

ENDÜSTRİYEL SİMBİYOZ AĞI OLUŞTURMAK İÇİN ANALİTİK AĞ SÜRECİ YAKLAŞIMI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ezgi ŞEN



HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ

Fen Bilimleri Enstitüsü

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Ankara, 2019

**ENDÜSTRİYEL SİMBİYOZ AĞI OLUŞTURMAK İÇİN
ANALİTİK AĞ SÜRECİ YAKLAŞIMI**

**ANALYTICAL NETWORK PROCESS APPROACH FOR
THE ESTABLISHMENT OF INDUSTRIAL SYMBIOSIS
NETWORK**

EZGİ ŞEN

DR. ÖĞR. ÜYESİ BANU YÜKSEL ÖZKAYA

Tez Danışmanı

Hacettepe Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı için Öngördüğü

YÜKSEK LİSANS TEZİ

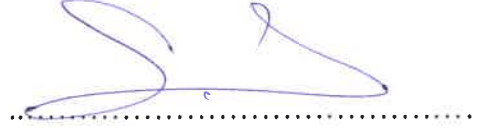
olarak hazırlanmıştır.

2019

Ezgi ŞEN'in hazırladığı “Endüstriyel Simbiyoz Ağı Oluşturmak için Analitik Ağ Süreci Yaklaşımı” adlı bu çalışma aşağıdaki jüri tarafından **ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Seçil SAVAŞANERİL TÜFEKÇİ

Başkan



Dr. Öğr. Üyesi Banu YÜKSEL ÖZKAYA

Danışman



Doç. Dr. Merih AYDINALP KÖKSAL

Üye



Dr. Öğr. Üyesi Ceren TUNCER ŞAKAR

Üye



Dr. Öğr. Üyesi Diclehan TEZCANER ÖZTÜRK

Üye



Bu tez Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak / / tarihinde onaylanmıştır.

Prof. Dr. Menemşe GÜMÜŞDERELİOĞLU

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK

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

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

27 / 06 / 2019



EZGİ ŞEN

YAYINLANMA FİKRİ MÜLKİYET HAKKLARI BEYANI

Enstitü tarafından onaylanan lisansüstü tezimin/raporumun tamamını veya herhangi bir kısmını, basılı (kağıt) ve elektronik formatta arşivleme ve aşağıda verilen koşullarla kullanıma açma iznini Hacettepe üniversitesine verdiğimi bildiririm. Bu izinle Üniversiteye verilen kullanım hakları dışındaki tüm fikri mülkiyet haklarım bende kalacak, tezimin tamamının ya da bir bölümünün gelecekteki çalışmalarda (makale, kitap, lisans ve patent vb.) kullanım hakları bana ait olacaktır.

Tezin kendi orijinal çalışmam olduğunu, başkalarının haklarını ihlal etmediğimi ve tezimin tek yetkili sahibi olduğumu beyan ve taahhüt ederim. Tezimde yer alan telif hakkı bulunan ve sahiplerinden yazılı izin alınarak kullanması zorunlu metinlerin yazılı izin olarak kullandığımı ve istenildiğinde suretlerini Üniversiteye teslim etmeyi taahhüt ederim.

Yükseköğretim Kurulu tarafından yayınlanan “*Lisansüstü Tezlerin Elektronik Ortamda Toplanması, Düzenlenmesi ve Erişime Açılmasına İlişkin Yönerge*” kapsamında tezimin aşağıda belirtilen koşullar haricince YÖK Ulusal Tez Merkezi / H. Ü. Kütüphaneleri Açık Erişim Sisteminde erişime açılır.

- ☐ Enstitü / Fakülte yönetim kurulu kararı ile tezimin erişime açılması mezuniyet tarihimden itibaren 2 yıl ertelenmiştir.
- ☐ Enstitü / Fakülte yönetim kurulu gerekçeli kararı ile tezimin erişime açılması mezuniyet tarihimden itibaren ay ertelenmiştir.
- ☐ Tezim ile ilgili gizlilik kararı verilmiştir.

..27/06/2019

(İmza)

EZGİ ŞEN



ÖZET

ENDÜSTRİYEL SİMBİYOZ AĞI OLUŞTURMAK İÇİN ANALİTİK AĞ SÜRECİ YAKLAŞIMI

Ezgi ŞEN

Yüksek Lisans, Endüstri Mühendisliği Bölümü

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Banu YÜKSEL ÖZKAYA

Mayıs 2019, 78 sayfa

Artan çevre kirliliği ve doğal kaynakların hızla tükeniyor olması, endüstriyel firmaları hem üretim süreçleri sonucu çevreye yaptıkları olumsuz etkiyi azaltacak hem de üretim maliyetlerinde düşüş sağlayabilecek çözümler aramaya itmektedir. Bu amaca ulaşmaya yönelik uygun bir araç olarak görülen endüstriyel simbiyoz, üreticilerin kendilerine rekabet avantajı sağlayacak şekilde birbirleriyle hammadde, enerji, su, altyapı ve yan ürün alışverişinde ya da ortak kullanımında bulunmalarına dayanan bir iş modelidir. Endüstriyel simbiyoz, endüstriyel işlemlerin daha sürdürülebilir gelişimine katkı sağlama konusunda yüksek potansiyele sahip olmasına rağmen, başarılı bir endüstriyel simbiyoz ağı kurmak ve işletmek için gerekli olan kriterler konusunda literatürde eksiklik bulunmaktadır. Bu tez çalışmasında, karar vericilere destek olması için bir endüstriyel simbiyoz ağı kurarken dikkat edilmesi gereken önemli kriterler belirlenecek ve çok kriterli bir karar verme aracı olan Analitik Ağ Süreci (ANP) yaklaşımı kullanılarak bu kriterlerin birbirleriyle ilişkileri ve ağırlıkları belirlenecektir.

Anahtar Kelimeler: Analitik Ağ Süreci, endüstriyel simbiyoz, çok kriterli karar verme, ağ

ABSTRACT

ANALYTICAL NETWORK PROCESS APPROACH FOR THE ESTABLISHMENT OF INDUSTRIAL SYMBIOSIS NETWORK

Ezgi ŞEN

Master of Science, Department of Industrial Engineering

Supervisor: Assist. Prof. Dr. Banu YÜKSEL ÖZKAYA

Mayıs 2019, 78 pages

Increasing environmental pollution and depletion of natural resources force industrial firms to find solutions to decrease the negative environmental impact of their processes and production costs simultaneously. Industrial symbiosis, being concerned with the collaboration of industrial firms for effective management of resources such that waste of one firm becomes the input of another one, is a very useful and an effective tool to achieve this goal. Although the industrial symbiosis has a great potential to contribute to a much more sustainable development of the industrial operations, there is a lack of systematic criteria to develop and implement a successful industrial symbiosis network and mechanism. This study aims to propose the aforementioned criteria and their relative importance to support decision makers who want to establish an industrial symbiosis network. Analytic Network Process is to be used to determine the significant criteria and their weights. Then, by means of Analytic Network Process methods, a general framework of important criteria to establish an industrial symbiosis network is proposed to aid the decision makers.

Keywords: Analytical Network Process, industrial symbiosis, multi-criteria, network

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam boyunca verdiği destek, sağladığı katkılar ve gösterdiği sabır için tez danışmanım ve sevgili hocam Dr. Öğr. Üyesi Banu YÜKSEL ÖZKAYA'ya çok teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ	vii
KISALTMALAR.....	viii
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR TARAMASI.....	4
2.1. ES ile İlgili Çalışmalar	4
2.1.1. Ağ Tasarımı ve Ağ Etkinliğinin İncelenmesi	4
2.1.2. EIP Tasarımı ve Optimizasyonu.....	6
2.1.3. EIP Etkinliğinin Ölçülmesine Yönelik Göstergeler	8
2.1.4. Diğer Çalışmalar	9
2.2. ANP ile İlgili Çalışmalar.....	11
3. ES UYGULAMALARI İÇİN ÖNEMLİ OLAN KRİTERLERİN BELİRLENMESİ VE AĞIRLIKLANDIRILMASI.....	14
3.1. Literatür Taraması ve Kriterlerin İlk Listesinin Oluşturulması	14
3.2. Görüş Alma Çalışmasının İlk Aşaması	18
3.3. AHP ve ANP Yöntemleri.....	24
3.3.1. AHP Yöntemi	24
3.3.2. ANP Yöntemi	26
3.4. Görüş Alma Çalışmasının İkinci Aşaması	27
3.5. ANP ve AHP Yöntemlerinin Uygulanması	31
3.5.1. Birinci Senaryoya Göre ANP Yönteminin Probleme Uygulanması	31
3.5.2. İkinci Senaryoya Göre ANP Yönteminin Probleme Uygulanması	35
3.5.3. AHP Yönteminin Probleme Uygulanması	37
3.6. AHP ve ANP Sonuçlarının Karşılaştırılması	38

4. ANP VE AHP YÖNTEMLERİNİN ALTERNATİFLERİN VARLIĞINDA PROBLEME UYGULANMASI ÜZERİNE ANALİZLER.....	42
4.1. Alternatiflerin Olduğu Durumda Farklı Yöntemlerle Elde Edilen Alternatif Ağırlıklarının ve Sıralamalarının Karşılaştırılması.....	42
4.2. Üretilen Rastgele Karşılaştırma Matrisleri ile Elde Edilen Alternatif Ağırlıklarının ve Sıralamalarının İlk Senaryoda ANP Çalışması ile Karşılaştırılması	44
5. SONUÇ VE DEĞERLENDİRMELER	48
6. KAYNAKLAR	50
EKLER.....	54
EK 1 – Görüş Alma Çalışmasının İlk Aşamasının Orijinali.....	54
EK 2 – Görüş Alma Çalışmasının İkinci Aşamasının Orijinali.....	57
EK 3 – Kriter Sınıfı Ağırlıkları.....	66
EK 4 – Sınıf İçi Karşılaştırmalar	67
EK 5 – İlk Senaryo için Sınıflar Arası Karşılaştırmalar	68
EK 6 – İlk Senaryo için Karşılaştırma Matrisi	69
EK 7 – İlk Senaryo için Süpermatris	70
EK 8 – İlk Senaryo için Ağırlıklandırılmış Süpermatris	71
EK 9 – İlk Senaryo için Limit Matris	72
EK 10 – İkinci Senaryo için Karşılaştırma Matrisi.....	73
EK 11 – İkinci Senaryo için Süpermatris	74
EK 12 – İkinci Senaryo için Ağırlıklandırılmış Süpermatris	75
EK 13 – İkinci Senaryo için Limit Matris	76
EK 14 – Tezden Türetilmiş Bildiriler	77
ÖZGEÇMİŞ	78

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1.	ES Ağı Örneği	1
Şekil 3.1.	AHP'deki hiyerarşik yapı.....	24
Şekil 3.2.	ANP'deki Ağ Yapısı	26
Şekil 3.3.	Görüş alma çalışmasının birinci bölüm açıklaması.....	28
Şekil 3.4.	Görüş alma çalışmasının ikinci bölüm açıklaması	29
Şekil 3.5.	Görüş alma çalışmasının üçüncü bölüm açıklaması.....	30
Şekil 3.6.	Problemin 1. Senaryoya Göre ANP Modeli	33
Şekil 3.7.	Problemin 2. Senaryoya Göre ANP Modeli	35
Şekil 3.8.	Problemin AHP Modeli	37

ÇİZELGELER DİZİNİ

Tablo 3.1.	Literatür taraması ile belirlenen çalışmalar ve içerdikleri kriterler	17
Tablo 3.2.	Kriter ve alt kriterleri önemli bulan uzman sayıları	19
Tablo 3.3.	Alt kriterler ve açıklamaları.....	21
Tablo 3.4.	Farklı n değerleri için hesaplanmış RI değerleri	25
Tablo 3.5.	Saaty'nin 1-9 ölçeği	28
Tablo 3.6.	Sınıf karşılaştırma puanlarının minimum ve maksimum değerleri	32
Tablo 3.7.	İlk senaryoya göre ANP uygulama sonuçları.....	34
Tablo 3.8.	İkinci senaryoya göre ANP uygulama sonuçları	36
Tablo 3.9.	Kriterlerin AHP ile elde edilen ağırlıkları	38
Tablo 3.10.	Ağırlıklar Tablosu	40
Tablo 4.1.	Uygulanan yöntemlerin sonuçları için Wilcoxon testi sonuçları.....	43
Tablo 4.2.	Uygulanan yöntemlerin sonuçları için korelasyon katsayıları	44
Tablo 4.3.	Rastgele karşılaştırma matrisleri (10 ilişkinin silindiği durum) ile uygulanan ANP yöntemleri için Wilcoxon testi sonuçları.....	45
Tablo 4.4.	Rastgele karşılaştırma matrisleri (10 ilişkinin silindiği durum) ile uygulanan ANP yöntemleri için korelasyon katsayıları.....	46
Tablo 4.5.	Rastgele karşılaştırma matrisleri (20 ilişkinin silindiği durum) ile uygulanan ANP yöntemleri için Wilcoxon testi sonuçları.....	46
Tablo 4.6.	Rastgele karşılaştırma matrisleri (20 ilişkinin silindiği durum) ile uygulanan ANP yöntemleri için korelasyon katsayıları.....	47

KISALTMALAR

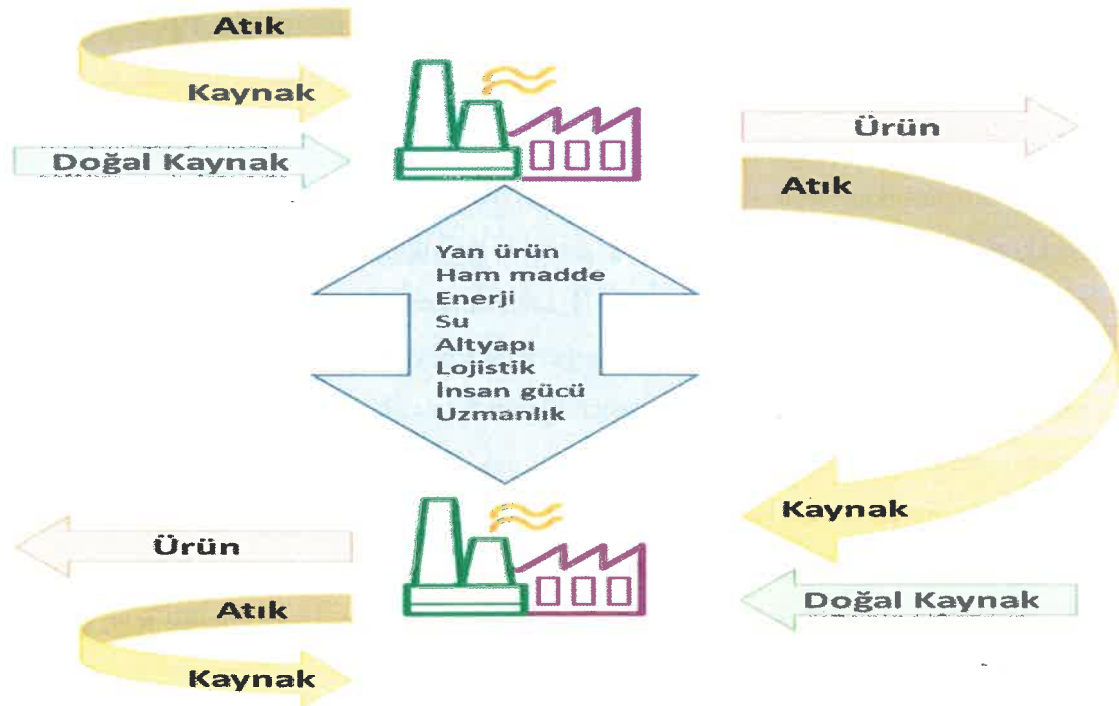
ES	Endüstriyel Simbiyoz
EIP	Eco-Industrial Park
ANP	Analytic Network Process
AHP	Analytic Hierarchy Process
EP	Ekonomik performans
EP1	Atık bertaraf maliyetlerinde azalma
EP2	Enerji maliyetlerinde azalma
EP3	Ham madde maliyetlerinde azalma
EP4	Taşıma maliyetlerinde azalma
EP5	Altyapı harcamaları
EI	Çevresel etki
EI1	Yan ürün ve atık geri dönüşüm oranı
EI2	Kaynak korunumu
EI3	Atıkta azalma
EI4	Karbondioksit emisyonu
C	Bağlanırlık
C1	Eko-bağlanırlık
C2	Firmaların coğrafi yakınlığı
NR	Ağ güvenilirliği
NR1	Firmalar arasında güven
NR2	Firmalar arasında iş birliği
NR3	Ağın yönetim sistemi
SI	Sosyal etki

SI1	İşçilerin sağlık ve güvenliği
SI2	Yaratılan istihdam ve bunun korunması
SI3	Firmaların halkla ilişkilerine katkı
LF	Yasal çerçeve
LF1	Yasal engeller/kolaylaştırıcılar
LF2	Finansal destekler
ANP1	Birinci senaryo altında uygulanan ANP yöntemi
ANP2	İkinci senaryo altında uygulanan ANP yöntemi
ANPR1	İlk rastgele karşılaştırma matrisi ile uygulanan ANP yöntemi
ANPR2	İkinci rastgele karşılaştırma matrisi ile uygulanan ANP yöntemi
ANPR3	Üçüncü rastgele karşılaştırma matrisi ile uygulanan ANP yöntemi
ANPR4	Dördüncü rastgele karşılaştırma matrisi ile uygulanan ANP yöntemi
ANPR5	Beşinci rastgele karşılaştırma matrisi ile uygulanan ANP yöntemi

1. GİRİŞ

Günümüzde sanayileşmenin artmasıyla, bir yandan ekonomik büyümeyi sağlamak bir yandan da kısıtlı kaynakları ve çevre kirliliğini yönetmek oldukça kritik bir problem olarak karşımıza çıkmaktadır. Çevre kirliliği ve doğal kaynakların hızla tükeniyor olması “üret-tüket-at” şeklinde işleyen doğrusal ekonomi uygulamalarından “döngüsel ekonomi” uygulamalarına geçişi zorunlu kılmaktadır. Döngüsel ekonomide amaç, atıkların geri dönüşümü yoluyla maddelerin kapalı bir döngü halinde sistemde daha uzun süre kalması ve bu sayede hem kaynak tüketiminin hem de atık miktarının azaltılmasıdır [1]. Böylelikle kaynakların sürdürülebilir kullanımı ve çevre kirliliğinin azaltılması sağlanabilecektir.

Döngüsel ekonomi amaçlarına ulaşmada en etkili araçlardan biri olan endüstriyel simbiyoz (ES), genellikle farklı sektörlerde ve tercihen birbirlerine yakın mesafede faaliyet gösteren üreticilerin, kendilerine rekabet avantajı sağlayacak şekilde birbirleriyle atık, hammadde, enerji, su, altyapı ve yan ürün alışverişinde ya da ortak kullanımında bulunmalarına dayanan bir iş modelidir [2]. Firmalar arasında ES kapsamında gerçekleşen bu ilişkiye simbiyotik ilişki adı verilmektedir. Bunlara ek olarak uzmanlık, tecrübe paylaşımı, ekipman ve lojistik araçlarının ortak kullanımı gibi iş birlikleri de simbiyotik ilişki kapsamına alınabilmektedir.



Şekil 1.1. ES Ağı Örneği

Şekil 1.1’de örnek bir şeması gösterilen ES ağları planlı bir şekilde oluşturulabileceği gibi zaman içinde kendiliğinden de oluşabilir. İlk durumda birbirleriyle simbiyotik ilişki kurabilecek sektör ve firmalar belirlenir ve ES ağı kurmaları için teşvik edilir. İkinci durumda ise firmalar kendilerine ekonomik fayda ve rekabet avantajı sağladığını düşündükleri simbiyotik ilişkileri dışarıdan müdahale olmaksızın kendi kendilerine uygular. İlk duruma örnek olarak İngiltere’de 2003’ten beri uygulanan National Industrial Symbiosis Program (NISP) verilebilir [3]. 2005’te ulusal bir ES programı olma özelliğine kavuşan NISP’te merkezde devlet desteği ve bölgelerde uygulayıcı ekipler vasıtasıyla ES olanaklarının tespiti ve hayata geçirilmesi sağlanmaktadır. Ekipler arasındaki bilgi ve tecrübe paylaşımı programın başarıyla yürütülmesinde en önemli etkenlerden biri olarak görülmektedir. Kendiliğinden oluşan ES ağlarının en bilinen örneği ise Danimarka Kalundborg’daki eko-endüstriyel park (EIP) bünyesindeki firmalar arasında yeraltı suyu, atık su, buhar ve elektriğin yanı sıra çeşitli diğer atıkların değişiminin yapıldığı ES ağıdır. EIP’lar firmaların üretimde sürdürülebilirliği sağlayabilmek için kaynak ve atık yönetiminde iş birliği yaptıkları, başka bir deyişle bünyesinde birçok ES uygulamasını barındıran sanayi bölgeleri olarak tanımlanmaktadır [4]. Kalundborg’daki bu birliktelik çevresel ve ekonomik verimliliği artırmış ve aynı zamanda yeni istihdam olanakları, teknolojik iyileşme, atık yönetimi maliyetlerinde azalma gibi faydalar da sağlamıştır [5]. Bunlara ek olarak, Güney Kore’de 2003 yılında uygulanmaya başlanan ve devlet desteğiyle yukarıdan aşağıya planlanan Eko-Endüstriyel Park Programı da farklı bir ES uygulama modeli olarak karşımıza çıkmaktadır [6].

ES ağı oluştururken ortak kullanılacak kaynakların yönetimi en önemli konulardan biridir ve ağdaki farklı karar vericilerin farklı öncelikleri olduğundan karmaşık bir karar verme problemi olarak karşımıza çıkmaktadır [7]. Literatürde ES ağlarının ve EIP’ların ekonomik, çevresel ve sosyal yönlerini analiz edip değerlendirmeye, aktivitelerinin olumlu ve olumsuz sonuçlarını ortaya koymaya yarayan göstergeleri konu alan birçok çalışma bulunmaktadır. Ancak, başarılı bir ES ağı kurmak ve işletmek için dikkate alınması gereken kriterler konusunda literatürde bir boşluk olduğu görülmektedir. Göstergelerin birçoğu ekonomik ve çevresel boyutlarla ilişkili olduğu halde sosyal ve yasal boyutları temsil edebilecek gösterge sayısı oldukça azdır [2]. Bu tez çalışmasında, karar vericilere destek olması için, bir ES ağı kurulurken dikkat edilmesi gereken önemli kriterler sosyal ve yasal boyutlar da göz önünde bulundurularak belirlenecek ve çok kriterli bir karar verme yöntemi olan ve Analitik

Hiyerarşi Süreci'nin genel bir formu olarak kabul edilen Analitik Ağ Süreci (ANP) yaklaşımı kullanılarak bu kriterlerin birbirleriyle ilişkileri ve ağırlıkları belirlenecektir.

AHP ve ANP Thomas Saaty tarafından geliştirilen çok kriterli karar verme yöntemleridir. Her iki yöntem de ikili karşılaştırma esasına dayanır. AHP, problemleri amaç, kriterler ve alternatifler olmak üzere hiyerarşik bir yapıyla; ANP ise kriterler ve alternatifler arasında geri bildirim ve bağılıklara izin verecek şekilde bir ağ yapısıyla modellemektedir [8]. Bu ağ yapısı sayesinde ANP, gerçek hayattaki karmaşık karar verme problemlerinin modellenmesinde ve çözümlenmesinde çok daha etkili olabilmektedir. Bu tez çalışması kapsamında ele alınan problemin çözümünde de bu nedenle ANP yöntemi kullanılmıştır. Çünkü ES ağı kurmak ve işletmek için önemli olduğu düşünülen kriterlerin birbirini etkiledikleri ve bağımsız olmadıkları düşünülmektedir. Hem AHP hem de ANP karar vericinin bilgi, düşünce ve sezgilerini sürece dâhil ettikleri için çok kriterli karar verme literatüründe oldukça tercih edilen yöntemler olarak karşımıza çıkmaktadırlar. Ayrıca, bu yöntemler grup kararı için de kullanılabilmektedir ve bu tez kapsamında yöntemlerin bu özelliğinden faydalanılmıştır.

Bu tez çalışmasının 2. Bölümünde hem ES hem de ANP hakkında yapılan literatür taramasına yer verilecektir. 3. Bölümde yapılan çalışma tüm aşamalarıyla anlatılacak ve çalışma sonucu elde edilen sonuçlar sunulacaktır. 4. Bölümde alternatiflerin varlığında uygulamalara ilişkin analizlere yer verilecek ve 5. Bölümde değerlendirmeler ile gelecek çalışmalar sunulacaktır.

2. LİTERATÜR TARAMASI

ES kaynak verimliliği ve sürdürülebilir kalkınmaya olan katkıları sebebiyle, özellikle son yıllarda birçok araştırmaya konu olmuştur. Aynı şekilde ANP de literatürde AHP ile birlikte en çok kullanılan yöntemlerden biri olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu bölümde hem ES hem de ANP ile ilgili literatürden bazı örnekler sunulacaktır. ES ile ilgili çalışmalar; ağ tasarımı ve ağ etkinliğinin incelenmesi, EIP tasarımı ve optimizasyonu, EIP etkinliğinin ölçülmesine yönelik göstergeler ve diğer çalışmalar başlıkları altında incelenecektir.

2.1. ES ile İlgili Çalışmalar

2.1.1. Ağ Tasarımı ve Ağ Etkinliğinin İncelenmesi

Park v.d. [9] ES ağlarının ekonomik ve çevresel etkinliklerini ölçmek için bir eko-verimlilik göstergesi ortaya koymuşlardır. Dünyada EIPların yaygınlaşması, bu parkların etkinliğinin ölçülmesi gerekliliğini de beraberinde getirmiştir. Bu çalışmada önerilen yöntemde, ekonomik gösterge ve ham madde tüketimi, enerji tüketimi ve CO2 emisyonu olmak üzere yaygın kullanılan üç çevresel gösterge kullanılmıştır. Güney Kore Ulsan'da 2007 ve 2012 yılları arasında kurulmuş yedi ES ağı kullanılarak, bu üç çevresel göstergeye karşılık gelen üç eko-verimlilik göstergesi hesaplanmıştır. Sonuçlar, EIP'taki ES ağlarının, bireysel eko-verimlilik değerlerinde %28,7'e varan iyileşmeler sağladığını, toplu eko-verimlilik değerinde ise %10'luk bir iyileşme gerçekleştirildiğini göstermiştir. Önerilen yöntemin endüstriyel firmalar, politika yapıcılar, yerel yönetimler gibi her seviyeden karar vericileri ES uygulamalarını desteklemeleri yönünde teşvik edeceği düşünülmektedir. Ayrıca, eko-verimlilik göstergelerinin düzenli olarak izlenmesinin büyük önem taşıdığı da belirtilmiştir.

Wang v.d [10] Çin'deki bir EIP'ta bir ES koordinasyon ağı kurulması durumunda kurumsal kapasite aktarımını araştırmak üzere bir vaka analizi çalışması yapmışlardır. Oluşturulacak koordinasyon ağının, firmaları ES uygulamalarına dâhil etmek için gerekli bilgi ve teknolojiyi nasıl elde edebileceği anlaşılmaya çalışılmıştır. Bu kapsamda, Tianjin Binhai New Area bölgesinde bir ES koordinasyon ağının gelişimini incelemek için katılımcıların izlenmesi, yarı yapılandırılmış görüşmeler ve belge incelemelerini içeren nitel bir çalışma ve koordinasyon ağının yerel yönetim ve firmalar arasında bağlantılar kurup bilgi aktarımı sağlamak suretiyle bölgesel ES gelişimini desteklediği görülmüştür.

Ayrıca, bu ağ sayesinde düşük karbon teknolojisinin teşvik edilmesine ve çevrenin korunmasına yönelik aktiviteler hayata geçirilmiş ve ES uygulanırken paydaşlar arasındaki bilgi ve tecrübe paylaşımının önemi vurgulanmıştır.

Velenturf [11] ES'nin uygulanma biçimlerinden biri olan, bir firmanın atığını başka bir firmanın girdi olarak kullanması yöntemini, İngiltere'nin Humber bölgesindeki firmaların hayata geçirilme şekillerini inceleyen bir çalışma yapmıştır. Bu çalışmanın başlıca amacı ES ağındaki, atıktan kaynağa döngüsünün pratikte işleme şekli ve bunun kamu ve özel sektör tarafından nasıl desteklenebileceğinin anlaşılmasıdır. Yapılan beş vaka analizi çalışmasında firmaların biyoatıkları üreten tedarikçiler ve talep eden müşteriler olarak geliştirdikleri ilişkiler incelenmiştir. Bazı firmaların simbiyotik ilişki kurarken başka sektördeki firmalarla işbirliği yapmak zorunda kaldığı, bazılarının ise kendi tedarik ağlarındaki firmalarla atık-kaynak ilişkisi kurdukları görülmüştür. Yapılan çalışma ile ES uygulamalarındaki atıktan kaynağa döngülerinin çalışma şekline dair uygulamaya yönelik ve stratejik çıkarımlar yapılmış ve bunların ES uygulamalarının daha doğru kanallarla desteklenmesi için girdi teşkil etmesi amaçlanmıştır.

Fraccascia v.d. [12] ES ağı oluşturan firmalar arasındaki değiş tokuş süreçlerinin etkinliğini ölçebilmek adına, teknik değiş tokuş etkinliği yaklaşımını önermişlerdir. Firmalar arasındaki simbiyotik ilişkinin mükemmel olması, yani oluşan atıkla gereken ham madde miktarının birbirine eşit olması teknik değiş tokuş etkinliğinin maksimum seviyeye ulaşmış olduğu anlamına gelmektedir. Bu etkinliği daha iyi ölçebilmek için firma bazında girdi-çıkı analizine dayanan bir ölçüt önerilmiştir. Bu ölçüt 0 ile 1 arasında değer alabilmekte ve simbiyotik ilişkinin olmadığı durumlarda 0, mükemmel simbiyoz durumunda ise 1 değerini almaktadır. Önerilen ölçütün etkinliğini göstermek adına gerçekleştirilen bir saha çalışmasının sonuçlarına yer verilmiştir. Teknik değiş tokuş etkinliği ölçüsü ile firmalar arasındaki simbiyotik ilişkilerdeki sorunların, üretilen atık ve talep edilen girdi miktarları arasındaki uyumsuzluklar gibi, tespit edilip giderilebileceği ve böylece ağın etkinliğinin artırılabilceği vurgulanmıştır.

Zhang v.d. [13] ES uygulamalarının, oldukça fazla kaynak tüketen ve sonucunda doğaya zararlı atıklar üreten kimya sektörü için sürdürülebilirliği sağlamak açısından önemine dikkat çekmişlerdir. Çalışmada, Çin'in Dalian kentinde bulunan Songmudao kimyasal endüstriyel park bünyesindeki sentetik gaz kimyasal endüstri zincirinde yer alan ES kapsamındaki değiş tokuşların çevresel faydalarını analiz etmek amaçlanmaktadır. Bunun için yaşam döngüsü analizi yöntemi kullanılmıştır. Söz konusu zincirde birbirleriyle su,

enerji ve malzeme alışverişi yapan yedi firma bulunmaktadır. Yönteme yan ürünlerin iyileştirme, değiştirilen yan ürünlerin üretim ve taşıma süreçlerinin bütün yaşam döngüsü süreçleri dâhil edilmiştir. Çalışmada bütün simbiyotik alışverişlerin çevreye olan olumlu ve olumsuz net etkileri ortaya konmaya çalışılmış ve birincil enerji, sera gazı salınımı, asidifikasyon potansiyeli ve ötrofikasyon potansiyeli olarak üç çevresel etki kategorisi kullanılmıştır. Bütün malzeme alışverişi süreçleri, ham madde kullanımından, üretimden, yan ürünlerin tekrar işlenmesinden, taşınmasından ve imhasından kaçınılmaktadır. Yapılan çalışmanın sonucunda, tüm çevresel etki kategorilerinde pozitif etkiler görülmüş, en büyük kazanım ise ortak üretim enerji tesisi ile diğer firmalar arasındaki buhar paylaşımı sonucu gerçekleşmiştir. ES'nin çevreye olan etkilerin azaltılmasındaki önemi görülmüş ve devlet tarafından da desteklenmesi gerektiğine dikkat çekilmiştir.

2.1.2. EIP Tasarımı ve Optimizasyonu

Haskins [14] EIP'ların kurulumunda izlenecek yola dair bir çalışma yapmıştır. Bir EIP oluşturulurken endüstriyel ekoloji, sistem düşüncesi, lojistik, tedarik zinciri teorisi gibi birçok alanı kapsayan çok disiplinli bir yaklaşıma ihtiyaç vardır. Çalışmada EIP'ların kurulumu ve etkin bir şekilde yönetiminin sağlanması için iFACE sistem mühendisliği çerçevesi yöntemi önerilmiştir. Bu çerçeve sırasıyla; paydaşların ve bunların ihtiyaçlarının belirlenmesi, problemin şekillendirilmesi, alternatiflerin belirlenmesi, eylem planı oluşturulması ve uygulanması ve sürekli izleme aşamalarından oluşmaktadır. Önerilen modelin geçerliliğinin ve eksiklerinin görülebilmesi için bir gerçek hayat problemine uygulanması gerektiği belirtilmiştir.

Kuznetsova v.d. [4] EIP tasarımı ve optimizasyonu için metodolojik bir çerçeve önermişlerdir. EIP'lar, bünyesinde birçok ES uygulamasını barındıran sanayi bölgeleri olarak tanımlanmaktadır. EIP'ların tasarım optimizasyonu için kullanılan mevcut yöntemlerin bazı temel problemleri olduğu gözlenmiştir. Bu problemler, EIP'in optimal noktasının, parktaki firmaların kendi optimal noktaları ile çelişmesi, amaç fonksiyonlarının ekonomik ve çevresel amaçlarla kısıtlanmış olması ve optimizasyonların olası belirsizlikler göz önüne alınmadan yapılması olarak tanımlanabilir. ES yaklaşımının uygulanması EIP'ları daha karmaşık sistemler haline getirmektedir. Yapılan çalışmada, bu karmaşıklığı daha iyi anlamak adına EIP sistemleriyle bir diğer karmaşık mühendislik sistemi olan Akıllı Şebeke (Smart Grid) sistemleri arasında analoji kurulmuştur. Biri çok yönlü malzeme ve enerji akışlarını optimize etmeye çalışırken diğeri elektrik enerjisinin dağıtım ve kullanımını optimize

etmeye çalışmaktadır. Bu çalışmada, iki aşamalı ve riskleri ve belirsizlikleri dahil eden bir tasarım planı önerilmiştir. Her aşama, bireysel aktörler olarak adlandırılan firmaların modellenmesini, çevresel ve operasyonel koşulların tahminini parkın topolojik tasarımı ile malzeme/enerji yönetiminin optimizasyonunu içermektedir. Önerilen çerçeve EIPların karmaşık yapısına daha sistematik yaklaşarak mevcut optimizasyon problemlerini çözebilmeye odaklanmıştır.

Pan v.d. [15] EIP'larla ilgili yapılan akademik çalışmalarda, ağların çokluğu ve karmaşıklığı sebebiyle araştırmacıların su ya da enerji gibi sadece tek bir ağa yöneldiklerine ve problemlerin çözümünün yapılabilmesi için özellikle kaynak çeşitliliği yönünden birtakım basitlik varsayımları yaptıklarına dikkat çekmişlerdir. Bu çalışma kapsamında EIP'ların tasarımı için çok katmanlı modelleme ve optimizasyon modelleri önerilmiştir. Bunun için birim, süreç, firma ve endüstriyel ağ seviyeleri olmak üzere dört seviyeli bir yapı kullanmışlardır. Her bir seviyedeki işlemleri matematiksel modellerle ifade etmişler ve optimizasyon problemleri için metodolojiler önermişlerdir. En üstteki seviyede malzeme, su ve enerji ağlarındaki simbiyotik ilişkiler göz önüne alınmıştır. Önerilen modelin geçerliliğini test etmek için süreç ve endüstriyel ağ seviyelerinde iki uygulama çalışması yapılmış ve yapılan çalışmalar sonucunda ham madde kullanımında, karbon emisyonlarında ve taşıma maliyetlerinde azalma olduğu görülmüştür.

Yazan v.d. [16] ES uygulamalarının, uygulayan firmaların çevreye olan olumsuz etkilerinin ve maliyetlerinin azaltılmasına katkı sağladığına dikkat çekerek ES uygulamalarına dayanan endüstriyel bölgelerin tasarımı için bir model önermişlerdir. Bir ES ağında dışarıya hiç atığın çıkmadığı ve dışardan hiç ham maddeye ihtiyaç duyulmayan durumlara mükemmel ES adı verilmektedir. Bu çalışmada, firma bazında yapılan girdi çıktı analiziyle tekli ve çoklu atık durumları için mükemmel ES durumunun sağlanma koşulları araştırılmış ve mevcut durum ile mükemmel ES durumu arasındaki farkı ölçmeye yönelik bir yöntem önerilmiştir. Önerilen yöntem deri tabaklamanın yapıldığı bir endüstri bölgesinde test edilmiş ve her iki atık durumunda da mükemmel ES durumunun nasıl sağlanacağına ilişkin sonuçlar ortaya konmuştur. Ayrıca çalışmada, atık türünün, kullanılan teknoloji düzeyinin, mekânsal şartların, zaman yeterliliğinin ve paydaşların iş birliği içinde olmasının önemi de ortaya konmuştur. Önerilen modelin, daha fazla atık ve girdi çeşitliliğine sahip karmaşık sistemlere de uygulanabileceği vurgulanmıştır.

2.1.3. EIP Etkinliğinin Ölçülmesine Yönelik Göstergeler

Tiejun [17] EIP'ların etkinliğini değerlendirebilmek için kullanılmak üzere iki gösterge önermiştir. Bu göstergeler parkın eko-bağlanırlığı ve yan ürün ve atık geri dönüşüm oranıdır. Eko-bağlanırlık park içindeki ES ağı oluşturan firmalar arasındaki bağlantı sayısını, diğeri ise ağ içindeki geri dönüşüm oranını ifade etmektedir. Bu göstergelerle beraber hesaplama formülleri de çalışma içinde verilmiş ve EIP planlaması ve inşasında yol gösterici olabilecekleri belirtilmiştir.

Venegas v.d. [2] bir EIP'in ekonomik, çevresel ve sosyal yönlerini analiz edip değerlendirmeye, aktivitelerinin olumlu ve olumsuz sonuçlarını ortaya koymaya yarayan sürdürülebilirlik göstergelerini belirlemeye yönelik bir çalışma yapmışlardır. Doğru değerlendirmenin yapılabilmesi için doğru göstergelerin seçilmesi önem arz etmektedir. Çalışmada, 249 sürdürülebilirlik göstergesi belirlenmiş ve bu göstergelerin amaca uygun filtrelemesinin yapılması için dört kriter önerilmiştir. Bu kriterler: anlaşılabilirlik, ölçülebilirlik, uygunluk, sürdürülebilirliğin bir ya da daha fazla yönünü(ekonomik, çevresel, sosyal) temsil edebilirliktir. Literatür taraması sonucu elde edilen göstergeler, bu dört kritere göre filtrelenmiş ve sürdürülebilirliğin ekonomik, çevresel ve sosyal boyutlarına göre sınıflandırılmıştır. Anlaşılabilirlik, ölçülebilirlik ve uygunluk kriterleri uygulamanın içeriğine göre değişebileceği için göstergelerin sınıflandırması durumdan duruma farklılık gösterebilir. Göstergelerin birçoğu ekonomik ve çevresel boyutlarla ilişkili olduğu halde sosyal boyutu temsil edebilecek gösterge sayısı oldukça azdır. Sürdürülebilirliği her yönüyle çalışmaya dahil edebilmek adına, tekil ve bütünleştirilmiş göstergelerin bir arada kullanımına yer verilmiştir. Son olarak önerilen yöntemin denemesi için Kalundborg'daki EIP için varsayımsal bir çalışma yapılmış ve göstergelerin kriterleri karşıladığı ve değerlendirme amacına hizmet ettiği görülmüştür.

Zhao v.d. [18] EIP'ların etkinliğinin döngüsel ekonomi açısından değerlendirilmesini amaçlayan bir çerçeve önermişlerdir. Değerlendirme kriterleri, uzman görüşleri ile ve gri-Delphi metoduyla ekonomik fayda kriteri, sosyal fayda kriteri, çevresel fayda kriteri, ekolojik endüstri inşası kriteri ve yönetim kriteri olarak belirlenmiştir. Bu kriterler altında 17 nicel, 9 nitel olmak üzere toplam 26 alt kriter belirlenmiştir. EIP'ların faydalarının bulanık ortamda ve karmaşık problemler içeren değerlendirme ve sıralama probleminin çözümü için çok kriterli hibrit bir karar verme yaklaşımı önerilmiş ve bu yaklaşımın etkinliğini değerlendirebilmek için bir vaka analizi çalışması yapılmıştır. Önerilen

yöntemin bulgularının EIP'ların kurulum ve yönetimine ve ilgili politikaların oluşturulmasına önemli katkılar sağlayacağı belirtilmiştir.

2.1.4. Diğer Çalışmalar

Pakarinen v.d. [19] Finlandiya'da kurulu bir kâğıt endüstrisi firmasının uyguladığı ES modelinin 1890-2005 yılları arasındaki gelişimini sürdürülebilirlik açısından değerlendirmişlerdir. Doğal Adım (TNS) Sistem Durumları adı verilen temel sürdürülebilirlik prensiplerine dayalı bir çalışma yapmışlardır. Ele alınan simbiyoz ağının değerlendirilmesi adına her durum için ölçülebilir göstergeler tanımlamışlar ve değerlendirme sonucunda simbiyozun çevreye etkisinin yıllar içinde daha geniş kapsamlı hale geldiği sonucuna ulaşmışlardır. Yıllar içinde sürdürülebilirlikteki artışın ES uygulamalarından çok çevre yasalarının sıkılaşması ve bu alandaki teknolojik gelişmelerden kaynaklandığı görülmüştür. Ayrıca, çalışmadaki firmalar arası iş birliği motivasyonunun ES uygulamalarından daha çok ekonomik nedenlere bağlı olduğu tespit edilmiştir.

Mantese v.d. [20] Ajan Bazlı Modelleme (ABM) yöntemini kullanarak ES performans göstergelerinin geçerliliğini test etmeye çalışmışlardır. Çevresel etki göstergelerinin geçerliliğinin doğrulanması EIP'ların yönetimi açısından büyük önem taşımakla beraber özellikle ES göstergeleri ile çalışılırken karşılaşılan gerçek veri bulamama sorunu bu doğrulamayı zorlaştırmaktadır. Çalışmada, bir EIP'nın benzetim modeli oluşturulmuş ve bu modeli değerlendirmek için literatürdeki bazı çalışmalardan alınan ES, Eko-Bağlılık ve Yan Ürün ve Atık Geri Dönüşüm Oranı göstergeleri kullanılmıştır. Oluşturulan model ile gösterge değerleri hesaplanmış ve farklı durumlar altında farklı etki değerlerine sahip atıklar söz konusu olduğunda EIP'ların nasıl bir davranış sergiledikleri izlenmiştir. Sonuçlar, en gürbüz göstergenin ES Göstergesi olduğunu göstermiştir. Bu göstergenin diğer iki göstergenin yetersiz olduğu durumlarda, ES sisteminin artan ve azalan tüm eğilimlerini yakalayıp göstermekte başarılı olduğu görülmüştür. Gerçekleştirilen benzetim çalışması, atık türünün ve etki seviyesinin simbiyozu değerlendirmedeki etkisinin önemini ve değerlendirmede kullanılan göstergeler belirlenirken mutlaka göz önüne alınması gerektiğini göstermiştir.

Felicio v.d. [21] yaptıkları literatür taraması sonucu, ES'nin dinamik bir sistem olarak değerlendirildiği bir bakış açısının ve ES'nin etkinliğinin bu açıdan değerlendirilmesine yönelik bir ölçünün eksikliğini tespit ederek dinamik bakış açısını sağlayan ve

simbiyozun zaman içindeki değişimini ölçebilecek bir gösterge önermişlerdir. Çalışmada, göstergenin hesaplanması için çevre etkisi momentumu yaklaşımı önerilmiş ve uygulanmıştır. ES göstergesi adını verdikleri bu göstergelyi gerçek verilerden türettikleri farklı senaryolar altında test ederek simbiyozun zaman içindeki değişiminin eğilimlerini anlamaya çalışmışlardır. Bu senaryolar; simbiyozun hiç olmadığı, olduğu fakat mükemmel olmadığı ve mükemmel olduğu durumlar olarak düşünülmüştür. Sonuçlar, göstergenin değerleri ile senaryolardaki değişimler arasında tutarlılık olduğunu göstermiştir. Ayrıca; ES göstergesinin, simbiyoz uygulayan firmaların yöneticilerine süreçlerini daha ileri seviyeye taşımaları için bir destek mekanizması görevi üstleneceği belirtilmiştir.

Taddeo v.d. [22] ES uygulamalarının başarılı olmasında uygulandıkları ortamın önemini vurgulayarak sanayi kümelenmelerinde ES faaliyetlerinin gelişimini açıklamaya yönelik bir çerçeve önermişlerdir. ES, teknik özelliklerinin yanı sıra sosyal, organizasyonel ve kültürel pek çok öğeyi içinde barındırmakta ve ES mevcut yapılarda uygulanmak istendiğinde bu durum daha da önem kazanmaktadır. Endüstriyel ağlar ve kümelenmeler ES uygulamaları için elverişli birer uygulama ortamı olarak kabul edilmektedir. Bu çalışmada malzeme akışına dayalı üç farklı senaryo incelenmiş ve önerilen çerçeve bir kümelenmenin hayat döngüsündeki üç aşamasına (mevcut durum, geçmiş durum ve potansiyel gelecek durum) dayandırılmıştır. Bu çerçeve ile ES'nin gelişimini etkileyen teknik ve teknik olmayan faktörlerin sistematik olarak incelenmesi amaçlanmıştır. Deneyisel sonuçlar, gerek ES'nin tasarım aşamasındaki teknik faktörlerin gerekse uygulanmasını kolaylaştıran ve zorlaştıran teknik olmayan faktörlerin önemini göstermiştir.

Ghali v.d. [23] firmalar arasında kaynakların ortak kullanımı, enerji ve yan ürün değiş tokuşuna dayanan ve temiz üretim ve sürdürülebilir kalkınma amaçlarına hizmet eden ES esasına dayalı işbirliklerinin, farklı şekillerde oluşturulabileceğine dikkat çekmişlerdir. Çalışmada, kendiliğinden organize olan bir ES ağı için sosyal gömülülüğün ajan bazlı modelleme yöntemi kullanılarak bir modeli önerilmiştir. Çalışma bu yönüyle literatürde bir ilk niteliği taşımaktadır. Modelde sosyal gömülülük, güven, bilinirlik ve bilgi paylaşımının farklı sosyal dinamik ve yapılarda nasıl evrildiğini ve ES ağının gelişimini nasıl etkilediğini tanımlayan bağımlı değişkenlerle açıklanmaya çalışılmıştır. Model NetLogo kullanılarak test edilmiş ve başlangıç amaçlarıyla tutarlı sonuçlar verip vermediğini görmek için hassasiyet analizi yapılmıştır. Ayrıca sosyal yapı ve koşulların

etkisini görmek adına deney tasarımları uygulanmış ve her iki faktörün de ES uygulamalarının gelişiminde etkili olduğu gözlenmiştir.

Winans v.d. [1] doğal kaynakların hızla tükendiğine ve bu yüzden endüstriyel gelişmenin, çevrenin korunmasının, insan sağlığının ve ekonomik büyümenin aynı anda ve dengeli bir şekilde düşünülmesi gerektiğine dikkat çekmişler ve son zamanlarda kaynak kullanımı ve düşük karbon ekonomisine hizmet eden döngüsel ekonomi uygulamalarına değinmişlerdir. Döngüsel ekonomi yaklaşımı, ekonomik gelişmeye katkı sağlarken bir yandan da çevresel kirliliği önlemek ve kaynakları etkin kullanmak için ürünlerin kapalı döngü bir sistem içinde değerlendirilmesi esasına dayanır. Yapılan çalışmada döngüsel ekonomi politikasının tarihi ve mevcut uygulamaları ortaya konmaya çalışılmıştır. Sistemli bir literatür taraması sonucunda döngüsel ekonomi uygulamalarının başarı ve başarısızlıkları ortaya konmuş ve olası araştırma konularına yer verilmiştir.

2.2. ANP ile İlgili Çalışmalar

Jayant [24] firmaların tedarik zincirlerini daha sürdürülebilir hale getirmeleri anlamına gelen yeşil tedarik zinciri yönetimi alanında bir çalışma yapmıştır. Yeşil tedarik zinciri yönetimi için strateji seçimi, çok kriterli karar verme problemi olarak ele alınarak ANP yöntemi kullanılmıştır. Oluşturulan modelin geçerliliği bir vaka çalışması ile sınanmıştır. Sonuçlar modelin, çok farklı endüstrilerde uygulanabilecek kadar esnek ve yol gösterici olduğunu göstermiştir.

Chen v.d. [25] kıyafet güvenliğinde önemli olan kriterlerin belirlenmesi için bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Kıyafetlerin hem tasarım hem de üretim aşamalarındaki kullanıcı güvenliği ile ilgili göstergelerin belirlenmesi oldukça karmaşık bir süreçtir ve bu çalışmada bu göstergelerin belirlenmesi için ANP yönteminden faydalanılmıştır. Önce sistematik bir literatür taraması ile göstergeler belirlenmiş, ardından ANP yöntemi ile bu göstergeler ağırlıklandırılmıştır. Çalışma kapsamında AHP ile ANP'nin karşılaştırmasına da yer verilmiştir. Önerilen modelle kıyafet endüstrisinin hem tasarım hem üretim aşamalarının değerlendirilmesine imkân sağlanmıştır. Çalışmanın kıyafet üretimi yapan firma yöneticilerinin yanında tedarik zincirindeki diğer aktörlere de faydalı olacağı ve diğer endüstrilerdeki üretim süreçlerinde de kıyafet güvenliğinin değerlendirilmesine imkân sağlayacağı düşünülmektedir.

Leong v.d. [7] bir ES ağı oluşturan her bir firmanın önceden belirlenmiş kriterler açısından önceliklerini sıralamaya yönelik çok amaçlı optimizasyon yaklaşımı

önermişlerdir. ES ağı oluştururken ortak kullanılacak kaynakların yönetimi en önemli konulardan biridir ve ağıdaki farklı karar vericilerin farklı öncelikleri olduğundan karmaşık bir karar verme problemi olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu çalışmada, optimum kaynak ağının oluşturulabilmesi için Bütünleşmiş AHP yaklaşımı geliştirilmiştir. Bu yaklaşımın özelliği, literatürde yaygın kullanılan bir yöntem olan AHP ile matematiksel programlamayı bütünleştirmiş olmasıdır. Önerilen modelle, ağıdaki tüm karar vericilerin tercihlerini karşılayacak şekilde ekonomik performans, çevresel etki, bağlanırlık ve ağ güvenilirliği kriterleri için optimum değerlere ulaşılması hedeflenmiştir. Önerilen modelin etkinliğini test etmek için vaka analizi çalışması yapılmıştır.

Asadabadi [26] müşteri odaklı ve müşteri ihtiyaçlarını içeren bir tedarikçi seçim yöntemi önermiştir. Çalışmada ANP, Kalite Fonksiyon Yayılımı (QFD) ve Markov zinciri yöntemleri bir arada kullanılmıştır. Markov zinciri problemde, müşterilerin zamanla değişen önceliklerinin yapısının anlaşılması için kullanılmıştır. Müşteri önceliklerinin trendi anlaşıldıktan sonra ANP ve QFD yöntemleri kullanılarak ürün gerekliliklerinin neler olduğu tespit edilecek ve bu gerekliliklere en uygun tedarikçi seçimi gerçekleştirilecektir. Önerilen yöntem, müşteri ihtiyaçlarının problemin başındaki durumu yerine zamanla değişen yapısı göz önüne alındığı için, tedarikçilerle daha uzun süreli iş ilişkileri kurulmasında oldukça etkili görülmektedir.

Lee v.d. [27] geleceğin fabrikaları ve üretim teknolojileri alanında, son zamanlarda oldukça ilgi gören kavramlardan biri olan “akıllı fabrika” konusunda çalışmışlardır. Birçok firma fabrikalarını akıllı fabrikaya dönüştürmek ve ya fabrikalarının akıllılık seviyesini artırmak istemektedir. Bu çalışmada bu konuda firmalara yol gösterecek sistematik bir yaklaşım olan ve operasyon yönetimine dayalı bir “akıllılık uygulama çerçevesi” önerilmiştir. Çalışma kapsamında literatürden belirlenen 4 kriter ve 10 alt kriter ANP yöntemi ile ağırlıklandırılmıştır. Önerilen modeli test etmek için, 20 küçük ve orta ölçekli işletmenin yer aldığı bir vaka analizi çalışması gerçekleştirilmiş ve modelin verimli bir şekilde çalıştığı gözlenmiştir.

Wang v.d. [28] yüksek teknolojili ürün üreten firmaların üretim tesislerinin yer seçimi için bulanık ANP yöntemini kullanarak bir çalışma yapmışlardır. Yüksek teknoloji endüstrisi küresel ekonomiye katkısı bakımından çok büyük potansiyel barındırsa da zaman zaman kısıtlı insan kaynağı, güçlü rakipler, doğal afet riskleri gibi zorluklarla karşı karşıya oldukları için üretim tesisleri için yeni yer seçimi problemi oldukça önemlidir. Bu kapsamda gerçekleştirilen ANP çalışması ile ilgili alandaki uzman bilgisini de içeren

kapsamlı bir analiz yapılmış ve hem orta ve küçük ölçekli hem de büyük ölçekli firmalar için farklı kriterler ve yer alternatifleri belirlenmiştir. Önerilen yer seçimi çerçeve yöntemi, Tayvan'daki bazı yüksek teknoloji firmalarına Çin'de seçilen bölgeler için uygulanmıştır. Seçilen 16 firmaya anket uygulanmış ve anket sonucunda küçük ve orta ölçekli firmaların yer seçiminde maliyeti, büyük ölçekli firmaların ise düzenlemeleri (vergi indirimleri, dorudan yabancı yatırım yoğunluğu, finansmana erişim vb.) daha önemli gördüğü tespit edilmiştir. Ancak her iki grup da alternatifler arasından aynı bölgeyi önceliklendirmiştir.

Beltrán v.d. [29] bir projenin paydaşlarının projeye olan etkilerini, proje yöneticisi açısından değerlendirmek amacıyla bir yöntem geliştirmişlerdir. Bu çalışmanın literatüre kazandırdığı yenilik, paydaşların etkilerinin çok yönlü bir bakış açısıyla ele alınmış olmasıdır. Paydaşların her biri için, o paydaşın diğer paydaşlara göre proje üstündeki etkisi ANP yöntemi kullanılarak hesaplanmıştır. Model kurulurken, paydaşlarla ilgili proje yönetimi literatüründen çıkarılmış on iki kriter dört sınıfa ayrılmıştır. Önerilen bu yöntem ile proje yöneticisinin paydaşların etkilerini nicel olarak değerlendirebilmesine imkan sağlanmıştır ve paydaşların planlanması, yönetimi ve kontrolü kolaylaşmıştır. Önerilen modelin gürbüzlüğünün test edilmesi için İspanyol Ulusal Demiryolu Altyapı şirketinde bir vaka analizi çalışması yapılmıştır. Sekiz paydaşın etkisi analiz edilmiş ve en etkili paydaş belirlenerek gelecekte proje yöneticisinin daha dikkatli izlemesi gereken paydaşlar ortaya konmuştur.

3. ES UYGULAMALARI İÇİN ÖNEMLİ OLAN KRİTERLERİN BELİRLENMESİ VE AĞIRLIKLANDIRILMASI

Bu tez çalışması ile bir ES ağı kurmak ve işletmek isteyen karar vericilere destek olmak için, dikkat edilmesi gereken kriterlerin ve onların göreceli önemlerini ifade eden ağırlıklarının belirlenmesi amaçlanmıştır. Belirlenen kriter ve ağırlıkların, ES'yi daha doğru ve etkili uygulayabilmek ve alternatiflerin varlığında doğru karar verebilmek için yol gösterici nitelikte olması hedeflenmektedir.

Çalışma kapsamında öncelikle literatür taraması yapılarak olası kriterler derlenmiş ve bu kriterler uygun sınıflar altında gruplandırılarak bir ilk liste oluşturulmuştur. İkinci aşamada, ilk liste için belirlenen uzmanlardan görüş alınmış ve onların değerlendirmeleriyle kriter listesine son hali verilmiştir. Bu liste ekonomik performans, çevresel etki, bağlanırlık, ağı güvenilirliği, sosyal etki ve yasal çerçeve olmak üzere 6 kriter sınıfı ve bunların altında 19 alt kriterden oluşmaktadır. Sonraki aşamada bu kriter ve alt kriterlerin birbirleriyle ikili karşılaştırmaları ve önceliklendirilmeleri için bir önceki aşamada görüş alınan uzmanların bir kısmından ikinci kez görüş alınmıştır. Son olarak elde edilen karşılaştırma verileriyle AHP ve ANP yöntemleri uygulanarak kriter ağırlıkları elde edilmiştir.

3.1. Literatür Taraması ve Kriterlerin İlk Listesinin Oluşturulması

Tez kapsamında iki aşamalı uzman görüşü alma çalışması yapılmıştır. İlk aşamada, uzman görüşüne başvurulmadan önce literatürde geniş kapsamlı bir çalışma yapılarak ES kurulumu/işletilmesi/uygulamaları için dikkate alınabilecek önemli kriterler derlenmiştir. İncelenen çalışmalar arasından içinde ES kriterleri geçenler ve bu çalışmalardan derlenen kriterler Tablo 3.1'de gösterilmektedir. Bu listedeki kriterlerden birbirleriyle ilişkili olanlar birleştirilerek uzman görüşü alma çalışmasında kullanılmak üzere kriterlerin bir ilk listesi oluşturulmuştur. Bu listede bulunan kriterler ekonomik performans, çevresel etki, bağlanırlık, ağı güvenilirliği ve sosyal etki ana kriterleri altında kategorize edilmiştir.

Ekonomik performans kriteri her çalışmada aynı isimle geçmemektedir. Net ekonomik fayda, ekonomik gelişme, işletme maliyeti, altyapı yatırımları, satın alınan girdi miktarı şeklinde geçen tüm kriterler bu başlık altında değerlendirilmiştir. Ekonomik performans kriteri altında tüm bu kalemleri kapsayacak şekilde atık bertaraf, enerji, ham madde ve taşıma maliyetlerinde azalma ve altyapı harcamaları alt kriterler olarak belirlenmiştir.

Çevresel etki kriteri literatürde çok farklı yönleriyle ele alınmıştır. Bunlardan bazıları; ham madde tüketimi, enerji tüketimi, karbondioksit emisyonu, çevresel yönetim, atık miktarı, kaynak tüketimi ve atık su miktarıdır. Tablo 3.1’de sunulduğu şekliyle yan ürün ve atık geri dönüşüm oranı, atıkta azalma, kaynak korunumu ve temiz su kullanımı kriterleri de bu başlık altında değerlendirilmiştir. Çevresel etki kriterinin alt kriterleri yan ürün ve atık geri dönüşüm oranı, kaynak korunumu, atıkta azalma ve karbondioksit emisyonu olarak belirlenmiştir. Temiz su kullanımı ile ağ içindeki ve dışındaki yan ürün miktarları kaynak korunumu alt kriteri altında değerlendirmeye alınmıştır. Ağ içindeki yan ürün ES ağı içinde kullanılan yan ürünleri, ağ dışındaki yan ürün ise ağ dışına çıkarılan yan ürünleri ifade etmektedir.

Bağlanırlık kriteri Tablo 3.1’de sunulduğu üzere tek bir çalışmada bahsedilmesine rağmen firmalar arasındaki eko-endüstriyel bağlantı durumunu ifade eden eko-bağlanırlık ve firmaların coğrafi yakınlığı kriterlerinin bu kriterin alt kriteri olabileceği değerlendirilmiştir.

Benzer şekilde, ağ güvenilirliği kriteri ile de Tablo 3.1’de sunulduğu gibi tek bir çalışmada karşılaşılmamasına rağmen firmalar arasındaki güven ve iş birliği kriteri, firmalar arasında güven ve firmalar arasında iş birliği olarak ikiye bölünmüş ve ağ güvenilirliği kriterinin alt kriterleri olarak çalışmaya dahil edilmiştir. Ayrıca, ağ yönetim sisteminin aktivitelerin etkinliğini ve sürdürülebilirliğini dolayısıyla da ağın güvenilirliğini etkileyeceği düşünülerek ağ yönetim sistemi kriteri de bu ana kriter altında değerlendirmeye alınmıştır.

Sosyal etki kriteri de çalışmalarda iş sağlığı ve güvenliği, gürültü, yerel istihdam, insan sağlığı açısından riskler gibi farklı şekillerde ifade edilmiştir. Bu ana kriter altında tüm bunları kapsayacak şekilde işçilerin sağlık ve güvenliği ve istihdam seviyesi alt kriterler olarak belirlenmiştir.

Tablo 3.1’de bulunan ağ karmaşıklığı kriteri eko-bağlanırlık kriteri ile ilişkilendirilerek çalışmaya dahil edilmemiştir. Ayrıca, sisteme alınan girdi ve oluşan atık miktarının birbirine eşit olduğu durumu ifade eden girdiler ve atıklar arasında “mükemmel ikame” kriteri ile bunların eşit olmadığı durumu ifade eden girdiler ve atıklar arasında “mükemmel olmayan ikame” kriteri, atık bertaraf maliyetlerinde azalma, enerji maliyetlerinde azalma, ham madde ve taşıma maliyetlerinde azalma, yan ürün ve atık geri

dönüşüm oranı, kaynak korunumu ve atıkta azalma alt kriterlerinin hepsiyle ilişkili görüldüğü için ayrı olarak çalışmaya dahil edilmemiştir.

Tüm bu değerlendirmeler sonucu birinci aşamada uzman görüşüne sunulmuş olan kriter listesinin son hali aşağıda verilmektedir.

- Ekonomik performans
 - Atık bertaraf maliyetlerinde azalma
 - Enerji maliyetlerinde azalma
 - Ham madde maliyetlerinde azalma
 - Taşıma maliyetlerinde azalma
 - Altyapı harcamaları
- Çevresel etki
 - Yan ürün ve atık geri dönüşüm oranı
 - Kaynak korunumu
 - Atıkta azalma
 - Karbondioksit emisyonu
- Bağlılık
 - Eko-bağlılık
 - Firmaların coğrafi yakınlığı
- Ağ güvenilirliği
 - Firmalar arasında güven
 - Firmalar arasında iş birliği
 - Ağ yönetim sistemi
- Sosyal etki
 - İşçilerin sağlık ve güvenliği
 - İstihdam seviyesi

Tablo 3.1. Literatür taraması ile belirlenen çalışmalar ve içerdikleri kriterler

Kriter	Çalışma	Ekonomik performans	Çevresel etki	Bağlanırlık	Ağ güvenliliği	Temiz su kullanımı	Sosyal etki	Ağ karmaşıklığı	Firmaların coğrafi yakınlığı	Ağ yönetim sistemi	Eko-bağlanırlık	Yan ürün ve atık geri dönüşüm oranı	Ağ içindeki yan ürün miktarı	Ağ dışındaki yan ürün miktarı	Kaynak korunumu	Atıkta azalma	Girdiler ve atıklar arasında mükemmel ikame	Girdiler ve atıklar arasında mükemmel olmayan ikame	Satın alınan girdi miktar	Firmalar arasındaki güven ve iş birliği
	(Leong v.d. , 2016) [1]	✓	✓	✓	✓															
	(Boix v.d. , 2015) [2]	✓	✓			✓	✓	✓												
	(Ntasiou ve Andreou, 2017) [3]								✓											
	(Park ve Behera, 2013) [4]	✓	✓																	
	(Zhao v.d. , 2017) [5]	✓	✓				✓			✓										
	(Tiejun, 2010) [6]										✓	✓								
	(Felicio v.d. , 2016) [7] *												✓							
	(Shi v.d. , 2017) [8]	✓	✓												✓	✓			✓	
	(Fraccascia v.d. , 2017) [9]		✓																	
	(Kuznetsova v.d. , 2016) [10]	✓	✓								✓									
	(Pakarinen v.d. , 2010) [11]		✓				✓					✓								✓

3.2. Görüş Alma Çalışmasının İlk Aşaması

Çalışmanın bu aşamasında uzmanlara Bölüm 3.1’de listesi verilen kriter ve alt kriterlerden önemli bulduklarını ve eklenmesi gerektiğini düşündükleri kriter ve alt kriterleri belirlemeleri istenmiştir. Görüş alma çalışmasının orijinali Ek 1’de sunulmaktadır. Görüşü alınacak uzmanların ES ile ilgili çalışmalar yapmış ve yapmakta olan akademisyen ve profesyoneller olmalarına dikkat edilmiş ve ilk aşamaya 7 uzman katkı vermiştir. Bu aşamada uzmanlara ES ile ilgileri sorulmuş ve ES ile ilgili projelerde çalışma, ES ile ilgili akademik çalışma yapma ve diğer olmak üzere üç seçenek sunulmuştur. Uzmanlardan dördü ES ile ilgili projelerde çalıştığını, ikisi akademik çalışma yaptığını, biri ise hem akademik çalışma yapıp hem projelerde görev aldığını beyan etmiştir. Bu uzmanlardan biri öğretim üyesi olmak üzere dördü çevre mühendisi, ikisi endüstri mühendisi ve biri ES uygulamaları için danışmanlık hizmeti veren bir şirketin yöneticisidir. Uzmanlardan birinin İngiliz olması ve diğer tüm uzmanların yurt dışı çalışmaları da yapmalarından dolayı görüş alma çalışması İngilizce olarak hazırlanmış ve uygulanmıştır.

Görüş alma çalışmasında, en az bir uzman tarafından önemli görülen kriter ve alt kriterler çalışmaya dahil edilmiştir. Kriterler ve bu kriterin altındaki alt kriterler birbirlerinden bağımsız olarak değerlendirilmişlerdir. Örneğin, bir uzmanın “ekonomik performans” kriterini önemli bulması altındaki tüm alt kriterleri önemli bulduğu anlamına gelmemektedir ve aynı şey tam tersi yönde de mümkün olabilir. Bu yüzden uzmanlardan kriter ve alt kriterleri ayrı ayrı değerlendirmeleri istenmiştir. Tablo 3.2’de kriter ve alt kriterleri önemli gören uzman sayıları verilmiştir. Bu sayılara göre “istihdam seviyesi” alt kriteri hariç tüm kriter ve alt kriterler en az bir uzman tarafından önemli görülmüş ve çalışmanın ileriki aşamalarına dahil edilmiştir. Bunların dışında uzmanlar tarafından çalışmaya dahil edilmesi önerilen kriterler de olmuştur. Liste dışında kalan istihdam seviyesi alt kriteri yerine uzmanlardan birinin önerdiği “istihdam yaratma ve koruma” alt kriteri eklenmiştir. “İstihdam seviyesi” yerine ES uygulamaları ile “yaratılan istihdam ve bunun korunması” daha anlamlı bir alt kriter olarak karşımıza çıkmaktadır. Buna ek olarak, iki uzman tarafından ES uygulamalarının hayata geçirilmesinin çevreye duyarlı bir yaklaşım olarak firmalara prestij sağlayacağı ve halkla ilişkiler alanında önemli kazanımları olabileceği değerlendirilmiş ve bu yönde bir kriterin çalışmaya dahil edilmesinin önemine dikkat çekilmiştir. Bu görüşün sonucu olarak sosyal etki kriterinin altında “firmaların halkla ilişkilerine katkı” alt kriteri eklenmiştir.

Tablo 3.2. Kriter ve alt kriterleri önemli bulan uzman sayıları

Kriter/Alt Kriter Adı	Uzman Oyu Sayısı
Ekonomik performans	6
Atık bertaraf maliyetlerinde azalma	5
Enerji maliyetlerinde azalma	4
Ham madde maliyetlerinde azalma	6
Taşıma maliyetlerinde azalma	4
Altyapı harcamaları	2
Çevresel etki	6
Yan ürün ve atık geri dönüşüm oranı	5
Kaynak korunumu	5
Atıkta azalma	5
Karbondioksit emisyonu	3
Bağlanırlık	5
Eko-bağlanırlık	3
Firmaların coğrafi yakınlığı	4
Ağ güvenilirliği	6
Firmalar arasında güven	1
Firmalar arasında iş birliği	6
Ağın yönetim sistemi	3
Sosyal etki	3
İşçilerin sağlık ve güvenliği	3
İstihdam seviyesi	0

Bir diğer uzman tarafından ise bazı yasal düzenlemelerin ES uygulamalarını teşvik ettiği bazılarının ise engellediğine dikkat çekilmiş, ayrıca bazı finansal araçların ES uygulamalarının hayata geçirilmesini kolaylaştırdığına dikkat çekilmiştir. Bu iki uzmanın görüşlerinden yola çıkılarak çalışmaya “yasal çerçeve” isimli bir kriter eklenmiş ve “yasal engeller/kolaylaştırıcılar” ve “finansal destekler” alt kriterler olarak belirlenmiştir.

Uzman görüşleri sonucu kriter listesi aşağıda verildiği şekliyle son haline getirilmiştir.

- EP: Ekonomik performans
 - EP1: Atık bertaraf maliyetlerinde azalma
 - EP2: Enerji maliyetlerinde azalma
 - EP3: Ham madde maliyetlerinde azalma
 - EP4: Taşıma maliyetlerinde azalma
 - EP5: Altyapı harcamaları
- EI: Çevresel etki
 - EI1: Yan ürün ve atık geri dönüşüm oranı
 - EI2: Kaynak korunumu
 - EI3: Atıkta azalma
 - EI4: Karbondioksit emisyonu
- C: Bağlanırlık
 - C1: Eko-bağlanırlık
 - C2: Firmaların coğrafi yakınlığı
- NR: Ağ güvenilirliği
 - NR1: Firmalar arasında güven
 - NR2: Firmalar arasında iş birliği
 - NR3: Ağın yönetim sistemi
- SI: Sosyal etki
 - SI1: İşçilerin sağlık ve güvenliği
 - SI2: Yaratılan istihdam ve bunun korunması
 - SI3: Firmaların halkla ilişkilerine katkı
- LF: Yasal çerçeve
 - LF1: Yasal engeller/kolaylaştırıcılar
 - LF2: Finansal destekler

Sonuç olarak uzman değerlendirmeleri sonucunda 6 kriter sınıfı altında toplam 19 alt kriter belirlenerek bu kriterlerin ve alt kriterlerin karşılaştırılacağı görüş alma çalışmasının ikinci aşamasına geçilmiştir.

Çalışma kapsamında belirlenen tüm alt kriterlerin açıklamaları Tablo 3.3'te gösterilmektedir.

Tablo 3.3. Alt kriterler ve açıklamaları

Alt Kriter	Açıklama
EP1: Atık bertaraf maliyetlerinde azalma	ES uygulamaları ile kurulacak olan simbiyotik ilişkiler sonucu bertaraf edilmek yerine başka bir firmaya girdi olacak atığın, bertaraf edilseydi neden olacağı maliyetin firma maliyetlerinde sağlayacağı düşüş.
EP2: Enerji maliyetlerinde azalma	ES uygulamaları ile kurulacak olan simbiyotik ilişkiler sonucu elde edilebilecek her türlü enerji tasarrufu sonucu sağlanacak maliyet düşüşleri. (Örneğin, ES ile başka bir firmanın atık ısısı enerji sağlamak için kullanılabilir ve enerji maliyetleri düşürülebilir.)
EP3: Ham madde maliyetlerinde azalma	ES ile başka bir firmanın atığının ham madde olarak kullanılması ile sağlanacak olan maliyet düşüşleri.
EP4: Taşıma maliyetlerinde azalma	ES sonucu gerçekleştirilen firmalar arası madde alışverişleri sonucu sağlanabilecek taşıma maliyetlerinde düşüşler. (Örneğin, firmanın atığını uzaktaki bir depolama ya da bertaraf alanına göndermek yerine yakınındaki başka bir firmaya girdi olarak göndermesi sonucu sağlanabilecek maliyet düşüşleri.)
EP5: Altyapı harcamaları	ES uygulamaları için varsa yapılması gereken altyapı harcamalarının işletmelere maliyeti.

	(Örneğin, girdi olarak kullanılacak atığın üretim prosesine girmeden önce bir işlemde geçmesi ve bunun için de ekipman satın alınması gerekiyorsa bunun işletmeye maliyeti.)
EI1: Yan ürün ve atık geri dönüşüm oranı	İşletmelerin ürettiği atık ve yan ürünlerin ne kadarının sisteme tekrar kazandırıldığı.
EI2: Kaynak korunumu	Simbiyotik ilişki olduğu durumda doğal kaynaklarda, ilişki olmadığı duruma göre sağlanan kazanım. (Örneğin, firmalar arası iş birliği ile oluşturulan ve ortak kullanılan bir atık su arıtma tesisi sayesinde firmalar tarafından üretim faaliyetleri için kullanılan temiz su miktarındaki azalma.)
EI3: Atıkta azalma	ES ile atıkların girdi olarak kullanılabilmesi sonucu atık miktarlarındaki azalma.
EI4: Karbondioksit emisyonu	Atık taşıma ve işleme işlemleri sonucu atmosfere salınan karbondioksit miktarı.
C1: Eko-bağlanırlık	Firmalar arasındaki ekolojik ilişki durumu. (Örneğin, birbirleriyle atık alışverişinde bulunan işletme sayısı, aynı atık su arıtma tesisini kullanan işletme sayısı vb.)
C2: Firmaların coğrafi yakınlığı	Birbiriyle simbiyotik ilişki kuran firmaların birbirleriyle coğrafi yakınlığı.
NR1: Firmalar arasında güven	ES ağı oluşturan firmaların birbirlerine duyacağı güven. (Firmaların ticari geçmişleri, kaç yıllık oldukları, atık ve girdi bilgilerindeki şeffaflık gibi etkenler firmalar arasındaki güvenin tesis edilmesinde belirleyici olabilir.)
NR2: Firmalar arasında iş birliği	ES ağı içinde yer alan firmalar arasındaki iş birliği durumu. (Firmalar arasında yapılacak

	ikili iş birliği anlaşmaları gibi göstergeler bu kriterin değerlendirilmesinde kullanılabilir.)
NR3: Ağın yönetim sistemi	Kurulacak ES ağının nasıl yönetildiği. (Ağdaki firmaların yönetimde nasıl rol alacağı, kaç yöneticinin bulunduğu, yöneticilerin eğitim ve tecrübe durumları gibi göstergeler bu kriterin değerlendirilmesinde kullanılabilir.)
SI1: İşçilerin sağlık ve güvenliği	ES ağında yer alan firmalardaki iş sağlığı ve güvenliği durumu.
SI2: Yaratılan istihdam ve bunun korunması	ES uygulamaları ile yaratılan istihdam ve bunun sürdürülebilir olup olmadığı.
SI3: Firmaların halkla ilişkilerine katkı	ES uygulamaları ile çevreye duyarlı üretim yapan firmaların tüketiciler nezdinde kazanacağı prestij.
LF1:Yasal engeller/kolaylaştırıcılar	ES uygulanacak ülkedeki yasal mevzuatın ES uygulamalarına etkileri. (Örneğin, ülkede atık vergisi oranlarının yüksek olması firmaları atıklarından kurtulmaya ve dolayısıyla ES uygulamaları yapmaya teşvik edecektir.)
LF2: Finansal destekler	ES uygulayarak temiz üretim yapmak isteyen firmalara sağlanacak finansal destekler. (Örneğin, ES uygulayacak firmalara gerekli altyapıyı bünyelerinde oluşturabilmeleri için verilecek faizsiz kredi desteği, vergi kolaylıkları, üretim yeri tahsisinde kolaylıklar gibi destekler firmaları ES uygulamaları için teşvik edici nitelikte olacaktır.)

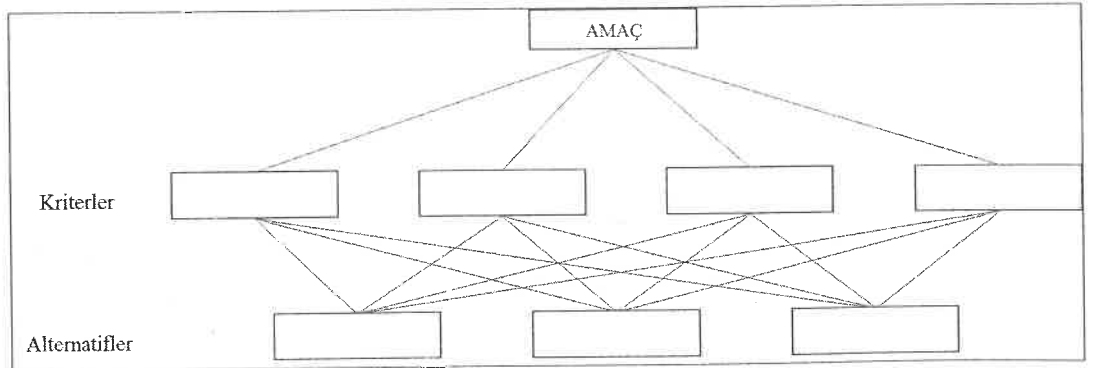
3.3. AHP ve ANP Yöntemleri

AHP ve ANP Thomas Saaty tarafından geliştirilen çok kriterli karar verme yöntemleridir. Her iki yöntem de ikili karşılaştırma esasına dayanır. AHP, problemleri amaç, kriterler ve alternatifler olmak üzere hiyerarşik bir yapıyla; ANP ise kriterler arası ve kriterler ile alternatifler arasında geri bildirim ve bağılıklara izin verecek şekilde bir ağ yapısıyla modellenmektedir [8]. Bu ağ yapısı sayesinde ANP, gerçek hayattaki karmaşık karar verme problemlerinin modellenmesinde ve çözümlenmesinde çok daha etkili olabilmektedir. Hem AHP hem de ANP karar vericinin bilgi, düşünce ve sezgilerini sürece dâhil ettikleri için çok kriterli karar verme literatüründe oldukça tercih edilen yöntemler olarak karşımıza çıkmaktadırlar. Ayrıca, bu yöntemler grup kararı vermek için de kullanılabilmektedir ve bu tez kapsamında yöntemlerin bu özelliğinden faydalanılmıştır.

3.3.1. AHP Yöntemi

AHP yönteminde karar probleminin parçaları (amaç, kriterler, olası alt kriterler ve alternatifler) arasında Şekil 3.1’de gösterildiği gibi hiyerarşik yani tek yönlü bir ilişki vardır ve alternatifler kriterleri, kriterler de amacı etkiler. Kriterlerin alternatifleri etkilemediği ve kriterlerin ve alternatiflerin kendi içlerinde birbirlerinden bağımsız oldukları varsayılır.

AHP hiyerarşik yapının kurulması, ikili karşılaştırmaların yapılması ve kriterlerin göreceli ağırlıklarının belirlenmesi, tutarlılığın hesaplanması, alternatiflerin ağırlıklarının belirlenmesi ve sıralanması aşamalarından oluşur [34]. Hiyerarşik yapı oluşturulduktan sonra kriterlerin birbirleriyle karşılaştırıldığı ikili karşılaştırma matrisi oluşturulur. Bunun için Tablo 3.5’teki ölçek kullanılır.



Şekil 3.1. AHP'deki hiyerarşik yapı [35]

Bu ikili karşılaştırma matrisi $A=(a_{ij})$, $i,j = (1,2,3,...,n)$ olarak ifade edilmektedir. A matrisinin i. satır ve j. sütun elemanı a_{ij} , i'nin j'ye göre önemini ve n kriter sayısını ifade eder. Her elemanın kendisiyle karşılaştırıldığı matris elemanları ($i=j$ olduğu durumda) 1'e eşittir ve simetrik matris elemanları birbirinin tersidir ($a_{ij}= 1/a_{ji}$). Bu karşılaştırma matrisinden yola çıkılarak kriterlerin göreceli önem dereceleri belirlenir. Bunun için en yaygın kullanılan yöntem öz vektör yöntemidir. Karşılaştırma matrisinin öz vektörü kriterlerin önceliklerini gösterirken, bu öz vektöre karşılık gelen öz değer ise tutarlılığı ölçmek için kullanılmaktadır [15]. Öz vektör Eşitlik (1) ile hesaplanmaktadır [13]:

$$W_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^n a_{ij}} \quad (1)$$

Karar vericinin kriterleri karşılaştırırken tutarlı davranıp davranmadığının kontrolü için tutarlılık oranı hesaplanır. Tutarlılık oranının hesaplanması için en büyük öz değer (λ_{max}) ve rassallık indeksi (RI) değerlerinin bilinmesi gerekir. RI değerleri 500 tane rastgele doldurulmuş karşılaştırma matrislerinin ortalama tutarlılık indeksi (CI) değerleridir ve farklı n değerleri için hesaplanmış olup Tablo 3.4'te gösterilmektedir. Başka bir deyişle, RI değerleri eğer karşılaştırmalar tamamen rastgele yapılsaydı CI değerlerinin nasıl olacağını göstermektedir. λ_{max} , CI ve tutarlılık oranının (CR) hesaplanmasına ilişkin formüller Eşitlik (2)-(4) ile gösterilmektedir [13]:

$$\lambda_{max} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{(AW)_i}{W_i} \quad (2)$$

$$CI = (\lambda_{max} - n) / (n - 1) \quad (3)$$

$$CR = CI / RI \quad (4)$$

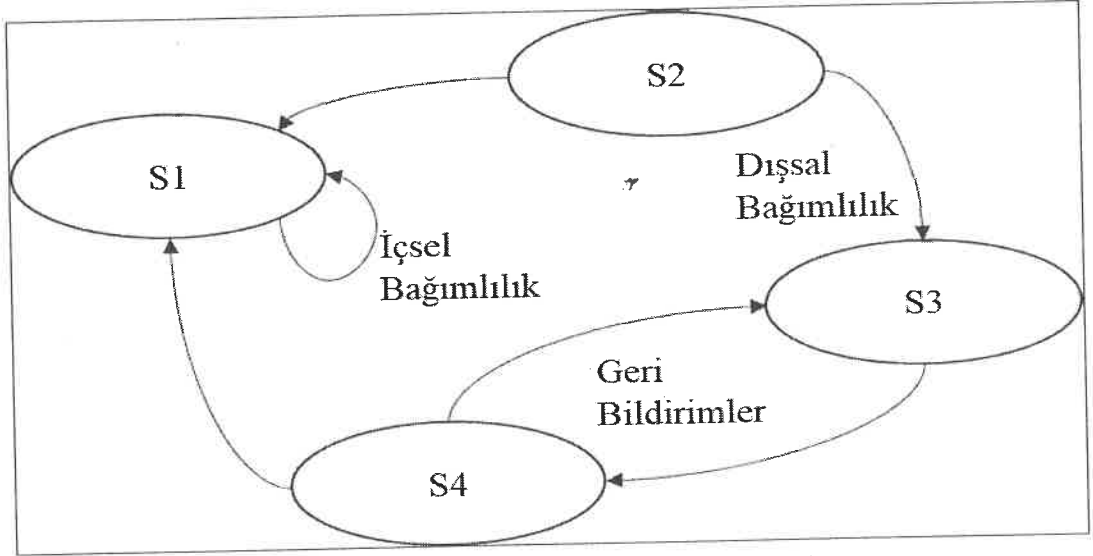
CR değeri 0.1'den küçükse, karşılaştırmaların tutarlı olduğu sonucuna ulaşılır ve Eşitlik (1) ile hesaplanan göreceli öncelikler kabul edilir. Eğer 0,1'den büyük çıkarsa karar vericinin karşılaştırmaları yinelenmesi gerekir.

Tablo 3.4. Farklı n değerleri için hesaplanmış RI değerleri [37]

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
RI	0,00	0,00	0,52	0,89	1,11	1,25	1,35	1,40	1,45	1,49	1,52	1,54	1,56	1,58	1,59

3.3.2. ANP Yöntemi

ANP yöntemi, AHP yönteminin genelleştirilmiş hali olarak tanımlanmaktadır [38]. ANP yönteminde, AHP yönteminde olduğu gibi karar probleminin bileşenleri arasında hiyerarşik bir yapı olmak zorunda değildir ve bileşenler arasında bağımsızlık olduğu varsayımı yapılmasına gerek yoktur.



Şekil 3.2. ANP'deki Ağ Yapısı

ANP uzman bilgisine dayanır ve karar verirken hem nicel hem de nitel boyutları ele alma yetkinliğine sahiptir. Problemin elemanları ve bu elemanların ait olduğu sınıflar arasında etkileşimler ve geri bildirimler olabilir. Bir sınıfın içindeki elemanlar arasında bağımlılık söz konusuysa buna içsel bağımlılık, sınıflar arası etkileşim söz konusuysa buna da dışsal bağımlılık denilmektedir. Problemin elemanları arasında bağımsızlık varsayımı yapılmadığından ve etkileşimlere izin verildiğinden problem Şekil 3.2'deki gibi bir ağ modeli ile ifade edilmektedir [33].

Şekil 3.2'de gösterilen ağ yapısında S1, S2, S3 ve S4 kriter sınıflarını, oklar ise sınıflar arasındaki ilişkileri temsil etmektedir. S1 elemanındaki kendinden çıkan ve yine kendine dönen ok içsel bağımlılık durumunu, bir elemandan çıkıp başka bir elemana ulaşan oklar (Örneğin, S2'den S3'e giden ok) dışsal bağımlılık durumunu ve S3 ve S4 sınıfları arasındaki karşılıklı oklar iki eleman arasındaki geri bildirimi ifade etmektedir. Oklar etkilenen elemandan etkileyen elemana doğru çizilmektedir. Örneğin, S2'den S3'e giden ok S3'ün S2'yi etkilediğini göstermektedir.

Amaca yönelik kriter ve alt kriterlerin belirlenmesinde literatür taraması, anket ve uzman görüşlerinin alınması gibi yöntemlere başvurulabilir. Kriterler ve alt kriterler

belirlendikten sonra AHP yönteminde olduğu gibi 1-9 ölçeği kullanılarak ikili karşılaştırma matrisleri oluşturulur.

Öncelik vektörü AHP’de olduğu gibi Eşitlik (1) kullanılarak hesaplanır ve daha sonra Eşitlik (2) kullanılarak en büyük öz değer elde edilir. Tutarlılık hesaplanırken Eşitlik (3) ve (4)’teki işlemler yapılır. Tutarlılık oranı 0,1’in altındaysa devam edilir, değilse karşılaştırmalar gözden geçirilir [34].

$$W = \begin{bmatrix} W_{11} & \cdots & W_{1N} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ W_{N1} & \cdots & W_{NN} \end{bmatrix} \quad (5)$$

Bir sonraki adımda, Eşitlik (5)’te W_{ij} , $i, j = (1, 2, \dots, N)$ ile gösterilen öz vektörlerin bir araya getirilmesi sonucu ağırlıklandırılmamış süpermatris (W) elde edilir. Burada N kriter sınıfı sayısını belirtmektedir. W_{ij} değerleri matrisin i. satırındaki elemanın matrisin j. sütunundaki eleman üzerindeki görece önemini belirtmektedir. Bu matrisin elemanları, ait olduğu kümenin ağırlıklarıyla çarpılarak ağırlıklandırılmış süpermatris elde edilir. Daha sonra bu ağırlıklandırılmış matrisin elemanları bulundukları sütunların sütun toplamına bölünerek her bir sütun toplamının 1 olması yani matrisin stokastik olması sağlanır. Son olarak elde edilen matrisin yüksek derecede bir kuvveti alınarak matrisin satırlarının tek bir değere yakınsaması sağlanır ve bu matris limit matris adını alır. Limit matriste elde edilen ağırlıklar problemin bileşenlerinin son ağırlıklarını vermektedir. Seçim problemlerinde en büyük ağırlığa sahip alternatif en iyi alternatifi, ağırlıklandırma problemlerinde ise en büyük ağırlığa sahip kriter amacı etkileyen en önemli kriteri ifade eder.

3.4. Görüş Alma Çalışmasının İkinci Aşaması

Çalışmada kullanılacak olan ANP yöntemi ikili karşılaştırma esasına dayanan bir çok kriterli karar verme yöntemi olduğu için görüş alma çalışmasının ikinci kısmında uzmanlardan, kriter ve alt kriterleri birbirleriyle ikili olarak karşılaştırmaları istenmiştir.

Görüş alma çalışmasının ikinci kısmında, öncelikle uzmanların değerlendirmeleriyle şekillenen kriter listesinin son hali sunulmuştur. Daha sonra ikili karşılaştırmaları yaparken kullanacakları 1-9 ölçeği verilmiş ve karşılaştırmaları bu değerleri kullanarak yapmaları istenmiştir. Tablo 3.5’te gösterilen bu ölçek AHP ve ANP yöntemlerini öneren Thomas Saaty tarafından, yöntemlerde yapılan ikili karşılaştırmalarda kullanılmak üzere geliştirilmiştir [33].

Tablo 3.5. Saaty'nin 1-9 ölçeği [33]

Önem Derecesi	Açıklama
1	Eşit önemde
3	Biraz daha önemli
5	Oldukça önemli
7	Çok önemli
9	Son derece önemli
2,4,6,8	Uzlaşma değerleri

Bu aşamada uzmanlardan kriter karşılaştırmalarını 3 aşamada yapmaları istenmiş ve bu aşama kriter ve alt kriterlerin ikili karşılaştırmalarını içerdiği ve detaylı analiz gerektirdiği için birinci aşamaya göre daha fazla zaman isteyen bir çalışma olmuştur. Bundan dolayı, görüş alma çalışmasının ikinci kısmına katkı veren uzman sayısı 7'den 4'e düşmüştür.

İkinci aşamanın ilk bölümünde uzmanlardan 6 kriter sınıfını (ekonomik performans, çevresel etki, dayanıklılık, ağ güvenilirliği, sosyal etki ve yasal çerçeve) birbirleriyle ikili olarak karşılaştırmaları istenmiştir. Şekil 3.3'te kriterlerin karşılaştırılmasına ilişkin örnek bir soru verilmiştir. Buna göre, görüş alma çalışmasına katılan uzmandan EP ve EI kriterlerinden hangisinin daha önemli olduğunu ve daha sonra önemli olan kriterin diğerine göre önem derecesini seçmesi istenmiştir. Bu şekilde bütün kriterlerin ikili karşılaştırması yapılmıştır.

PART 1 – COMPARISON OF CRITERIA

In this part, you will be asked about the relative importance between criteria (cluster) pairs. Please, first identify (by putting a check mark on the check box which is closest to the selected criteria) which criteria is important among the given pairs and then specify the degree of importance according to Saaty's fundamental scale.

1.

a. EP ☐ vs ☐ EI

b. Degree of importance:

1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐ 8 ☐ 9 ☐

Şekil 3.3. Görüş alma çalışmasının birinci bölüm açıklaması

İkinci aşama görüş alma çalışmasının ikinci bölümünde her bir kriter sınıfı içindeki alt kriterlerin birbirleriyle ikili karşılaştırmalarına yer verilmiştir. Şekil 3.4'te ekonomik performans kriteri altındaki alt kriterlerin birbirleriyle karşılaştırılmasına ilişkin örnek bir soru gösterilmektedir. Buna göre 1.soruda, ekonomik performans kriteri altındaki atık bertaraf maliyetlerinde azalma alt kriteri ile enerji maliyetlerinde azalma alt kriteri karşılaştırılırken sırasıyla şu sorular sorulmuştur:

- EP1'in EP2 üzerinde etkisi var mı?
- EP2'nin EP1 üzerinde etkisi var mı?
- Hangisi daha önemli?
- Önem derecesi nedir?

Benzer şekilde, 2.soruda EP1 ve EP3 alt kriter ikilisi karşılaştırılmış ve bu ikili için aynı sorular sorulmuştur. Bu şekilde her bir kriter sınıfı altındaki bütün alt kriterler kendi içlerinde birbirleriyle ikili karşılaştırılana kadar sorular sorulmaya devam edilmiştir. ANP yönteminde AHP'den farklı olarak problem elemanları arasında çift yönlü ilişkiye izin verildiği için alt kriterler arasındaki birbiri üzerinde etkisi var mı soruları çift yönlü olarak sorulmuştur. Örneğin EP1'in EP2 üzerinde etkisi varken EP2'nin EP1 üzerinde etkisi olmayabilir ya da ikisi karşılıklı olarak birbirlerini etkiliyor olabilirler. Bu karşılıklı etkileşim durumu aynı kriter sınıfı altındaki alt kriterler arasında olabileceği gibi farklı kriter sınıflarına ait alt kriterler arasında da olabilir. Çünkü ANP'de AHP'de olduğu gibi hiyerarşik bir yapı yoktur ve problem elemanları arasında bağımsızlık varsayımı yapılmamaktadır. Bu yüzden sistemdeki tüm alt kriterler birbirleriyle karşılaştırılmalıdır.

PART 2 – COMPARISON WITHIN CRITERIA

In this part, you will be asked about the possible effects of each sub-criterion on the others and the relative importance between sub-criteria pairs within each criteria (cluster). For the given sub-criteria pairs, first determine whether one has an effect on the other; second, identify which sub-criterion is important and then specify the degree of importance according to Saaty's fundamental scale.

1.

a. Does EP1 have an effect on EP2?

Yes ☐ No ☐

b. Does EP2 have an effect on EP1?

Yes ☐ No ☐

c. Which one is important?

EP1 ☐ EP2 ☐

d. Degree of importance:

1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐ 8 ☐ 9 ☐

Şekil 3.4. Görüş alma çalışmasının ikinci bölüm açıklaması

Görüş alma çalışmasının üçüncü ve son bölümünde tüm alt kriterlerin ikili karşılaştırmalarına yer verilmiştir. Şekil 3.5'te karşılaştırmaların nasıl yapıldığına dair sorunun bir bölümü gösterilmektedir. Bu bölümde karşılaştırmalar matris formatında sorulmuştur ve bu matris, satırlarında ve sütunlarında bütün alt kriterlerin yer aldığı bir kare matristir. Alt kriterler birbiriyle problemin amacına göre karşılaştırılmışlardır. Yani bu ikili karşılaştırmalarda "Karşılaştırılan alt kriterlerin birbirleri üzerinde etkisi var mı, varsa hangisi bir ES ağı kurmak ve işletmek için diğerine göre daha önemli ve ne kadar önemli?" sorusuna cevap aranmıştır. Bu yüzden tüm alt kriterlerin ikili karşılaştırmaları tek bir matris çatısı altında yapılmıştır.

Buna göre uzman ilk olarak karşılaştırma yaptığı matris ögesinin satırındaki elemanın sütunundaki eleman üzerinde etkisi olup olmadığına karar verecek ve eğer olduğuna karar verirse bu alt kriterlerden hangisinin önemli olduğuna karar verip önem derecesini belirtecektir. Şekil 3.5'teki örneğe göre C1 ve SI1 gibi iki farklı sınıftan alt kriterler karşılaştırılacak ve C1'in SI1 üzerinde etkisi olduğuna ve C1'in SI1'den biraz daha önemli olduğuna karar verilirse matrisin ilgili ögesinde kırmızı ile yazılan ifadenin bulunması gerekmektedir.

PART 3 – COMPARISON BETWEEN CRITERIA (CLUSTERS)

In this final part, you will be asked about the possible effects of each sub-criterion on the others of different criteria (cluster) and the relative importance between sub-criteria pairs if there is any effect and fill in the entries in the following matrix. For a given sub-criteria pair, first, determine whether one has an effect on the other; second, if there is an effect, identify which sub-criterion is important and then specify the degree of importance according to Saaty's Fundamental Scale.

As an example, consider the entry corresponding to C1 (row) and SI1 (column). If you think that C1 has an effect on SI1, please specify which sub-criterion is important among C1 and SI1 and specify the degree of importance according to Saaty's Fundamental Scale on the matrix. If you think that C1 does not have an effect on SI1, you don't need to go further and **leave the corresponding entry blank**.

Since this part focuses on the comparison of sub-criteria in different criteria (clusters), please leave the shaded parts of the matrix blank.

Example: When you compare C1 and SI1, if you decide that C1 has an effect on SI1 and C1 is moderately more important than SI1 according to Saaty's fundamental scale, your entry should look like as below:

	SI1
C1	C1 3

Şekil 3.5. Görüş alma çalışmasının üçüncü bölüm açıklaması

Eğer C1'in SI1 üzerinde etkisi olmadığı değerlendirilirse o bölüm boş bırakılacaktır. Bu şekilde tüm alt kriterlerin birbirleriyle ikili karşılaştırmaları yapılmış, aynı sınıfta bulunan alt kriterler ikinci bölümde birbirleriyle karşılaştırıldıkları için bu bölümde o kısımlar boş

bırakılmıştır. Bütün ikili karşılaştırmalar tamamlandıktan sonra kriterlerin ağırlıklandırılması için ANP yönteminin uygulanmasına geçilmiştir.

3.5. ANP ve AHP Yöntemlerinin Uygulanması

Çalışmanın bu bölümünde, belirlenen kriter ve alt kriterlerin göreceli önceliklerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Çalışmada, problemin yapısına daha uygun olması nedeniyle ağırlıklandırma yöntemi olarak ANP seçilmiştir ancak farklı kriter sınıfları arasındaki bağımlılıkların dikkate alınmadığı durumda, AHP yöntemi kullanılırsa sonuçların nasıl olacağının gösterilmesinin, özellikle iki yöntemin karşılaştırılması açısından faydalı olacağı değerlendirilmiş ve kriter sınıfları arasındaki etkileşimler göz ardı edilerek ağırlıklar AHP yöntemi ile de elde edilmiştir.

Uzmanlardan farklı kriter sınıflarındaki alt kriterlerin birbirleri üzerinde etkisi olup olmadığının ve varsa görece önemlerinin ne olduğunun belirtilmesi istenen görüş alma çalışmasının ikinci aşamasının son kısmında, alt kriterler birbirleriyle karşılaştırılırken uzmanlardan üçünün bütün ilişkileri iki yönlü olarak tanımladığı, bir uzmanın ise bazı karşılaştırmalar için iki yönlü bazıları için ise tek yönlü ilişkiler tanımladığı görülmüştür. Bu nedenle ANP ile ağırlıklandırma çalışması yapılırken iki farklı senaryo üzerinde durulmuştur. İlk senaryoda iki alt kriter arasında en az bir uzman tarafından ilişki tanımlandıysa ilişki var denilmiş ve verilen tüm ağırlıkların geometrik ortalamaları alınarak hesaplamalar yapılmıştır. İkinci senaryoda ise iki alt kriter arasında en az bir uzman tarafından ilişki tanımlanmadıysa ilişki yok denilerek ağırlık 0 kabul edilmiş, tek yönlü ilişki tanımlandığı durumdaysa sadece tek yönlü ilişki tanımlanan görüşteki ağırlık dikkate alınmıştır. Buna göre ilk senaryoda, uzmanlardan üçü tüm ilişkileri çift yönlü tanımladıkları için en az 3 ağırlığın, diğer uzmanın da ilişki tanımladığı durumlarda ise 4 ağırlığın geometrik ortalaması alınmıştır. İkinci senaryoda, bazı durumlarda tek yönlü ilişki tanımlayan uzmanın çift yönlü ilişki tanımladığı durumlarda diğer 3 uzmanın verdiği ağırlıklar da hesaba katılarak 4 ağırlık, tek yönlü ilişki tanımladığı durumlarda ise sadece bu uzmanın verdiği ağırlık hesaplamalara dahil edilerek farklı göreceli öncelikler hesaplanmıştır.

3.5.1. Birinci Senaryoya Göre ANP Yönteminin Probleme Uygulanması

Bu bölümde, Bölüm 3.1’de belirlenen kriter ve alt kriterlerin ANP yöntemi kullanılarak ağırlıklandırılması yapılacaktır. Hesaplamalar Microsoft Excel ve Matlab programları kullanılarak yapılmıştır. Bütün ikili karşılaştırmalarda en az bir uzman tarafından ilişki

tanımlandıysa karşılaştırılan elemanlar arasında ilişki olduğu kabul edilmiş ve ilişki var diyen uzmanların verdikleri ağırlıklar hesaba katılmıştır.

İlk önce 4 uzman görüş alma çalışmasındaki birinci aşama sorularından elde edilen, 6 kriter sınıfının birbirleriyle Tablo 3.5'teki ölçeğe göre karşılaştırma verileri geometrik ortalamaları alınarak birleştirilmiştir. Literatürde, farklı kişilerden alınan görüşlerin bir araya getirilmesi için kullanılacak fonksiyonun ayrılabilirlik, oy birliği, homojenlik ve kuvvet koşulları adı verilen dört koşulu sağlaması gerektiği ve tüm koşulları sağlayan tek fonksiyonun geometrik ortalama olduğu belirtilmektedir [33]. Geometrik ortalaması alınan bu uzman değerlendirmelerinin her bir karşılaştırma için minimum ve maksimum değerleri Tablo 3.6'da gösterilmektedir. Tabloda görüldüğü üzere, EP-EI, EP-C, EP-NR, EP-SI ve NR-SI karşılaştırmalarında tüm uzmanlar tarafından 1 ve üzeri karşılaştırma değerleri atanmış yani ilk sıradaki kriter sınıfı ya görece daha önemli ya da diğeriyle eşit önemde görülmüş, diğer karşılaştırmalarda ise uzmanlar arasında iki yönde de ağırlık verenler olmuştur. Elde edilen kriter sınıfı ağırlıkları Ek 3'de gösterilmektedir.

Tablo 3.6. Sınıf karşılaştırma puanlarının minimum ve maksimum değerleri

	EP- EI	EP- C	EP- NR	EP- SI	EP- LF	EI- C	EI- NR	EI- SI	EI- LF	C- NR	C- SI	C- LF	NR- SI	NR- LF	SI- LF
min	1	3	4	3	1/9	1/8	1/7	1/4	1/9	1/6	1/6	1/7	1	1/9	1/9
maks	9	8	7	8	6	6	8	7	6	8	8	5	7	6	6

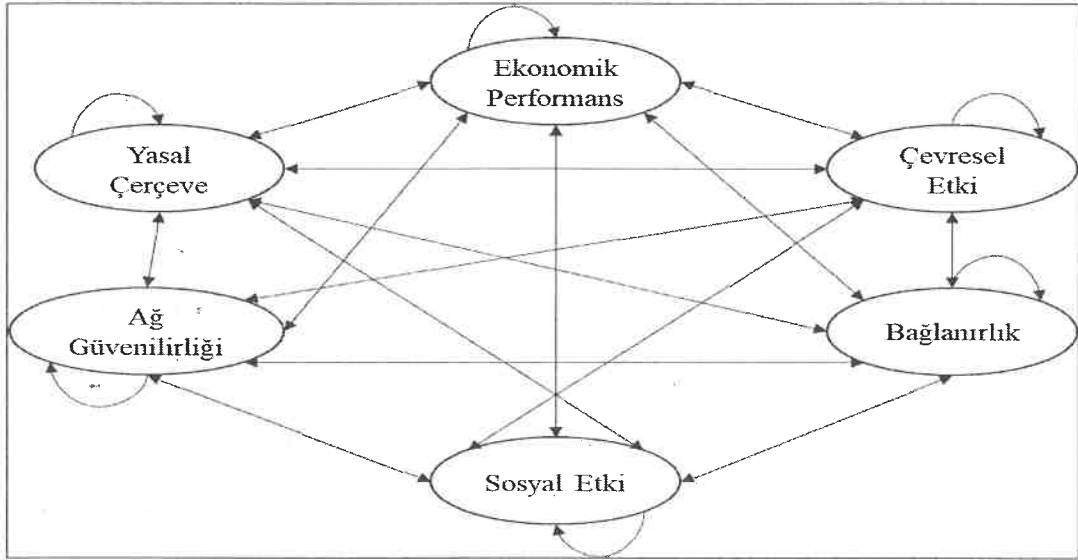
İkinci olarak, 4 uzman görüş alma çalışmasındaki ikinci aşama sorularına verilen aynı kriter sınıfı altındaki alt kriterlerin karşılaştırılmasına yönelik yanıtlar birleştirilmiştir. 6 kriter sınıfının altındaki alt kriterlerin birbirleriyle Tablo 3.5'teki ölçeğe göre karşılaştırma verileri geometrik ortalamaları alınarak birleştirilmiş ve elde edilen karşılaştırma verileri Ek 4'te gösterilmiştir.

Son olarak, 4 uzman görüş alma çalışmasındaki üçüncü bölüm sorularına verilen, farklı kriter sınıfı altındaki alt kriterlerin birbirleriyle karşılaştırılmasına yönelik yanıtlar birleştirilmiştir. Görüş alma çalışmalarındaki alt kriterlerin birbirleriyle Tablo 3.5'teki ölçeğe göre karşılaştırma verileri geometrik ortalamaları alınarak birleştirilmiş ve problemdeki tüm alt kriterlerin karşılaştırma verileri Ek 5'te gösterilmiştir.

Bölüm 3.3'te belirtildiği üzere tüm alt kriterlerin problemin amacına göre ikili karşılaştırmaları tek bir matris çatısı altında yapılarak Ek 5'teki matris elde edilmiş ve bu

karşılaştırmalar Ek 4'teki sınıf içi karşılaştırmalarla birleştirilerek Ek 5'teki karşılaştırma matrisi elde edilmiştir.

Karşılaştırma matrislerine bakıldığında tüm kriter sınıflarının birbirlerini çift yönlü etkilediği ve aynı zamanda içsel bağımlılığa da sahip oldukları söylenebilir. Problemdeki kriter sınıfları arasındaki ilişkiyi ifade eden ağ modeli Şekil 3.6'da gösterilmektedir. Bölüm 3.3.2'de anlatıldığı gibi karşılıklı oklar, sınıflar arasındaki karşılıklı etkileşimi yani bir sınıftaki alt kriterlerin biri ya da hepsinin diğer sınıftaki alt kriterlerin birini ya da hepsini etkilediğini ve aynı durumun tersinin de geçerli olduğunu göstermektedir. Sınıfların kendilerinden çıkıp yine kendilerine giren oklar ise aynı sınıf içindeki alt kriterler arasında etkileşim olduğunu göstermektedir.



Şekil 3.6. Problemin 1. Senaryoya Göre ANP Modeli

Karşılaştırmaların tutarlı olduğuna karar verildikten sonra Ek 6'da gösterilen karşılaştırma matrisini oluşturan, kriter sınıfları arasındaki her bir karşılaştırma matrisinin (36 adet) öğeleri, bulunduğu sütun toplamına bölünerek matrisler stokastik hale getirilmiştir. Bütün matrislerin stokastik hale getirilmesi sonucu Ek 7'deki ağırlıklandırılmamış süpermatris elde edilmiştir. Daha sonra bu matrisin ağırlıklandırılması için her bir karşılaştırma değeri, satırındaki alt kriterin ait olduğu sınıfın Ek 3'te belirtilen ağırlığı ile çarpılmıştır. Örneğin; Ek 7'de EP1 ile EI1'in karşılaştırıldığı hücredeki değer 0,2510'dur ve bu değer Ek 3'te EP sınıfının EI sınıfı üzerindeki ağırlığını gösteren 4,0536 değeri ile çarpılarak ağırlıklandırılmış

süpermatristeki karşılığı elde edilmiştir. Bu şekilde bütün karşılaştırma değerleri ağırlıklandırılarak Ek 8'deki ağırlıklandırılmış süpermatris elde edilmiştir.

Kriterlerin nihai ağırlıklarının elde edilebilmesi için matrisin satırlarının tek bir değere yakınsamasının sağlanması gerekmektedir. Bunun için ağırlıklandırılmış süpermatrisin stokastik yani sütun toplamaları 1'e eşit olan bir matrise dönüştürülmesi gerekmektedir. Bunun için Ek 8'de gösterilen matrisin bütün elemanları ait oldukları sütun toplamına bölünerek matris stokastik hale getirilmiştir. Daha sonra, bu matrisin satırlarının tek bir değere yakınsamasının sağlanması için matrisin büyük bir sayı derecesinden (bu çalışmada 1.000.000 olarak belirlenmiştir) kuvveti alınmış ve kriterlerin nihai ağırlıklarını veren ve Ek 9'da gösterilen limit matris elde edilmiştir.

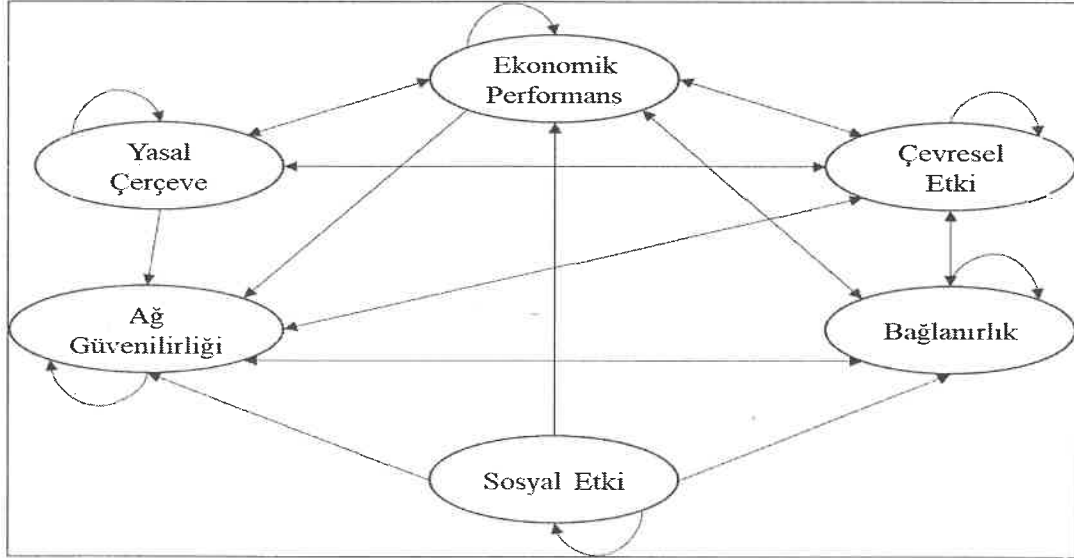
Limit matrise bakıldığında en büyük ağırlığa sahip kriterin 0,1668 ile LF1 olduğu görülmektedir. Onu 0,0822 ile EP2 ve 0,0811 ile LF2 izlemektedir. Birinci senaryoya göre ANP uygulaması sonucu elde edilen ağırlıklar Tablo 3.7'de gösterilmektedir.

Tablo 3.7. İlk senaryoya göre ANP uygulama sonuçları

Alt Kriter	Ağırlık
EP1	0,0807
EP2	0,0822
EP3	0,0762
EP4	0,0517
EP5	0,0574
EI1	0,0296
EI2	0,0306
EI3	0,0276
EI4	0,0235
C1	0,0448
C2	0,0454
NR1	0,0517
NR2	0,0412
NR3	0,0228
SI1	0,0412
SI2	0,0286
SI3	0,0169
LF1	0,1668
LF2	0,0811

3.5.2. İkinci Senaryoya Göre ANP Yönteminin Probleme Uygulanması

İkinci senaryoda, bazı durumlarda tek taraflı ilişki tanımlayan uzmanın görüşleri esas alınmış, onun tek taraflı ilişki tanımladığı durumlarda sadece onun verdiği ağırlık, iki taraflı ilişki tanımladığı durumlarda diğer üç görüşle birlikte toplam dört ağırlık hesaba katılmıştır. İkinci senaryoda birbiriyle ilişkili olmayan kriter sınıfları ya da tek yönlü ilişki tanımlanan durumlar olduğu için problemin ANP ağ modeli de değişmiştir ve yeni model Şekil 3.7’de gösterilmektedir. Bu modelde ilk senaryodakinden farklı olarak, sosyal etki sınıfının çevresel etki ve yasal çerçeve sınıfları ile ve yasal çerçeve sınıfının bağlanırlık sınıfı ile ilişkisi çift yönlü olarak ortadan kalkmıştır. Ayrıca, sosyal etki sınıfının bağlanırlık, ekonomik performans ve ağ güvenilirliği sınıfları ile yasal çerçeve sınıfının ağ güvenilirliği sınıfı ile ve ağ güvenilirliği sınıfının ekonomik performans sınıfı ile ilişkileri tek yönlü olarak tanımlanmıştır.



Şekil 3.7. Problemin 2. Senaryoya Göre ANP Modeli

Sınıfların ve aynı sınıf altındaki alt kriterlerin birbirleriyle karşılaştırılmalarında ilk senaryodan farklılık olmadığı için Ek 3 ve Ek 4’teki değerler korunmuştur. Bu durumda Ek 9’daki karşılaştırma matris oluşturulmuş ve hesaplamalar buna göre yapılmıştır.

Karşılaştırmaların tutarlı olduğuna karar verildikten sonra Ek 10’da gösterilen karşılaştırma matrisini oluşturan, kriter sınıfları arasındaki her bir karşılaştırma matrisinin (36 adet) öğeleri, bulunduğu sütun toplamına bölünerek matrisler stokastik hale getirilmiştir. Bütün matrislerin stokastik hale getirilmesi sonucu Ek 11’deki ağırlıklandırılmamış süpermatris elde edilmiştir. Daha sonra bu matrisin

ağırlıklandırılması için her bir karşılaştırma değeri, satırındaki alt kriterin ait olduğu sınıfın Ek 3'te belirtilen ağırlığı ile çarpılmıştır. Örneğin; Ek 11'de EP1 ile EI1'in karşılaştırıldığı hücredeki değer 0,3118'dir ve bu değer Ek 3'te EP sınıfının EI sınıfı üzerindeki ağırlığını gösteren 4,0536 değeri ile çarpılarak ağırlıklandırılmış süpermatristeki karşılığı elde edilmiştir. Bu şekilde bütün karşılaştırma değerleri ağırlıklandırılarak Ek 12'deki ağırlıklandırılmış süpermatris elde edilmiştir.

Kriterlerin nihai ağırlıklarının elde edilebilmesi için matrisin satırlarının tek bir değere yakınsamasının sağlanması gerekmektedir. Bunun için ağırlıklandırılmış süpermatrisin stokastik matrise dönüştürülmesi gerekmektedir. Bunun için de Ek 12'de gösterilen matrisin bütün elemanları ait oldukları sütun toplamına bölünerek matris stokastik hale getirilmiştir. Daha sonra, bu matrisin satırlarının tek bir değere yakınsamasının sağlanması için matrisin büyük bir sayı derecesinden (bu çalışmada 1.000.000 olarak belirlenmiştir) kuvveti alınmış ve kriterlerin nihai ağırlıklarını veren ve Ek 13'te gösterilen limit matris elde edilmiştir.

Tablo 3.8. İkinci senaryoya göre ANP uygulama sonuçları

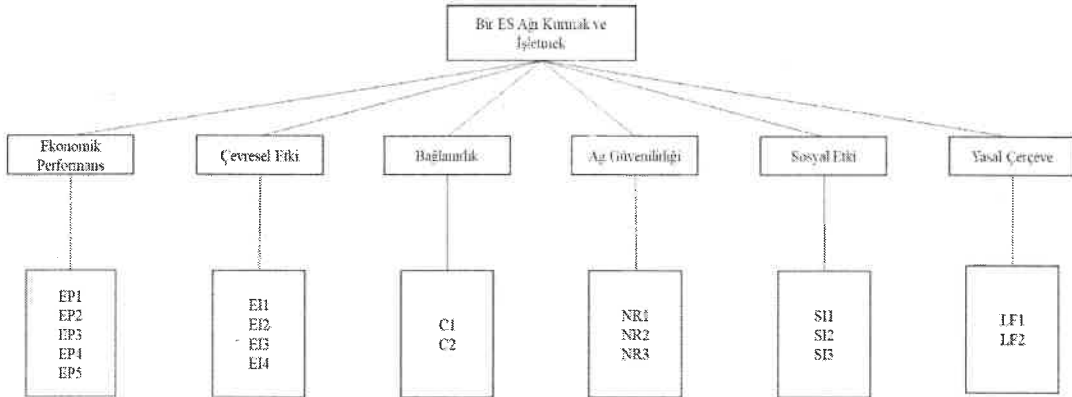
Alt Kriter	Ağırlık
EP1	0,0465
EP2	0,0327
EP3	0,0411
EP4	0,0590
EP5	0,0448
EI1	0,0461
EI2	0,0399
EI3	0,0734
EI4	0,0267
C1	0,0829
C2	0,0894
NR1	0,0475
NR2	0,1038
NR3	0,0718
SI1	0,0000
SI2	0,0000
SI3	0,0000
LF1	0,1250
LF2	0,0694

Limit matrise bakıldığında en büyük ağırlığa sahip kriterin 0,1250 ile LF1 olduğu görülmektedir. Onu 0,1038 ile NR2 ve 0,0894 ile C2 izlemektedir. İkinci senaryoya göre ANP uygulaması sonucu elde edilen ağırlıklar Tablo 3.8’de gösterilmektedir.

3.5.3. AHP Yönteminin Probleme Uygulanması

Çalışmanın bu aşamasında ANP ile elde edilen sonuçların AHP ile elde edilecek sonuçlarla karşılaştırılmasında ve farklı kriter sınıfları arasında etkileşime izin veren bir ağ modeli ile bağımsızlık varsayımı yapan hiyerarşik bir modelin nasıl farklılıklara yol açacağının ortaya konmasında fayda görülmüştür. Bu yüzden aynı problem kriter sınıfları birbirinden bağımsız kabul edilerek AHP yöntemi ile de çözülmüştür.

AHP yönteminde kriterlerin birbirlerinden bağımsız olduğu varsayımı yapıldığı için sadece aynı kriter sınıfında bulunan alt kriterler arasındaki ve kriter sınıflarının birbirleri arasındaki ilişkiler dikkate alınmıştır. Probleme ilişkin hiyerarşi modeli Şekil 3.7’de gösterilmektedir.



Şekil 3.8. Problemin AHP Modeli

Bu durumda, her bir kriter sınıfı için Ek 4’teki 6 kare matris ve kriter sınıflarının birbirleriyle karşılaştırılmaları için Ek 3’teki matris olmak üzere toplam 7 tane karşılaştırma matrisi ile işlem yapılmıştır.

Kriterlerin ağırlıkları bulunurken her bir matris için Eşitlik (1) kullanılarak bulunan öncelik vektörlerindeki ağırlıklar ile kriterin ait olduğu sınıfın ağırlığı çarpılmıştır. Kriter sınıflarının ağırlıkları da EK 3’teki matrise Eşitlik (1)’in uygulanmasıyla elde edilmiştir. Kriterlerin AHP ile elde edilen ağırlıkları Tablo 3.8’de gösterilmektedir. Tablo 3.9’daki ağırlıklara bakıldığında en büyük ağırlığa sahip kriterin 0,1323 ile LF1 olduğu görülmektedir. Onu 0,1132 ile EP1 ve 0,1123 ile EP3 izlemektedir. Farklı kriter sınıflarındaki alt kriterler arasındaki etkileşimler dikkate alınmadığında kriterlerin

ağırlıklarının ve önem sıralarının ANP yönteminde bulunanlarla farklılık gösterdiği görülmektedir. Bu farklılıklar bir sonraki bölümde daha detaylı değerlendirilecektir.

Tablo 3.9. Kriterlerin AHP ile elde edilen ağırlıkları

Alt Kriter	Ağırlık
EP1	0,1132
EP2	0,1006
EP3	0,1123
EP4	0,0466
EP5	0,0251
EI1	0,0260
EI2	0,0522
EI3	0,0256
EI4	0,0095
C1	0,0423
C2	0,0594
NR1	0,0516
NR2	0,0359
NR3	0,0392
SI1	0,0356
SI2	0,0183
SI3	0,0078
LF1	0,1323
LF2	0,0664

3.6. AHP ve ANP Sonuçlarının Karşılaştırılması

Tablo 3.8'e bakıldığında ikinci senaryo altındaki ANP sonuçlarına göre SI sınıfına ait kriterlerin ağırlıklarının 0 olduğu görülmektedir. İkinci senaryoda görüşleri dikkate alınan uzmanın, görüş alma çalışmasının ilk aşamasında da bu sınıfın ve altındaki kriterlerin, kriter listesinde olmamaları yönünde görüş verdiği görülmüştür. İkinci senaryo altında EP sınıfına ait alt kriterlerin NR ve SI sınıflarındaki alt kriterlerle ilişkilerinin çoğu yerde tanımlanmadığı, tanımlandığı durumlarda ise tek yönlü tanımlandığı görülmektedir. Benzer şekilde C sınıfına ait alt kriterler ile de çoğunlukla tek yönlü ilişki tanımlandığı gözlenmiş ve bu durumların, EP sınıfındaki alt kriterlerin ikinci senaryo altında belirlenen ağırlıklarının ilk senaryodaki ağırlıklarına göre düşmesine sebep olduğu belirlenmiştir. Özellikle, ikinci senaryo altında yapılan sıralamada 2. ve 3. sırada yer alan NR2 ve C2 alt kriterlerinin durumları incelendiğinde bu alt kriterlerin karşılaştırma verilerinde yer yer

artışlar olduğu ve EP sınıfı alt kriterlerinin alt sıralara düşmesi ile ikinci senaryoda ağırlık sıralamasında daha üst sıralarda yer aldıkları belirlenmiştir.

Yapılan çalışma kapsamında, uzman görüşlerinde hem etki/ilişki varlığı hem de önem değerleri değişiklik gösterebilmektedir. ANP birinci ve ikinci senaryoda etki/ilişki farklılığı ele alınmıştır. Tablo 3.10'da gösterilen sonuçlara göre hem iki senaryoda uygulanan ANP yönteminde hem de sınıflar arası ilişkiler göz ardı edilerek uygulanan AHP yönteminde en büyük ağırlığa sahip alt kriter LF1 (yasal engeller/kolaylaştırıcılar) olmuştur. ES uygulamalarının etkin bir şekilde yürütülebilmesi için, uygulandığı ülkedeki yasaların buna elverişli olması ve firmaları teşvik edici düzenlemelerin var olması büyük önem arz etmektedir. Örneğin, bir ülkedeki atık yönetimi mevzuatı, firmaları atıklarının içeriği ve miktarını beyan etmeye ne kadar zorlayabiliyor ve sonuçları ne kadar denetleyebiliyorsa o ülkedeki atık verisi o kadar güvenilir olacaktır. Böylece, hem ES hem de diğer temiz üretim uygulamaları için potansiyeller daha kolay tespit edilebilecek ve uygulama sonrası oluşabilecek kazançlar daha kolay tahmin edilebilecektir. Bu sayede firmalar elde edebilecekleri kazanımları görerek uygulamaya daha istekli olacak ve ES uygulamaları ülke çapında daha sürdürülebilir olabilecektir.

İlk senaryoda ANP uygulamasında 2. sırayı EP2 (enerji maliyetlerinde azalma), ikinci senaryoda ANP uygulamasında NR2 (firmalar arasında iş birliği) ve AHP uygulamasında EP1 (atık bertaraf maliyetlerinde azalma) alt kriterleri almıştır. İlk senaryoda ANP uygulamasında 3. sırayı LF2 (finansal destekler) alırken, ikinci senaryoda ANP uygulamasında C2 (firmaların coğrafi yakınlığı) ve AHP uygulamasında EP3 (ham madde maliyetlerinde azalma) alt kriterleri almıştır. Buradan da anlaşılabileceği üzere birinci senaryoda ANP uygulamasında ve AHP uygulamasında ES uygulamalarının hayata geçirilebilmesi için yasal düzenlemelerden sonra en önemli görülen kriterler ekonomik kriterler olmuştur. İkinci senaryoda, bir uzmanın tanımladığı ilişkiler referans alınarak işlem yapıldığı için sonuçlar değişmiş, çoğunluğun görüşlerinin dikkate alındığı diğer iki durumda yasal ve ekonomik kriterler öne çıkmıştır. ANP ilk senaryo uygulaması ve AHP sonuçlarının birbirine daha yakın çıkmasının sebebi, ilk senaryoda olası bütün ilişkilerin tanımlanmasından dolayı kriter etkilerinin ilişki tanımlanmayan duruma yaklaşması olarak değerlendirilmiştir. Tek yönlü ilişkilerin olduğu durumda ilişkiler kriter ağırlıkları üzerinde daha çok etkili olmuş ve ikinci senaryoda ANP uygulamasında daha farklı sonuçlar elde edilmiştir. ES uygulamalarını hayata geçirecek firmaların üretim firmaları olduğu ve kar amacı güttükleri göz önünde bulundurulursa bu oldukça beklenen bir

durumdur. Enerji, ham madde ve atık bertaraf maliyetleri üretim yapan firmalar için önemli maliyet kalemlerindendir ve bunlarda sağlanacak olan kazanımlar, ES uygulamaları için firmaları fazlasıyla teşvik edecektir. Benzer şekilde, ES uygulamalarına dâhil olan firmalara devlet tarafından sağlanacak olan vergi indirimi, faizsiz kredi, istihdam desteği gibi destekler de firmaların bu alana yönelik motivasyonunu artıracak ve ES uygulamalarının hayata geçirilmesini sağlayacaktır.

Tablo 3.10. Ağırlıklar Tablosu

Alt Kriter	Ağırlıklar					
	ANP 1. Senaryo	Normalize Ağırlıklar	ANP 2. Senaryo	Normalize Ağırlıklar	AHP	Normalize Ağırlıklar
EP1	0,0807	0,2318	0,0465	0,2075	0,1132	0,2846
EP2	0,0822	0,2361	0,0327	0,1459	0,1006	0,2529
EP3	0,0762	0,2188	0,0411	0,1834	0,1123	0,2823
EP4	0,0517	0,1485	0,0590	0,2633	0,0466	0,1171
EP5	0,0574	0,1648	0,0448	0,1999	0,0251	0,0631
EI1	0,0296	0,2659	0,0461	0,2477	0,0260	0,2295
EI2	0,0306	0,2749	0,0399	0,2144	0,0522	0,4607
EI3	0,0276	0,2480	0,0734	0,3944	0,0256	0,2259
EI4	0,0235	0,2111	0,0267	0,1435	0,0095	0,0838
C1	0,0448	0,4967	0,0829	0,4811	0,0423	0,4159
C2	0,0454	0,5033	0,0894	0,5189	0,0594	0,5841
NR1	0,0517	0,4468	0,0475	0,2129	0,0516	0,4073
NR2	0,0412	0,3561	0,1038	0,4653	0,0359	0,2833
NR3	0,0228	0,1971	0,0718	0,3218	0,0392	0,3094
SI1	0,0412	0,4752	0,0000	0,0000	0,0356	0,5770
SI2	0,0286	0,3299	0,0000	0,0000	0,0183	0,2966
SI3	0,0169	0,1949	0,0000	0,0000	0,0078	0,1264
LF1	0,1668	0,6729	0,1250	0,6430	0,1323	0,6658
LF2	0,0811	0,3271	0,0694	0,3570	0,0664	0,3342

Tablo 3.10'daki normalize ağırlıklar ise her üç uygulama için, alt kriterlerin ait oldukları sınıf içindeki görece ağırlıklarını ifade etmektedir. Bu değerlerde de uygulamalar arasında farklılıklar olduğu görülmektedir. Örneğin, EP4 ve EP5'in sınıf içindeki ağırlıkları ikinci senaryoda ilkinde göre artmış, diğer üçününki azalmıştır. Bu durum, ikinci senaryoda bulunan çift yönlü ilişkilerden kaçının tek yönlüye döndüğü ve ağırlıkların nasıl değiştiğiyle açıklanabilir. EP1, EP4 ve EP5 için 4 çift yönlü ilişki ikinci senaryoda da tanımlanmış, diğer ikisi için tek yöne düşürülen ilişki sayısı daha fazla olmuştur. Azalan çift yönlü ilişki sayısının alt kriterlerin sınıf içindeki ağırlıklarını düşürdüğü

söylenebilir. Öte yandan EP1, EP4 ve EP5 için geçerliliğini koruyan çift yönlü ilişki sayısı aynı olmasına rağmen EP1'in ağırlığının azalıp diğer ikisinin artmasının sebebi ise EP4 ve EP5'in geçerliliğini koruyan çift yönlü ilişkileri, EI ve C sınıfındaki alt kriterlerle olurken EP1'in çift yönlü ilişkileri EI ve LF sınıfındaki alt kriterlerle olmuştur. EP sınıfının C sınıfı üstündeki ağırlığının LF sınıfına göre çok daha fazla olmasından dolayı EP4 ve EP5'in ağırlıkları artarken EP1'inki azalmıştır. Öte yandan AHP sonucu elde edilen sınıf içi ağırlıklara bakıldığında, EP1, EP2 ve EP3'ün ağırlıklarının her iki ANP uygulamasına göre de arttığı, EP4 ve EP5 için ise azaldığı görülmüştür. AHP yönteminde sınıf içi karşılaştırmaların dikkate alınması ve EP4 ile EP5'in sınıf içi ağırlıklarının diğerlerine göre düşük olması sebebiyle bu durumun ortaya çıktığı değerlendirilmiştir. Bu değerlendirmeler diğer sınıflar için de aynı şekilde yapılabilir.

Bu çalışma kapsamında sunulan kriterler ve onların görece ağırlıklarının, ES uygulamalarını hayata geçirmek isteyen firmalar için yol gösterici olacağı ve işe nereden başlamaları ve hangi konulara öncelik vermeleri gerektiği konularında bir rehber niteliği taşıyacağı düşünülmektedir. Aynı zamanda, 4. Bölümde örneklendirileceği üzere alternatiflerin değerlendirilmesinde de kullanılabilecektir.

4. ANP VE AHP YÖNTEMLERİNİN ALTERNATİFLERİN VARLIĞINDA PROBLEME UYGULANMASI ÜZERİNE ANALİZLER

Belirlenen alt kriterler için AHP ve iki farklı şekilde uygulanan ANP yöntemleri ile 3. Bölümde anlatıldığı üzere farklı ağırlıklar elde edilmiştir. Bu bölümde, farklı olan bu ağırlıkların alternatiflerin varlığında seçilecek olan alternatife olan istatistiksel etkisinin hem elde edilecek toplam skor hem de sıralama açısından incelenmesine yer verilecektir. Ayrıca, uzman görüşlerindeki farklılıklar sonucu elde edilebilecek rastgele ağ yapıları ile bulunacak ağırlıkların aynı şekilde alternatiflerin varlığında hem toplam skor hem de sıralama üzerine etkileri incelenecektir.

4.1. Alternatiflerin Olduğu Durumda Farklı Yöntemlerle Elde Edilen Alternatif Ağırlıklarının ve Sıralamalarının Karşılaştırılması

Bu bölümde, farklı alternatif sayıları ile [1,5] likert ölçeğine sahip skorları olan alternatiflerin iki farklı şekilde gerçekleştirilen ANP ve AHP yöntemleriyle elde edilen ağırlıklarının aynı dağılımdan gelip gelmediği ve bu yöntemlerle elde edilen alternatif sıralamaları arasındaki ilişki incelenmiştir.

Farklı yöntemlerle elde edilen alternatif ağırlıklarının aynı dağılımdan gelip gelmediğinin incelenmesi için %5 anlamlılık seviyesine sahip Wilcoxon işaretli sıralar testi kullanılmıştır. Bu testte ilişkili iki sıralama listesine ait puanlar arasındaki farkın anlamlı olup olmadığı yani bu puanların aynı dağılımdan gelip gelmediği test edilmektedir. Bunun için aşağıdaki hipotezler kullanılmaktadır:

H_0 = Ana kütleler arasında fark yoktur.

H_1 = Ana kütleler arasında fark vardır.

Çalışma kapsamında bu test, Matlab programı kullanılarak uygulanmış ve 3,5,10 ve 20 alternatif sayıları için 1000 tekrarda H_0 'ın reddedildiği durum sayıları elde edilmiştir. Elde edilen değerler Tablo 4.1'de gösterilmektedir. Burada ANP1-ANP2 sütunu ANP'nin iki farklı senaryoda uygulaması, ANP1-AHP sütunu ANP'nin ilk senaryo uygulaması ile AHP uygulaması ve ANP2-AHP sütunu ANP'nin ikinci senaryo uygulaması ile AHP uygulaması sonucu elde edilen alternatif ağırlıklarının karşılaştırılmasında H_0 hipotezinin ret sayısını vermektedir.

Tablo 4.1'e bakıldığında, alternatif sayısı 3 ve 5 olduğunda ve 1000 tekrarda bu alternatiflere 1 ve 5 arasında rastgele skorlar atandığında, alternatif ağırlıklarının aynı dağılımdan geldiği, alternatif sayıları 10 ve 20 olduğunda ise 1000 tekrarda yaklaşık 50 defa farklı dağılımlardan geldiği sonucuna ulaşıldığı görülmektedir. Buradan hareketle, alternatif sayısının az olduğu durumda ES ağlarının değerlendirilmesi için üç yöntemin de birbirinin yerine kullanılabileceği değerlendirilmiştir.

Tablo 4.1. Uygulanan yöntemlerin sonuçları için Wilcoxon testi sonuçları

Alternatif Sayısı	Ho'n reddedildiği durum sayıları		
	ANP1-ANP2	ANP1-AHP	ANP2-AHP
3	0	0	0
5	0	0	0
10	47	48	45
20	50	49	59

Aynı alternatif sayıları ve aynı tekrarlar için üç yöntemle elde edilen alternatif sıralamaları arasındaki ilişkiyi incelemek için sıralı veriler arasındaki ilişkiyi gösteren ve parametrik olmayan yöntemler olan Spearman ve Kendall Tau korelasyon katsayıları kullanılmıştır. Bu çalışma kapsamında ele alınan problemde aynı alternatiflerin farklı yöntemlerle sıralamaları karşılaştırıldığı ve bu sıralamalar birbirine bağımlı olduğu için parametrik olmayan bu yöntemlerin kullanılmasına karar verilmiştir. Burada amaç, alternatiflerin etkisini ortadan kaldırıp uygulanan yöntemin sıralamaya etkisini görebilmektir.

Farklı yöntemler ile elde edilen sıralamalar arasındaki korelasyon katsayıları Wilcoxon sıralı işaretler testinin yapıldığı aynı durumlarda, sırasıyla 3, 5, 10 ve 20 alternatif sayıları ile 1000 tekrar için hesaplanmış ve ortalamaları alınarak değerler Tablo 4.2'de gösterilmiştir. Sonuçlara bakıldığında, her iki korelasyon katsayısı için de en yüksek değerlerin ANP1-AHP yöntemleriyle elde edilen sıralamalar arasında olduğu görülmektedir. ANP1 ve AHP sıralamaları arasındaki görece daha yüksek korelasyonun, ANP2 uygulamasında göz ardı edilen ilişkilerden ve değişen karşılaştırma verilerinden ötürü ağırlıkların ANP1 ve AHP yöntemleriyle elde edilen ağırlıklardan oldukça farklılaşmasından kaynaklandığı değerlendirilmiştir.

Tablo 4.2. Uygulanan yöntemlerin sonuçları için korelasyon katsayıları

Alternatif Sayısı	Spearman Korelasyon Katsayısı			Kendall Tau Korelasyon Katsayısı		
	ANP1-ANP2	ANP1-AHP	ANP2-AHP	ANP1-ANP2	ANP1-AHP	ANP2-AHP
3	0,6980	0,8410	0,6595	0,6520	0,8027	0,6133
5	0,7331	0,8761	0,6925	0,6372	0,8046	0,5994
10	0,7927	0,9114	0,7522	0,6507	0,8064	0,6072
20	0,8134	0,9331	0,7774	0,6483	0,8133	0,6094

4.2. Üretilen Rastgele Karşılaştırma Matrisleri ile Elde Edilen Alternatif Ağırlıklarının ve Sıralamalarının İlk Senaryoda ANP Çalışması ile Karşılaştırılması

Bu bölümde, ANP1 yönteminden ANP2'ye geçişte olduğu gibi uzman görüşlerindeki farklılıklar ile elde edilebilecek 5 rastgele karşılaştırma matrisi elde edilmiş ve bu yeni karşılaştırma verileriyle farklı alternatif sayıları için elde edilen toplam alternatif skorları ve sıralamalarının ANP1 yöntemiyle elde edilen skor ve sıralamalarla karşılaştırılmasına yer verilmiştir. Böylece uzman görüşlerindeki etki farklılaşması değerlendirilmeye çalışılmıştır. Rastgele matrisler elde edilirken Ek 6'da yer alan karşılaştırma matrisinin içindeki kriter sınıflarının birbirleriyle karşılaştırıldığı karşılaştırma matrislerinden (36 adet) 10 tanesi rastgele seçilerek bu kriter sınıflarının birbirini etkilemediği varsayılmış ve bu matrislerdeki karşılaştırma verileri sıfırlanmıştır. Elde edilen yeni matrislerle yeni kriter ağırlıkları hesaplanmış ve daha sonra Bölüm 4.1'de olduğu gibi [1,5] likert skalasında skora sahip, farklı sayıda alternatiflerin bu kriter ağırlıklarına göre toplam skorları ve sıralamaları elde edilmiştir. Daha sonra bu skor ve sıralamalar ANP1 yönteminde elde edilenlerle Wilcoxon işaretli sıralar testi ve Spearman ve Kendall Tau korelasyon katsayıları kullanılarak karşılaştırılmıştır.

Bu bölümde de Wilcoxon testi Matlab programı kullanılarak uygulanmış ve 3,5,10 ve 20 alternatif sayıları için 1000 tekrarda H_0 'ın reddedildiği durum sayıları elde edilerek Tablo 4.3'te gösterilmiştir. Burada ANP1-ANPR1 sütunu, ANP1 ve rastgele oluşturulan karşılaştırma matrisinin kullanıldığı ANPR1 uygulamaları sonucu elde edilen alternatif ağırlıklarının karşılaştırılmasında H_0 hipotezinin ret sayısını vermektedir. Diğer 4 sütun

da aynı şekilde ANP1 ve diğer rastgele karşılaştırma matrislerinin kullanıldığı uygulamaların karşılaştırma sonuçlarını vermektedir. Sonuçlara bakıldığında, 3 ve 5 alternatifin olduğu durumlarda ve 1000 tekrarda bu alternatiflere 1 ve 5 arasında rastgele skorlar atandığında, alternatif ağırlıklarının aynı dağılımdan geldiği, alternatif sayıları 10 ve 20 olduğunda ise 1000 tekrarda yaklaşık 50 defa farklı dağılımlardan geldiği sonucuna ulaşıldığı görülmektedir. Sadece ANP1 ve ANPR3 karşılaştırmasında skorların farklı dağılımlardan geldiği sonucuna ulaşıldığı durum sayısı diğerlerine göre daha az çıkmıştır.

Tablo 4.3. Rastgele karşılaştırma matrisleri (10 ilişkinin silindiği durum) ile uygulanan ANP yöntemleri için Wilcoxon testi sonuçları

Alternatif Sayısı	H ₀ 'ın reddedildiği durum sayıları				
	ANP1-ANPR1	ANP1-ANPR2	ANP1-ANPR3	ANP1-ANPR4	ANP1-ANPR5
3	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0
10	50	52	35	50	58
20	46	50	34	57	48

Aynı alternatif sayıları için ve 1000 tekrarda ANP1 ve rastgele karşılaştırma matrisli 5 uygulama sonucu elde edilen alternatif sıralamalarının karşılaştırılması için Bölüm 4.1'de olduğu gibi Spearman ve Kendall Tau korelasyon katsayıları kullanılmış ve elde edilen sonuçlar Tablo 4.4'te gösterilmiştir. Sonuçlara bakıldığında, her iki korelasyon katsayısı için de en yüksek değerlerin ANP1-ANPR5 yöntemleriyle elde edilen sıralamalar arasında olduğu görülmektedir.

Aynı işlemler Ek 6'da yer alan karşılaştırma matrisinin içindeki kriter sınıflarının birbirleriyle karşılaştırıldığı karşılaştırma matrislerinden 20 tanesi rastgele seçilerek ve bu matrislerdeki karşılaştırma verileri sıfırlanarak tekrarlanmıştır. Elde edilen yeni matrislerle yeni kriter ağırlıkları hesaplanmış ve daha önce olduğu gibi [1,5] likert skalasında skorlara sahip, farklı sayıda alternatiflerin bu kriter ağırlıklarına göre toplam skorları ve sıralamaları elde edilmiştir. Daha sonra bu skor ve sıralamalar ANP1 yönteminde elde edilenlerle Wilcoxon işaretli sıralar testi ve Spearman ve Kendall Tau korelasyon katsayıları kullanılarak karşılaştırılmıştır. 3,5,10 ve 20 alternatif sayıları için 1000 tekrarda H₀'ın reddedildiği durum sayıları elde edilerek Tablo 4.5'te gösterilmiştir.

Tablo 4.4. Rastgele karşılaştırma matrisleri (10 ilişkinin silindiği durum) ile uygulanan ANP yöntemleri için korelasyon katsayıları

Alternatif Sayısı	Spearman Korelasyon Katsayısı					Kendall Tau Korelasyon Katsayısı				
	ANP1-ANPR1	ANP1-ANPR2	ANP1-ANPR3	ANP1-ANPR4	ANP1-ANPR5	ANP1-ANPR1	ANP1-ANPR2	ANP1-ANPR3	ANP1-ANPR4	ANP1-ANPR5
3	0,8600	0,9225	0,8865	0,8745	0,9310	0,8287	0,9007	0,8560	0,8420	0,9107
5	0,8879	0,9446	0,9154	0,9009	0,9557	0,8204	0,9024	0,8558	0,8368	0,9186
10	0,9230	0,9649	0,9404	0,9349	0,9683	0,8252	0,9040	0,8550	0,8456	0,9106
20	0,9373	0,9745	0,9550	0,9483	0,9778	0,8208	0,9001	0,8547	0,8409	0,9094

Tablo 4.5. Rastgele karşılaştırma matrisleri (20 ilişkinin silindiği durum) ile uygulanan ANP yöntemleri için Wilcoxon testi sonuçları

Alternatif Sayısı	H ₀ 'ın reddedildiği durum sayıları				
	ANP1-ANPR1	ANP1-ANPR2	ANP1-ANPR3	ANP1-ANPR4	ANP1-ANPR5
3	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0
10	48	45	46	61	57
20	48	43	40	48	47

Tablo 4.5'teki sonuçlara bakıldığında, 3 ve 5 alternatifin olduğu durumlarda ve 1000 tekrarda bu alternatiflere 1 ve 5 arasında rastgele skorlar atandığında, alternatif ağırlıklarının aynı dağılımdan geldiği, alternatif sayıları 10 ve 20 olduğunda ise 1000 tekrarda yaklaşık 50 defa farklı dağılımlardan geldiği sonucuna ulaşıldığı görülmektedir. 10 alternatifin varlığında ANP1 ile ANPR4 ve ANPR5 karşılaştırmalarında skorların farklı dağılımlardan geldiği sonucuna ulaşıldığı durum sayısı diğerlerine göre daha fazla çıkmıştır. 20 alternatifin varlığında ANP1 ve ANPR3 sonuçlarının karşılaştırılmasında ise skorların farklı dağılımlardan geldiği sonucuna ulaşıldığı durum sayısı diğerlerine göre daha az çıkmıştır.

Aynı alternatif sayıları için ve 1000 tekrarda ANP1 ve rastgele karşılaştırma matrisli 5 uygulama sonucu elde edilen alternatif sıralamalarının karşılaştırılması için yine

Spearman ve Kendall Tau korelasyon katsayıları kullanılmış ve elde edilen sonuçlar Tablo 4.6’da gösterilmiştir. Sonuçlara bakıldığında, her iki korelasyon katsayısı için de en yüksek değerlerin ANP1-ANPR5 yöntemleriyle elde edilen sıralamalar arasında olduğu ve korelasyonların 10 ilişkinin silindiği duruma göre oldukça düşük olduğu görülmektedir. Bu durumun çok fazla ilişkinin silinmesi ile problemin orijinal ağ yapısından oldukça uzaklaşılmasından kaynaklandığı değerlendirilmektedir.

Tablo 4.6. Rastgele karşılaştırma matrisleri (20 ilişkinin silindiği durum) ile uygulanan ANP yöntemleri için korelasyon katsayıları

Alternatif Sayısı	Spearman Korelasyon Katsayısı					Kendall Tau Korelasyon Katsayısı				
	ANP1-ANPR1	ANP1-ANPR2	ANP1-ANPR3	ANP1-ANPR4	ANP1-ANPR5	ANP1-ANPR1	ANP1-ANPR2	ANP1-ANPR3	ANP1-ANPR4	ANP1-ANPR5
3	0.5295	0.5955	0.1445	0.5480	0.6440	0.4807	0.5520	0.1353	0.4953	0.5933
5	0.5831	0.6206	0.1708	0.6127	0.6941	0.4836	0.5214	0.1406	0.5186	0.5912
10	0.6262	0.6613	0.2175	0.6949	0.7496	0.4853	0.5218	0.1616	0.5528	0.6059
20	0.6491	0.6914	0.2139	0.7091	0.7719	0.4846	0.5252	0.1513	0.5433	0.6026

5. SONUÇ VE DEĞERLENDİRMELER

Bu tez kapsamında öncelikle bir ES ağı kurmak ve işletmek için dikkat edilmesi gereken önemli kriterler literatür taraması ve sonrasında uzman görüş alma çalışması yapılarak belirlenmiş ve belirlenen 6 kriter sınıfı altındaki 19 alt kriter ANP ve AHP yöntemleri kullanılarak ağırlıklandırılmıştır. ANP ve AHP yöntemlerinde kullanılan ikili karşılaştırma verileri ikinci bir görüş alma çalışması ile uzmanlardan elde edilmiş ve yöntemler uygulanmıştır.

Problem kapsamında ele alınan kriter ve alt kriterlerin birbirinden bağımsız olmadıkları düşünüldüğü için ağırlıkların esas olarak ANP yöntemi ile elde edilmesine karar verilmiş olup kriter sınıfları arasındaki ilişkilerin göz ardı edildiği durumda uygulanabilecek olan AHP yöntemiyle de sonuçlar elde edilmiş ve karşılaştırmalar yapılmıştır. Bunun yanında ikinci görüş alma çalışmasında alt kriterler arasındaki ilişkilerin varlığı ve ikili karşılaştırma verileri arasında farklar olduğu görülmüş ve ANP uygulamasının iki farklı senaryo altında yapılmasına karar verilmiştir. İlk senaryoda tüm alt kriterler arasında çift yönlü ilişki tanımlanmış ve çoğunluğun görüşleri dikkate alınmış, ikinci senaryoda ise görüşleri ayrışan uzmanın görüşleri temel alınarak karşılaştırma matrisi buna göre oluşturulmuştur. İkinci senaryoda çift yönlü ilişkilerin yanında tek yönlü ilişkiler de tanımlanmış, ayrıca silinen ilişkiler de olmuştur.

Elde edilen sonuçlara göre hem iki senaryoda uygulanan ANP yönteminde hem de sınıflar arası ilişkiler göz ardı edilerek uygulanan AHP yönteminde en büyük ağırlığa sahip alt kriter LF1 (yasal engeller/kolaylaştırıcılar) olmuştur. Buradan hareketle bir ES ağı kurmak ve işletmek isteyen karar vericilerin önce bulundukları ülkedeki, ES'yi düzenleyici ve teşvik edici ya da zorlaştırıcı yasal düzenlemeleri incelemeleri ve ona göre hareket etmeleri gerektiği sonucuna ulaşılmaktadır. ES ağı kurmak isteyen karar vericilere öncelikle yasal mevzuatı incelemeleri, yararlanabilecekleri teşvikleri öğrenmeleri ve yasal olarak yerine getirmeleri gereken sorumluluklar varsa bunları önceden bilip ona göre hareket etmeleri önerilmektedir.

Kriter ağırlıkları ve önem sıralamaları elde edildikten sonra bunların alternatiflerin varlığında toplam skor ve sıralamaya etkilerinin nasıl olacağıyla ilgili istatistiksel incelemelere yer verilmiştir. Alternatif sayısı az olduğunda her üç uygulama ile elde edilen alternatif skorları arasında anlamlı bir fark olmadığı, alternatif sayısı arttığında ise skorlar arasındaki farkın arttığı ve uygulanacak yöntemin seçilecek alternatifi

değiştirebileceği sonucuna ulaşılmıştır. Ayrıca, ANP1 ve AHP uygulamaları arasındaki korelasyonun diğerlerine göre görece daha yüksek olduğu ve bunun ikinci senaryoda tanımlanmayan ilişki ve değişen önem derecelerinden kaynaklandığı değerlendirilmiştir.

Bunların yanında, rastgele ağ yapıları ile problemdeki ilk senaryo ağ yapısı arasında da aynı istatistiksel karşılaştırma ve analizlere yer verilmiştir. Alternatif sayısı az olduğunda elde edilen alternatif skorları arasında anlamlı bir fark olmadığı, alternatif sayısı arttığında ise skorlar arasındaki farkın arttığı ve karşılaştırma matrisinden bazı ilişkilerin silinmesinin seçilecek alternatifi değiştirebileceği sonucuna ulaşılmıştır.

Gelecek çalışmalarda, gerçek alternatiflerin olduğu durumda onların da ağ yapısına dâhil edilmesiyle analizin genişletilebileceği düşünülmektedir. Bunun dışında kriter ve alt kriter listesi bu çalışmada elde edilen ağırlıklara bakılarak değiştirilebilir ve önemi daha büyük kriterlerle daha etkin analizler yapılabilir.

6. KAYNAKLAR

- [1] K. Winans, A. Kendall ve H. Deng, The history and current applications of the circular economy concept, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, no. 68, pp. 825-833, **2017**.
- [2] G. Valenzuela-Venegas, J. C. Salgado ve F. A. Díaz-Alvarado, Sustainability indicators for the assessment of eco-industrial parks: classification and criteria for selection, *Journal of Cleaner Production*, no. 133, pp. 99-116, **2016**.
- [3] International Synergies, <https://www.internationalsynergies.com/projects/national-industrial-symbiosis-programme/>. (Erişim tarihi: **21 Şubat 2019**).
- [4] E. Kuznetsova, E. Zio ve R. Farel, A methodological framework for Eco-Industrial Park design and optimization, *Journal of Cleaner Production*, no. 126, pp. 308-324, **2016**.
- [5] Kalundborg Symbiosis, <http://www.symbiosis.dk/en/>. (Erişim tarihi: **26 Mart 2019**).
- [6] E. J. Kim, Greening Industrial Parks – A Case Study on South Korea’s Eco-Industrial Park Program, *Global Green Growth Institute*, Seoul, **2017**.
- [7] Y. T. Leong, J.-Y. Lee, R. R. Tand, J. J. Foo ve I. M. L. Chew, Multi-objective optimization for resource network synthesis in eco-industrial parks using an integrated analytic hierarchy process, *Journal of Cleaner Production*, cilt 143, pp. 1268-1283, **2016**.
- [8] K. Baynal ve E. Yüzügüllü, Tedarik zinciri yönetiminde analitik ağ süreci ile tedarikçi seçimi ve bir uygulama, *İstanbul Üniversitesi İşletme Fakültesi Dergisi*, cilt 42, no. 1, pp. 77-92, **2013**.
- [9] H. S. Park ve S. K. Behera, Methodological aspects of applying eco-efficiency indicators to industrial symbiosis networks, *Journal of Cleaner Production*, no. 64, pp. 478-485, **2013**.
- [10] Q. Wang, P. Deutz ve Y. Chen, Building institutional capacity for industrial symbiosis development: A case study of an industrial symbiosis coordination network in China, *Journal of Cleaner Production*, no. 142, pp. 1571-1582, **2016**.
- [11] A. P. Velenturf, Promoting industrial symbiosis: empirical observations of low-carbon innovations in the Humber region, UK, *Journal of Cleaner Production*, no. 128, pp. 116-130, **2016**.

- [12] L. Fraccascia, V. Albino ve C. A. Garavelli, Technical efficiency measures of industrial symbiosis networks using enterprise input-output analysis, *International Journal of Production Economics*, pp. 273-286, **2017**.
- [13] Y. Zhang, S. Duan, J. Li, S. Shao, W. Wang ve S. Zhang, Life cycle assessment of industrial symbiosis in Songmudao chemical industrial park, Dalian, China, *Journal of Cleaner Production*, no. 158, pp. 192-199, **2017**.
- [14] C. Haskins, A Systems Engineering Framework for Eco-Industrial Park Formation, www.interscience.wiley.com, (Erişim tarihi: **24 Ağustos 2006**).
- [15] M. Pan, J. Sikorski, J. Akroyd, S. Mosbach, R. Lau ve M. Kraft, Design technologies for eco-industrial parks: From unit operations to processes, plants and industrial networks, *Applied Energy*, no. 175, p. 305-323, **2016**.
- [16] D. M. Yazan, V. A. Romano ve V. Albino, The design of industrial symbiosis: an input-output approach, *Journal of Cleaner Production*, no. 129, pp. 537-547, **2016**.
- [17] D. Tiejun, Two quantitative indices for the planning and evaluation of eco-industrial parks, *Resources, Conservation and Recycling*, no. 54, p. 442-448, **2010**.
- [18] H. Zhao, H. Zhao ve S. Guo, Evaluating the comprehensive benefit of eco-industrial parks by employing multi-criteria decision making approach for circular economy, *Journal of Cleaner Production*, no. 142, pp. 2262-2276, **2017**.
- [19] S. Pakarinen, T. Mattila, M. Melanen, A. Nissinen ve L. Sokka, Sustainability and industrial symbiosis - The volution of a Finnish forest industry complex, *Resources, Conservation and Recycling*, cilt 54, no. 12, p. 1393-1404, **2010**.
- [20] G. C. Mantese ve D. C. Amaral, Comparison of industrial symbiosis indicators through agent-based modeling, *Journal of Cleaner Production*, no. 140, pp. 1652-1671, **2016**.
- [21] M. Felicio, D. Amaral ve K. Esposto, Industrial symbiosis indicators to manage eco-industrial parks as dynamic systems, *Journal of Cleaner Production*, pp. 54-64, **2016**.
- [22] R. Taddeo, A. Simboli, A. Morgante ve S. Erkman, The Development of Industrial Symbiosis in Existing Contexts.Experiences From Three Italian Clusters, *Ecological Economics*, no. 139, p. 55-67, **2017**.
- [23] M. R. Ghali, J.-M. Frayret ve C. Ahabchane, Agent-based model of self-organized industrial symbiosis, *Journal of Cleaner Production*, no. 161, pp. 452-465, **2017**.
- [24] A. Jayant, An Application Of Analytic Network Process (ANP) To Evaluate Green Supply Chain Management Strategies: A Case Study, *MATEC Web of Conferences*, Longowal, **2016**.

- [25] L. Chen, X. Yan ve C. Gao, Developing an analytic network process model for identifying critical factors to achieve apparel safety, *The Journal of The Textile Institute*, pp. 1754-2340, **2016**.
- [26] M. R. Asadabadi, A customer based supplier selection process that combines quality function deployment, the analytic network process and a Markov chain, *European Journal of Operational Research*, no. 263, pp. 1049-1062, **2017**.
- [27] J. Lee, S. Jun ve J. P. Tai-Woo Chang, A Smartness Assessment Framework for Smart Factories Using Analytic Network Process, *Sustainability*, **2017**.
- [28] K.-J. Wang, Y. D. Lestari ve V. N. B. Tran, Location Selection of High-tech Manufacturing Firms by a Fuzzy Analytic Network Process: A Case Study of Taiwan High-tech Industry, *International Journal of Fuzzy Systems*, cilt 19, no. 5, pp. 1560-1584, **2017**.
- [29] P. Aragonés-Beltrán, M. García-Melón ve J. Montesinos-Valera, How to assess stakeholders' influence in project management? A proposal based on the Analytic Network Process, *International Journal of Project Management*, no. 35, pp. 451-462, **2017**.
- [30] M. Boix, L. Montastruc ve C. Azzaro-Pantel, Optimization methods applied to the design of eco-industrial parks: a literature review, *Journal of Cleaner Production*, no. 87, pp. 303-317, **2015**.
- [31] M. Ntasiou ve E. Andreou, The Standard of Industrial Symbiosis. Environmental Criteria and Methodology on the Establishment and Operation of Industrial and Business Parks., *Procedia Environmental Science*, no. 38, pp. 744-751, **2017**.
- [32] Y. Shi, J. Liu ve H. Shi, The ecosystem service value as a new eco-efficiency indicator for industrial parks, *Journal of Cleaner Production*, no. 164, pp. 597-605, **2017**.
- [33] T. L. Saaty ve L. G. Vargas, *Decision Making with the Analytic Network Process*, Springer Science Business Media, LLC, **2006**.
- [34] N. Ömürbek ve A. Şimşek, Analitik Hiyerarşi Süreci ve Analitik Ağ Süreci Yöntemleri ile Online Alışveriş Site Seçimi, *Yönetim ve Ekonomi Araştırmaları Dergisi*, no. 22, **2014**.
- [35] N. Ömürbek ve M. Z. Tunca, Analitik Hiyerarşi Süreci Ve Analitik Ağ Süreci Yöntemlerinde Grup Kararı Verilmesi Aşamasına İlişkin Bir Örnek Uygulama, *Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, cilt 18, no. 3, pp. 47-70, **2013**.
- [36] R. H. Ramadhan, H. I. A.-A. Wahhab ve S. O. Duffuaa, The use of an analytical hierarchy process in pavement maintenance priority ranking, *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, cilt 5, no. 1, pp. 25-39, **1999**.

- [37] T. L. Saaty ve L. T. Tran, On the Invalidity of Fuzzifying Numerical Judgments in the Analytic Hierarchy Process, ISAHP , Viña del Ma, **2007**.
- [38] A. Özbek, Analitik Ağ Süreci Yaklaşımıyla Üçüncü Parti Lojistik (3PL) Firma Seçimi, Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi, cilt 27, no. 1, pp. 95-113, **2013**.
- [39] R. L. Paquin ve J. Howard-Grenville, The Evolution of Facilitated Industrial Symbiosis, Journal of Industrial Ecology, **2012**.
- [40] R. Lombardi ve P. Laybourn, Redefining Industrial Symbiosis, Journal of Industrial Ecology, cilt 16, no. 1, pp. 28-37, **2012**.

EKLER

EK 1 – Görüş Alma Çalışmasının İlk Aşamasının Orijinali

This study is a part of the M.S. Thesis of Ezgi Sen, an M.S. student of the Department of Industrial Engineering of Hacettepe University under the supervision of Assist. Prof. Banu Yuksel Ozkaya. The objective of the M.S. Thesis is to implement the Analytic Network Process (ANP) methodology to determine the important criteria and their relationship for the establishment an industrial symbiosis (IS) network.

This study will be conducted in 2 steps. In this very first step, you will be asked whether the presented criteria and related sub-criteria are significant and any additional criteria and sub-criteria. In the second step of this study, we will ask you to quantify the relative importance and the relation between the selected criteria. Hence, as a subject matter expert, your opinion on the subject will be greatly appreciated. All your personal information and your responses will be kept confidential and will only be evaluated by the researchers.

If you want to get more details on this study and the M.S. Thesis, you can contact with Ezgi Sen (e-mail: ezgi.sen@kalkinma.gov.tr) or Assist. Prof. Banu Yuksel Ozkaya (e-mail: byuksel@hacettepe.edu.tr). We thank you in advance for your valuable contributions.

ABOUT YOU:

- Company/University:
- Department:
- Title/Position:
- Interest in IS:
 - ☐ Academic study about IS (research, MSc thesis, PhD dissertation)
 - ☐ Project related with IS
 - ☐ Others (Please, explain briefly)

QUESTIONS:

- 1) Please select the criteria & possible related sub-criteria which you deem as significant for establishment of an IS network.

☐ **Economic performance**

- ☐ Savings in disposal costs
- ☐ Savings in energy costs
- ☐ Savings in input material cost
- ☐ Material/waste transportation costs (related with proximity of enterprises of the network)
- ☐ Construction costs (investment costs to construct the necessary infrastructure for the operation of IS network activities)

☐ **Environmental impact**

- ☐ By-product & waste recycling rate
- ☐ Resource conservation (fresh water consumption, degree of inbound and outbound byproduct – inbound by-product represents the by-product that is internally consumed and outbound by-product represents that leaves the boundaries of the IS network)
- ☐ Waste reduction
- ☐ CO₂ emissions

☐ **Connectivity**

- ☐ Eco-connectance (degree of association among enterprises in an IS network in terms of eco-industrial links)
- ☐ Proximity (closeness of the enterprises in the IS network)

☐ **Network reliability**

- ☐ Trust between enterprises
- ☐ Cooperation between enterprises
- ☐ Internal management system (formulation and implementation of management system of the IS network)

☐ **Social impact**

☐ Health & safety of workers

☐ Employment level

- 2) Please, identify any other criteria and/or related sub-criteria not included above with your justification.

EK 2 – Görüş Alma Çalışmasının İkinci Aşamasının Orijinali

This study is a part of the M.S. Thesis of Ezgi Sen, an M.S. student of the Department of Industrial Engineering of Hacettepe University under the supervision of Assist. Prof. Banu Yuksel Ozkaya. The objective of the M.S. Thesis is to implement the Analytic Network Process (ANP) methodology to determine the important criteria and their relationship for the establishment an industrial symbiosis (IS) network.

This study is conducted in 2 steps. At the end of the first step, with your valuable and constructive comments and choices, we have finalized the criteria (clusters) and sub-criteria that are important for the establishment of the IS network. In this second step, you will be asked about quantifying the relative importance (according to Saaty's fundamental scale) and possible relationship between criteria (clusters) and sub-criteria. Hence, as a subject matter expert, your opinion on the subject will be greatly appreciated. All your personal information and your responses will be kept confidential and will only be evaluated by the researchers.

If you want to get more details on this study and the M.S. Thesis, you can contact with Ezgi Sen (e-mail: Ezgi.SEN@kalkinma.gov.tr) or Assist. Prof. Banu Yuksel Ozkaya (e-mail: byuksel@hacettepe.edu.tr). We thank you in advance for your valuable contributions.

CRITERIA AND SUB-CRITERIA LIST

EP: Economic performance

- EP1:** Savings in disposal costs
- EP2:** Savings in energy costs
- EP3:** Savings in input material cost
- EP4:** Material/waste transportation costs (related with proximity of enterprises of the network)
- EP5:** Construction costs (investment costs to construct the necessary infrastructure for the operation of IS network activities)

EI: Environmental impact

- EI1:** By-product & waste recycling rate
- EI2:** Resource conservation (fresh water consumption, degree of inbound and outbound byproduct – inbound by-product represents the by-product that is internally consumed and outbound by-product represents that leaves the boundaries of the IS network)
- EI3:** Waste reduction (Difference between the waste generation before and after the establishment of IS)
- EI4:** CO₂ emissions

C: Connectivity

- C1:** Eco-connectance (degree of association among enterprises in an IS network in terms of eco-industrial links)
- C2:** Proximity (closeness of the enterprises in the IS network)

NR: Network reliability

- NR1:** Trust between enterprises
- NR2:** Cooperation between enterprises
- NR3:** Internal management system (formulation and implementation of management system of the IS network)

SI: Social impact

- SI1:** Health & safety of workers
- SI2:** Job creation and retention

SI3: Public relations benefit for enterprises

LF: Legal Framework

LF1: Legislative barriers/drivers

LF2: Financial incentives

Saaty's Fundamental Scale:

Intensity of importance	Definition
1	Equal importance
2	Weak
3	Moderate importance
4	Moderate plus
5	Strong importance
6	Strong plus
7	Very strong or demonstrated importance
8	Very, very strong
9	Extreme importance

PART 1 – COMPARISON OF CRITERIA

In this part, you will be asked about the relative importance between criteria (cluster) pairs. Please, first identify (by putting a check mark on the check box which is closest to the selected criteria) which criteria is important among the given pairs and then specify the degree of importance according to Saaty's fundamental scale.

1.
 - a. EP ☐ vs ☐ EI
 - b. Degree of importance:
1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐ 8 ☐ 9 ☐
2.
 - a. EP ☐ vs ☐ C
 - b. Degree of importance:
1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐ 8 ☐ 9 ☐
3.
 - a. EP ☐ vs ☐ NR
 - b. Degree of importance:
1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐ 8 ☐ 9 ☐
4.
 - a. EP ☐ vs ☐ SI
 - b. Degree of importance:
1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐ 8 ☐ 9 ☐

5.
 - a. EP ☐ vs ☐ LF
 - b. Degree of importance:
1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐ 8 ☐ 9 ☐
6.
 - a. EI ☐ vs ☐ C
 - b. Degree of importance:
1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐ 8 ☐ 9 ☐
7.
 - a. EI ☐ vs ☐ NR
 - b. Degree of importance:
1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐ 8 ☐ 9 ☐
8.
 - a. EI ☐ vs ☐ SI
 - b. Degree of importance:
1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐ 8 ☐ 9 ☐
9.
 - a. EI ☐ vs ☐ LF
 - b. Degree of importance:
1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐ 8 ☐ 9 ☐
10.
 - a. C ☐ vs ☐ NR
 - b. Degree of importance:
1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐ 8 ☐ 9 ☐
11.
 - a. C ☐ vs ☐ SI
 - b. Degree of importance:
1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐ 8 ☐ 9 ☐
12.
 - a. C ☐ vs ☐ LF
 - b. Degree of importance:
1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐ 8 ☐ 9 ☐
13.
 - a. NR ☐ vs ☐ SI
 - b. Degree of importance:
1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐ 8 ☐ 9 ☐
14.
 - a. NR ☐ vs ☐ LF
 - b. Degree of importance:
1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐ 8 ☐ 9 ☐
15.
 - a. SI ☐ vs ☐ LF
 - b. Degree of importance:
1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐ 8 ☐ 9 ☐

PART 2 – COMPARISON WITHIN CRITERIA

In this part, you will be asked about the possible effects of each sub-criterion on the others and the relative importance between sub-criteria pairs within each criteria (cluster). For the given sub-criteria pairs, first determine whether one has an effect on the other; second, identify which sub-criterion is important and then specify the degree of importance according to Saaty's fundamental scale.

1.
 - a. Does EP1 have an effect on EP2?
Yes ☐ No ☐
 - b. Does EP2 have an effect on EP1?
Yes ☐ No ☐
 - c. Which one is important?
EP1 ☐ EP2 ☐
 - d. Degree of importance:
1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐ 8 ☐ 9 ☐
2.
 - a. Does EP1 have an effect on EP3?
Yes ☐ No ☐
 - b. Does EP3 have an effect on EP1?
Yes ☐ No ☐
 - c. Which one is important?
EP1 ☐ EP3 ☐
 - d. Degree of importance:
1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐ 8 ☐ 9 ☐
3.
 - a. Does EP1 have an effect on EP4?
Yes ☐ No ☐
 - b. Does EP4 have an effect on EP1?
Yes ☐ No ☐
 - c. Which one is important?
EP1 ☐ EP4 ☐
 - d. Degree of importance:
1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐ 8 ☐ 9 ☐
4.
 - a. Does EP1 have an effect on EP5?
Yes ☐ No ☐
 - b. Does EP5 have an effect on EP1?
Yes ☐ No ☐
 - c. Which one is important?
EP1 ☐ EP5 ☐
 - d. Degree of importance:
1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐ 8 ☐ 9 ☐
- 5.

- a. Does EP2 have an effect on EP3?
Yes ☐ No ☐
- b. Does EP3 have an effect on EP2?
Yes ☐ No ☐
- c. Which one is important?
EP2 ☐ EP3 ☐
- d. Degree of importance:
1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐ 8 ☐ 9 ☐

6.

- a. Does EP2 have an effect on EP4?
Yes ☐ No ☐
- b. Does EP4 have an effect on EP2?
Yes ☐ No ☐
- c. Which one is important?
EP2 ☐ EP4 ☐
- d. Degree of importance:
1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐ 8 ☐ 9 ☐

7.

- a. Does EP2 have an effect on EP5?
Yes ☐ No ☐
- b. Does EP5 have an effect on EP2?
Yes ☐ No ☐
- c. Which one is important?
EP2 ☐ EP5 ☐
- d. Degree of importance:
1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐ 8 ☐ 9 ☐

8.

- a. Does EP3 have an effect on EP4?
Yes ☐ No ☐
- b. Does EP4 have an effect on EP3?
Yes ☐ No ☐
- c. Which one is important?
EP3 ☐ EP4 ☐
- d. Degree of importance:
1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐ 8 ☐ 9 ☐

9.

- a. Does EP3 have an effect on EP5?
Yes ☐ No ☐
- b. Does EP5 have an effect on EP3?
Yes ☐ No ☐
- c. Which one is important?
EP3 ☐ EP5 ☐
- d. Degree of importance:
1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐ 8 ☐ 9 ☐

10.

- a. Does EP4 have an effect on EP5?
Yes ☐ No ☐
- b. Does EP5 have an effect on EP4?
Yes ☐ No ☐
- c. Which one is important?
EP4 ☐ EP5 ☐
- d. Degree of importance:
1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐ 8 ☐ 9 ☐

11.

- a. Does EI1 have an effect on EI2?
Yes ☐ No ☐
- b. Does EI2 have an effect on EI1?
Yes ☐ No ☐
- c. Which one is important?
EI1 ☐ EI2 ☐
- d. Degree of importance:
1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐ 8 ☐ 9 ☐

12.

- a. Does EI1 have an effect on EI3?
Yes ☐ No ☐
- b. Does EI3 have an effect on EI1?
Yes ☐ No ☐
- c. Which one is important?
EI1 ☐ EI3 ☐
- d. Degree of importance:
1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐ 8 ☐ 9 ☐

13.

- a. Does EI1 have an effect on EI4?
Yes ☐ No ☐
- b. Does EI4 have an effect on EI1?
Yes ☐ No ☐
- c. Which one is important?
EI1 ☐ EI4 ☐
- d. Degree of importance:
1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐ 8 ☐ 9 ☐

14.

- a. Does EI2 have an effect on EI3?
Yes ☐ No ☐
- b. Does EI3 have an effect on EI2?
Yes ☐ No ☐
- c. Which one is important?
EI2 ☐ EI3 ☐
- d. Degree of importance:

1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐ 8 ☐ 9 ☐

15.

- a. Does EI2 have an effect on EI4?
Yes ☐ No ☐
- b. Does EI4 have an effect on EI2?
Yes ☐ No ☐
- c. Which one is important?
EI2 ☐ EI4 ☐
- d. Degree of importance:
1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐ 8 ☐ 9 ☐

16.

- a. Does EI3 have an effect on EI4?
Yes ☐ No ☐
- b. Does EI4 have an effect on EI3?
Yes ☐ No ☐
- c. Which one is important?
EI3 ☐ EI4 ☐
- d. Degree of importance:
1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐ 8 ☐ 9 ☐

17.

- a. Does C1 have an effect on C2?
Yes ☐ No ☐
- b. Does C2 have an effect on C1?
Yes ☐ No ☐
- c. Which one is important?
C1 ☐ C2 ☐
- d. Degree of importance:
1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐ 8 ☐ 9 ☐

18.

- a. Does NR1 have an effect on NR2?
Yes ☐ No ☐
- b. Does NR2 have an effect on NR1?
Yes ☐ No ☐
- c. Which one is important?
NR1 ☐ NR2 ☐
- d. Degree of importance:
1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐ 8 ☐ 9 ☐

19.

- a. Does NR1 have an effect on NR3?
Yes ☐ No ☐
- b. Does NR3 have an effect on NR1?
Yes ☐ No ☐
- c. Which one is important?
NR1 ☐ NR3 ☐

- d. Degree of importance:
1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐ 8 ☐ 9 ☐
- 20.
- a. Does NR2 have an effect on NR3?
Yes ☐ No ☐
- b. Does NR3 have an effect on NR2?
Yes ☐ No ☐
- c. Which one is important?
NR2 ☐ NR3 ☐
- d. Degree of importance:
1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐ 8 ☐ 9 ☐
- 21.
- a. Does SI1 have an effect on SI2?
Yes ☐ No ☐
- b. Does SI2 have an effect on SI1?
Yes ☐ No ☐
- c. Which one is important?
SI1 ☐ SI2 ☐
- d. Degree of importance:
1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐ 8 ☐ 9 ☐
- 22.
- a. Does SI1 have an effect on SI3?
Yes ☐ No ☐
- b. Does SI3 have an effect on SI1?
Yes ☐ No ☐
- c. Which one is important?
SI1 ☐ SI3 ☐
- d. Degree of importance:
1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐ 8 ☐ 9 ☐
- 23.
- a. Does SI2 have an effect on SI3?
Yes ☐ No ☐
- b. Does SI3 have an effect on SI2?
Yes ☐ No ☐
- c. Which one is important?
SI2 ☐ SI3 ☐
- d. Degree of importance:
1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐ 8 ☐ 9 ☐
- 24.
- a. Does LF1 have an effect on LF2?
Yes ☐ No ☐
- b. Does LF2 have an effect on LF1?
Yes ☐ No ☐
- c. Which one is important?

LF1 ☐ LF2 ☐

d. Degree of importance:

1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐ 8 ☐ 9 ☐

PART 3 – COMPARISON BETWEEN CRITERIA (CLUSTERS)

In this final part, you will be asked about the possible effects of each sub-criterion on the others of different criteria (cluster) and the relative importance between sub-criteria pairs if there is any effect and fill in the entries in the following matrix. For a given sub-criteria pair, first, determine whether one has an effect on the other; second, if there is an effect, identify which sub-criterion is important and then specify the degree of importance according to Saaty's Fundamental Scale.

As an example, consider the entry corresponding to C1 (row) and SI1 (column). If you think that C1 has an effect on SI1, please specify which sub-criterion is important among C1 and SI1 and specify the degree of importance according to Saaty's Fundamental Scale on the matrix. If you think that C1 does not have an effect on SI1, you don't need to go further and **leave the corresponding entry blank**.

Since this part focuses on the comparison of sub-criteria in different criteria (clusters), please leave the shaded parts of the matrix blank.

Example: When you compare C1 and SI1, if you decide that C1 has an effect on SI1 and C1 is moderately more important than SI1 according to Saaty's fundamental scale, your entry should look like as below:

	SI1
C1	C1 3

EK 3 – Kriter Sınıfı Ağırlıkları

	EP	EI	C	NR	SI	LF
EP	1.0000	4.0536	5.6346	5.5951	5.4216	0.8165
EI	0.2467	1.0000	0.8801	0.8694	2.1407	0.8165
C	0.1775	1.1362	1.0000	1.0746	1.8072	0.4939
NR	0.1787	1.1502	0.9306	1.0000	2.8925	0.9036
SI	0.1844	0.4671	0.5533	0.3457	1.0000	0.4855
LF	1.2247	1.2247	2.0245	1.1067	2.0598	1.0000

7

EK 4 – Sınıf İçi Karşılaştırmalar

	EP					EI			C			NR			SI			LF	
	EP1	EP2	EP3	EP4	EP5	EI1	EI2	EI3	EI4	C1	C2	NR1	NR2	NR3	SI1	SI2	SI3	LF1	LF2
EP1	1.0000	1.0648	1.1067	3.6002	3.3810														
EP2	0.9391	1.0000	1.0746	2.4323	3.2532														
EP3	0.9036	0.9306	1.0000	3.6002	4.6807														
EP4	0.2778	0.4111	0.2778	1.0000	3.6002														
EP5	0.2958	0.3074	0.2136	0.2778	1.0000														
EI1						1.0000	0.4889	1.2936	2.3691										
EI2						2.0453	1.0000	2.5900	4.5270										
EI3						0.7731	0.3861	1.0000	4.1195										
EI4						0.4221	0.2209	0.2427	1.0000										
C1										1.0000	0.7121								
C2										1.4043	1.0000								
NR1												1.0000	1.6266	1.1689					
NR2												0.6148	1.0000	1.0339					
NR3												0.8555	0.9672	1.0000					
SI1															1.0000	2.6321	3.5426		
SI2															0.3799	1.0000	3.1302		
SI3															0.2823	0.3195	1.0000		
LF1																		1.0000	1.9921
LF2																		0.5020	1.0000

EK 5 – İlk Senaryo için Sınıflar Arası Karşılaştırmalar

	EP					EI				C		NR			SI			LF	
	EP1	EP2	EP3	EP4	EP5	EI1	EI2	EI3	EI4	C1	C2	NR1	NR2	NR3	SI1	SI2	SI3	LF1	LF2
	EP1					2.3403	1.8171	2.4746	2.0598	4.1602	4.3795	1.9574	2.0801	5.1299	1.6134	1.6134	1.6134	0.6500	0.8355
	EP2					1.8171	1.8171	2.0801	3.6628	4.1602	4.7622	1.9574	2.0801	5.1299	1.6134	1.9129	1.9129	0.6850	2.1407
	EP3					2.2134	1.8171	2.0598	2.0598	4.1602	5.2415	1.9574	2.0801	5.1299	1.3264	1.7758	1.6134	0.2778	1.0000
EP	EP4					1.4565	1.4422	1.7321	1.8612	3.3019	3.8337	1.9574	2.2407	5.1299	1.4095	1.4095	1.4095	0.2778	0.7071
	EP5					1.4953	2.4662	1.4953	2.4662	5.2415	2.6321	2.4662	2.2407	6.0822	1.6134	1.7758	1.7758	0.6850	1.1968
EI	EI1	0.4273	0.5503	0.4518	0.6866	0.6687				1.1247	1.6869	0.7368	1.0000	1.6510	0.2924	0.4642	0.4642	0.1895	0.2877
	EI2	0.5503	0.5503	0.5503	0.6934	0.4055				0.9283	1.4736	0.7368	0.7937	1.6119	0.2924	0.2924	0.2924	0.1895	0.2283
	EI3	0.4041	0.4807	0.4855	0.5774	0.6687				1.1247	1.3375	0.7368	0.8736	1.6119	0.2924	0.4642	0.2924	0.1895	0.2283
	EI4	0.4855	0.2730	0.4855	0.5373	0.4055				0.8110	0.7368	0.7368	0.8736	1.0299	0.2924	0.3029	0.2924	0.1895	0.2283
	C1	0.2404	0.2404	0.2404	0.3029	0.1908	0.8891	1.0772	0.8891	1.2331		1.2447	1.0746	1.8612	0.6376	0.9196	1.4598	0.2554	0.5848
C	C2	0.2283	0.2100	0.1908	0.2608	0.3799	0.5928	0.6786	0.7477	1.3572		1.3375	1.2779	2.0933	0.5793	1.3264	1.4598	0.2554	0.5848
NR	NR1	0.5109	0.5109	0.5109	0.5109	0.4055	1.3572	1.3572	1.3572	0.8034	0.7477				0.3542	0.4807	0.4807	0.7095	1.4190
	NR2	0.4807	0.4807	0.4807	0.4463	0.4463	1.0000	1.2599	1.1447	0.9306	0.7825				0.3029	0.4055	0.4463	0.4853	1.0455
	NR3	0.1949	0.1949	0.1949	0.1949	0.1644	0.6057	0.6204	0.6204	0.9710	0.5373	0.4777			0.2811	0.4055	0.4463	0.1788	0.3625
SI	SI1	0.6198	0.6198	0.7539	0.7095	0.6198	3.4200	3.4200	3.4200	1.5683	1.7261	2.8231	3.3019	3.5569				0.7368	1.0627
	SI2	0.6198	0.5228	0.5631	0.7095	0.5631	2.1544	3.4200	2.1544	1.0874	0.7539	2.0801	2.4662	2.4662				0.5429	0.5848
	SI3	0.6198	0.5228	0.6198	0.7095	0.5631	2.1544	3.4200	3.4200	0.6850	0.6850	2.0801	2.2407	2.2407				0.1682	0.2120
LF	LF1	1.5874	1.4598	3.6002	3.6002	1.4598	5.2776	5.2776	5.2776	3.9149	3.9149	1.4095	2.0606	5.5934	1.3572	1.8420	5.9439		
	LF2	1.1968	0.4671	1.0000	1.4142	0.8355	3.4760	4.3795	4.3795	1.7100	1.7100	0.7047	0.9565	2.7589	0.9410	1.7100	4.7177		

EK 6 – İlk Senaryo için Karşılaştırma Matrisi

	EP					EI				C		NR			SI		LF			
	EP1	EP2	EP3	EP4	EP5	EI1	EI2	EI3	EI4	C1	C2	NR1	NR2	NR3	SI1	SI2	SI3	LF1	LF2	
EP	EP1	1.0000	1.0648	1.1067	3.6002	3.3810	2.3403	1.8171	2.4746	2.0598	4.1602	4.3795	1.9574	2.0801	5.1299	1.6134	1.6134	1.6134	0.6300	0.8355
	EP2	0.9391	1.0000	1.0746	2.4323	3.2532	1.8171	1.8171	2.0801	3.6628	4.1602	4.7622	1.9574	2.0801	5.1299	1.6134	1.9129	1.9129	0.6850	2.1407
	EP3	0.9036	0.9306	1.0000	3.6002	4.6807	2.2134	1.8171	2.0598	2.0598	4.1602	5.2415	1.9574	2.0801	5.1299	1.3264	1.7758	1.6134	0.2778	1.0000
	EP4	0.2778	0.4111	0.2778	1.0000	3.6002	1.4565	1.4422	1.7321	1.8612	3.3019	3.8337	1.9574	2.2407	5.1299	1.4095	1.4095	1.4095	0.2778	0.7071
	EP5	0.2958	0.3074	0.2136	0.2778	1.0000	1.4953	2.4662	1.4953	2.4662	5.2415	2.6321	2.4662	2.2407	6.0822	1.6134	1.7758	1.7758	0.6850	1.1968
EI	EI1	0.4273	0.5503	0.4518	0.6866	0.6687	1.0000	0.4889	1.2936	2.3691	1.1247	1.6869	0.7368	1.0000	1.6510	0.2924	0.4642	0.4642	0.1895	0.2877
	EI2	0.5503	0.5503	0.5503	0.6934	0.4055	2.0453	1.0000	2.5900	4.5270	0.9283	1.4736	0.7368	0.7937	1.6119	0.2924	0.2924	0.2924	0.1895	0.2283
	EI3	0.4041	0.4807	0.4855	0.5774	0.6687	0.7731	0.3861	1.0000	4.1195	1.1247	1.3375	0.7368	0.8736	1.6119	0.2924	0.4642	0.2924	0.1895	0.2283
	EI4	0.4855	0.2730	0.4855	0.5373	0.4055	0.4221	0.2209	0.2427	1.0000	0.8110	0.7368	0.7368	0.8736	1.0299	0.2924	0.3029	0.2924	0.1895	0.2283
C	C1	0.2404	0.2404	0.2404	0.3029	0.1908	0.8891	1.0772	0.8891	1.2331	1.0000	0.7121	1.2447	1.0746	1.8612	0.6376	1.4598	1.4598	0.2554	0.5848
	C2	0.2283	0.2100	0.1908	0.2608	0.3799	0.5928	0.6786	0.7477	1.3572	1.4043	1.0000	1.3375	1.2779	2.0933	0.5793	1.4598	1.4598	0.2554	0.5848
NR	NR1	0.5109	0.5109	0.5109	0.5109	0.4055	1.3572	1.3572	1.3572	1.3572	0.8034	0.7477	1.0000	1.6266	1.1689	0.3542	0.4807	0.4807	0.7095	1.4190
	NR2	0.4807	0.4807	0.4807	0.4463	0.4463	1.0000	1.2599	1.1447	1.1447	0.9306	0.7825	0.6148	1.0000	1.0339	0.3029	0.4055	0.4463	0.4853	1.0455
	NR3	0.1949	0.1949	0.1949	0.1644	0.1644	0.6057	0.6204	0.6204	0.9710	0.5373	0.4777	0.8555	0.9672	1.0000	0.2811	0.4055	0.4463	0.1788	0.3625
SI	SI1	0.6198	0.6198	0.7539	0.7095	0.6198	3.4200	3.4200	3.4200	3.4200	1.5683	1.7261	2.8231	3.3019	3.5569	1.0000	2.6321	3.5426	0.7368	1.0627
	SI2	0.6198	0.5228	0.5631	0.7095	0.5631	2.1544	3.4200	2.1544	1.0874	0.7539	2.0801	2.4662	2.4662	0.3799	1.0000	3.1302	0.5429	0.5848	
	SI3	0.6198	0.5228	0.6198	0.7095	0.5631	2.1544	3.4200	3.4200	0.6850	0.6850	2.0801	2.2407	2.2407	0.2823	0.3195	1.0000	0.1682	0.2120	
LF	LF1	1.5874	1.4598	3.6002	3.6002	1.4598	5.2776	5.2776	5.2776	3.9149	3.9149	1.4095	2.0606	5.5934	1.3572	1.8420	5.9439	1.0000	1.9921	
	LF2	1.1968	0.4671	1.0000	1.4142	0.8355	3.4760	4.3795	4.3795	1.7100	1.7100	0.7047	0.9565	2.7589	0.9410	1.7100	4.7177	0.5020	1.0000	

EK 7 – İlk Senaryo için Süpermatris

	EP					EI				C		NR			SI			LF		
	EP1	EP2	EP3	EP4	EP5	EI1	EI2	EI3	EI4	C1	C2	NR1	NR2	NR3	SI1	SI2	SI3	LF1	LF2	
EP	EP1	0.2927	0.2867	0.3013	0.3300	0.2124	0.2510	0.1941	0.2514	0.1701	0.1979	0.2101	0.1901	0.1940	0.1928	0.2130	0.1901	0.1938	0.2465	0.1421
	EP2	0.2749	0.2693	0.2926	0.2229	0.2044	0.1949	0.1941	0.2114	0.3025	0.1979	0.2284	0.1901	0.1940	0.1928	0.2130	0.2254	0.2298	0.2680	0.3641
	EP3	0.2645	0.2506	0.2723	0.3300	0.2941	0.2374	0.1941	0.2093	0.1701	0.1979	0.2514	0.1901	0.1940	0.1928	0.1751	0.2092	0.1938	0.1087	0.1701
	EP4	0.0813	0.1107	0.0756	0.0917	0.2262	0.1562	0.1541	0.1760	0.1537	0.1571	0.1839	0.1901	0.2090	0.1928	0.1860	0.1661	0.1693	0.1087	0.1203
	EP5	0.0866	0.0828	0.0582	0.0255	0.0628	0.1604	0.2635	0.1519	0.2037	0.2493	0.1262	0.2395	0.2090	0.2286	0.2130	0.2092	0.2133	0.2680	0.2035
EI	EI1	0.2288	0.2968	0.2289	0.2752	0.3113	0.2358	0.2333	0.2523	0.1972	0.2820	0.3222	0.2500	0.2824	0.2796	0.2500	0.3047	0.3461	0.2500	0.2958
	EI2	0.2947	0.2968	0.2789	0.2779	0.1887	0.4823	0.4771	0.5052	0.3768	0.2327	0.2815	0.2500	0.2242	0.2730	0.2500	0.1919	0.2180	0.2500	0.2347
	EI3	0.2164	0.2592	0.2461	0.2315	0.3113	0.1823	0.1842	0.1951	0.3428	0.2820	0.2555	0.2500	0.2467	0.2730	0.2500	0.3047	0.2180	0.2500	0.2347
	EI4	0.2600	0.1472	0.2461	0.2154	0.1887	0.0995	0.1054	0.0473	0.0832	0.2033	0.1408	0.2500	0.2467	0.1744	0.2500	0.1988	0.2180	0.2500	0.2347
C	C1	0.5129	0.5337	0.5575	0.5373	0.3343	0.6000	0.6135	0.5432	0.4760	0.4159	0.4159	0.4820	0.4568	0.4707	0.5240	0.4094	0.5000	0.5000	0.5000
	C2	0.4871	0.4663	0.4425	0.4627	0.6657	0.4000	0.3865	0.4568	0.5240	0.5841	0.5841	0.5180	0.5432	0.5293	0.4760	0.5906	0.5000	0.5000	0.5000
NR	NR1	0.4306	0.4306	0.4306	0.4435	0.3990	0.4581	0.4192	0.4347	0.3908	0.3537	0.3724	0.4048	0.4526	0.3650	0.3775	0.3721	0.3500	0.5165	0.5019
	NR2	0.4051	0.4051	0.4051	0.3874	0.4392	0.3375	0.3892	0.3666	0.3296	0.4097	0.3897	0.2489	0.2783	0.3228	0.3229	0.3139	0.3250	0.3533	0.3698
	NR3	0.1643	0.1643	0.1643	0.1692	0.1618	0.2044	0.1916	0.1987	0.2796	0.2366	0.2379	0.3463	0.2691	0.3122	0.2996	0.3139	0.3250	0.3502	0.1282
SI	SI1	0.3333	0.3722	0.3893	0.3333	0.3550	0.4425	0.3333	0.3802	0.3372	0.4695	0.5454	0.4043	0.4123	0.4304	0.6016	0.6661	0.4617	0.5089	0.5715
	SI2	0.3333	0.3139	0.2907	0.3333	0.3225	0.2787	0.3333	0.2395	0.3256	0.3255	0.2382	0.2979	0.3079	0.2984	0.2286	0.2531	0.4080	0.3750	0.3145
	SI3	0.3333	0.3139	0.3200	0.3333	0.3225	0.2787	0.3333	0.3802	0.3372	0.2050	0.2164	0.2979	0.2798	0.2711	0.1698	0.0809	0.1303	0.1162	0.1140
LF	LF1	0.5701	0.7576	0.7826	0.7180	0.6360	0.6029	0.5465	0.5465	0.5465	0.6960	0.6960	0.6667	0.6830	0.6697	0.5905	0.5186	0.5575	0.6658	0.6658
	LF2	0.4299	0.2424	0.2174	0.2820	0.3640	0.3971	0.4535	0.4535	0.4535	0.3040	0.3040	0.3333	0.3170	0.3303	0.4095	0.4814	0.4425	0.3342	0.3342

EK 8 -- İlk Senaryo için Ağırlıklandırılmış Süpermatris

	EP					EI				C		NR			SI			LF	
	EP1	EP2	EP3	EP4	EP5	EI1	EI2	EI3	EI4	C1	C2	NR1	NR2	NR3	SI1	SI2	SI3	LF1	LF2
EP	EP1	0.2927	0.2867	0.3013	0.3300	0.2124	0.10176	1.0192	0.6895	1.1150	1.1836	1.0637	1.0855	1.0790	1.1546	1.0306	1.0507	0.2013	0.1160
	EP2	0.2749	0.2693	0.2926	0.2044	0.7901	0.7870	0.8567	1.2261	1.1150	1.2870	1.0637	1.0855	1.0790	1.1546	1.2219	1.2458	0.2189	0.2973
	EP3	0.2645	0.2506	0.2723	0.3300	0.2941	0.9624	0.7870	0.8484	1.1150	1.4166	1.0637	1.0855	1.0790	0.9492	1.1344	1.0507	0.0888	0.1389
	EP4	0.0813	0.1107	0.0756	0.0917	0.2262	0.6333	0.6246	0.7134	0.8849	1.0361	1.0637	1.1693	1.0790	1.0087	0.9004	0.9179	0.0888	0.0982
	EP5	0.0866	0.0828	0.0582	0.0255	0.0628	0.6502	1.0681	0.6159	0.8255	1.4048	0.7113	1.1693	1.2793	1.1546	1.1344	1.1565	0.2189	0.1662
EI	EI1	0.0565	0.0732	0.0565	0.0679	0.0768	0.2358	0.2333	0.2523	0.2482	0.2836	0.2174	0.2455	0.2431	0.5352	0.6522	0.7408	0.2041	0.2415
	EI2	0.0727	0.0732	0.0688	0.0686	0.0466	0.4823	0.4771	0.5052	0.2048	0.2478	0.2174	0.1949	0.2373	0.5352	0.4108	0.4666	0.2041	0.1917
	EI3	0.0534	0.0640	0.0607	0.0571	0.0768	0.1823	0.1842	0.1951	0.3428	0.2482	0.2174	0.2145	0.2373	0.5352	0.6522	0.4666	0.2041	0.1917
	EI4	0.0641	0.0363	0.0607	0.0531	0.0466	0.0995	0.1054	0.0473	0.1789	0.1239	0.2174	0.2145	0.1516	0.5352	0.4256	0.4666	0.2041	0.1917
C	C1	0.0910	0.0947	0.0989	0.0954	0.0593	0.6817	0.6971	0.5409	0.4159	0.4159	0.5180	0.4909	0.5038	0.9469	0.7399	0.9036	0.2470	0.2470
	C2	0.0864	0.0827	0.0785	0.0821	0.1181	0.4545	0.4391	0.5190	0.5953	0.5841	0.5566	0.5837	0.5688	0.8603	1.0673	0.9036	0.2470	0.2470
NR	NR1	0.0770	0.0770	0.0770	0.0793	0.0713	0.5268	0.4822	0.5000	0.3292	0.3465	0.4048	0.4526	0.3650	1.0920	1.0764	1.0125	0.4667	0.4536
	NR2	0.0724	0.0724	0.0724	0.0692	0.0785	0.3882	0.4476	0.4217	0.3813	0.3627	0.2489	0.2783	0.3228	0.9339	0.9080	0.9400	0.3192	0.3342
	NR3	0.0294	0.0294	0.0294	0.0302	0.0289	0.2351	0.2204	0.2285	0.2201	0.2214	0.3463	0.2691	0.3122	0.8666	0.9080	0.9400	0.1176	0.1159
	SI1	0.0615	0.0686	0.0718	0.0615	0.0655	0.2067	0.1557	0.1776	0.2598	0.3018	0.1398	0.1425	0.1488	0.6016	0.6661	0.4617	0.4598	0.5164
SI	SI2	0.0615	0.0579	0.0536	0.0615	0.0595	0.1302	0.1557	0.1521	0.1801	0.1318	0.1030	0.1065	0.1032	0.2286	0.2531	0.4080	0.3388	0.2842
	SI3	0.0615	0.0579	0.0590	0.0615	0.0595	0.1302	0.1557	0.1575	0.1135	0.1198	0.1030	0.0967	0.0937	0.1698	0.0809	0.1303	0.1050	0.1030
LF	LF1	0.6983	0.9279	0.9585	0.8793	0.7789	0.7384	0.6593	0.6693	1.4091	1.4091	0.7378	0.7558	0.7411	1.2164	1.0682	1.1483	0.6658	0.6658
	LF2	0.5265	0.2969	0.2662	0.3454	0.4458	0.4863	0.5554	0.5554	0.6155	0.6155	0.3689	0.3508	0.3656	0.8434	0.9916	0.9114	0.3342	0.3342

EK 9 – İlk Senaryo için Limit Matrisi

	EP					EI				C		NR			SI			LF	
	EP1	EP2	EP3	EP4	EP5	EI1	EI2	EI3	EI4	C1	C2	NR1	NR2	NR3	SI1	SI2	SI3	LF1	LF2
EP	EP1	0.0807	0.0807	0.0807	0.0807	0.0807	0.0807	0.0807	0.0807	0.0807	0.0807	0.0807	0.0807	0.0807	0.0807	0.0807	0.0807	0.0807	0.0807
	EP2	0.0822	0.0822	0.0822	0.0822	0.0822	0.0822	0.0822	0.0822	0.0822	0.0822	0.0822	0.0822	0.0822	0.0822	0.0822	0.0822	0.0822	0.0822
	EP3	0.0762	0.0762	0.0762	0.0762	0.0762	0.0762	0.0762	0.0762	0.0762	0.0762	0.0762	0.0762	0.0762	0.0762	0.0762	0.0762	0.0762	0.0762
	EP4	0.0517	0.0517	0.0517	0.0517	0.0517	0.0517	0.0517	0.0517	0.0517	0.0517	0.0517	0.0517	0.0517	0.0517	0.0517	0.0517	0.0517	0.0517
	EP5	0.0574	0.0574	0.0574	0.0574	0.0574	0.0574	0.0574	0.0574	0.0574	0.0574	0.0574	0.0574	0.0574	0.0574	0.0574	0.0574	0.0574	0.0574
EI	EI1	0.0296	0.0296	0.0296	0.0296	0.0296	0.0296	0.0296	0.0296	0.0296	0.0296	0.0296	0.0296	0.0296	0.0296	0.0296	0.0296	0.0296	0.0296
	EI2	0.0306	0.0306	0.0306	0.0306	0.0306	0.0306	0.0306	0.0306	0.0306	0.0306	0.0306	0.0306	0.0306	0.0306	0.0306	0.0306	0.0306	0.0306
	EI3	0.0276	0.0276	0.0276	0.0276	0.0276	0.0276	0.0276	0.0276	0.0276	0.0276	0.0276	0.0276	0.0276	0.0276	0.0276	0.0276	0.0276	0.0276
	EI4	0.0235	0.0235	0.0235	0.0235	0.0235	0.0235	0.0235	0.0235	0.0235	0.0235	0.0235	0.0235	0.0235	0.0235	0.0235	0.0235	0.0235	0.0235
C	C1	0.0448	0.0448	0.0448	0.0448	0.0448	0.0448	0.0448	0.0448	0.0448	0.0448	0.0448	0.0448	0.0448	0.0448	0.0448	0.0448	0.0448	0.0448
	C2	0.0454	0.0454	0.0454	0.0454	0.0454	0.0454	0.0454	0.0454	0.0454	0.0454	0.0454	0.0454	0.0454	0.0454	0.0454	0.0454	0.0454	0.0454
NR	NR1	0.0517	0.0517	0.0517	0.0517	0.0517	0.0517	0.0517	0.0517	0.0517	0.0517	0.0517	0.0517	0.0517	0.0517	0.0517	0.0517	0.0517	0.0517
	NR2	0.0412	0.0412	0.0412	0.0412	0.0412	0.0412	0.0412	0.0412	0.0412	0.0412	0.0412	0.0412	0.0412	0.0412	0.0412	0.0412	0.0412	0.0412
	NR3	0.0228	0.0228	0.0228	0.0228	0.0228	0.0228	0.0228	0.0228	0.0228	0.0228	0.0228	0.0228	0.0228	0.0228	0.0228	0.0228	0.0228	0.0228
SI	SI1	0.0412	0.0412	0.0412	0.0412	0.0412	0.0412	0.0412	0.0412	0.0412	0.0412	0.0412	0.0412	0.0412	0.0412	0.0412	0.0412	0.0412	0.0412
	SI2	0.0286	0.0286	0.0286	0.0286	0.0286	0.0286	0.0286	0.0286	0.0286	0.0286	0.0286	0.0286	0.0286	0.0286	0.0286	0.0286	0.0286	0.0286
	SI3	0.0169	0.0169	0.0169	0.0169	0.0169	0.0169	0.0169	0.0169	0.0169	0.0169	0.0169	0.0169	0.0169	0.0169	0.0169	0.0169	0.0169	0.0169
LF	LF1	0.1668	0.1668	0.1668	0.1668	0.1668	0.1668	0.1668	0.1668	0.1668	0.1668	0.1668	0.1668	0.1668	0.1668	0.1668	0.1668	0.1668	0.1668
	LF2	0.0811	0.0811	0.0811	0.0811	0.0811	0.0811	0.0811	0.0811	0.0811	0.0811	0.0811	0.0811	0.0811	0.0811	0.0811	0.0811	0.0811	0.0811

EK 10 – İkinci Senaryo için Karşılaştırma Matrisi

	EP					EI				C		NR			SI		LF		
	EP1	EP2	EP3	EP4	EP5	EI1	EI2	EI3	EI4	C1	C2	NR1	NR2	NR3	SI1	SI2	SI3	LF1	LF2
EP	EP1	1.0000	1.0648	1.1067	3.3810	2.3403	0.0000	2.4746	2.0598	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.8355
	EP2	0.9391	1.0000	1.0746	2.4323	3.2532	0.0000	0.0000	3.6628	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	2.1407
	EP3	0.9036	0.9306	1.0000	5.2915	2.2134	0.0000	2.0598	2.0598	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	2.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	EP4	0.2778	0.4111	0.1890	1.0000	5.1437	1.4565	0.0000	1.7321	1.8612	0.0000	3.8337	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	EP5	0.2958	0.3074	0.1775	0.1944	1.0000	1.4953	0.0000	1.4953	0.0000	0.0000	2.6321	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
EI	EI1	0.4273	3.0000	0.4518	0.6866	1.0000	0.4889	1.2936	2.3691	1.1247	1.6869	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1.2247
	EI2	0.3333	0.3333	0.3333	0.0000	2.0453	1.0000	2.5900	4.5276	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.1895	0.2877
	EI3	0.4041	1.0000	0.4855	0.5774	0.6687	0.7731	0.3861	1.0000	4.1195	1.1247	1.3375	0.0000	1.0000	1.6119	0.0000	0.0000	0.1895	0.2283
	EI4	0.4855	0.2730	0.4855	0.5373	0.0000	0.4221	0.2209	0.2427	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.5000	1.0299	0.0000	0.0000	0.1895	0.2283
C	C1	0.2500	0.2500	0.2500	0.3333	1.0000	0.8891	0.5000	0.8891	1.0000	0.7121	1.2447	1.0746	1.8612	0.0000	0.0000	2.0000	0.0000	0.6000
	C2	0.3333	0.3333	0.3333	0.2608	0.3799	0.5928	0.3333	0.7477	0.5000	1.4043	1.0000	1.3375	2.0933	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
NR	NR1	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.8034	0.7477	1.0000	1.6266	1.1689	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	NR2	0.2000	0.2000	0.2000	0.2000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.9306	0.7825	0.6148	1.0000	1.0339	0.0000	0.0000	2.0000	0.3333	0.3333
	NR3	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.0000	0.5000	0.6204	0.6204	0.9710	0.5373	0.4777	0.8555	0.9672	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
SI	SI1	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1.0000	2.6321	3.5426	0.0000	0.0000
	SI2	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.3799	1.0000	3.1302	0.0000	0.0000
	SI3	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.2823	0.3195	1.0000	0.0000	0.0000
LF	LF1	4.0000	4.0000	3.0000	3.0000	5.2776	5.2776	5.2776	5.2776	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1.0000	1.9921
	LF2	1.1968	0.4671	3.0000	3.0000	0.8165	3.4760	4.3795	4.3795	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.5020	1.0000

EK 11 – İkinci Senaryo için Süpermatris

	EP					EI				C		NR			SI			LF	
	EP1	EP2	EP3	EP4	EP5	EI1	EI2	EI3	EI4	C1	C2	NR1	NR2	NR3	SI1	SI2	SI3	LF1	LF2
EP	EP1	0.2927	0.2867	0.3013	0.3300	0.2124	0.3118	0.0000	0.3188	0.2136	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.1989
	EP2	0.2749	0.2693	0.2926	0.2229	0.2044	0.0000	0.0000	0.0000	0.3798	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.5096
	EP3	0.2645	0.2506	0.2723	0.3300	0.2941	0.2949	0.0000	0.2654	0.2136	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	EP4	0.0813	0.1107	0.0756	0.0917	0.2262	0.1941	0.0000	0.2232	0.1930	0.0000	0.5929	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	EP5	0.0866	0.0828	0.0582	0.0255	0.0628	0.1992	0.0000	0.1927	0.0000	0.5000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.2915
EI	EI1	0.2589	0.6513	0.2573	0.3812	0.5000	0.2358	0.2333	0.2523	0.1972	0.5000	0.578	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.2500	0.2500
	EI2	0.2020	0.0724	0.1898	0.0000	0.0000	0.4823	0.4771	0.5052	0.3768	0.0000	0.0000	0.1538	0.3789	0.0000	0.0000	0.0000	0.2500	0.2347
	EI3	0.2449	0.2171	0.2765	0.3205	0.5000	0.1823	0.1842	0.1951	0.3428	0.4422	0.0000	0.7692	0.3789	0.0000	0.0000	0.0000	0.2500	0.2347
	EI4	0.2942	0.0593	0.2765	0.2983	0.0000	0.0995	0.1054	0.0474	0.0832	0.0000	0.0000	0.0769	0.2421	0.0000	0.0000	0.0000	0.2500	0.2347
C	C1	0.4286	0.4286	0.4286	0.5610	0.7247	0.6000	0.6000	0.5432	0.6667	0.4159	0.4159	0.4820	0.4568	0.4707	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000
	C2	0.5714	0.5714	0.5714	0.4390	0.2753	0.4000	0.4000	0.4568	0.3333	0.5841	0.5841	0.5180	0.5432	0.5293	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
NR	NR1	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.3537	0.3724	0.4048	0.4526	0.3650	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	NR2	0.2857	0.2857	0.2857	0.2857	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.4097	0.3897	0.2489	0.2783	0.3228	0.0000	0.0000	1.0000	1.0000	1.0000
	NR3	0.7143	0.7143	0.7143	0.7143	0.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0.2366	0.2379	0.3463	0.2691	0.3122	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
SI	SI1	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.6016	0.6661	0.4617	0.0000	0.0000
	SI2	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.2286	0.2531	0.4080	0.0000	0.0000
	SI3	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.1698	0.0808	0.1303	0.0000	0.0000
LF	LF1	0.7697	0.8954	0.5000	0.5000	0.7101	0.6029	0.5465	0.5465	0.5465	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.6658	0.6658
	LF2	0.2303	0.1046	0.5000	0.5000	0.2899	0.3971	0.4535	0.4535	0.4535	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.3342	0.3342

EK 12 – İkinci Senaryo için Ağırlıklandırılmış Süpermatris

	EP					EI				C		NR			SI			LF	
	EP1	EP2	EP3	EP4	EP5	EI1	EI2	EI3	EI4	C1	C2	NR1	NR2	NR3	SI1	SI2	SI3	LF1	LF2
LF	EP1	0.2927	0.2867	0.3013	0.3300	0.2124	1.2640	0.0000	1.2924	0.8658	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.1624
	EP2	0.2749	0.2693	0.2926	0.2229	0.2044	0.0000	0.0000	0.0000	1.5396	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.4161
	EP3	0.2645	0.2506	0.2723	0.3300	0.2941	1.1954	0.0000	1.0757	0.8658	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	5.4216	0.0000	0.0000	0.0000
	EP4	0.0813	0.1107	0.0756	0.0917	0.2262	0.7866	0.0000	0.9046	0.7823	0.0000	3.3408	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	EP5	0.0866	0.0828	0.0582	0.0255	0.0628	0.8076	0.0000	0.7809	0.0000	2.2938	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
EI	EI1	0.0639	0.1607	0.0635	0.0940	0.1233	0.2358	0.2333	0.2523	0.1972	0.4401	0.4909	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.2380
	EI2	0.0498	0.0179	0.0468	0.0000	0.0000	0.4823	0.4771	0.5052	0.3768	0.0000	0.0000	0.0000	0.1338	0.3295	0.0000	0.0000	0.2041	0.2415
	EI3	0.0604	0.0536	0.0682	0.0791	0.1233	0.1823	0.1842	0.1951	0.3428	0.4401	0.3892	0.0000	0.6688	0.3295	0.0000	0.0000	0.2041	0.1917
	EI4	0.0726	0.0146	0.0682	0.0736	0.0000	0.0995	0.1054	0.0474	0.0832	0.0000	0.0000	0.0000	0.0669	0.2105	0.0000	0.0000	0.2041	0.1917
C	C1	0.0761	0.0761	0.0761	0.0996	0.1286	0.6817	0.6817	0.6172	0.7575	0.4159	0.4159	0.5180	0.4908	0.5058	0.0000	1.8072	0.0000	0.0000
	C2	0.1014	0.1014	0.1014	0.0779	0.0489	0.4545	0.4545	0.5190	0.3787	0.5841	0.5841	0.5566	0.5837	0.5688	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
NR	NR1	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.3465	0.4048	0.4526	0.3650	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	NR2	0.0511	0.0511	0.0511	0.0511	0.1787	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.3627	0.2489	0.2783	0.3228	0.0000	0.0000	2.8925	0.9036	0.9036
	NR3	0.1277	0.1277	0.1277	0.1277	0.0000	1.1502	1.1502	1.1502	1.1502	0.2214	0.3463	0.2691	0.3122	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
SI	SI1	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.6016	0.6661	0.4617	0.0000	0.0000
	SI2	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.2286	0.2531	0.4080	0.0000	0.0000
	SI3	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.1698	0.0808	0.1303	0.0000	0.0000
LF	LF1	0.9427	1.0967	0.6124	0.6124	0.8697	0.7384	0.6693	0.6693	0.6693	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.6658	0.6658
	LF2	0.2821	0.1281	0.6124	0.6124	0.3551	0.4863	0.5554	0.5554	0.5554	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.3342	0.3342

EK 13 – İkinci Senaryo için Limit Matris

	EP					EI				C		NR			SI			LF	
	EP1	EP2	EP3	EP4	EP5	EI1	EI2	EI3	EI4	C1	C2	NR1	NR2	NR3	SI1	SI2	SI3	LF1	LF2
EP	EP1	0.0465	0.0465	0.0465	0.0465	0.0465	0.0465	0.0465	0.0465	0.0465	0.0465	0.0465	0.0465	0.0465	0.0465	0.0465	0.0465	0.0465	0.0465
	EP2	0.0327	0.0327	0.0327	0.0327	0.0327	0.0327	0.0327	0.0327	0.0327	0.0327	0.0327	0.0327	0.0327	0.0327	0.0327	0.0327	0.0327	0.0327
	EP3	0.0411	0.0411	0.0411	0.0411	0.0411	0.0411	0.0411	0.0411	0.0411	0.0411	0.0411	0.0411	0.0411	0.0411	0.0411	0.0411	0.0411	0.0411
	EP4	0.0590	0.0590	0.0590	0.0590	0.0590	0.0590	0.0590	0.0590	0.0590	0.0590	0.0590	0.0590	0.0590	0.0590	0.0590	0.0590	0.0590	0.0590
	EP5	0.0448	0.0448	0.0448	0.0448	0.0448	0.0448	0.0448	0.0448	0.0448	0.0448	0.0448	0.0448	0.0448	0.0448	0.0448	0.0448	0.0448	0.0448
EI	EI1	0.0461	0.0461	0.0461	0.0461	0.0461	0.0461	0.0461	0.0461	0.0461	0.0461	0.0461	0.0461	0.0461	0.0461	0.0461	0.0461	0.0461	0.0461
	EI2	0.0399	0.0399	0.0399	0.0399	0.0399	0.0399	0.0399	0.0399	0.0399	0.0399	0.0399	0.0399	0.0399	0.0399	0.0399	0.0399	0.0399	0.0399
	EI3	0.0734	0.0734	0.0734	0.0734	0.0734	0.0734	0.0734	0.0734	0.0734	0.0734	0.0734	0.0734	0.0734	0.0734	0.0734	0.0734	0.0734	0.0734
	EI4	0.0267	0.0267	0.0267	0.0267	0.0267	0.0267	0.0267	0.0267	0.0267	0.0267	0.0267	0.0267	0.0267	0.0267	0.0267	0.0267	0.0267	0.0267
C	C1	0.0829	0.0829	0.0829	0.0829	0.0829	0.0829	0.0829	0.0829	0.0829	0.0829	0.0829	0.0829	0.0829	0.0829	0.0829	0.0829	0.0829	0.0829
	C2	0.0894	0.0894	0.0894	0.0894	0.0894	0.0894	0.0894	0.0894	0.0894	0.0894	0.0894	0.0894	0.0894	0.0894	0.0894	0.0894	0.0894	0.0894
NR	NR1	0.0475	0.0475	0.0475	0.0475	0.0475	0.0475	0.0475	0.0475	0.0475	0.0475	0.0475	0.0475	0.0475	0.0475	0.0475	0.0475	0.0475	0.0475
	NR2	0.1038	0.1038	0.1038	0.1038	0.1038	0.1038	0.1038	0.1038	0.1038	0.1038	0.1038	0.1038	0.1038	0.1038	0.1038	0.1038	0.1038	0.1038
	NR3	0.0718	0.0718	0.0718	0.0718	0.0718	0.0718	0.0718	0.0718	0.0718	0.0718	0.0718	0.0718	0.0718	0.0718	0.0718	0.0718	0.0718	0.0718
SI	SI1	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	SI2	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	SI3	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
LF	LF1	0.1250	0.1250	0.1250	0.1250	0.1250	0.1250	0.1250	0.1250	0.1250	0.1250	0.1250	0.1250	0.1250	0.1250	0.1250	0.1250	0.1250	0.1250
	LF2	0.0694	0.0694	0.0694	0.0694	0.0694	0.0694	0.0694	0.0694	0.0694	0.0694	0.0694	0.0694	0.0694	0.0694	0.0694	0.0694	0.0694	0.0694

EK 14 – Tezden Türetilmiş Bildiriler

Ezgi Şen, Banu Yüksel Özkaya, Analytical Network Process Approach for the Establishment of Industrial Symbiosis Network, XIII Balkan Conference on Operational Research, Sırbistan 2018.

7



**HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
YÜKSEK LİSANS TEZ ÇALIŞMASI ORJİNALLİK RAPORU**

**HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI BAŞKANLIĞI'NA**

Tarih: 21/06/2019

Tez Başlığı / Konusu: ENDÜSTRİYEL SİMBİYOZ AĞI OLUŞTURMAK İÇİN ANALİTİK AĞ SÜRECİ YAKLAŞIMI

Yukarıda başlığı/konusu gösterilen tez çalışmamın a) Kapak sayfası, b) Giriş, c) Ana bölümler d) Sonuç kısımlarından oluşan toplam 51 sayfalık kısmına ilişkin, 21/06/2019 tarihinde tez danışmanım tarafından *Turnitin* adlı intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan orijinallik raporuna göre, tezimin benzerlik oranı %2 'dir.

Uygulanan filtrelemeler:

- 1- Kaynakça hariç
- 2- Alıntılar hariç/dâhil
- 3- 5 kelimeden daha az örtüşme içeren metin kısımları hariç

Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Çalışması Orijinallik Raporu Alınması ve Kullanılması Uygulama Esasları'nı inceledim ve bu Uygulama Esasları'nda belirtilen azami benzerlik oranlarına göre tez çalışmamın herhangi bir intihal içermediğini; aksinin tespit edileceği muhtemel durumda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve yukarıda vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Gereğini saygılarımla arz ederim.

21.06.2019

Tarih ve İmza

Adı Soyadı: Ezgi Şen

Öğrenci No: N14326165

Anabilim Dalı: Endüstri Mühendisliği

Programı: Endüstri Mühendisliği Tezli Yüksek Lisans Programı

Statüsü: ☒ Y.Lisans ☐ Doktora ☐ Bütünleşik Dr.

DANIŞMAN ONAYI

UYGUNDUR.

Dr. Öğr. Üyesi Banu Yüksel Özkaya

(Unvan, Ad Soyad, İmza)

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Ezgi ŞEN
Doğum yeri : Ankara
Doğum tarihi : 24/07/1992
Medeni hali : Bekâr
Yazışma adresi : Turgut Özal Mah. 2213. Sok. Gülaçar Sitesi M Blok No:19
Batıkent Yenimahalle Ankara 06370
Telefon : 0505 975 74 42
Elektronik posta adresi : ezgisen24@gmail.com
Yabancı dili : İngilizce

EĞİTİM DURUMU

Lisans : Hacettepe Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü

İş Tecrübesi

Kalkınma Bakanlığı Planlama Uzman Yardımcısı (Haziran 2017-Ağustos 2018)

Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı Sanayi ve Teknoloji Uzman Yardımcısı (Ağustos 2018-)