ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Kafiye SALÇUK

SÜRDÜRÜLEBİLİR KAPALI DÖNGÜ TEDARİK ZİNCİRİ AĞ TASARIMI

ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ADANA, 2020

ÖZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

SÜRDÜRÜLEBİLİR KAPALI DÖNGÜ TEDARİK ZİNCİRİ AĞ TASARIMI

Kafiye SALÇUK

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Danışman: : Doç.Dr. Cenk ŞAHİN
Yıl: 2020, Sayfa: 116
Jüri: : Doç. Dr. Cenk ŞAHİN
: Doç. Dr. Cihan ÇETİNKAYA
: Dr. Öğr. Üyesi Yusuf KUVVETLİ

Bu çalışmada sürdürülebilirliğin ekonomik, çevresel ve sosyal etkilerini aynı anda optimize etmeye çalışan ve stratejik kararları belirlemeye yönelik kapalı döngü tedarik zinciri ağı tasarlanmıştır. Önerilen yaklaşım tedarik zinciri süreçlerinde hedef programlama tekniklerini kullanarak maliyetleri ve çevresel zararları minimum yaparken sosyal faydayı maksimum yapmaya dikkate alarak geliştirilmiştir. Geliştirilen model, sürdürülebilirliğin sosyal etkilerinde işçi istihdamını artırmaya yönelik işçi sayıları karar değişkenleri modele entegre edilmiş. Ayrıca sürdürülebilirliğin 3 temel halkası kendi içerisinde değerlendirerek BAHP teknikleriyle ağırlıklandırıp yeni bir model elde edilmiştir. Geliştirilen modelin farklı koşullar altındaki etkileri senaryo analizi oluşturularak incelenmiştir. Kapasite, talep, maliyetler, karbon miktarları, iş gücü değişkenliği altında modelde belirlenen parametrelere etkileri analiz edilmiştir. Senaryo analizinde incelenen sonuçlar doğrultusunda modelde belirlenen karar değişkenleri üzerinde en çok etkiye sahip olan parametreler; talep değişkenliği, maliyetler, bir işçinin aktarabileceği ürün miktarı ve tesislerdeki kapasite değişkenliği olduğu görülmektedir. Değişkenlikler içerisinde en iyi sonucunun maliyetlerin %30 azaltılması durumdan olduğu sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Kapalı döngü tedarik zinciri ağı, Sürdürülebilirlik, Karma tam sayılı modelleme, Hedef programlama, BAHP

ABSTRACT

MSc. THESIS

NETWORK DESIGN IN SUSTAINABLE CLOSED LOOP SUPPLY CHAIN

Kafiye SALÇUK

ÇUKUROVA UNIVERSITY
INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES
DEPARTMENT OF INDUSTRIAL ENGINEERING

Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Cenk ŞAHİN
Year: 2020, Page: 116
Jury : Assoc. Prof. Dr. Cenk ŞAHİN
: Assoc. Prof. Dr. Cihan ÇETINKAYA
: Asst. Prof. Dr. Yusuf KUVVETLİ

In this study, a closed loop supply chain for determining strategic decisions attempting to optimize simultaneously economic, environmental and social effects of sustainability is designed. Recommended closed loop supply chain is developed by using goal programming techniques and considering to make social utility maximum while keeping costs and environmental damages to minimum. Decision variables number of workers, aiming to employ workers in social effects of sustainability are integrated into developed model. Moreover, a new model is created by assessing 3 basic rings of sustainability within themselves and weighing them with FAHP (Fuzzy Analytic Hierarchy Process) methods. The effects of the developed method under different conditions are examined building a scenario analysis. The model's effects on parameters set as "capacity", "demand", "cost", "carbon amount" and "variable of labour force" are analysed. It is seen that "demand variability", "costs", "the quantity of products that one worker can transfer" and " variability of facilities' capacity" are the most effective parameters on decision variables which are defined on the model in accordance with the results of scenario analysis. It is concluded that the most demanded result expected from the parameters is reducing the costs by % 30.

Keywords: Closed loop supply chain network, Sustainability, Mixed integer modeling, Goal programming, FAHP

GENİŞLETİLMİŞ ÖZET

Tedarik zinciri yönetimi tedarikçileri, üreticileri, dağıtımcıları ve perakendecileri birbirine ulaştırma, finans ve bilgi ağıyla bağlayan sistemlerdir. Tüm bu süreçleri gerçekleştiriken işletmeler artan rekabet koşulları içerisinde, ekonomik kalkınmayı her zamankinden daha çok önem vermeye zorlamaktadır. Çevre kirliliği ise dünya nüfusu ve tüketimin artması, ekonominin büyümesi gibi faktörlerle orantılı olarak artış göstermektedir. Çevre kirliliğinin artması ile birlikte kısıtlı olan kaynakların önemi ve sürdürülebilirliği daha fazla önem arz etmektedir. Yasalar tarafından getirilen zorunluluklar, teknolojik yenilikler, ekonomik sebepler, toplumun farkındalığı, bilinçli tüketiciler, geri dönüşüm konularında çalışmalar yapmaya itmiştir. Diğer taraftan sürdürülebilir kalkınma ifadesini tam olarak yerine getirebilmek için sosyal sürdürülebilirlik boyutu son dönemlerde ilgi görmektedir. Toplumsal eşitlik algısı, istihdamın arttırılması, çalışan sağlık ve güvenliği gibi konular hükümetler tarafından da dikkate alınmaktadır.

Bu çalışmada ise, üç sürdürülebilirlik boyutunun eşzamanlı değerlendirmesiyle ekonomik, çevresel ve sosyal kriterleri dikkate alan çok amaçlı bir karma tam sayılı doğrusal modeli önerilmiştir. Oluşturulan modelde stratejik karar olarak potansiyel dağıtım merkezleri, yetkili servislerinin açılıp açılmaması kararı, işletmelerin kapasitelerinin belirlenmesi kararlarına değilmiştir. Ekonomik anlamda tesis açma maliyeti, hammadde maliyeti, taşıma maliyeti, yeniden işleme ve atık maliyetlerini azaltmaya çalışırken, çevresel boyutta taşımalar sırasında araçlardan çıkan ve üretim tesislerinde üretimden kaynaklı oluşan CO_2 emisyonlarını azaltmak hedeflenmiştir. Sosyal sürdürülebilirlik anlamında ise makismum istihdam sağlama amaç fonksiyonu ile yeni tesislerin açılmasıyla oluşacak sabit ve kapasiteden kaynaklı değişken işçi sayıları modele dahil edilmiştir. Ayrıca sürdürülebilirliğin bu üç halkasının etki oranını belirleyebilmek açısından bulanık

AHP yöntemi kullanılarak ayrı ayrı etkileri incelenmeye çalışılmış ve oluşturulan modele eklenmiştir.

Önerilen modelin elektronik eşya üretimi gibi montaj yoğun ve geri dönüşüm özelliğine sahip üretim türlerinde uygulanabilir olduğu söylenebilir. Tek ürün çeşidi, tek periyot içerisinde geliştirilen model belirsizlik içermemekle birlikte diğer çalışmalardan farklı olarak çalışacak her bir kademede çalışacak işçi sayıları modele karar değişkeni olarak eklenmiştir.

Geliştirilen model literatürden alınan bazı test problem örneklerine uygulanmıştır. Ancak daha önce benzer şekilde tedarik zincirleri ele alınsa da uygulanan problemin ağ kademelerini tam anlamıyla karşılamadığı için verilerin rastgele oluşturulması yöntemine başvurulmuştur.

Ele alınan problem için geliştirilen matematiksel model öncelikle ekonomik, çevresel ve sosyal etkileri ölçümlendirebilmek adına çeşitli parametreler belirlenerek mevcut durum analizleri yapılmıştır. Sonrasında kapasite, maliyet, CO_2, kapasiteden kaynaklı değiken işçi sayısı, bir işçinin aktarabileceği iş miktarı ve talep değişkenlikleri içerisinde senaryo analizleri oluşturulmuştur.

Bu senaryo analizinde belirlenen parametreler üzerinde güçlü bir davranışa sahip olduğu ortaya çıkmıştır. Değişkenleri üzerinde en çok etkiye sahip olan parametreler; talep değişkenliği, maliyetler, bir işçinin aktarabileceği ürün miktarı ve tesislerdeki kapasite değişkenliği olduğu görülmektedir. Değişkenlikler içerisinde çalışmada kullanılan her iki veri seti için de geçerli olarak hedef programlamanın asıl amacı olan Z parametresinin en istenilen sonucunun maliyetlerin %30 azaltılması durumdan olduğu görülmektedir.

TEŞEKKÜR

Çalışmalarımda yardımlarını esirgemeyen danışmanım Sayın Doç.Dr. Cenk ŞAHİN'e teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek lisans eğitimim süresince her türlü konuda zamanını ayırarak yardımlarını esirgemeyen, değerli hocam Sayın, Dr. Öğr. Üyesi Yusuf KUVVETLİ'ye sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarıma verdiği fikirlerle katkı sağlayan Doç. Dr. Cihan ÇETİNKAYA'ya önerileri ve yorumları için teşekkür ederim.

Hayatın her alanında maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen, her konuda bana güvenip destek olan annem Ayşe SALÇUK, babam Mehmet SALÇUK ve kardeşime teşekkürlerimi sunuyorum.

Eğitim hayatım boyunca beni motive eden bütün hocalarıma ve arkadaşlarıma, özellikle teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER **SAYFA**

ÖZ I
ABSTRACT II
GENİŞLETİLMİŞ ÖZET III
TEŞEKKÜR V
İÇİNDEKİLER VI
ÇİZELGELER DİZİNİ VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ X
SİMGELER VE KISALTMALAR XII
1. GİRİŞ 1
1.1. Tedarik Zinciri Ve Yönetimi 2
1.1.1. Tedarik Zinciri Ağ Tasarımı Sınıflandırılması 5
1.2. Sürdürülebilirlik Ve Sürdürülebilir Tedarik Zinciri Yönetimi 6
1.3. Sürdürülebilir Tedarik Zinciri Boyutları 11
1.3.1. Ekonomik Sürdürülebilirlik 11
1.3.2. Çevresel Sürdürülebilirlik 12
1.3.3. Sosyal Sürdürülebilirlik 14
1.4. Problemin Tanımı 16
1.5. Çalışmanın Amacı 16
1.6. Çalışmanın Kapsamı 17
1.7. Çalışmanın Özgün Katkısı 18
1.8. Çalışmanın Adımları ve Organizasyonu 19
1.8.1. Çalışmanın Adımları 19
1.8.2. Çalışmanın Organizasyonu 20
2. LİTERATÜR TARAMASI 21
3. METARYAL VE METHOD 29
3.1. Materyal 29
3.1.1. Problemde Kullanılan Veriler 29

3.2. Metot 30
3.2.1. Problemin Tanımlanması 30
3.2.2. Problemin Karakteristiği 33
3.2.3. Problemde Kullanılan Varsayımlar 34
3.2.4. Matematiksel Programlama Modeli 36
3.2.5. Hedeflerin Ağırlıklandırılması 50
4. BULGULAR VE TARTIŞMA 55
4.1. Sürdürülebilirlik Kriterlerinin Belirlenmesi 55
4.1.1. Sürdürülebilirlik Kriterlerinin Önem Seviyesinin Belirlenmesi 55
4.2. Ele Alınan Problemin Çözümüyle Modelin Test Edilmesi 59
4.2.1. 1. Veri Seti Çözümü ve Senaryo Analizi 60
4.2.2. 2. Veri Seti Çözümü ve Senaryo Analizi 76
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER 93
5.1. Çalışmanın Özeti 93
5.2. Sonuçlar 93
5.3. Öneriler 94
KAYNAKLAR 97
ÖZGEÇMİŞ 109
EKLER 111

ÇİZELGELER DİZİNİ **SAYFA**

Çizelge 1.1. Ekonomik sürdürülebilirlik alt kriterleri (Godivan ve ark., 2012) ... 12
Çizelge 1.2. Çevresel sürdürülebilirlik alt kriterleri ... 13
Çizelge 1.3. Sosyal sürdürülebilirlik alt kriterleri ... 15
Çizelge 2.1. Tedarik zinciri ağ kodlaması ... 23
Çizelge 2.2. Yayınlanmış makalelerin gözden geçirilmesi ... 24
Çizelge 3.1. Saaty ölçeği ... 51
Çizelge 3.2. Chang yöntemine göre bahp'de kullanılan ölçek ... 52
Çizelge 4.1. Ana kriterlere ait ikili karşılaştırma matrisi ... 56
Çizelge 4.2. İkili karşılaştırma matrisi satır ve sütun değerleri toplamı ... 57
Çizelge 4.3. Ana kriterlere ait sentetik değerler ... 58
Çizelge 4.4. Çalışmanın 1. veri setinin mevcut durum analizi ... 63
Çizelge 4.5. Çalışmanın 1. veri setinin parametrelerinin değişen koşullar altında durum analizi-1 ... 68
Çizelge 4.6. Çalışmanın 1. veri setinin parametrelerinin değişen koşullar altında durum analizi-2 ... 69
Çizelge 4. 7. Çalışmanın 1. veri setindeki parametrelerin değişen koşullar altında kıyaslayarak sıralanması ... 70
Çizelge 4. 8. Çalışmanın 2. veri setinin mevcut durum analizi ... 79
Çizelge 4.9. Çalışmanın 2.veri setinin parametrelerinin değişen koşullar altında durum analizi-1 ... 84
Çizelge 4.10. Çalışmanın 2.veri setinin parametrelerinin değişen koşullar altında durum analizi-2 ... 85
Çizelge 4.11. Çalışmanın 2. veri setindeki parametrelerin değişen koşullar altında kıyaslayarak sıralanması ... 86

ŞEKİLLER DİZİNİ SAYFA

Şekil 1.1. Tedarik zinciri yönetimi fonksiyonları (Çizmeci 2002) 4
Şekil 1.2. Genel tedarik zinciri ağ yapısı (Melo ve ark. 2007) 5
Şekil 1.3. Sürdürülebilir kalkınmanın boyutları (Soubbotina,2004) 7
Şekil 1.4. Sürdürülebilir tedarik zinciri tasarımı yapısı 10
Şekil 3.1. Ele alınan problemin tedarik zinciri ağ yapısı 32
Şekil 4.1. Sürdürülebilirlik ana kriterleri 55
Şekil 4.2. Sürdürülebilirlik ana kriterlerin bahp değerlendirilmesi 59
Şekil 4.3. Çalışmanın 1. veri setinin mevcut durumda tedarik zincirinin her bir tesisinde çalışan işçi sayıları gösterimi 61
Şekil 4.4. Çalışmanın 1. veri setinin mevcut durumda tedarik zincirinin her bir tesisinde aktarılan ürün miktarı gösterimi 62
Şekil 4.5. Çalışmanın 1. veri setinin değişen koşullarda parametrelerin mevcut durumdan sapma yüzdeleri 72
Şekil 4.6. Çalışmanın 1. veri setinin artan koşullarda mevcut durumdan sapma yüzdeleri 74
Şekil 4.7. Çalışmanın 1. veri setinin azalan koşullarda mevcut durumdan sapma yüzdeleri 75
Şekil 4.8. Çalışmanın 2. veri seti ile oluşturulan mevcut durumda tedarik zincirinin her bir tesisinde çalışan işçi sayıları gösterimi 77
Şekil 4.9. Çalışmanın 2. veri seti ile oluşturulan mevcut durumda tedarik zincirinin her bir tesisinde aktarılan ürün miktarı gösterimi 78
Şekil 4.10. Çalışmanın 2. veri setinin değişen koşullarda parametrelerin mevcut durumdan sapma yüzdeleri 88
Şekil 4.11. Çalışmanın 2. veri setinin artan koşullarda mevcut durumdan sapma yüzdeleri 90
Şekil 4.12. Çalışmanın 2. veri setinin azalan koşullarda mevcut durumdan sapma yüzdeleri 91

SİMGELER VE KISALTMALAR

© :Çarpma işlemine göre tersini alma
3PL : Üçüncü parti lojistik
AEEE : Atık elektrik elektronik eşya
AHP : Analitik hiyerarşik proses
ANP : Analitik ağ proses
B & B : Dal & Sınır
BAHP : Bulanık analitik hiyerarşik proses
C : Min maliyet/Max kazanç
CL : Kapalı döngü
CD : Çapraz yerleştirme
CIC : Toplama /denetleme merkezleri
CZ : Müşteri bölgeleri (perakende satış mağazaları)
DAC : Ayrıştırma merkezleri
DC : Dağıtım merkezleri
DPC : Bertaraf / yok etme merkezleri
DSM : Ayrıştırma
E : Çözücüler
EEE : Elektrik ve elektronik eşyaların
EI : Minimum çevresel etkiler
F : Etkileşimli bulanık çözüm yaklaşımı
F : İleri
FMIP : Bulanık karışık tam sayılı programlama
GA : Genetik algoritma tabanlı
H : Diğer heuristik yöntemler
KDTZ : Kapalı döngü tedarik zincirlerinin
KSS : Kurumsal sosyal sorumluluk
LR : Lagrange gevşeme tabanlı

MILP : Karma tam sayılı doğrusal programlama
MINLP: Karma tam sayılı doğrusal olmayan programlama
PC : Üretim merkezleri
R : Geri
RCC : Kurtarma merkezleri
RDC : Yeniden dağıtım merkezleri
RMC : Yeniden üretim merkezleri
RYC : Geri dönüşüm merkezleri
S : Maksimum sosyal yarar
SA : Benzetimli Tavlama
SC : Tedarik merkezleri
SMIP : Stokastik karma tam sayılı programlama
STZAT: Sürdürülebilir tedarik zinciri ağ tasarımı
STZY : Sürdürülebilir tedarik zinciri yönetimi
TBL : Üçlü alt çizgi
TS : Tabu arama tabanlı
TZAT : Tedarik zinciri ağ tasarımı
WH : Depolar

1. GİRİŞ

Bir tedarik zinciri, müşterilerin taleplerini karşılamak için birden çok kademeli ve birbirleriyle ilişkili sistematik bir ağ olarak tanımlanabilir. Tedarik zinciri ağ tasarımı (TZAT) ise tedarikçi, üretim tesisi, depo, dağıtım merkezleri, toptancı, perakendeciler gibi çeşitli kademelerin yer, kapasite ve diğer özellikleri ile ağ içinde taşımacılık tiplerini belirleme sürecidir. Tedarik zinciri tasarımındaki en önemli problem, tedarik zinciri operasyonlarına ilişkin stratejik (Tedarikçi şebeke seçimi, üretim ağları, üretim süreci seçimi ve tesislerin sayısı, yerleri ve kapasitesi), taktiksel (envanter, depolama, dağıtım ve pazarlama ilgili kararları) ve operasyonel (üretim çizelgelemesi, teslimatın belirlenmesi) seviyede kararları içermektedir (Arumugham,2017). Genel olarak, TZAT, tesislerin konumları, sayıları, kapasiteleri ve ayrıca ağ üzerinden malzeme akışının belirlenmesini konularını içerir.

Geleneksel ileri lojistiğin aksine son tüketicilerden kullanılmış ürünlerin toplanılmasıyla tersine lojistik devreye girer ve kullanılan ürünlerin yeniden üretim, onarım/bakım ve bertaraf etme gibi farklı aşamaları içerir. Geleneksel tedarik zinciri ve tersine lojistik yönetimin entegrasyonu ile KDTZ önem kazanmıştır. Bir KDTZ'de son tüketiciden iade edilen kusurlu ürünleri, perakendecilerin ellerinde kalmış satılmayan veya kullanım ömrü dolmuş ürünleri toplayarak ürünleri yeniden kazanım sağlayandırıldığı veya ikincil piyasaya ikinci el ürün olarak satışı veya ham maddelerine dönüşümü sağlayanılarak üretime dahil edildiği bir kapalı döngü oluşturur (Zhalechian,2016) .

Tüm bu geri dönüşümlerle elde edilen ekonomik kazançların yanı sıra doğal kaynakların saygılı ve ölçülü şekilde kullanma fikrinin işletmeler tarafından benimsemesi sürdürülebilirlik kavramını ortaya çıkarmıştır.

Sürdürülebilir kalkınmayı sağlamak için aynı anda üç konu dikkate alınmalıdır. Bu üç konu ekonomik, çevresel ve sosyal boyutlardır. Ekonomik, çevresel ve sosyal boyutlar sürdürülebilir tedarik zinciri gelişimine entegrasyonu ile tam bir sürdürülebilir kalkınma sağlanılabilir. Birçok araştırmacı tarafından, tedarik

zinciri ağ tasarımının (TZAT) amacı kârı en üst düzeye çıkarmak dikkate alınsa da çevresel etkiyi en aza indirmek ve sosyal faydayı en üst düzeye çıkarmak sürdürülebilirliğin eksik kalan kısımlarındandır (Pourjavad, 2018).

Tautenhain ve ark. (2018), sürdürülebilir tedarik zinciri ağ tasarımı (STZAT) problemini modelleyebilmek için her üç boyutta dikkate alınmalıdır. Bununla birlikte, bu kriterler genellikle birbirleriyle ödünleşim ve ilişki içindedir. Her bir kriter farklı bir amaç fonksiyonunu temsil ettiği için model çok amaçlı optimizasyon problemi olarak karşımıza birçok çalışmada çıkmıştır (Örn. Tautenhain, Barbosa-Povoab & Nascimento (2018), Soleimani, Govindan, Saghafi & Jafari (2017), Zhalechian, Tavakkoli-Moghaddam, Zahiri & Mohammadi (2016), Pourjavad & Mayorga (2018)).

Bu çalışmada amaç fonksiyonlarında sürdürülebilirliğin üç temel halkası olan ekonomik, çevresel ve sosyal kriterleri dikkate alan çok amaçlı karma tam sayılı doğrusal modeli ele alınmıştır. Oluşturulan modelde stratejik karar olarak potansiyel dağıtım merkezleri, yetkili servislerinin açılıp açılmaması kararına kararlarına değilmiştir. Ekonomik anlamda tesis açma maliyeti, hammadde maliyeti, taşıma maliyeti, geri dönüşüm ve atık maliyetlerini azaltmaya çalışırken, çevresel boyutta taşımlar sırasında araçlardan çıkan ve üretim tesislerinde üretimden kaynaklı oluşan CO_2 emisyonlarını azaltmak hedeflenmiştir. Sosyal sürdürülebilirlik anlamında ise yeni tesislerin açılmasıyla oluşacak iş gücü gereksinimiyle istihdamı attırmak hedeflenmektedir. Ayrıca sürdürülebilirliğin bu üç halkasının etki oranını belirleyebilmek açısından bulanık AHP yöntemi kullanılarak ayrı ayrı işletmeler için etkileri incelenmeye çalışılmış ve oluşturulan modele eklenmiştir.

1.1. Tedarik Zinciri Ve Yönetimi

Lee ve Billington'a (1992) göre, tedarik zinciri, hammadde temini yapan, bu ham maddeleri ara ürün ve nihai ürünlere dönüştüren ve bu ürünleri müşterilere ulaştıran, üretici ve dağıtıcıların oluşturduğu bir ağdır (Akman, 2006). Tedarik zinciri; arz ve talebin yönetilmesi, hammaddelerin tedariki, üretim, depolama,

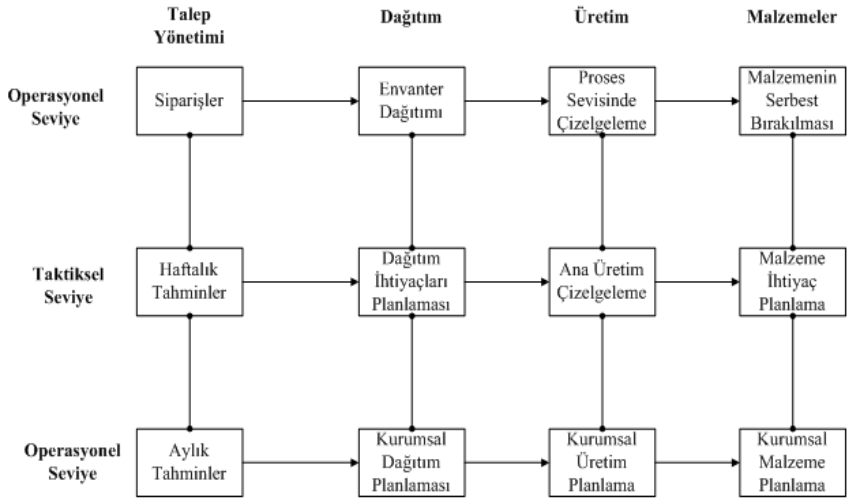
envanter yönetimi, sipariş yönetimi ve müşterilere ürünlerin dağıtım vb. faaliyetleri kapsar ve tüm bu faaliyetlerin gerçekleştirilebilmesi için gerekli olan bilgi akışını da içerir (Yüksel, 2004).

Tedarik zinciri yönetiminin temel amacı bir ürünün tedarik zinciri aşamalarındaki her bir faaliyetin aynı amaçlar doğrultusunda çalışarak, ürünün oluşturulmasında ve dağıtımında en etkin (maliyet, zaman, kalite vb. açılarından) şekilde yürütülmesidir. Bundan dolayı, tedarik zincirini halkasında yer alan işletmeler birbirinden bağımsız faaliyetler olarak düşünülemez. Zincirdeki her bir üyenin performansı hem kendini hem de zincirdeki diğer faaliyet gösteren işletmeleri etkileyecek şekilde sıkı bir ilişki vardır (Sezen, 2004).

Tedarik zinciri yönetiminde temelde üç amaç vardır. Bunlar;

- Stokların ve stoklama maliyetlerin azaltılması,
- Müşteri hizmetleri dediğimiz müşteri memnuniyeti, ürün kalitesi, hızlı sevkiyat vb. arttırılması,
- Ve tüm bunlar yapılırken toplam maliyetin azaltılması şeklindedir.

Tedarik zinciri yönetimi fonksiyonları üç seviyede çalışmaktadır: Stratejik seviye, taktik seviye ve operasyonel seviye. Bu seviyeler talep yönetimi, dağıtım, üretim ve malzemelere göre tanımlanmıştır.



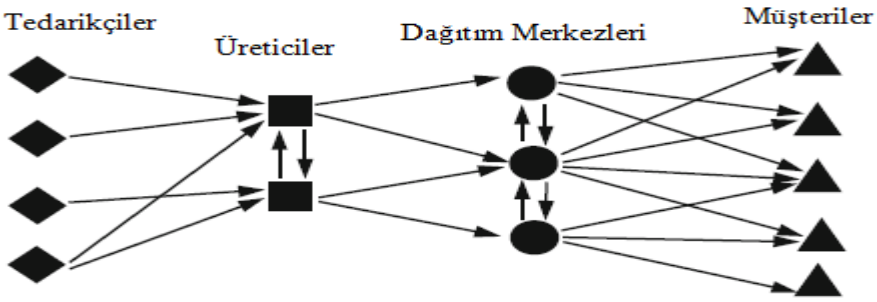
Şekil 1.1. Tedarik zinciri yönetimi fonksiyonları (Çizmeci 2002)

Stratejik Seviye: Tedarikçi şebeke seçimi, üretim ağları üretim süreci seçimi ve tesislerin sayısı, yerleri ve kapasitesi, dağıtım şebekeleri, kanal seçimi, depolar ve dağıtım merkezi konumları ile ilgilidir.

Taktiksel Seviye: Malzemelerin envanterini, yani ara ve bitmiş ürünü, hangi pazarlar hangi yerleşimlerden sağlanacak, pazar promosyonlarının miktarı ve zamanlaması gibi karaları içerir.

Operasyonel Seviye: Müşteri taleplerini içerir. Planlama ufku haftalık veya günlüktür.

Klasik bir tedarik zinciri; tedarikçiler, imalatçılar, dağıtıcılar, toptancılar, perakendeciler gibi çeşitli iş aktörlerinden oluşan bir ağda, hammadde temininden ürünlerin son tüketicilere dağıtım ve pazarlanmasına kadarki tüm iş süreçlerinin birlikte uyum içinde hareketini sağlamak üzere, malların ve bilginin akışını yöneten bütünleşik bir sistemdir (Şekil 2).



Şekil 1.2. Genel tedarik zinciri ağ yapısı (Melo ve ark. 2007)

1.1.1. Tedarik Zinciri Ağ Tasarımı Sınıflandırılması

Tedarik zinciri ağ tasarımı problemleri üç şekilde ele alınabilir. İleri yönlü, tersine ve kapalı döngü ağ tasarımlarıdır. Bu kapsamda tam bir sürdürülebilirliğin sağlanılabilmesi için kapalı döngü tedarik zinciri ağ tasarım modelleri ilgi görmektedir.

1. ***Tedarik Zincirinin İleriye Doğru Yönlendirilmesi:*** İleriye doğru TZAT malzeme, tedarikçiden tesise akar ve daha sonra müşteriye ulaşır. Bu modelde depo ve dağıtıcıları içerebilen birçok aşama vardır (Arumugham ve diğerleri, 2017).
2. ***Tedarik Zinciri Ağının Tersi Yönlendirilmesi:*** "Ürün geri çağırma ve garanti ve satış sonrası hizmet, yaşam sürelerini tamamlamaları, kullanım olanağı kalmamış ya da kalitesizlik gibi nedenlerle iade edilen ürünlerin, tüketim noktalarından toplanması, test edilmesi ve bu ürünlere değer katılarak yeniden ekonomiye kazandırılması çalışmalarını içermektedir" (Erol ve diğerleri, 2006).
3. ***Kapalı Döngü Tipi Tedarik Zinciri Ağı:*** Kapalı döngü tedarik zincirleri, geleneksel ileri ürün akışı ve ileri tedarik zinciri faaliyetlerine ek olarak tersine akış ve tersine tedarik zinciri faaliyetlerini de içeren tedarik zincirleridir. (Guide vd. 2003)

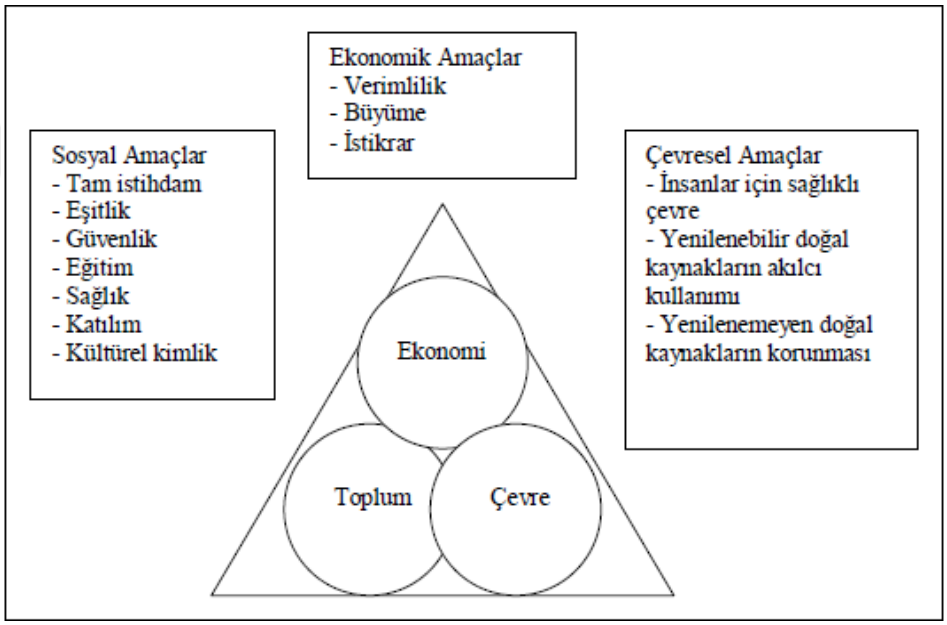
Kapalı döngü tedarik zinciri, ileri yönlü akış ve ileri tedarik zinciri faaliyetlerine ilaveten tersine akış ve tersine tedarik zinciri faaliyetlerini de içeren tam bir döngüyü sağlayan tedarik zincirleridir. İleri yönlü tedarik zincirlerinin genel yapısı hammaddeden nihai ürün elde edilmesine ve son tüketiciye ulaştırılması süreç ve faaliyetlerini içerirken, tersine tedarik zinciri ise ürünlerin son tüketiciden toplanıp atık tesislerine iletilmesi ve bu tesislerde ilgili aşamalardan geçerek ayrıştırılıp ekonomiklik, çevresel koşullar dikkate alınarak yeniden döngüye en uygun şekilde katkı sağlaması çalışmalarını içermektedir. Toplanan ürünler yeniden döngüye katılırken hammaddelerine ayrıştırılıp üretim tesislerine gönderilebilir, yenilenme tamir bakım faaliyetleriyle ikinci el piyasa satışlarına verilebilir ya da belli bir maliyete katlanılarak çevreye en az zarar ile bertaraf işlemine tabi tutulur (Kaya, 2017).

1.2. Sürdürülebilirlik Ve Sürdürülebilir Tedarik Zinciri Yönetimi

Sürdürülebilir kavramı daha çok sürdürülebilir kalkınma ifadesiyle özdeşleşmiş durumdadır. Sürdürülebilir kalkınma tanımı için, Dünya Çevre ve Kalkınma Komisyonu tarafından "gelecek nesillerin kendi kaynaklarını ve ihtiyaçlarını karşılama yeteneğinden ödün vermeden mevcut ihtiyaçları karşılaması" olarak yapılmıştır (Govindan, 2017).

Soubbotina'nın (2004) Dünya Bankası için hazırladığı raporunda sürdürülebilirlik ifadesinin eşitlik kavramı ile yakından ilgili olduğu vurgulanmıştır. Burada kullanılan eşitlik ifadesi farklı kitlelerdeki kişilerin hakları ve ihtiyaçlarını karşılayabilme olanakları bakımından aynı şartlara sahip olabilmesi anlamında kullanılmaktadır. Gelecek nesilleri korumak için bugünkü nesiller arasında eşitliğin sağlanması gerektiği ve sürdürülebilirlik hedeflerinin bu yönde izlenmesine dikkat çekmektedir. Sürdürülebilirlik, kaynakları saygılı ve ölçülü şekilde kullanan bir nesil oluşturmayı ve bu ideolojiyi benimsemek amacıyla yürütülen katılımcı bir süreçtir (Viederman, 1994).

Bütün bu tanımların ortak olarak birleştiği nokta ise sürdürülebilirliğin üç boyutunun olduğudur (Soubbotina, 2004; Zink ve ark., 2008). Her ne kadar çevresel boyutu daha çok ön plana çıksa da, temelde sürdürülebilirlik kavramını "ekonomik, çevresel ve sosyal" boyutların bir bütünü olarak ele almak gerekmektedir. Bu üç boyut birlikte incelenmesi şekil 3'de açıklanmaktadır. (Altuntaş, 2012)



Şekil 1.3. Sürdürülebilir kalkınmanın boyutları (Soubbotina, 2004)

Sürdürülebilirliğin çeşitli anlayışları mevcut olmakla birlikte, sürdürülebilirliğin işlevselliğine yardımcı genel olarak kullanılan bir kavram olan üçlü kar yaklaşımı ya da üçlü alt çizgi; çevresel, ekonomik boyutlarda minimum performans elde ederken sosyal boyutlarda maksimum performansın elde edilmesidir (Elkington, 2004).

İnsanlığın sürdürülebilirlik endişesi ve kaygısına düşürecek tarihte birçok sebep vardır. Bunların başında; iklim değişikliği, dünya üzerinde nüfusun çoğalması, yaşlı nüfusun artması, çölleşme, su kıtlığı, kirlilik ve yüz yüze geldiği kritik

hammadde ve besin kıtlıkları gibi sebepler uzun vadede insanlık açısından zorluk oluşturmaktadır. İkincisi, dünya savaşıyla, küresel ekonomik anlamda rekabetçi oyunun kurallarının tamamen değiştiren yeni çok kutuplu dönem oluşturmuştur ve geleneksel rekabetçilik politikaları tamamen değişmiştir (Boons ve ark 2013).

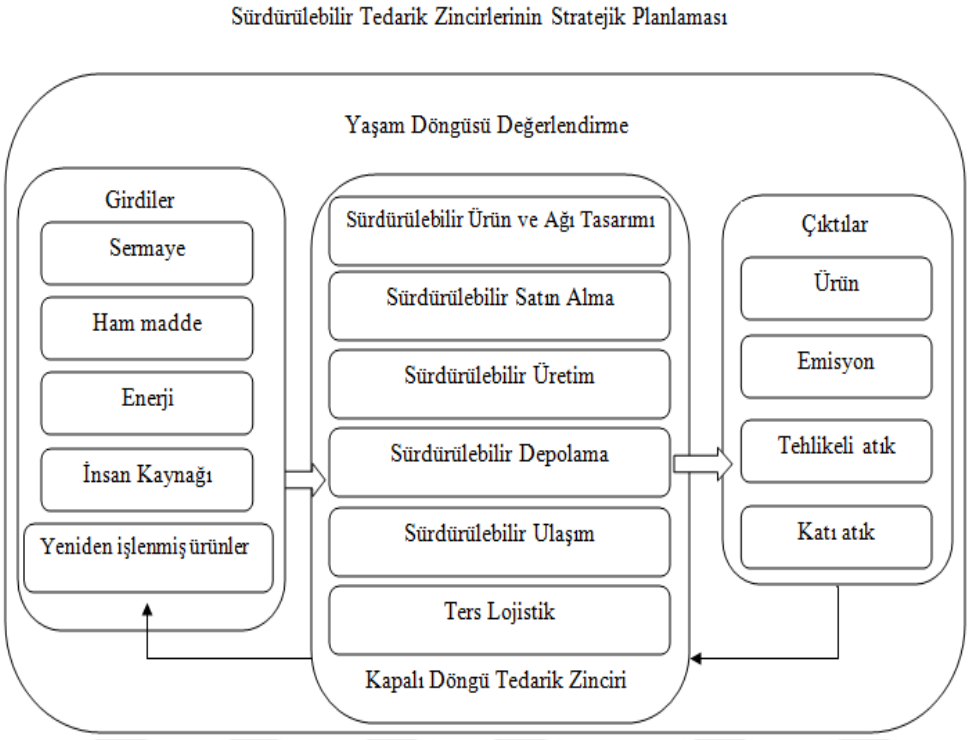
Uzun yıllar boyunca, TZAT modellemelerinde toplam maliyeti en aza indirmek veya kârı en üst düzeye çıkarma amacıyla ilerlerken; günümüzde sürdürülebilirlikle birlikte kullanılan ürünler, üretilen ürünler ve tedarik zinciri operasyonlarının çevresel etkileri, çalışan ve tüm toplum sağlık ve güvenliğinden sorumlu hale gelmiştir. Bu ilerlemede tüketiciler, yönetimler, sivil toplum kuruluşları (STK'lar) ve medyanın, işletmelerin sadece kendi operasyonlarında değil tedarik zincirindeki diğer ortakların da sorumluluk almasını talep etmesi ve hükümetlerin Avrupa Birliği, Avustralya ve Kanada'da sera gazları azaltımı için yaptıkları düzenlemeler etkili olmuştur. Tedarik zinciri operasyonlarında artan bu değişmeyle birlikte araştırmacılar da sürdürülebilirlik konusunda özellikle çevresel ve sosyal boyutları inceleye ağırlık vermektedir.(Govindan ve ark. 2015; Devika ve ark. 2014)

Sürdürülebilir tedarik zinciri yönetimi (STZY), bir tedarik zinciri süresince malzeme, bilgi ve sermaye akışını ve zincir içerisinde yer alan işletmelerin iş birliğini yönetirken, aynı zamanda sürdürülebilir kalkınmanın paydaşlar ve müşterilerin beklentilerinden yola çıkan üç farklı boyutuna dair – ekonomik, çevresel ve sosyal – amaçlar ortaya koymak ve gerçekleştirme çalışmalarını içermektedir. Sürdürülebilir tedarik zincirlerinde çevresel ve sosyal boyutlar, tedarik zinciri içindeki tedarikçiler ve perakendeci gibi üyeler tarafından karşılanmalıdır. İşletmeler arasında rekabet gücü ise sürdürülebilirliğin ekonomik boyutunu müşteri beklentilerini içine alarak kuvvetlendirilmelidir. Sürdürülebilir tedarik zinciri aşamasındaki seviyelerde işletmeler, çevre dostu hammadde kullanma ve bu özelliğe sahip yedek parça geliştirilmesi, atıkların azaltılması gibi konularda birlikte ele almaktadırlar. Bu boyutlarda, ekonomik çerçeve maliyet liderliği stratejisi, sosyal ve

çevresel girişimler ise farklılaşma stratejileri olarak sınıflandırılmaktadır (Altuntaş, 2012).

Diğer bir tanıma göre STZY, sürdürülebilir kalkınmanın üç boyutunu, yani ekonomik, çevresel ve sosyal boyutları içeren üçlü alt çizgi (TBL) seçim kriterlerine sahip tedarik zinciri süresince işletmeler arasında bilgi ve malzeme akışlarının yönetimi ve paylaşımı olarak tanımlanmaktadır. STZY, olumsuz çevresel etkileri en aza indirmeyi ve sosyal etkileri iyileştirmeyi ve aynı zamanda uzun vadeli ekonomik performansı eniyilemeyi amaçlamaktadır. TBL yaklaşımında, işletmeler ekonomik performansın yanı sıra çevreyi ve toplumu olumlu yönde etkileyen faaliyetlerde de bulunmaları gerektiğini önermektedir (Govindan ve ark. 2015).

Son 30 yıldaki teknolojik ilerleme ve yeniliklerle birlikte elektrik ve elektronik eşyaların (EEE) üretim ve tüketiminde büyük artış olmuştur. Üretim ve tüketim miktarlarındaki artmasıyla birlikte kullanım ömrü tamamlanmış (eskime, bozulma, teknolojisini yitirme vs.) elektronik cihazların atık miktarlarında da bir artış olmuştur. Bu artışla birlikte elektrik ve elektronik atıkların içerdikleri zehirli maddelerin çevreye ve insan sağlığına zarar vermemesi için imha edilmeleri gereklidir (Kiddee ve ark. 2013). Elektrik elektronik atıkların verimli bir şekilde geri dönüşümü hem ortaya çıkan ham maddenin üretim tesislerinde yeniden kullanımıyla sürdürülebilirliğin hem ekonomik hem de çevresel amacına ulaşabilmek için gereklidir (Tanskanen, 2013).



Şekil 1.4. Sürdürülebilir tedarik zinciri tasarımı yapısı

Şekil 1.4'de gösterildiği gibi, girdiler (hammadde, enerji, insan, kullanılmış ürün, vb.) ile çıktı (ürünler, sera gazı emisyonları, atık) arasındaki bağlantıyı kurmak için yaklaşım gereklidir. Bu sürdürülebilirlikle sağlanılabilir. Kapalı döngü tedarik zincirinde atıklar veya geri kazandırılan ürünler tersine lojistikle girdiler kısmına kazandırılır. Sürdürülebilir tedarik zincirlerinin stratejik planlama ufkunda, farklı çevresel düzenlemelere uymak için ürün kararlarının ve karbon yönetim stratejilerinin geri kazanılmasını içermelidir. Tedarik zinciri performansı, ekonomik (maliyet ve kar), çevreye (karbon emisyonları, geri dönüşüm performansı, atık yönetimi ve enerji kullanımı) ve sosyal performanslara (yaşam kalitesi, sağlık, istihdam vb.) (Chaabane ve ark. 2012).

1.3. Sürdürülebilir Tedarik Zinciri Boyutları

Sürdürülebilirliğin her bir boyutu üç ana başlıkta incelenmesi gerekirse bu bölümler;

1.3.1. Ekonomik Sürdürülebilirlik

Sürdürülebilirliğin ekonomik boyutunun genel kabul görmüş tanımı, sermayenin korunması ve bozulmasının engellenmektir. Ekonomik olarak sürdürülebilir bir sistem, mal ve hizmetleri süregelen esaslara dayanarak üretebilmeli; hükümet ve dış borçların yönetilebilirliğini sürdürebilmeli, tarımsal ve endüstriyel üretime zarar veren sektörel dengesizliklerden sakınmalıdır (Harris, 2000). Ekonomik sürdürülebilirliğin amacı, bir şirketin, vakfın veya ülkenin ekonomisini dengeli bir düzeyde tutmaktır. (Elliott, 2005).

Sürdürülebilir tedarik zinciri yönetiminin ekonomik boyutu beş alanı içerir: güvenilirlik, yanıt verebilirlik (duyarlılık), esneklik, finans ve kalite. Özellikle dört alt alan ile güvenilirliği sağlarlar; müşteri hizmetleri, tedarikçi hizmetleri, stokların güvenilirliği ve tahminlerin güvenilirliğidir. Duyarlılık özellikle sekiz alt alanda analiz edilir; tedarik zinciri duyarlılığı, tasarım duyarlılığı, satın alma duyarlılığı, kaynak-hammadde duyarlılığı, üretim duyarlılığı, teslimat duyarlılığı, satış duyarlılığı, ürün getirisi duyarlılığıdır. Finansal performans yedi alt alanda değerlendirilir; tasarım maliyeti, satın alma maliyeti, kaynak maliyeti, üretim maliyeti, teslimat maliyeti, iade maliyeti ve tedarik zinciri maliyetidir. Esneklik dört alt alanda değerlendirilir; tedarikçi esnekliği, tedarik esnekliği, üretim esnekliği ve teslimat esnekliği. Üç alt alanda kalitenin etkilerini tanımlarlar; ürün ve hizmet kalitesi, tedarikçilerin kalite performansı ve üretim kalitesidir (Chardine-Baumann, Genoulaz 2014). Godivan ve ark. (2012) incelemelerinde ise sürdürülebilirliğin ekonomik boyutunu Çizelge 1.1'deki gibi 3 alt kriterde gruplandırmıştır.

Çizelge 1.1. Ekonomik sürdürülebilirlik alt kriterleri (Godivan ve ark., 2012)

Kriter	Alt Kriter	Tanımlama
Maliyet	Üretim Maliyeti	Ürünün nihai fiyatını belirleyen üretim maliyeti, işleme maliyetini, bakım maliyetini ve garanti maliyetini içerir
	Sipariş Maliyeti	Birim değişken ve sabit sipariş maliyetlerinin toplamı
	Lojistik Maliyet	Birim değişken ve tahsis edilmiş sabit taşıma maliyetlerinin toplamı

TZAT modellerinin en geleneksel ve en çok kullanılan boyutu ekonomiktir boyuttur. İşletmeler ürettikleri veya satın aldıkları ürünleri taşımak için büyük maliyetler harcamak durumunda kalırlar; diğer yandan, çevreye kirleticilik yönünden en çok zarar veren faaliyettir. Bundan dolayı, nakliye miktarının azaltılması lojistik maliyetleri düşürmenin ve çevreye daha az zarar vermenin iyi bir yoludur. Ulaştırma operasyonlarını azaltan bazı stratejiler arasında ölçek ekonomisi, araç kapasitesi optimizasyonu, araç rotalama, sevkiyat konsolidasyonu, çapraz yerleştirme işlemleri, 3PL şirketiyle ulaşım faaliyetlerinde dış kaynak kullanımı yer almaktadır. Bu tarz yaklaşımlar sayesinde hem toplam maliyet hem de çevresel etkiden azalma sağlanılabilir (Sherafati ve ark., 2019).

1.3.2. Çevresel Sürdürülebilirlik

Çevresel olarak sürdürülebilir bir sistem, kaynak temelini sabit tutmalı, yenilenebilir kaynak sistemlerinin ya da çevresel yatırım fonksiyonlarının istismarından kaçınmalı ve yenilemeyen kaynaklardan yalnızca yatırımlarla yerine yeterince konulmuş olanları tüketmelidir. Bu süreç, ekonomik kaynak olarak sınıflandırılmayan, biyolojik çeşitlilik, atmosferik denge ve diğer ekosistem işlevlerinin korunmasını da içermelidir. (Harris, 2000).

TBL'nin ikinci boyutu çevrenin korunması, sürdürülebilir tedarik zinciri yönetiminde ise; çevresel boyut, çevre ve doğa sorunlarının tedarik zinciri yönetimine entegrasyonudur. Toplumun ekolojik kaygılar konusundaki

farkındalığının ve bilgisinin artması, çevre dostu bir tedarik zinciri ağı oluşturmaya olan ilgiyi arttırmıştır. Zamanla araştırmacılar da çevresel konulara dikkat çekerek çalışmalarında minimize edilmiş sera gazı veya karbon ayak izi, su ayak izi gibi konuları dikkate almıştır; ayrıca atıkların azaltılmasına, yakıt tüketimi ve enerji kullanımı ele alınan diğer hususlardan olmuştur. (Sherafati ve ark., 2019).

Araştırmacılar tarafından ele alınan tüm bu konularda sürdürülebilir tedarik zinciri süreçlerinde çevresel boyutun amacı, hammaddelerin çıkarılmasından ürünlerin nihai oluşumuna ve kullanım ömrü tamamlanmış ürünlerin bertarafına kadar olan tüm süreçlerde çevreyi olumsuz etkileyecek (hava, su ve toprak kirliliği) ve kaynak israfını (enerji ve malzeme) ortadan kaldırmak veya en aza indirmektir. (Govindan ve ark., 2012). Tüm bu süreçleri başarılı şekilde yönetebilen işletmeler çevreye olan olumsuz etkileri minimuma indirirken kaynak sarfiyatını azalttıkları için hem enerji hem de lojistik maliyetlerinde azalma kaydedebilirler.

Çizelge 1.2. Çevresel sürdürülebilirlik alt kriterleri (Godivan ve ark., 2012)

Kriter	Tanımlama
Çevre Kirliliği	Ölçüm süresi boyunca günlük ortalama hava emisyonu kirletici, atık su, katı atıklar ve zararlı maddeler
Kaynak Tüketimi	Ölçüm döneminde hammadde, enerji ve su açısından kaynak tüketimi
Çevresel Tasarım	Daha az malzeme / enerji tüketimi için ürün tasarımı, yeniden kullanım, geri dönüşüm, malzemenin geri kazanımı için ürün tasarımı, tehlikeli maddelerin kullanımını önlemek veya azaltmak için ürün tasarımı
Çevre Yönetim Sistemi	ISO 14000 gibi çevre sertifikaları, çevre politikaları, çevre hedeflerinin planlanması, çevre faaliyetlerinin kontrolü

Godivan ve ark. (2012) çalışmalarından çevresel boyutları Çizelge 1.2'deki gibi gruplandırmışlardır. STZY'nin çevresel boyutu beş alanla tanımlanır: çevre yönetimi, kaynakların kullanımı, kirlilik, tehlikelilik ve doğal çevre. Çevre yönetiminin alt alanları; çevre sertifikaları, çevre politikaları, çevre hedeflerinin planlanması, çevre faaliyetlerinin kontrolü olarak ele alınır. Kaynakların

kullanımının alt alanı ise, yenilenebilir enerji, geri dönüştürülmüş su, geri dönüşümden kaynaklanan girdiler, geri dönüştürülebilir çıktılar ve geri dönüştürülebilir atıklar olarak tanımlamaktadır. Kirlilik boyutu dört alt alana ayrılmıştır; su kirliliği, hava kirliliği, toprak kirliliği ve diğer kirlilik. Tehlikeli girdiler, tehlikeli çıktılar ve tehlikeli atıklar, tehlikeliliğin alt alanlarıdır. Araştırmacılar doğal çevreyi alanını dört alt alana bölmeyi önerirler; eko-sistemik hizmetler, arazi kullanımı, biyolojik çeşitliliğe saygı, kentsel ve kırsal alanların gelişimi (Baumann, Genoulaz (2014)).

1.3.3. Sosyal Sürdürülebilirlik

Sosyal olarak sürdürülebilir bir sistem, eşitlik dağılımını; sağlık ve eğitim, cinsiyet eşitliği, politik sorumluluk ile katılımı içeren sosyal hizmetlerin yeterli düzeyde gerçekleştirilmesini sağlamalıdır (Harris, 2000).

Günümüzde, kurumsal sosyal sorumluluk (KSS) sadece araştırmacılar açısından incelenen bir konu olmaktan çıkmış, işletmelerin vizyon ve misyonlarda kendine yer edinen sürdürülebilirliğin bir parçası olmuştur. Tedarik zinciri operasyonlarında KSS yönetim sistemlerinin etkili olabilmesi için paydaşlar, sivil toplum kuruluşları (STK'lar), yerel topluluklar gibi kuruluşlarla ve yasal mevzuat düzenlemeleriyle sosyal sürdürülebilirlik yürütülmeye çalışılmaktadır (Ciliberti ve ark., 2008).

Çizelge 1.3**.** Sosyal sürdürülebilirlik alt kriterleri (Godivan ve ark., 2012)

Kriter	Alt Kriter	Tanımlama
İşletme İçi Sosyal Önlemler	İstihdam uygulamaları	Çalışan sözleşmeleri, kariyer gelişimi, iş fırsatları, istihdam tazminatı, eşitlikçi iş gücü kaynakları, esnek çalışma saatleri, eğitim olanakları
	Sağlık ve güvenlik	İşçi ve iş sağlığı güvenliği uygulamaları, sosyal güvenlik hakları
İşletme Dışı Sosyal Önlemler	Yerel topluluklar	Eğitim, hizmet altyapısı, konut, sağlık ve güvenlik olayları, düzenleyici ve kamu hizmetleri, eğitim kurumlarını destekleme, kültürel özellikler, ekonomik refah ve büyüme, sosyal patolojiler, bağışlar, toplum projelerini destekleme, insan hakları

Godivan ve ark. (2012) çalışmalarından sosyal boyutları Çizelge 1.3'deki gibi gruplandırmışlardır. Baumann ve Genoulaz (2014) STZY'nin sosyal boyutu beş alt alanda açıklamışlardır. Bunlar; çalışma koşulları, insan hakları, toplumsal bağlılık, müşteri sorunları ve iş uygulamalarıdır. Çalışma koşulları: istihdam, çalışma koşulları, sosyal iletişim, sağlık, güvenlik ve insan kaynakları geliştirme alt alanlarını içeren bir terimdir. Çocuk ve zorla çalıştırma, örgütlenme ve ayrımcılık özgürlüğü insan hakları alanının üç alt alanıdır. Toplumsal bağlılık alanı ise beş alt alanda incelebilir; yerel topluma katılım, eğitim, kültür ve teknolojik gelişme, istihdam oluşturma, sağlık, toplumsal yatırım. Müşteri sorunları dört alanda değerlendirilir. Bunlar; pazarlama ve bilgi, kalite, içsel ve dışsal çerçevede sürdürülebilirlikle ilgili tedarik zinciri riskleridir. İçsel çevresel riskler; çevresel kazalar (yangınlar, patlamalar), kirlilik (hava, su, toprak), sürdürülebilirlik yasalarına uymama, yüksek sera gazlarının emisyonu, ozon tabakasının incelmesi, enerji tüketimi (enerjinin verimsiz kullanımı), aşırı veya gereksiz ambalajlama ürün atığıdır. Dışsal çevresel riskler ise doğal afetlerdir. Örneğin; Kasırgalar, depremler, seller, su kıtlığı, ısı dalgaları ve kuraklıklardır.

Dünyadaki artan ihtiyaçlar doğrultusunda birçok bilim adamı sürdürülebilir tedarik zinciri ağ tasarımı çalışmalarına ağırlık vermiştir. Araştırmacılar tarafından

sürdürülebilir tedarik zinciri ağı hakkındaki mevcut literatürün çoğu, yöneylem araştırması açısından ele alınmıştır, ancak TBL'nin sosyal boyutu büyük ölçüde cevapsız kalmaktadır (Gunasekaran, 2016). Bu nedenle son yıllarda bu alana olan ilgi giderek artmaktadır. Eskandarpour ve ark. (2015), TBL'nin sosyal boyutuyla ilgili STZAT modelini içeren çalışmaları üç kategoriye ayırmıştır. Bunlar; Toplumsal taahhüt, tüketici sorunları ve çalışma koşullarıdır. Toplumsal taahhütler, bölgesel kalkınmayı artırmak ve bölgesel kalkınmayı dengelemek konularını içerirken; tüketici sorunları ise müşteri memnuniyetine ve kaliteye dikkat çekmektedir. Çalışma koşulları ise sosyal boyutun en temel konularındandır. Bu konuda işçi çalışma saatleri, çalışılan ortam güvenliği, işçilere verilen eğitim ve kariyer fırsatları incelenmektedir. Çoğu araştırmacı tarafından ölçümlendirilip ağ tasarımına entegre edilebilmesi açısından ortaya kalkınmayla birlikte ortaya çıkan iş fırsatları ve işçi saatlerinin düzenlenmesiyle kaybedilen iş kaybı konuları incelenmiştir (Sherafati ve ark. 2019).

1.4. Problemin Tanımı

Ele alınan çalışma kapsamında sürdürülebilir kapalı döngü tedarik zincirinin sürdürülebilirliğin 3 boyutu olan ekonomik, çevresel ve sosyal etkinin bir arada yer aldığı bir problem ele alınmıştır.

Özellikle sürdürülebilirlikte literatürde genelde eksik kalan kısım olan sosyal boyut istihdam oluşturmaya yönelik oluşacak değişken ve sabit işçi sayıları modele entegre edilerek incelenmiştir. Problemde kapalı döngü tedarik zinciri ağındaki her bir kademede aktarılan ve üretilen ürün miktarları işçilerin yapabileceği/aktarabileceği miktarlara bağlı kılınaraktan iş gücü planlanması boyutuna değinilmiştir.

1.5. Çalışmanın Amacı

Tedarik zinciri ağ tasarım problemi geçmişten günümüze birçok araştırmacı tarafından incelenmiş ve işletmeler açısından büyük öneme sahip bir konu olarak

gündemde yer almaktadır. Literatür boyutunda incelendiğinde yeni terimler eklenerek tedarik zinciri boyutunun farklı noktaları ele alınan, hala eksik boyutları olan ve çalışılan bir araştırma olması konunun önemine dikkat çekmektedir.

Tedarik zinciri ağ tasarımı problemi incelendiğinde sürdürülebilirlik ifadesi dikkat çeken konular arasında yer almaktadır.

Bu çalışmada şekilde sürdürülebilirliğin en temel 3 boyutu olan ekonomik, çevresel boyutları ve literatürde genelde eksik kalan kısım olan sosyal boyutta ise istihdam oluşturmaya yönelik oluşacak değişken ve sabit işçi sayılarını katılarak çok amaçlı hedef programlama modeli oluşturulmuştur. Bu 3 faktörün etkisini belirleyebilmek adına ise bulanık analitik hiyerarşik proses (BAHP) yönetimi uygulanmıştır. Bu sayede; hem her bir faktör incelenmiş ve her bir faktörün ağırlıklandırılması alınarak analiz anlamında daha doğru sonuçlar elde edilmeye çalışılmıştır. Amaç; minimum maliyetli, minimum maliyetli CO_2 emisonuna ve maksimum istihdam sağlayacak bir tedarik zinciri tasarım modeli oluşturmaktır.

1.6. Çalışmanın Kapsamı

Bu çalışmada, kapalı döngü tedarik zinciri için müşteri talepleri doğrultusunda; tesislerin sayısı ve kapasite kullanımları gibi ağ üzerinde malzeme akışının belirlenmesini konularını içeren bir problem ele alınmıştır. Bu problemin çözümü için matematiksel bir model önerilmektedir. Matematiksel model, her kademede tesislerden malzeme akışının özellikle operasyonel seviyedeki kararlarını verir. Bu çalışmadaki kapalı tedarik zincirinin bazı özellikleri şöyledir:

- Kapalı döngü tedarik zinciri tedarikçi, üretici, depo, dağıtıcı, müşteri, yetkili servis, aktarma merkezi ve geri dönüşüm tesisinden oluşur.
- Ürün kurtarma olanağı olarak sadece geri dönüşüm imkânı vardır; dönüştürülen ürünler üretim tesisine kazandırılır, dönüştürülemeyen kısım bertaraf edilir. Geri dönüşüm opsiyonu olmayan tedarik zincirleri için geçerli değidir.

- Elektrik elektronik ürünler gibi hammaddeye dayalı geri dönüşüm işlemleri yapılmaktadır.
- Üretim ve AEEE işleme tesisi vardır, sürekli olarak üretim ve dağıtım faaliyetleri yürütülmektedir.
- Tedarik zincirinde tek ürün çeşidi, tek periyot, birden çok üretim tesisi ve birden çok AEEE tesisi bulunmaktadır.

Ele alınan problem aşağıdaki özelliklere sahiptir:

- Problem sonlu planlama ufku için modellenmiştir.
- Tek bir periyot dönemi dikkate alınmıştır.
- Tek bir ürün üretildiği varsayımı üzerinden ilerlenilmektedir.
- Müşteri taleplerini karşılanması sınırlı sayıda ve kapasiteye sahip üretim tesisleri ve AEEE tesisinden karşılanmaktadır.
- Yeni üretilen ürünler ve müşterilerden toplanan ürünlerin talepleri planlama ufkunda bilinmektedir.
- Her bir potansiyel açılabilecek tesis için sabit işletme maliyeti ortaya çıkar.
- Yetkili servislerde toplanan ürün miktarı her müşteri bölgesindeki talep miktarına bağlı olduğundan, bu miktar müşterilerin talep ettiği yeni ürünlerin talebinin yüzdesi olarak hesaplanmaktadır.

1.7. Çalışmanın Özgün Katkısı

Çalışmanın özgün katkıları şunlardır:

i. Çalışma ile tam bir sürdürülebilirlik 3 boyutu olan ekonomik, çevresel ve sosyal faktörleri sağlamak amacıyla çok amaçlı bir hedef programlama modeli kullanılmıştır.

ii. Sürdürülebilirliğin eksik kaldığı görülen sosyal boyutu maksimum istihdam sağlama amaç fonksiyonu ile oluşturulmuştur.

iii. Çalışmada akıştaki ürün miktarları işçinin aktarabileceği miktarlara bağlı kılınmıştır.

iv. İncelenen diğer çalışmalardan farklı olarak çalışacak işçi sayıları karar değişkenleri olarak modele dahil edilmiştir.

v. Çalışma ile sosyal sürdürülebilirlik boyutundan işçi atamaları sayısı tesislerin kapasitesine bağlı kılınmıştır.

vi. Çalışmada birden çok amaç olması ve bu amaçların etkilerini belirlemek amacıyla her bir faktörün ağırlıklandırılması BAHP yöntemiyle sağlanmıştır.

vii. Senaryo analizi ile oluşturulan matematiksel modelin değişen koşullar altında vereceği sonuçlar analiz edilmiştir.

1.8. Çalışmanın Adımları ve Organizasyonu

1.8.1. Çalışmanın Adımları

i. ***Problemin Belirlenmesi:*** Sürdürülebilir kapalı döngü ağ tasarım probleminin seçilmesi ve çalışmanın özgün katkısı belirlenir.

ii. ***Önceki Çalışmaların İncelenmesi:*** Kapalı döngü ve sürdürülebilir tedarik zinciri ağ modellemesi ilgili geçmiş çalışmaların incelendiği süreçtir. Literatürde yer alan problem formülasyonları ve çözüm metodolojilerinin incelendiği adımdır.

iii. ***Problemin Tanımlanması:*** Çalışma kapsamında çözülecek problemin tanımlanması sürecidir. Problemle ilgili gerekli parametreler, karar değişkenleri ve kısıtlamaların belirlendiği adımdır.

iv. ***Matematiksel Modelin Geliştirilmesi:*** Problemin çözümü için matematiksel modelin geliştirildiği ve kullanılacak paket programa dahil edildiği adımdır.

v. ***BAHP Yöntemi:*** Modelde kullanılacak her bir amacın etkisini belirleme amaçlı anket çalışması oluşturularak sonuçlar BAHP yöntemine göre analiz edilip modele entegre edildiği aşamadır.

vi. ***Matematiksel Modelin Çözümü:*** Karma tamsayılı programlama yöntemiyle hedef programlama teklikleri ile hazırlanan modelin paket programında çözümünün yapıldığı adımdır.

vii. ***Sonuçların Analiz Edilmesi:*** Problemin çözümünden elde edilen sonuçların çeşitli senaryolar altında değerlendirildiği ve ileriki çalışmalar için önerilerin verildiği son adımdır.

1.8.2. Çalışmanın Organizasyonu

Çalışmanın ikinci bölümünde, tedarik zinciri ağ tasarımı ve sürdürülebilir tedarik zinciri ağ tasarım modellemesi ile ilgili yapılmış önceki çalışmalara yer verilmiştir. Üçüncü bölümde, ele alınan problem için önerilen matematiksel yöntem, problemin formülasyonu ile kullanılan veriler yer almıştır. Dördüncü bölümde, geliştirilen model için elde edilen bulgular ve analizlere yer verilmiştir. Son bölümde elde edilen sonuçlar değerlendirilmiş ve gelecekteki çalışmalar için yapılacak önerilere yer verilmiştir.

2. LİTERATÜR TARAMASI

Mari ve ark. (2014) çalışmasında ekolojik sürdürülebilirliğe daha fazla dikkat çekmektedir, çünkü tedarik zinciri sistemlerine çevresel bir perspektifle ürünlerin sosyal dengeye ve çevreye zarar vermeyecek şekilde üretilmesi, paketlenmesi ve taşınması gerektiğinden, sürdürülebilirliğin diğer boyutlarıyla da bağlantıları olduğunu öne sürmektedir. Bu çalışma, maliyet boyutunun yanı sıra karbon emisyonları ve somut karbon ayak izleri yoluyla tersine lojistikle sürdürülebilirliği birleştirerek bir ağ optimizasyon modelini hedef programlama metodolojisi ile oluşturmaya çalışmaktadır.

Zhalechian, Tavakkoli-Moghaddam, Zahiri & Mohammadi (2016), sürdürülebilir envanter rotalama modelini ortaya koymuşlardır. Bu modelde sürdürülebilirliğin stok maliyeti, işletme açma maliyeti ve taşıma maliyetlerinin azaltılması ile ekonomik, CO_2 emisyonlarını, enerji israfının azaltılmasıyla çevresel boyutlara değinirken oluşturulan iş fırsatlarıyla istihdamı sağlayarak soysal boyuta değinmiştir. Kapalı döngü şeklinde oluşturulan model ağı stokastik bir programlama yaklaşımı kullanılarak meta sezgisel algoritma geliştirilerek detaylı bir analiz yapılmıştır.

Nobari & Kheirkhah (2017), yaptıkları çalışmada ise dinamik bir sürdürülebilir kapalı döngü tedarik zinciri ağ tasarımını ele almışlardır. Diğer taraftan aynı ürünleri satan ve her bir müşteri bölgesinde toplam talebin bir kısmını ele geçiren mevcut bir tedarik zinciriyle dinamiklik sağlanmıştır. Önerilen çok amaçlı model kısa vadeli ve uzun vadeli kararları içermektedir. Bu çalışmayı diğerlerinden ayıran bir diğer özellik ise kısa vadeli kararlarda ileri lojistikte ürünlerin satış fiyatının belirlenmesi ve ters lojistikte müşteri bölgelerinden kullanılmış ürünlerin toplayıcılar tarafından alınan fiyatının belirlenmesi olmuştur. Önerilen modeli çözmek için çok amaçlı bir rekabetçi algoritma geliştirilmiş ve sonuçlar, genetik algoritma ile karşılaştırılmaktadır.

Mohammadi ve ark. (2018), yaptıkları çalışmada belediye katı atıklarının çok kademeli bir tedarik zinciri ağında çevresel etkileri de içeren bir atık yönetim sisteminin oluşturulması için karma bir tam sayılı doğrusal programlama modeli geliştirmektedir. Tersine lojistiğin yer verildiği bu ağda atıkların toplama, ayırma, nakliye ve imha etmeyi içeren kararlardan oluşmaktadır. Plastik ve karışık atıklardan oluşan ürünler yakıt, elektrik ve ısı gibi katma değerli ürünlere dönüştürülerek hem çevresel hem de ekonomik kazanç sağlanmıştır. Bu çalışmada sürdürülebilirliğin sosyal alanının eksik kaldığı görülmektedir.

Rezaei ve ark.(2018) çalışmasında, diğer ağ kademelerinden farklı olarak çapraz yerleştirme işlemlerini modele dahil ederek, ekonomik, çevresel ve sosyal gereksinimlere dayalı sürdürülebilir bir kapalı döngü tedarik zinciri ağı tasarlamaya yönelik kapsamlı bir model geliştirmektedir. Bu makalede çok amaçlı bir karma-tam sayılı doğrusal programlama modeli kullanılmış ve bu NP-hard problemi çözmek için optimizasyon algoritması geliştirilmiştir. Çözüm yöntemleri farklı algoritmalarla karşılaştırılarak kıyaslamalarda bulunulmuştur.

Pourjavad & Mayorga (2018), yaptıkları çalışmada sürdürülebilir kalkınmaya yönelik kapalı döngü tedarik zinciri ağ tasarım problemini, maliyeti ve çevresel etkileri en aza indirirken sosyal etkileri en üst düzeye çıkararak çok aşamalı ve çok dönemli bir tedarik zinciri ağını bulanık çok amaçlı karma tam sayı doğrusal programlama modeliyle çözüme ulaştırmışlardır.

Yukarıda açıklanan çalışmalarda olduğu gibi makale taramasını daha anlamlı yapabilmek açısından tedarik zinciri yönetimini ağ yapısına, içerdiği amaçlara, modellemesine, ağ aşamasına ve çözüm metotlarına göre sınıflandırmak mümkündür. Bu sınıflandırma Çizelge 2.1'deki kodlamalarla belirtilmiştir.

Çizelge 2.1. Tedarik zinciri ağ kodlaması (Devika ve ark., 2014)

	Konu	Tip	Kısaltma
Ağ Yapısı		İleri	F
		Geri	R
		Kapalı döngü	CL
Amaçlar		Min maliyet/Max kazanç	C
		Minimum çevresel etkiler	EI
		Maksimum sosyal yarar	S
Modelleme	Kesikli	Stokastik karma tam sayılı programlama	SMIP
		Bulanık karışık tam sayılı programlama	FMIP
		Karma tam sayılı doğrusal olmayan programlama	MINLP
		Karma tam sayılı doğrusal programlama	MILP
Ağ Aşamaları	İleri lojistik aşamaları	Tedarik merkezleri	SC
		Üretim merkezleri	PC
		Dağıtım merkezleri	DC
		Çapraz yerleştirme	CD
		Depolar	WH
		Müşteri bölgeleri (perakende satış mağazaları)	CZ
	Ters lojistik aşamaları	Toplama /denetleme merkezleri	CIC
		Ayrıştırma	DSM
		Ayrıştırma merkezleri	DAC
		Yeniden dağıtım merkezleri	RDC
		Kurtarma merkezleri	RCC
		Yeniden üretim merkezleri	RMC
		Geri dönüşüm merkezleri	RYC
		Bertaraf / yok etme merkezleri	DPC
Çözüm Metotları		Çözücüler	E
		Dal & Sınır	B & B
		Lagrange gevşeme tabanlı	LR
		Genetik algoritma tabanlı	GA
		Benzetimli Tavlama	SA
		Tabu arama tabanlı	TS
		Etkileşimli bulanık çözüm yaklaşımı	F
		Diğer heuristik yöntemler	H

Çizelge 2.2. Yayınlanmış makalelerin gözden geçirilmesi

Referans Makaleler	Amaçlar	Ağ Aşamaları	Modelleme	Çözüm Yöntemi
Ağ Yapısı: İleri Yönlü (F)				
Chalmardi M.K. & Camacho-Vallejo J.F. (2019)	C,EI	SC,PC,DC,CZ	MILP	H
Sherafati M. ve ark. (2019)	C,EI,S	PC,DC,CZ	MINLP	E,H
Rahimia M. ve ark. (2019)	C,EI,S	SC,PC,DC,CZ	MINLP	E
Robles J. O. ve ark. (2019)	C,EI	SC,PC,DC,WH	MILP	E
Eskandarpour ve ark. (2019)	C,EI	SC,PC,DC,CZ	MILP	H
Rohmer S.U.K. ve ark. (2018)	C,EI	SC,PC,CZ	MILP	E
Allaoui ve ark. (2018)	C,EI,S	SC,PC,DC	MILP	E
Yadav V. S. ve ark. (2018)	C,EI	SC,PC,DC,CZ	MILP	E
Eskandari-Khanghahi ve ark. (2018)	C,EI,S	SC,PC,DC,CZ	SMIP	SA,H
Guo ve ark. (2018)	C,EI	SC,PC,DC,CZ	MILP	B & B
Fattahi ve ark. (2018)	C,EI,S	SC,WH,PC,CZ	MILP	E,H
Govindan ve ark. (2018)	C,EI,S	PC,DC,CZ	MILP	H,GA
Zhang X. ve ark. (2017)	C,EI	PC,DC,CZ	MILP	H
Arampantzi C. & Minis I. (2017)	C,EI,S	SC,PC,DC,CZ	MILP	E
Gao & You (2017)	C,EI	SC,PC,WH,DC,CZ	SMIP	E
Tsao Y.C. ve ark. (2018)	C,EI,S	SC,PC,DC,CZ	FMIP	E
Ghaderi H. ve ark. (2018)	C,EI,S	SC,PC,DC,CZ	MILP,FMIP	E,F
Jafaria H.R. ve ark. (2016)	C,EI,S	SC,PC,CZ	MILP	H

Zhang S. ve ark. (2016)	C,EI,S	SC,PC,DC,CZ	MILP	H
Varseia M., Polyakovskiy S. (2017)	C,EI,S	SC,WH,PC,DC,CZ	MILP	E
Bairamzadeh ve ark. (2015)	C,EI,S	SC,PC,CZ	MILP	E
Babazadeh ve ark. (2017)	C,EI	SC,PC,DC,CZ	MILP	E
Govindan ve ark. (2015)	C,EI	SC,PC,DC,CD	SMIP	H
Pop P.C. ve ark. (2014)	C,EI	PC,DC,CZ	MILP	H
Yue ve ark. (2014)	C,EI,S	SC,PC,WH,CZ	MILFP	E
Pishvaee M.S. ve ark. (2014)	C,EI	SC,PC,WH,CZ	MILP	E
Yue D., Kim M. A. & You F. (2013)	C,EI	SC,PC,DC,CZ	MINLP	E
Longo F. (2012)	C,EI	SC,DC,CZ	SMIP	SA
Corsano ve ark. (2011)	C,EI	SC,PC,WH,CZ	MINLP	E
Byrne ve ark. (2010)	C,EI	SC,PC,CZ	SMIP	SA
Guillén -Gosa´lbez ve ark. (2009)	C,EI	SC,PC,DC,CZ	MILP	E
Ağ Yapısı: Geri Yönlü (R)				
Alkahtani M. & Ziout A. (2019)	C,EI,S	CZ,CIC,RMC	MILP	E
Mohammadi M. ve ark. (2018)	C,EI	CZ,CIC,DAC,RYC,RCC,DPC,DC	MILP	E
John S. & Sridharan R. (2015).	C	CZ, CIC, RMC, DAC, RYC, DPC	MILP	E
Ene S. & Öztürk N. (2014)	C	CZ, CIC, RMC, RYC, DPC	MILP	E
Pishvaee ve ark. (2010)	C,EI	CZ, RCC, CIC, DPC	SMIP	H
Dehghanian F. & Mansour S., (2009).	C,EI,S	CIC, RYC, DPC	MILP	GA
Gülsün ve ark. (2008)	C	CZ, CIC, RYC	FMIP	F

Ağ Yapısı: Kapalı Döngü (CL)				
Tautenhain C.P.S. ve ark. (2018)	C,EI,S	SC,PC,CZ,RYC,WH	MILP	H
Zhen L. ve ark. (2019)	C,EI	PC,DC,CZ,CIC,DAC,RCC	SMIP	H
Pourjavad E. & Mayorga R. V. (2018)	C,EI,S	SC,PC,DC,CZ,CIC,RCC,RYC,DPC	FMIP	GA
Devika ve ark. (2014)	C,EI,S	SC,PC,DC,CZ,CIC,RCC,RYC,RMC,DPC,RDC	MILP	H, GA
Hajiaghaei-Keshteli M. & Fard A. M. F. (2018)	C,EI,S	SC,PC,DC,CZ,CIC,RCC,RMC,RYC,DPC	MINLP	H
Mirmohammadi S. H. & Sahraeian R. (2018)	C,EI,S	SC,PC,WH,DC,CZ,CIC,RMC,DPC	MINLP	H
Pourjavad E. & Mayorga R. V. (2018)	C,EI,S	SC,PC,DC,CZ,CIC,DPC,RYC	FMIP	H, F
Jiao Z. ve ark. (2018)	C,EI	SC,PC,DC,CIC,DAC,RYC,DPC,RMC	SMIP	SA
Samadi A. ve ark. (2018)	C,EI,S	SC,PC,DC,CZ,CIC,RCC,RYC,RMC,DPC	MILP	GA,H
Sahebjamnia N. ve ark. (2018)	C,EI,S	SC,PC,DC,CZ,CIC,RYC	MILP	H
Nobari A. & Kheirkhah A. (2017)	C,EI,S	SC,PC,DC,CZ,CIC,RCC,	MILP	GA
Rezaei S., Kheirkhah A. (2018)	C,EI,S	SC,PC,DC,CD,CZ,CIC,RCC,RYC,RMC,DPC	MILP	H
Soleimani H. ve ark. (2017)	C,EI,S	SC,PC,DC,CZ,WH,CIC,RCC,RYC	FMIP	GA
Zhalechian M. ve ark. (2016)	C,EI,S	SC,DC,CZ,CIC,RMC	SMIP	H

Chiu M. & Teng L. (2013)	C,EI	SC,PC,DC,CZ,DSM,RMC,RCC	FMIP	F
Metta H. & Badurdeen F. (2013)	C,EI	SC,PC,CZ,CIC,RCC,RMC,RYC	MILP	E
Abdallah T. & Diabat A. (2011)	C,EI	PC,DC,CZ,CIC,DAC,RMC	MINLP	E
Chaabane A. ve ark. (2012)	C,EI	SC,PC,DC,CZ,RYC	MILP	E
Yılmaz E. & Bilgin E. (2019)	C	PC, DC, CIC, RDC	MILP	E
Mari S. I. ve ark. (2016)	C,EI	SC,PC,CIC,RCC	FMIP	F
Yue D. ve ark. (2014)	C,EI,S	SC,CZ,CIC	MILP	E
Lu Z. & Bostel N. (2007)	C	PC, CZ, CIC, RMC, DPC	MILP	LR
Ko H. J. & Evans G. W. (2007)	C	PC, WH, CZ, RMC	MINLP	GA

Çizelge 2.2'de literatür incelenmesi daha önce belirtilen kriterlere göre gruplandırılmıştır.

Yukarıdaki Çizelgede belirtilen çözüm yöntemlerinde için farklı metodolojilerden de yararlanılmıştır. Bunlar:

1- Kesin yöntemler (büyük ölçekli problemler halinde karmaşık olan),
2- LINGO, GAMS veya CPLEX gibi genel çözücüler,
3- Yaklaşık ortalama örnekleme yaklaşımları (stokastik optimizasyon problemleri için),
4- Sezgisel yaklaşımlar,
5- Meta-sezgisel algoritmaları (GA, SA, TS gibi),
6- Simülasyon yöntemleri ve
7- Çok amaçlı / çok kriterli çözme metodolojileri (AHP, ANP gibi).

Çizelge 2.2'de incelenen makaleler doğrultusunda çalışmaların büyük çoğunluğu kesin yöntemlerle sonuca ulaşırken, modelin karmaşıklığına göre sezgisel ve mate-sezgisel algoritmalarda da çözüme ulaşan modeller mevcuttur. İncelenen çalışmalar içerisinde çok az bir kısmı stokastik ve simülasyon yöntemleriyle çözüme ulaşıldığı görülmüştür.

3. METARYAL VE METHOD

3.1. Materyal

Çalışma literatürde yer alan test problem örneklerine uygulanmıştır. Çalışmada kapsamında önerilen yeni matematiksel model için literatürden alınan veri setlerinde bazı bilgiler eksik kalmıştır. Bundan dolayı, ilgili veri setlerine rastgele sayılar üretilerek eklemeler yapılmıştır.

3.1.1. Problemde Kullanılan Veriler

Çalışmada problemin test edilmesi için kullanılan veri setleri, benzer problem özelliklerine sahip Rezaei ve Kheirkhah (2018) tarafından oluşturulan çalışmada bu veri setinde 8 tedarikçi, 4 üretim tesisi, 8 dağıtım merkezi, 3 çapraz yerleştirme merkezi,12 müşteri bölgesi(perakendeciler), 8 toplama merkezi, 2 tane kurtarma merkezi, 3 yeniden üretim merkezi, 3 geri dönüşüm merkezi, 2 bertaraf merkezlerine sahip veri setleri örnek alınmıştır.

Ayrıca gerçek sektörel anlamda koşullar dikkate alındığında geri dönüşüm ve sürdürülebilirliğe önem veren bir beyaz eşya firmasının tedarik zinciri ağ yapısı dikkate alınmıştır. Bu ağ yapısında tedarikçiler, üretim tesisleri, depolama alanları, dağıtım merkezleri (bayiler), müşteri bölgeleri(perakendeciler), yetkili servisler, aktarma merkezleri ve AEEE (Atık elektrik elektronik eşyalar) işletme tesisinden oluşmaktadır. Bu çalışmada da bu ağ yapısı kullanılarak başlangıçta literatürdeki Rezaei ve Kheirkhah (2018) çalışmasındaki veriler kullanılıp eksik kalan kademeler ve anlamlı sonuçlar elde edebilme amacıyla rastgele veriler üretilmiştir. Bu şekilde oluşturulan modelin veri setlerinde 8 tedarikçi, 4 üretim merkezi, 3 depolama alanı, 8 dağıtım merkezi (bayi), 12 müşteri bölgesi, 8 yetkili servis, 2 aktarma merkezi, 3 AEEE tesisinden oluşmaktadır.

Verilerin senaryo analizlerinde daha anlamlı ve değişkenlikler içerisinde daha makul değerler verebilmesi açısında tüm ağ kademeleri için 2 farklı veri seti kullanılmıştır.

3.2. Metot

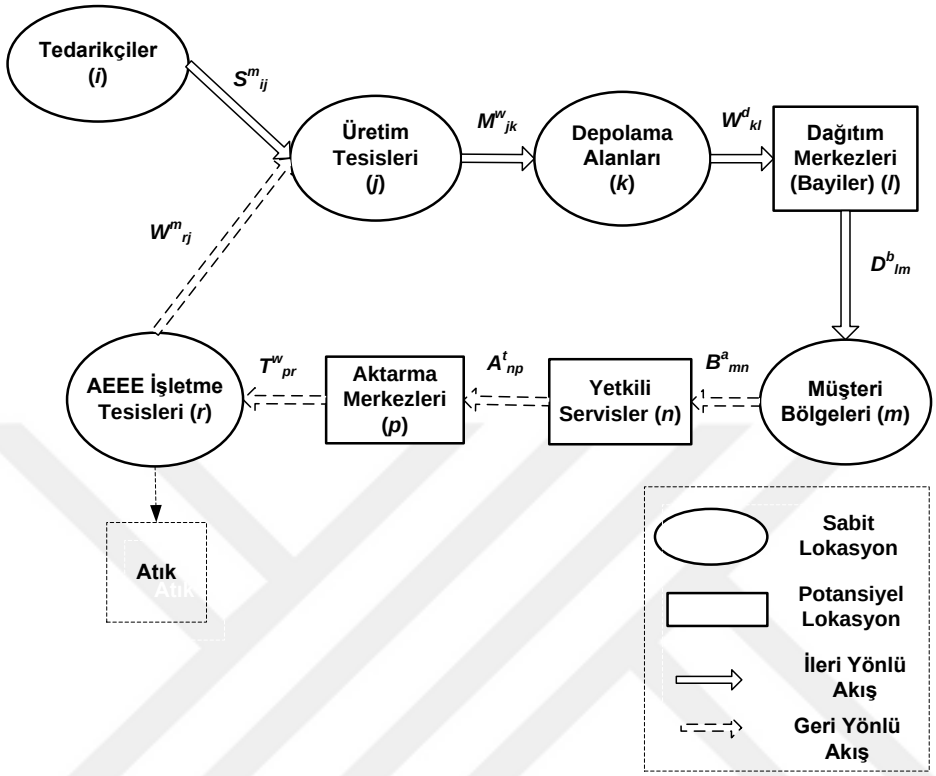
3.2.1. Problemin Tanımlanması

İncelenen çalışma bir beyaz eşya sektöründe buzdolabı üretimi yapan bir firma üzerinden düşünülecek olursak; işletmede elektrik ve elektronik eşyalarda tehlikeli maddelerin kullanımının sınırlandırılması, elektrik ve elektronik eşyaların atıklarının geri kazanılması veya bertaraf edilmesi yönergelerinin uygulanması süreçlerine geçilmiştir. Ayrıca işlemede sosyal sürdürülebilirlik politikası uygulanmaktadır. Bu sayede ileri ve tersine tedarik işlemlerinin yer aldığı birden çok amaç barındıran problem karşımıza çıkmaktadır. Tüm bu işlemler yapılırken maliyetlerden kazanç sağlanmaktadır. Çeşitli tedarikçilerden buzdolabı ürününe ait ham maddeler, üretim tesislerinde çeşitli işlemlerden geçerek bitmiş ürün halini aldıktan sonra depolama alanlarına iletilir. Depolama alanlarında dağıtım merkezleri olan bayilere iletilen buzdolapları perakende satış noktalarına iletilerek son müşteriye ulaşmış olmaktadır. Ürünlerin arıza yapması, ekonomik ömürlerinin bitmesi gibi nedenlerle karşılaşılması durumunda yetkili servislere iletilir. Her yetkili servisten toplanan ürünler aktarma merkezlerine ulaştıktan sonra AEEE işleme tesislerine iletilir.

Ele alınan sürdürülebilir kapalı döngü tedarik zinciri ağını modellemesinde şekil 3.1'de ifade edildiği gibi ileri yönlü akışta tedarikçiler, üretim merkezleri, dağıtım merkezleri, depolama alanları, bayiler, müşteri bölgeleri (perakendeci) yer alırken; geri yönlü akışta ise toplama süreçlerinde yer alan yetkili servisler, aktarma merkezleri ve atık elektrik elektronik eşya (AEEE) tesisleri olmak üzere çok aşamalı bir yapıdan oluşmaktadır. Ağ yapısındaki AEEE tesislerinde ürünün kullanım ömrü dolmuş veya çeşitli sebeplerden dolayı müşterilerden toplanan ürünler kalite kontrollerinden geçtikten sonra bir kısmı geri dönüşüm amaçlı belirli işlemlerden

geçirerek yeniden üretimde kullanılabilir hale gelmektedir. Bir kısmı ise belirli bir maliyeti göz alarak, çevreye en az zarar verecek şekilde bertaraf edilmektedir.

Problemde sürdürülebilirliğin en temel faktörü olan ekonomik boyutu için tesis açma, hammadde satın alma, üretim, taşıma ve bertaraf maliyetleri en aza indirilmesi; çevresel boyutu için ise; taşımalar sırasında ve üretimden kaynaklı ortaya çıkan CO_2 miktarını en aza indirgeme amaçlı oluşturulmuştur. Kapalı döngü tedarik zinciri ile de ürünler müşteri bölgelerinden toplanılarak hem çevresel zararların azaltılması hem de ürünlerin tekrar döngüye dahil edilerek ekonomik anlamda kar elde edilmesi sağlanmıştır. Sürdürülebilirlikte literatürde genelde eksik kalan kısım olan sosyal boyutta ise istihdam oluşturmaya yönelik oluşacak kapasiteden kaynaklı değişken ve yeni açılacak işletmelerden dolayı oluşacak sabit işçi sayılarını maksimum yapmaya yönelik çok amaçlı hedef programlama modeli oluşturulmuştur.



Şekil 3.1. Ele alınan problemin tedarik zinciri ağ yapısı

3.2.1.1. Amaç Fonksiyonları

Yukarıda tanımlanan problemin birden fazla amacı vardır. Bunlar ekonomik olarak maliyetleri en aza indirgemek, çevresel zararı en aza indirgemek ve sosyal anlamda faydayı maksimum yapmaktır. Burada tüm amaçları yerine getirirken tedarik zinciri süreçleri boyunca aktarılan ürün miktarları tesislerdeki çalışan işçi sayılarına bağlı kılınmıştır. Yani hangi düğümde ne kadar işçi çalışılması ya da hangi düğüme işçi atanması, hangi düğümdeki işletme tesisinin faaliyete geçeceği ve/veya yeni olarak bir tesis açılacağı belirlenen koşullar altında optimum yapılmaya çalışılmıştır. Burada çalışacak işçi sayılarını ekonomik ve çevresel amaç fonksiyonu minimum yapmaya çalışırken sosyal boyuttaki maksimum fayda ise istihdamı arttırmaya yönelik olarak çalışacak işçi sayılarını maksimum yapmayı hedefler.

3.2.1.2. Karşılaşılan Kısıtlar

Sürdürülebilir tedarik zinciri ağ modellemesinde karşılaşılan kısıtlar şunlardır:

i. **Her bir kademede akış miktarlarında kayıp olmaması kısıtı:** Kapalı döngü tedarik zinciri ağında ürünlerin aktarımı ve üretimi faaliyetleri sırasında herhangi bir kayıp olmadığını belirleyen temel kısıtlardır. Sadece geri yönlü müşteriden toplanan ürünler geri dönüş oranlarıyla ve AEEE tesisinde işlenen ürünler kalite standartlarını sağlayan kısım olarak belirlenmektedir.

ii. **Her bir kademedeki işçi sayısı kısıtı:** Kapalı döngü tedarik zinciri ağında her bir kademede çalışan kişi sayılarının toplamı o kademe içindeki kapasiteden kaynaklanan değişken işçi sayısından fazla olduğunu belirten bir kısıttır**.**

iii. **Her bir potansiyel tesis açma kısıtı:** Kapalı döngü tedarik zinciri ağında potansiyel olarak açılabilecek işletme sayısı belirli bir değerle kısıtlandırılmıştır.

3.2.2. Problemin Karakteristiği

Problem, kapalı döngü tedarik zincirlerinde üretim, dağıtım, tesislerin sayılarının belirlenmesi kararlarının koordine edilmesidir. Tüm bu kararlar çalışacak işçi sayılarının üzerinden sisteme entegre edilmiştir. Sorunun özellikleri aşağıda verilmiştir:

i. Tek bir ürün üretilir.
ii. Sistem tek periyodu içermektedir.
iii. Birden fazla üretim ve AEEE tesisi yer almaktadır.

iv. Geri yönlü zincirde iki olanak içerir: bertaraf etme ve geri dönüşüm işlemi.
v. Sınırlı kapasiteye sahip üretim ortamında her bir müşteri talebinin karşılanması gerekmektedir.
vi. Sabit lokasyon olarak belirlenen tesislerin sayıları belirliyken potansiyel tesislerin sayıları değişkenlik göstermektedir.
vii. Her kademedeki işletmede sabit açma ve üretim maliyetleri ortaya çıkar.
viii. Taşımalar ve üretim sırasında dikkate alınan CO_2 miktarı birim ürün miktarıyla orantılı olarak düşünülmüştür.
ix. İş gücü kaybı oluşmamaktadır.
x. Her kademedeki işçinin aktarabileceği veya üretebileceği iş miktarı birbirinden bağımsızdır.

3.2.3. Problemde Kullanılan Varsayımlar

Sürdürülebilir tedarik zinciri ağ modellemesi için aşağıdaki varsayımlar altında problemi için çözümler aranmıştır:

1. Tek ürün çeşidi ve tek periyot dikkate alınmıştır.
2. Her bir müşterinin talepleri yerine getirilmektedir.
3. Her kademedeki işletme sayısı, işletme kapasiteleri ve potansiyel lokasyonları nedeniyle önceden belirlenmiş değerler ile sınırlıdır.
4. Tedarikçiler, üretim ve AEEE tesisleri, depolama alanları ve müşteri bölgeleri sayıları sabit lokasyon olarak varsayılırken, dağıtım merkezleri, aktarma merkezleri ve yetkili servisler modele göre belirleneceği varsayılmaktadır.
5. Her kademedeki işletmede sabit açma ve üretim maliyetleri önceden tanımlanmış değerleri içermektedir.
6. Aynı kademedeki tesisler arasında akış yoktur.

7. Dağıtım süreçlerinde kullanılan araçların yük taşıma kapasiteleri birbirinden farklılık içermemekle birlikte ileri ve geri yönlü taşımada araç tipleri birbirinden farklı olarak değerlendirildiği için maliyetlendirmede farklı olarak alınmıştır.
8. Dağıtım süreçlerinde döngü, hammadde alımından ürünün müşteriye ulaştıktan sonra tekrar toplama amaçlı çeşitli kademelerden geçerek üretim tesisine ulaşmasıyla son bulur.
9. AEEE tesislerinde, yaşam döngüsünü tamamlamış ürünler bertaraf edilirken; kullanılabilecek olan ürünlere geri dönüşüm işlemleriyle ileri yönlü akışa dahil edilmektedir. Modelde ikinci el satış yapılmamaktadır.
10. AEEE tesislerinde çeşitli işlemlerle ileri yönlü akışa dahil olan ürünlerin, üretim tesislerinde üretilen yeni ürünlerle aynı kalite şartlarını sağladığı varsayılmıştır.
11. Müşterilerden yetkili servisler aracılığı ile toplanan ürün miktarlarının, müşteri taleplerinden küçük olduğu varsayılmıştır.
12. Model için dikkate alınan ürüne ait geri dönüştürülebilme oranı ve/veya kalite şartlarını sağlayan kısmı bilinmektedir.
13. Modelde akış oluşturulurken bertaraf etme işlemi hariç; nicel ve niteliksel bir kayıp söz konusu değildir.
14. Modelde üretim için gerekli olan hammadde alma maliyeti tedarikçilere göre farklılık göstermekte ve önceden tanımlanmış değerleri içerir.
15. Modelde her bir kademedeki işletmelerde çalışan işçilerin yapabilecekleri iş miktarları bilinmektedir.
16. Modelde her bir kademede kapasiteden ve işletme sayılarından dolayı oluşacak sabit ve değişken işçi sayıları bilinmektedir.
17. Modelde kademeler arası taşıma ve işletmelerin üretim faaliyetlerinden kaynaklanan CO_2 emisyon miktarları bilinmektedir.

18. AEEE işletme tesislerinde geri dönüşüm ve bertaraf etme işlemi gören ürünlerin tamamının CO_2 emisyonunun çevreye olan etkisi tek bir değişkenle incelendiği varsayılmaktadır.
19. Modelde müşteri bölgelerinin talepleri birbirinden farklı olmakla birlikte değerleri bilinmektedir.
20. AEEE merkezlerinin kapasitesi bertaraf ve yeniden üretim yapma için yeterli kapasite sahiptir.
21. Modelde tedarikçilerin kapasitesi ve çalışan sayısı göz önüne alınmamaktadır, yani üretim tesisleri için yeterli kapasiteye ve çalışan sayısına sahip olduğu varsayımı üzerinden ele alınmaktadır.

3.2.4. Matematiksel Programlama Modeli

İncelenen sürdürülebilir tedarik zinciri ağ modellemesi için belirlenen problem ve oluşturulan model, matematiksel olarak formüle edilerek çözüm aranmıştır.

Matematiksel modelde, eldeki kısıtlar doğrultusunda sürdürülebilirliğin 3 temel halkasıyla birlikte hedef programlama tekniği kullanılarak ekonomik ve çevresel amaç fonksiyonunu en küçükleyecek, sosyal etki ise istihdamı arttırmaya yönelik en büyükleme amacıyla çalışacak işçi sayılarını bulmayı hedeflemektedir.

3.2.4.1. Notasyonlar

Problemde tedarik zincirinin her bir düğüm ve/veya kademesindeki tesisler için indisler tanımlanmıştır. Tanımlanan indisler aşağıdaki gibidir:

İndisler

i : Tedarikçiler ($i=1,2,..s$)

j : Üretim Tesisleri ($j=1,2,...m$)

k : Depolama Alanları ($k=1,2,...w$)

$\boldsymbol{l}$: Potansiyel Dağıtım Merkezleri (Bayiler) ($l=1,2,...d$)

$\boldsymbol{m}$: Müşteri Bölgesi (Perakendeciler) ($m=1,2,...b$)

$\boldsymbol{n}$: Potansiyel Yetkili Servisler ($n=1,2,...a$)

$\boldsymbol{p}$: Potansiyel Aktarma Merkezleri ($p=1,2,...t$)

$\boldsymbol{r}$: AEEE İşleme Merkezleri (r=1,2,…wa)

$\boldsymbol{o}$: Amaçlar (o=1,2,3)

3.2.4.2. Parametreler

Tanımlanan indislere göre matematiksel modelde kullanılacak parametreler aşağıda belirtilmiştir:

S^m_{ij} : Bir çalışanın i tedarikçiden j üretim merkezine aktarabileceği ürün miktarı

M^w_{jk} : Bir çalışanın j üretim merkezinden k depolama alanlarına aktarabileceği ürün miktarı

W^d_{kl} : Bir çalışanın k depolama alanlarından l dağıtım merkezlerine aktarabileceği ürün miktarı

D^b_{lm} : Bir işçinin l dağıtım merkezlerinden m müşteri bölgelerine aktarabileceği ürün miktarı

B^a_{mn} : Bir çalışanın m müşteri bölgelerinden n yetkili servislere aktarabileceği ürün miktarı

A^t_{np} : Bir çalışanın n yetkili servislerinden p aktarma merkezlerine aktarabileceği ürün miktarı

T^w_{pr} : Bir çalışanın p aktarma merkezlerinden r AEEE işletme tesislerine aktarabileceği ürün miktarı

W^m_{rj} : Bir çalışanın r AEEE işletme tesislerinden j üretim tesisine aktarabileceği geri dönüştürülmüş ürün miktarı

Q_j : Bir çalışanın j üretim tesisinde üretebileceği ürün miktarı

PC_i : i tedarikçiden alınan hammadde maliyeti

FC^d_l : l dağıtım merkezinin sabit açma maliyeti

FC^a_n : n yetkili servis sabit açma maliyeti

FC^t_p : p aktarma merkezinin sabit açma maliyeti

MC_j : j üretim tesisinde birim ürün üretme maliyeti

RC_r : r AEEE işletme merkezinde geri dönüşümün birim maliyeti

DC_r : r AEEE işletme merkezinde bertaraf etmenin birim maliyeti

CAP^m_j : j üretim merkezinin üretim kapasitesi

CAP^w_k : k depo alanının kapasitesi

CAP^d_l : l dağıtım merkezinin kapasitesi

CAP^b_m : m müşteri bölgesi kapasitesi

CAP^a_n : n yetkili servisinin kapasitesi

CAP^t_p : p aktarma merkezinin kapasitesi

CAP^{wa}_r : r AEEE tesisinin kapasitesi

TC^{sm}_{ij} : i tedarikçiden j üretim merkezine taşımanın birim maliyeti

TC^{mw}_{jk} : j üretim merkezinden k depo alanına taşımanın birim maliyeti

TC^{wd}_{kl} : k depo alanından l dağıtım merkezlerine taşımanın birim maliyeti

TC^{db}_{lm} : l bayilerden m müşteri bölgelerine taşımanın birim maliyeti

TC^{ba}_{mn} : m müşteri noktalarından n yetkili servislerine taşımanın birim maliyeti

TC^{at}_{np} : n yetkili servislerinden p aktarma merkezlerine taşımanın birim maliyeti

TC^{tw}_{pr} : p aktarma merkezlerinden r AEEE işletme merkezlerine taşımanın birim maliyeti

TC^{wm}_{rj} : r AEEE işletme merkezlerinden j üretim merkezlerine taşımanın birim maliyeti

C^m_j : j üretim tesisinde ürününün birim üretiminden kaynaklı karbondioksit emisyonu

C^w_r : r AEEE işletme tesisinde ürününün işlenmesinden kaynaklı karbondioksit emisyonu

CE^{sm}_{ij} : i tedarikçiden j üretim merkezine taşınmasından kaynaklanan birim karbondioksit emisyonu

CE^{mw}_{jk} : j üretim merkezinden k depo alanlarına taşınmasından kaynaklanan birim karbondioksit emisyonu

CE^{wd}_{kl} : k depolarından l dağıtım merkezlerine taşınmasından kaynaklanan birim karbondioksit emisyonu

CE^{db}_{lm} : l dağıtım merkezlerinden m müşterilere taşınmasından kaynaklanan birim karbondioksit emisyonu

CE^{ba}_{mn} : m müşterilerden n yetkili servislere taşınmasından kaynaklanan birim karbondioksit emisyonu

CE^{at}_{np} : n yetkili servislerden p aktarma merkezlerine taşınmasından kaynaklanan birim karbondioksit emisyonu

CE^{tw}_{pr} : p aktarma merkezlerinden r AEEE tesislerine taşınmasından kaynaklanan birim karbondioksit emisyonu

CE^{wm}_{rj} : r AEEE tesislerinden j üretim tesisine taşınmasından kaynaklanan birim karbondioksit emisyonu

b : Ürünün AEEE işleme tesisinde kalite şartlarını sağlayan kısmı

D_m : m müşterisinin ürüne olan talebi

RR : Müşterilerden ürün için geri dönüş oranı

VJ^m_j : j üretim merkezinde üretim kapasitesinden kaynaklanan maksimum işçi sayısı

VJ^w_k : k depo alanında kapasiteden kaynaklanan maksimum işçi sayısı

VJ^d_l : l dağıtım merkezlerinde kapasiteden kaynaklanan maksimum işçi sayısı

VJ^b_m : m müşteri bölgelerinde kapasiteden kaynaklanan maksimum işçi sayısı

: n yetkili servislerde kapasiteden kaynaklanan maksimum işçi sayısı

VJ^a_n : p aktarma merkezlerinde kapasiteden kaynaklan maksimum işçi sayısı

VJ^t_p : r AEEE tesislerinde üretim kapasitesinden kaynaklanan maksimum işçi sayısı

VJ^{wa}_r : r AEEE tesislerinde transfer kapasitesinden kaynaklanan maksimum işçi sayısı

VJ^{rm}_r : l dağıtım merkezlerinin açılışından kaynaklanan asgari işçi ihtiyacı sayısı

FJ^d_l : n yetkili servislerin açılışından kaynaklanan asgari işçi ihtiyacı sayısı

FJ^a_n : p aktarma merkezlerinin açılışından kaynaklanan asgari işçi ihtiyacı sayısı

FJ^t_p : Maksimum dağıtım merkezi sayısı

: Maksimum yetkili servis sayısı

d_l^{max} : Maksimum aktarma merkezi sayısı

a_n^{max} : o amaç fonksiyonunun ağırlığı

t_p^{max}

w_o

3.2.4.3. Karar Değişkenleri

Modelde kullanılan karar değişkenleri aşağıda ifade edilmiştir.

Karar Değişkenleri	
Z^d_l	: $\begin{cases}1, & \text{Dağıtım merkezi } l \text{ açıksa}\\ 0, & \text{aksi takdirde}\end{cases}$
Z^a_n	: $\begin{cases}1, & \text{yetkili servis } n \text{ açılırsa}\\ 0, & \text{aksi takdirde}\end{cases}$
Z^t_p	: $\begin{cases}1, & \text{aktarma merkezi } p \text{ açılırsa}\\ 0, & \text{aksi takdirde}\end{cases}$
$\boldsymbol{s_o^+, s_o^-}$	*: o* amacından pozitif ve negatif sapma

E^{s}_{ij} : Tedarikçi *i* için üretici *j*'de görevlendirilen çalışan sayısı

E^{m}_{j} : Üretim için *j* üreticide görevlendirilen çalışan sayısı

E^{w}_{jk} : Üretici *j* için *k* deposunda görevlendirilen çalışan sayısı

E^{d}_{kl} : Depo *k* için *l* dağıtım merkezinde görevlendirilen çalışan sayısı

E^{b}_{lm} : Dağıtım merkezi *l* için m müşteri bölgesinde görevlendirilen çalışan sayısı

E^{a}_{mn} : Müşteri bölgesi *m* için *n* yetkili servisinde görevlendirilen çalışan sayısı

E^{t}_{np} : Yetkili servis *n* için *p* aktarma servislerinde görevlendirilen çalışan sayısı

E^{wa}_{pr} : Aktarma merkezi *p* için *r* AEEE merkezinde görevlendirilen çalışan sayısı

E^{rm}_{rj} : AEEE merkezi *r* için *j* üreticide görevlendirilen çalışan sayısı

Z karar değişkenleri ile potansiyel olarak açılabilecek işletmelerin aktif hale gelmesini sağlayan değişkendir. Karışık tam sayılı modelleme düşünüldüğünde hangi potansiyel tesisin açılacağı kararını vermektedir.

E karar değişkenleri ile tedarik zinciri ağındaki her bir kademedeki ürün akışını veya üretimi sağlamak amacıyla çalışan işçi sayılarının değerini belirlemek amacıyla modele eklenmiştir.

s_o^+, s_o^- karar değişkeni amaç fonksiyonlarının hedef programlamada amaç fonksiyonundan pozitif veya negatif sapmasını göstermeyi belirlemek amacıyla konulan değişkendir.

3.2.4.4. Amaç Fonksiyonları

a- <u>Ekonomik Amaç Fonksiyonu;</u>

Min OBJ_1:

$$
\begin{aligned}
min\ OBJ_1 = & \left\{\sum_{l=1}^{s} FC^{d}{}_{l} * Z_{l}^{d} + \sum_{n=1}^{a} FC^{a}{}_{n} * Z^{a}{}_{n} + \sum_{p=1}^{t} FC^{t}{}_{p} * Z^{t}{}_{p}\right\} \\
& + \left\{\sum_{i=1}^{s}\sum_{j=1}^{m} PC_{i} * S^{m}{}_{ij} * E^{s}{}_{ij}\right\} \\
& + \left\{\sum_{j=1}^{m} MC_{j} * Q_{j} * E^{m}{}_{j}\right\} + \left\{\sum_{p=1}^{t}\sum_{r=1}^{wa} RC_{r} * T^{w}{}_{pr} * E^{wa}{}_{pr} * b\right\} \\
& + \left\{\sum_{r=1}^{wa} DC_{r} * T^{w}{}_{pr} * E^{wa}{}_{pr} * (1-b)\right\} \\
& + \left\{\begin{array}{l}
\sum_{i=1}^{s}\sum_{j=1}^{m} S^{m}{}_{ij} * E^{s}{}_{ij} * TC^{sm}{}_{ij} + \sum_{j=1}^{m}\sum_{k=1}^{w} M^{w}{}_{jk} * E^{w}{}_{jk} * TC^{mw}{}_{jk} \\
+ \sum_{k=1}^{w}\sum_{l=1}^{d} W^{d}{}_{kl} * E^{d}{}_{kl} * TC^{wd}{}_{kl} + \sum_{l=1}^{d}\sum_{m=1}^{b} D^{b}{}_{lm} * E^{b}{}_{lm} * TC^{db}{}_{lm} \\
+ \sum_{m=1}^{b}\sum_{n=1}^{a} B^{a}{}_{mn} * E^{a}{}_{mn} * TC^{ba}{}_{mn} + \sum_{n=1}^{a}\sum_{p=1}^{t} A^{t}{}_{np} * E^{t}{}_{np} * TC^{at}{}_{np} \\
+ \sum_{p=1}^{a}\sum_{r=1}^{wa} T^{w}{}_{pr} * E^{wa}{}_{pr} * TC^{tw}{}_{pr} + \sum_{r=1}^{wa}\sum_{j=1}^{m} W^{rm}{}_{rj} * E^{rm}{}_{rj} * TC^{wm}{}_{rj}
\end{array}\right\}
\end{aligned}
\tag{3.1}
$$

Modelde birinci amaç fonksiyonunda sürdürülebilir tedarik zincirinin 3 temel halkasından biri olan ekonomik koşulunu sağlama amaçlı eşitlik (3.1)'de belirtilmiştir.

Bu amaçla, eşitsizlik (3.1)'de tesis açma maliyetleri kısmında dağıtım merkezinin, yetkili servisin, aktarma merkezinin açılması durumunda sabit açma maliyetlerini minimum yapılması amaçlı oluşturulmuştur. Üretime başlamak için gerekli olan birim ham madde satın alma maliyeti ve üretim maliyetleri minimizasyon şeklinde modele eklenmiştir.

Geri dönüşüm ve atık maliyet kısmı AEEE tesislerinde yapılan işlemlerden kaynaklı oluşan maliyetlerdendir. Geri dönüşüm maliyeti, AEEE işletme merkezlerine aktarılan ürünlerden kalite şartlarını sağlayan kısmın geri

dönüştürmenin toplam maliyetini minimuma indirgemeye çalışmaktadır. Atık maliyetler ise AEEE işletme merkezlerine aktarılan ürünlerin kalite standartlarını sağlamayan kısmının belirli bir maliyet unsuruna katlanarak yok etme işleminedir. Tüm bu maliyetler minimum yapılarak modele eklenir.

Diğer bir maliyet unsuru olarak taşıma maliyetleri karşımıza çıkmaktadır. İleri yönlü tedarikte taşımalar ham maddenin tedarikçiden alımından başlayıp müşteriye ulaştırılır. Sonrasında tersine lojistik işlemleriyle çeşitli toplama kanallarından geçerek üretim faaliyetlerine tekrar dahil olmasındaki maliyetlerin hepsi lojistik (taşıma) maliyetleri olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu maliyetlerin minimum yapılması eşitlik (3.1)'de ifade edilmiştir.

b- Çevresel Amaç Fonksiyonu;

Min OBJ_2:

$$\left\{\sum_{j=1}^{m}\sum_{k=1}^{w} Q_j * E^m{}_j * C^m{}_j + \sum_{p=1}^{t}\sum_{r=1}^{wa} T^w{}_{pr} * E^{wa}{}_{pr} * C^w{}_r\right\}$$
$$+\left\{\sum_{i=1}^{s}\sum_{j=1}^{m} S^m{}_{ij} * E^s{}_{ij} * CE^{sm}{}_{ij} + \sum_{j=1}^{m}\sum_{k=1}^{w} M^w{}_{jk} * E^w{}_{jk} * CE^{mw}{}_{jk}\right.$$
$$+\sum_{k=1}^{w}\sum_{l=1}^{d} W^d{}_{kl} * E^d{}_{kl} * CE^{wd}{}_{kl}$$
$$+\sum_{l=1}^{d}\sum_{m=1}^{b} D^b{}_{lm} * E^b{}_{lm} * CE^{db}{}_{lm} \qquad (3.2)$$
$$+\sum_{m=1}^{b}\sum_{n=1}^{a} B^a{}_{mn} * E^a{}_{mn} * CE^{ba}{}_{mn}$$
$$+\sum_{n=1}^{a}\sum_{p=1}^{t} A^t{}_{np} * E^t{}_{np} * CE^{at}{}_{np} + \sum_{p=1}^{t}\sum_{r=1}^{wa} T^w{}_{pr} * E^{wa}{}_{pr}$$
$$\left.* CE^{tw}{}_{pr} + \sum_{r=1}^{wa}\sum_{j=1}^{m} W^m{}_{rj} * E^{rm}{}_{rj} * CE^{wm}{}_{rj}\right\}$$

(3.2)'deki eşitlikte sürdürülebilirliğin ikinci amaç fonksiyonu olan çevresel boyut ele alınarak tesislede üretimden ve taşımalardan kaynaklanan CO_2 emisyonunun çevreye olan zararı minimum yapılmıştır.

Eşitlik (3.2)'de ilk olarakak; üretim ve geri dönüşüm tesislerindeki karbondioksit emisyonu kısmında üretim ve AEEE tesislerinde işçilerin işleme aldığı ürün miktarıyla üretiminden kaynaklı karbondioksit emisyonun çarpımının minimizasyonuyla sağlanır. İkinci olarak ise; taşımalar sırasında CO_2 emisyonun zincirin her bir kademesinde ürün akışından kaynaklı taşımaların çevreye olan zararını minimum yapmayı amaçlamaktadır.

c- <u>Sosyal Amaç Fonksiyonu</u>

Max OBJ_3:

$$\left\{\sum_{l=1}^{d} FJ^{d}{}_{l} * Z^{d}{}_{l} + \sum_{n=1}^{a} FJ^{a}{}_{n} * Z^{a}{}_{n} + \sum_{p=1}^{t} FJ^{t}{}_{p} * Z^{t}{}_{p}\right\}$$
$$+ \left\{\sum_{j=1}^{m} VJ^{m}{}_{j} * Q_{j} * E^{m}{}_{j} / CAP^{m}{}_{j} + \sum_{k=1}^{w}\sum_{j=1}^{m} VJ^{w}{}_{k} * M^{w}{}_{jk} * E^{w}{}_{jk} / CAP^{w}{}_{k}\right.$$
$$+ \sum_{l=1}^{d}\sum_{k=1}^{w} VJ^{d}{}_{l} * W^{d}{}_{kl} * E^{d}{}_{kl} / CAP^{d}{}_{l} + \sum_{l=1}^{d}\sum_{m=1}^{b} VJ^{b}{}_{m} * D^{b}{}_{lm} * E^{b}{}_{lm} / CAP^{b}{}_{m} \qquad (3.3)$$
$$+ \sum_{n=1}^{a}\sum_{m=1}^{b} VJ^{a}{}_{n} * B^{a}{}_{mn} * E^{a}{}_{mn} / CAP^{a}{}_{n} + \sum_{p=1}^{t}\sum_{n=1}^{a} VJ^{t}{}_{p} * A^{t}{}_{np} * E^{t}{}_{np} / CAP^{t}{}_{p}$$
$$\left. + \sum_{r=1}^{wa}\sum_{p=1}^{t} VJ^{wa}{}_{r} * T^{w}{}_{pr} * E^{wa}{}_{pr} / CAP^{wa}{}_{r}\right\}$$

Üçüncü amaç fonksiyonu olarak ise, sürdürülebilir tedarik zincirinin son halkası olan sosyal etki ele alınmıştır. Bu amaçlı eşitlik (3.3)'de belirtilen ifadelerin toplamının maksimumu modelin çözümüne eklenmiştir.

Eşitlik (3.3)'de potansiyel olarak açılabilecek işletmelerin açılması dâhilinde çalışacak sabit işçi sayısını ve değişken işçi sayıları ortaya konularak kapasiteden kaynaklı oluşacak istihdam atanmalarının doğru sağlanmasını maksimum yapılarak modele entegre edilmiştir.

$$\min Z = \mathrm{w}_1 * \mathrm{s}_1^{+} + \mathrm{w}_2 * \mathrm{s}_2^{+} + \mathrm{w}_3 * \mathrm{s}_3^{-} \qquad (3.4)$$

Hedef programlama modelinin amaç işlevi eşitlik (3.4)'te gösterilebilir. Amaç işlevi, minimumda bulmaya çalışan tek amaç fonksiyonlu modellerin optimal çözümünden ağırlıklı pozitif sapmaları (OBJ_1, OBJ_2) ve maksimumda bulmaya çalışan tek amaçlı modellerin optimal çözümünden ağırlıklı negatif sapmaları (OBJ_3) içerir.

3.2.4.5. Kısıtlar

$$\sum_{i=1}^{s} E^{s}_{ij} \geq VJ^{m}_{j} \forall \in j \text{ için} \quad (3.5)$$

Kısıt (5)'de *j* üretim tesisinde *i* tedarikçi için çalışan işçi sayısı, *j* üretim merkezinde üretim kapasitesinden kaynaklanan değişken işçi sayısı sonucu çalışabilecek işçi sayısından büyük olduğunu göstermektedir.

$$E^{m}_{j} \geq VJ^{m}_{j} \ \forall \in j \text{ için} \quad (3.6)$$

(3.6)'deki eşitsizlikte *j* üretim merkezinde üretim faaliyetleri için toplam çalışan kişi sayısı, *j* üretim merkezinde üretim kapasitesinden kaynaklanan değişken işçi sayısı sonucu çalışabilecek işçi sayısından büyük olması gerektiğini göstermektedir.

$$\sum_{j=1}^{m} E^{w}_{jk} \geq VJ^{w}_{k} \ \forall \in k \text{ için} \quad (3.7)$$

(3.7)'daki kısıtta da aynı şekilde *k* depolama alanlarında *j* üretim tesisi için çalışan toplam işçi sayısının, *k* depo alanında kapasiteden kaynaklanan değişken işçi sayısı sonucu çalışabilecek işçi sayısından büyük olduğunu göstermektedir.

$$\sum_{k=1}^{w} E^{d}_{kl} \geq VJ^{d}_{l} * Z^{d}_{l} \; \forall \in l \; için \tag{3.8}$$

(3.8)'deki kısıtta l dağıtım merkezlerinde k depolama alanları için çalışan işçi sayısı, l dağıtım kanalı bayilerde kapasiteden kaynaklanan değişken işçi sayısı sonucu çalışabilecek işçi sayısından büyük olduğunu göstermektedir.

$$\sum_{l=1}^{d} E^{b}_{lm} \geq VJ^{b}_{m} \; \forall \in m \; için \tag{3.9}$$

$$\sum_{m=1}^{b} E^{a}_{mn} \geq VJ^{a}_{n} * Z^{a}_{n} \; \forall \in n \; için \tag{3.10}$$

$$\sum_{n=1}^{a} E^{t}_{np} \geq VJ^{t}_{p} * Z^{t}_{p} \; \forall \in p \; için \tag{3.11}$$

$$\sum_{p=1}^{t} E^{wa}_{pr} \geq VJ^{wa}_{r} \; \forall \in r \; için \tag{3.12}$$

$$\sum_{j=1}^{m} E^{rm}_{rj} \geq VJ^{wa}_{r} \; \forall \in r \; için \tag{3.13}$$

(3.9)-(3.13) arasındaki kısıtlarda diğer kısıtlarda açıklanıldığı gibi tedarik zincirinin her bir kademesinde çalışan işçi sayısının, kapasiteden kaynaklı oluşabilecek değişken işçi sayılarından fazla olduğu belirtmek üzere konulmuş kısıtlardır.

$$\sum_{r=1}^{wa} W^{m}{}_{rj} * E^{rm}{}_{rj} + \sum_{i=1}^{s} S^{m}{}_{ij} * E^{s}{}_{ij} = Q_j * E^{m}{}_{j} \; \forall \in j \; için \tag{3.14}$$

Kısıt (3.14)'de kapalı döngü ağ yapısının bir gereği olan AEEE tesislerinden üretime katılan ürün miktarıyla tedarikçiden alınan ürün miktarının üretim kapasitesine eşit olduğunu ifade etme kısıtıdır.

$$Q_j * E^{m}{}_{j} = \sum_{k=1}^{w} M^{w}{}_{jk} * E^{w}{}_{jk} \; \forall \in j \; için \tag{3.15}$$

Kısıt (3.15)'de ve diğer (3.16)-(3.18) arasındaki kısıtlarda da tedarik zincirinde her bir kademde aktarılan ürün miktarında aktarımlardan kaynaklı herhangi bir kayıp olmadığı belirtmektedir.

$$\sum_{j=1}^{m} M^{w}{}_{jk} * E^{w}{}_{jk} = \sum_{l=1}^{d} W^{d}{}_{kl} * E^{d}{}_{kl} \; \forall \in k \; için \tag{3.16}$$

$$\sum_{k=1}^{w} W^{d}{}_{kl} * E^{d}{}_{kl} = \sum_{m=1}^{b} D^{b}{}_{lm} * E^{b}{}_{lm} \; \forall \in l \; için \tag{3.17}$$

$$\sum_{l=1}^{d} D^{b}{}_{lm} * E^{b}{}_{lm} * RR = \sum_{n=1}^{a} B^{a}{}_{mn} * E^{a}{}_{mn} \; \forall \in m \; için \tag{3.18}$$

Kısıt (3.18)'de müşterilerden geri yönlü tedarik zincirine dahil olacak ürünler geri dönüş oranıyla sisteme dahil olmaktadır.

$$\sum_{m=1}^{b} B^{a}{}_{mn} * E^{a}{}_{mn} = \sum_{p=1}^{t} A^{t}{}_{np} * E^{t}{}_{np} \ \forall \in n \ için \tag{3.19}$$

$$\sum_{n=1}^{a} A^{t}{}_{np} * E^{t}{}_{np} = \sum_{r=1}^{wa} T^{w}{}_{pr} * E^{wa}{}_{pr} \ \forall \in p \ için \tag{3.20}$$

$$\sum_{l=1}^{d} D^{b}{}_{lm} * E^{b}{}_{lm} \geq D_{m} \forall \in m \ için \tag{3.21}$$

Kısıt (3.19) ve (3.20)'de geri yönlü tedarik zincirinde aktarımdan kaynaklı herhangi bir kaybın olmadığını belirtmek amacıyla modele eklenmiştir.

Kısıt (3.21)'de dağıtım merkezlerinde müşteri bölgelerine dağıtılan ürünlerin toplamı müşteri taleplerinden fazla olduğunu göstermektedir.

$$\sum_{p=1}^{t} T^{w}{}_{pr} * E^{wa}{}_{pr} * b = \sum_{j=1}^{m} W^{m}{}_{rj} * E^{rm}{}_{rj} \forall \in r \ için \tag{3.22}$$

Kısıt (3.22)'de akışı sağlayabilmek amacıyla koyulan son kısıtta ise AEEE tesisine gelen ürünlerin kalite standartlarını sağlayan kısmı üretim tesisine aktarılan ürün miktarına eşit olduğunu gösterme amacıyla konulmuştur.

$$\sum_{l=1}^{d} Z^{d}{}_{l} \leq d_{l}^{max} \tag{3.23}$$

$$\sum_{n=1}^{a} Z^{a}{}_{n} \leq a_{n}{}^{max} \tag{3.24}$$

$$\sum_{p=1}^{t} Z^{t}_{p} \leq t_{p}^{max} \tag{3.25}$$

(3.23)-(3.25) arasındaki kısıtlarda potansiyel olarak açılabilecek dağıtım merkezi, yetkili servis ve aktarma merkezleri toplam açılabilecek sayılarını kısıtlama amaçlı modele eklenmiştir.

$$Z^{d}_{l,} Z^{a}_{n,} Z^{t}_{p} \in \{0,1\} \tag{3.26}$$

$$Z^{d}_{l,} Z^{a}_{n,} Z^{t}_{p,} E^{s}_{ij}, E^{m}_{j,} E^{w}_{jk,} E^{d}_{kl}, E^{a}_{mn,} E^{t}_{np,} E^{wa}_{pr}, E^{rm}_{rj} \geq 0 \text{ ve tam sayı} \tag{3.27}$$

(3.26)'da değişkenler ikili değişkenlerdir, yani 1 ile 0 arasında değerler almaktadır.

(3. 27)'da modelin bir tam sayılı doğrusal programlama modeli olduğunu belirtme ve karar değişkenlerinin negatif değerler almamalarını ifade etme amaçlı modele eklenmiş bir kısıttır.

3.2.5. Hedeflerin Ağırlıklandırılması

Çok kriterli karar verme yöntemi olan AHP, nitel kararları içeren karmaşık çok kriterli problemleri çözmek için oluşturulan bir karar hiyerarşik yaklaşımdır. Temel mantığında, en basit haliyle, hiyerarşik yapı bir sıralı bir hedef, kriter ve alternatif seviyeleri içermelidir. Her madde (kriter, alt kriter veya alternatif) daha sonra uygun bir ayrıntı düzeyine ayrılacaktır. Hiyerarşi oluştuktan sonra, karar vericiler her bir kriterin önemini matrislerde yapılandırılmış olan ikili karşılaştırmalar açısından değerlendirir. Bir kararın diğerine olan önemi karşılaştırılarak nihai puanlama gerçekleştirilmiş olur. AHP yöntemi ile karar verme konusunda tercih ölçeğinde hem öznel hem de nesnel değerlendirmeler sağlanılır. Buna ek olarak AHP, doğrudan sorgulama veya bir anket yöntemi kullanılarak karar

vericilerden kriterlere ait bilgi ve öncelik ağırlıklarının elde edilebildiği öznel bir metodolojidir (Calabrese ve ark., 2013).

Uzman karar vericilerin kararları ve tercihleri belirsizlikten ve tutarsızlıktan etkilenir, bu durumda dil yargısında kesin ve kesin sayıların kullanılması çok makul değildir. Araştırmacılar belirsizlikle başa çıkmak için, Üçgensel Bulanık Sayıları dilbilimsel kararları temsil etme amacıyla AHP yöntemine entegre ederek Bulanık AHP yöntemini geliştirmişlerdir. Bulanık AHP, kriterlerin ve alternatiflerinin bulanık ikili karşılaştırma matrislerinde oluşturulan üçgen bulanık sayıların dilbilimsel kararları dönüştürür. Bu matrisler daha sonra öğelerin nispi ağırlıklarını ve alternatiflerin sıralamasını oluşturma amacıyla işlenir (Çalık ve ark., 2018).

Bulanık AHP yöntemini için Chang'ın 1996 yılında karşılaştırma matrisini oluşturabilmek amacıyla üçgen bulanık sayıları kullanarak geliştirdiği ikili karşılaştırma ölçeği dikkate alınmıştır. Yöntemde, ikili karşılaştırmaların bulanık sentetik genişlik değerleri hesaplanmış ve daha sonra nispi ağırlıklar hesaplanmıştır.

Çizelge 3.1. Saaty ölçeği (Ji & Jiang, 2003)

Önem Derecesi	Tanım	Açıklama
1	Eşit önemli	İki kriterde eşit düzeyde önemlidir.
3	Orta derecede önemli	Tecrübe ve yargıya göre, bir kriter diğer kritere göre biraz daha fazla önemli olursa.
5	Kuvvetli derecede önemli	Tecrübe ve yargıya göre bir kriter diğer kriterden fazla önemli olursa.
7	Çok kuvvetli derecede önemli	Tecrübe ve yargıya göre bir kriter diğer kriterden daha fazla önemli olursa.
9	Kesin önemli	Tecrübe ve yargıya göre bir kriter diğer kriterden kesin önemli olursa.
2, 4, 6, 8	Ortalama değerler	1, 3, 5, 7 ve 9 da yer alan yargılar arasında uzlaşma gerektiğinde kullanılacak değerler.

3.2.5.1. Ana Kriter Ağırlıklandırılması

Uzman görüşlerden alınan sonuçların geomektrik ortalaması alınarak elde edilen ana kriterlere ait ikili karşılaştırma matrisi oluşturulmasıyla başlanır. BAHP yönteminde kullanılan bir kaç ölçek türü vardır. Bu çalışmada, Chang'in yöntemine göre belirlenen ölçek kullanılmış ve bu ölçek dereceleri aşağıdaki Çizelge 3.2'de verilmiştir.

Çizelge 3.2. Chang yöntemine göre bahp'de kullanılan ölçek (Kaptanoğlu,2006)

Sözel Önem	Bulanık Ölçek	Karşılık Ölçek
Eşit önemli	(1,1,1)	(1/1,1/1,1/1)
Biraz daha fazla önemli	(1,3,5)	(1/5,1/3,1/1)
Kuvvetli derecede önemli	(3,5,7)	(1/7,1/5,1/3)
Çok kuvvetli derecede önemli	(5,7,9)	(1/9,1/7,1/5)
Tamamıyla önemli	(7,9,9)	(1/9,1/9,1/7)

1) Genişletilmiş BAHP Algoritması

$X = \{x_1, x_2, \ldots x_n\}$ ölçüt (nesne) kümesi, $U = \{u_1, u_2, \ldots u_m\}$ amaç (hedef) kümesi olsun. Chang'in (Chang 1996) yöntemine göre, her bir ölçüt amacı gerçekleştirmek için ele alınır. Bu şekilde ikili karşılaştırma matrisi uygulanarak m tane genişletilmiş ya da mertebe analiz değerleri elde edilir. Bu değerler şu şekilde gösterilir (3.28).

$$M^1_{gi}, M^2_{gi}, \ldots, M^m_{gi}, \qquad i = 1,2, \ldots, n \tag{3.28}$$

Burada tüm M^j_{gi} 'ler üçgen bulanık sayılardır.

2) Bulanık Sentetik Değerin Bulunması

Bulanık sentetik değer S_i olarak ifade edilir. Nesneye göre bulanık sentetik boyutun değeri eşitlik (3.29)'daki şekilde tanımlanır.

$$S_i = \sum_{j=1}^{m} M^j_{gi} \left[\sum_{i}^{n} \sum_{j}^{m} M^j_{gi} \right]^{-1}, \quad (3.29)$$

Burada, $\sum_{j=1}^{m} M^j_{gi}$ değerini elde etmek için *j=1,2,...,m* tane mertebe analiz değerinin bulanık toplanması eşitlik (3.30)'daki şekilde ifade edilmiştir.

$$\sum_{j=1}^{m} M^j_{gi} = \left(\sum_{j=1}^{m} l_j, \sum_{j=1}^{m} m_j, \sum_{j=1}^{m} u_j \right); \quad (3.30)$$

(3.29)' deki denklemde $\left[\sum_i^n \sum_j^m M^j_{gi}\right]^{-1}$ elde etmek için $M^j_{gi}\ (j = 1,2,\dots,m)$ değerleri için bulanık toplama işlemi gerçekleştirilir. Bulanık toplama yapılan denklemin tersi alma işlemi yapılırsa;

$$\left[\sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{m} M^j_{gi} \right]^{-1} = \left(\frac{1}{\sum_{i=1}^{n} u_i}, \frac{1}{\sum_{i=1}^{n} m_i}, \frac{1}{\sum_{i=1}^{n} l_i} \right) \quad (3.31)$$

eşitlik (3.31)'deki ifade elde edilir (Bulut, 2012).

Bu aşamadan sonra elde edilen bulanık sayıların sıralanması yapılır. Üçgen bulanık sayıları sıralamada birçok metot vardır. Bunlardan bazıları;

- Chang Yöntemi
- Liou ve Wang Yöntemi
- Abdel-Kader ve Dugdale Yöntemi
- Kareli Ortalama Yöntemi
- Kwong-Bai Yöntemi

dir. Bu çalışmada üçgen bulanık sayıların sıralanmasında "Kwong-Bai Yöntemi" ile çözüm yöntemi kullanılımıştır (Şengül, 2012).

3) Üçgen Bulanık Sayıları Sıralanması Kwong-Bai Yöntemi

Kwong ve Bai üçgen bulanık sayıları sıralamak için aşağıdaki denklem (3.32)'yi kullanılmıştır. M_g= (l,m,u) üçgen bulanık sayı olmak üzere,

$$M_g = \frac{l + 4m + u}{6} \tag{3.32}$$

şeklinde sıralama yapılmış olunur. Bu işlem sayesinde durulaştrma yapılarak bulanık küme tek bir ağırlık vektörüne dönüştürülmüş olunur (Kwong, 2003).

4) Normalizasyon

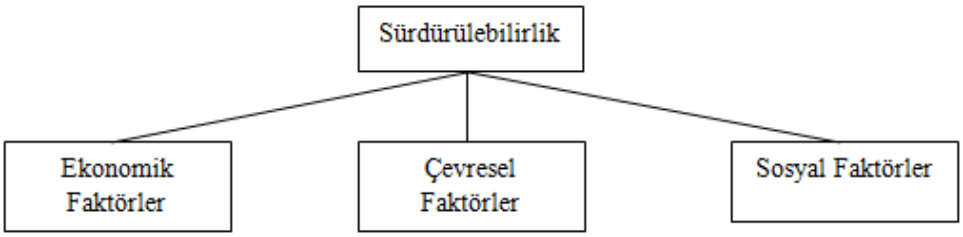
Hesaplanan ağırlık vektörü j. sütununun her elemanı bu sütunun tüm elemanlarının toplamına bölünerek normalizasyon işlemi yapılarak bulanık olmayan W vektörüne ulaşılmış olunur (3.33).

$$w_i = \frac{M_g}{\sum_{i=1}^{n} M_g} \tag{3.33}$$

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Sürdürülebilirlik Kriterlerinin Belirlenmesi

Bu çalışmada tedarik zincirinin üç temel halkası olan ekonomik, çevresel ve sosyal hedefler kendi içerisinde bulanık AHP yöntemi kullanılarak ağırlıklandırılmıştır. Bu kriterleri ağırlıklandırırken sürdürülebilir tedarik zinciri ilkelerini bilen akademisyen, sektörün içerisinden bir yönetici ve işveren bakış açılarını dikkate alarak üç farklı perspektif incelenmiştir.



Şekil 4.1. Sürdürülebilirlik ana kriterleri

4.1.1. Sürdürülebilirlik Kriterlerinin Önem Seviyesinin Belirlenmesi

Sürdürülebilirlik için belirlenen kriterler şekil 4.1'de verilmiştir. Bu kriterler literatür araştırmasında elde edilen sonuçlar doğrultusunda oluşturulmuştur. Kriterlerin önem seviyesini belirlerken BAHP analizini yaparken anket sonuçlarının analizinde uzman görüşlerinin grup yargısına dönüştürülmesi için en iyi çözüm, uzman görüşlerinin geometrik ortalamasının alınmasıdır (Saaty, 2008). Bu nedenle uzman görüşlerinin geometrik ortalama alınarak birleştirilmiştir.

Önceki bölümde açıklanan hedeflerin ağırlıklandırılması kısmının ilk adımı olan BAHP algoritması yapısına göre ana kriterlere ait ikili karşılaştırma matrisi Çizelge 4.1'de oluşturulmuştur.

Çizelge 4.1**. Ana kriterlere ait ikili karşılaştırma matrisi**

Ana Kriterler	Maliyet	Çevre	Sosyal
Maliyet	(1, 1, 1)	(1, 1.33, 2.08)	(3.27, 5.74, 7.40)
Çevre	(0.48, 0.75, 1)	(1, 1, 1)	(2.47, 4.72, 6.80)
Sosyal	(0.14, 0.17, 0.31)	(0.15, 0.21, 0.41)	(1, 1, 1)

Ana kriterlere ait ikili karşılaştırma matrisi oluştuktan sonra sıradaki adım sentetik değerlerin oluşturulmasıdır. S_i olarak ifade edilen sentetik değer ikili karşılaştırma matrisinde bulunan her bir ana kriterin (l, m, u) değerleri üçgensel bulanık sayılarda toplama işlemi prensiplerine göre önce satır daha sonra da sütun bazında toplanır.

Maliyet ana kriterine ait satır toplamını örnek olarak gösterirsek;

$$\sum_{j=1}^{m} l_j = (1+1+3.27)=5.271$$

$$\sum_{j=1}^{m} m_j = (1+1.33+5.74)=8.065$$

$$\sum_{j=1}^{m} u_j = (1+2.08+7.40)=10.479$$

şeklindedir. Diğer çevresel ve sosyal ana kriterleri de bu mantıkta bulunduktan sonra sütunsal olarak toplamları alınmış Çizelge 4.2'de belirtildiği şekildedir.

Çizelge 4.2. İkili karşılaştırma matrisi satır ve sütun değerleri toplamı

	$\sum_{j=1}^{m} l_j =$	$\sum_{j=1}^{m} m_j =$	$\sum_{j=1}^{m} u_j =$
Maliyet	5,271	8,065	10,479
Çevresel	3,947	6,472	8,804
Sosyal	1,282	1,386	1,711
$\sum_{i=1}^{3}\sum_{j=1}^{3} M_{gi}$	**10,50**	**15,92**	**20,99**

Maliyet ana kriterine ait bulanık sentetik değer hesabı üçgensel bulanık sayılarda çarpma ve tersini alma işlemleri aşağıdaki şekilde yapılmıştır.

$S_{maliyet}$= (5,271; 8,065; 10,479) © (10,50; 15,92; 20,99)$^{-1}$

$S_{maliyet}$= (5,271/20,99; 8,065/15,92; 5,271/10,50)

$S_{maliyet}$=(0,25; 0,51; 1)

Çevre ana kriterine ait bulanık sentetik değer:

$S_{çevre}$=(3,947; 6,472; 8,804)© (10,50; 15,92; 20,99)$^{-1}$

$S_{çevre}$=(3,947/20,99; 6,472/15,92; 8,804/10,50)

$S_{çevre}$=(0,19; 0,41; 0,84)

Sosyal ana kriterine ait bulanık sentetik değer:

S_{sosyal}=(1,282; 1,386; 1,711)© (10,50; 15,92; 20,99)$^{-1}$

S_{sosyal}=(1,282/20,99; 1,386/15,92; 1,711/10,50)

S_{sosyal}=(0,06; 0,09; 0,16)

Hesaplanan sentetik değerlere ait özet Çizelge 4.3'de verilmiştir.

Çizelge 4.3**.** Ana kriterlere ait sentetik değerler

	(*l, m, u*)
$S_{maliyet}$	(0.25, 0.51, 1.00)
$S_{çevre}$	(0.19, 0.41, 084)
S_{sosyal}	(0.06, 0.09, 0.16)

Sürdürülebilirlik ana kriterlerine ait sentetik değerlerden sonra bulanık sayıların sıralanması yapılır. Sıralama işlemi için de Kwong-Bai yöntemi tercih edilmiştir.

$$M_{maliyet} = \frac{(0.25 + 0.51 * 4 + 1)}{6} = 0.55$$

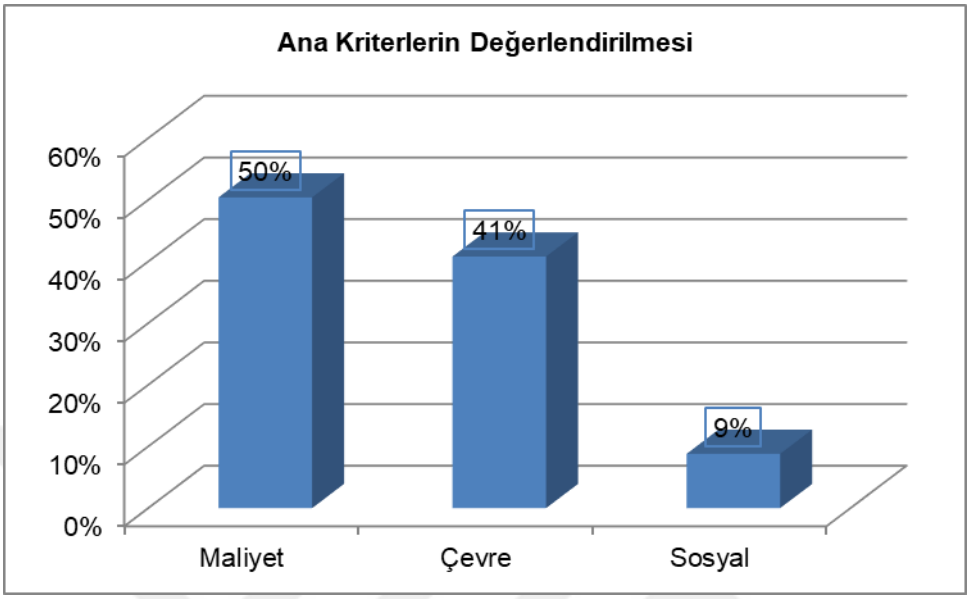
$$M_{çevre} = \frac{(0.19 + 0.41 * 4 + 0.84)}{6} = 0.44$$

$$M_{sosyal} = \frac{(0.06 + 0.09 + 0.16)}{6} = 0.10$$

Bulanık sayıların sıralanması yukarıdaki belirtilen şekildedir. Bundan sonraki adımda ise normalizasyon işlemi yaparak her bir ana kritere ait ağırlık vektörü elde edilmiş olunur.

Maliyet etkisi için ağırlık katsayısı=0,55/(0,55+0,44+0,10)=0,55/1,08=0,50
Çevresel etki için ağırlık katsayısı=0,44/(0,55+0,44+0,10)=0,44/1,08=0,41
Sosyal etki için ağırlık katsayısı=0,10/(0,55+0,44+0,10)=0,09

şekilnde hesaplanmış olunur.



Şekil 4.2. Sürdürülebilirlik ana kriterlerin bahp değerlendirilmesi

BAHP adımları uygulanıp Kwong-Bai yöntemi ile sıralanan bulanık sayılar normalizasyon işlemi de yapıldıktan sonra aşağıdaki şekil 4.2'de görünen değerler elde edilir. Burada 0,50 ile en önemli kriter olarak maliyet; 0,41 oranı ile çevresel faktörler ve 0,09 ile en az etkiye sahip sosyal faktörler sürdürülebilirlik üzerinde etkiye sahip olduğu belirlenmiştir.

4.2. Ele Alınan Problemin Çözümüyle Modelin Test Edilmesi

Bu bölümde sürdürülebilir tedarik zinciri ağ modellemesi için geliştirilen karma tam sayılı model sonuçları sunulmuştur.

Problemin ölçülebilirliğini ifade etme amacıyla belirli parametreler oluşturularak analiz edilmiştir. Bu parametrelerden toplam çalışan sayısı, toplam yeni açılan potansiyel işletme sayısı, yeni açılan yerlerde çalışacak kişi sayısı ve OBJ_3 amaç fonksiyonu sürdürülebilirliğin sosyal boyutunu ortaya koyabilmek amacıyla oluşturulmuştur. Toplam geri dönüşümle akışa kazandırılan miktar, üretim faaliyetlerindeki CO_2 miktarı, taşımalar sırasındaki ortalama CO_2 miktarı ve OBJ_2

amaç fonksiyonu sürdürülebilirliğin çevresel boyutunu görebilmek amacıyla konulmuş parametrelerdir. Toplam akış miktarı, tesis açma maliyeti, satın alma maliyeti, üretim maliyeti, geri dönüşüm maliyeti, atık maliyeti, taşıma maliyeti, ortalama taşıma maliyeti, OBJ_1 fonksiyonu sürdürülebilirliğin en temel faktörü olan maliyet boyutunu anlamlandırabilmek amacıyla konulmuştur. *Z* amaç fonksiyonu ise sürdürülebilirliğin bütün faktörlerini dikkate alarak en küçükleme amacıyla çözüme eklenmiştir.

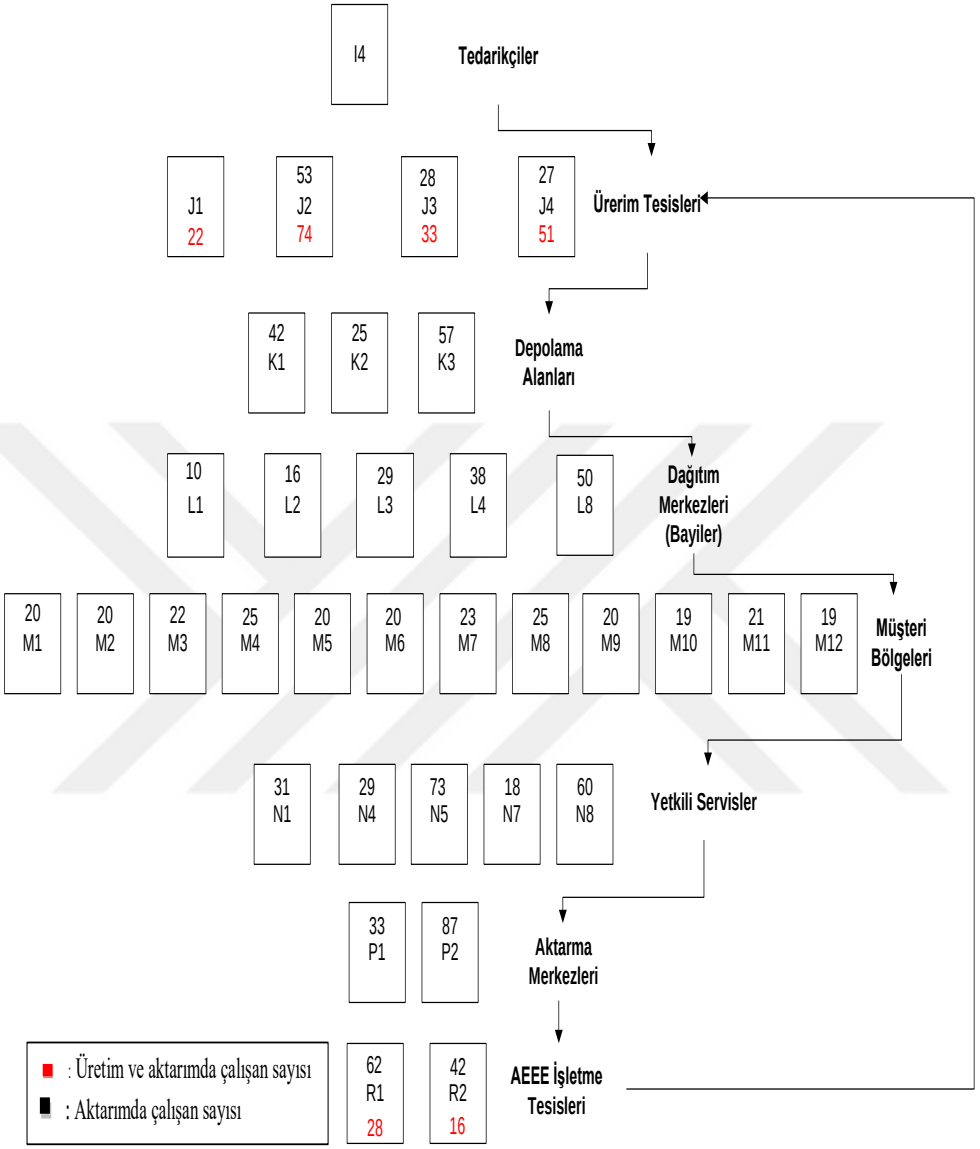
Oluşturulan matematiksel model, Intel 3.6 GHz işlemcili ve 32 GB RAM'li bir bilgisayarda GAMS yazılımı ile amaç fonksiyonundaki katsayılar 4.1'de hesaplandığı şekilde çözülmüş ve analiz edilmiştir.

Çalışmada alınan problemler;

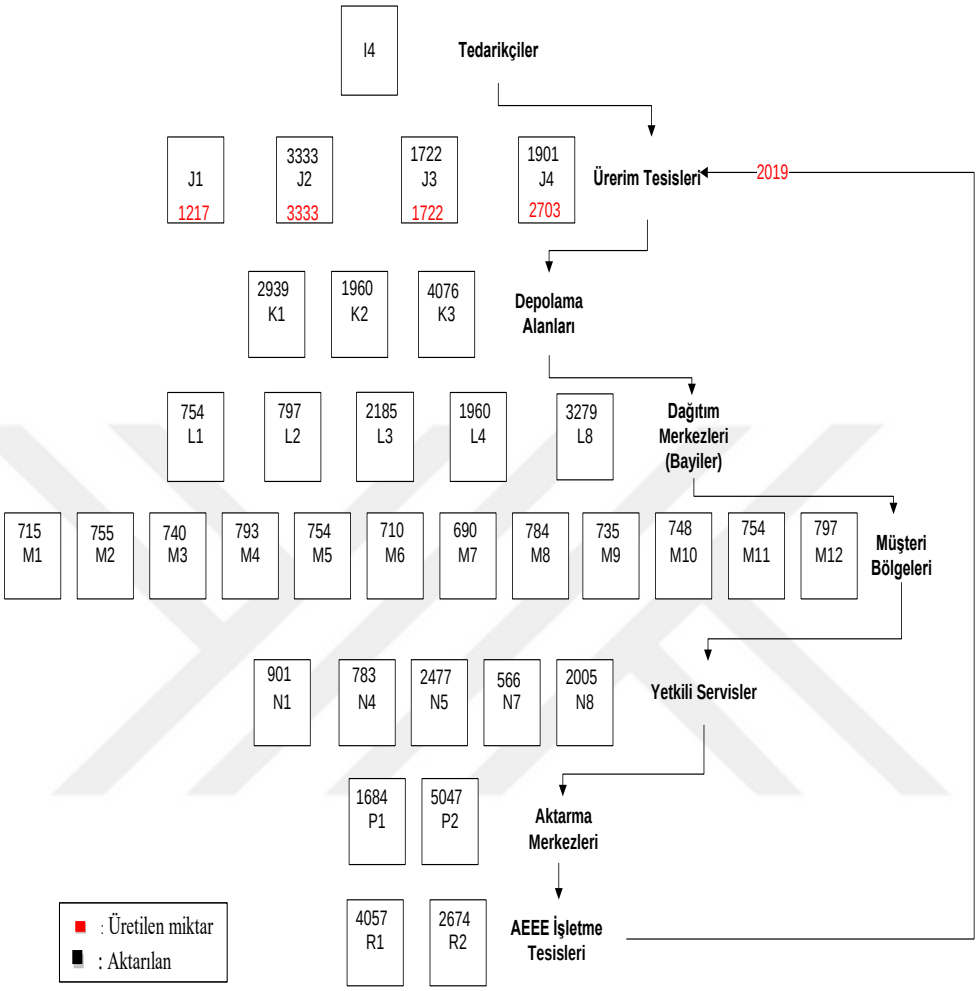
- 8 tedarikçi
- 4 üretim merkezi
- 3 depolama alanı
- 8 dağıtım merkezi (bayi)
- 12 müşteri bölgesi
- 8 yetkili servis
- 2 aktarma merkezi
- 3 AEEE tesisinden oluşmaktadır.

4.2.1. 1. Veri Seti Çözümü ve Senaryo Analizi

Ek-1'de kısa istatistiksel bilgileri veriler değerlerle ele alınan problem model üzerinde çözülmüş ve analizleri aşağıda açıklanmıştır.



Şekil 4.3. Çalışmanın 1. veri setinin mevcut durumda tedarik zincirinin her bir tesisinde çalışan işçi sayıları gösterimi



Şekil 4.4. Çalışmanın 1. veri setinin mevcut durumda tedarik zincirinin her bir tesisinde aktarılan ürün miktarı gösterimi

Problemde karar değişkenleri olan her bir kademedeki çalışan işçi sayılarının ağ üzerinde gösterimi şekil 4.3'te belirtilmektedir. Aktarılan ürün miktarları ise şekil 4.4'teki ağ üzerinde yer almaktadır. Ek-1'de kısa istatistiksel değerleri verilen veriler doğrultusunda tek bir tedarikçi, 2., 3. ve 4. üretim tesisine ürün tedariki yapmaktadır. Üretim tesislerinde üretilen ürünler belirlenen 3 depolama alanına aktarılır ve 1, 2, 3, 4, 8 noktalarındaki dağıtım kanallarına iletilir. Bayilerde sonraki kademe ise müşteri bölgeleridir. Dağıtım kanalından her bir

müşteri bölgesi olan perakendeci noktasına ürünler çalışan işler tarafından iletilir. Müşteri bölgelerinden çeşitli nedenlerden dolayı ömrü tamamlan ürünler yetkili servislere iletilir. Ek-1'de kısa istatistiksel bilgileri verilen veriler doğrultusunda 1, 4, 5,7 ve 8 noktalarındaki potansiyel yetkili servisleri aktif olarak ağda yer almaktadır. Yetkili servislerde toplanan ürünler potansiyel lokasyona sahip olan aktarma merkezine iletilir. Eldeki veriler doğrultusunda potansiyel 2 aktarma merkezinin ikisi de aktif haldedir. Aktarma merkezinden sonra ağ üzerindeki son tesis olan AEEE tesisine ürünler iletilir ve geri dönüşüm işlemlerine tabi tutularak üretim tesislerine kazandırılır.2019 br ürün üretim tesisine kazandırılmıştır. Bu kazandırılan ürünler 1. ve 4. üretim tesisinde işleme alınmıştır. Şekil 4.4'teki ağ üzerinde müşteriye iletilen ürünleri %75'i geri toplanarak yetkili servislere iletildiği görülmektedir.

Ele alınan problemin çözümü incelendiğinde mevcut durumda incelenen parametrelerin sonuçları Çizelge 4.4'te belirtilmiştir.

Çizelge 4.4. Çalışmanın 1. veri setinin mevcut durum analizi

Mevcut Durum Analizi	
Toplam Çalışan Sayısı (P1)=	1.110
Toplam Açılan Potansiyel İşletme Sayısı (P2)=	12
Toplam Akış Miktarı (P3)=	108.957
Toplam Geri Dönüşümle Akışa Kazandırılan Miktar (P4)=	2.019
Yeni Açılan Yerlerde Çalışacak Kişi Sayısı (P5)=	580
Tesis Açma Maliyeti (P6)=	19.460
Satınalma Maliyeti (P7)=	1.565.015,6
Üretim Maliyeti (P8)=	1.947.909,3
Geri Dönüşüm Maliyeti (P9)=	449.407,94
Atık Maliyeti (P10)=	1.002.532,4

Çizelge 4.4 devamı

Ortalama Taşıma Maliyeti (P11)=	186.019,86
Üretim Faaliyetlerindeki CO_2 Miktarı (P12)=	594.316,09
Taşımalar Sırasındaki Ortalama CO_2 Miktarı (P13)=	122.178,06
OBJ_1 (P14)=	3.236.242
OBJ_2 (P15)=	644.413,63
OBJ_3 (P16)=	251
Z (P17)=	3.880.906,7

Problemde belirlenen karar değişkenleri ve incelenen parametreler doğrultusunda tüm tedarik zincirleri boyunca toplam çalışan sayısı 1110 kişi olduğu görülürken potansiyel açılabilecek işletmelerde çalışan kişi sayısı 580 olarak belirlenmiştir. Bu oran incelendiğinde tüm çalışanların yarısından daha fazlasının potansiyel işletmelerde çalışan kişilerden oluştuğu görülmektedir. Sürdürülebilir tedarik zinciri stratejik kararları doğrultusunda potansiyel olarak tedarik ağına dahil olan işletme sayısı 12 olması da istihdamın arttırma hedefini sağladığını ortaya koymaktadır. Maliyet kalemleri incelediğinde en büyük maliyet unsuru olarak üretim maliyetleridir. Diğer maliyetler satın alma ve taşıma maliyetleridir. CO_2 miktarları incelenecek olursa üretim faaliyetlerinde oluşan CO_2 miktarları çevresel etki amaç fonksiyonun büyük bir kısmını oluşturur. Amaç fonksiyonları incelendiğinde BAHP'de çıkan önem seviyeleri doğrultusunda ve kullanılan veriler ışığında *Z* amaç fonksiyonu üzerinde en çok etkisi olan faktör maliyet boyutu görülürken sonrasında çevresel etki ve sosyal faktörler amaç fonksiyonu gelmektedir.

Model faklı koşullar altında çözümlenmiştir. Bu koşullar her bir kademedeki kapasite değerleri, kapasiteden kaynaklanan değişken işçi sayısı, maliyet unsurları (satın alma, üretim, geri dönüşüm, bertaraf maliyeti), CO_2 miktarı (her bir kademedeki taşıma sırasındaki ve üretimlerdeki CO_2 miktarları), bir işçinin aktarabileceği iş miktarı ve müşteri taleplerinin değişkenliği altında incelenmiş ve

bu değerler Çizelge 4.5-4.6'da verilmiştir. Tüm bu değişkenlikler ve parametreler aşağıda daha detaylı açıklanmaya çalışılmıştır. Çizelge 4.7'de ise çalışmanın 1. Veri setine dair belirlenen parametrelerin değişen koşullar ve mevcut durumdaki istenilen değerlerinin sıralamasının anlatıldığı bir Çizelge yer almaktadır.

Kapasite ±%30 değişkenliği doğrultusunda parametreler incelenirse; çalışan sayısı, potansiyel işletme sayısı, akış miktarı, geri dönüşümle kazandırılan miktar, maliyet kalemleri, CO_2 miktarları mevcut duruma göre azaldığı görülmüştür. Kapasitenin %30 artması veya azalması diğer parametreler üzerinde bir etkisi olmazken sadece OBJ_3 amaç fonksiyonunda etkili olduğu görülmüştür. Her bir kademedeki kapasite değerleri %30 azalırsa sosyal etkiyi belirleme amacıyla modele eklenen amaç fonksiyonunun değeri arttığı görülmüştür.

Kapasiteden kaynaklanan değişken işçi sayısı ±%30 değişkenliği doğrultusunda mevcut duruma göre çalışan sayısı, potansiyel işletme sayısı, akış miktarı, geri dönüşümle kazandırılan miktar, maliyet kalemleri, CO_2 miktarları azaldığı görülmüştür. Kapasiteden kaynaklanan değişken işçi sayısı %30 artması durumda çalışacak işçi sayısı, azalması durumuna göre daha fazla iken açılan potansiyel işletme sayısı da daha azdır. Satın alma maliyeti ve geri dönüşüme kazandırılan ürün miktarı kapasiteden kaynaklanan değişken işçi sayısının ±%30 değişimi ile değişiklik göstermez iken üretim(atık ve yeniden üretme maliyetleri dahil) kapasiteden kaynaklanan değişken işçi sayısının %30 artması durumunda daha fazla değerlere sahiptir. Maliyet unsuru olarak sadece taşıma maliyetinde kapasiteden kaynaklanan değişken işçi sayısının %30 azalması durumunda artmasına göre bir azalma mevcuttur. CO_2 miktarı kapasiteden kaynaklanan değişken işçi sayısının azalması durumunda aktarılan ürün miktarının artmasına paralel olarak arttığı görülmektedir. Üretim faaliyetlerindeki CO_2 miktarı kapasiteden kaynaklanan değişken işçi sayısının artması durumda azalmasına göre daha fazla olduğu görülmektedir.

Maliyet değişkenliği doğrultusunda parametreler incelenirse; Mevcut duruma göre maliyetlerin %30 artması dahilinde çalışan işçi sayısı, açılan işletme sayısı, toplam akışta aktarılan ürün miktarı, geri dönüşümle akışa kazandırılan ürün miktarı ve maliyet unsurlarından satın alma, üretim, geri dönüşüm, atık maliyet, yeniden işlem maliyetinde azalmak görülmektedir. Maliyet unsurlarından sadece talebi karşılama anlamında açılacak potansiyel işletme tesislerinin tesis açma maliyetinde artış vardır. CO_2 miktarlarında aktarılan ürün miktarı ve üretilen ürün miktarlarında azalma olduğu için maliyetlerin %30 artması durumda CO_2 miktarları da azalmaktadır. Maliyetler %30 azalması durumda %30 artmasına göre akışa dahil olan işletme sayısı ve akışa yeniden kazandırılan ürün miktarı değişmez iken çalışan işçi sayısı artmaktadır.

CO_2 miktarlarının değişkenlikleri doğrultusunda parametreler incelenirse; mevcut duruma göre tüm parametrelerde azalma olduğu görülür. CO_2 miktarlarının azalması durumda çalışacak işçi sayısında artma görülür. Potansiyel işletme sayısı, akış miktarı ve maliyet unsurları değişmediği görülmektedir. CO_2 miktarlarının azalması durumda ikinci amaç fonksiyonu olan OBJ_2'nin azaldığı ve sürdürülebilirliğin çevresel boyutunda iyileştirme gösterdiği görülmektedir.

Her bir kademedeki bir işçinin aktarabileceği ürün miktarları %20 artması ve azalması değişkenlikleri altından parametreler incelenirse; Mevcut duruma göre tüm parametrelerde azalma olduğu görülmektedir. Bir işçinin aktarabileceği ürün miktarının azalması durumunda daha çok işçi çalışmakta akışta daha çok ürün yer almakta ve açılan tesis sayısı daha fazla olduğu görülmektedir. CO_2 miktarlarının üretim faaliyetlerindeki değeri 100 br azaldığı görülürken ve taşımlar sırasındaki değerlerinin 20 br arttığı görülmektedir. Akıştaki ürün miktarının artması doğrultusunda maliyet unsurlarından sadece satın alma maliyeti değişmez iken diğer maliyet unsurlarının arttığı görülmektedir.

Talep $\pm$%10 değişkenliği altında arttırılması durumunda belirlenen her türlü parametrenin arttığı görülmektedir. Azaltılması durumunda toplam akış miktarı ve üretime geri dönüşümle kazandırılan ürün miktarında azalma olduğu görülmektedir.

Talep arttırıldığında parametrelerin arttığı görülmektedir. Yani sosyal etki olumlu için belirlenen amaç fonksiyonu olumlu etkilenirken, çevresel ve sosyal etki için belirlenen amaç fonksiyonları olumlu etkilenmediği görülmektedir. Talep değişkenliği %10'un üzerine çıkıldığında model sonuç vermemektedir.

Çizelge 4.5. Çalışmanın 1. veri setinin parametrelerinin değişen koşullar altında durum analizi-1

Parametreler	Mevcut Durum	Kapasite %30 Artarsa	Kapasite %30 Azalırsa	Değişken İşçi Sayısı % 30 Artarsa	Değişken İşçi Sayısı % 30 Azalırsa	Maliyetler %30 Artarsa	Maliyetler %30 Azalırsa
P1=	1.110	732	732	734	725	730	733
P2=	12	9	9	8	10	10	10
P3=	108.957	59.315	59.315	59.314	60.095	62.695	55.937
P4=	2.019	1.390	1.390	1.390	1.390	1.390	1.390
P5=	578	252	252	221	268	272	272
P6=	19.460,00	15.131,00	15.131,00	13.386,00	16.600,00	20.949,50	11.280,50
P7=	1.565.015,63	498.027,40	498.027,40	498.027,40	498.027,40	1.400.702,06	760.928,40
P8=	1.947.909,30	1.272.874,00	1.272.874,00	1.272.874,00	1.309.337,30	1.654.736,20	891.011,80
P9=	449.407,94	298.909,13	298.909,13	298.909,13	303.760,20	388.581,86	209.236,39
P10=	1.002.532,36	674.746,80	674.746,80	674.746,80	681.895,76	877.170,84	472.322,76
P11=	186.019,86	102.886,72	102.886,72	102.828,87	102.351,54	166.954,39	89.922,57
P12=	594.316,09	426.351,00	426.351,00	426.351,00	414.332,67	426.351,00	426.351,00
P13=	122.178,06	82.843,99	82.843,99	82.901,84	83.084,35	83.253,84	81.958,53
P14=	3.236.242,03	1.791.391,03	1.791.391,03	1.790.287,15	1.814.216,49	2.838.887,78	1.532.080,20
P15=	644.413,63	446.532,21	446.532,21	446.721,94	442.393,06	447.876,50	443.627,88
P16=	251	130	222	179	110	169	170
P17=	3.880.906,66	2.238.053,05	2.238.144,88	2.237.188,19	2.256.719,49	3.286.933,47	1.975.878,24

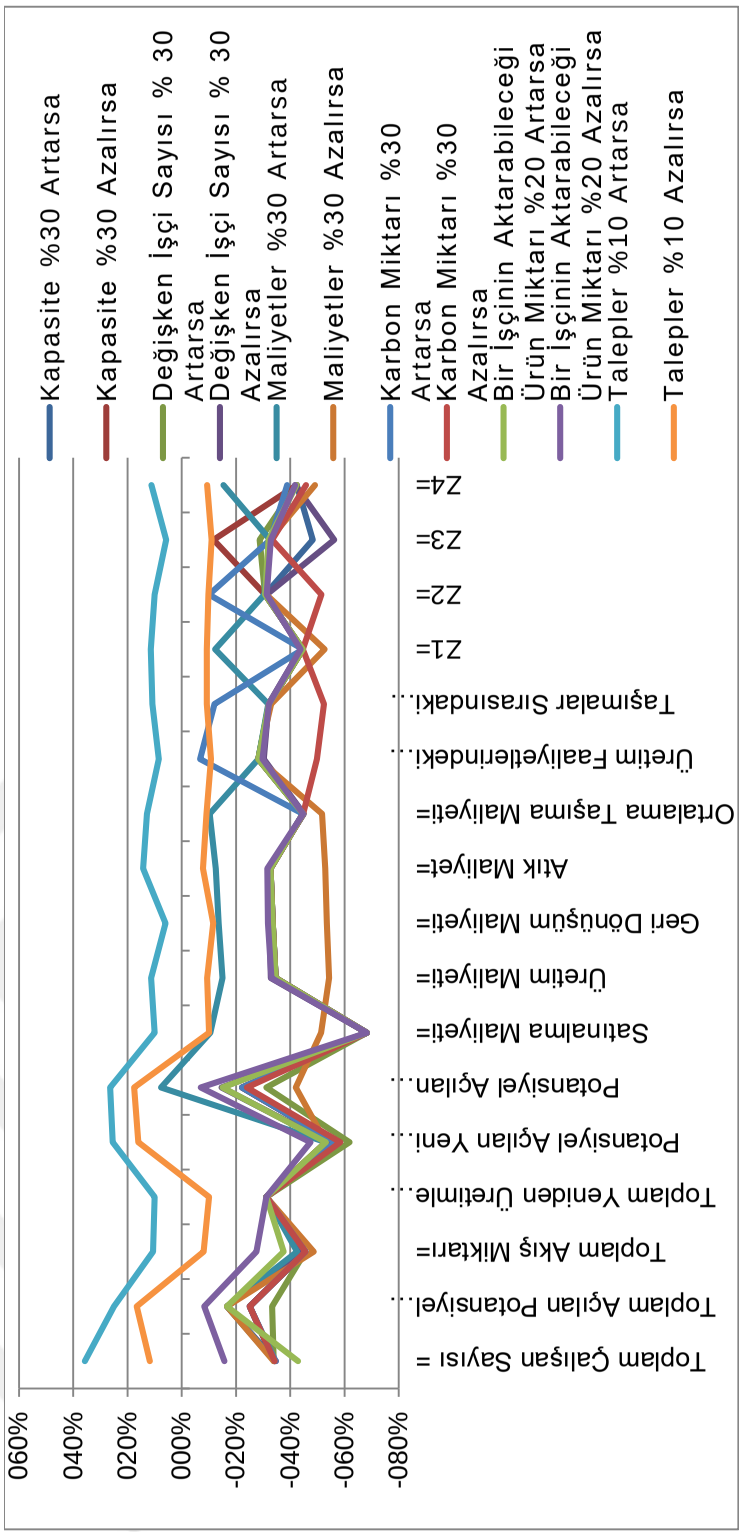
Çizelge 4.6. Çalışmanın 1. veri setinin parametrelerinin değişen koşullar altında durum analizi-2

Parametreler	Mevcut Durum	Karbon Miktarı %30 Artarsa	Karbon Miktarı %30 Azalırsa	Bir İşçinin Aktarabileceği Ürün Miktarı %20 Artarsa	Bir İşçinin Aktarabileceği Ürün Miktarı %20 Azalırsa	Talepler %10 Artarsa	Talepler %10 Azalırsa
P1=	1.110	726	730	634	935	1.506	1.240
P2=	12	9	9	10	11	15	14
P3=	108.957	59.315	59.315	68.065	78.962	120.459	100.180
P4=	2019	1.390	1.390	1.390	1.390	2.221	1.817
P5=	578	252	241	272	305	728	673
P6=	19460	15.131,00	14.800,00	16.545,00	18.090,00	24.597,00	22.870,00
P7=	1565015,63	498.027,40	498.027,40	498.027,40	498.027,40	1.721.517,2	1.408.514,06
P8=	1947909,3	1.272.874,	1.272.874,0	1.272.874,0	1.302.953,80	2.168.030,5	1.765.747,77
P9=	449407,94	298.909,13	298.909,13	298.909,13	306.798,46	476.419,66	397.544,04
P10=	1002532,36	674.746,80	674.746,80	674.746,80	686.373,18	1.145.781,6	924.701,48
P11=	186019,86	824.740,76	821.868,37	822.630,98	821.832,00	1.678.682,4	1.352.839,51
P12=	594316,09	103.092,60	102.733,55	102.828,87	102.729,00	209.835,30	169.104,94
P13=	122178,06	107.429,55	58.153,87	82.901,84	82.921,45	135.463,66	110.890,05
P14=	3236242,03	1.792.214,54	1.790.612,85	1.791.866,65	1.817.037,42	3.607.514,2	2.936.108,43
P15=	644413,63	579.614,00	313.107,44	446.721,94	443.001,03	708.571,03	581.060,97
P16=	251	169	168	171	169	265	223
P17=	3880906,66	2.371.997,74	2.103.887,84	2.238.759,36	2.260.207,11	4.316.350,5	3.517.392,80

Çizelge 4. 7. Çalışmanın 1. veri setindeki parametrelerin değişen koşullar altında kıyaslayarak sıralanması

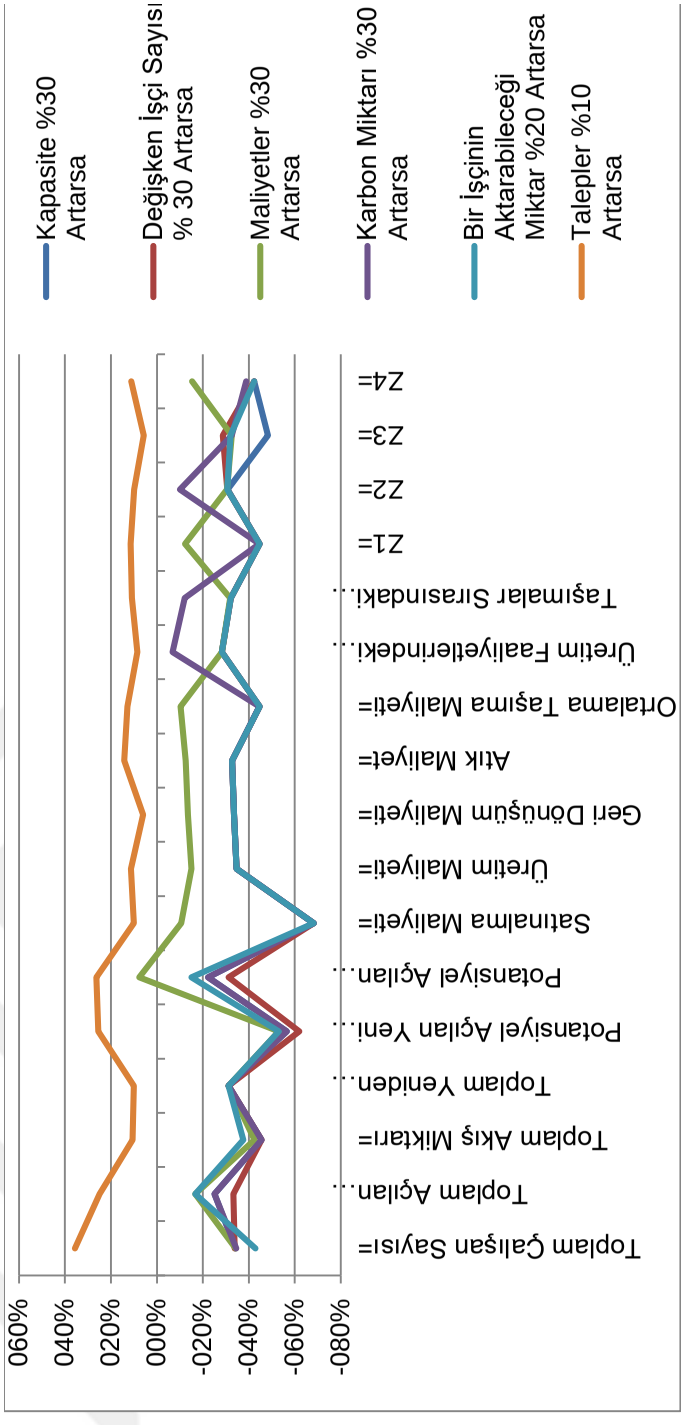
	1. Mevcut Durum	Kapasite %30 Artarsa	Kapasite %30 Azalırsa	Değişken İşçi Sayısı % 30 Artarsa	Değişken İşçi Sayısı % 30 Azalırsa	Maliyetler %30 Artarsa	Maliyetler %30 Azalırsa	Karbon Miktarı %30 Artarsa	Karbon Miktarı %30 Azalırsa	Bir İşçinin Aktarabileceği Miktar %20 Artarsa	Bir İşçinin Aktarabileceği Miktar %20 Azalırsa	Talepler %10 Artarsa	Talepler %10 Azalırsa
Toplam Çalışan Sayısı =	2	7	7	5	12	10	6	11	9	13	4	1	3
Toplam Açılan Potansiyel İşletme Sayısı=	3	9	9	13	5	5	5	9	9	5	4	1	2
Toplam Akış Miktarı=	2	8	8	12	7	6	13	8	8	5	4	1	3
Toplam Yeniden Üretimle Akışa Kazandırılan Miktar=	2	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	1	3
Potansiyel Açılan Yeni İşletmelerde Çalışacak Kişi Sayısı=	3	9	9	13	8	5	5	9	12	5	4	1	2
Potansiyel Açılan Tesislerin Açma Maliyeti=	10	4	4	2	8	11	1	4	3	7	9	13	12
Satınalma Maliyeti=	12	1	1	1	1	10	9	1	1	1	1	13	11
Üretim Maliyeti=	12	2	2	2	9	10	1	2	2	2	8	13	11
Geri Dönüşüm Maliyeti=	12	2	2	2	8	10	1	2	2	2	9	13	11
Atık Maliyet=	12	2	2	2	8	10	1	2	2	2	9	13	11
Ortalama Taşıma Maliyeti=	7	4	4	3	2	6	1	11	9	10	8	13	12
Üretim Faaliyetlerindeki Toplam Co2 Miktarı=	13	8	8	8	7	8	8	4	2	3	1	6	5
Taşımalar Sırasındaki Ortalama Co2 Miktarı=	12	3	3	5	8	9	2	10	1	5	7	13	11
Z1	12	4	4	2	8	10	1	7	3	6	9	13	11
Z2	12	5	5	7	2	9	4	10	1	7	3	13	11
Z3	2	12	4	5	13	9	7	8	11	6	10	1	3
Z4	12	4	5	3	7	10	1	9	2	6	8	13	11

Çizelge 4.7'de anlatılan ifadelere göre toplam çalışan sayısına göre en iyi sonucu veren koşul taleplerin %10 arttırılması durumunda olduğu görülmektedir. Sonraki sıralama ise taleplerin %10 azalması durumu ve mevcut durum şeklinde devam etmektedir. Toplam açılan potansiyel işletme sayısı parametresine göre en iyi sonucu veren koşul ise yine taleplerin %10 arttırılması durumu olduğu görülmektedir. Diğer parametrelerde incelenecek olursa taleplerin %10 arttırılması durumunda toplam akış miktarı, toplam yeniden üretimle akışa kazandırılan miktar, potansiyel açılan yeni işletmelerde çalışacak kişi sayısı anlamında en iyi sonucu veren koşul olduğu görülmektedir. Geri kalan diğer parametreler incelendiğinde maliyet parametrelerini içeren potansiyel açılan tesislerin açma maliyeti, geri dönüşüm, atık, taşıma maliyeti; maliyet kalemlerinin %30 azaltılması koşulunda en iyi sonucu verdiği görülmektedir. Satın alma maliyeti ise tesislerdeki kapasitelerin %30 azalması durumda en istenilen sonucu verdiği görülmektedir. Çevresel boyutu belirlemeye yönelik oluşturulan taşımalar sırasında CO2 miktarı parametreleri ise CO2 miktarının %30 azalması koşulunda en ideal değeri verdiği görülürken; bir işçinin aktarabileceği iş miktarı %20 azalması koşulunda üretim faaliyetlerindeki toplam CO2 miktarı en istenilen sonucu verdiği yorumu yapılabilmektedir.



Şekil 4.5. Çalışmanın 1. veri setinin değişen koşullarda parametrelerin mevcut durumdan sapma yüzdeleri

Şekil 4.5'deki grafikte belirlenen parametrelerin (çalışan sayısı, işletme sayısı, maliyet, CO_2 değerleri…) ve değişen koşullar artındaki yüzdelik değişimleri verilmiştir. Tüm bu değerler incelendiğinde sosyal etkiyi olumlu etkileyen sadece taleplerin %10 arttırılması durumu olmaktadır. Kapasiteden kaynaklı oluşacak değişken işçi sayısı %30 azalırsa sosyal etki en olumsuz etkilendiği değerleri aldığı görülmektedir. Diğer bir nokta olarak bir işçinin aktarabileceği iş miktarının %20 azaltılması durumda toplam çalışan sayısı en fazla etkilenmekte ve değeri düşmektedir. Buradan yola çıkarak modelde sosyal sürdürülebilirliğin ve buna paralel olarak belirlenen karar değişkenleri olarak belirlenen işçi sayılarının üzerinde en çok etkisi olan değişkenler talep, kapasiteden kaynaklı oluşacak değişken işçi sayısı ve bir işçinin aktarabileceği iş miktarı olduğu ortaya çıkmaktadır. Sürdürülebilirliğin diğer boyutu olan maliyet için maliyetler %30 azaltıldığında OBJ_1 amaç fonksiyonu ve toplam ürün akış miktarının en küçük değeri görülmektedir. Diğer belirlenen maliyet kalemleri içerisinde ise; Bir işçinin aktarabileceği ürün miktarı %20 azaltılması halinde satın alma maliyeti en küçük değeri almaktadır. Talepler %10 arttırılması durumda daha çok işletme ağa dahil olduğu için potansiyel açılacak tesis açma maliyeti en yüksek artışı görülmektedir. Sürdürülebilirliğin son kalan boyutu olan çevresel etki için kullanılan veriler dahilinde en küçük değerleri veya mevcut verilerden en negatif yönde etkilendiren değişken CO_2 miktarının %30 azaltılması durumu olmaktadır. CO_2 miktarı %30 azaltılması durumunda OBJ_2 amaç fonksiyonu mevcut verilere göre %-51,41 değişmektedir. CO_2 miktarının azaltılması dışında çevresel faktörleri etkileyen diğer en önemli özellikte maliyetlerin azaltılması ve bir işçinin aktarabileceği ürün miktarı parametreleridir.



Şekil 4.6. Çalışmanın 1. veri setinin artan koşullarda mevcut durumdan sapma yüzdeleri

Şekil 4.6'da detaylı olarak artan koşullar altında belirlenen parametrelerin mevcut verilere göre yüzdesel değişkenlikleri görülmektedir.

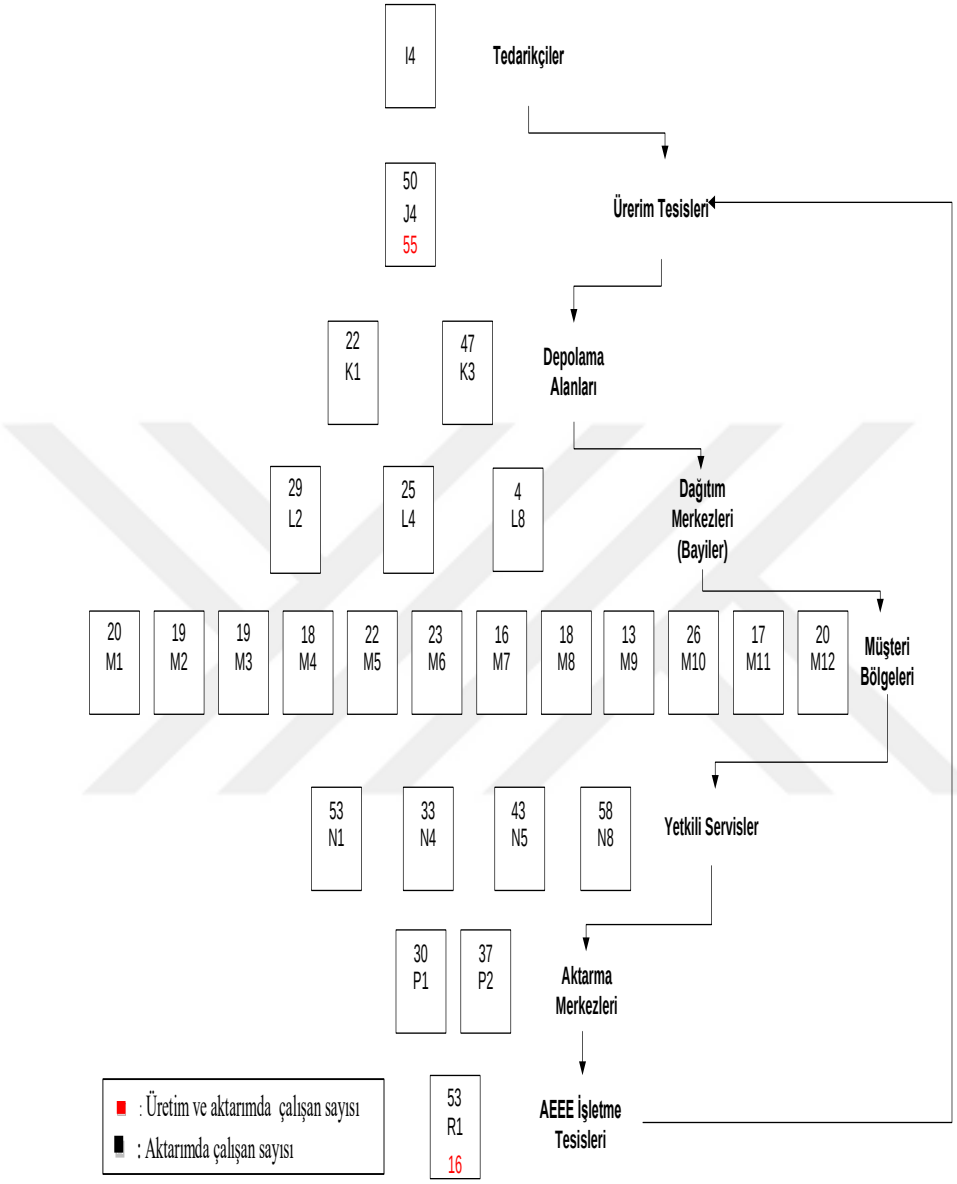
ekil 4.7. Çalışmanın 1. veri setinin azalan koşullarda mevcut durumdan sapma yüzdeleri

Şekil 4.7'de daha detaylı olarak azalan koşullar altında belirlenen parametrelerin mevcut verilere göre yüzdesel değişkenlikleri görülmektedir.

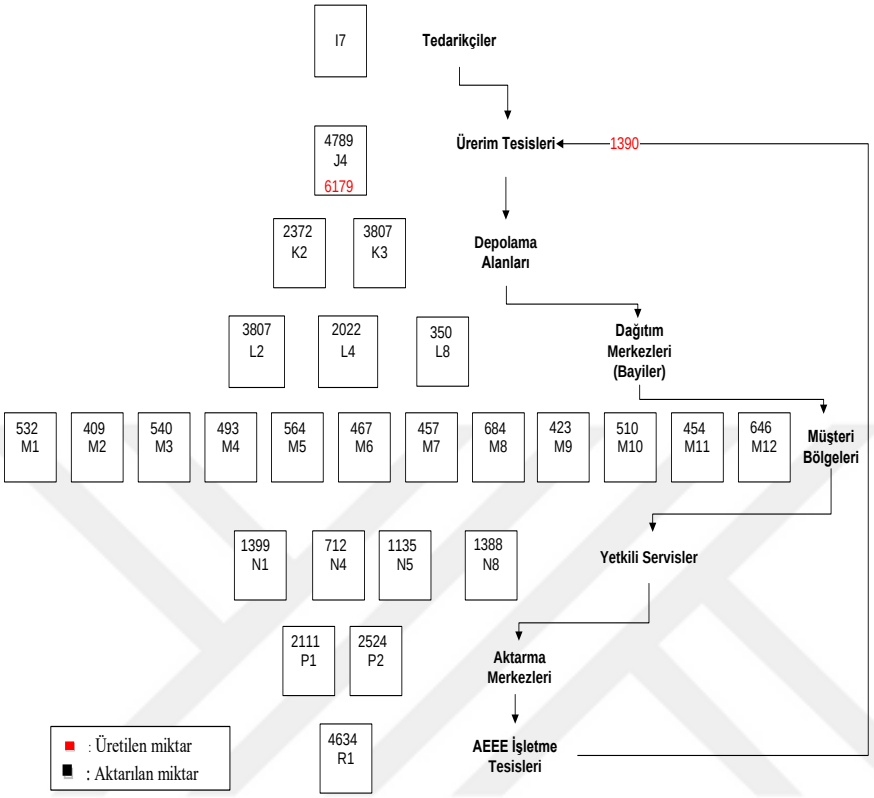
Ayrıca, grafikler incelendiğinde mevcut verilerle değişen veriler arasındaki farklardan yola çıkarak genel olarak parametreler incelendiğinde bütün parametrelerin model üzerinde ciddi etkisi olduğu görülmektedir.

4.2.2. 2. Veri Seti Çözümü ve Senaryo Analizi

Ek-2'de kısa istatistiksel bilgileri verilen veriler değerlerle ele alınan problem model üzerinde çözülmüş ve analizleri aşağıda açıklanmıştır.



Şekil 4.8. Çalışmanın 2. veri seti ile oluşturulan mevcut durumda tedarik zincirinin her bir tesisinde çalışan işçi sayıları gösterimi



Şekil 4.9. Çalışmanın 2. veri seti ile oluşturulan mevcut durumda tedarik zincirinin her bir tesisinde aktarılan ürün miktarı gösterimi

Problemde karar değişkenleri olan her bir kademedeki çalışan işçi sayılarının ağ üzerinde gösterimi şekil 4.8'de belirtilmektedir. Aktarılan ürün miktarları ise şekil 4.9'da ağ üzerinde yer almaktadır. Ek-2'de verilen kısa istatistiksel bilgileri doğrultusunda tek bir tedarikçi 4. üretim tesisine ürün tedariki yapmaktadır. Üretim tesislerinde üretilen ürünler belirlenen 2 depolama alanına aktarılır ve 2, 4, 8 noktalarındaki dağıtım kanallarına iletilir. Bayilerde sonraki kademe ise müşteri bölgeleridir. Dağıtım kanalından her bir müşteri bölgesi olan 12 perakendeciye ürünler çalışan işçiler tarafından iletilir. Müşteri bölgelerinden çeşitli nedenlerden dolayı ömrü tamamlan ürünler yetkili servislere iletilir. Ek-2'de kullanılan veriler doğrultusunda 1, 4, 5 ve 8 noktalarındaki potansiyel yetkili servisleri aktif olarak ağda yer almaktadır. Yetkili servislerde toplanan ürünler

potansiyel lokasyona sahip olan aktarma merkezine iletilir. Eldeki veriler doğrultusunda potansiyel 2 aktarma merkezinin ikisi de aktif haldedir. Aktarma merkezinden sonra ağ üzerindeki son tesis olan AEEE tesisine ürünler iletilir ve geri dönüşüm tabi tutularak üretim tesislerine kazandırılır. 1390 br ürün üretim tesisine kazandırılmıştır. Bu kazandırılan ürünler 4. üretim tesisinde işleme alınmıştır. Şekil 4.9'daki ağ üzerinde müşteriye iletilen ürünleri %75'i geri toplanarak yetkili servislere iletildiği görülmektedir.

Ele alınan problemin çözümü incelendiğinde mevcut durumda incelenen parametrelerin sonuçları Çizelge 4.8'de belirtilmiştir.

Çizelge 4.8. Çalışmanın 2. veri setinin mevcut durum analizi

Mevcut Durum Analizi	
Toplam Çalışan Sayısı (P1)=	732
Toplam Açılan Potansiyel İşletme Sayısı (P2)=	9
Toplam Akış Miktarı (P3)=	59.315
Toplam Geri dönüşümle Akışa Kazandırılan Miktar (P4)=	1.390
Yeni Açılan Yerlerde Çalışacak Kişi Sayısı (P5)=	252
Tesis Açma Maliyeti (P6)=	15.131
Satınalma Maliyeti (P7)=	498.027
Üretim Maliyeti (P8)=	1.272.874
Geri Dönüşüm Maliyeti (P9)=	298.909
Atık Maliyeti (P10)=	674.747
Ortalama Taşıma Maliyeti (P11)=	102.887
Üretim Faaliyetlerindeki CO_2 Miktarı (P12)=	426.351
Taşımalar Sırasındaki Ortalama CO_2 Miktarı (P13)=	82.844
OBJ_1 (P14)=	1.791.391
OBJ_2 (P15)=	446.532
OBJ_3 (P16)=	169
Z (P17)=	2.238.093

Problemde belirlenen karar değişkenleri ve incelenen parametreler doğrultusunda tüm tedarik zincirleri boyunca toplam çalışan sayısı 732 kişi olduğu görülürken potansiyel açılabilecek işletmelerde çalışan kişi sayısı 252 olarak belirlenmiştir. Bu oran incelendiğinde tüm çalışanların yaklaşık yarısı potansiyel işletmelerde çalışan kişilerden oluştuğu görülmektedir. Sürdürülebilir tedarik zinciri stratejik kararları doğrultusunda potansiyel olarak tedarik ağına dahil olan işletme sayısı 9 olması da istihdamın arttırma hedefini sağladığını ortaya koymaktadır. Maliyet kalemleri incelediğinde en büyük maliyet unsuru olarak üretim maliyetleridir. Diğer maliyetler taşıma maliyetleri ve atık maliyetleridir. CO_2 miktarları incelenecek olursa üretim faaliyetlerinde oluşan CO_2 miktarları çevresel etki amaç fonksiyonun büyük bir kısmını oluşturur. Amaç fonksiyonları incelendiğinde 1. Verilerle aynı olarak BAHP'de çıkan önem seviyeleri doğrultusunda ve kullanılan veriler ışığında *Z* amaç fonksiyonu üzerinde en çok etkisi olan faktör maliyet boyutu görülürken sonrasında çevresel etki ve sosyal faktörler amaç fonksiyonu gelmektedir.

Model, ek-1'deki verilerde olduğu gibi faklı koşullar altında çözümlenmiştir. Bu koşullar her bir değişken için $\pm$%30 değişkenliği altında incelenmiştir. Değişkenler önceki senaryo analizindeki gibi kapasite değerleri, kapasiteden kaynaklanan değişken işçi sayısı, maliyet unsurları, CO_2 miktarı, bir işçinin aktarabileceği iş miktarı ve müşteri taleplerinin değişkenliği altında incelenmiş ve bu değerler Çizelge 4.9-4.10'da verilmiştir. Tüm bu değişkenlikler ve parametreler aşağıda daha detaylı açıklanmaya çalışılmıştır.

Kapasite ±%30 değişkenliği doğrultusunda parametreler incelendiğinde sadece OBJ_3 amaç fonksiyonunda değişkenlik olduğu görülmektedir. Kapasitenin %30 artması durumunda OBJ_3 azalırken; %30 azaltıldığı takdirde sosyal etki için oluşturulan amaç fonksiyonunda artma olduğu görülmektedir.

Kapasiteden kaynaklı oluşacak değişken işçi sayısı ±%30 değişkenliği durumunda üretim, satın alma maliyeti ve akış miktarında değişme olmazken

CO_2 miktarları ve sosyal amaç fonksiyonunun değerinin arttığı görülmektedir. %30 kapasiteden kaynaklı oluşacak değişken işçi sayısı artması durumunda çalışan işçi sayısı ve akışa dahil olan işletme sayısında azalma olduğu görülür. %30 kapasiteden kaynaklı oluşacak değişken işçi sayısı artması durumda maliyet amaç fonksiyonu istenilen doğrultuda azalırken; çevresel boyut artıp ve sosyal etki boyutu da azalması model için istenilmeyen bir durumdur. Kapasiteden kaynaklı oluşacak değişken işçi sayısı %30 azalması durumunda açılan işletme sayısı, ürün akış miktarı ve yeni açılan işletmelerde çalışacak kişi sayısı mevcut durumuma göre artarken toplam çalışan sayısında azalma olduğu görülmektedir. Kapasiteden kaynaklı oluşacak değişken işçi sayısı %30 azalma durumunda maliyet ve çevresel boyut amaç fonksiyonları incelendiğinde mevcut duruma göre artış olduğu görülmektedir.

Maliyet değişkenliği doğrultusunda parametreler incelendiği takdirde işletme sayısında ve geri dönüşümle akışa kazandırılan ürün miktarında artması veya azalması durumunda mevcut verilerle herhangi bir değişiklik olmadığı görülürken sosyal sürdürülebilirliği ölçümlendirme amaçlı konulan çalışan işçi sayısı parametresinde azalma olduğu sonucuna varılmaktadır. Mevcut duruma göre maliyetlerin %30 artması durumunda akış miktarı artarken %30 azalması durumda aynı oranda akış miktarı azalmaktadır. Maliyetlerin %30 artması durumda sürdürülebilirliğin maliyet boyutunu belirleme amacıyla konulan parametrelerin (satın alma, üretim, geri dönüşüm, taşıma maliyetleri) artarken azaltılması değişkenliğinde de aynı oranda mevcut duruma göre azaldığı görülmektedir. Çevresel boyut için belirlenen üretim faaliyetlerinde CO_2 miktarı maliyetlerin artması ve azalmasından etkilenmezken taşımalar sırasındaki CO_2 miktarı ağdaki akış miktarıyla paralel olarak maliyetleri %30 artması durumda artarken %30 azalması durumunda azalmaktadır.

CO_2 miktarlarının değişkenlikleri doğrultusunda parametreler incelenirse; mevcut duruma göre artması ve azalması durumunda işletme sayısı ve akış miktarları

değişmediği, çalışan işçi sayısında her iki durumda da azaldığı görülmektedir. Çalışan sayısındaki azalma sürdürülebilirliğin sosyal boyutunu eksi yönde etkilemektedir. CO_2 miktarlarının artması durumda maliyet parametrelerinden sadece taşıma maliyetinde bir artma görülürken diğer parametrelerde bir değişiklik olmadığı yorumu yapılmaktadır. Bu durumda sürdürülebilirliğin maliyet boyutunda çok az bir artış olarak ilk amaç fonksiyonunu etkilemektedir. CO_2 miktarlarının azalması durumda tesis açma maliyeti ve taşıma maliyetlerinde azalma görülmektedir. Yine CO_2 miktarlarının artması durumu sürdürülebilirliğin çevresel boyutunu arttıracağı için taşıma ve üretim faaliyetlerinde CO_2 miktarlarının da artış olduğu görülmektedir. CO_2 miktarlarının azalması durumunda ise, CO_2 miktarları aynı şekilde azalma kaydetmektedir.

Her bir kademedeki bir işçinin aktarabileceği ürün miktarları %30 artması ve azalması değişkenlikleri altından parametreler incelenirse; mevcut duruma göre geri dönüşümle akışa kazandırılan akış miktarında ve satın alma, üretim maliyetlerinde değişiklik olmadığı yorumu yapılmaktadır. Bir işçinin aktarabileceği ürün miktarının artması durumunda daha az işçi çalışmakta akışta daha az ürün yer almakta ve açılan tesis sayısında azalma olduğu görülmektedir. Bir işçinin aktarabileceği ürün miktarları %30 artması durumda sürdürebilirliğin sosyal boyutu olumsuz etkilendiği ortaya çıkmaktadır. Daha az tesis açıldığı ve akışta daha az ürün yer aldığı için taşıma ve tesis açma maliyetlerinde azalma olduğu görülmektedir. Bu değişkenlikler sürdürülebilirliğin maliyet boyutunu olumlu etkilemektedir. CO_2 miktarlarında bir değişme olmadığı varsayımından yola çıkarak çalışan sayısı ve akıştaki ürün miktarının azalması durumunda taşıma faaliyetlerindeki CO_2 miktarında çok az bir artış görülmektedir. Buna rağmen üretim faaliyetlerinde CO_2 miktarları mevcut duruma göre bir değişme göstermemektedir. Bu değişimler sürdürülebilirliğin çevresel boyutunda çok az bir olumsuz etki göstermektedir. Bir işçinin aktarabileceği ürün miktarları %30 azalması durumda bu yorumların tersi yapılmaktadır.

Talep ±%30 değişkenliği altında arttırılması durumunda belirlenen parametreler incelenirse çalışan işçi sayısı, akış miktarı, ağda aktif olan işletme sayısı, buna paralel olarak tesis açma maliyeti, satın alma ve taşıma maliyetlerinde her iki durumda da artış olduğu görülmektedir. Taleplerin %30 artması durumunda belirlenen bütün parametrelerde artış olduğu sonucuna varılmaktadır. Taleplerin %30 azalması durumda ise; yeniden akışa kazandırılan ürün miktarı, üretim faaliyetlerindeki maliyet ve CO_2 miktarı ile taşımalar sırasındaki CO_2 miktarlarında azalma olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.9. Çalışmanın 2.veri setinin parametrelerinin değişen koşullar altında durum analizi-1

Parametreler	2. Mevcut Durum	Kapasite %30 Artarsa	Kapasite %30 Azalırsa	Değişken İşçi Sayısı % 30 Artarsa	Değişken İşçi Sayısı % 30 Azalırsa	Maliyetler %30 Artarsa	Maliyetler %30 Azalırsa
P1=	732	732	732	730	727	730	726
P2=	9	9	9	8	11	9	9
P3=	59.315	59.315	59.315	59.314	59.317	62.694	55.936
P4=	1.390	1.390	1.390	1.390	1.390	1.390	1.390
P5=	252	252	252	221	299	241	252
P6=	15.131,00	15.131,00	15.131,00	13.386,00	18.345,00	19.240,00	10.591,70
P7=	498.027,40	498.027,40	498.027,40	498.027,40	498.027,40	647.435,62	348.619,18
P8=	1.272.874,0	1.272.874,0	1.272.874,0	1.272.874,0	1.272.874,0	1.654.736,2	891.011,8
P9=	298.909,13	298.909,13	298.909,13	298.909,13	303.454,50	388.581,86	209.236,39
P10=	674.746,80	674.746,80	674.746,80	674.746,80	681.445,25	877.170,84	472.322,76
P11=	102.886,72	102.886,72	102.886,72	102.828,87	103.157,44	133.600,96	72.164,82
P12=	426.351,00	426.351,00	426.351,00	426.351,00	427.148,44	426.351,00	426.351,00
P13=	662.751,95	662.751,95	662.751,95	663.214,70	665.823,19	664.152,95	661.104,91
P14=	1.791.391,03	1.791.391,03	1.791.391,03	1.790.287,15	1.799.702,85	2.327.986,08	1.254.550,18
P15=	446.532,21	446.532,21	446.532,21	446.721,94	448.118,37	447.106,62	445.856,93
P16=	169	135	232	165	105	168	169
P17=	2.238.092,5	2.238.058,7	2.238.155,4	2.237.174,1	2.247.926,1	2.775.260,3	1.700.576,3

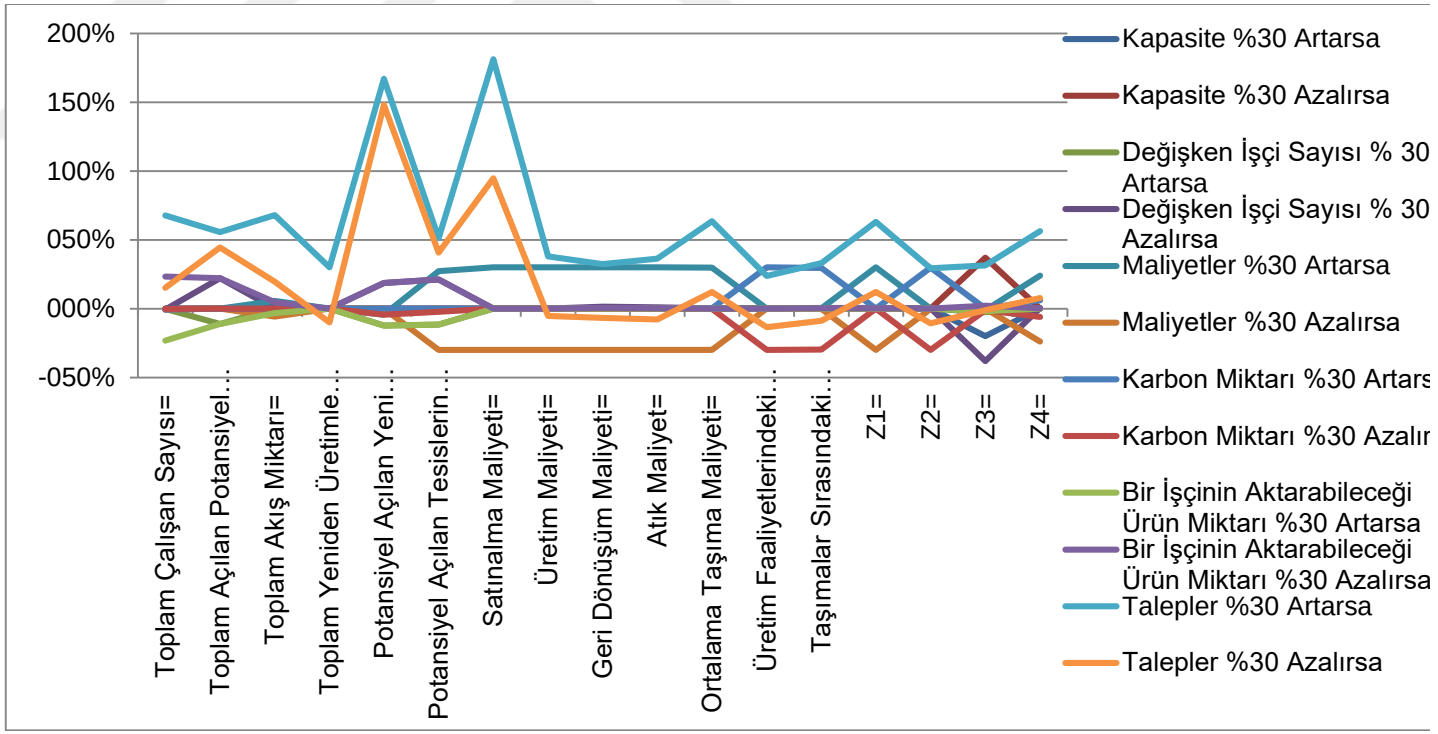
Çizelge 4.10. Çalışmanın 2.veri setinin parametrelerinin değişen koşullar altında durum analizi-2

Parametreler	Mevcut Durum	Karbon Miktarı %30 Artarsa	Karbon Miktarı %30 Azalırsa	Bir İşçinin Aktarabileceği Ürün Miktarı %30 Artarsa	Bir İşçinin Aktarabileceği Ürün Miktarı %30 Azalırsa	Talepler %30 Artarsa	Talepler %30 Azalırsa
P1=	732	726	730	561	902	1227	843
P2=	9	9	9	8	11	14	13
P3=	59.315	59.315	59.315	57.437	62.133	99.671	70.912
P4=	1.390	1.390	1.390	1.390	1.390	1.807	1.251
P5=	252	252	241	221	299	673	625
P6=	15.131,00	15.131,00	14.800,00	13.386,00	18.345,00	22.870,00	21.310,00
P7=	498.027,40	498.027,40	498.027,40	498.027,40	498.027,40	1.400.702,06	969.716,81
P8=	1.272.874,0	1.272.874,0	1.272.874,0	1.272.874,0	1.272.874,0	1.755.758,9	1.205.308,4
P9=	298.909,13	298.909,13	298.909,13	298.909,13	300.409,43	395.593,83	278.907,05
P10=	674.746,80	674.746,80	674.746,80	674.746,80	676.957,78	919.125,79	621.845,15
P11=	102.886,72	103.092,60	102.733,55	102.828,87	103.025,28	168.203,32	115.415,43
P12=	426.351,00	554.256,30	298.445,70	426.351,00	426.614,21	527.242,94	368.969,68
P13=	662.751,95	859.436,39	465.230,99	663.214,70	663.812,63	882.156,14	605.128,45
P14=	1.791.391,0	1.792.214,5	1.790.612,8	1.790.287,2	1.795.407,9	2.919.838,6	2.010.205,4
P15=	446.532,21	579.614,00	313.107,44	446.721,94	447.075,01	577.853,62	399.380,23
P16=	169	169	168	166	173	223	167
P17=	2.238.092,5	2.371.997,7	2.103.887,8	2.237.175,3	2.242.655,8	3.497.914,7	2.409.753,1

Çizelge 4.11. Çalışmanın 2. veri setindeki parametrelerin değişen koşullar altında kıyaslayarak sıralanması

	2. Mevcut Durum	Kapasite %30 Artarsa	Kapasite %30 Azalırsa	Değişken İşçi Sayısı % 30 Artarsa	Değişken İşçi Sayısı % 30 Azalırsa	Maliyetler %30 Artarsa	Maliyetler %30 Azalırsa	Karbon Miktarı %30 Artarsa	Karbon Miktarı %30 Azalırsa	Bir İşçinin Aktarabileceği Miktar %30 Artarsa	Bir İşçinin Aktarabileceği Miktar %30 Azalırsa	Talepler %30 Artarsa	Talepler %30 Azalırsa
Toplam Çalışan Sayısı =	4	4	4	8	10	9	11	11	7	13	2	1	3
Toplam Açılan Potansiyel İşletme Sayısı=	5	5	5	12	3	5	5	5	5	12	3	1	2
Toplam Akış Miktarı=	6	6	6	11	5	3	13	6	6	12	4	1	2
Toplam Yeniden Üretimle Akışa Kazandırılan Miktar=	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	13
Potansiyel Açılan Yeni İşletmelerde Çalışacak Kişi Sayısı=	5	5	5	12	3	10	5	5	10	12	3	1	2
Potansiyel Açılan Tesislerin Açma Maliyeti=	5	5	5	2	9	11	1	5	4	2	9	13	12
Satınalma Maliyeti=	2	2	2	2	2	11	1	2	2	2	2	13	12
Üretim Maliyeti=	3	3	3	3	3	12	1	3	3	3	3	13	2
Geri Dönüşüm Maliyeti=	3	3	3	3	11	12	1	3	3	3	10	13	2
Atık Maliyet=	3	3	3	3	11	12	1	3	3	3	10	13	2
Ortalama Taşıma Maliyeti=	5	5	5	3	10	12	1	9	2	3	8	13	11
Üretim Faaliyetlerindeki Toplam Co2 Miktarı=	3	3	3	3	11	3	3	13	1	3	10	12	2
Taşımalar Sırasındaki Ortalama Co2 Miktarı=	4	4	4	7	11	10	3	12	1	7	9	13	2
Z1=	5	5	5	2	10	12	1	8	4	2	9	13	11
Z2=	4	4	4	7	11	10	3	13	1	7	9	12	2
Z3=	4	12	1	11	13	8	5	5	7	10	3	2	9
Z4=	6	5	7	3	9	12	1	10	2	4	8	13	11

Çizelge 4.11'de 2. veri setine dair değişen koşullar ve belirlenen parametreler incelendiğinde; sosyal sürdürülebilirlik kriterini belirlemeye yönelik oluşturulan toplam çalışan sayısı, toplam açılan potansiyel işletme sayısı, toplam akış miktarı, toplam yeniden üretimle akışa kazandırılan miktar, potansiyel açılan yeni işletmelerde çalışacak kişi sayısı parametrelerinde taleplerin %30 artması koşulunda en iyi sonucu verdiği görülmektedir. Maliyetlerin %30 azaltılması koşulunda ise maliyet kriteri için oluşturulan tesis açma, satın alma, üretim, geri dönüşüm, atık, taşıma maliyeti parametreleri için ideal değerlerini vermektedir. Çevresel boyut için belirlenen parametrelerde ise CO_2 miktarının %30 azalması koşulunda üretim ve taşımalar esnasındaki CO_2 miktarı en iyi şekilde olduğu görülmektedir.



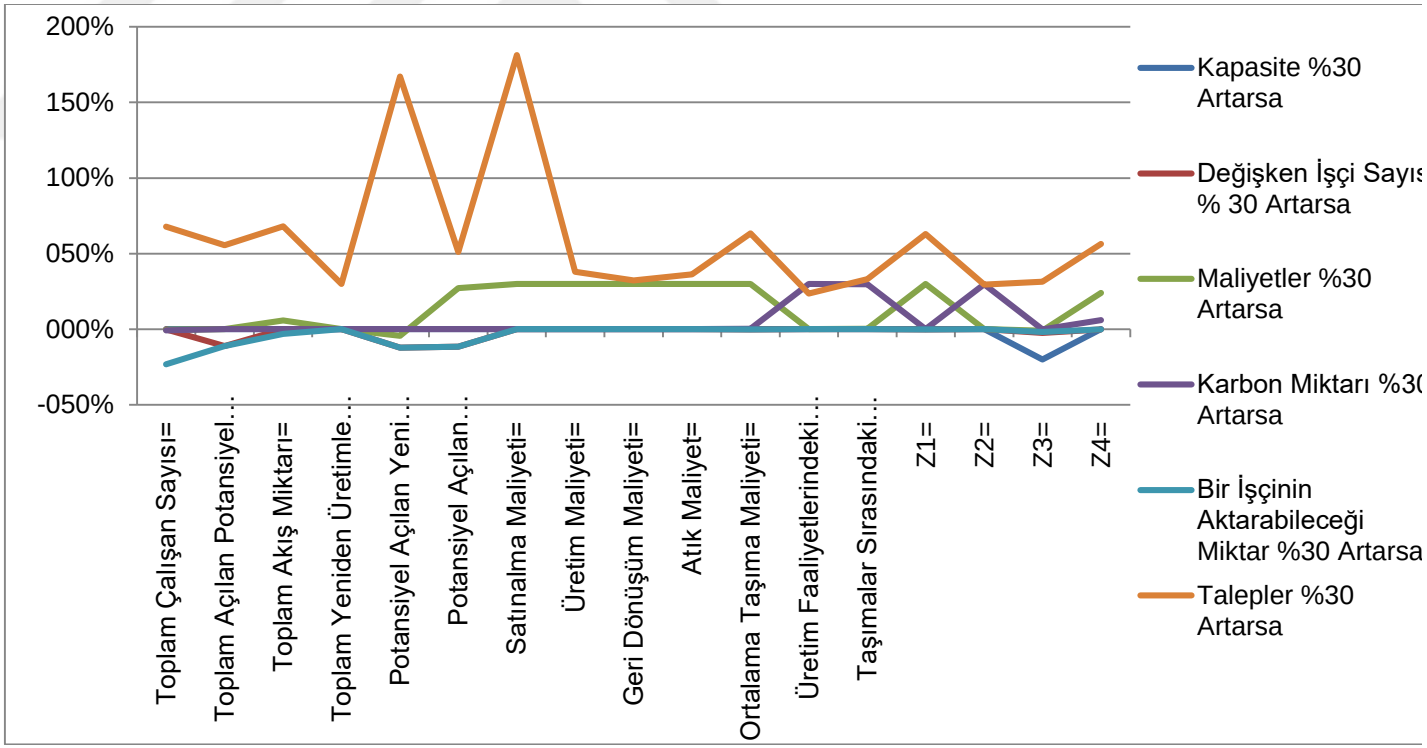
Şekil 4.10. Çalışmanın 2. veri setinin değişen koşullarda parametrelerin mevcut durumdan sapma yüzdeleri

Şekil 4.10'daki grafikte 2. veri seti için çözülen problemde belirlenen parametrelerin (çalışan sayısı, işletme sayısı, maliyet, CO_2 değerleri…) ve değişken koşullar artındaki yüzdelik değişimleri verilmiştir. Bu sayede Çizelge 4.9-4.10'da verilen değerleri tek bir grafikte ve daha anlamlı şekilde toplamış bulunmaktayız. Şekil 4.10'daki grafik yorumlanacak olursa;

Tüm bu değerler incelendiğinde sürdürülebilirliğin sosyal boyutunu en olumlu etkileyen değişken kapasitenin %30 azaltılması durumu olduğu görülmektedir. İkinci olarak da taleplerin %30 arttırılması durumu en iyi etkileyen değişken olmaktadır. Olumsuz yönde en çok etkileyen değişken ise kapasiteden kaynaklı oluşacak değişken işçi sayısı olduğu görülmektedir. Bir işçinin aktarabileceği iş miktarı %30 artması durumunda çalışan işçi sayısı eldeki veriler doğrultusunda en düşük değeri alırken taleplerin %30 artması değişkenliğinde ise en yüksek değeri aldığı görülmektedir. Buradan yola çıkarak modelde karar değişkeni olarak belirlenen işçi sayıları ve sosyal sürdürülebilirlik boyutu üzerinde etkili olan parametreler; kapasite, bir işçinin aktarabileceği iş miktarı ve talep değişkenlikleri olduğu görülmektedir.

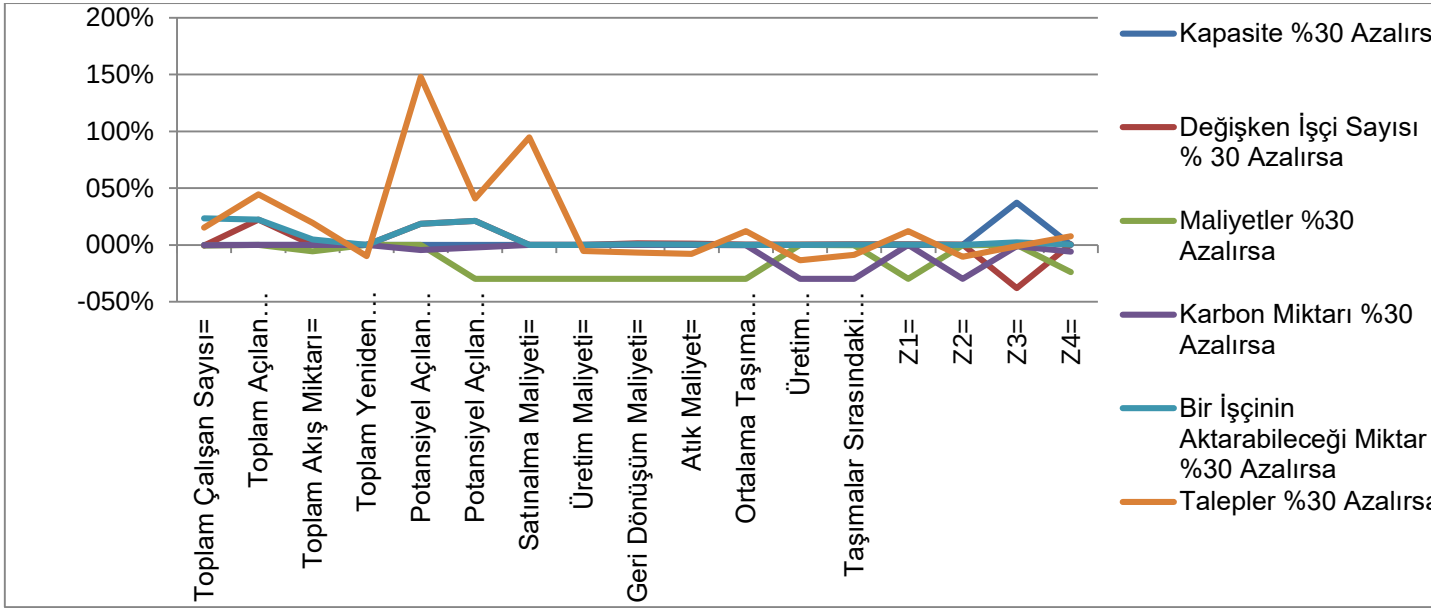
Sürdürülebilirliğin diğer boyutu olan maliyet amacı incelendiğinde ise taleplerin %30 artmasıyla en yüksek değerlerini alırken maliyetlerin %30 azaltılması durumunda en düşük değerini aldığı görülmektedir.

Sürdürülebilirliğin son kalan boyutu olan çevresel etkinin modelde en çok etkilendiği parametre ise talep ve CO_2 miktarındaki değişkenlikler olduğu görülmektedir. CO_2 miktarının %30 azaltılması durumunda en düşük değerini alırken; taleplerin ve CO_2 miktarlarının %30 arttırılması değişkenliği durumunda ise eldeki veriler doğrultusunda en yüksek değerini almaktadır.



Şekil 4.11. Çalışmanın 2. veri setinin artan koşullarda mevcut durumdan sapma yüzdeleri

Şekil 4.11'de daha detaylı olarak artan koşullar altında belirlenen parametrelerin mevcut verilere göre yüzdesel değişimleri görülmektedir.



Şekil 4.12. Çalışmanın 2. veri setinin azalan koşullarda mevcut durumdan sapma yüzdeleri

Şekil 4.12'de daha detaylı olarak azalan koşullar altında belirlenen parametrelerin mevcut verilere göre yüzdesel değişkenlikleri görülmektedir.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1. Çalışmanın Özeti

Sürdürülebilir tedarik zinciri ağ tasarımı modelin her 3 boyutunu dikkate alan ve bu boyutları BAHP metoduyla kendi içerisinde ağırlıklandıran bir ağ tasarım modeli göz önüne alınmış ve analitik çözümler araştırılmıştır. Tam sayılı doğrusal programlama tekniğiyle matematiksel model kurulmuş ve çözülmüştür.

Ele alınan problem için geliştirilen matematiksel model iki farklı veri seti için çözümlenmiştir. Her iki veri seti GAMS programında çalıştırılan modelin farklı koşullar altındaki davranışlarını görmek için iki farklı senaryo analizi oluşturularak incelenmiştir.

5.2. Sonuçlar

Yapılan çalışmadan elde edilen genel sonuçlar şunlardır:

i. Sürdürülebilir tedarik zinciri ağ modellemesinde sürdürülebilirliğin her üç boyutu da modele eklenip sosyal sürdürülebilirliği ölçümlendirebilmek amacıyla işçi sayıları karar değişkeni olarak düşünülmüştür.
ii. Ağ üzerindeki malzeme akışları da işçi sayılarına bağlı kılınmıştır.
iii. Sürdürülebilir kapalı döngü tedarik zinciri ağ modellemesi dağıtım, yetkili servis ve aktarma merkezlerinin sayılarının belirlenmesi kararlarının koordine etmek amacıyla önerilen bir modeldir.
iv. Problemde ele alınan kapalı döngü tedarik zincirinin iki ters lojistik işlemi tek bir tesiste yapılmaktadır. Bunlar: imha ve geri dönüşüm işlemleridir.
v. Tedarik zincirinde tek üretici, tek ürün çeşidi, tek bir geri dönüşümcü ve tek periyot vardır.

vi. Oluşturulan problem modeli rastgele verilerle öncelikle doğruluğu test edilmiş daha sonra senaryo analizi oluşturulmuştur.

vii. Sonuçlara göre ilk veri setiyle elde edilen çözüm senaryo analizine değişken parametrelere çok fazla tepkiler verdiği ve sonuçların makul değerler içerisinde kalmadığı görülürken ikinci veri setiyle oluşturulan çözüm daha robust sonuçların elde edildiği görülmektedir.

viii. Senaryo analizinde incelenen sonuçlar doğrultusunda modelde belirlenen karar değişkenleri üzerinde en çok etkiye sahip olan parametrelerin; talep değişkenliği, maliyetler, bir işçinin aktarabileceği ürün miktarı ve tesislerdeki kapasite değişkenliği olduğu görülmektedir. Bu parametrelerin tüm sürdürülebilirlik boyutlarını etkilediği görülmektedir.

ix. Değişkenlikler içerisinde her iki veri için de geçerli olarak hedef programlamanın asıl amacı olan Z parametresinin en istenilen sonucunun maliyetlerin %30 azaltılması durumdan olduğu görülmektedir.

5.3. Öneriler

Mevcut çalışmaya ek olarak gelecek çalışmalar için aşağıdaki önerilerde bulunulabilir:

i. Farklı amaçlar için problem yeniden çözülebilir. Örneğin çevresel sürdürülebilirlik anlamında toprak ve/veya deniz-su kirliliği, işçi eğitimi, iş gücü kaybı eklenilebilir.

ii. Modelin ekonomik sürdürülebilirlik kısmına işçi çalıştırma maliyeti de eklenilerek çözüm sağlanılabilir.

iii. Modelde sürdürülebilirliğin 3 boyutunun etkisini ortaya koyma amaçlı daha büyük kitlelerden fikir alınarak daha doğru sonuçlar elde edilebilir ve AHP'de 3 boyuta (ekonomik, çevresel, sosyal) ait alt kriterlerde

dikkate alınabilir. Örneğin; üretim maliyeti, taşıma maliyeti,CO_2 kirliliği, su kirliliği, hava kirliliği, çalışan istihdamı, işçi eğitimi vs.

iv. Modelin ağ yapısı değiştirilerek farklı ağ kademeleri eklenilebilir. Örneğin; Çapraz yerleştirme, yeniden üretim, ikinci el satış noktaları vs. ayrı ayrı tesisler eklenilebilir.

v. Modele araç kapasiteleri de eklenilerek rotalama problemi olarak da değerlendirilebilir. Atanan araç sayıları modelde karar değişkeni olarak kullanılabilir.

vi. Tedarik zinciri yapısına esneklik kavramı da eklenilerek modelin çözüm sağlanılabilir. Tedarikçi esnekliği, tedarik esnekliği, üretim esnekliği ve teslimat esnekliği gibi parametreler eklenebilir.

vii. Tedarik zinciri yapısına belirsizlikler eklenilerek model tasarlanılabilir. Ürünlerin geri dönüş oranları ve ürün talebi belirsizlikleri gibi parametreler eklenebilir. Tüm bu belirsizlikleri dahil eden ve çoklu ürün çeşitliliği, çoklu periyodik dönmeleri dikkate alan bir model geliştirme bundan sonraki çalışmalara katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

viii. Tedarik zinciri aktarılan ürünün cinsine göre bozulma riskleri altında incelemeler yapılabilir. Bu durumun insan sağlığı açısında etkisi olarak sosyal etkisi incelenebilir. Son kullanma tarihi geçen ürünlerin teslimat sürelerini içeren bir ağ tasarlanması gibidir.

ix. Diğer taraftan sadece stratejik kararların verilmesinin dışında taktiksel ve opersyonel kararları da dahil eden modeller geliştirilebilir.

KAYNAKLAR

Abdallah, T., Diabat, A., ve Simchi-Levi, D., 2011. Sustainable supply chain design: A closed-loop formulation and sensitivity analysis. Production Planning & Control, 23(2-3):120–133. doi:10.1080/09537287.2011.591622

Alkahtani, M., ve Ziout, A., 2019. Design of a sustainable reverse supply chain in a remanufacturing environment: A case study of proton-exchange membrane fuel cell battery in Riyadh. Advances in Mechanical Engineering, 11(4):168781401984299. doi:10.1177/1687814019842997

Akman, G., Alkan A., 2006. Tedarik Zincir Yönetiminde Bulanık AHP Yöntemi Kullanılarak Tedarikçilerin Performansının Ölçülmesi: Otomotiv Yan Sanayinde Bir Uygulama. İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 5(9):23-46.

Allaoui, H., Guo, Y., Choudhary, A., ve Bloemhof, J., 2018. Sustainable agro-food supply chain design using two-stage hybrid multi-objective decision-making approach. Computers & Operations Research, 89:369–384. doi:10.1016/j.cor.2016.10.012

Altuntaş, C., Türker D., 2012. Sürdürülebilir Tedarik Zincirleri: Sürdürülebilirlik Raporlarının İçerik Analizi. Dokuz Eylül Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 14(3):39-64.

Arampantzi, C., ve Minis, I., 2017. A new model for designing sustainable supply chain networks and its application to a global manufacturer. Journal of Cleaner Production, 156:276–292. doi:10.1016/j.jclepro.2017.03.164

Arumugham, A. J., Krishnaraj, C., ve Raghunayagan, P., 2017. A Revıew Of Mathematical Models For Supply Chain Network Design. International Journal of Innovative Research in Advanced Engineering, 12(4):2349-2163.

Babazadeh, R., Razmi, J., Pishvaee, M. S., ve Rabbani, M., 2017. A sustainable second-generation biodiesel supply chain network design problem under risk. Omega, 66:258–277. doi:10.1016/j.omega.2015.12.010

Bairamzadeh, S., Pishvaee, M. S., ve Saidi-Mehrabad, M., 2015. Multiobjective Robust Possibilistic Programming Approach to Sustainable Bioethanol Supply Chain Design under Multiple Uncertainties. Industrial & Engineering Chemistry Research, 55(1):237–256. doi:10.1021/acs.iecr.5b02875

Boons, F., Montalvo, C., Quist, J., ve Wagner, M., 2013. Sustainable innovation, business models and economic performance: An overview. Journal of Cleaner Production, 45:1–8. doi:10.1016/j.jclepro.2012.08.013

Bulut, E., Duru, O., Keçeci, T., ve Yoshida, S., 2012. Use of consistency index, expert prioritization and direct numerical inputs for generic fuzzy-AHP modeling: A process model for shipping asset management. Expert Systems with Applications, 39(2):1911–1923. doi:10.1016/j.eswa.2011.08.056

Byrne, PJ., Heavey C., Ryan, P. ve Liston, P., 2010. Sustainable Supply Chain Design: Capturing Dynamic İnput Factors. Journal of Simulation, 4(4):213–221, doi:10.1057/jos.2010.18

Chang, D.Y., 1996. Applications of the Extent Analysis Method on Fuzzy AHP. European Journal of Operational Research, 95(3):649-655.

Chaabane, A., Ramudhin, A., ve Paquet, M., 2012. Design of sustainable supply chains under the emission trading scheme. International Journal of Production Economics, 135(1):37–49. doi:10.1016/j.ijpe.2010.10.025

Chardine-Baumann, E., ve Botta-Genoulaz, V., 2014. A framework for sustainable performance assessment of supply chain management practices. Computers & Industrial Engineering, 76:138–147. doi:10.1016/j.cie.2014.07.029

Chiu, M.-C., ve Teng, L.-W., 2013. Sustainable product and supply chain design decisions under uncertainties. International Journal of Precision Engineering and Manufacturing, 14(11):1953–1960. doi:10.1007/s12541-013-0265-x

Ciliberti, F., Pontrandolfo, P., ve Scozzi, B., 2008. Investigating corporate social responsibility in supply chains: A SME perspective. Journal of Cleaner Production, 16(15):1579–1588. doi:10.1016/j.jclepro.2008.04.016

Corsano, G., Vecchietti, A. R., ve Montagna, J. M., 2011. Optimal design for sustainable bioethanol supply chain considering detailed plant performance model. Computers & Chemical Engineering, 35(8): 1384–1398. doi:10.1016/j.compchemeng.2011.01.008

Dehghanian, F., ve Mansour, S., 2009. Designing sustainable recovery network of end-of-life products using genetic algorithm. Resources, Conservation and Recycling, 53(10): 559–570. doi:10.1016/j.resconrec.2009.04.007

Devika, K., Jafarian, A., ve Nourbakhsh, V., 2014. Designing a sustainable closed-loop supply chain network based on triple bottom line approach: A comparison of metaheuristics hybridization techniques. European Journal of Operational Research, 235(3): 594–615. doi:10.1016/j.ejor.2013.12.032

Elkington, J., 2004. Enter the triple bottom line. The triple bottom line: Does it all add up, 11(12): 1-16.

Elliott, S.R., 2005. Sustainability: an economic perspective. Resources, Conservation and Recycling, 44: 263–277

Ene, S., ve Öztürk, N., 2014. Open Loop Reverse Supply Chain Network Design. Procedia - Social and Behavioral Sciences, 109:1110–1115. doi:10.1016/j.sbspro.2013.12.596

Erol, İ., Velioğlu, M. N., ve Serifoğlu, F. S., 2006. AB uyum yasaları ve sürdürülebilir kalkınma bağlamında tersine tedarik zinciri yönetimi: Türkiye'ye yönelik araştırma fırsatları ve önerileri, İktisat, İşletme ve Finans Dergisi, 244:86-106.

Eskandari-Khanghahi, M., Tavakkoli-Moghaddam, R., Taleizadeh, A. A., ve Amin, S. H., 2018. Designing and optimizing a sustainable supply chain network for a blood platelet bank under uncertainty. Engineering Applications of Artificial Intelligence, 71:236–250. doi:10.1016/j.engappai.2018.03.004

Eskandarpour, M., Dejax, P., Miemczyk, J., ve Péton, O., 2015. Sustainable supply chain network design: An optimization-oriented review. Omega, 54:11–32. doi:10.1016/j.omega.2015.01.006

Eskandarpour, M., Dejax, P., ve Péton, O., 2019. Multi-directional local search for sustainable supply chain network design. International Journal of Production Research, 1–17. doi:10.1080/00207543.2019.1696488

Fattahi, M., ve Govindan, K., 2018. A multi-stage stochastic program for the sustainable design of biofuel supply chain networks under biomass supply uncertainty and disruption risk: A real-life case study. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 118:534–567. doi:10.1016/j.tre.2018.08.008

Gao, J., ve You, F., 2017. Modeling framework and computational algorithm for hedging against uncertainty in sustainable supply chain design using functional-unit-based life cycle optimization. Computers & Chemical Engineering, 107:221–236. doi:10.1016/j.compchemeng.2017.05.021

Ghaderi, H., Moini, A., ve Pishvaee, M. S., 2018. A multi-objective robust possibilistic programming approach to sustainable switchgrass-based bioethanol supply chain network design. Journal of Cleaner Production, 179:368–406. doi:10.1016/j.jclepro.2017.12.218

Govindan, K., Fattahi, M., ve Keyvanshokooh, E., 2017. Supply chain network design under uncertainty: A comprehensive review and future research directions. European Journal of Operational Research, 263(1):108–141. doi:10.1016/j.ejor.2017.04.009

Govindan, K., Jafarian, A., ve Nourbakhsh, V., 2015. Bi-objective integrating sustainable order allocation and sustainable supply chain network strategic design with stochastic demand using a novel robust hybrid multi-objective metaheuristic. Computers & Operations Research, 62:112–130. doi:10.1016/j.cor.2014.12.014

Govindan, K., Jafarian, A., ve Nourbakhsh, V., 2018. Designing a sustainable supply chain network integrated with vehicle routing: a comparison of hybrid swarm intelligence metaheuristics. Computers & Operations Research. doi:10.1016/j.cor.2018.11.013

Guide, V. D. R., Harrison, T. P., ve Van Wassenhove, L. N., 2003. The Challenge of Closed-Loop Supply Chains. Interfaces, 33(6):3–6. doi:10.1287/inte.33.6.3.25182

Guillén-Gosálbez, G., ve Grossmann, I. E., 2009. Optimal design and planning of sustainable chemical supply chains under uncertainty. AIChE Journal, 55(1):99–121. doi:10.1002/aic.11662

Gunasekaran, A., Dubey, R., ve Singh, S. P., 2016. Flexible Sustainable Supply Chain Network Design: Current Trends, Opportunities and Future. Global Journal of Flexible Systems Management, 17(2): 109–112. doi:10.1007/s40171-016-0131-7

Guo, Y., Hu, F., Allaoui, H., ve Boulaksil, Y., 2018. A distributed approximation approach for solving the sustainable supply chain network design problem. International Journal of Production Research, 1–24. doi:10.1080/00207543.2018.1556412

Gülsün B., Tuzkaya G., Bildik E., 2008. Reverse Logistics Network Design: A Simulated Annealing Approach. Engineering and Natural Sciences, 26(1).

Hajiaghaei-Keshteli, M., ve Fathollahi Fard, A. M., 2018. Sustainable closed-loop supply chain network design with discount supposition. Neural Computing and Applications. doi:10.1007/s00521-018-3369-5

Harris, J.M. 2000. Basic Principles of Sustainable Development. Global Development and Environment Institute Working (pp.0-4). Tufts University, USA.

Jafaria, H.R., Seifbarghy M., ve Omidvari, M., 2016. Sustainable supply chain design with water environmental impacts and justice-oriented employment considerations: A case study in textile industry. Scientia Iranica Transactions E: Industrial Engineering, 24(4):2119-2137. doi:10.24200/SCI.2017.4299

Ji, P., ve Jiang, R., 2003. Scale transitivity in the AHP. Journal of the Operational Research Society, 54(8):896–905. doi:10.1057/palgrave.jors.2601557

Jiang, Y., Zhao, Y., Dong, M., ve Han, S., 2019. Sustainable Supply Chain Network Design with Carbon Footprint Consideration: A Case Study in China. Mathematical Problems in Engineering, 2019:1–19. doi:10.1155/2019/3162471

Jiao, Z., Ran, L., Zhang, Y., Li, Z., ve Zhang, W., 2018. Data-driven approaches to integrated closed-loop sustainable supply chain design under multi-uncertainties. Journal of Cleaner Production, 185:105–127. doi:10.1016/j.jclepro.2018.02.255

John, S. T., ve Sridharan, R., 2015. Modelling and analysis of network design for a reverse supply chain. Journal of Manufacturing Technology Management, 26(6):853–867. doi:10.1108/jmtm-03-2014-0035

Chalmardi, M. K., ve Camacho-Vallejo, J.-F., 2019. A bi-level programming model for sustainable supply chain network design that considers incentives for using cleaner technologies. Journal of Cleaner Production, 213:1035–1050. doi:10.1016/j.jclepro.2018.12.197

Kaptanoğlu, D., ve Özok, A. F., 2006. Akademik Performans Değerlendirilmesi İçin Bir Bulanık Model. İTÜ Mühendislik Dergisi, 5(1):193-204.

Kaya A., Alumur Alev S., 2017. Kapalı Döngü Tedarik Zinciri Ağı Tasarımı. Endüstri Mühendisliği Dergisi, 28(2):2-18.

Kiddee, P., Naidu, R. ve Wong, M.H., 2013. Electronic waste management approaches: an overview. Waste Management, 33:1237–1250.

Ko, H. J., ve Evans, G. W., 2007. A genetic algorithm-based heuristic for the dynamic integrated forward/reverse logistics network for 3PLs. Computers & Operations Research, 34(2):346–366. doi:10.1016/j.cor.2005.03.004

Kwong, C. K., ve Bai, H., 2003. Determining the importance weights for the customer requirements in QFD using a fuzzy AHP with an extent analysis approach. IIE Transactions, 35(7):619–626. doi:10.1080/07408170304355

Longo, F., 2012. Sustainable supply chain design: an application example in local business retail. Simulation: Transactions of the Society for Modeling and Simulation International, 88(12):1484–1498. doi:10.1177/0037549712458983

Lu, Z., ve Bostel, N., 2007. A facility location model for logistics systems including reverse flows: The case of remanufacturing activities. Computers & Operations Research, 34(2):299–323. doi:10.1016/j.cor.2005.03.002

Mari, S., Lee, Y., ve Memon, M., 2014. Sustainable and Resilient Supply Chain Network Design under Disruption Risks. Sustainability, 6(10):6666–6686. doi:10.3390/su6106666

Mari, S., Lee, Y., ve Memon, M., 2016. Sustainable and Resilient Garment Supply Chain Network Design with Fuzzy Multi-Objectives under Uncertainty. Sustainability, 8(10):1038. doi:10.3390/su8101038

Melo, T., Nickel S., Saldanha-da-Gama F., 2007. Facility Location and Supply Chain Management - A comprehensive review. ResearchGate, ISSN 1434-9973

Metta, H., ve Badurdeen, F., 2013. Integrating Sustainable Product and Supply Chain Design: Modeling Issues and Challenges. IEEE Transactions on Engineering Management, 60(2):438–446. doi:10.1109/tem.2012.2206392

Mirmohammadi, S. H., Sahraeian, R., 2018. A Novel Sustainable Closed-loop Supply Chain Network Design by Considering Routing and Quality of Products. International Journal of Engineering, Transactions B: Applications, 31(11):1918-1928. doi: 10.5829/ije.2018.31.11b.16

Mohammadi, M., Jämsä-Jounela, S.-L., ve Harjunkoski, I., 2018. Sustainable Supply Chain Network Design for the Optimal Utilization of Municipal Solid Waste. AIChE Journal. doi:10.1002/aic.16464

Nobari, A., Kheirkhah A., 2017. Integrated and Dynamic Design of Sustainable Closed-loop Supply Chain Network Considering Pricing. Scientia İranica Transactions On Industrial Engineering (E), 25(1):410-430. doi: 10.24200 / sci.2017.4411

Pishvaee, M.S., Jolai, F., Razmi, J., 2010.A stochastic optimization model for integrated forward / reverse logistics network design. Journal of Manufacturing Systems, 28(4):107–114. doi: 10.1016/j.jmsy.2010.05.001

Pishvaee, M. S., Razmi, J., ve Torabi, S. A., 2014. An accelerated Benders decomposition algorithm for sustainable supply chain network design under uncertainty: A case study of medical needle and syringe supply chain. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 67:14–38. doi:10.1016/j.tre.2014.04.001

Pop, P. C., Pintea, C.M., Sitar, C. P., Hajdu-M˘acelaru M., 2014. An Efficient Reverse Distribution System for Solving Sustainable Supply Chain Network Design Problem. Journal of Applied Logic, 13(2):105–113. doi:10.1016/j.jal.2014.11.004

Pourjavad, E., ve Mayorga, R. V., 2018. A comparative study on fuzzy programming approaches to design a sustainable supply chain under uncertainty. Journal of Intelligent & Fuzzy Systems, 1-15. doi:10.3233/JIFS-171168

Pourjavad, E., Mayorga, R.V., 2018. Optimization of a sustainable closed loop supply chain network design under uncertainty using multi-objective evolutionary algorithms. Advances in Production Engineering & Management, 13(2):216–228. https://doi.org/10.14743/apem2018.2.286

Rahimia , M., Ghezavati, V., ve Asadi, F., 2019. A stochastic risk-averse sustainable supply chain network design problem with quantity discount considering multiple sources of uncertainty. Computers & Industrial Engineering, 130:430-449. doi:10.1016/j.cie.2019.02.037

Rezaei, S., Kheirkhah, A., 2018. A comprehensive approach in designing a sustainable closed-loop supply chain network using cross-docking

operations. Computational and Mathematical Organization Theory, 24(1):51–98. doi:10.1007/s10588-017-9247-3

Robles, J.O., Billoud, M.G., Azzaro-Pantel, C., ve Aguilar-Lasserre, A. A., 2019. Optimal Design of a Sustainable Hydrogen Supply Chain Network: Application in an Airport Ecosystem. ACS Sustainable Chemistry & Engineering, doi: 10.1021/acssuschemeng.9b02620

Rohmer, S. U. K., Gerdessen, J. C., ve Claassen, G. D. H., 2018. Sustainable Supply Chain Design in the Food System with Dietary Considerations: A multi-objective Analysis. European Journal of Operational Research. doi:10.1016/j.ejor.2018.09.006

Saaty, T. L., 2008. Decision making with the analytic hierarchy process. International Journal of Services Sciences, 1(1):83. doi:10.1504/ijssci.2008.017590

Sahebjamnia, N., Fathollahi-Fard, A. M., ve Hajiaghaei-Keshteli, M., 2018. Sustainable tire closed-loop supply chain network design: Hybrid metaheuristic algorithms for large-scale networks. Journal of Cleaner Production, 196:273–296. doi:10.1016/j.jclepro.2018.05.245

Samadi, A., Mehranfar, N., Fathollahi Fard, A. M., ve Hajiaghaei-Keshteli, M., 2018. Heuristic-based metaheuristics to address a sustainable supply chain network design problem. Journal of Industrial and Production Engineering, 35(2):102–117. doi:10.1080/21681015.2017.1422039

Sherafati, M., Bashiri, M., Tavakkoli-Moghaddam, R., ve Pishvaee, M. S., 2019. Supply chain network design considering sustainable development paradigm: A case study in cable industry. Journal of Cleaner Production. 234:366-380. doi:10.1016/j.jclepro.2019.06.095

Shi J., Zhang G., Sha J., 2012. A Lagrangian based solution algorithm for a build-to-order supply chain network design problem. Advances in Engineering Software dergisi, 49(1):21–28, doi: 10.1016 / j.advengsoft.2012.03.003

Soleimani, H., Govindan, K., Saghafi, H., ve Jafari, H., 2017. Fuzzy multi-objective sustainable and green closed-loop supply chain network design. Computers & Industrial Engineering, 109:191–203. doi:10.1016/j.cie.2017.04.038

Soubbotina, T. P., 2004. Beyond Economic Growth An İntroduction To Sustainable Development, USA: World Bank yayınevi, 2. Baskı.

Şengül, Ü., Eren, M., ve Eslamian Shiraz, S., 2012. Bulanık AHP İle Belediyelerin Toplu Taşıma Araç Seçimi. Erciyes Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 40:143-165.

Tanskanen, P., 2013. Management and recycling of electronic waste. Acta Materialia, 61:1001–1011.

Tautenhain, C. P. S., Barbosa-Póvoa, A. P., ve C.V. Nascimento, M., 2018. A multi-objective matheuristic for designing and planning sustainable supply chains. Computers & Industrial Engineering, 135:1203-1223. doi:10.1016/j.cie.2018.12.062

Tsao, Y.-C., Thanh, V.-V., Lu, J.-C., ve Yu, V., 2018. Designing sustainable supply chain networks under uncertain environments: Fuzzy multi-objective programming. Journal of Cleaner Production, 174:1550–1565. doi:10.1016/j.jclepro.2017.10.272

Varseia, M., ve Polyakovskiy, S., 2017. Sustainable supply chain network design: A case of the wine industry in Australia. Omega, 66:236–247. doi:10.1016/j.omega.2015.11.009

Viederman, S., 1994. The economics of sustainability: challenges. The Economics of Sustainability Workshop, Fundacao Joaquim Nabuco, Recife, Brazil

Yadav, V. S., Tripathi, S., ve Singh, A. R., 2018. Bi-objective optimization for sustainable supply chain network design in omnichannel. Journal of Manufacturing Technology Management. doi:10.1108/jmtm-06-2017-0118

Yılmaz, E., Bilgin, E., 2019. Çok Kademeli Bir Tedarik Zinciri Ağı İçin Üretim-Dağıtım ve Tersine Lojistik Planlaması. R&S - Research Studies Anatolia Journal, 2(4):55-71. doi: 10.33723 / rs.478610

Yue, D., Kim, M. A., ve You, F., 2013. Design of Sustainable Product Systems and Supply Chains with Life Cycle Optimization Based on Functional Unit: General Modeling Framework, Mixed-Integer Nonlinear Programming Algorithms and Case Study on Hydrocarbon Biofuels. ACS Sustainable Chemistry & Engineering, 1(8):1003–1014. doi:10.1021/sc400080x

Yue, D., Slivinsky, M., Sumpter, J., ve You, F., 2014. Sustainable Design and Operation of Cellulosic Bioelectricity Supply Chain Networks with Life Cycle Economic, Environmental, and Social Optimization. Industrial & Engineering Chemistry Research, 53(10):4008–4029. doi:10.1021/ie403882v

Zhalechian, M., Tavakkoli-Moghaddam, R., Zahiri, B., ve Mohammadi, M., 2016. Sustainable design of a closed-loop location-routing-inventory supply chain network under mixed uncertainty. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 89:182–214. doi:10.1016/j.tre.2016.02.011

Zhang, S., Lee, C. K. M., Wu, K., ve Choy, K. L., 2016. Multi-objective optimization for sustainable supply chain network design considering multiple distribution channels. Expert Systems with Applications, 65:87–99. doi:10.1016/j.eswa.2016.08.037

Zhang, X., Adamatzky, A., Chan, F. T. S., Mahadevan, S., ve Deng, Y., 2017. Physarum solver: a bio-inspired method for sustainable supply chain network design problem. Annals of Operations Research, 254(1-2):533–552. doi:10.1007/s10479-017-2410-x

Zhen, L., Huang, L., ve Wang, W., 2019. Green and Sustainable Closed-Loop Supply Chain Network Design under Uncertainty. Journal of Cleaner Production, 227:1195-1209, doi:10.1016/j.jclepro.2019.04.098

ÖZGEÇMİŞ

Kafiye SALÇUK, 10.01.1996 yılında Malatya'da doğdu. İlk ve orta öğrenimini Adana'da tamamladıktan sonra 2013 yılında Çukurova Üniversitesi Endüstri Mühendisliği bölümünde lisans eğitimine başladı. 2017 yılında Endüstri Mühendisliği bölümünden birincilik ile mezun oldu. Eylül 2017'de Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalında Tezli Yüksek Lisans eğitimine başladı. Halen Yüksek Lisans öğrenimine devam etmektedir.

EKLER

Ek-1. Bu çalışmanın 1. veri setinde kullanılan verilerin kısa istatistikleri

Parametreler	(Ortalama; Standart Sapma)	(Min; Max)	Parametreler	(Ortalama; Standart Sapma)	(Min; Max)
S^{m}_{ij}	(64,84;7,30)	(51;76	VJ^{t}_{p}	(86,5;7,78)	(81;92)
M^{w}_{jk}	(72,25;9,80)	(60;93)	VJ^{wa}_{r}	(61,67;3,51)	(58;65)
W^{d}_{kl}	(64,42;7,98)	(50;78)	VJ^{rm}_{r}	(75,33;3,51)	(72;79)
D^{b}_{lm}	(36,15;4,76)	(28;56)	FJ^{d}_{l}	(53,38;6,09)	(40;59)
B^{a}_{mn}	(36;4,51)	(21;45)	CAP^{w}_{k}	(1239;30,51)	(1205;1264)
A^{t}_{np}	(53,88;6,72)	(47;75)	CAP^{d}_{l}	(1808,5;56,80)	(1752;1890)
T^{w}_{pr}	(64;2,83)	(61;69)	CAP^{b}_{m}	(1753,83;99,68)	(1624;1950)
W^{m}_{rj}	(42,17;4,45)	(30;49)	CAP^{a}_{n}	(1700,50;69,11)	(1600;1795)
Q_{j}	(51,25;4,35)	(45;55)	CAP^{t}_{p}	(1714,5;9,19)	(1708;1721)
PC_{i}	(243,75;16,58)	(225;268)	CAP^{wa}_{r}	(1984,33;13,87)	(1969;1996)
FC^{d}_{l}	(1638;135,68)	(1414; 1840)	TC^{sm}_{ij}	(27,88;1,39)	(26;30)
FC^{a}_{n}	(1611,25;187,03)	(1280;1850)	TC^{mw}_{jk}	(27,5;1,68)	(25;30)
FC^{t}_{p}	(1785;49,5)	(1750;1820)	TC^{wd}_{kl}	(28,54;2,60)	(22;32)
MC_{j}	(218,5;8,58)	(206;225)	TC^{db}_{lm}	(27,57;1,86)	(25;39)
RC_{r}	(214,67;19,5)	(195;234)	TC^{ba}_{mn}	(30,73;2,59)	(28;39)
DC_{r}	(221;13,53)	(208;235)	TC^{at}_{np}	(29,19;2,81)	(25;33)
CAP^{m}_{j}	(1724,25;143,49)	(1555;1887)	TC^{tw}_{pr}	(30,5;4,42)	(25;36)
CE^{mw}_{jk}	(19,42;2,07)	(16;22)	TC^{wm}_{rj}	(30,83;3,97)	(25;38)
CE^{wd}_{kl}	(18,54;1,84)	(16;22)	C^{m}_{j}	(17,75;0,96)	(17;19)

Parametreler (Ortalama; Standart Sapma)		(Min; Max)		Parametreler	(Ortalama; Standart Sapma)	(Min; Max)
CE^{db}_{lm}	(14,36;0,92)	-13,16		C^{w}_{r}	(16,67;0,58)	(16;17)
CE^{ba}_{mn}	(17,64;1,44)	(16;21)		CE^{sm}_{ij}	(27,88;1,39)	(26;30)
CE^{at}_{np}	(16,31;1,20)	(14;19)		FJ^{a}_{n}	(46,88;1,96)	(45;50)
CE^{tw}_{pr}	(15,33;1,51)	(14;18)		FJ^{t}_{p}	(43,5;4,95)	(40;47)
CE^{wm}_{rj}	(14,92;1,56)	(12;17)		**Sabit Değerler**		
D_m	(747,92;32,99)	(690;797)		d_l^{max}	17	
VJ^{m}_{j}	(65,25;12,76)	(51;77)		a_n^{max}	10	
VJ^{w}_{k}	(58,33;6,11)	(53;65)		t_p^{max}	16	
VJ^{d}_{l}	(62,13;7,14)	(55;74)		b	30%	
VJ^{b}_{m}	(58,33;3,92)	(51;66)		RR	75%	
VJ^{a}_{n}	(64,5;9,55)	(50;78)				

Ek-2. Bu çalışmanın 2. veri setinde kullanılan verilerin kısa istatistikleri

Parametreler	(Ortalama; Standart Sapma)	(Min; Max)		Parametreler	(Ortalama; Standart Sapma)	(Min; Max)
S^{m}_{ij}	(92;11,18)	(76;132)		VJ^{a}_{n}	(56;4)	(50;61)
M^{w}_{jk}	(101;23,67)	(81;171)		VJ^{t}_{p}	(58;1)	(57;58)
W^{d}_{kl}	(101;16,69)	(76;147)		VJ^{wa}_{r}	(62;7)	(55;68)
D^{b}_{lm}	(26;4,45)	(20;37)		VJ^{rm}_{r}	(55;7)	(49;62)
B^{a}_{mn}	(27;3,48)	(20;32)		CAP^{w}_{k}	(1139;31)	(1105;1164)
A^{t}_{np}	(75;5,64)	(65;87)		CAP^{d}_{l}	(1848;33)	(1790;1886)
T^{w}_{pr}	(86;2,805)	82;89)		CAP^{b}_{m}	(1654;170)	(1150;1752)
W^{m}_{rj}	(84;2,491)	(80;89)		CAP^{a}_{n}	(1714;31)	(1650;1742)
Q_{j}	(109;6,238)	(102;115)		CAP^{t}_{p}	(1765;61,518)	(1721;1808)
PC_{i}	(135,75;23,651)	(104;168)		CAP^{wa}_{r}	(1684;14)	(1669;1696)
FC^{d}_{l}	(1638;135,685)	(1414;1840)		TC^{sm}_{ij}	(28;1,39)	(26;30)
FC^{a}_{n}	(1611;187,031)	(1280;1850)		TC^{mw}_{jk}	(28;1,68)	(25;30)
FC^{t}_{p}	(2000;353,55)	(1750;2250)		TC^{wd}_{kl}	(29;2,29)	(25;32)
MC_{j}	(219;9)	(206;225)		TC^{db}_{lm}	(18;1,68)	(15;29)
RC_{r}	(215;20)	(195;234)		TC^{ba}_{mn}	(20;2,33)	(18;29)
DC_{r}	(221;14)	(208;235)		TC^{at}_{np}	(19;2,61)	(15;23)
CAP^{m}_{j}	(1699;185)	(1455;1887)		TC^{tw}_{pr}	(20;4,32)	(15;26)
CE^{mw}_{jk}	(19;2,065)	(16;22)		TC^{wm}_{rj}	(21;3,92)	(15;18)
CE^{wd}_{kl}	(19;1,84)	(16;22)		C^{m}_{j}	(18;0,96)	(17;19)

Parametreler	(Ortalama; Standart Sapma)	(Min; Max)
CE^{db}_{lm}	(14;0,92)	(13;16)
CE^{ba}_{mn}	(18;1,44)	(16;21)
CE^{at}_{np}	(16;1,95)	(14;19)
CE^{tw}_{pr}	(15;1,51)	(14;18)
CE^{wm}_{rj}	(15;1,56)	(12;17)
D_m	(514,92;84,549)	(409;684)
VJ^{m}_{j}	(103;1)	(102;104)
VJ^{w}_{k}	(47;8)	(39;55)
VJ^{d}_{l}	(70;6)	(61;77)
VJ^{b}_{m}	(50;4)	(45;56)

Parametreler	(Ortalama; Standart Sapma)	(Min; Max)
C^{w}_{r}	(17;1)	(16;17)
CE^{sm}_{ij}	(28;1,39)	(26;30)
FJ^{a}_{n}	(26;2,62)	(23;30)
FJ^{t}_{p}	(29;2,12)	(27;30)
FJ^{d}_{l}	(28;4,52)	(20;33)
Sabit Değerler		
d_l^{max}	17	
a_n^{max}	10	
t_p^{max}	16	
b	30%	
RR	75%	