işletme sayısını değiştirerek çeşitli örnekleri test edilmiştir. Böylelikle çalışılan problemin NP-zor olduğunu matematiksel olarak belirlenmiştir. Literatürde de ES alanında yer alan çalışmalarda ele alınan planlama problemlerinin NP-zor yapıda olduğu ifade edilmiştir (Daquin vd., 2023; Suzanne vd., 2021).

Bu bölümde üç matematiksel model önerilecektir. Bölüm 7.1’de önerilen model “Model 1” olarak adlandırılmakta, Bölüm 7.2’de önerilen model “Model 2” olarak adlandırılmakta ve Bölüm 7.3’te önerilen model ise “Model 3” olarak adlandırılmaktadır. Model 1 ve Model 2’de üç farklı senaryo ile problem incelenecektir. Bu senaryolarda arz ve talep miktarlarına göre tüm talebin karşılandığı

durum ve tüm talebin karşılanmadığı durumlar incelenecektir. Senaryolara ilişkin değişiklikler Çizelge 7.1’de özetlenmektedir.

Çizelge 7.1. Senaryolara ilişkin açıklamalar

Senaryolar	Satıcı Sayısı	Alıcı Sayısı	Atık Sayısı	Toplam Talep (Ton)	Toplam Arz (Ton)	Değişen Kısıt
Senaryo 1	10	42	12	2477,5	3121	$\sum_{i=1}^m X_{ijk} = b_{jk} \quad \forall_{j,k}$
Senaryo 2	10	42	12	2477,5	3121	$\sum_{i=1}^m X_{ijk} \leq b_{jk} \quad \forall_{j,k}$
Senaryo 3	10	42	12	3829	3119	$\sum_{i=1}^m X_{ijk} \leq b_{jk} \quad \forall_{j,k}$

Not: Modeldeki diğer kısıtlar sabit kalmakta iken Denklem (7.3) tablodaki gibi ilgili senaryoya göre değiştirilerek çözümler elde edilmiştir.

7.1 Endüstriyel Simbiyoz Ağında Malzeme Değişimi İçin Matematiksel Model: Maliyet ve Fayda Maksimizasyonu

Bu bölümde simbiyoz ağındaki malzeme değişimini sağlamada önerilen ilk model özetlenecektir. Modelin temel yapısında atık alıcı ve atık satıcı işletmelerin elde ettikleri fayda ve katlanacakları maliyetleri dikkate alan bir amaç fonksiyonu yer almaktadır. Kısıtlar arasında ise arz ve talep kısıtları ile katılımcı işletmelerin faydalarına yönelik kısıtlar mevcuttur. Her işletmenin bu ağa dahil olacağı temel varsayımlar arasındadır. Modelde kullanılan indisler, parametreleri ve karar değişkenleri aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır.

İndisler

i = Atık üreten işletme	$i = 1, \dots, m,$
j = Atık alan işletme	$j = 1, \dots, n,$
k = Atık	$k = 1, \dots, t,$

Parametreler

m : Atık üreten işletme sayısı	$m = 10$
n : Atık alıcı işletme sayısı	$n = 42$
t : Atık türü	$t = 12$

$$M = 10000$$

$$a_{ik} = i'nci \text{ işletmenin ortaya çıkardığı } k \text{ atığının miktarı (Arz miktarı)}$$

$$b_{jk} = j'nci \text{ işletmenin ihtiyaç duyduğu } k \text{ atığının miktarı (Talep miktarı)}$$

$R_k = k'$ ncü atığın bir biriminin satışından elde edilen getiri

$T_{ij} = i'$ nci işletmeden j' nci işletmeye taşınacak atığın ton başına maliyeti

$W_{jk} = j'$ nci işletmenin k atığını talep etme durumu

$L_k = k$. atığın bertaraf maliyeti

Karar Değişkenleri

$X_{ijk} =$

i' nci üreticiden j' nci alıcıya gönderilecek k' ncü atığın miktarı $\forall i, j, k$

$y_{ijk} =$

$\begin{cases} i'nci üreticiden j'nci alıcıya k'ncü atığı gönderiliyorsa 1 \\ aksi halde 0 \end{cases} \quad \forall i, j, k$

$N_{ik} = i$ satıcısının bertarafa göndereceği k atığı miktarı

Amaç Fonksiyonu

$$Max_Z = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^t (R_k * X_{ijk} - T_{ij} * X_{ijk} - L_k * N_{ik}) \quad (7.1)$$

Kısıtlar

$$\sum_{j=1}^n X_{ijk} + N_{ik} \leq a_{ik} \quad \forall i, k \quad (7.2)$$

$$\sum_{i=1}^m X_{ijk} = b_{jk} \quad \forall j, k \quad (7.3)$$

$$X_{ijk} \leq M * y_{ijk} \quad \forall i, j, k \quad (7.4)$$

$$X_{ijk} \geq y_{ijk} * 3 \quad \forall i, j, k \quad (7.5)$$

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n W_{jk} y_{ijk} \geq \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n y_{ijk} * 4 \quad \forall k \quad (7.6)$$

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n W_{Fjk} y_{ijk} \geq \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n y_{ijk} * 6 \quad \forall k \quad (7.7)$$

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n E_{jk} y_{ijk} \geq \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n y_{ijk} * 6 \quad \forall k \quad (7.8)$$

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n ENV_{jk} y_{ijk} \geq \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n y_{ijk} * 4 \quad \forall k \quad (7.9)$$

$$x_{ijk} \geq 0 \text{ ve } y_{ijk} 0 \text{ veya } 1 \quad (7.10)$$

Modelde denklem 7.1. amaç fonksiyonunu temsil etmektedir. Amaç fonksiyonu atıkların satışından elde edilen getiri, ulaşım maliyetleri ve bertaraf maliyetlerinin farkını maksimize etmeyi amaçlamaktadır. Denklem 7.2. satılabilecek ve bertaraf edilebilecek atıkların toplam atık miktarı ile sınırlı olduğunu ifade etmektedir. Denklem 7.3. satılacak atıkların alıcı işletmelerin taleplerinden fazla olamayacağını ifade etmektedir. Denklem 7.4 ve 7.5 ise alıcı işletmelerin küçük miktarlarda atık

alımını engellemeyi sağlayan bir kısıttır. Bir işletme atık alacak ise en az 3 ton atık almalıdır. İşletmelerin iş birliği için atık miktarlarında bir araç dolduracak kadar atık talep etmesini sağlamak için üç tonluk bir sınır belirlenmiştir. Denklem 7.6, 7.7, 7.8 ve 7.9 ise sırasıyla işletmelerin malzemede değişiminde elde edeceği su, işgücü, enerji ve çevresel faydaların en az belirlenen seviyelerde olmasını sağlayan kısıttır. Belirlenen seviyelerde fayda elde etmiyor ise ilgili atığı almaması gerektiğini sağlamaktadır. Her atığın her işletmeye faydası farklı olması nedeniyle bu kısıt eklenmiştir. Denklem 7.10 ise karar değişkenlerinin negatif değer almasını engelleyen kısıttır. Model IBM ILOG CPLEX programında kodlanarak çözüm alınmıştır. Model sonuçları Çizelge 7.2’de özetlenmektedir.

Çizelge 7.2. Model 1 Senaryo 1 sonuçları

Satıcılar	(Alıcı-Atık-Miktar)
1	(2-1-28.5) (3-1-22.5) (29-1-3) (39-1-3.5) (40-1-7.5) (2-2-25) (3-2-31) (12-2-10) (13-2-6) (14-2-8) (40-2-7) (3-3-3) (12-3-3) (14-3-3) (29-3-3) (40-3-3) (2-4-4) (40-4-4) (2-5-15) (39-5-8) (40-5-21) (2-6-7) (3-6-6) (7-6-3) (14-6-5) (40-6-11) (7-7-5) (2-8-5) (14-8-3) (18-8-3) (14-9-5) (18-9-7) (24-9-5) (3-10-21) (12-10-21) (14-10-21) (18-10-8) (40-10-4) (2-11-5) (3-11-6) (6-11-3) (12-11-8) (14-11-5) (18-11-3) (9-12-4) (14-12-4)
2	(34-1-30) (39-1-28) (16-2-7) (34-2-11) (42-2-11) (16-3-3) (34-3-3) (39-3-3) (34-4-5) (42-4-3) (34-5-27) (39-5-13) (16-6-7) (17-6-3) (32-6-5) (34-6-6) (42-6-3) (6-7-3) (33-7-4) (16-8-4) (17-8-5) (16-9-5) (28-9-7) (38-9-5) (16-10-15) (28-10-13) (31-10-5) (32-10-15) (18-11-3) (28-11-7) (32-11-3) (38-11-5) (6-12-3) (16-12-4)
3	(15-1-5.25) (6-2-22) (15-3-3) (32-3-3) (15-5-6) (9-6-6) (15-6-8) (17-6-3) (15-7-5) (15-8-4) (22-8-3) (26-8-3) (26-9-5) (6-10-24) (15-10-3) (26-10-15) (13-11-3) (16-11-4) (26-11-4) (3-12-5)
4	(1-1-27) (1-2-32) (11-2-11) (1-3-3) (11-3-3) (31-3-3) (1-4-5) (1-5-31) (1-6-5) (4-6-12) (14-6-5) (31-6-4) (4-7-3) (11-8-3) (13-8-3) (25-8-4) (33-8-3) (22-9-5) (25-9-3) (27-9-5) (22-10-15) (25-10-16) (27-10-18) (31-10-10) (22-11-5) (25-11-3) (27-11-5) (31-11-5) (1-12-3) (5-12-4)
5	(42-1-17.25) (13-2-3) (2-3-3) (13-3-3) (41-3-3) (42-3-3) (2-5-12) (41-5-6) (42-5-17) (41-6-6) (42-6-11) (29-7-4) (11-8-3) (13-8-3) (21-8-4) (21-9-3) (23-9-6) (42-9-6) (11-10-15) (13-10-15) (21-10-16) (23-10-3) (11-11-7) (13-11-4) (21-11-5) (23-11-3)
6	(7-1-20.25) (9-1-24.75) (7-2-21) (9-2-23) (15-2-8) (7-3-3) (9-3-3) (7-4-4) (9-4-4) (15-4-5) (7-5-4) (9-5-30) (9-7-6) (12-8-5) (24-8-3) (7-9-4) (9-9-5) (19-9-4) (7-10-14) (9-10-19) (15-10-21) (19-10-5) (7-11-3) (9-11-5) (15-11-3) (19-11-4) (24-11-4) (7-12-3) (15-12-3)
7	(4-1-29.25) (15-1-18.75) (37-1-3) (3-2-5) (4-2-27) (5-2-28) (4-3-3) (37-3-3) (15-5-26) (37-5-12) (37-6-3) (2-7-3) (20-8-5) (27-8-5) (28-8-3) (15-9-3) (20-9-9) (42-9-3) (4-10-25) (5-10-27) (20-10-15) (4-11-7) (5-11-4) (20-11-9) (4-12-7)
8	(2-1-3) (35-1-12) (36-1-18) (41-1-12) (10-2-15) (35-2-10) (41-2-8) (10-3-3) (35-3-3) (35-4-4) (41-4-4) (35-5-24) (41-5-17) (35-6-4) (41-6-7) (5-7-4) (1-8-3) (19-8-4) (2-9-5) (19-9-4) (21-9-3) (1-10-14) (2-10-15) (10-10-14) (19-10-9) (1-11-7) (10-11-6) (19-11-3) (2-12-4) (17-12-4)
9	(7-1-5.25) (29-1-24.75) (37-1-6) (17-2-7) (29-2-11) (36-2-9) (17-3-3) (36-3-3) (36-4-3) (7-5-23) (36-5-8) (39-5-4) (7-6-3) (36-6-12) (8-7-6) (10-8-3) (28-8-3) (29-8-5) (17-9-5) (30-9-5) (17-10-14) (29-10-8) (30-10-13) (40-10-17) (17-11-5) (29-11-3) (30-11-5) (1-12-3)
10	(8-1-22.5) (37-1-13.5) (6-2-13) (8-2-25) (37-2-11) (39-2-8) (8-3-3) (8-4-3) (37-4-3) (39-4-5) (8-5-14) (39-5-4) (8-6-3) (37-6-5) (39-6-7) (6-7-3) (23-8-4) (30-8-5) (8-9-5) (39-9-5) (8-10-17) (23-10-15) (24-10-14) (8-11-4) (23-11-3) (32-11-3) (8-12-4)

Çizelge 7.2’de yer alan sonuçları özetleyecek olursak satırda satıcı işletmelerin sütünde ise alıcı işletme, atık numarası ve atık miktarları parantez içerisinde sırasıyla okunmaktadır. Sonuçlara göre 1 numaralı satıcı 2 numaralı satıcıya 1 numaralı atıktan 28,5 ton atık göndermektedir. 2 numaralı satıcı 34 numaralı alıcıya 1 numaralı atıktan 30 ton atık göndermektedir. 3 numaralı satıcı 15 numaralı alıcıya 1 numaralı atıktan 5,25 ton atık göndermektedir. Toplamda 103 işletme birbiriyle ilişki kurmuştur. Çizelgede diğer işletmelerin miktar ve ilişki sayıları özetlenmektedir. Bertaraf edilecek atık miktarları ise Çizelge 7.3’te özetlenmektedir.

Çizelge 7.3. Bertaraf edilen ürün miktarları

Satıcılar	Atıklar												Toplam
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1	0	0	0	16	0	0	0	0	2	0	0	0	18
2	0	49	1	14	0	0	0	0	1	19	2	0	86
3	47	47	1	27	18	5	0	0	10	20	9	0	183,75
4	20	16	0	14	5	0	0	1	2	0	2	0	60
5	30	52	0	25	2	0	0	1	0	9	1	0	119,75
6	0	6	1	15	0	2	0	1	0	0	1	0	26
7	0	1	1	23	0	0	0	0	0	0	0	0	25
8	0	24	2	11	0	0	1	0	1	11	2	0	52
9	0	26	1	14	0	0	0	1	0	3	5	0	50
10	0	0	1	16	0	1	2	0	1	1	1	0	23
Toplam	97	221	8	175	25	8	3	4	17	63	23	0	643,5

Senaryo 2 verileri ile elde edilen çözümler Çizelge 7.4’te özetlenmektedir. İşletmelerin tüm talepleri karşılanmakta ve bertaraf giden atık miktarı Senaryo 1 ile aynıdır. ES ağındaki ilişki sayısı azalmış durumdadır. 42 alıcı 10 satıcı işletme ile toplamda 94 ilişki kurulmuştur. Senaryo 2 ile talebi karşılama zorunluluğunun olmaması durumunda işletmelerin daha karlı ilişkiler kurabildiği ortaya çıkmıştır. Çizelge 7.4’teki sonuçlara bakıldığında 1 numaralı satıcı 2 numaralı alıcıya 28,5 ton, 3 numaralı alıcıya 1 numaralı atıktan 22,5 ton ve 29 numaralı alıcıya 1 numaralı atıktan 3 ton atık göndermektedir.

Çizelge 7.4. Model 1 Senaryo 2 sonuçları

Satıcılar	Alıcı-Atık-Miktar
1	(2-1-28.5) (3-1-22.5) (29-1-3) (39-1-3.5) (40-1-7.5) (2-2-25) (3-2-33) (12-2-10) (13-2-4) (14-2-8) (40-2-7) (3-3-3) (12-3-3) (14-3-3) (29-3-3) (40-3-3) (2-4-4) (40-4-4) (2-5-15) (39-5-8) (40-5-21) (2-6-7) (3-6-3) (7-6-6) (14-6-5) (40-6-11) (7-7-5) (14-8-3) (24-8-3) (29-8-5) (14-9-5) (18-9-7) (24-9-5) (3-10-21) (12-10-4) (14-10-21) (18-10-8) (40-10-21) (2-11-5) (3-11-6) (12-11-8) (14-11-5) (18-11-6) (9-12-4) (14-12-4)
2	(34-1-30) (39-1-28) (16-2-7) (34-2-11) (42-2-11) (16-3-3) (34-3-3) (39-3-3) (34-4-5) (42-4-3) (34-5-27) (39-5-13) (16-6-7) (32-6-5) (34-6-6) (39-6-3) (42-6-3) (6-7-3) (33-7-4) (18-8-3) (28-8-6) (16-9-5) (28-9-7) (38-9-5) (12-10-17) (16-10-15) (28-10-13) (31-10-5) (32-10-12) (16-11-4) (28-11-7) (32-11-3) (38-11-5) (6-12-3) (16-12-4)
3	(15-1-5.25) (6-2-22) (15-3-3) (32-3-3) (15-5-6) (9-6-6) (15-6-8) (17-6-3) (15-7-5) (15-8-4) (26-8-3) (26-9-5) (6-10-24) (15-10-3) (26-10-15) (6-11-3) (26-11-4) (3-12-5)
4	(1-1-27) (1-2-32) (11-2-11) (1-3-3) (11-3-3) (31-3-3) (1-4-5) (1-5-31) (1-6-5) (4-6-12) (14-6-5) (31-6-4) (4-7-3) (11-8-3) (22-8-3) (25-8-4) (33-8-3) (22-9-5) (25-9-3) (27-9-5) (22-10-15) (25-10-16) (27-10-18) (31-10-10) (22-11-5) (25-11-3) (27-11-5) (31-11-5) (1-12-3) (5-12-4)
5	(42-1-17.25) (13-2-5) (2-3-3) (13-3-3) (41-3-3) (42-3-3) (2-5-12) (41-5-6) (42-5-17) (41-6-6) (42-6-11) (29-7-4) (2-8-5) (13-8-6) (21-9-3) (23-9-6) (42-9-6) (11-10-15) (13-10-15) (21-10-16) (11-11-4) (13-11-7) (21-11-5) (23-11-3) (42-12-7)
6	(7-1-20.25) (9-1-24.75) (7-2-21) (9-2-23) (15-2-8) (7-3-3) (9-3-3) (7-4-4) (9-4-4) (15-4-5) (7-5-4) (9-5-30) (9-7-6) (12-8-5) (19-8-4) (7-9-4) (9-9-5) (19-9-4) (7-10-14) (9-10-19) (15-10-21) (24-10-5) (7-11-3) (9-11-5) (15-11-3) (19-11-4) (24-11-4) (7-12-3) (15-12-3)
7	(4-1-29.25) (15-1-18.75) (37-1-3) (3-2-3) (4-2-27) (5-2-28) (4-3-3) (37-3-3) (15-5-26) (37-5-12) (3-6-3) (2-7-3) (1-8-3) (20-8-5) (27-8-5) (15-9-3) (20-9-9) (42-9-3) (4-10-25) (5-10-27) (20-10-15) (4-11-7) (5-11-4) (20-11-9) (4-12-7)
8	(2-1-3) (35-1-12) (36-1-18) (41-1-12) (10-2-15) (35-2-10) (41-2-8) (10-3-3) (35-3-3) (35-4-4) (41-4-4) (35-5-24) (41-5-17) (35-6-4) (41-6-7) (5-7-4) (10-8-3) (21-8-4) (2-9-5) (19-9-4) (21-9-3) (1-10-14) (2-10-15) (10-10-14) (19-10-14) (1-11-7) (10-11-6) (19-11-3) (2-12-4) (17-12-4)
9	(7-1-5.25) (29-1-24.75) (37-1-6) (17-2-7) (29-2-11) (36-2-9) (17-3-3) (36-3-3) (36-4-3) (7-5-23) (36-5-8) (39-5-4) (17-6-3) (36-6-12) (8-7-6) (11-8-3) (16-8-4) (17-8-5) (17-9-5) (30-9-5) (17-10-14) (29-10-8) (30-10-13) (11-11-3) (17-11-5) (29-11-3) (30-11-5) (1-12-3) (39-12-4)
10	(8-1-22.5) (37-1-13.5) (6-2-13) (8-2-25) (37-2-11) (39-2-8) (8-3-3) (8-4-3) (37-4-3) (39-4-5) (8-5-14) (39-5-4) (8-6-3) (37-6-8) (39-6-4) (6-7-3) (23-8-4) (30-8-5) (8-9-5) (39-9-5) (8-10-17) (23-10-18) (24-10-9) (32-10-3) (8-11-4) (23-11-3) (32-11-3) (8-12-4)

Bertaraf edilen atık miktarları Çizelge 7.5'te yer almaktadır. Sonuçlar incelendiğinde toplamda bertaraf edilecek atık miktarlar değişmemekle birlikte işletmelerin bertaraf edecekleri atık miktarları değişmektedir. 1 numaralı satıcı 4 ve 9 numaralı atıklarından toplamda 18 ton atığını bertaraf etmesi gerekmektedir. 1 numaralı atıktan toplamda 96,5 2 numaralı atıktan ise 221 ton atık bertaraf edilmesi gerekmektedir.

Çizelge 7.5. Senaryo 2 çözümüne göre bertaraf edilecek atık miktarları

Atık Türleri													
Satıcılar	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Toplam
1	0	0	0	16	0	0	0	0	2	0	0	0	18
2	0	49	1	14	0	0	0	0	1	5	1	0	71
3	46.8	47	1	27	18	5	0	3	10	20	13	0	190.75
4	20	16	0	14	5	0	0	1	2	0	2	0	60
5	29.8	50	0	25	2	0	0	0	0	12	1	0	119.75
6	0	6	1	15	0	2	0	0	0	0	1	0	25
7	0	3	1	23	0	0	0	0	0	0	0	0	27
8	0	24	2	11	0	0	1	0	1	6	2	0	47
9	0	26	1	14	0	0	0	0	0	20	2	0	63
10	0	0	1	16	0	1	2	0	1	0	1	0	22
Toplam	96.5	221	8	175	25	8	3	4	17	63	23	0	643.5

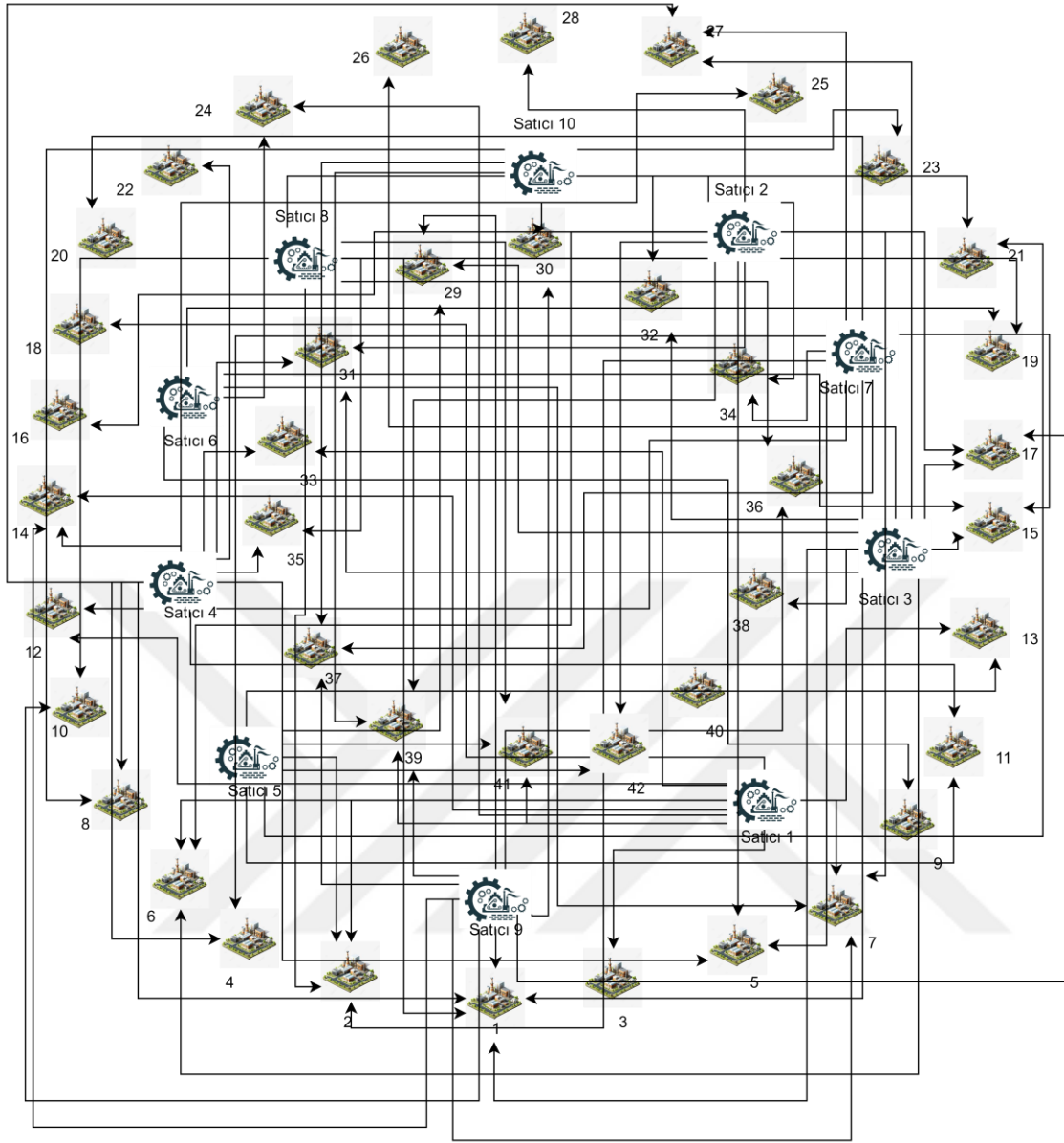
Son olarak senaryo 3'te ise arz miktarının talep miktarından düşük kaldığı durumların analiz edildiği sonuçlar Çizelge 7.6'da sunulmaktadır. Senaryo 3'te arz miktarı talep miktarından az olduğu için doğal olarak taleplerin bir kısmı karşılanmıyor. Burada bertaraf edilecek atık miktarı 2 ton olarak belirlenmektedir. Modeldeki Denklem 7.4 ve 7.5'ten kaynaklı olarak model 2 birimlik atığın satışına imkan tanımamıştır. Burada atık satışı için 3 tonluk bir alt limit belirlenmiştir. Çizelge 7.6 incelendiğinde işletmelerin diğer senaryolara göre en az sayıda ilişki kurduğu durum ortaya çıkmıştır. Atıkların geri kazanımı için 90 farklı ilişki kurulmuştur. 1 numaralı satıcı 2 numaralı alıcıya 1 numaralı atığından 30 ton göndermektedir. 7 numaralı satıcı 4 numaralı alıcıya 1 numaralı atığından 46 ton göndermektedir. Toplam arz miktarı 3119 tondur. Talebin 3117 birimlik kısmı karşılanmış olup 6 numaralı satıcı işletmenin 6 numaralı atığından 2 tonluk miktarı bertaraf edilecek atık olarak belirlenmiştir.

Çizelge 7.6. Model 1 Senaryo 3 çözüm sonuçları

Satıcılar	Alıcı-Atık-Miktar
1	(2-1-30) (3-1-35) (2-2-20) (3-2-67) (2-3-3) (3-3-3) (12-3-3) (14-3-3) (39-3-3) (2-4-13) (41-4-11) (2-5-36) (41-5-8) (2-6-9) (3-6-7) (7-6-4) (14-6-3) (41-6-9) (6-7-5) (14-8-3) (18-8-3) (33-8-3) (2-9-4) (18-9-12) (24-9-3) (2-10-12) (3-10-29) (13-10-7) (18-10-12) (24-10-15) (2-11-7) (3-11-8) (13-11-7) (18-11-8) (3-12-5) (6-12-3)
2	(34-1-47) (39-1-11) (16-2-13) (17-2-8) (34-2-21) (39-2-15) (42-2-21) (16-3-3) (34-3-4) (42-3-3) (34-4-22) (34-5-36) (39-5-4) (16-6-9) (32-6-3) (34-6-7) (39-6-5) (6-7-3) (7-7-4) (16-8-3) (28-8-6) (16-9-6) (28-9-9) (42-9-3) (16-10-21) (28-10-18) (31-10-7) (32-10-21) (16-11-4) (28-11-10) (32-11-6) (16-12-4) (39-12-3)
3	(15-1-38) (29-1-14) (6-2-65) (15-2-4) (15-3-4) (32-3-3) (1-4-3) (15-4-24) (15-5-24) (15-6-10) (17-6-4) (31-6-5) (32-6-3) (15-7-5) (15-8-3) (26-8-4) (27-8-3) (15-9-3) (26-9-9) (38-9-3) (6-10-34) (26-10-21) (31-10-7) (6-11-4) (15-11-4) (26-11-6) (31-11-6) (17-12-5)
4	(1-1-42) (8-1-5) (1-2-18) (5-2-41) (1-3-3) (11-3-3) (31-3-3) (1-4-19) (1-5-36) (1-6-6) (4-6-11) (14-6-4) (35-6-5) (33-7-3) (1-8-3) (11-8-3) (22-8-4) (25-8-4) (22-9-6) (25-9-6) (27-9-3) (5-10-16) (22-10-21) (27-10-15) (31-10-7) (5-11-6) (22-11-7) (27-11-4) (31-11-3) (1-12-3) (5-12-4)
5	(2-1-16) (41-1-4) (42-1-27) (2-2-26) (11-2-12) (13-2-17) (13-3-4) (29-3-4) (41-3-4) (41-4-10) (42-4-15) (41-5-13) (42-5-24) (42-6-17) (2-7-4) (11-8-3) (13-8-3) (21-8-5) (21-9-6) (42-9-9) (11-10-21) (13-10-14) (21-10-23) (11-11-10) (13-11-3) (21-11-7) (42-12-7)
6	(7-1-40) (9-1-5) (7-2-39) (9-2-8) (15-2-11) (7-3-3) (9-3-4) (7-4-20) (9-4-8) (7-5-31) (9-5-3) (7-7-3) (9-7-3) (19-8-5) (24-8-4) (7-9-6) (9-9-4) (24-9-3) (7-10-20) (15-10-34) (24-10-5) (7-11-4) (9-11-3) (19-11-7) (24-11-6) (9-12-3) (15-12-3)
7	(4-1-46) (37-1-5) (4-2-50) (5-2-11) (4-3-3) (37-3-4) (1-4-3) (2-4-7) (34-4-3) (37-4-10) (1-5-6) (15-5-19) (37-5-13) (4-6-3) (4-7-3) (12-8-4) (20-8-6) (27-8-3) (20-9-12) (27-9-3) (4-10-35) (5-10-11) (20-10-21) (4-11-8) (20-11-12) (4-12-7)
8	(2-1-3) (35-1-19) (36-1-6) (41-1-17) (1-2-37) (35-2-5) (41-2-15) (10-3-4) (35-3-4) (35-4-19) (35-5-32) (41-5-9) (36-6-5) (41-6-6) (5-7-5) (2-8-4) (10-8-3) (2-9-3) (19-9-7) (21-9-3) (1-10-20) (2-10-9) (5-10-11) (10-10-3) (19-10-20) (1-11-10) (10-11-5) (19-11-3) (1-12-3) (2-12-5)
9	(36-1-22) (37-1-14) (1-2-4) (10-2-28) (17-2-5) (36-2-16) (17-3-3) (36-3-4) (36-4-14) (37-4-3) (7-5-5) (36-5-12) (37-5-5) (39-5-13) (7-6-3) (17-6-3) (36-6-9) (29-7-6) (17-8-6) (29-8-6) (17-9-6) (30-9-4) (10-10-17) (17-10-20) (30-10-18) (10-11-3) (17-11-7) (30-11-8) (7-12-4) (14-12-3)
10	(8-1-30) (37-1-6) (8-2-46) (37-2-11) (8-3-4) (8-4-15) (39-4-12) (8-5-18) (8-6-4) (37-6-9) (39-6-3) (8-7-5) (23-8-3) (30-8-6) (8-9-7) (23-9-4) (8-10-24) (23-10-23) (8-11-6) (23-11-5) (8-12-4)

Model 1 Senaryo 3 için elde edilen sonuçların ağ yapısı Şekilde 7.1’de sunulmaktadır.

Toplamda 90 adet Simbiyotik ilişki kurulmuştur.



Şekil 7.1. Model 1 Senaryo 3 Sonuçlarına Göre Oluşan ES ağı diyagramı

7.2 Endüstriyel Simbiyoz Ağında Malzeme Değişimi İçin Matematiksel Model Önerisi: Uygunluk Katsayısı Maksimizasyonu

Çalışmada önerilen Model 2’de birinci modelden farklı olarak çalışmanın amaç fonksiyonunda değişim söz konusudur. TOPSIS yöntemi ile elde edilen uygunluk değerleri amaç fonksiyonu katsayısı olarak kullanılmış ve atıkların en uygun işletmelere gönderilmesi amaçlanmıştır.

İndisler

i = Atık üreten işletme	$i = 1, \dots, m,$
j = Atık alan işletme	$j = 1, \dots, n,$
k = Atık	$k = 1, \dots, t,$

Parametreler

m : Atık üreten işletme sayısı	$m = 10$
n : Atık alıcı işletme sayısı	$n = 42$
t : Atık türü	$t = 12$

$$M = 10000$$

a_{ik} = i 'nci işletmenin ortaya çıkardığı k atığının miktarı (Arz miktarı)

b_{jk} = j 'nci işletmenin ihtiyaç duyduğu k atığının miktarı (Talep miktarı)

R_k = k 'nci atığın bir biriminin satışından elde edilen getiri

T_{ij} = i 'nci işletmeden j 'nci işletmeye taşınacak atığın ton başına maliyeti

W_{jk} = j 'nci işletmenin k atığını talep etme durumu

L_k = k . atığın bertaraf maliyeti

$TOPSIS_j$ = j 'nci işletmenin TOPSIS puanı

Karar Değişkenleri

$$X_{ijk} =$$

i 'nci üreticiden j 'nci alıcıya gönderilecek k 'nci atığın miktarı $\forall i, j, k$

$$y_{ijk} =$$

$\begin{cases} i'nci \text{ üreticiden } j'nci \text{ alıcıya } k'nci \text{ atığı gönderiliyorsa } 1 \\ \text{aksi halde } 0 \end{cases} \quad \forall i, j, k$

N_{ik} = i satıcısının bertarafata göndereceğı k atığı miktarı

Amaç Fonksiyonu

$$Max_z = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^t TOPSIS_j * X_{ijk} \quad (7.11)$$

Kısıtlar

Denklem 7.2-7.10

Modelde denklem 7.11. amaç fonksiyonunu temsil etmektedir. TOPSIS_j parametresi bölüm 6'da yer alan uygulama sonucu elde edilen değerleri ifade etmektedir. Her bir işletmenin simbiyoz ağı için uygunluk seviyelerini temsil eder. PB-TOPSIS yöntemi ile hesaplanan alternatiflerin uygunluk seviyelerin Min-Max normalizasyonu ile normalize edilerek 0-100 arasında bir değere dönüştürülmüştür. Burada en yüksek değer 1. Sırada yer alan alternatife en düşük değer ise 42. Sırada yer alan alternatife

aittir. TOPSIS_j parametresine ilişkin hesaplamalar Çizelge 7.7’de yer almaktadır. Burada değerlendirme yaparken yalnızca işletmelerin ekonomik faydaları değil aynı zamanda simbiyoz ağında örgütsel açıdan, atık açısından, ekonomik ve çevresel açıdan uygunluk kriterler dikkate alınmıştır.

Çizelge 7.7. TOPSIS_j Parametresinin hesaplanması

Alternatif	TOPSIS Sonucu	Normalizasyon Değeri	Alternatif	TOPSIS Sonucu	Normalizasyon Değeri
A1	-2.83	64.87	A22	-4.14	47.92
A2	-5.62	29.01	A23	-6.04	23.61
A3	-0.09	100.00	A24	-5.50	30.44
A4	-0.66	92.72	A25	-3.39	57.63
A5	-5.69	28.05	A26	-5.50	30.44
A6	-2.70	66.51	A27	-5.94	24.83
A7	-1.68	79.64	A28	-5.62	28.99
A8	-3.04	62.09	A29	-7.14	9.39
A9	-2.92	63.66	A30	-7.67	2.56
A10	-4.31	45.76	A31	-7.36	6.63
A11	-7.11	9.74	A32	-7.87	0.00
A12	-6.58	16.57	A33	-2.17	73.25
A13	-7.49	4.94	A34	-3.01	62.48
A14	-5.14	35.10	A35	-3.98	50.02
A15	-5.36	32.28	A36	-3.85	51.69
A16	-5.42	31.53	A37	-3.51	56.07
A17	-4.99	37.11	A38	-3.78	52.56
A18	-5.14	35.14	A39	-6.62	16.13
A19	-6.01	23.98	A40	-6.30	20.16
A20	-6.24	20.92	A41	-4.55	42.76
A21	-6.72	14.82	A42	-5.55	29.90
A1 için örnek hesaplama		Mak=-0,09 Min=-7,87	Min-Mak= $\frac{(-2,83-(-7,87))}{(-0,09-(-7,87))} * 100 = 64,87$		

Modelin kısıtları Bölüm 7.1.’de özetlenen Denklem 7.2-7.10 ile tanımlanan kısıtlardır. Kısıtlarda bir değişiklik yapılmamıştır. Model IBM ILOG CPLEX programında kodlanarak çözümler elde edilmiştir. Modelin sonuçları Çizelge 7.8’de özetlenmektedir.

Çizelge 7.8. Model 2 Senaryo 1 sonuçları

Satıcılar	Alıcı-Atık-Miktar
1	(29-1-5) (34-1-30) (35-1-12) (36-1-18) (10-2-15) (15-2-8) (39-2-8) (40-2-7) (41-2-8) (1-3-3) (2-3-3) (3-3-3) (4-3-3) (7-3-3) (37-5-12) (39-5-29) (14-6-10) (31-6-4) (32-6-5) (35-6-4) (37-6-3) (41-6-6) (4-7-3) (11-8-3) (13-8-3) (30-8-5) (15-9-3) (16-9-5) (18-9-3) (20-9-5) (25-9-3) (24-10-14) (32-10-15) (6-11-3) (7-11-3) (11-11-7) (20-11-3) (25-11-3) (31-11-5) (32-11-6) (14-12-4) (42-12-4)
2	(9-1-11.25) (15-1-24) (29-1-22.75) (8-3-3) (9-3-3) (10-3-3) (37-4-3) (15-5-8) (34-5-27) (35-5-5) (2-6-7) (15-6-8) (17-6-6) (41-6-3) (5-7-4) (9-7-3) (14-8-3) (24-8-3) (28-8-3) (38-9-5) (39-9-5) (42-9-6) (27-10-10) (29-10-8) (30-10-13) (31-10-15) (40-10-21) (5-11-4) (16-11-4) (24-11-4) (27-11-5) (17-12-4) (42-12-3)
3	(7-1-16) (8-1-22.5) (9-1-13.5) (6-2-35) (13-2-9) (16-2-7) (17-2-7) (35-2-10) (11-3-3) (12-3-3) (15-5-24) (1-6-5) (40-6-3) (42-6-14) (33-7-4) (12-8-5) (17-8-5) (21-9-6) (23-9-6) (9-10-19) (17-10-14) (21-10-16) (22-10-12) (2-11-5) (8-11-4) (10-11-6) (26-11-4) (3-12-5)
4	(3-1-7) (4-1-29.25) (39-1-10.75) (11-2-11) (34-2-11) (36-2-9) (37-2-11) (13-3-3) (14-3-3) (15-3-3) (8-4-3) (8-5-6) (9-5-30) (3-6-6) (9-6-6) (34-6-6) (40-6-8) (9-7-3) (13-8-3) (15-8-4) (22-8-3) (33-8-3) (27-9-5) (28-9-7) (6-10-24) (10-10-14) (23-10-18) (28-10-3) (17-11-5) (21-11-5) (22-11-5) (30-11-5) (1-12-3) (16-12-4)
5	(2-1-31.5) (3-1-15.5) (8-2-25) (9-2-20) (12-2-10) (16-3-3) (17-3-3) (29-3-3) (31-3-3) (36-4-3) (42-4-3) (7-5-27) (42-5-8) (4-6-5) (36-6-12) (29-7-4) (10-8-3) (16-8-4) (28-8-3) (19-9-8) (20-9-4) (13-10-15) (18-10-8) (19-10-14) (20-10-12) (27-10-8) (9-11-5) (14-11-5) (18-11-3) (38-11-5) (2-12-4) (6-12-3)
6	(1-1-27) (42-1-8) (3-2-30) (5-2-28) (32-3-3) (34-3-3) (1-5-7) (2-5-27) (8-7-6) (19-8-4) (27-8-5) (7-9-4) (14-9-5) (42-9-3) (1-10-14) (3-10-21) (7-10-7) (8-10-17) (12-11-8) (18-11-3) (7-12-3) (15-12-3)
7	(7-1-9.5) (3-2-6) (35-3-3) (36-3-3) (1-5-24) (8-5-8) (4-6-3) (6-7-3) (11-8-3) (25-8-4) (29-8-5) (2-9-5) (8-9-5) (30-9-5) (2-10-15) (4-10-25) (7-10-7) (11-10-4) (22-10-3) (13-11-7) (19-11-7) (23-11-6) (4-12-7)
8	(4-2-27) (14-2-8) (37-3-3) (39-3-3) (35-5-19) (36-5-8) (4-6-4) (39-6-7) (7-7-5) (1-8-3) (18-8-3) (9-9-5) (26-9-5) (14-10-21) (15-10-24) (16-10-15) (20-10-3) (1-11-7) (4-11-3) (29-11-3) (5-12-4) (8-12-4)
9	(37-1-22.5) (39-1-4.25) (42-1-9.25) (1-2-32) (9-2-3) (42-2-11) (40-3-3) (41-3-3) (35-4-4) (39-4-5) (40-4-4) (41-4-4) (40-5-21) (41-5-5) (42-5-9) (7-6-6) (8-6-3) (2-7-3) (6-7-3) (20-8-5) (21-8-4) (26-8-3) (22-9-5) (24-9-5) (5-10-27) (25-10-16) (28-10-10) (3-11-6) (4-11-4) (28-11-7) (1-12-3) (9-12-4)
10	(39-1-16.5) (40-1-7.5) (41-1-12) (2-2-25) (7-2-21) (29-2-11) (42-3-3) (1-4-5) (2-4-4) (7-4-4) (9-4-4) (15-4-5) (34-4-5) (41-5-18) (16-6-7) (37-6-5) (41-6-4) (15-7-5) (2-8-5) (23-8-4) (17-9-5) (18-9-4) (11-10-11) (12-10-21) (26-10-15) (15-11-3) (20-11-6) (39-12-4)

Çizelge 7.8’de ilk satırı inceleyecek olursak 1 numaralı satıcı 29 numaralı alıcıya 1 numaralı atıktan 5 ton gönderim yapmaktadır. 1 numaralı alıcı işletme 133 birimlik talebini 8 farklı işletmeden tedarik ederek karşılamaktadır. Bir önceki modelde ise 3 farklı işletmeden tedarik edebiliyordu. Burada atıklar daha fazla işletmeye dağıtılarak diğer bir ifade ile simbiyotik ilişki sayılı artarak malzeme değişimi optimize edildi. Toplamda 212 simbiyotik ilişki kuruldu. Modelde yer alan kısıtlar gereği her bir işletmeye en az 3 tonluk atık alması sağlandı. Daha miktarlarda atık talebi olması halinde maliyetlerin artacağı düşünüldüğünden 3 tonun altında atık gönderimi

gerçekleştirilmemektedir. Bertaraf edilmesi gereken gereken atık miktarı 643,5 ton olarak ortaya çıkmıştır.

Model 2 Senaryo 2 verileri ile elde edilen çözüm sonuçları Çizelge 7.9’de sunulmaktadır.

Çizelge 7.9. Model 2 Senaryo 2 sonuçları

Satıcılar	Alıcılar-Atık-Miktar
1	(4-1-29.25) (34-1-13.25) (37-1-22.5) (29-2-11) (35-2-10) (39-2-8) (41-2-8) (1-3-3) (2-3-3) (3-3-3) (4-3-3) (7-3-3) (40-5-3) (41-5-23) (15-6-8) (16-6-3) (17-6-3) (40-6-5) (41-6-13) (2-7-3) (10-8-3) (15-8-4) (23-8-4) (24-9-5) (28-9-7) (30-9-5) (2-10-9) (14-10-21) (18-10-8) (24-10-8) (25-10-16) (30-10-13) (6-11-3) (10-11-6) (14-11-5) (24-11-4) (30-11-5) (38-11-5) (16-12-4) (39-12-4)
2	(39-1-31.5) (5-2-3) (7-2-21) (10-2-15) (34-2-11) (8-3-3) (9-3-3) (10-3-3) (37-4-3) (1-5-13) (7-5-27) (1-6-5) (16-6-4) (42-6-14) (8-7-3) (33-7-4) (1-8-3) (14-8-3) (26-8-3) (27-9-5) (42-9-9) (2-10-6) (5-10-27) (10-10-5) (20-10-15) (23-10-8) (40-10-6) (12-11-8) (16-11-4) (28-11-7) (6-12-3) (8-12-4)
3	(1-1-27) (15-1-24) (4-2-27) (13-2-9) (15-2-8) (16-2-7) (17-2-7) (42-2-11) (11-3-3) (12-3-3) (2-4-4) (7-4-4) (9-4-4) (35-4-4) (40-4-4) (41-4-4) (36-5-8) (37-5-12) (39-5-4) (2-6-7) (8-6-3) (35-6-4) (39-6-7) (15-7-5) (21-8-4) (29-8-5) (19-9-3) (21-9-6) (23-9-6) (1-10-14) (3-10-21) (21-10-16) (5-11-4) (15-11-3) (18-11-6) (25-11-3) (26-11-4) (3-12-5)
4	(36-1-18) (40-1-7.5) (12-2-10) (36-2-9) (37-2-11) (40-2-7) (13-3-3) (14-3-3) (15-3-3) (39-4-5) (9-5-24) (35-5-12) (14-6-10) (17-6-3) (36-6-3) (37-6-4) (40-6-6) (6-7-3) (22-8-3) (25-8-4) (28-8-6) (15-9-3) (16-9-5) (17-9-5) (4-10-25) (22-10-15) (20-11-9) (21-11-5) (22-11-5) (1-12-3) (5-12-4)
5	(2-1-18.25) (34-1-16.75) (41-1-12) (1-2-32) (9-2-23) (16-3-3) (17-3-3) (29-3-3) (31-3-3) (1-4-5) (8-4-3) (15-4-5) (34-4-5) (1-5-14) (2-5-9) (8-5-14) (9-6-6) (36-6-9) (29-7-4) (11-8-6) (12-8-5) (2-9-5) (7-9-4) (38-9-5) (6-10-24) (9-10-19) (40-10-15) (1-11-7) (2-11-5) (3-11-6) (7-12-3) (17-12-4)
6	(3-1-22.5) (8-1-22.5) (3-2-36) (14-2-8) (34-3-3) (35-3-3) (36-4-3) (42-4-3) (35-5-12) (42-5-17) (4-7-3) (6-7-3) (19-8-4) (24-8-3) (8-9-5) (18-9-7) (15-10-24) (17-10-14) (31-10-15) (8-11-4) (13-11-3) (27-11-5) (1-12-3) (15-12-3)
7	(2-1-13.25) (9-1-24.75) (35-1-12) (6-2-3) (8-2-25) (11-2-11) (36-3-3) (37-3-3) (9-5-6) (15-5-32) (8-7-3) (17-8-5) (20-8-5) (33-8-3) (22-9-5) (25-9-3) (39-9-5) (11-10-15) (19-10-14) (11-11-7) (29-11-3) (31-11-5) (4-12-7)
8	(29-1-27.75) (39-3-3) (40-3-3) (1-5-4) (34-5-10) (39-5-25) (31-6-4) (34-6-6) (7-7-5) (30-8-5) (20-9-9) (12-10-21) (23-10-10) (26-10-15) (28-10-13) (4-11-7) (7-11-3) (23-11-6) (2-12-4) (14-12-4)
9	(7-1-25.5) (2-2-25) (41-3-3) (42-3-3) (34-5-17) (40-5-18) (4-6-12) (9-7-6) (2-8-5) (13-8-4) (18-8-3) (9-9-5) (19-9-5) (7-10-14) (8-10-17) (10-10-9) (13-10-15) (13-11-4) (19-11-7) (42-12-7)
10	(42-1-17.25) (5-2-25) (6-2-32) (2-5-18) (3-6-6) (7-6-6) (37-6-4) (5-7-4) (16-8-4) (27-8-5) (14-9-5) (26-9-5) (16-10-15) (24-10-6) (27-10-18) (29-10-8) (9-11-5) (17-11-5) (9-12-4)

Model 2 Senaryo 1’de sonuçlarına göre Model 2 Senaryo 2’de 31 ton daha az atık değişimi olmuştur. Modelde daha az atık gönderimi ile optimal sonuç elde edilmiştir. Bu durumda bertaraf edilecek atık miktarı artmıştır. Aynı zamanda kurulan ilişki sayısı da yaklaşım %8 düzeylerinde azalmıştır.

Bertaraf edilmesi gereken atık miktarlarına ilişkin bilgiler Çizelge 7.10'da yer almaktadır. Çizelgedeki sonuçlara göre Senaryo 1'e göre bertaraf edilmesi gereken atık miktarında 30 tonluk bir artış olduğu görülmektedir. Bu artış 3 numaralı atıkta, 6 numaralı atıkta, 8 numaralı atıkta, 10 numaralı atıkta ve 11 numaralı atıkta ortaya çıkmıştır.

Çizelge 7.10. Model 2 Senaryo 2 sonuçlarına göre bertaraf edilmesi gereken atıklar

Satıcılar	Atıklar												Toplam
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1	0	50	0	24	18	0	2	0	2	0	2	0	98
2	27	28	1	19	0	1	0	0	4	0	1	0	81
3	1	0	1	3	0	1	0	1	0	11	0	0	18
4	22	22	0	14	0	0	0	1	2	19	1	0	81
5	0	0	0	7	0	2	0	0	1	0	2	0	12
6	0	14	1	22	5	2	0	2	1	6	8	0	61
7	1	22	1	23	0	3	0	0	2	38	5	0	95
8	17	57	2	19	2	1	0	2	4	4	2	0	110
9	11	28	1	17	0	3	0	0	0	0	7	0	67
10	19	0	4	27	0	0	1	0	1	0	1	0	53
Toplam	97	221	11	175	25	13	3	6	17	78	29	0	674,5

Bu bölümde elde edilen Senaryo 3'e ilişkin çözümler ise Çizelge 7.11'de sunulmaktadır. Senaryo 3'te arz miktarı talep miktarından düşük olduğundan talebin hepsi karşılanmak zorunda değildir.

Elde edilen çözüm incelendiğinde yalnızca 3 tonluk atık bertaraf edilmesi gerekmekte ve arzın neredeyse tamamı tekrar üretime kazandırılmaktadır. Bertaraf edilmesi gereken atıklara bakıldığında ise 3 numaralı ve 6 numaralı atıklardan sırasıyla 1 ve 2 tonluk atığın bertaraf edilmesi gerektiği tespit edilmiştir. İlişki sayısı incelendiğinde 211 simbiyotik ilişki kurulduğu görülmektedir. Buna karşı diğer sonuçlardan farklı olarak hiç ilişki kurulmayan dört işletme olduğu görülmektedir.

Çizelge 7.11. Model 2 Senaryo 3 sonuçları

Satıcılar	Alıcı-Atık-Miktar
1	(1-1-3) (3-1-19) (4-1-33) (42-1-10) (2-2-46) (4-2-10) (16-2-10) (34-2-21) (7-3-3) (9-3-4) (14-3-4) (40-3-4) (1-4-6) (41-4-18) (2-5-4) (41-5-16) (42-5-24) (16-6-9) (36-6-5) (37-6-3) (41-6-15) (8-7-5) (15-8-3) (20-8-6) (16-9-7) (17-9-3) (25-9-6) (42-9-3) (1-10-3) (6-10-16) (7-10-11) (8-10-21) (16-10-21) (28-10-3) (4-11-6) (9-11-3) (12-11-5) (20-11-6) (23-11-3) (24-11-3) (28-11-4) (4-12-3) (9-12-5)
2	(8-1-3) (15-1-38) (42-1-17) (1-2-41) (10-2-16) (42-2-21) (3-3-3) (4-3-3) (35-3-4) (2-4-4) (8-4-3) (37-4-15) (35-5-8) (37-5-18) (41-5-14) (2-6-5) (15-6-7) (17-6-7) (35-6-5) (7-7-4) (9-7-3) (25-8-5) (33-8-4) (14-9-4) (23-9-5) (42-9-9) (4-10-32) (9-10-5) (22-10-15) (28-10-15) (8-11-3) (14-11-3) (16-11-6) (19-11-5) (21-11-3) (4-12-3) (14-12-4)
3	(3-1-13) (7-1-35) (41-1-4) (1-2-12) (5-2-12) (6-2-3) (7-2-39) (8-2-3) (1-3-3) (11-3-4) (2-4-8) (35-4-4) (36-4-15) (35-5-24) (1-6-6) (9-6-7) (42-6-9) (6-7-5) (10-8-3) (17-8-3) (24-8-4) (18-9-12) (23-9-3) (5-10-24) (24-10-20) (25-10-15) (27-10-3) (2-11-3) (19-11-5) (27-11-3) (38-11-9) (17-12-5)
4	(7-1-5) (34-1-42) (6-2-26) (9-2-33) (34-3-4) (36-3-4) (34-4-6) (35-4-13) (34-5-36) (3-6-7) (4-6-8) (8-6-4) (37-6-7) (6-7-3) (11-8-6) (21-8-5) (28-8-3) (9-9-7) (24-9-3) (28-9-5) (14-10-3) (20-10-14) (23-10-3) (26-10-21) (27-10-18) (3-11-3) (9-11-4) (21-11-3) (22-11-4) (24-11-3) (27-11-3) (15-12-3) (42-12-4)
5	(1-1-39) (8-1-3) (34-1-5) (6-2-3) (10-2-12) (17-2-4) (35-2-15) (37-2-21) (12-3-4) (15-3-4) (37-3-4) (34-4-19) (35-4-3) (41-4-3) (2-5-11) (15-5-26) (7-6-4) (15-6-3) (40-6-6) (42-6-4) (4-7-4) (12-8-3) (16-8-3) (29-8-5) (14-9-3) (17-9-3) (22-9-6) (38-9-3) (7-10-9) (9-10-22) (17-10-17) (20-10-7) (23-10-3) (4-11-4) (10-11-8) (17-11-3) (23-11-5) (16-12-4) (42-12-3)
6	(2-1-30) (3-1-3) (35-1-12) (3-2-25) (6-2-33) (2-3-3) (10-3-4) (15-4-25) (42-4-3) (9-5-17) (15-5-17) (15-7-6) (2-8-3) (17-8-3) (27-8-3) (7-9-6) (8-9-4) (27-9-3) (3-10-29) (4-10-3) (23-10-19) (40-10-8) (1-11-10) (6-11-4) (12-11-6) (1-12-3) (3-12-3)
7	(4-1-13) (36-1-3) (37-1-35) (1-2-6) (4-2-40) (41-2-15) (17-3-4) (42-3-3) (9-4-20) (42-4-3) (1-5-15) (9-5-23) (4-6-3) (7-7-3) (23-8-5) (26-8-4) (28-8-4) (2-9-7) (19-9-5) (24-9-3) (8-10-3) (14-10-11) (15-10-34) (40-10-19) (5-11-6) (15-11-4) (17-11-4) (26-11-6) (1-12-4) (3-12-3)
8	(9-1-20) (36-1-25) (5-2-11) (8-2-43) (35-2-3) (8-3-4) (39-3-4) (7-4-3) (8-4-12) (42-4-4) (1-5-27) (7-5-14) (34-6-7) (42-6-4) (5-7-5) (1-8-3) (18-8-4) (8-9-3) (15-9-5) (26-9-5) (2-10-21) (5-10-14) (6-10-18) (12-10-10) (7-11-4) (18-11-8) (20-11-6) (4-12-3) (8-12-5)
9	(9-1-19) (41-1-17) (9-2-10) (14-2-15) (16-2-3) (17-2-9) (36-2-16) (16-3-4) (29-3-3) (7-4-17) (7-5-4) (8-5-19) (36-5-12) (4-6-3) (7-6-3) (36-6-9) (8-7-3) (33-7-3) (19-8-5) (22-8-4) (27-8-3) (20-9-3) (28-9-4) (38-9-3) (1-10-17) (14-10-15) (17-10-3) (19-10-17) (22-10-3) (2-11-4) (3-11-5) (8-11-3) (28-11-6) (2-12-3) (7-12-4)
10	(8-1-29) (35-1-7) (3-2-42) (15-2-15) (41-3-4) (1-4-19) (2-4-3) (42-4-5) (7-5-18) (2-6-4) (14-6-12) (9-7-5) (2-8-3) (12-8-3) (14-8-3) (19-9-4) (26-9-4) (27-9-3) (10-10-20) (18-10-12) (19-10-3) (22-10-3) (25-10-6) (27-10-3) (14-11-4) (22-11-3) (25-11-4) (6-12-4)

Elde edilen sonuçlar genel olarak değerlendirildiğinde benzer sonuçlar ortaya çıkmaktadır. Burada önemli hususlardan birisi önerilen modelin farklı durumlarda da karar vericiye çözüm sunduğu ortaya konmaktadır. Bölüm 7.1 ve 7.2’de problemin deterministik verileri ile çözümler elde edilmiştir. Bölüm 7.3’te ise aynı problemin bulanık ortamda modellenmesi ve çözüm sonuçlarının elde edilmesi özetlenecektir. Böylelikle verilerdeki değişkenlikler ve belirsizlikler durumunda modelin çözüm üretilip üretilmediği ortaya konulacaktır.

7.3 Endüstriyel Simbiyoz Ağında Malzeme Değişimi İçin Bulanık Matematiksel Model Önerisi

Bu bölümde önerilen bulanık matematiksel model özetlenecektir. Simbiyoz ağlarında işletmelerin satacakları atıklar diğer bir ifade ile arz miktarları üretim süreçlerine göre belirsizlik ve değişkenlik gösterecektir. Aynı zamanda alıcı işletmelerin talep miktarları da üretim miktarlarına göre değişeceğinden arz ve talep durumundaki belirsizlikler bulanık matematiksel model ile modellenmiştir. Modelin matematiksel gösterimi aşağıdaki gibidir.

İndisler

$i = \text{Atık üreten işletme}$ $i = 1, \dots, m,$

$j = \text{Atık alan işletme}$ $j = 1, \dots, n,$

$k = \text{Atık}$ $k = 1, \dots, t,$

Parametreler

$m: \text{Atık üreten işletme sayısı}$ $m = 10$

$n: \text{Atık alıcı işletme sayısı}$ $n = 42$

$t: \text{Atık türü}$ $t = 12$

$M = 10000$

$a_{ik} = i\text{'nci işletmenin ortaya çıkardığı } k \text{ atığının miktarı (Arz miktarı)}$

$b_{jk} = j\text{'nci işletmenin ihtiyaç duyduğu } k \text{ atığının miktarı (Talep miktarı)}$

$R_k = k\text{'nci atığın bir biriminin satışından elde edilen getiri}$

$T_{ij} = i\text{'nci işletmeden } j\text{'nci işletmeye taşınacak atığın ton başına maliyeti}$

$W_{jk} = j\text{'nci işletmenin } k \text{ atığını talep etme durumu}$

$L_k = k. \text{atığın bertaraf maliyeti}$

$TOPSIS_j = j\text{'nci işletmenin TOPSIS puanı}$

$s = \text{Bulanık üyelik düzeyi}$

$P_{ik} = i. \text{işletmenin } k. \text{atık için tolerans düzeyi}$

$B_{jk} = j. \text{işletmenin } k. \text{atık için tolerans düzeyi}$

Karar Değişkenleri

$$X_{ijk} =$$

i' nci üreticiden j' nci alıcıya gönderilecek k' nci atığın miktarı $\forall i, j, k$

$$y_{ijk} =$$

$\begin{cases} i'nci \text{ üreticiden } j'nci \text{ alıcıya } k'nci \text{ atığı gönderiliyorsa } 1 \\ \text{aksi halde } 0 \end{cases} \quad \forall i, j, k$

$N_{ik} = i$ satıcısının bertarafata göndereceği k atığı miktarı

Amaç Fonksiyonu

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^t TOPSIS_j * X_{ijk} \quad (7.12)$$

Kısıtlar

$$\sum_{j=1}^n X_{ijk} + N_{ik} = a_{ik} + (P_{ik} * (1 - s)) \quad \forall_{i,k} \quad (7.13)$$

$$\sum_{i=1}^m X_{ijk} \leq b_{jk} + (B_{jk} * (1 - s)) \quad \forall_{i,j} \quad (7.14)$$

$$X_{ijk} \leq M * y_{ijk} \quad \forall_{i,j,k} \quad (7.15)$$

$$X_{ijk} \geq y_{ijk} * 3 \quad \forall_{i,j,k} \quad (7.16)$$

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n W_{jk} y_{ijk} \geq \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n y_{ijk} * 4 \quad \forall_k \quad (7.17)$$

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n W_{Fjk} y_{ijk} \geq \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n y_{ijk} * 6 \quad \forall_k \quad (7.18)$$

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n E_{jk} y_{ijk} \geq \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n y_{ijk} * 6 \quad \forall_k \quad (7.19)$$

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n ENV_{jk} y_{ijk} \geq \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n y_{ijk} * 4 \quad \forall_k \quad (7.20)$$

$$x_{ijk} \geq 0 \text{ ve } y_{ijk} 0 \text{ veya } 1 \quad (7.21)$$

Denklem 7.12 ile 7.21 arasında bulanık matematiksel modelin formülasyonu yer almaktadır. Bu modelde Denklem 7.13 ve Denklem 7.14 diğer modellere göre farklılık göstermektedir. Denklem 7.13’de P_{ik} ile tanımlanan bulanık parametre arz miktarı a_{ik} ’daki değişimi temsil etmektedir. $1-s$ parametresi ise α_{kesim} düzeyini ifade etmektedir. s , 0 ile 1 arasında değer alan bir parametredir. Denklem 7.14’de ise B_{jk} ile tanımlanan bulanık parametre arz miktarı b_{jk} ’daki değişimi temsil etmektedir. $1-s$ parametresi ise memnuniyet düzeyini ifade etmektedir. Çizelge 7.11’de bulanık matematiksel model sonuçları özetlenmektedir. Burada arz ve talep miktarlarındaki değişim ile s parametresindeki değişimler ile kombinasyon oluşturulmuştur. Bu kombinasyonlardan 96 senaryo geliştirilmiştir. Model bu 96 senaryonun çözümünü

elde etmek için çalıştırılmıştır. Senaryolara ilişkin bilgiler Çizelge 7.12 ve Çizelge 7.13'te özetlenmektedir. Çizelge 7.12'de arz miktarının talep miktarından büyük olduğu durumda parametreler ile oluşturulan kombinasyonlar yer almaktadır. T, arz miktarında meydana gelebilecek değişikliği temsil etmekte, L talep miktarında meydana gelebilecek değişikliği temsil etmektedir. Senaryolar Veri1 ile Veri96 arasında etiketlenmiştir. Veri1 ile Veri 48 arz miktarının talep miktarından büyük olduğu, Veri49 ile Veri96 ise arz miktarının talep miktarından küçük olduğu durumları temsil etmektedir.

Çizelge 7.12. Bulanık matematiksel model için arz miktarının talep miktarından büyük olduğu durum için senaryolar

Senaryolar									
Arz>Talep		Parametreler			Arz>Talep		Parametreler		
		T	L	s			T	L	s
Veri1		0.05	0.05	0.25	Veri25		0.15	0.05	0.25
Veri2		0.05	0.05	0.5	Veri26		0.15	0.05	0.5
Veri3		0.05	0.05	0.75	Veri27		0.15	0.05	0.75
Veri4		0.05	0.1	0.25	Veri28		0.15	0.1	0.25
Veri5		0.05	0.1	0.5	Veri29		0.15	0.1	0.5
Veri6		0.05	0.1	0.75	Veri30		0.15	0.1	0.75
Veri7		0.05	0.15	0.25	Veri31		0.15	0.15	0.25
Veri8		0.05	0.15	0.5	Veri32		0.15	0.15	0.5
Veri9		0.05	0.15	0.75	Veri33		0.15	0.15	0.75
Veri10		0.05	0.2	0.25	Veri34		0.15	0.2	0.25
Veri11		0.05	0.2	0.5	Veri35		0.15	0.2	0.5
Veri12		0.05	0.2	0.75	Veri36		0.15	0.2	0.75
Veri13		0.1	0.05	0.25	Veri37		0.2	0.05	0.25
Veri14		0.1	0.05	0.5	Veri38		0.2	0.05	0.5
Veri15		0.1	0.05	0.75	Veri39		0.2	0.05	0.75
Veri16		0.1	0.1	0.25	Veri40		0.2	0.1	0.25
Veri17		0.1	0.1	0.5	Veri41		0.2	0.1	0.5
Veri18		0.1	0.1	0.75	Veri42		0.2	0.1	0.75
Veri19		0.1	0.15	0.25	Veri43		0.2	0.15	0.25
Veri20		0.1	0.15	0.5	Veri44		0.2	0.15	0.5
Veri21		0.1	0.15	0.75	Veri45		0.2	0.15	0.75
Veri22		0.1	0.2	0.25	Veri46		0.2	0.2	0.25
Veri23		0.1	0.2	0.5	Veri47		0.2	0.2	0.5
Veri24		0.1	0.2	0.75	Veri48		0.2	0.2	0.75

Çizelge 7.13'te ise arz miktarının talep miktarından küçük olduğu durumda parametreler ile oluşturulan kombinasyonlar yer almaktadır.

Çizelge 7.13. Bulanık matematiksel model için arz miktarının talep miktarından küçük olduğu durum için senaryolar

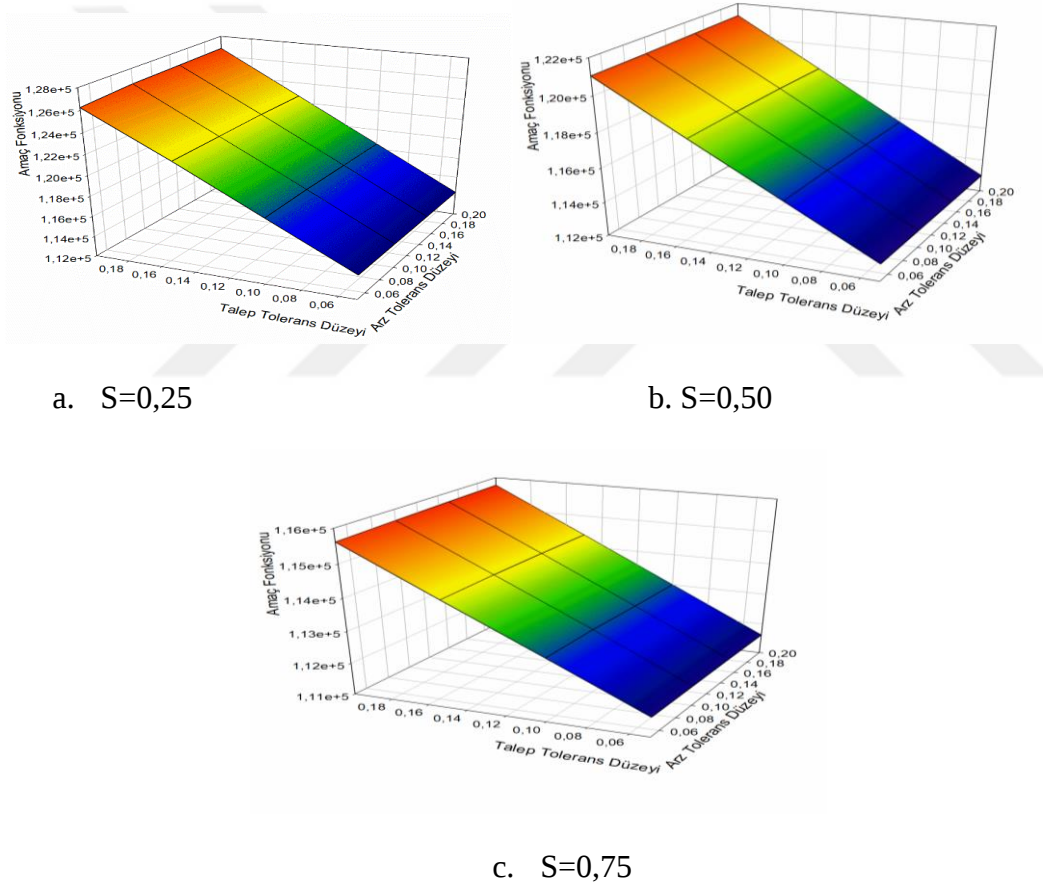
Senaryolar							
Arz<Talep	Senaryo Parametreleri			Arz<Talep p	Senaryo Parametreleri		
	T	L	s		T	L	s
Veri49	0.05	0.05	0.25	Veri73	0.15	0.05	0.25
Veri50	0.05	0.05	0.5	Veri74	0.15	0.05	0.5
Veri51	0.05	0.05	0.75	Veri75	0.15	0.05	0.75
Veri52	0.05	0.1	0.25	Veri76	0.15	0.1	0.25
Veri53	0.05	0.1	0.5	Veri77	0.15	0.1	0.5
Veri54	0.05	0.1	0.75	Veri78	0.15	0.1	0.75
Veri55	0.05	0.15	0.25	Veri79	0.15	0.15	0.25
Veri56	0.05	0.15	0.5	Veri80	0.15	0.15	0.5
Veri57	0.05	0.15	0.75	Veri81	0.15	0.15	0.75
Veri58	0.05	0.2	0.25	Veri82	0.15	0.2	0.25
Veri59	0.05	0.2	0.5	Veri83	0.15	0.2	0.5
Veri60	0.05	0.2	0.75	Veri84	0.15	0.2	0.75
Veri61	0.1	0.05	0.25	Veri85	0.2	0.05	0.25
Veri62	0.1	0.05	0.5	Veri86	0.2	0.05	0.5
Veri63	0.1	0.05	0.75	Veri87	0.2	0.05	0.75
Veri64	0.1	0.1	0.25	Veri88	0.2	0.1	0.25
Veri65	0.1	0.1	0.5	Veri89	0.2	0.1	0.5
Veri66	0.1	0.1	0.75	Veri90	0.2	0.1	0.75
Veri67	0.1	0.15	0.25	Veri91	0.2	0.15	0.25
Veri68	0.1	0.15	0.5	Veri92	0.2	0.15	0.5
Veri69	0.1	0.15	0.75	Veri93	0.2	0.15	0.75
Veri70	0.1	0.2	0.25	Veri94	0.2	0.2	0.25
Veri71	0.1	0.2	0.5	Veri95	0.2	0.2	0.5
Veri72	0.1	0.2	0.75	Veri96	0.2	0.2	0.75

Oluşturulan bu senaryolar ile 96 farklı çözüm elde edilmiştir. Model her senaryo için çözüm üretmektedir. Çözüm süreleri incelenerek çözümlerin uzun sürmesi nedeniyle her bir senaryo için bir saat zaman sınırı ile çözümler elde edilmiştir. Bu haliyle 96 saatlik bir çözüm süresi ortaya çıkmıştır. Elde edilen çözümlerden örnek olarak iki çizelge sunulmaktadır. Veri 1' ait çözüm ve Veri 49'a ait çözümler sırasıyla çizelge 7.14 ve Çizelge 7.15'te yer almaktadır.

Çizelge 7.14. Bulanık matematiksel model Veri 1 sonuçları

Satıcılar	Alıcı-Atık-Miktar
1	(1-8-3.1125) (2-12-4.15) (3-2-37.35) (4-6-7.375) (7-1-26.456) (7-2-3) (7-4-4.15) (8-1-23.344) (8-2-25.938) (8-4-3.1125) (9-3-3.1125) (9-4-4.15) (10-2-5.3) (13-10-15.563) (14-6-3) (15-10-3) (16-10-12.563) (17-2-7.2625) (17-3-3.1125) (18-10-8.3) (18-11-6.225) (19-8-4.15) (20-11-9.3375) (22-11-5.1875) (23-8-4.15) (23-9-6.225) (24-11-4.15) (25-10-16.6) (29-2-11.413) (29-7-4.15) (30-9-5.1875) (30-11-5.1875) (31-3-3.1125) (37-6-8.3) (39-5-30.087) (39-9-5.1875) (40-3-3.1125) (40-5-7.2625) (42-6-14.525) (42-9-3) (42-12-4.15)
2	(1-2-30.2) (3-10-3) (3-11-6.225) (4-3-3.1125) (4-7-3.1125) (5-11-4.15) (5-12-4.15) (6-10-24.9) (8-3-3.1125) (11-3-3.1125) (14-6-3.1125) (15-1-24.9) (15-12-3.1125) (18-8-3.1125) (19-9-3) (20-9-9.3375) (21-9-6.225) (22-8-3.1125) (22-10-15.563) (24-8-3.1125) (27-11-5.1875) (29-1-28.791) (31-6-4.15) (33-7-4.15) (35-5-9.3375) (35-6-4.15) (39-6-3) (40-5-14.525) (41-6-10.488) (42-5-17.637)
3	(1-11-7.2625) (2-6-7.2625) (3-10-18.788) (3-12-5.1875) (4-10-25.938) (7-10-14.525) (8-7-3.1125) (9-6-6.225) (10-3-3.1125) (12-3-3.1125) (12-8-5.1875) (12-11-8.3) (15-5-9.3375) (15-6-5.3) (16-11-4.15) (18-9-3) (20-8-5.1875) (20-10-3) (28-9-7.2625) (34-1-31.125) (35-5-15.563) (36-1-18.675) (38-9-5.1875) (40-6-4.0375)
4	(1-3-3.1125) (1-6-5.1875) (1-12-3.1125) (2-1-7.2625) (2-5-28.012) (2-8-5.1875) (2-11-5.1875) (4-11-7.2625) (7-6-6.225) (7-9-4.15) (8-6-3.1125) (8-7-3.1125) (10-2-7.2625) (13-3-3.1125) (15-5-9.3375) (15-9-3.1125) (15-10-21.9) (16-8-4.15) (16-12-4.15) (17-8-5.1875) (19-10-14.525) (23-11-6.225) (25-9-3.1125) (29-3-3.1125) (34-6-6.225) (39-1-32.681) (40-10-21.788)
5	(1-10-14.525) (2-1-25.419) (2-10-15.563) (3-1-23.344) (3-6-6.225) (5-7-4.15) (8-9-5.1875) (9-9-5.1875) (9-11-5.1875) (11-8-3) (12-10-21.788) (14-3-3.1125) (14-8-3.1125) (15-3-3.1125) (15-5-14.525) (16-2-7.2625) (16-3-3.1125) (16-10-3) (17-6-6.225) (26-9-5.1875) (28-11-7.2625) (30-8-5.1875) (34-3-3.1125) (36-2-9.3375) (37-2-11.412) (39-6-4.2625) (39-12-4.15) (41-5-23.863) (42-12-3.1125)
6	(1-5-32.163) (2-9-5.1875) (4-1-30.347) (6-7-6.225) (6-11-3.1125) (6-12-3.1125) (7-12-3.1125) (8-10-17.637) (8-11-4.15) (9-10-16.712) (10-2-3) (10-10-5.1875) (11-2-11.412) (12-2-10.375) (13-2-9.3375) (13-8-3.225) (14-2-8.3) (15-2-8.3) (15-11-3.1125) (17-10-14.525) (20-10-7.15) (25-11-3.1125) (29-8-5.1875) (34-2-3) (35-3-3.1125) (36-3-3.1125) (38-11-5.1875)
7	(1-1-28.012) (1-12-3.1125) (2-2-25.938) (2-7-3.1125) (4-2-28.012) (4-12-4.15) (5-2-6.225) (7-5-21.9) (8-5-14.525) (9-5-3) (10-8-3.1125) (10-11-6.225) (11-10-15.563) (13-11-7.2625) (16-9-5.1875) (18-9-4.2625) (21-10-16.6) (24-9-5.1875) (25-8-4.15) (27-10-18.675) (28-8-6.225) (30-10-13.488) (31-11-5.1875) (37-3-3.1125) (39-3-3.1125) (40-4-4.15) (42-1-17.897)
8	(2-4-4.15) (5-2-22.825) (5-10-28.012) (6-2-36.313) (9-1-25.678) (9-5-28.125) (9-10-3) (9-12-4.15) (11-11-7.2625) (13-8-3) (14-10-21.788) (15-7-5.1875) (15-8-4.15) (17-9-5.1875) (17-12-4.15) (19-11-7.2625) (34-5-12.45) (35-1-12.45) (36-4-3.1125) (37-1-6.225) (37-4-3.1125) (40-6-7.375) (41-3-3.1125) (41-4-4.15) (41-6-3) (42-3-3.1125) (42-9-6.3375)
9	(2-3-3.1125) (3-3-3.1125) (4-12-3.1125) (8-12-4.15) (9-7-6.225) (10-10-9.3375) (14-11-5.1875) (15-6-3) (21-11-5.1875) (22-9-5.1875) (23-10-18.675) (26-8-3.1125) (26-10-15.563) (26-11-4.15) (27-8-5.1875) (27-9-5.1875) (28-10-13.488) (29-11-3.1125) (33-8-3.1125) (34-2-8.4125) (34-5-15.563) (35-2-10.375) (36-5-8.3) (36-6-12.45) (37-1-17.119) (37-5-12.45) (39-2-8.3) (40-1-7.7813) (40-2-7.2625) (41-1-12.45) (41-2-8.3) (42-2-11.412) (42-4-3.1125)
10	(1-2-3) (1-4-5.1875) (4-6-5.075) (7-2-18.788) (7-3-3.1125) (7-5-6.1125) (7-7-5.1875) (7-11-3.1125) (9-2-23.863) (11-8-3.225) (14-6-4.2625) (14-9-5.1875) (14-12-4.15) (15-4-5.1875) (16-6-7.2625) (17-11-5.1875) (19-9-5.3) (20-10-5.4125) (21-8-4.15) (24-10-14.525) (29-10-8.3) (31-10-15.563) (34-4-5.1875) (35-4-4.15) (39-4-5.1875)

Elde edilen sonuçlara göre alıcı işletmeler ve satıcı işletmeler arasında optimal malzeme değişimi bulanık model ile belirlenmiştir. Toplamda 2540.3 tonluk atık değişimi sağlanmış ve 211 simbiyotik ilişki kurulmuştur. Sonuçların 3 boyutlu grafiksel gösterimi Şekil 7.1’de özetlenmektedir. Matematiksel modelde s parametresinin üç farklı değerine göre arz ve talep miktarının amaç fonksiyonundaki değişimleri grafikte yer almaktadır. Arz miktarının talep miktarından büyük olduğu durumda her üç s değerinde de amaç fonksiyonun talebe dayalı olarak doğrusal bir sonuç ortaya çıkardığı görülmektedir. Arz miktarları artsa da modelin talep miktarlarına duyarlı olduğu ve bu durumunda gerçek hayat ile tutarlı olduğu ortaya konulmaktadır.



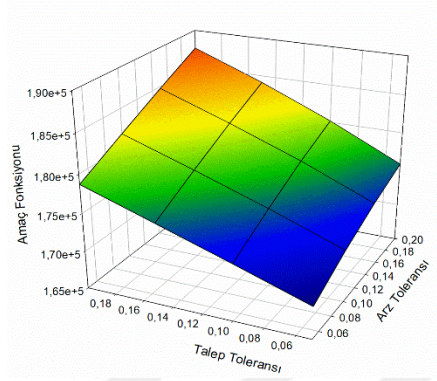
Şekil 7.2. Bulanık matematiksel model Veri 1-Veri 48 sonuçlarına ilişkin grafik

Çizelge 7.15’te bulanık matematiksel model ile Veri 49 senaryosu ile elde edilen sonuçlar özetlenmektedir. 214 simbiyotik ilişki kurularak 3232,9 tonluk atığın tekrar üretime kazandırıldığı ve işletmelerin ES ağındaki faydaları maksimize ettiği görülmektedir.

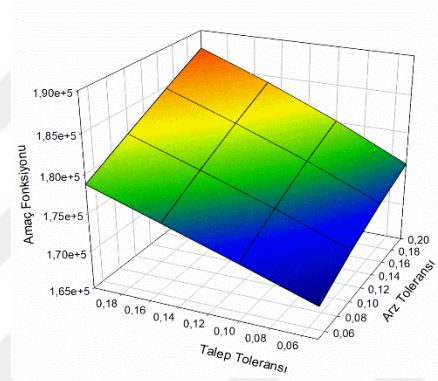
Çizelge 7.15. Bulanık matematiksel model Veri 49 sonuçları

Satıcılar	Alıcı-Atık-Miktar
1	(1-4-3.925)(1-11-3)(2-4-3)(2-5-4.15)(2-9-3)(3-12-3.1125)(4-2-51.875)(4-3-3.1125)(4-10-3)(5-7-5.1875)(5-11-6.225)(7-2-4.0375)(8-9-4.2625)(8-10-18.9)(10-8-3.1125)(14-3-4.15)(15-1-11.413)(15-2-12.563)(15-6-3.225)(15-10-14.525)(16-3-4.15)(17-6-4.2625)(17-8-3.1125)(17-12-5.1875)(22-9-6.225)(22-11-7.2625)(23-10-22.713)(23-11-4.4875)(25-9-6.225)(25-11-4.15)(27-10-3)(27-11-3)(28-8-3.1125)(28-10-15.675)(34-6-4.2625)(35-1-19.712)(36-6-8.1875)(37-1-36.313)(37-3-4.15)(38-11-3)(40-6-3.225)(41-4-17.975)(41-5-16.6)(41-6-10.038)(42-2-21.788)(42-5-24.9)
2	(1-6-3)(1-11-4.375)(1-12-4.15)(2-2-9.3375)(2-4-4.2625)(2-6-3)(3-1-14.75)(3-2-10.375)(4-1-14.3)(4-6-5.4125)(4-7-4.15)(4-12-3.1125)(5-2-23.862)(6-2-8.3)(6-7-3.1125)(7-6-3.1125)(8-11-3)(10-3-4.15)(10-11-5.075)(11-3-3.1125)(14-2-15.563)(15-4-3)(16-2-13.488)(16-10-18.788)(17-8-3.1125)(18-9-4.2625)(18-11-8.3)(19-9-9.3375)(19-10-20.75)(22-10-3)(27-8-6.225)(28-10-3)(34-1-31.125)(35-5-8.3)(37-4-15.563)(37-5-18.675)(37-6-10.375)(40-10-23.975)(41-5-14.525)(42-3-3.1125)(42-9-5.075)
3	(1-2-49.8)(1-11-3)(2-4-8.3)(2-6-6.3375)(2-11-3.675)(6-7-5.1875)(6-10-35.275)(7-1-19.013)(7-2-9.225)(7-3-3.1125)(8-1-9.925)(8-12-5.1875)(9-3-4.15)(9-11-7.2625)(15-6-7.15)(16-6-9.3375)(17-9-3.1125)(20-8-6.225)(23-9-4.2625)(23-11-3.8125)(24-8-4.15)(24-10-20.75)(26-9-4.9625)(26-11-3)(27-9-3.225)(27-10-8.3)(35-4-4.15)(35-5-24.9)(36-4-15.563)(41-2-12.563)(42-1-25.012)
4	(1-8-3.1125)(2-1-31.125)(2-8-3.1125)(2-11-3.5875)(4-6-3)(4-12-3)(5-10-36.425)(7-2-27.2)(7-7-3.1125)(7-11-4.15)(9-4-3.7)(9-9-4.15)(15-9-5.1875)(15-10-20.75)(15-11-4.15)(16-8-3.1125)(16-12-4.2625)(17-2-3.925)(19-11-5.4125)(23-8-5.1875)(24-9-6.225)(28-11-3.45)(29-3-4.15)(34-1-17.638)(34-4-3)(34-5-37.35)(35-2-11.413)(35-4-13.012)(36-6-6.3375)(37-2-18.675)(40-10-4.0375)(41-3-4.15)(42-6-17.637)
5	(1-1-19.375)(1-2-11.412)(1-6-3.225)(2-5-11.412)(3-6-7.2625)(3-12-3.1125)(4-6-3)(4-10-17.637)(6-12-4.15)(7-6-4.15)(7-7-4.15)(7-10-20.75)(8-1-26.388)(10-2-29.05)(11-8-6.225)(12-3-4.15)(12-11-5.3)(14-9-4.2625)(15-3-4.15)(15-4-5.4125)(15-5-26.975)(16-11-3.225)(17-3-4.15)(17-9-3.1125)(18-9-8.1875)(19-8-5.1875)(20-10-21.788)(20-11-3)(24-11-6.225)(34-4-16.938)(35-4-3.5875)(36-2-16.6)(38-11-3)(41-1-3)
6	(1-1-15.9)(1-3-3.1125)(3-2-3)(4-1-3)(4-11-10.375)(4-12-3.225)(7-4-3.1125)(8-10-3)(9-1-24.787)(9-2-44.612)(9-5-17.638)(9-10-28.012)(10-10-20.75)(12-8-6.225)(14-10-9.45)(15-1-3)(15-2-3)(15-4-17.525)(15-5-17.637)(15-7-6.225)(15-8-3.1125)(16-11-3)(17-2-9.5625)(20-11-4.15)(26-9-4.375)(26-11-3.225)(28-9-6.1125)(34-4-3)(38-9-3)(39-3-4.15)(42-4-5.4125)(42-12-3)
7	(1-5-15.563)(2-2-38.387)(3-3-3.1125)(3-11-8.3)(4-1-30.425)(4-6-3.1125)(7-1-22.487)(7-9-6.225)(8-11-3.225)(9-4-17.05)(9-5-23.862)(9-7-3.1125)(9-9-3.1125)(12-10-7.375)(12-11-3)(15-12-3.1125)(17-10-4.9625)(18-8-4.15)(21-11-6.225)(25-10-21.788)(26-10-21.788)(27-9-3)(27-10-13.6)(28-9-3.225)(29-8-5.1875)(33-8-4.15)(34-2-21.788)(36-3-4.15)(37-2-3.1125)(41-4-3.8125)(42-4-3)(42-12-4.15)
8	(1-5-28.012)(1-10-7.4875)(1-12-3.1125)(2-8-3.1125)(5-10-3)(6-2-59.138)(7-5-14.525)(8-4-15.563)(8-7-5.1875)(8-9-3)(8-10-3)(9-1-15.675)(9-6-3.3375)(9-12-5.1875)(10-11-3.225)(14-6-5.075)(14-10-20.637)(15-1-25.012)(16-9-3.1125)(18-10-12.45)(20-11-5.3)(22-10-18.788)(27-11-3.225)(28-8-4.15)(28-11-6.925)(34-3-4.15)(35-3-4.15)(36-1-3)(40-6-3)(42-1-3)(42-4-4.15)(42-9-7.375)
9	(2-3-3.1125)(2-10-21.788)(2-12-3)(3-1-18.563)(3-10-10.262)(6-11-4.15)(7-4-17.637)(7-5-4.15)(8-2-47.725)(8-3-4.15)(8-5-19.712)(8-7-3.1125)(12-10-3)(14-6-7.375)(14-8-3.1125)(14-11-7.2625)(14-12-4.2625)(16-10-3)(17-10-15.788)(17-11-7.2625)(20-9-3)(23-9-4.15)(23-10-3.225)(25-8-5.1875)(26-8-4.15)(33-7-3.1125)(34-6-3)(35-2-7.2625)(35-6-5.1875)(36-5-12.45)(38-9-3.225)(41-1-18.788)
10	(1-1-8.3)(1-4-22.012)(1-10-13.262)(2-9-4.2625)(3-1-3)(3-2-56.138)(3-10-19.825)(4-10-15.675)(7-5-18.675)(7-12-4.15)(8-6-4.15)(9-6-3.925)(9-7-5.1875)(12-11-3.1125)(14-9-3)(16-9-4.15)(17-6-3)(19-11-4.9625)(21-8-5.1875)(22-8-4.15)(34-4-3)(36-1-26.05)(38-11-3.3375)(40-3-4.15)(41-2-3)(41-6-5.525)(42-4-3)

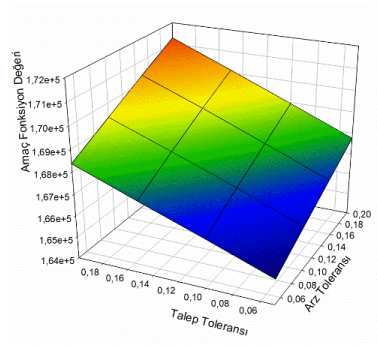
Sonuçların grafiksel özetleri Şekil 7.2’de özetlenmektedir. Sonuçların 3 boyutlu grafiksel gösterimi Şekil 7.2’de özetlenmektedir. Matematiksel modelde s parametresinin üç farklı değerine göre arz ve talep miktarının amaç fonksiyonundaki değişimleri grafikte yer almaktadır. Arz miktarının talep miktarından küçük olduğu durumda her üç s değerinde de amaç fonksiyonun talebe ve arz miktarlarına duyarlı olarak bir sonuç ortaya çıkardığı görülmektedir. Arz miktarı talepten küçük olduğu için arz arttıkça talebe karşılık verilebilmekte ve burada amaç fonksiyon değeri hem arz hem de talebe duyarlı olmaktadır. Grafiklerden de anlaşılacağı üzere doğrusal bir etki söz konusu değildir. Arz miktarlarının değişimini amaç fonksiyon değerini daha fazla etkilediği görülebilmektedir.



a. $S=0,25$



b. $S=0,50$



c. $S=0,75$

Şekil 7.3. Bulanık matematiksel model Veri 49-Veri 96 sonuçlarına ilişkin grafik

8. SONUÇ

Dünyada başarıyla uygulanan birçok endüstriyel simbiyoz uygulaması bulunmaktadır. Ancak endüstriyel simbiyozun nasıl uygulanacağı konusunda hala belirsizlikler var. Birçok çalışma halen endüstriyel simbiyozun kurulmasını engelleyen veya etkileyen faktörleri değerlendirmektedir. Ayrıca birçok ülke endüstriyel üretim bölgelerinde endüstriyel simbiyozun potansiyellerini araştırıyor ve sinerji yaratmanın yollarını arıyor. Endüstriyel üretim bölgelerinde sinerji yaratmak adına karar sorunları ortaya çıkmaktadır. Bir endüstriyel alanda tüm üretim tesisleri arasında sinerji yaratmak oldukça zordur.

Bu çerçevede ele alınan tez çalışmasında bir endüstriyel parkta ES ağının kuruluş aşama üç ana sürece ayrılarak ele alınmakta ve probleme çözüm önerileri sunulmaktadır. İlk süreçte endüstriyel parkta faaliyet gösteren firmalar sektörlere göre gruplandırılmıştır. Bu sektörler arasında ES ağı için öncelikli sektör belirlenmiştir. Bu aşamada Öncelikli sektörün belirlenmesinde etkili olan kriterler arasında "atıkların kullanım potansiyeli" "sektör atıklarına olan talep" ve "atıkların çevresel etkisi" en önemli kriterler olarak belirlenmiştir. Endüstriyel parkta faaliyet gösteren 30 farklı sektör arasında döküm sektörü öncelikli sektör olarak belirlenmiştir. Döküm sektörü firenin yüksek olduğu sektörler arasındadır. Üretim sırasında bir ton döküm kumundan atıkların %50'den fazlası üretilmektedir. Döküm sektörü, ürettiği atık miktarı ve ekonomik değerin yanı sıra çevresel açıdan da fayda sağlayacağı için simbiyoz ağı kurması gereken öncelikli sektör olarak belirlenmiştir. Döküm sektörünü takip eden alternatif ise Petro ve Kimya sanayi alternatifi olmuştur.

Çalışmanın ikinci aşamasında ise döküm sektöründe ortaya çıkan atıkları alacak işletmelerin ES ağı için uygunluk seviyeleri belirlenmiştir. ES ağına katılımlarının uygunluk seviyelerini etkileyen kriterler arasında ekonomik faktörler, çevresel faktörler ve örgütsel faktörler ön plana çıkmaktadır. İşletmelerin finansal faydaları en önemli kriter olarak belirlenmiştir. Finansal olarak faydası olmayan işletmelerin bu süreç içerisinde yer almak istemediği gözlenmiştir. Uygunluk seviyelerine ilişkin

sonuçlarda ise atıkları üretim sürecinde doğrudan değerlendirebilen işletmelerin uygunluk seviyeleri yüksek çıkmıştır. Döküm sektörü atıklarını almak için en uygun alternatifler sektörel olarak çimento, seramik ve asfalt sektörlerde faaliyet gösteren işletmelerin yoğun olduğu görülmüştür. Burada 42 işletme simbiyoz ağına katılım için değerlendirilmiş olup elde edilen çıktılar uygulamanın üçüncü bölümünde girdi verisi olarak kullanılmıştır.

Üçüncü aşamada atık üreten ve atık alıcı işletmeler arasında malzeme değişimini optimize edecek üç model önerilmiştir. Birinci model denklem 7.1 ile 7.10 arasında tanımlanan modeldir. Bu model arz ve talep durumlarının birbirinde büyük ve küçük olmasına göre senaryo analizleri yapılarak işletmeler arasında optimal malzeme değişimini amaçlayan bir modeldir. Burada amaç fayda maksimizasyonudur. İkinci model denklem 7.12 ile tanımlanan modeldir. Burada çalışmanın ikinci aşamasındaki çıktı verileri modelin amaç fonksiyonuna bir girdi olarak dahil edilip parametre olarak kullanılmıştır. Üçüncü modelde ise arz ve talep miktarlarındaki belirsizlikleri dikkate alan bulanık matematiksel model önerilmiştir. Model sonuçları işletmelerin değişim yapacakları miktarları ve hangi işletmeler ile ilişki kuracağını vermektedir. Bununla birlikte simbiyoz ağına dahil olmayan ve bertaraf edilmesi gereken atık miktarlarını da belirlemektedir.

Model 2’de işletmelerin uygunluk seviyeleri dikkate alınarak ilişki kurulacak işletmeler ve miktarlar belirlenmiştir. Amaç fonksiyonundaki değişim ile simbiyoz ağının sürdürülebilirliği dikkate alınmıştır. Model 3’te ise kurulan matematiksel model bulanık matematiksel modele dönüştürülerek arz ve talep miktarlarındaki belirsizlikler dikkate alınmıştır. Model 1’de Simbiyotik ilişkiler diğer modellere göre daha az sayıdadır. Uygunluk seviyelerini dikkate alan Model 2 ve Model 3’te daha fazla simbiyotik ilişki sayısı daha fazla çıkmaktadır.

ES ağının kurulumu ve sürdürülmesi için çaba gösteren yönetici ve kullanıcılara yol gösterici niteliğe sahiptir. İleride yapılacak olan çalışmalarda simbiyoz ağının yürütülmesi sürecinde ortaya çıkan lojistik problemleri dikkate alınabilir. Oyun teorisi gibi yaklaşımlar ile atık satıcı ve atık alıcıların karşılıklı ilişkilerini modelleyen çalışmalar yürütülebilir. Bununla birlikte bilgi paylaşımını yönetecek yeni teknolojik gelişmelerin kullanımını değerlendiren çalışmalar yürütülebilir. Burada blokzincir gibi yaklaşım ile atıkların takibi, süreçteki finansal operasyonların yönetimi gibi çeşitli

problemler incelenebilir. Ayrıca işletmelerin atık kullanımını özendirici politikaların geliştirilmesine yönelik çalışmalar yürütülebilir.



KAYNAKÇA

Afshari, H., Jaber, M. Y. and Searcy, C. (2018). Extending industrial symbiosis to residential buildings: A mathematical model and case study. *Journal of Cleaner Production*, 183, 370–379. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2018.02.148>

Afshari, H., Tosarkani, B. M., Jaber, M. Y. and Searcy, C. (2020). The effect of environmental and social value objectives on optimal design in industrial energy symbiosis: A multi-objective approach. *Resources, Conservation and Recycling*, 158. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.104825>

Agudo, F. L., Bezerra, B. S., Paes, L. A. B. and Gobbo Júnior, J. A. (2022). Proposal of an assessment tool to diagnose industrial symbiosis readiness. *Sustainable Production and Consumption*, 30, 916–929. <https://doi.org/10.1016/J.SPC.2022.01.013>

Aid, G., Brandt, N., Lysenkova, M. and Smedberg, N. (2015). Looplocal - A heuristic visualization tool to support the strategic facilitation of industrial symbiosis. *Journal of Cleaner Production*, 98, 328–335. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2014.08.012>

Ak, M. F. ve Gul, M. (2019). AHP-TOPSIS integration extended with Pythagorean fuzzy sets for information security risk analysis. *Complex & Intelligent Systems*, 5(2), 113–126. <https://doi.org/10.1007/s40747-018-0087-7>

Alakaş, H. M., Gür, Ş., Özcan, E. ve Eren, T. (2020). Ranking of sustainability criteria for industrial symbiosis applications based on ANP. *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management*, 28(4), 192–201. <https://doi.org/10.3846/jeelm.2020.13689>

Alkan, N. (2019). Sectoral Prioritization Analysis of Industry 4.0 in the Lean Supply Chain by using A Fuzzy Multi Criteria Decision Making Approach. Yüksek Lisans Tezi. Fen Bilimleri Enstitüsü, Yıldız Teknik Üniversitesi.

Alkaya, E. (2021). Türkiye’de Endüstriyel Simbiyoz: Mevcut Durum Raporu. https://endustriyelsimbiyoz.ikvp.izka.org.tr/wp-content/uploads/2022/05/EK-6.-Endustriyel-Simbiyoz-Mevcut-Durum-Raporu_public.pdf

Arif Misrol, M., Rafidah Wan Alwi, S., Shiun Lim, J. and Abd Manan, Z. (2020). An optimal resource recovery of biogas, water regeneration, and reuse network integrating domestic and industrial sources. *Journal of Cleaner Production*, 286 (2021), 125372. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125372>

Atanassov, K. T. (1986). Intuitionistic fuzzy sets. *Fuzzy Sets and Systems*, 20(1), 87–96.

Bacudio, L. R., Benjamin, M. F. D., Eusebio, R. C. P., Holaysan, S. A. K., Promentilla, M. A. B., Yu, K. D. S., & Aviso, K. B. (2016). Analyzing barriers to implementing

- industrial symbiosis networks using DEMATEL. *Sustainable Production and Consumption*, 7(February), 57–65. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2016.03.001>
- T.C. Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı (2012). Döküm sektörü Rehber Döküman.
- Başaran, Y., Aladağ, H. and Işık, Z. (2023). Pythagorean Fuzzy AHP Based Dynamic Subcontractor Management Framework. *Buildings*, 13(5). <https://doi.org/10.3390/buildings13051351>
- Başer, N. (2014). Kalkınmada Sürdürülebilirliğe Yönelik Bir Araç Olarak Endüstriyel Simbiyoz Yaklaşımı. Kalkınma Bakanlığı, Uzmanlık Tezi, Bölgesel Gelişme ve Yapısal Uyum Genel Müdürlüğü.
- Basile, D., D'Adamo, I., Goretti, V. and Rosa, P. (2023). Digitalizing Circular Economy through Blockchains: The Blockchain Circular Economy Index. *Journal of Industrial and Production Engineering*, 40(4). <https://doi.org/10.1080/21681015.2023.2173317>
- BEBKA (2020). Eskişehir endüstriyel simbiyoz projesi raporu.
- Bellman, R. E. and Zadeh, L. A. (1970). Decision-Making in a Fuzzy Environment. *Management Science*, 17(4), 141–164.
- Berkel, R. Van, Willems, E. and Lafleur, M. (1997). Development of an industrial ecology toolbox for the introduction of industrial ecology in enterprises—I. *Journal of Cleaner Production*, 1(2), 11–25. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652697000048>
- Çalık, A. (2021). A novel Pythagorean fuzzy AHP and fuzzy TOPSIS methodology for green supplier selection in the Industry 4.0 era. *Soft Computing*, 25. <https://doi.org/10.1007/s00500-020-05294-9>
- Chertow, M. R. (2000). Industrial symbiosis: Literature and taxonomy. *Annual Review of Energy and the Environment*, 25, 313–337. <https://doi.org/10.1146/ANNUREV.ENERGY.25.1.313>
- Cimren, E., Fiksel, J., Posner, M. E. and Sikdar, K. (2011). Material Flow Optimization in By-product Synergy Networks. *Journal of Industrial Ecology*, 15(2), 315–332. <https://doi.org/10.1111/J.1530-9290.2010.00310.X>
- Daquin, C., Allaoui, H., Goncalves, G. and Hsu, T. (2023). Centralized Collaborative Planning of an Industrial Symbiosis: Mixed-integer linear model. *Computers and Industrial Engineering*, 180. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2023.109171>
- Daş, G. S., Yeşilkaya, M. and Birgören, B. (2024). A two-stage stochastic model for an industrial symbiosis network under uncertain demand. *Applied Mathematical Modelling*, 125, 444–462. <https://doi.org/10.1016/j.apm.2023.10.007>
- Dong, F., Wang, Y., Su, B., Hua, Y. and Zhang, Y. (2019). The process of peak CO2 emissions in developed economies: A perspective of industrialization and urbanization. *Resources, Conservation and Recycling*, 141. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.10.010>

- Flood, M., Fennessy, L., Lockrey, S., Avendano, A., Glover, J., Kandare, E. and Bhat, T. (2020). Glass Fines: A review of cleaning and up-cycling possibilities. *Journal of Cleaner Production*, 267, 121875. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2020.121875>
- Foong, S. Z. Y. and Ng, D. K. S. (2021). Simultaneous design and integration of multiple processes for eco-industrial park development. *Journal of Cleaner Production*, 298, 126797. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2021.126797>
- Fouladgar, M. M., Yazdani-Chamzini, A., Lashgari, A., Zavadskas, E. K. and Turskis, Z. (2012). Maintenance Strategy Selection Using AHP and COPRAS under Fuzzy Environment. *International Journal of Strategic Property Management*, 16(1), 85–104. <https://doi.org/10.3846/1648715X.2012.666657>
- Frosch, R. A. and Gallopoulos, N. E. (1989). Industrial Engineering and Operation Research. *Scientific American*, 261, 144–152.
- Genc, O., Kurt, A., Yazan, D. M. and Erdis, E. (2020). Circular eco-industrial park design inspired by nature: An integrated non-linear optimization, location, and food web analysis. *Journal of Environmental Management*, 270, 110866. <https://doi.org/10.1016/J.JENVMAN.2020.110866>.
- Giurco, D., Bossilkov, A., Patterson, J. and Kazaglis, A. (2011). Developing industrial water reuse synergies in Port Melbourne: cost effectiveness, barriers and opportunities. *Journal of Cleaner Production*, 19(8), 867–876. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652610002581>
- Gökdalay, M. H. and Evren, G. (2009). Fuzzy multicriteria decision making approach for airport performance analysis. *Journal of İtÜ*, 8(6), 157–168.
- Gonela, V. and Zhang, J. (2014). Design of the optimal industrial symbiosis system to improve bioethanol production. *Journal of Cleaner Production*, 64, 513–534. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2013.07.059>
- Gonela, V., Zhang, J. and Osmani, A. (2015). Stochastic optimization of sustainable industrial symbiosis based hybrid generation bioethanol supply chains. *Computers and Industrial Engineering*, 87, 40–65. <https://doi.org/10.1016/J.CIE.2015.04.025>
- Gürsoy, Z. (2016). Türkiye’de Yaşayan Bireylerin Yaşam Memnuniyeti Düzeylerinin Bulanık Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleriyle Belirlenmesi. Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Haraguchi, N., Martorano, B. and Sanfilippo, M. (2019). What factors drive successful industrialization? Evidence and implications for developing countries. *Structural Change and Economic Dynamics*, 49. <https://doi.org/10.1016/j.strueco.2018.11.002>
- Huang, L., Zhen, L. and Yin, L. (2020). Waste material recycling and exchanging decisions for industrial symbiosis network optimization. *Journal of Cleaner Production*, 276, 124073. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2020.124073>
- İlbahar, E., Karaşan, A., Cebi, S. and Kahraman, C. (2018). A novel approach to risk assessment for occupational health and safety using Pythagorean fuzzy AHP & fuzzy inference system. *Safety Science*, 103(July 2017), 124–136. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2017.10.025>

- Jamal, J. and Montemanni, R. (2018). Industrial Cluster Symbiosis Optimisation Based on Linear Programming. *Process Integration and Optimization for Sustainability*, 2(4), 353–364. <https://doi.org/10.1007/S41660-018-0051-4>
- Karasan, A., Ilbahar, E. and Kahraman, C. (2019). A novel pythagorean fuzzy AHP and its application to landfill site selection problem. *Soft Computing*, 23(21). <https://doi.org/10.1007/s00500-018-3649-0>
- Karlsson, M., and Wolf, A. (2008). Using an optimization model to evaluate the economic benefits of industrial symbiosis in the forest industry. *Journal of Cleaner Production*, 16(14), 1536–1544. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2007.08.017>
- Khan, F. and Ali, Y. (2022). Implementation of the circular supply chain management in the pharmaceutical industry. *Environment, Development and Sustainability*, 24(2022), 13705–13731. <https://doi.org/10.1007/S10668-021-02007-6/FIGURES/4>
- Luo, Y., Ni, M. and Zhang, F. (2023). A design model of FBS based on interval-valued Pythagorean fuzzy sets. *Advanced Engineering Informatics*, 56. <https://doi.org/10.1016/j.aei.2023.101957>
- Manaf, N. A., Milani, D. and Abbas, A. (2021). An intelligent platform for evaluating investment in low-emissions technology for clean power production under ETS policy. *Journal of Cleaner Production*, 317, 128362. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128362>
- Maqbool, A. S., Piccolo, G. E., Zwaenepoel, B. and Van Eetvelde, G. (2017). A heuristic approach to cultivate symbiosis in industrial clusters led by process industry. *Smart Innovation, Systems and Technologies*, 68, 579–588. https://doi.org/10.1007/978-3-319-57078-5_55
- Misrol, M. A., Wan Alwi, S. R., Lim, J. S. and Manan, Z. A. (2022). Optimising renewable energy at the eco-industrial park: A mathematical modelling approach. *Energy*, 261. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2022.125345>
- Mohd, R. and Abdullah, L. (2017). Pythagorean fuzzy analytic hierarchy process to multi-criteria decision making. *AIP Conference Proceeding* 1905. <https://doi.org/10.1063/1.5012208>
- Nouinou, H., Roy, D. and Hennequin, S. (2019). Mathematical modelling for flows optimization within an industrial symbiosis. *IFAC-PapersOnLine*, 52(13), 1319–1324. <https://doi.org/10.1016/J.IFACOL.2019.11.381>
- Paksoy, T., Yapıcı Pehlivan, N. ve Özceylan, E. (2013). *Bulanık Matematiksel Programlamaya Giriş Bulanık Küme Teorisi*. Ankara: Nobel Yayıncılık.
- Prakash, G. and Ambedkar, K. (2022). Digitalization of manufacturing for implanting value, configuring circularity and achieving sustainability. *Journal of Advances in Management Research*, 20(1), 116–139. <https://doi.org/10.1108/JAMR-01-2022-0010/FULL/PDF>
- Ramin, E., Bestuzheva, K., Gargalo, C. L., Ramin, D., Schneider, C., Ramin, P., Flores-Alsina, X., Andersen, M. M. and Gernaey, K. V. (2021). Incremental design of water symbiosis networks with prior knowledge: The case of an industrial park in

Kenya. *Science of the Total Environment*, 751. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141706>

Rani, P., Mishra, A. R., Rezaei, G., Liao, H. and Mardani, A. (2020). Extended Pythagorean Fuzzy TOPSIS Method Based on Similarity Measure for Sustainable Recycling Partner Selection. *International Journal of Fuzzy Systems*, 22(2), 735–747. <https://doi.org/10.1007/s40815-019-00689-9>

Razminienė, K., Vinogradova, I. and Tvaronavičienė, M. (2021). Clusters in Transition to Circular Economy: Evaluation of Relation. *Acta Montanistica Slovaca*, 26(3), 455–465. <https://doi.org/10.46544/AMS.v26i3.06>

Ren, J., Liang, H., Dong, L., Sun, L. and Gao, Z. (2016). Design for sustainability of industrial symbiosis based on emergy and multi-objective particle swarm optimization. *Science of The Total Environment*, 562, 789–801. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2016.04.092>

Saaty, T. L. (1990). How to make a decision: The Analytic Hierarchy Process.pdf. *European Journal of Operational Research*, 48, 9–26.

Sonel, E., Gür, Ş. and Eren, T. (2022). Analysis of factors affecting industrial symbiosis collaboration. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(6), 8479–8486. <https://doi.org/10.1007/S11356-021-16213-2>

Song, X., Geng, Y., Dong, H. and Chen, W. (2018). Social network analysis on industrial symbiosis: A case of Gujiao eco-industrial park. *Journal of Cleaner Production*, 193, 414–423. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.05.058>

Stević, Ž., Pamučar, D., Vasiljević, M., Stojić, G. and Korica, S. (2017). Novel Integrated Multi-Criteria Model for Supplier Selection: Case Study Construction Company. *Symmetry*, 9(11), 279. <https://doi.org/10.3390/SYM9110279>

Susur, E., Hidalgo, A. and Chiaroni, D. (2019). The emergence of regional industrial ecosystem niches: A conceptual framework and a case study. *Journal of Cleaner Production*, 208, 1642–1657. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2018.10.163>

Suzanne, E., Absi, N., Borodin, V. and van den Heuvel, W. (2021). Lot-sizing for industrial symbiosis. *Computers and Industrial Engineering*, 160. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2021.107464>

T.C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı. (2015). Türkiye Sanayi Stratejisi Belgesi. 2015-2018.

Tan, R. R., Andiappan, V., Wan, Y. K., Ng, R. T. L. and Ng, D. K. S. (2016). An optimization-based cooperative game approach for systematic allocation of costs and benefits in interplant process integration. *Chemical Engineering Research and Design*, 106, 43–58. <https://doi.org/10.1016/J.CHERD.2015.11.009>

Teh, K. C., Lim, S. C., Andiappan, V. and Chew, I. M. L. (2021). Evaluation of Palm Oil Eco-Industrial Park Configurations: VIKOR with Stability Analysis. *Process Integration and Optimization for Sustainability*, 5, 303–316. <https://doi.org/10.1007/s41660-021-00168-5/Published>

- Tiu, B. T. C. and Cruz, D. E. (2017). An MILP model for optimizing water exchanges in eco-industrial parks considering water quality. *Resources, Conservation and Recycling*, 119, 89–96. <https://doi.org/10.1016/J.RESCONREC.2016.06.005>
- Tseng, M. and Bui, T. (2017). Identifying eco-innovation in industrial symbiosis under linguistic preferences: A novel hierarchical approach. *Journal of Cleaner Production*, 140, 1376–1389. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.10.014>
- TÜDOKSAD. (2022). 22. Dönem Faaliyet Raporu (2020-2022).
- Ubando, A. T., Culaba, A. B., Aviso, K. B., Tan, R. R., Cuello, J. L., Ng, D. K. S. and El-Halwagi, M. M. (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. *Journal of Cleaner Production*, 136, 183-196. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.04.143>
- Vimal, K. E. K., K, J., Ameen, T., Afridhi, S. S., Vasudevan, V. and Sreedharan V, R. (2020). An investigation on the impact of industrial symbiosis implementation on organizational performance using analytical hierarchical approach. *Benchmarking*, 27(2), 886–911. <https://doi.org/10.1108/BIJ-12-2018-0423/FULL/XML>
- Vimal, K. E. K., Rajak, S. and Kandasamy, J. (2019). Analysis of network design for a circular production system using multi-objective mixed integer linear programming model. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 30(3), 628–646. <https://doi.org/10.1108/JMTM-02-2018-0058/FULL/XML>
- www.aso.org.tr. (2017). Döküm Sektörü. <https://www.aso.org.tr/wp-content/uploads/2017/09/15.pdf>, Erişim Tarihi: 15.01.2022.
- www.yesilbuyume.org. Erişim Tarihi: 10.06.2024.
- Xiong, J., Ng, T. S., He, Z., and Fan, B. (2017). Modelling and analysis of a symbiotic waste management system. *International Journal of Production Research*, 55(18), 5355-5377. <https://doi.org/10.1080/00207543.2017.1312588>
- Yager, R. R. (2014). Pythagorean membership grades in multicriteria decision making. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 22(4), 958–965. <https://doi.org/10.1109/TFUZZ.2013.2278989>
- Yang, T., Liu, C., Côté, R. P., Ye, J. and Liu, W. (2022). Evaluating the Barriers to Industrial Symbiosis Using a Group AHP-TOPSIS Model. *Sustainability*, 14(11), 6815.
- Yazıcı, E., Alakaş, H. M. and Eren, T. (2022). Analysis of operations research methods for decision problems in the industrial symbiosis: a literature review. *Environmental science and pollution research international*, 29, 70658–70673. <https://doi.org/10.1007/S11356-022-22507-W>
- Yeşilkaya, M., Daş, G. S. and Türker, A. K. (2020). A multi-objective multi-period mathematical model for an industrial symbiosis network based on the forest products industry. *Computers & Industrial Engineering*, 150, 106883. <https://doi.org/10.1016/J.CIE.2020.106883>

Yıldırım, B. F. (2019). Kredi Kartı Platformlarının Sezgisel Bulanık TOPSIS Yöntemi Kullanılarak Değerlendirilmesi. BDDK Bankacılık ve Finansal Piyasalar, 13(1), 37–58.

Yu, H., Da, L., Li, Y., Chen, Y., Geng, Q., Jia, Z., Zhang, Y., Li, J. and Gao, C. (2023). Industrial symbiosis promoting material exchanges in Ulan Buh Demonstration Eco-industrial Park: A multi-objective MILP model. Journal of Cleaner Production, 414, 137578. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2023.137578>

Yucesan, M. and Kahraman, G. (2019). Risk evaluation and prevention in hydropower plant operations: A model based on Pythagorean fuzzy AHP. Energy Policy, 126(November 2018), 343–351. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2018.11.039>

Yukalov, V. I., Yukalova, E. P. and Sornette, D. (2012). Modeling symbiosis by interactions through species carrying capacities. Physica D: Nonlinear Phenomena, 241(15), 1270–1289. <https://doi.org/10.1016/J.PHYSD.2012.04.005>

Zadeh, L. A. (1978). Fuzzy sets as a basis for a theory of possibility. Fuzzy Sets and Systems, 1(1), 3–28.

Zhou, L., Hu, S. Y., Li, Y., Jin, Y. and Zhang, X. (2012). Modeling and Optimization of a Coal-Chemical Eco-industrial System in China. Journal of Industrial Ecology, 16(1), 105–118. <https://doi.org/10.1111/J.1530-9290.2012.00447.X>

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı	: Emre YAZICI
Yabancı Dil	: İngilizce
Eğitim Durumu	:
Lisans	: Bayburt Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimleri Fakültesi, İşletme - 2016
Yüksek Lisans	: Kırıkkale Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İşletme Anabilim Dalı -2019
Doktora	: Kırıkkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı – 2024
Yayınları (SCI)	:

- 1- Yazıcı, E., Alakaş, H. M., & Eren, T. (2024). Selection of waste receiving companies for sustainable industrial symbiosis network: an application a case in Ankara for foundry industry waste. Neural Computing and Applications, 36,13009-13026.
- 2- Yazıcı, E., Alakaş, H. M., & Eren, T. (2023). Prioritizing of sectors for establishing a sustainable industrial symbiosis network with Pythagorean fuzzy AHP-Pythagorean fuzzy TOPSIS method: a case of industrial park in Ankara. Environmental Science and Pollution Research, 30(31), 77875-77889.
- 3- Çiftçi, S., Pınarbaşı, M., Yazıcı, E., & Alakaş, H. M. (2023). Evaluation of the companies for applied education under fuzzy environment: a case in an industrial university. Neural Computing and Applications, 35(29), 21675-21695.
- 4- Alakaş, H.M., Kacar, C. & Yazıcı, E. (2022). “Yüksek Hızlı Tren Üst Yapı İhaleleri İçin Teklif Değerlerinin Oyun Teorisi ile Belirlenmesi”, Teknik Dergi, 33(3). <https://doi.org/10.18400/tekderg.987879>.
- 5- Yazıcı, E., Üner, S.İ., Demir, A., Dinler, S. & Alakas, H.M. (2022). “Evaluation of supply sustainability of vaccine alternatives with multi- criteria decision-making methods”, The International Journal of Health Planning and Management, 37:2421-2444. DOI: 10.1002/hpm.3481.
- 6- Yazıcı, E., Eren, T. & Alakaş, H. M. (2022). “Hukuk sistemlerinde personel çizelgeleme problemi: Kamulaştırma davaları örneği”, Journal of the Faculty of

Engineering and Architecture of Gazi University, 38(1), 299-308. DOI: 10.17341/gazimmfd.894627.

- 7- Yazıcı, E., Alakaş, H.M. & Eren, T. (2022). "Analysis of operations research methods for decision problems in the industrial symbiosis: a literature review". Environmental Science and Pollution Research, 29:70658–70673. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-22507-w>.

Yayınları (E-SCI)

:

- 1- Alakaş, H.M., Yazıcı, E., Ebiri, U., Kızılay, B.A., & Oruç, O. (2024) Selection of 3D printing technologies for prosthesis production with multi-criteria decision making methods." International Journal on Interactive Design and Manufacturing, 18(2),911-927. <https://doi.org/10.1007/s12008-023-01489-0>. (E-SCI).
- 2- Yazıcı, E., Özcan, E., Alakaş, H. M. & Eren, T. (2022). "Hidroelektrik Santrallarda Bakım Strateji Optimizasyonu için Hiyerarşik Bir Karar Modeli Önerisi", Politeknik Dergisi , 25(3), 933-945 . DOI: 10.2339/politeknik.862024. (E-SCI).
- 3- Yazıcı, E. , Üner, S. İ. , Demir, A. , Dinler, S. & Alakaş, H. M. (2024). "Prioritizing Individuals Who Will Have Covid-19 Vaccine with Multi-Criteria Decision Making Methods". Gazi University Journal of Science, 36(3),1277-1290. DOI: 10.35378/gujs.1053782. (E-SCI).

Yayınları (Diğer)

:

- 1- Yazıcı, E., Ebiri, U., Kızılay, B.A., & Oruç, O. & Alakaş, H.M (2023). Havya setlerin seçimi için karşılaştırmalı çok kriterli karar verme yaklaşımı, Journal of Turkish Operations Management, Basımda.
- 2- Tan, M. Yazıcı, E. & Alakaş, H.M. (2023). Analitik Ağ Süreci, TOPSIS ve PROMETHEE Yöntemleri ile Fiziksel Engelliler için Aktif Tekerlekli Sandalye Seçimi, International Journal of Pure and Applied Sciences, 9(1),76-87. DOI:10.29132/ijpas.1182406.
- 3- Koçak, M., Calku, F., Gündaş, M. , Poyraz, Z. , Yazıcı, E. & Alakaş, H. M. (2022). "Ekip çizelgeleme problemi: Filyasyon ekibi çizelgeleme". Journal of Turkish Operations Management, 6(2),1314-1326. DOI: 10.56554/jtom.1101762.
- 4- Demirtaş, D.N., Yazıcı, E., Olcar, H., Kuşcu, F.N., Başer, C. & Alakaş H.M. (2022), "Isı Rezistans Fabrikasında Ergonomik Risk Değerlendirme ve Hedef Programlama ile Personel Planlama", Verimlilik Dergisi, 57(1),159-180.
- 5- Yazıcı, E. , Akkaş, K. , Mergen, S. , Koç, A. & Alakaş, H. M. (2022). "Toplu ulaşım sistemlerinde çok amaçlı şoför çizelgeleme problemi: Kırşehir ili örneği". Journal of Turkish Operations Management, 6(1), 997-1009. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/jtom/issue/70951/950068>.
- 6- Alakaş, H. M. & Yazıcı, E. (2021). "Hedef Programlama ile Toplu Ulaşım Araç Çizelgeleme Probleminin Çözümü: Kırıkkale Kampüs Hattı Örneği". International Journal of Engineering Research and Development, 13(2), 417-427. DOI: 10.29137/umagd.830236.
- 7- Yazıcı, E. , Eren, T. & Alakaş, H. M. (2021). "Çok Ölçütlü Karar Verme Yöntemleri ile İşleme Merkezi Seçimi: İmalat İşletmesinde Uygulama". Endüstri Mühendisliği, 32 (1) , 34-54. DOI: 10.46465/endustrimuhendisligi.783465.
- 8- Alakaş, H.M., Yazıcı, E., Cebeci, S., Yılmaz, E. E. & Eren, T. (2021). "Toplu

- Ulaşım Sistemlerinde Araç Tipi Seçimi: Kırıkkale Kampüs Hattı Örneği”. Kırıkkale Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, 11(1), 269-287. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/kusbd/issue/60105/796060>.
- 9- Yazıcı, E. & Kandil Göker, İ. E. (2019). “Bankacılık Düzenlemelerinin Bankaların Risk Alma Davranışı Üzerindeki Etkisi: Türk Bankacılık Sektöründe Bir Araştırma”. Journal of International Management Educational and Economics Perspectives, 7(2), 120-138. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/jimeep/issue/50880/616085>.
- 10- Yazıcı, E., Kandil Göker, İ. E. & Oktay, M. (2019). “Türk Bankacılık Sektöründe Büyüklüğün Risk Alma Davranışı Üzerindeki Etkisi”. Muhasebe ve Finans İncelemeleri Dergisi, 2(2), 149-154 . DOI: 10.32951/mufider.595284.

Bildiriler :

- 1- Uyanık, B.N., Yazıcı, E. & Alakaş, H.M. (2023) Dron parçalarının bakım açısından kritikliğinin değerlendirilmesi, 4th International Conference on Innovative Academic Studies, Konya/Türkiye, 12-13 Mart 2024.
- 2- Yazıcı, E., Alakaş, H.M., & Eren, T., (2023) Afetlerde Ortaya Çıkan Atıkların Simbiyoz Yaklaşımı ile Değerlendirilmesi, 42. Yöneylem Araştırması ve Endüstri Mühendisliği (YA/EM) Ulusal Kongresi, Gaziantep/Türkiye, 1-3 Kasım 2023.
- 3- Yazıcı, E., Alakaş, H.M., Gökdemir, M. & Karaisli, K., (2023) Raylı Ulaşım Sistemlerinde Sinyalizasyon Sistemi İçin Yer Seçimi, 1st International Conference on Modern and Advanced Research, Konya/Türkiye, 29-31 Temmuz 2023.
- 4- Yazıcı, E., Tan, M. & Alakaş, H.M. (2023) Omurilik Felçli Fiziksel Engelli Bireylere Yönelik Giyilebilir Teknoloji Ürünlerdeki Sensörlerin Sahip Olması Gereken Özelliklerin Değerlendirilmesi, 5th International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences, Konya/Türkiye, 10-12 Temmuz 2023.
- 5- Yazıcı, E., Alakaş, H.M., Pınarbaşı, M. & Eren, T., (2022) Endüstriyel Simbiyoz Ağlarında Atık Üretici ve Atık Alıcı İşletmeler Arasındaki Sinerjiyi Etkileyen Kriterlerin Değerlendirilmesi, 41. Yöneylem Araştırması ve Endüstri Mühendisliği (YA/EM) Ulusal Kongresi, Denizli/Türkiye, 26-28 Ekim 2022.
- 6- Alakaş, H.M., Çetinkaya S., Subaşı, B., Kuşcu, F.N., Olcar, H. & Yazıcı, E. (2022) Çok Kriterli Karar Verme ve Matematiksel Model İle Deprem Erken Uyarı Sensörlerinin Konumlandırılması, Paper presented at the 3rd International Disaster Management Congress, Tokat Gaziosmanpaşa University, Tokat/Türkiye, 9-10 June 2022.
- 7- Yazıcı, E., Kandil Göker, İ.E. & Oktay, M. (2018) Türk Bankacılık Sektöründe Büyüklüğün Risk Alma Davranışı Üzerindeki Etkisi, 3. Lisansüstü İşletme Öğrencileri Sempozyumu Ulusal Kongresi, Tokat/Türkiye, 12-14 Nisan 2018.

Araştırma Alanları

:Endüstriyel Simbiyoz, Yöneylem

Araştırması, Çok Ölçütlü Karar Verme, Matematiksel Modelleme, Kuyruk Teorisi ve Blokszincir.