

T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
İŞLETME ANABİLİM DALI

DOKTORA TEZİ

TEDARİK ZİNCİRİ DAĞITIM AĞI
KAPSAMINDA DEPO YERİ SEÇİMİ
PROBLEMİNİN VE ARAÇ ROTALAMA
PROBLEMİNİN BÜTÜNLEŞİK ÇÖZÜMÜ

Tuba Ezgi ÇAKIR ESEN

2502160406

TEZ DANIŞMANI

Dr. Öğr. Üyesi Birgül KÜÇÜK ÇIRPIN

İSTANBUL – 2022

ÖZ

TEDARİK ZİNCİRİ DAĞITIM AĞI KAPSAMINDA DEPO YERİ SEÇİMİ PROBLEMİNİN VE ARAÇ ROTALAMA PROBLEMİNİN BÜTÜNLEŞİK ÇÖZÜMÜ

Tuba Ezgi ÇAKIR ESEN

Tedarik zinciri dağıtım ağı içerisinde, depo yeri seçimi ve dağıtım gerçekleştirilen araçların rotalarının planlanması son derece önemlidir. Depo yerinin doğru seçilmesi ve araçların doğru rotalanması sayesinde, tedarik zinciri dağıtım ağının performansı artarken, toplam dağıtım maliyetleri azalmaktadır. Günümüzde bu durum, işletmelerin stratejik rekabette sürdürülebilir başarı elde edebilmeleri için bir gereklilik haline gelmiştir.

Bu tez çalışmasında bir tedarik zinciri dağıtım ağı kapsamında; depo yeri seçimi problemi ve araç rotalama problemi (ARP) bütünleşik olarak ele alınmıştır. Depo yeri seçimi probleminin çözümünde çok kriterli karar verme (ÇKKV) yöntemlerinden biri olan Bulanık TOPSIS yöntemi kullanılırken, ARP için Tabu Arama Algoritması ve Aç Gözlü Algoritma ile çözüm üreten bir uygulama geliştirilmiştir. Bu doktora tezinin; karmaşık ve büyük iki farklı problemi bütünleşik olarak ele almış olması ve daha önce karşılaştırması yapılmamış olan iki yöntemi çözüme dahil etmesi ile literatüre katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Tedarik Zinciri Dağıtım Ağı, Depo Yeri Seçimi, Araç Rotalama Problemi (ARP), Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV), Bulanık TOPSIS, Tabu Arama Algoritması, Aç Gözlü Algoritma.

ABSTRACT
INTEGRATED SOLUTION OF THE WAREHOUSE LOCATION PROBLEM
AND THE VEHICLE ROUTING PROBLEM WITHIN THE SCOPE OF
SUPPLY CHAIN DISTRIBUTION NETWORK
Tuba Ezgi ÇAKIR ESEN

Warehouse location selection and planning the routes of the vehicles that carry out the distribution are extremely important in the supply chain distribution network. By choosing the right warehouse location and routing the vehicles correctly, the performance of the supply chain distribution network increases, while the total distribution costs decrease. Today, this situation has become a necessity for businesses to achieve sustainable success in strategic competition.

In this thesis; the warehouse location selection problem and the vehicle routing problem (VRP) have been handled in an integrated manner within the scope of a supply chain distribution network. Fuzzy TOPSIS method, which is one of the multi-criteria decision making (MCDM) methods, was used to solve the warehouse location selection problem and an application has been developed for VRP that produces solutions with Tabu Search Algorithm and Greedy Algorithm. By analyzing two different complicated and extensive problems as integrated and by including two methods that haven't been compared before to the solutions to these problems, it is assumed that this thesis will make a unique contribution to the literature.

Keywords: Distribution network design, warehouse location selection, vehicle routing problem (VRP), multi-criteria decision making (MCDM), Fuzzy TOPSIS, Tabu Search Algorithm, Greedy Algorithm.

ÖNSÖZ

Bu tez çalışması, işletmelerin son yıllarda en çok üzerinde durduğu rekabet konularından biri olan tedarik zinciri yönetimini ele almıştır. Çalışmanın amacı; tedarik zinciri dağıtım ağı içerisinde karşılaşılan iki karmaşık problem olan, depo yeri seçimi problemi ve ARP' ye dair çözüm önerileri geliştirmektir.

Çalışmanın her aşamasında vaktini ve bilgisini benimle paylaşmaktan hiçbir zaman çekinmeyen ve bu çalışmaya tecrübesiyle değer katan danışmanım Sayın Dr. Öğr. Üyesi Birgül KÜÇÜK ÇIRPIN' a; akademik hayatım boyunca yol gösterici olan Anabilim Dalı Başkanım Sayın Prof. Dr. Necdet ÖZÇAKAR' a, kıymetli ilgisi ve desteği için Sayın Prof. Dr. Yaman ÖZTEK' e, kullanılan yöntemle dair kodların yazılması aşamasında verdiği destek için Sayın Giray BAL' a ve bu süreçte beni motive eden hocalarıma ve çalışma arkadaşlarıma teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca beni büyük bir özveri ile yetiştiren ve tüm hayatım boyunca yanımda olan annem Nilgün ÇAKIR ve babam Oğuz ÇAKIR' a, hep yanımda olacağını bildiğim yol arkadaşım Gökhan ESEN' e ve son olarak varlığıyla bana mutlulukların en güzelini yaşatan canım kızım Masal' a minnet ve sevgilerimle...

Tuba Ezgi ÇAKIR ESEN

İSTANBUL, 2022

İÇİNDEKİLER

ÖZ.....	ii
ABSTRACT.....	iii
ÖNSÖZ.....	iv
TABLolar LİSTESİ.....	viii
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	ix
RESİMLER LİSTESİ.....	x
KISALTMALAR LİSTESİ.....	xi
GİRİŞ	1

BİRİNCİ BÖLÜM

TEDARİK ZİNCİRİ YÖNETİMİ

1.1	Tedarik Zinciri Kavramı	4
1.2	Tedarik Zinciri Yönetiminin (TZY) Tarihsel Gelişimi.....	7
1.3	Tedarik Zincirinin Dinamikleri	9
1.3.1	Tesisler.....	10
1.3.2	Stok	10
1.3.3	Ulaştırma.....	11
1.3.4	Bilgi	11
1.3.5	Kaynak Bulma	12
1.3.6	Fiyatlandırma	13
1.4	Tedarik Zinciri Yönetiminin Süreçleri.....	13
1.4.1	Müşteri İlişkileri Yönetimi	14
1.4.2	Müşteri Hizmetleri Yönetimi.....	14
1.4.3	Talep Yönetimi	14
1.4.4	Sipariş İşleme.....	15
1.4.5	Üretim Akış Yönetimi	15
1.4.6	Satın Alma	15
1.4.7	Ürün Geliştirme ve Ticarileştirme	15
1.4.8	İadeler	16
1.5	Tedarik Zincirinde Ağ Tasarımı.....	16

İKİNCİ BÖLÜM

DEPO YERİ SEÇİMİ PROBLEMİ

2.1	Depo Yeri Seçimi	22
2.2	Depo Yeri Seçimi Literatür Araştırması.....	23
2.3	Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri	29
2.3.1	AHP (Analitik Hiyerarşi Süreci- Analytical Hierarchy Process)	32
2.3.2	TOPSIS	35
2.3.3	ANP (Analytic Network Process –Analitik Ağ Süreci).....	37
2.3.4	VIKOR.....	38
2.3.5	MOORA.....	38
2.3.6	ELECTRE.....	39
2.3.7	SAW.....	40
2.3.8	COPRAS.....	40
2.3.9	PROMETHEE	41
2.3.10	WASPAS	42
2.4	Bulanık Küme Kavramı.....	42
2.5	Bulanık TOPSIS Yöntemi.....	46

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

ARAÇ ROTALAMA PROBLEMİ

3.1	Araç Rotalama Probleminin Tanımı ve Formülasyonu	52
3.2	Araç Rotalama Probleminin Türleri	54
3.2.1	Kısıtlara Göre ARP Türleri.....	55
3.2.1.1	Kapasite Kısıtlı Araç Rotalama Problemi	55
3.2.1.2	Mesafe Kısıtlı Araç Rotalama Problemi	56
3.2.1.3	Zaman Pencere Araç Rotalama Problemi	57
3.2.1.4	Toplama ve Dağıtım Araç Rotalama Problemi.....	57
3.2.1.5	Periyodik Yükleme Araç Rotalama Problemi.....	58
3.2.1.6	Parçalı Dağıtım Araç Rotalama Problemi.....	58
3.2.1.7	Stokastik Araç Rotalama Problemi	58
3.2.1.8	Heterojen Araç Rotalama Problemi	59
3.2.1.9	Geri Dönümlü Araç Rotalama Problemi.....	59
3.2.1.10	Çok Depolu Araç Rotalama Problemi	59
3.2.2	Amacına Göre Araç Rotalama Problemi	59
3.2.3	Rotalara Göre Araç Rotalama Problemi	60
3.2.4	Yollara Göre Araç Rotalama Problemi.....	61

3.2.5	Dinamik-Statik Araç Rotalama Problemi	61
3.3	ARP' nin Çözüm Yöntemleri	62
3.3.1	Kesin Çözüm Yöntemleri	63
3.3.1.1	Dal-Sınır Yöntemi	63
3.3.1.2	Minimum Yayılan Ağaç Yöntemi	63
3.3.1.3	Kesme Düzlemi Yöntemi	63
3.3.2	Sezgisel Yöntemler	64
3.3.2.1	Klasik Sezgiseller	64
3.3.3	Meta Sezgisel Yöntemler	67
3.3.3.1	Genetik Algoritma	67
3.3.3.2	Tabu Arama Algoritması	68
3.3.3.3	Tavlama Benzetimi	70
3.3.3.4	Karınca Kolonisi Algoritması	71
3.3.3.5	Yapay Arı Kolonisi Algoritması	72
3.3.3.6	Parçacık Sürü Optimizasyonu	73
3.3.3.7	Yapay Sinir Ağları	73
3.3.3.8	Aç Gözlü Algoritma	74
3.4	Araç Rotalama Problemi Literatür Araştırması.....	75

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

UYGULAMA

4.1	Depo Yeri Seçimi Problemi Çözümü	78
4.2	ARP Çözümü	92
4.2.1	Aç Gözlü Algoritma ile Çözüm	94
4.2.2	Tabu Arama Algoritması ile Çözüm.....	104
SONUÇ.....		115
KAYNAKÇA		119
ÖZGEÇMİŞ.....		152

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 2.1: Çok Kriterli Karar Verme Problemleri ve Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri Sınıflandırması.....	32
Tablo 2.2: İkili karşılaştırmalar ölçeği.....	34
Tablo 2.3: MOORA' nın diğer ÇKKV yöntemleri ile karşılaştırması.....	39
Tablo 2.4: Dilsel ifadelerin bulanık sayı karşılıkları.....	49
Tablo 4.1: Literatür çalışmasından elde edilen kriterler	81
Tablo 4.2: Dilsel değişkenlerin üçgen bulanık sayı karşılıkları.....	82
Tablo 4.3: Kriterlere atanan önem derecelerinin üçgen bulanık sayı karşılıkları.	83
Tablo 4.4: Alternatiflerin kriterler çerçevesindeki performans değerleri.	84
Tablo 4.5: Kriterlere atanan önem derecelerinin bütünleşik değerleri.....	84
Tablo 4.6: Alternatiflerin kriterler çerçevesindeki performans değerlerinin bütünleşik değerleri.....	85
Tablo 4.7: Normalize değerler.	86
Tablo 4.8: Ağırlıklandırılmış normalize değerler.	87
Tablo 4.9: Pozitif (A^*) ve negatif (A^-) bulanık ideal çözüm değerleri.....	89
Tablo 4.10: Pozitif bulanık ideal çözüm ile olan uzaklıklar.	90
Tablo 4.11: Negatif bulanık ideal çözüm ile olan uzaklıklar.	91
Tablo 4.12: Alternatiflerin yakınlık kat sayıları.....	91
Tablo 4.13: Alternatiflerin sıralanması.	91
Tablo 4.14: Özet sonuçlar tablosu.....	114

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1: Tedarik zinciri örneği.	5
Şekil 1.2: Genel tedarik zinciri modeli.	7
Şekil 1.3: TZY' nin değişimi.	9
Şekil 1.4: Tedarik zinciri ağ tasarımı kararları.	18
Şekil 2.1: Tedarik zinciri kararlarının hiyerarşisi.	31
Şekil 2.2: Yamuk bulanık sayı.	44
Şekil 2.3: Üçgen bulanık sayı.	45
Şekil 3.1: Araç rotalama problemi.	52
Şekil 3.2: ARP' nin sınıflandırılması.	55
Şekil 3.3: Açık uçlu araç rotalama problemi.	60
Şekil 3.4: Kapalı uçlu araç rotalama problemi.	61
Şekil 3.5: ARP çözüm yöntemleri.	62
Şekil 3.6: Tasarruf kavramı.	64
Şekil 3.7: Kutup açılara göre kümeleme.	67
Şekil 3.8: TA algoritması çözüm süreci.	70
Şekil 3.9: Karınca kolonisi davranışları.	71
Şekil 4.1: Aç gözlü algoritma ile çözüm grafiği.	96
Şekil 4.2: Aç gözlü algoritma ile 1. aracın rota grafiği.	96
Şekil 4.3: Aç gözlü algoritma ile 2. aracın rota grafiği.	98
Şekil 4.4: Aç gözlü algoritma ile 3. aracın rota grafiği.	99
Şekil 4.5: Aç gözlü algoritma ile 4. aracın rota grafiği.	100
Şekil 4.6: Aç gözlü algoritma ile 5. aracın rota grafiği.	101
Şekil 4.7: Aç gözlü algoritma ile 6. aracın rota grafiği.	102
Şekil 4.8: Aç gözlü algoritma ile 7. aracın rota grafiği.	103
Şekil 4.9: Tabu arama algoritması ile çözüm grafiği.	106
Şekil 4.10: Tabu arama algoritması ile 1. aracın rotası.	107
Şekil 4.11: Tabu arama algoritması ile 2. aracın rotası.	108
Şekil 4.12: Tabu arama algoritması ile 3. aracın rotası.	109
Şekil 4.13: Tabu arama algoritması ile 4. aracın rotası.	110
Şekil 4.14: Tabu arama algoritması ile 5. aracın rotası.	111
Şekil 4.15: Tabu arama algoritması ile 6. aracın rotası.	112
Şekil 4.16: Tabu arama algoritması ile 7. aracın rotası.	113

RESİMLER LİSTESİ

Resim 4.1: Aç gözlü algoritma ile çözümün ekran görüntüsü.	95
Resim 4.2: Aç Gözlü algoritma ile 1. aracın rotasının liste görünümü.	97
Resim 4.3: Aç gözlü algoritma ile 2. Aracın rotasının liste görünümü.	98
Resim 4.4: Aç gözlü algoritma ile 3. aracın rotasının liste görünümü.	99
Resim 4.5: Aç gözlü algoritma ile 4. aracın rotasının liste görünümü.	100
Resim 4.6: Aç gözlü algoritma ile 5. aracın rotasının liste görünümü.	101
Resim 4.7: Aç gözlü algoritma ile 6. aracın rotasının liste görünümü.	102
Resim 4.8: Aç gözlü algoritma ile 7. aracın rotasının liste görünümü.	103
Resim 4.9: Tabu arama algoritması ile çözümün ekran görüntüsü.	104
Resim 4.10: Tabu arama algoritması ile çözümün ekran görüntüsü (Devamı).	105
Resim 4.11: Tabu arama algoritması ile 1. aracın rotasının liste görünümü.	107
Resim 4.12: Tabu arama algoritması ile 2. aracın rotasının liste görünümü.	108
Resim 4.13: Tabu arama algoritması ile 3. aracın rotasının liste görünümü.	109
Resim 4.14: Tabu arama algoritması ile 4. aracın rotasının liste görünümü.	110
Resim 4.15: Tabu arama algoritması ile 5. aracın rotasının liste görünümü.	111
Resim 4.16: Tabu arama algoritması ile 6. aracın rotasının liste görünümü.	112
Resim 4.17: Tabu arama algoritması ile 7. aracın rotasının liste görünümü.	113

KISALTMALAR LİSTESİ

AARP	: Asimetrik Araç Rotalama Problemi
ARP	: Araç Rotalama Problemi
BARP	: Besleyici Araç Rotalama Problemi
ÇA-KKARP	: Çok Amaçlı Kapasite Kısıtlı Araç Rotalama Problemi
ÇBARP	: Çok Bölmeli Araç Rotalama Problemi
ÇDARP	: Çok Depolu Araç Rotalama Problemi
ÇKKV	: Çok Kriterli Karar Verme
EYKA	: En Yakın Komşu Arama
EZTDARP	: Eş Zamanlı Topla Dağıt Araç Rotalama Problemi
GDARP	: Geri Dönürlü Araç Rotalama Problemi
GSP	: Gezgin Satıcı Problemi
GTARP	: Geri Toplamalı Araç Rotalama Problemi
HF-ÇDARP	: Heterojen Filolu ve Çok Depolu Araç Rotalama Problemi
İAARP	: İki Amaçlı Araç Rotalama Problemi
KARP	: Klasik Araç Rotalama Problemi
KKARP	: Kapasite Kısıtlı Araç Rotalama Problemi
MRP	: Malzeme İhtiyaç Planlaması
MYAY	: Minimum Yayılan Ağaç Yöntemi
PSO	: Parçacık Sürü Optimizasyonu
SZPARP	: Sıkı Zaman Pencere Araç Rotalama Problemi
TA	: Tabu Arama
TZY	: Tedarik Zinciri Yönetimi
YAKA	: Yapay Arı Kolonisi Algoritması
YARP	: Yeşil Araç Rotalama Problemi
YSA	: Yapay Sinir Ağları
ZPARP	: Zaman Pencere Araç Rotalama Problemi

GİRİŞ

Ticaretin küreselleşmesi ile beraber rekabet şartlarının giderek daha da zorlaştığı günümüzde işletmeler, pazar paylarını sürekli olarak arttırmak ve bununla beraber maliyetlerini düşürmek durumundadır. Pazar payını sürekli olarak arttırabilmek ise; sürdürülebilir müşteri tatminini gerektirmektedir.

Günümüz rekabet koşullarında, işletmelerin varlıklarını sürdürebilmeleri konusunda tedarik zinciri yönetiminin (TZY) başarısı son derece önemlidir. Başarılı bir TZY sayesinde ihtiyaç duyulan hammadde, yarı mamul ve/veya mamulün ihtiyaç duyulan yer ve zamanda, en uygun fiyatla hazır bulunması, işletme maliyetlerini düşürürken müşteri tatminini arttıracaktır. TZY’ de başarıyı sağlamak için ise; hammaddenin tedarik edilmesinden, nihai ürün müşteriye ulaşmaya dek gerçekleşecek olan bilgi, ürün ve finansal kaynak akışının, çift yönlü olarak doğru ve etkin bir biçimde gerçekleşiyor olması gerekmektedir.

Yöneticiler, tedarik zinciri performansını ve dolayısıyla işletme performansını artırma hedefini sağlamaya çalışırken; stratejik, taktik ve operasyonel seviyede, pek çok farklı karar almak durumuyla karşı karşıya kalmaktadır. Özellikle tedarik zinciri içerisinde yer alan tesislerin konumları, büyüklükleri, kapasiteleri, alt yapıları gibi faktörlere dair kararlar; değiştirilmesi güç ve maliyetli olan, tedarik zinciri ağını yapısal olarak doğrudan etkileyen ve sonuçları işletme performansını hayati derecede yönlendiren, son derece önemli kararlardır. Birden fazla faktörün aynı anda değerlendirilmesini gerektiren ve birbirleri ile sürekli çelişen amaçları beraberinde getiren bu kararların alınması, tedarik zinciri yöneticileri için çözümü zor ve karmaşık birer problemdir.

Tedarik zinciri dağıtım ağı içerisinde kritik rol oynayan depoların konumlarını belirlemeye yönelik problemler araştırmacılar ve uygulayıcılar tarafından sıklıkla ele alınmış ve farklı yöntemlerle çözülmeye çalışılmıştır. Literatürde özellikle ÇKKV yöntemlerinin, gerek kullanım kolaylıkları, gerekse çözüm performanslarının yüksek oluşu sayesinde bu problemlerin çözümünde yoğun olarak tercih edildiği görülmüştür. ÇKKV yöntemleri ile pek çok kriter aynı anda değerlendirilebilmekte, konunun uzmanlarının tecrübesi çözüme aktarılabilmekte ve farklı alternatifler arasından seçim

yapılabilmektedir. ÇKKV yöntemlerinde bulanık mantığın da çözüme dahil edilmesi sayesinde ise; belirsizliklerin ve öznel yargıların hassasiyetle çözümde yer alması sağlanabilmektedir.

Tedarik zinciri dağıtım ağı içerisinde yöneticilerin karşı karşıya kaldıkları bir diğer problem ise araç rotalama problemleridir. Birden fazla araçla, birden fazla müşteri noktasına yapılacak olan dağıtımın, toplam kat edilen mesafeyi en küçükleyecek şekilde gerçekleştirilmesi problemi olarak tanımlanabilecek olan ARP' ler; çok uzun yıllardan beri araştırmacıların yakından inceleyip çözüm geliştirmeye çalıştığı karmaşık ve zor problemlerden olmuştur. Öyle ki; rotalamanın doğru yapılması halinde tedarik zinciri maliyetleri direkt olarak düşmekte, dağıtım hızlanmakta ve bunların beraberinde müşteri tatmini de artmakta iken; yanlış yapılan bir rotalama tedarik zinciri performansını ve dolayısıyla işletme performansını doğrudan olumsuz yönde etkilemektedir.

Literatürde pek çok farklı ARP türü olduğu gibi; ARP' lerin çözümü için de kesin çözüm yöntemlerinden, sezgisel yöntemlere pek çok farklı yöntem geliştirilmiştir. Hali hazırda tedarik zinciri dağıtım ağının popüler konularından biri olan ARP' nin, araştırmacılar ve uygulayıcılar tarafından uzun yıllar daha önemle ele alınacağı rahatlıkla söylenebilir.

Tedarik zinciri dağıtım ağı içerisinde yer alan depo yerlerinin seçimi ve dağıtımı gerçekleştirecek olan araçların rotalanması problemlerinin, bütünleşik olarak ele alındığı bu tez çalışması 5 bölümden oluşmaktadır.

Çalışmanın birinci bölümünde tedarik zinciri kavramı açıklanmış, TZY' nin tarihsel gelişimi anlatılarak; tedarik zincirinin dinamikleri ve TZY' nin süreçlerine değinilmiştir. Tedarik zinciri ağ tasarımının da anlatıldığı bu bölümde, yine ağ tasarımına dair son yıllarda yapılan çalışmaları içeren bir literatür çalışmasına yer verilmiştir.

İkinci bölümde depo yeri seçimi konusu ele alınmış ve depo yeri seçiminde kullanılan ÇKKV yöntemleri detaylarıyla anlatılmıştır. Ayrıca bulanık mantık kavramı

ve Bulanık TOPSIS yöntemi ayrıntılı bir biçimde ele alınmış ve son yıllarda bu yöntemin kullanıldığı çalışmalar incelenmiştir.

Çalışmanın üçüncü bölümünde, ARP türleri ve ARP çözüm yöntemleri detaylarıyla anlatılmış ve ARP' yi konu alan, son yıllarda yapılmış çalışmaların incelendiği kapsamlı bir literatür araştırmasına yer verilmiştir.

Dördüncü bölümde, büyük ve karmaşık bir depo yeri seçimi problemi ele alınmış ve bu probleme Bulanık TOPSIS yöntemi kullanılarak bir çözüm önerilmiştir. Bölümün devamında ise; belirlenen depo lokasyonundan hareket ederek, 102 farklı müşteri noktasına hizmet edecek olan, 7 homojen aracın rotalanması problemi Tabu Arama Algoritması ve Aç Gözlü Algoritma ile karşılaştırmalı olarak çözülmüştür. Karşılaştırmalar toplam kat edilen mesafe ve toplam hesaplama süresi üzerinden yapılmıştır. Çözüm için söz konusu algoritmaların kullanıldığı bir uygulama geliştirilmiştir.

Sonuç bölümünde, tez çalışması detaylı bir biçimde özetlenmiş ve elde edilen bulgular değerlendirilmiştir.

Bu çalışmanın, konuyla ilgilenen araştırmacılara ve/veya uygulayıcılara, yöntemler hakkında fikir sahibi olma imkanı sağlayacağı düşünülmektedir.

BİRİNCİ BÖLÜM

TEDARİK ZİNCİRİ YÖNETİMİ

1.1 Tedarik Zinciri Kavramı

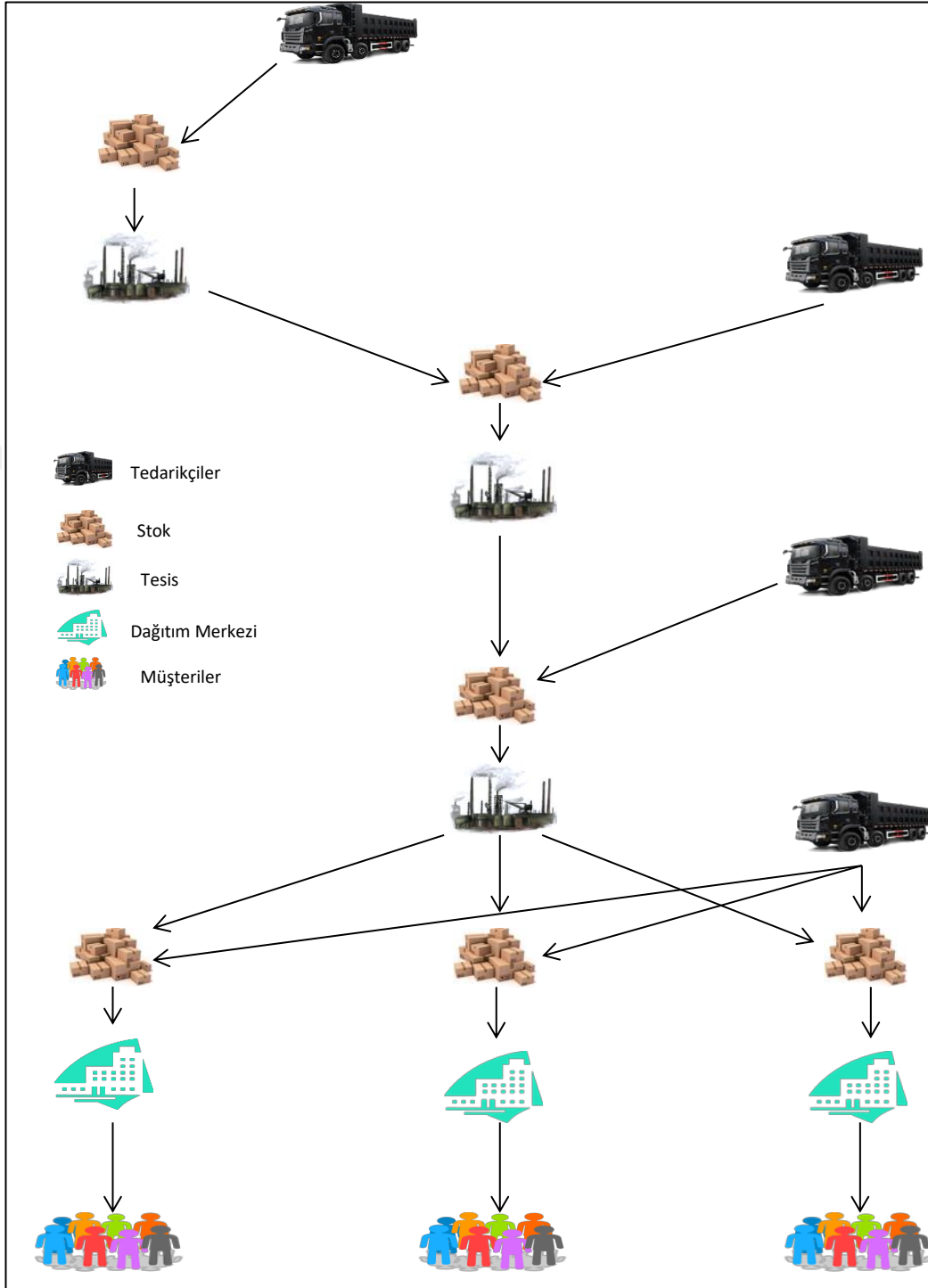
Tedarik sözcüğünün kökeni araştırıldığında dilimize Arapça’ dan geçtiği görülür. Türk Dil Kurumu Sözlüğü ise tedarik sözcüğünü; “araştırıp bulma, sağlama, elde etme” şeklinde tanımlamıştır (<https://sozluk.gov.tr>).

Bir tedarik zinciri, müşteri gereksinimlerinin, doğrudan veya dolaylı olarak karşılanmasında yer alan tüm tarafları kapsar. Tedarik zinciri yalnızca üreticiler ve tedarikçilerle sınırlı değildir. Bunların yanı sıra, bir tedarik zinciri içerisinde taşıyıcılar, perakendeciler ve müşteriler de yer alır. Özetle müşteri talebinin alınması ve karşılanmasındaki tüm fonksiyonlar tedarik zincirine dâhildir (Chopra ve Maindl, 2013: 1).

Tedarik zinciri; tedarikçiler, lojistik hizmet sağlayıcıları, üreticiler, dağıtıcılar ve satıcılar arasında malzeme, ürün ve bilgi akışını sağlayan bir sistemdir (Kopczak, 1997: 226). Buradan da anlaşılacağı gibi tedarik zinciri birden fazla unsuru ve birden fazla fonksiyonu içeren karmaşık bir yapıya sahiptir.

Teknik anlamda tedarik zinciri, hammadde sağlayan, bu hammaddeleri yarı mamul ve mamullere dönüştüren ve bunların müşterilere dağıtımını sağlayan bir ağıdır. Bu ağı oluşturan fonksiyonların tümü bütünleşik halde olmalıdır. Bu fonksiyonların her biri kendinden önceki fonksiyonun müşterisi iken, kendinden sonraki fonksiyonun tedarikçisi konumundadır (Eymen, 2007).

Lee ve Billington’ a göre, en sade haliyle bile bir tedarik zinciri, üretim ve dağıtım faaliyetlerini içine alan bir ağıdır. Ve bu ağı, katma değer zinciri olarak da tanımlamak mümkündür. Şekil 1.1’ de bir tedarik zinciri örneği gösterilmektedir (Lee ve Billington, 1992: 65-66).



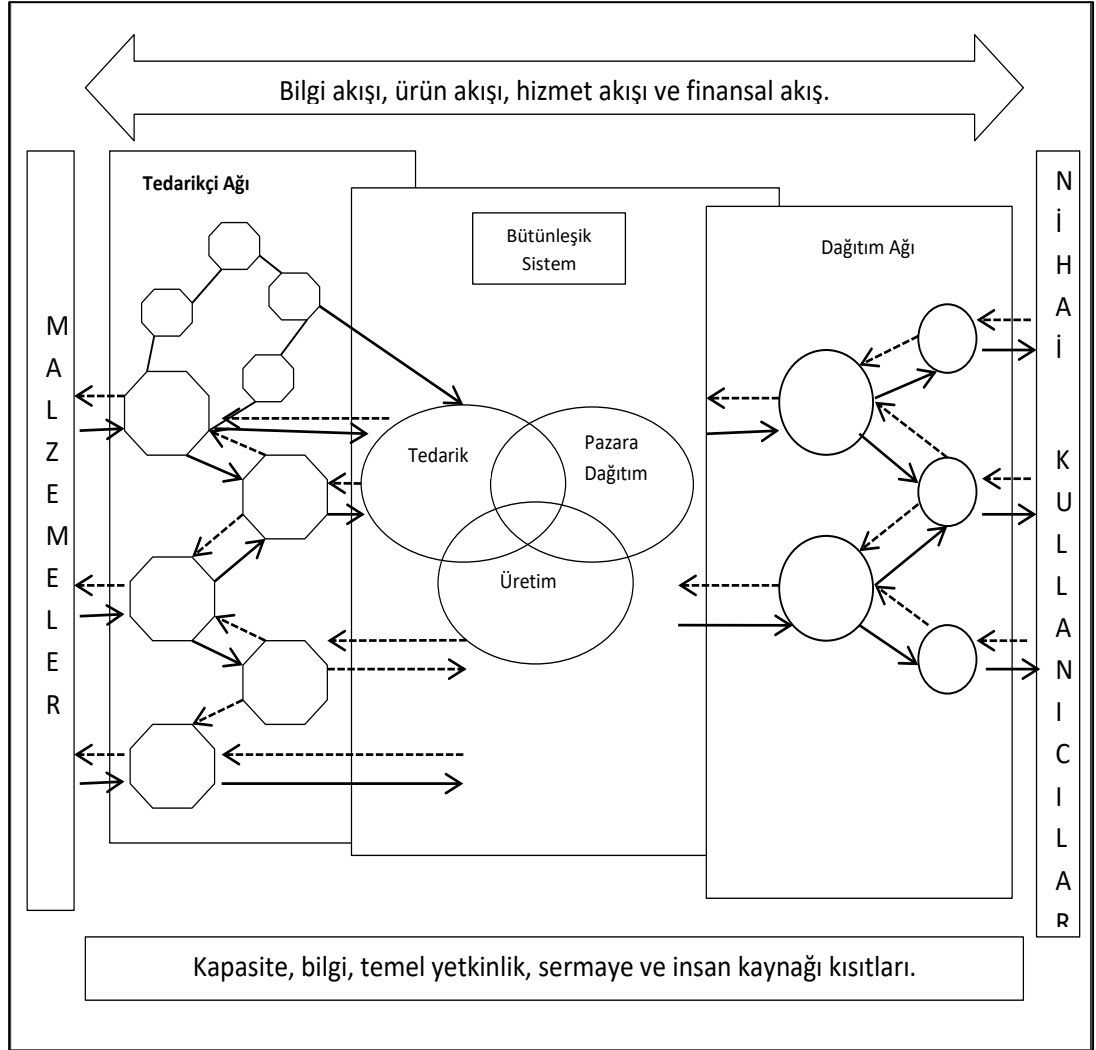
Şekil 1.1: Tedarik zinciri örneği

Kaynak: Lee, Hau L., Corey Billington, "Managing supply chain inventory: pitfalls and opportunities." Sloan management review 33.3, 1992, 65-73.

Tedarik zincirinin katma değer zinciri olduğunu ifade eden bir başka tanımı ise Ishii ve Ohba yapmıştır. Bu tanıma göre tedarik zinciri; bir ürüne, ham madde halinden nihai ürün haline gelene kadar değer katan, farklı birimlerin oluşturduğu bir sistemdir (Ishii ve Ohba, 2018: 1591).

Bir malın, hammadde halinden müşterilerin ihtiyaçlarını ve/veya beklentilerini karşılayacak nihai haline ulaşıncaya kadar, geçirdiği tüm aşamaları kapsayan bütünleşik sistem tedarik zinciri olarak adlandırılmıştır. Tedarik zinciri, adından da anlaşılacağı üzere; birbirine bağlı ve her biri nihai ürün oluşurmada söz konusu sisteme katma değer sağlayan işlemlerden ve bu işlemleri gerçekleştiren aktörlerden meydana gelir. Bir tedarik zinciri içerisinde; müşteri talebinin sisteme ulaştığı andan itibaren nihai haline ulaşıncaya dek geçirdiği tüm işlemler ve bu işlemlerden sorumlu aktörler, bütünleşik bir biçimde, aynı hedef için çalışırlar yorumunu yapmak yanlış olmayacaktır.

Bowersox v.d. 2002 yılında, genel tedarik zinciri modelini en temel haliyle şekil 1.2' deki gibi göstermiştir. Buna göre zincirin tedarikçi ağı, bütünleşik sistem ve dağıtım ağı şeklinde üç aşamaya ayrıldığı görülmektedir. Bu üç aşamanın da sistemde i ie geçmiş vaziyette; kapasite, bilgi, temel yetkinlik, sermaye ve insan kaynağı kısıtları altında, nihai kullanıcılar için çalıştığı açıkça görülmektedir.



Şekil 1.2: Genel tedarik zinciri modeli.

Kaynak: Bowersox, Donald, David Closs, Bixby Cooper, "Supply chain logistics management." Michigan State: McGraw Hill, 2002.

Genel tedarik zinciri modelinde; tedarik zincirinin bütünsel bir sistem olduğu; tedarik, pazara dağıtım ve üretim fonksiyonlarının birlikte uyumla çalışmaları gerektiği görülmektedir.

1.2 Tedarik Zinciri Yönetiminin (TZY) Tarihsel Gelişimi

Bowersox (1969), ticari işletmeler için fiziksel dağıtım konusunun, yıllar boyunca en çok ihmal edilen iş konularından biri olduğuna değinmiş ve 1950'lerin ortalarından itibaren ise bütünsel fiziksel dağıtım kavramına yönelik bir ilgi söz konusu olduğunu tespit etmiştir. Bowersox tarafından yapılan bu çalışma, tedarik

zinciri yönetimi kavramının temeli sayılan bütünleşik fiziksel dağıtımın literatürdeki ilk vurgusu olarak kabul edilir.

1970' li yıllarda Malzeme İhtiyaç Planlaması (MRP) sisteminin ortaya atılmasıyla birlikte işletmeler, dağıtım faaliyetlerini yürütmek amacıyla merkezi bir dağıtım departmanı oluşturmuş ve her faaliyetin lojistiğini ayrı ayrı iyileştirmek yerine, sisteme bütünleşik olarak yaklaşarak toplu iyileştirmenin gerekliliğini anlamışlardır (Özdemir, 2004: 90). Nihai ürünlerin ve dolayısıyla nihai ürünleri oluşturacak olan parça ve bileşenlerin, hangi tarihlerde, hangi miktarda hazır olması gerektiğine dair bilgi veren, bilgisayar destekli bir sistem olan MRP' nin geliştirilmesi de TZY tarihçesi açısından önemli gelişmelerden biri olarak kabul edilmektedir.

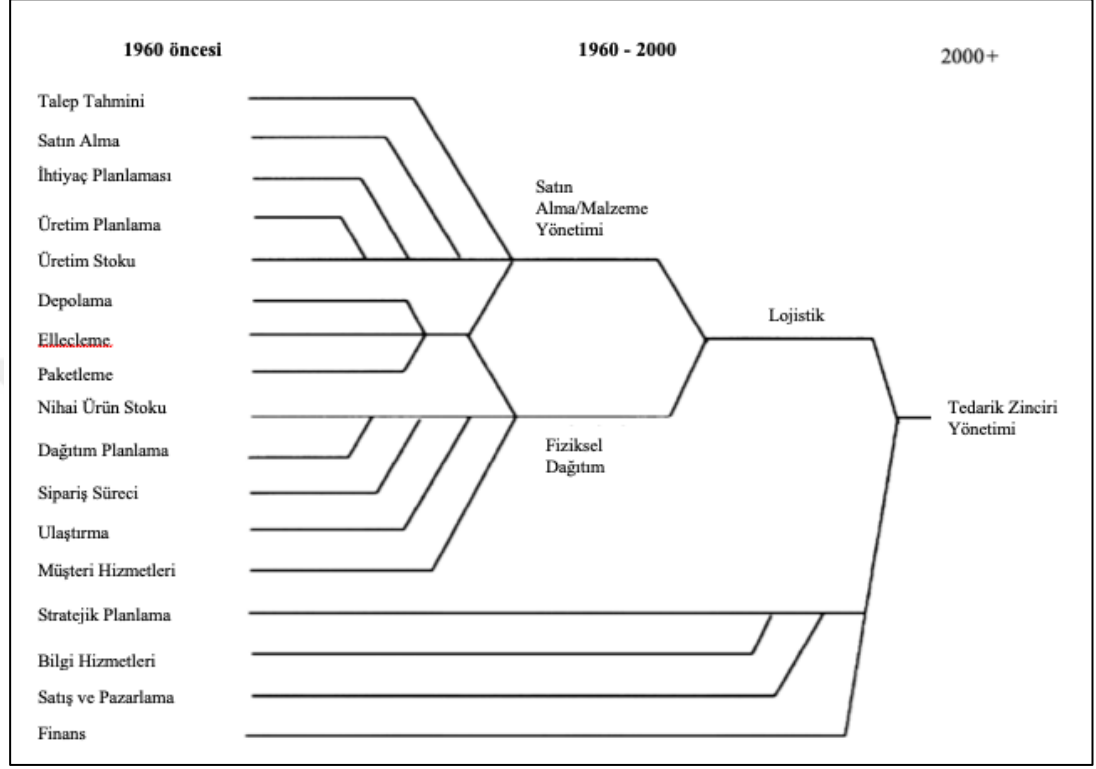
1980' lere gelindiğinde küresel rekabetin hızla artması, lojistikte hızlı yanıt sisteminin (Quick Response Logistics – QRL) geliştirilmesine yol açmıştır (McKeller, 2014: 3). Rekabetin giderek zaman ve hız odaklı hale gelmeye başladığı bu yıllarda, tedarik sistemlerinin çevikliği, müşteriye hızlı dönüş yapabilme yeteneği, işletmeler açısından en önemli avantajlar arasında görülmeye başlanmıştır.

90' lı yıllardan itibaren işletmeler, tedarikçilerden sağladıkları mal ve/veya hizmetlerin müşteri memnuniyetini sağlayabilme noktasında son derece kritik rol oynadığını görmüşlerdir. Küresel rekabetin hızla artmaya devam ettiği bu yıllarda ürünlerin müşteriye doğru yer, doğru zaman ve doğru miktarda, en uygun maliyetle ulaştırılması, dönemin en önemli rekabet avantajları arasında kabul edilmiştir. Bu durumun sonucunda, hammadde tedarikinden satış sonrası hizmetlere kadar, tüm sistemin yönetilmesi gerekliliği ortaya çıkmıştır (Handfield and Nicholas, 1999: 43).

Fiziksel dağıtımın yönetilmesi aşamasından, bütün sistemin bütünleşik olarak yönetilmesi aşamasına gelinceye kadar pek çok evreden geçildiği görülmektedir. Günümüzde geline son aşama olan TZY, işletmeler açısından en önemli rekabet unsuru haline gelmiştir.

TZY, tüm faaliyetlerin planlanmasını ve yönetimini kapsar. Hammadde bulma ve satın almadan, dönüştürme ve tüm lojistik faaliyetlerin yönetimi bu kapsamda yer almaktadır. Daha da önemlisi TZY, zincir içerisinde yer alan ortaklar ile koordinasyon

ve işbirliğini de içerir. Şekil 1.3, bu kapsayıcı son aşamaya gelinceye kadar TZY' nin geçirdiği değişimi göstermektedir (Ballou, 2007: 338).



Şekil 1.3: TZY' nin değişimi.

Kaynak: Ballou, Ronald, "The evolution and future of logistics and supply chain management." European business review, 2007.

Şekil 1.3 incelendiğinde 1960 öncesi yıllarda talep tahmini, satın alma, planlama, depolama gibi faaliyetlerin ayrı ayrı yönetildiği görülürken; 1960-2000 yılları arasında bu faaliyetlerin gruplandırılarak satın alma/malzeme yönetimi ve fiziksel dağıtım birimlerinin altında yönetildiği görülmektedir. İlerleyen yıllarda satın alma/malzeme yönetimi ile fiziksel dağıtım birleştirilerek lojistik birimi adı altında yönetilmiştir. 2000 ve sonrasında ise tüm faaliyetlerin tedarik zinciri yönetimi kapsamında, bütünleşik olarak yürütülüp yönetildiği görülür.

1.3 Tedarik Zincirinin Dinamikleri

Tedarik zinciri dinamikleri; tesisler, stok, taşıma, bilgi, kaynak bulma, fiyatlandırma olmak üzere 6 başlık altında değerlendirilir. TZY' nin amacı tüm bu dinamikleri mümkün olan en düşük maliyetle, istenilen cevap verme yeteneğine

ulaştıracak şekilde yapılandırmaktır. Bu sayede, firmanın tedarik zinciri içerisindeki arz fazlası azalacak ve finansal performansı iyileşecektir (Chopra ve Meindl, 2007: 41). Tedarik zincirinin bu dinamikleri aşağıda başlıklar halinde detaylandırılmıştır.

1.3.1 Tesisler

Tesisler, bir ürünün depolandığı, montajının gerekleştirildiğı ve/veya retilendiğı yerlerdir. Tesislerin rolü, konumu, kapasitesi ve esnekliğı gibi yönlerinin iyi yönetilmesi, tedarik zinciri performansına olumlu etki sağlayacaktır (Shahzadi v.d., 2013: 57). Tesislerle ilgili kararlar, şirket üzerindeki uzun vadeli etkileri sebebiyle stratejik olarak kabul edilmektedir (Doan, 2020: 474). Bu sebeple tesislerin konumlarının, kapasitelerinin (büyüklüklerinin), genişleme imkanlarının, mevcut pazarlar ve gelecekteki pazarlarla olan etkileşimlerinin; ekonomik, sosyal ve fiziksel pek çok farklı açıdan, konunun uzmanları tarafından dikkatle değerlendirilmesi gerekmektedir.

1.3.2 Stok

Bir retim sistemi içerisinde, üretime doğrudan veya dolaylı olarak dahil olan tüm fiziksel varlıklar stok kavramı içerisinde değerlendirilmektedir. Modern retim sistemlerinde her kademedeki yöneticiyi yakından ilgilendiren stok kavramı; hammadde stoku, yarı mamul stoku, mamul stoku, hazır parçalar ve yardımcı malzemeler şeklinde sınıflandırılabilir (Kobu, 2014: 327-329).

Stokların planlanması ve kontrol edilmesi olarak tanımlanan stok yönetimi konusu, tüm işletme yöneticilerinin olduğu gibi tedarik zinciri yöneticilerinin de ilgi odağıdır. Etkin bir stok yönetimi, tedarik zinciri performansını olumlu yönde etkilemektedir. Tedarik zinciri içerisinde, müşterilerin, tüm taleplerini karşılayacak fazla stok bulundurmak ya da maliyetleri düşürmek için eksik stok politikası belirlemek doğru değildir. Amaç, işletmenin rekabet önceliklerine en uygun stoku belirlemek olmalıdır (Krajewski v.d., 2013: 416).

Yalnızca retimdeki ya da yalnızca dağıtımdaki stokları kontrol edip yönetmek yerine, TZY anlayışının da bir parçası olarak; tedarik zinciri boyunca; tedarikçilerden

üreticilere, depolardan dağıtıcılara kadar tüm zincir içerisinde yer alan stokların etkin bir biçimde yönetilmesi gerekmektedir.

Tedarik zincirinde, etkin bir stok yönetimi için izlenebilecek bazı stratejiler söz konusudur. Bunlar; “çok sayıda tedarikçi ile çalışma”, “az sayıda tedarikçi ile çalışma” ve üretimde gerekli olan mal ve hizmetleri sağlayan işletmelerin ana işletmeye dahil edilmesi anlamına gelen “dikey entegrasyon” şeklinde sıralanabilir (Tanrıverdi, 2010: 81). Her işletmenin kendi rekabet koşulları ve hedefleri doğrultusunda belirleyeceği stratejisi de farklı olacaktır.

1.3.3 Ulaştırma

Tedarik zinciri içerisinde taşıma kavramı, hammadde halinden nihai ürüne kadar, sistem içerisindeki her unsurun hareketini ifade etmektedir. Ulaştırmada işletmenin, müşteri isteklerine yanıt verebilirlikten mi yoksa verimlilikten mi ödün vereceği konusu, taşıma yönteminin seçilmesi noktasında kendini gösterir. Örneğin; en hızlı taşıma yöntemlerinden biri olan havayolu ulaşımı tercih edildiğinde müşteri isteklerine yanıt verebilirlik seviyesi artacak ancak yüksek maliyetler sebebi ile verimlilik düşecektir. Ulaştırma yönteminin denizyolu ya da demiryolu şeklinde tercih edilmesi halinde ise maliyetler düşerken verimlilik artacak, ancak müşteri isteklerine yanıt verebilirlik seviyesi düşecektir (Hugos, 2018: 14). Burada, her işletmenin kendi TZY stratejisi doğrultusunda taşıma yöntemine karar vermesi ve gerek müşteri isteklerine yanıt verebilirlik açısından gerekse taşıma maliyetleri açısından seçimini değerlendirmesi gerekir. Diğer TZY dinamiklerinde olduğu gibi taşıma stratejisinin de yanlış belirlenmesi, tüm tedarik zinciri performansını olumsuz yönde etkileyecektir.

1.3.4 Bilgi

Tedarik zincirinin başarısı, zincir içerisinde yer alan unsurların eş zamanlı bilgi paylaşımına ve bu sayede tüm unsurların senkronize bir biçimde hareket edebiliyor olmasına bağlıdır. Burada sözü geçen bilgi kavramı kapsamında; teknoloji, uzmanlık, tasarım, spesifikasyonlar, numuneler, müşteri listeleri, fiyatlar, müşteri profilleri, satış tahminleri ve sipariş geçmişi yer alır (Min, 2015: 29).

Bilgi, tedarik zinciri içerisinde yer alan diğer dinamiklerin her birini doğrudan etkilediğinden, tedarik zincirindeki performansın potansiyel olarak en büyük itici gücüdür. Bilgi, yönetime tedarik zincirlerini daha duyarlı ve daha verimli hale getirme fırsatı sunar (Chopra ve Meindl, 2007: 42).

Tedarik zinciri içerisinde eş zamanlı ve doğru bilgi paylaşımı, talep tahminlerinin doğruluğundan, ürün spesifikasyonlarının uygunluğuna kadar işletmeye pek çok farklı yönde rekabet avantajı sağlamaktadır. Ancak; eş zamanlı ve doğru bilgiye sahip olmanın yanı sıra, bu bilgileri tedarik zinciri unsurları arasında doğru aktarabilecek ve farklı teknolojiler için dönüşümlerini gerçekleştirebilecek bir sistemin olması gerekmektedir. Bu nedenle işletmeler günümüzde, bilgi teknolojilerine büyük önem vermekte ve bu konuya önceki yıllardan çok daha fazla yatırım yapmaktadır.

1.3.5 Kaynak Bulma

Tedarik zincirinde kaynak bulma stratejisi, rekabet avantajı elde etme konusunda hayati önem taşır. Özellikle son yıllarda tedarik zinciri riskleri önemli ölçüde artmakta ve tedarikçi başarısızlığı en önemli tedarik zinciri risklerinden biri olarak tanımlanmaktadır. Araştırmacılar tedarikçilerden kaynaklanan başarısızlıkları azaltmak için; yerel kaynak kullanımından küresel kaynak kullanımını, tek noktadan kaynak kullanımından ikili/çoklu kaynak kullanımını önermektedir. Yine tedarikçiden kaynaklanan olumsuz etkileri azaltma amacıyla; performansa dayalı tedarik sözleşmeleri stratejisi ve tedarikçiler arasında sipariş tahsisini optimize etme stratejisi önerilmektedir (PrasannaVenkatesan ve Kumanan, 2012: 325).

Birçok tedarik zincirinde üreticiler genellikle yerleşik bir tedarikçiden (büyük tedarikçi) veya nispeten daha az bilinen bir tedarikçiden (küçük tedarikçi) kaynak sağlama ikilemiyle karşı karşıya kalırlar (Özer ve Raz, 2011: 92). Tedarikçi seçimi aşamasında bahsi geçen bu ikilemin yanı sıra; tedarikçinin konumu, iş yükü, kapasitesi, büyümeye olan elverişliliği gibi pek çok farklı konuda yöneticileri zorlayan ikilemler söz konusu olmaktadır. Bu noktada her işletme kendi tedarik zinciri stratejisi doğrultusunda, kendi önceliklerini belirleyecek ve tedarikçi seçimini bu önceliklere

göre gerçekleştirecektir. İşletmenin stratejisi ile uyumlu olan, doğru belirlenmiş tedarikçiler tüm tedarik zinciri performansını olumlu yönde etkileyecektir.

1.3.6 Fiyatlandırma

TZY, karar vericiler için fiyatlandırmanın son derece önemli olduğu çeşitli stratejik, taktik ve operasyonel düzey kararlarla ilgilenir. Gerçek hayattaki tedarik zinciri fiyatlandırma problemlerinin çoğu, pazar payını genişletmek ve ortaya çıkan rakiplerle mücadele etmek için rekabeti çok önemli bir faktör olarak görmektedir. Buna göre, TZY' deki rekabetçi fiyatlandırma, son yıllarda büyük ilgi görmeye başlamıştır (Ziari v.d., 2022: 2082).

Fiyatlandırma kararları, işletmelerin üzerinde önemle durduğu kararlardandır. Çünkü bu kararlar, ürünlerin pazardaki durumunu doğrudan etkileyen en önemli faktörlerdendir. Buradan yola çıkarak; fiyatlandırma kararlarının tedarik zinciri yönetiminin başarısında önemli bir etken olduğu açıkça söylenebilir (Elagöz, 2008: 141).

1.4 Tedarik Zinciri Yönetiminin Süreçleri

Global tedarik zinciri forumu, tedarik zinciri yönetimi için 8 anahtar süreç tanımlamıştır. Bu süreçler şunlardır (Croxtton ve Rogers, 2001: 14):

- Müşteri İlişkileri Yönetimi
- Müşteri Hizmetleri Yönetimi
- Talep Yönetimi
- Sipariş İşleme
- Üretim Akış Yönetimi
- Satın Alma
- Ürün Geliştirme ve Ticarileştirme
- İadeler

1.4.1 Müşteri İlişkileri Yönetimi

Müşteri İlişkileri Yönetimi; müşterileri tanımak, müşteri isteklerini anlamak ve bu doğrultuda hareket etmek anlamına gelir. Müşteri ilişkileri yönetiminde başarılı olan işletmeler, yeni müşteriler elde edebilme ve mevcut müşterilerini elde tutabilme konusunda önemli avantajlara sahiptir (Yurdakul ve Karahan, 2010: 133).

Rekabet avantajı elde etmek için üretim tekniklerinin geliştirilip yönetilmesi belirli oranda etkilidir. Günümüzde bireyin ön plana çıkması ile beraber "müşteri ilişkileri yönetimi" kavramı oldukça önem kazanmıştır (Hoşgören, 2011: 80). Tedarik zinciri içerisinde de müşteri ilişkileri yönetimindeki başarının, tüm tedarik zinciri performansı üzerindeki etkisi büyüktür. Bu sebeple günümüzde pek çok işletmenin, tedarik zinciri stratejilerini müşteri odaklı olarak belirlediği görülmektedir.

1.4.2 Müşteri Hizmetleri Yönetimi

Müşteri hizmetleri yönetimi; müşterilerin karşı karşıya kaldıkları sorunları, müşteri taleplerini, beklentilerini ve/veya şikayetlerini hızlıca iletmek ve çözmek için, müşteriler ile ilgili ekipler arasındaki koordinasyonu sağlama, yönetme ve kontrol etme işidir. Tedarik zincirinin, özellikle yanıt verebilirlik performansı üzerinde müşteri hizmetleri yönetiminin önemi büyüktür.

1.4.3 Talep Yönetimi

Üretilen ürün ve/veya hizmete olan talep miktarı; ihtiyaç duyulacak olan işçi sayısından hammaddeye, tedarik sürelerinden makine ve teçhizatın sayı ve niteliğine kadar tedarik zinciri içerisindeki pek çok kararı doğrudan etkilemektedir. Bu nedenle talebin doğru tahmin edilip yönetilmesi işletmeler için hayati bir konudur (Yalçın, 2013: 11).

Tedarik zinciri içerisinde fazla stok bulundurulması durumu sistemi yavaşlatacağı ve maliyetleri arttıracacağı gibi, ihtiyaç duyulandan az stok bulundurulması durumu da cevap verebilirlik seviyesinin düşmesine yol açacaktır. Bu nedenle, işletmeler tedarik zinciri performanslarını yükseltmek ve/veya korumak için faaliyet gösterdikleri sektöre ve kendi stratejilerine en uygun talep tahmin yöntemini seçerek talebi doğru yönetmek durumundadırlar.

1.4.4 Sipariş İşleme

Sipariş işleme süreci, etkin bir TZY için anahtar süreçlerden biridir. Etkin bir sipariş işleme süreci ise; işletmenin üretim, lojistik ve pazarlama planlarının entegrasyonunu gerektirir. İşletmeler müşteri ihtiyaçlarını karşılayabilmek ve toplam dağıtım maliyetlerini azaltabilmek için, tedarik zinciri içerisindeki kilit rolde olan unsurlarla iş birliğini geliştirmelidir (Croxtton ve Rogers, 2001: 22).

1.4.5 Üretim Akış Yönetimi

Üretim akış yönetimi, ürünlerin hammadde halinden nihai ürün haline dönüşüncüye kadar geçirdikleri tüm aşamaların yönetimini kapsar. Üretim akışının miktar, zaman, maliyet ve kalite açılarından en uygun şekilde gerçekleşmesi, tedarik zinciri performansını da olumlu yönde etkilemektedir.

1.4.6 Satın Alma

Satın alma yönetimi süreci, TZY' nin önemli bir parçasıdır. Geleneksel satın alma yönetimi anlayışına göre satın almanın rolü, istenen kaynağı bir tedarikçiden mümkün olan en düşük satın alma fiyatıyla elde etmektir. Ancak bu anlayış modern TZY ile birlikte değişmiş ve alıcılar ile satıcılar arasındaki iş birliğine dayanan, yüksek seviyede bir stratejik faaliyete dönüşmüştür (Bowersox v.d., 2002: 135).

Modern TZY' de bir hammadde, yarı mamul ve/veya mamulün en uygun fiyata tedarik ediliyor olması, tedarik zinciri başarısı için yeterli değildir. Ancak istenilen kalitedeki girdilerin, istenilen zamanda, istenilen miktarda ve en uygun fiyata sağlanabiliyor olması durumunda tedarik zinciri başarısına katkıdan söz edilebilir.

1.4.7 Ürün Geliştirme ve Ticarileştirme

Modern TZY anlayışına göre ürün geliştirme süreci, işletmenin tedarikçileri ve müşterileri ile iş birliği halinde gerçekleştirilir. Müşterilerden alınan geri bildirimler ve tedarikçiler ile sağlanan iş birlikleri sayesinde, pazara yeni sürülecek olan ürünlerin tasarımı, miktarı, hedef pazarı gibi konulara karar verilir. Bu durum, ürünün daha yaşam eğrisinin en başındayken dahi TZY' ye dahil olduğunun bir göstergesidir.

1.4.8 İadeler

Tedarik zinciri içerisindeki akışın yalnızca ileri yönlü (tedarikçiden üreticiye, üreticiden müşteriye) olduğunu düşünmek yanlıştır. İade, değişim, tamir gibi faaliyetler, tedarik zinciri içerisindeki akışın tam tersi yönde de olabileceğinin birer örneğidir.

Müşteri memnuniyetsizliği, arızalı ya da bozuk ürünler, son kullanma tarihi dolmuş ürünler iade sebebi olabilmektedir. Etkin bir TZY için, yalnızca satış aşamasına kadar olan süreç değil, satış sonrası sürecin de doğru yönetilmesi gerekir. Bu nedenle iade yönetimi, TZY süreçleri arasında kritik öneme sahiptir.

1.5 Tedarik Zincirinde Ağ Tasarımı

Tedarik zincirinin tasarımı, her üretim şirketinin uzun vadeli stratejik planlamasının önemli bir parçasıdır. Tedarik zincirinin tasarımına bağlı olan kararlar şunlardır (Fleischmann ve Koberstein, 2015: 108):

- Üretim tesislerinin konumu ne olmalı? (Yeni tesisler kurulmalı mı, yoksa mevcut tesisler kapatılmalı mı?)
- Ürünlerin ve/veya bileşenlerin dağılımı nasıl yapılmalı? Hangi ürünler nerede üretilmeli?
- Her bir üretim sahasındaki tesis için: Mevcut ekipman yeterli mi, genişletilmeli mi, yoksa kapatılmalı mı? Hangi ürün ve/veya bileşenler için hangi kapasite ve teknoloji ile yeni ekipman, örneğin yeni bir üretim hattı kurulmalı?

Tüm bu kararlar yüksek yatırımları gerektirmekte ve işletmenin rekabet gücü üzerinde önemli ve uzun vadeli bir etkiye sahip olmaktadır. Bu sebeple tedarik zincirinde ağ tasarımı işletmeler için son derece hayati ve stratejik süreçlerdir.

Bir dağıtım ağı tasarlanırken yöneticiler iki önemli kararla karşı karşıya kalmaktadır. Bu kararlar şunlardır:

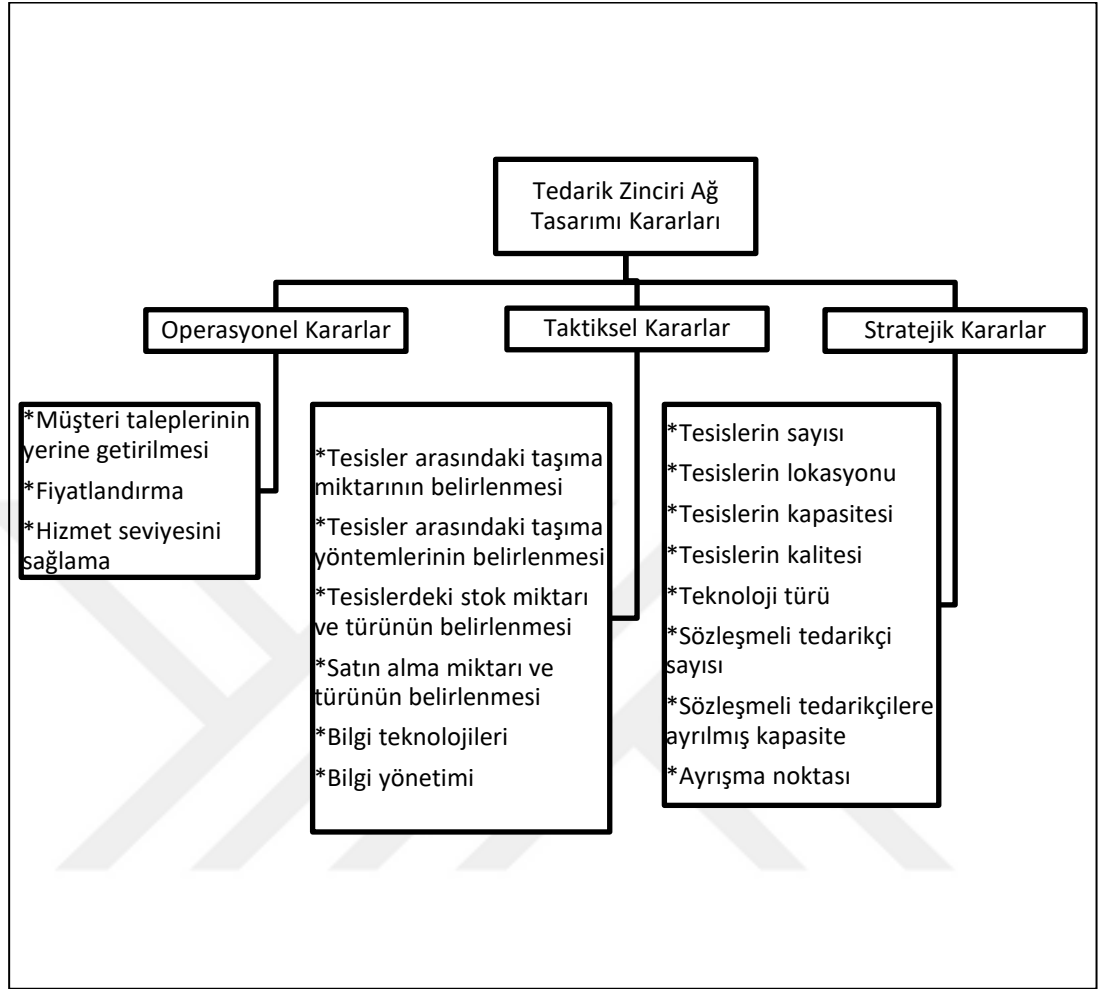
- Ürün müşterinin bulunduğu yere mi teslim edilecek yoksa önceden belirlenmiş bir yerden mi teslim alınacak?

- Ürün bir araçtan (veya ara konumdan) geçecek mi?

Buradan yola çıkılarak işletmeler için 6 farklı dağıtım ağı tasarımından söz edilebilir (Chopra ve Meindl, 2007: 73):

1. Üretici depolamalı doğrudan nakliye (Arada perakendeci olmadan, üreticiden tüketiciye doğrudan teslimatın yapıldığı tasarımdır.)
2. Üretici depolamalı doğrudan nakliye ve transit birleştirme (Siparişin farklı konumlardan gelen parçalarının birleştirildiği tasarımdır.)
3. Dağıtıcı depolamalı, taşıyıcı teslimatlı (Stokun dağıtıcılar tarafından tutulduğu ve müşteriye teslimatın dağıtıcılardan yapıldığı tasarımdır.)
4. Dağıtıcı depolamalı, son kilometre teslimatlı (Stokun dağıtıcılar tarafından tutulduğu ve teslimatın müşterinin adresine yapıldığı tasarımdır.)
5. Üretici/dağıtıcı depolamalı, müşteri teslim almalı (Stokun üretici ya da dağıtıcı deposunda tutulduğu, müşterinin teslimatı belirli noktalardan kendisinin aldığı tasarımdır.)
6. Perakende depolamalı, müşteri teslim almalı (Stokun perakende mağazasında tutulduğu ve müşterinin ürünü buradan satın alıp teslim aldığı tasarımdır.)

Tedarik zinciri ağ tasarımı kapsamında verilen kararlar, zincirin yapısını belirlerken; maliyetleri ve performansı doğrudan etkiler. Tedarik zinciri ağ tasarımı kapsamında alınan kararları; taktik seviyedeki kararlar, operasyonel seviyedeki kararlar ve stratejik seviyedeki kararlar olmak üzere üç başlık altında sınıflandırma mümkündür. Şekil 1.4 bu sınıflandırmayı göstermektedir (Farahani v.d., 2014: 95).



Şekil 1.4: Tedarik zinciri ağ tasarımı kararları.

Kaynak: Farahani, Reza Zanjirani, Shabnam Rezapour, Tammy Drezner, Samira Fallah, "Competitive supply chain network design: An overview of classifications, models, solution techniques and applications." Omega 45 (2014): 92-118.

Dağıtım ağının tasarımı, tedarik zincirinin maliyetini doğrudan etkilemektedir. Doğru bir dağıtım ağı tasarımı ile müşteri memnuniyeti ve işletmenin karlılığı artırılabilirken; tedarik zinciri performansı iyileştirilebilmektedir.

İşletmelerin karlılığına doğrudan etkisi olan tedarik zinciri ağ tasarımı konusu, yıllar boyunca pek çok araştırmacının ilgisini çekmiştir. Aşağıda, özellikle son yıllarda yapılan çalışmaları inceleyerek ağ tasarımında ele alınan problemleri belirlemeyi hedefleyen bir literatür araştırmasına yer verilmiştir.

Bortolini v.d. (2022); stok seviyesini (yalın atık), çevresel emisyonları (yeşil atık) ve küresel tedarik zinciri ağı maliyetlerini eş zamanlı olarak en aza indirmek için bir optimizasyon modeli geliştirmiştir. Orta vadeli sürdürülebilir tedarik zinciri ağı tasarımı için geliştirilen bu modelin literatürdeki boşluğu doldurduğu belirtilmektedir. Naeeni ve Sabbaghi (2022), tüm sürdürülebilirlik boyutları arasındaki çıkar çatışmalarını yakalayan entegre bir tedarik zinciri ağı tasarım modeli geliştirmiştir. Önerilen model, birbirine bağlı ağ tasarımı karar değişkenlerini hem stratejik hem de taktik düzeylerde dikkate alırken; bir gerçek yaşam problemi üzerinde test edilmiştir. Vali-Siar v.d. (2022), esnek bir karma açık ve kapalı döngü tedarik zinciri ağı tasarlamak için; yapıcı bir sezgisel yöntem ile geliştirilmiş bir genetik algoritma ve geliştirilmiş bir parçacık sürü optimizasyonu meta sezgisellerini önermiştir. Dehshiri v.d. (2022), kapalı döngü tedarik zinciri ağı tasarımı için yeni bir bulanık yaklaşım geliştirmiştir. Modellemede ekonomik, sorumluluk ve çevre konularını dikkate alan araştırmacılar, bu çok amaçlı problemi çözmek için etkileşimli bulanık programlama yaklaşımını kullanmışlardır. Akyol (2022), hijyen ürünleri üreticisi bir işletmenin tedarik zinciri dağıtım ağı problemini ele almış ve bir doğrusal programlama modeli geliştirerek, Lingo çözücüsü ile çözmüştür.

Torğul v.d. (2021), yeni bir kapalı döngü ağ tasarımı modelini, şeftali suyu ürünlerinin tedarik zinciri sürdürülebilirliği için sunmuştur. Model, karma tam sayılı doğrusal programlamaya dayalı olarak kârı maksimum yapma amacıyla formüle edilmiş ve sayısal bir örnek ile GAMS programında çözülmüştür. Darmawan v.d. (2021), tedarik zinciri ağı tasarımı için sadece lokasyon - ulaşım ve stok problemlerini entegre etmeyen, aynı zamanda ağ içerisinde koordineli stok kontrolünün uygulanmasını da dikkate alan sezgisel bir model geliştirmiştir. Guo v.d. (2021), sürdürülebilirliği dikkate alan bir ağ tasarımı problemini incelemiş ve problemin çözümü için bir arama algoritması geliştirmiştir. Moheb-Alizadeh v.d. (2021) ise; sürdürülebilir bir kapalı döngü tedarik zinciri ağındaki verimlilik sorunlarını ele almak için, stokastik bir entegre çok amaçlı karışık tam sayılı doğrusal olmayan programlama modeli geliştirilmiştir.

Tolooie v.d. (2020), belirsiz aksamalar ve belirsiz talep altında güvenilir tedarik zinciri ağı tasarımı için iki aşamalı bir stokastik karma tamsayı program

geliştirirken; Wang v.d. (2020), rekabetçi ve sürdürülebilir tedarik zinciri ağ tasarımı probleminin çözümü için Benders ayrıştırma algoritmasını kullanmıştır. Durmaz ve Bilgen (2020), biyo-atık tedarik zinciri ağı tasarımı probleminde, biyogaz tesislerinin optimal sayısını, yerini ve boyutunu, ayrıca şebeke akışını ve üretilen elektriği belirlemeyi amaçlamıştır. Problemin çözümü için ise; yeni bir çok amaçlı karma tam sayılı doğrusal programlama modeli geliştirilmiştir. Goodarzian v.d. (2020) ise, sürdürülebilir ilaç tedarik zinciri ağının tasarımı problemi için yeni bir hibrit parçacık sürü optimizasyonu ve genetik algoritma geliştirmiştir. Sherafati v.d. (2019), sürdürülebilir kalkınma paradigmasını dikkate alan tedarik zinciri ağ tasarımı problemini ele alırken; Zheng v.d. (2019), ağ tasarımı probleminin çözümü için konum, stok ve yönlendirmeyi entegre olarak optimize eden bir kesin algoritma geliştirmişlerdir. Zhen v.d. (2019) ise; belirsizlik altında yeşil ve sürdürülebilir kapalı döngü tedarik zinciri ağı tasarımı modelini çözmek için bir Lagrange gevşeme yöntemi geliştirmiştir.

Sırakaya v.d. (2018), biyodizel için tedarik zinciri ağ tasarımı problemini ele almış ve çözüm için bir karma tam sayılı doğrusal programlama modeli geliştirmiştir. Ma ve Li (2018), tehlikeli madde kapalı döngü tedarik zinciri ağ tasarımı için iki aşamalı bir stokastik programlama modeli geliştirmiştir. Ayvaz v.d. (2018) ise; biyodizelin tedarik zinciri ağ tasarımı problemine çok amaçlı karma tam sayılı doğrusal bir programlama modeli geliştirmiştir. Koç v.d. (2018), ileri tedarik zinciri ağ tasarımı probleminin çözümüne genetik algoritma ve melez sezgisel bir yaklaşım olmak üzere iki farklı çözüm geliştirmiştir; Çalık (2018), gecikme zamanlı kapalı - döngü tedarik zinciri ağ tasarımı için çok amaçlı karma tam sayılı programlama modeli önermiştir.

Elhedhli ve Merrick (2012), CO2 emisyonlarını dikkate alan bir yeşil tedarik zinciri ağı tasarımı problemini ele almış ve problem; bir kapasite kısıtlı yer seçimi problemi ile bir içbükey sırt çantası problemine Lagrange gevşeme yöntemi ile ayrıştırılmıştır. Alt problemin çözümünde de bir Lagrange sezgiseli önerilmiştir. Wang v.d. (2011) ise; çevre faktörünü ön planda tutan bir tedarik zinciri ağ tasarımı problemini ele almıştır. Tasarım aşamasındaki çevresel yatırım kararlarını dikkate alan çalışmada, toplam maliyet ile çevre etkisi arasındaki dengeyi yakalayan çok amaçlı bir

optimizasyon modeli önerilmiştir. Lee v.d. 2010 yılında yaptıkları çalışmalarında; tesislerin lokasyonunu, tesislerin yerleşimini ve rotalama kararlarını içeren tedarik zinciri ağ tasarım problemini incelemişlerdir. Çalışmada, tedarik zinciri ağı için minimum maliyetle en uygun yer, yerleşim düzeni ve rotalamayı belirlemek amaçlanmıştır. Çözüm için iki karışık tam sayılı programlama modeli ve Lagrange gevşeme yöntemine dayalı bir sezgisel algoritma önerilmiştir. Altıparmak v.d. (2009) ise; tek kaynaklı, çok ürünli ve çok aşamalı bir tedarik zinciri ağ tasarımı problemini ele almış ve genetik algoritma temelli bir çözüm önermiştir.



İKİNCİ BÖLÜM DEPO YERİ SEÇİMİ PROBLEMİ

2.1 Depo Yeri Seçimi

Depolar; hammaddelerin veya mamullerin belirli bir süre boyunca saklanabileceği ticari binalardır (Sudalaimuthu ve Raj, 2009: 320). Ancak günümüzde depo kavramı sadece hammadde, yarı mamul ve/veya mamullerin korunduğu/saklandığı binalar olmaktan çok öteye geçip, tedarik zinciri ağı içerisinde azımsanamayacak ölçüde stratejik bir öneme sahip olmuştur. Küreselleşme ile birlikte, yeni ve/veya uzak pazarların da işletmelerin hedef kitlelerine dahil olması neticesinde, depoların tedarik zincirleri içerisindeki stratejik önemi giderek daha da artmıştır. Sonuç olarak; depoların tedarik zinciri içerisindeki konumları, sayıları, büyüklükleri, kapasiteleri, teknolojileri gibi pek çok faktör, tedarik zinciri yönetiminin, üzerinde önemle durması gereken kararlar haline gelmiştir.

Depolama stratejisi, tüm dağıtım lojistiği içerisinde önemli bir yere sahiptir ve özellikle depolar için en uygun yerin seçilmesi kararının, müşteri hizmetleri ve lojistik maliyetleri üzerindeki etkisi çok büyüktür (Korpela ve Tuominen, 1996: 169). Müşteri istek ve beklentilerinin sürekli olarak değiştiği ve geliştiği günümüzde, tedarik zinciri içerisinde gerekli olan hızı ve esnekliği sağlamada depolara da önemli rol düşmektedir. Tedarik zinciri içerisinde yanlış konumlandırılmış bir depo, tüm dağıtım ve/veya toplama lojistiğini olumsuz yönde etkileyecek ve bu durum doğal olarak maliyetlere ve müşteri hizmetleri kalitesine doğrudan olumsuz olarak yansımacaktır. Depo yeri seçimi kararı yalnızca bir yer seçimi meselesi olmaktan öte işletmenin pazarlama stratejileri açısından da son derece önemlidir (Vlachopoulou v.d., 2001: 205). O halde yanlış belirlenmiş bir depo yerinin, işletmelerin pazarlama stratejilerini de olumsuz yönde etkileyeceğini söylemek mümkündür.

Literatürde, depo yeri seçimi kararı problemini ele alıp çözüm önerileri sunan pek çok çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmalarda çözüm yöntemi olarak; genetik algoritmadan, coğrafi bilgi sistemlerine, tam sayılı doğrusal programlama yönteminden, kümeleme analizine kadar pek çok farklı yöntem kullanılmıştır (Yavuz, 2018: 172-173).

Depo yeri seçimi kararı problemi, pek çok kriterin aynı anda değerlendirilerek en uygun seçeneğin belirlenmesini gerektirir. Problemin bu karakteristiğinin bir sonucu olarak, çözümünde ÇKKV yöntemleri başarıyla uygulanabilmektedir. Depo yeri seçimi probleminde araştırmacılar tarafından güvenle ve sıklıkla tercih ediliyor olması ve bu tez çalışmasının uygulama bölümünün ilk adımında çözüm yöntemi olarak kullanılacak olması sebebiyle, çok kriterli karar verme yöntemleri bir sonraki kısımda detaylı bir biçimde ele alınacaktır.

2.2 Depo Yeri Seçimi Literatür Araştırması

Günümüze kadar depo yeri seçimi kararı problemini ele alan ve bu probleme çözüm önerileri geliştiren pek çok çalışma yapılmıştır. Bu literatür araştırmasında, 2000 yılından itibaren yapılmış olan ve depo yeri seçimi kararını konu alan çalışmalar incelenmiştir. Depo yeri seçimi probleminin çözümü için pek çok farklı yöntem kullanılmış ancak bu araştırmada, problemin çözümü için çok kriterli karar verme tekniklerini seçen çalışmaların değerlendirmeye alınması uygun görülmüştür. 2000 yılından bu yana yapılan çalışmalar incelendiğinde ise; ÇKKV yöntemlerinin büyük bir çoğunluğunun gerek tek başına gerek başka yöntem veya yöntemlerle entegre bir biçimde uygulandığı görülmüştür.

Alberto (2000), bir paketleme makineleri üreticisinin depo yeri seçimi problemini, ÇKKV yöntemlerinden AHP' yi kullanarak çözmüştür. Bu çalışmada; çevre (çevresel düzenlemeler, atık bertaraf tesislerine olan yakınlık, vergilendirme), maliyetler (işletme maliyeti, kurulum maliyeti), yaşam kalitesi (iklim, suç oranı, trafik, geçim masrafı), yerel teşvikler (vergi teşvikleri, sendikalar, kanunlar, kalifiye işgücü), teslim zamanı güvenilirliği (taşıyıcılara yakınlık, tedarikçilere yakınlık, müşterilere yakınlık, su yolu, demiryolu ve otoyollara yakınlık), talepler karşısındaki esneklik (tedarikçilere yakınlık, diğer şirketlerin tamamlayıcı tesislerine yakınlık, müşterilere yakınlık), müşterilerle entegrasyon (satış sonrası hizmetin kolaylığı, ortaklaşa yapımın kolaylığı, ortaklaşa tasarımın kolaylığı) kriterleri ana ve alt kriterler olarak belirlenmiştir.

Kuo v.d. (2007), bir dağıtım merkezi deposunun yer seçimi için; genişleme imkanı, tedarik malzemelerinin mevcudiyeti, talep pazarına olan yakınlık, insan

kaynakları, arazi büyüklüğü ve yatırım maliyeti kriterlerini Bulanık TOPSIS yöntemiyle değerlendirmişlerdir.

Chen (2009), çalışmasında bir depo yeri seçimi problemini ele almış ve çözüm yöntemi olarak, en sık kullanılan yöntemlerden biri olan AHP' yi seçmiştir. Bu çalışmada değerlendirilmeye alınan kriterler; müşterilere olan mesafe, ulaşım imkanları, arazinin mevcut ve gelecekteki durumu, doğal ve politik çevre şartları şeklindedir.

Lojistik sektöründe depo yeri seçimi kararı problemini ele alan Demirel v.d. (2010); maliyetler (iş gücü ve ulaşımaya dair maliyetler, vergi teşvikleri, vergilerin yapısı, ekonomik teşvikler ve taşımaya dair maliyetler), iş gücünün özellikleri (kalifiye işçi ve iş gücünün uygunluk durumu), altyapı (ulaşım, iletişim sistemleri, ulaşımın kalitesi ve güvenilirliği), pazar (müşterilere olan mesafe, tedarikçilere ve üreticilere olan mesafe, teslimat süreleri ve hızlı çözüm oluşturabilme), makro çevre (devlet politikaları, endüstriyel düzenlemeler, imar ve inşaat planı) gibi kriterleri Choquet İntegral yöntemiyle değerlendirmişlerdir.

Özcan v.d. (2011), perakende sektöründe faaliyet göstermekte olan bir işletmenin depo yeri seçimi probleminin çözümünde TOPSIS, ELECTRE ve Gri Teori yöntemlerini kullanmışlardır. Söz konusu çalışmanın kriter seti; birim fiyat, stok tutma kapasitesi, mağazalara olan ortalama mesafe, ana tedarikçilere olan ortalama mesafe ve esnekliktir.

Ashrafzadeh v.d. (2012)' nin, çalışmalarında depo yeri seçimi için belirledikleri kriterler; iş gücüne dair maliyetler, ulaşımaya dair maliyetler, elde bulundurmada kaynaklanan maliyetler, arazi maliyetleri, kalifiye iş gücü, iş gücünün mevcut durumu, arazinin mevcut durumu, iklim koşulları, ulaşım çeşitlerinin durumu, iletişim sistemleri, ulaşımın kalitesi ve güvenilirliği, elektrik-su ve doğal gaz kaynaklarının kalitesi ile güvenilirliği, müşterilere olan mesafe, üreticilere olan mesafe, teslim süreleri ve cevap verebilirlik şeklindedir. Araştırmacılar, bu problemin çözümünde Bulanık TOPSIS yöntemini tercih etmişlerdir. Aynı yılda yapılmış olan başka bir çalışmada Çaka (2012), gıda ürünleri üreticisi olan bir firmanın depo yeri seçimi problemine yer vermiştir. Choquet İntegral yönteminin kullanıldığı bu

çalışmada; maliyet (işçiliğe dair maliyetler, dağıtım maliyetleri, depolama maliyetleri), iş gücü (kalifiye elemanın mevcudiyeti, katma değer yaratan faaliyet kapasitesi), çevresel faktörler (pazara uzaklık, ulaşım alternatifleri, yasal prosedürler ve işletme güvenilirliği), alt yapı (kapasite, depolama ve malzeme taşıma sistemleri, sevkiyatın sıklığı, depolama şartları) değerlendirilen kriterlerdir.

Akyüz ve Soba (2013); tekstil sanayinde kullanılacak olan bir depo yerinin seçimi için çok kriterli karar verme tekniklerinden ELECTRE' yi kullanmışlardır. Çalışmanın kriter seti; merkeze uzaklık, limana uzaklık, tahsis edilecek alan, organize sanayii bölgelerine olan uzaklık, ortalama arsa satış fiyatı, müdürlüklerde çalışan miktarı, elektriğin satış fiyatı, nüfus, altyapı ve teşviklerden yararlanabilme şeklinde belirlenmiştir.

Aktepe ve Ersöz (2014), AHP, VIKOR ve MOORA yöntemlerini bir döküm fabrikası için depo yeri seçimi probleminde kullanmışlardır. Söz konusu bu yöntemler; satışlar, toptan ve perakende satışın oranı, yolların bulunma durumu, rakip firmaların varlığı, depo kiralamaya dair maliyet ve büyüme potansiyeli gibi kriterlerin değerlendirilmesinde kullanılmıştır.

Jayant (2015), bir üretim işletmesinin depo yeri seçiminde değerlendirilmek üzere; birim başına fiyat, stok bulundurma kapasitesi, mağazalara olan ortalama mesafe, ana tedarikçilere olan ortalama mesafe ve esneklik kriterlerini belirlemiş, bu kriterlerin değerlendirilmesinde ise VIKOR ve TOPSIS yöntemlerini kullanmıştır. Yine aynı yılda ele alınan bir başka depo yeri seçimi çalışmasında Karmaker ve Saha (2015); Bulanık AHP, TOPSIS ve Bulanık TOPSIS yöntemlerini çözüm yöntemi olarak belirlemişlerdir. Cevap verebilme yeteneği (tedarik süresi, bilgi sağlayabilme), ulaşımın durumu (ulaşımın kalitesi, ulaşım çeşitlerinin varlığı, haberleşme), maliyetler (arazinin maliyeti, taşımanın maliyeti, iş gücünün maliyeti, ulaşımın maliyeti), konuma dair özellikler (iklim koşulları, arazinin kullanılabilirlik durumu, kamu hizmetlerinin kalitesi ve kullanılabilirliği, üreticilere olan mesafe, müşterilere olan mesafe), iş gücünün uygunluğu (kalifiye iş gücü, uygun işgücünün varlığı) gibi ana ve alt kriterler ise, çalışmada değerlendirilmiş olan kriterlerdir.

Cömert ve Yener (2016), Bulanık AHP yöntemini, bir gıda deposunun yer seçimi probleminin çözümünde kullanmışlardır. Bu çalışmanın kriter seti; maliyet (ulaştırma maliyeti, iş gücü maliyeti), alt yapı (arazinin büyüklüğü, depolama imkanları), çevresel faktörler (ana yollara olan mesafe, üretim merkezine olan mesafe), iş gücü (kalifiye işgücü, katma değer yaratan faaliyetin kapasitesi) gibi ana ve alt kriterlerden oluşmaktadır. Yapılan başka bir çalışmada Özbek ve Erol (2016), bir depo yeri seçimi probleminin çözümü için AHP, Basit Ağırlıklı Toplama ve COPRAS yöntemlerini tercih etmişlerdir. Bu çalışmanın kriter seti ise; birim fiyat, stok tutma kapasitesi, marketlere ortalama mesafe, ana tedarikçiye olan ortalama mesafe ve esneklik kriterlerinden oluşmaktadır. Dey v.d. (2016); pazarın mevcudiyeti, ulaştırmanın uygunluğu, ihtiyaç duyulan ek alanların mevcudiyeti, politik istikrar, müşterilere yakınlık ve maliyetler kriterlerinin değerlendirilmesinde; TOPSIS, SAW ve MOORA yöntemlerinden oluşan entegre bir yaklaşım geliştirmişlerdir.

Afet durumunda depo yeri seçimi problemini inceleyen Ofloğlu v.d. (2017), problemin çözümü için SAW, TOPSIS ve VIKOR yöntemlerini kullanmışlardır. Yerleşim yerine olan mesafe, arazinin büyüklüğü, arazinin afetsellik durumu, hava limanına olan mesafe, limana olan mesafe, karayoluna olan mesafe, arazinin maliyeti, arazinin jeolojik yapısı, elektrik bağlantısına olan mesafe, su bağlantısına olan mesafe ve kanalizasyon bağlantısına olan mesafe ise çalışmanın kriter setini oluşturmaktadır. Çok kriterli karar verme yöntemlerinden AHP' nin kullanıldığı bir başka çalışmada Gül ve Eren (2017), kamu sektörü için bir depo yeri seçimi problemini ele almıştır. Bu çalışmada; teslimat için toplam süre, siparişin karşılanabilmesine dair güvenilirlik, kalite, kapasitenin esnekliği, katma değerli hizmetler, ulaşım imkanları, potansiyel kalkınma kriterleri değerlendirilmiştir. Yine aynı yılda, acil durum için depo yeri seçimi problemini çözmeyi amaçlayan He v.d. (2017); trafik durumu, stok tutma kapasitesi, yardım malzemelerini korumak için gerekli olan çevre, afet riski olan bölgeye uzaklık ve maliyet kriterlerini ELECTRE-II yöntemini kullanarak değerlendirmiştir.

Singh v.d. (2018), otomotiv parçaları üretimi yapan bir işletmenin açmayı planladığı yeni depo yeri için Bulanık AHP yöntemini kullanmışlardır. Bulanık AHP yöntemiyle değerlendirilen ana ve alt kriterler; alt yapı (ulaşım, elektrik ve su

kaynakları, iletişim imkanları); devlet politikaları (arazilerin fiyatları, vergi politikaları, teşvikler); pazarın durumu (pazarın büyüklüğü, hedef pazara olan mesafe, pazarın büyüme potansiyeli) şeklindedir. Benzer şekilde; ulaştırma, iş yeri, iş gücü, stok bulundurmanın maliyetleri, deponun kapasitesi, mağazalara olan mesafe ve üretim merkezine olan mesafe kriterlerini, gıda ürünleri üreten bir firmanın açmayı planladığı yeni depo yeri probleminde değerlendiren Yavuz (2018), Gri Sistem Teorisi ve VIKOR yöntemlerini kullanmıştır. Bir süper marketin depo yeri problemini ele alan Emeç ve Akkaya (2018), çözüm için Stokastik AHP ve Bulanık VIKOR yöntemlerini tercih etmiştir. Değerlendirmeye alınan kriter seti ise; iş gücünün maliyeti, ulaştırmanın maliyeti, elde bulundurmanın maliyeti, müşterilere olan mesafe, tedarikçilere olan mesafe, rakiplere olan mesafe, üreticilere olan mesafe, teslimat süresi, iletişim sistemleri, gelişme oranı, depolama kapasitesi, müşteri hizmetleri seviyesi, ulaşım çeşitliliği, deprem dayanıklılığı, elektrik, su ve telefon altyapısı, iklim koşulları ve arazi maliyeti şeklindedir. Uluslararası insani yardım kuruluşları için depo yeri seçimi problemini ele alan Roh v.d. (2018), Bulanık AHP ve Bulanık TOPSIS yöntemlerini kullanmıştır. Beş farklı alternatif depo yeri; lokasyon (coğrafik lokasyon, ihtiyaç sahiplerine olan yakınlık, afetsiz bölge olma durumu, bağışçı görüşleri, iklim, diğer depolara olan yakınlık, afete eğilimli bölgeye olan uzaklık), ulusal istikrar (politik istikrar, ekonomik istikrar, sosyal istikrar), maliyetler (depolama maliyeti, ulaştırma maliyeti, ikmal maliyeti, işçilik maliyeti, arazi maliyeti), işbirliği (hükümet işbirliği, Birleşmiş Milletler işbirliği, komşu ülkelerle olan işbirliği, ulaştırma acenteleriyle işbirliği, uluslararası sivil toplum kuruluşları ile olan işbirliği, yerel sivil toplum kuruluşları ile olan işbirliği, ulaştırma (havayolu ulaştırma imkanı, denizyolu ulaştırma imkanı, karayolu ulaştırma imkanı, depoya ulaşım) gibi ana ve alt kriterler doğrultusunda değerlendirilmiştir.

Turgut ve Şahin (2019), çalışmalarında, bir yaş sebze ve meyve deposu yeri seçimi için AHP yöntemini kullanmıştır. Çalışmada AHP ile ağırlıklandırılan ana ve alt kriterler şöyledir: maliyet (arazinin maliyeti, sevkiyat maliyeti, iş gücünün maliyeti), iş gücü (nitelikli işgücünün durumu, iş gücü için ulaşım olanakları, çevre (afet risk durumu, jeolojik yapı), pazar (üreticiye ve müşteriye olan mesafe), altyapı (taşıma türlerine olan mesafe, liman ve terminallere olan mesafe). Şeker ve Alakaş

(2019) ise, bir ev aletleri firması için depo yeri problemini ele almıştır. Çalışmada; arazi/depo fiyatları, kalifiye iş gücü, müşterilere yakınlık, ulaşım ağı ve erişilebilirlik, altyapı, kamu ve yönetim faktörleri kriterlerinin ağırlıklandırılması AHP yöntemi ile yapılmıştır. Alternatif depo yerlerinin sıralamasında ise; AHP, TOPSIS ve PROMETHEE yöntemleri kullanılmıştır.

Çalık (2020), alüminyum sektöründe faaliyet göstermekte olan bir işlemenin depo yeri seçimi probleminin çözümünde; maliyet (işçiliğin maliyeti, taşımanın maliyeti ve elleçlemenin maliyeti), konumun özellikleri (stok bulundurabilme kapasitesi, arazinin kullanılabilirlik durumu, iklim koşulları), yakınlık (müşterilere yakınlık, tedarikçilere veya üreticiye yakınlık, taşıma türlerine olan yakınlık) kriterlerini değerlendirmiştir. Bu çalışmada, çok kriterli karar verme tekniklerinden Aralık Tip-2 Bulanık AHP ve Aralık Tip-2 Bulanık TOPSIS yöntemleri kullanılmıştır. Yapılan bir başka çalışmada Sağnak (2020), perakende sektöründe faaliyet göstermekte olan bir işletme için depo yeri seçimi problemini ele almış, problemin çözümünde AHP ve Bulanık TODIM yöntemlerini kullanmıştır. Taşımanın maliyeti, talep tahmini, depo için yatırım maliyeti, deponun kapasitesi, teslimat için gerekli süre, çalışanların maliyeti, çeşitli çalışma opsiyonlarının mevcudiyeti, müşterilere olan mesafe, tedarikçilere olan mesafe, üreticilere olan mesafe, arazi uygunluk durumu, vergi politikaları, altyapı durumu (su, iletişim, elektrik) ve güvenlik ise kriter setini oluşturmaktadır. Bir elektrik dağıtım işletmesi için depo yeri seçimi problemini ele alan Kış v.d. (2020), depo yeri seçimi problemlerinde daha önce kullanılmamış bir yöntem olan modifiye edilmiş kemeny medyan gösterge sıralaması uygunluk yaklaşımı (KEMIRA-M) yöntemini kullanmışlardır. Çalışmada 20 farklı alternatif depo yeri; tüketim miktarları, 2018 yatırım miktarları, aylık taşıma maliyeti, ana deponun aylık taşıma maliyeti, en yakın ana yola olan mesafe, ana tedarikçiye olan ortalama mesafe, hareket kabiliyeti, ortalama teslimat süresi ve arazi maliyeti gibi kriterler kapsamında değerlendirilmiştir. Ergün vd. (2020)' nin afet depo yeri seçimi için belirlediği ana ve alt kriterler şöyledir: konum (afetten etkilenenlere ulaşım için gereken süre, yerleşim yerlerine olan uzaklık, depolara ve gıda sağlayacak noktalara olan uzaklık, kara yollarına olan uzaklık, hava yollarına olan uzaklık, deniz yollarına olan uzaklık, arazinin maliyeti), altyapı (afetsellik durumu, zemin, arazinin tapu

bilgileri, iş gücünün varlığı, sel, toprak kayması ve fırtına riski, fay hattı durumu), iş birliği (lojistik hizmet sağlayan firmalar, üniversiteler, sivil toplum örgütleri, devlet teşvikleri). Çalışmada çözüm yöntemi olarak AHP, MAUT ve SAW kullanılmıştır. Çelik sektöründe faaliyet göstermekte olan bir işletmenin depo yeri seçimi problemini ele alan Ehsanifar (2020), problemin çözümünde UTASTAR yöntemini tercih etmiştir. Kriter seti; farklı ulaşım sistemlerine ulaşabilme, konumdan dağıtımın kalitesi, tedarik zinciri boyunca dağıtımın kalitesi, taşıma için gereken iş gücünün maliyeti, yatırım maliyeti, üretim sahasına erişebilme imkanı, tamir sahasına erişebilme imkanı, gelişme ve genişleme potansiyeli, depolama kapasitesi, cevap verebilme süresi ve gecikme durumu kriterlerinden oluşmaktadır. Yapıcı v.d. (2020), medikal bir deponun yer seçimi için; ekonomik (ulaştırma maliyeti, hizmet maliyeti, işgücü maliyeti), pazar (eczane ve hastanelere yakınlık, üretim merkezine yakınlık), sosyal ve kültürel (nüfus yoğunluğu, nitelikli iş gücü), özel yer seçim faktörü (arazi büyüklüğü, arsa ve arazi özelliği) gibi ana ve alt kriterleri değerlendirmiştir. Çalışmada çözüm yöntemi olarak AHP ve ANP yöntemleri kullanılmıştır.

Tırmıkçıoğlu (2021), tekstil sektöründe faaliyet göstermekte olan bir işletmenin depo yeri seçiminde; ulaşım rahatlığı, satış hacmi, rakip firmaların sayısı, nitelikli iş gücünün varlığı ve depo kira maliyeti kriterlerini değerlendirmiş, problemin çözümünde ise Sezgisel Bulanık WASPAS yöntemini kullanmıştır. Bir dağıtım merkezi deposunun yer seçimi problemini ele alan Nong v.d. (2021), 4 alternatif depo yeri arasından seçim yapmışlardır. Çalışmanın kriter seti; lokasyon (tedarikçilere olan uzaklık, pazara olan uzaklık, havaalanına olan uzaklık, otoyola olan uzaklık, limana olan uzaklık, demiryoluna olan uzaklık), maliyet (arazi maliyeti, kurulum maliyeti, lojistik maliyeti, işçilik maliyeti), hizmetler (depolama kolaylığı, nakliye hizmetleri), altyapı (değerlendirilen alanın büyüklüğü, ulaşım hizmetlerinin çeşitliliği) ve insan kaynaklarının mevcudiyeti kriterlerinden oluşmaktadır. Problemin çözümü için ise; bir ANP -TOPSIS entegre yaklaşımı geliştirilmiştir.

2.3 Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri

Günümüzde küçük ya da büyük ölçekli olması fark etmeksizin, alınan tüm kararlar, pek çok kriterin aynı anda değerlendirilmesini gerektirir. Söz gelimi, bir aile

yaz tatili kararı verirken; maliyet, güvenlik, konfor, ulaşım, hizmet kalitesi gibi pek çok kriteri aynı anda değerlendirerek kendi beklenti ve isteklerine en uygun kararı belirlemeye çalışır. Bu, küçük ölçekli kararlara örnek olabilir. Daha büyük ölçekli kararlardan söz etmek gerekirse; bir fabrikanın kuruluş yeri seçimi, bir havalimanının yer seçimi, büyük miktarlarda üretim yapan bir işletmenin tedarikçi seçimi, bir holdingin alacağı yatırım kararları, bir askeri üssün konumunun belirlenmesi gibi; ekonomik, siyasi, askeri pek çok konuda büyük ölçekli kararlara örnekler sıralanabilir.

İşletmelerde alınan kararlar çok çeşitlidir. Kullanılan bilginin kaynağına göre, zaman boyutuna göre (uzun vadeli kararlar, orta vadeli kararlar, kısa vadeli kararlar), kapsamına göre (işletmenin tamamını ya da bir bölümünü etkileyen kararlar), kişi sayısına göre (bireysel kararlar ya da grup kararları) gibi pek çok karar sınıflandırmasından söz edilebilir (Sağır, 2006: 13).

Ganeshan ve Harrison (1995), tedarik zinciri kararlarını stratejik düzeyde (uzun dönemli) alınan kararlar ve operasyonel düzeyde (kısa dönemli) alınan kararlar olmak üzere ikiye ayırmıştır. Tedarik zinciri yönetiminde yer alan dört temel karar alanı olan yer seçimi kararları, üretim kararları, stok ve dağıtım kararlarının her biri hem stratejik düzeyde hem de operasyonel düzeyde karar unsurları içerir (Ganeshan ve Harrison, 1995: 2).

Teigen 1997’ de tedarik zinciri kararlarına ilişkin bir hiyerarşi belirlemiş ve bu hiyerarşik ilişkiyi Şekil 2.1’ deki gibi özetlemiştir. Buna göre stratejik seviyedeki kararlar; lokasyon, üretim, stok ve dağıtım konularına ilişkin kararlardır. Taktik seviyedeki kararlar daha çok haftalık talep tahmini, üretim ve dağıtım planlama, malzeme ihtiyaç planlaması gibi orta vadeli kararlardır. Operasyonel seviyedeki kararlar ise, günlük olarak alınan, oldukça kısa vadeli kararlardır .



Şekil 2.1: Tedarik zinciri kararlarının hiyerarşisi.

Kaynak: Teigen, Rune: "Information flow in a supply chain management system." URL: <http://www.eil.utoronto.ca/profiles/rune/dip-thesis.html> (1997).

İşletmeciliğin hemen her alanında olduğu gibi, tedarik zinciri yönetiminde de karar alınırken pek çok kriterin aynı anda değerlendirilmesi gerekmektedir. Söz konusu kriterler arasında, amaçları ve sonuçları birbiri ile paralel ilerleyen kriterler olabileceği gibi amaçları ve sonuçları birbiri ile çelişen kriterlerin olması da son derece tabiidir. Örneğin; yer seçimi kararı verecek olan bir işletme için, merkezi bir bölge seçimi yapmak, arazi maliyeti kriteri ile çelişecektir. Bu noktada işletmenin tüm bu kriterleri, kendi stratejik ve/veya operasyonel hedefleri doğrultusunda değerlendirerek optimum seçimi yapması gerekir.

Çok kriterli karar verme problemlerini; çok kriterli seçim problemleri, çok kriterli sınıflandırma problemleri ve çok kriterli sıralama problemleri şeklinde üç ana başlık altında toplamak mümkündür. Günümüze kadar çok kriterli karar verme problemlerinin çözümü için pek çok farklı yöntem kullanılmıştır (Vassilev vd., 2005: 4).

Çok kriterli karar verme yöntemleri, karar alıcılara pek çok disiplini baz alarak karar problemlerini farklı boyutlarda değerlendirme fırsatı sağlar. Bu teknikler, birden fazla kriterin değerlendirilip optimize edilmesini ve neticede farklı alternatifler arasından en iyinin seçilmesini gerekli kılan problemlerin çözümü için geliştirilmiştir. Tablo 2.1’ de çok kriterli karar verme problemlerine ve bu problemlerin çözümünde kullanılabilecek çok kriterli karar verme tekniklerine dair bir sınıflandırma yapılmıştır (Turan, 2015: 15-19).

Seçim Problemleri	Sınıflama Problemleri	Sıralama Problemleri
AHP	AHP	AHPSort
ANP	ANP	UTADIS
MAUT/UTA	MAUT/UTA	Flowsort
MACBETH	MACBETH	ELECTRE-TRI
PROMETHEE	PROMETHEE	
ELECTRE I	ELECTRE III	
TOPSIS	TOPSIS	
Hedef Programlama		

Tablo 2.1: Çok kriterli karar verme problemleri ve çok kriterli karar verme yöntemleri sınıflandırması.

Kaynak: Turan, Gökhan, "İşletmeciler, mühendisler ve yöneticiler için operasyonel, yönetsel ve stratejik problemlerin çözümünde çok kriterli karar verme yöntemleri." Bursa: Dora Yayınları (2014).

Çalışmanın bu bölümünde, çok kriterli karar verme problemlerinin çözümünde güvenle ve sıklıkla tercih edilen çok kriterli karar verme yöntemlerinin bazıları detaylı bir biçimde anlatılacaktır.

2.3.1 AHP (Analitik Hiyerarşi Süreci- Analytical Hierarchy Process)

AHP yöntemi 1971-1975 yılları arasında T.L. Saaty tarafından geliştirilmiştir (Saaty, 1987:161). Bu yöntem, geliştirildiğinden bu yana, karar vericiler ve araştırmacılar tarafından en sık kullanılan çok kriterli karar verme yöntemlerinden biri olmuştur (Vaidya ve Kumar, 2006: 1).

AHP, bir karar verme modelidir. Ölçümleri ve karar vericilerin görüşlerini bütünleştirerek çözüm sürecine dahil eder. Yöntemin matematiksel temeli, doğrusal cebire dayanmaktadır. AHP yöntemi; kriterler, kısıtlar ve alternatiflerin ikili karşılaştırmalar yöntemiyle bir hiyerarşiye sokulmasını sağlar (Saaty, 1988: 110).

Karmaşık karar problemlerinde, alternatiflere ve kriterlere göreceli önem dereceleri vererek karar almayı sağlayan AHP yöntemi dört adımdan oluşan bir süreçtir. Bu adımlar (Timor, 2001: 213):

1. Hedeflerin belirlenmesi,
2. Hedefleri gerçekleştirmek için kriterlerin belirlenmesi,
3. Kriterlerin her biri için muhtemel karar alternatifinin belirlenmesi,
4. Hiyerarşik modelin oluşturulmasıdır.

Çözüm sürecinin ilk adımı hedefin belirlenmesi yani problemin ana konusunun tespitidir. Bu bir işletme için en uygun tedarikçinin seçimi, bir hastane için en uygun kuruluş yerinin belirlenmesi ya da bir yatırımcı için en uygun yatırım kararının tespit edilmesi olabilir. Hedefin belirlenmesinin ardından, bu hedeflere ulaşmayı sağlamak için hangi kriterlerin gerekli olduğunun tespit edilmesi gerekmektedir. Hastane örneği ile devam edilecek olunursa; bir hastane için en uygun kuruluş yerinin belirlenmesinde arazi maliyeti, alt yapı olanakları, ihtiyaç duyulan iş gücüne olan yakınlık ya da hastalara yakınlık gibi kriterlerin değerlendirmeye alınması uygun olabilir. Kriterlerin belirlenmesi aşamasında literatürden ve/veya sektördeki uzmanların görüşlerinden faydalanılabilmektedir. Sürecin üçüncü adımı alternatiflerin tespitidir. Örneğin; en uygun tedarikçi seçimi kararı konu alan bir problem için alternatifler, çoğunlukla işletmenin uzmanları tarafından belirlenecek olan aday tedarikçi firmalar olacaktır. Sürecin son aşamasında ise tüm bu basamakları kapsayan ve sürece dair genel resmi görmeyi sağlayacak olan hiyerarşik yapı oluşturulur.

AHP yönteminde problem hiyerarşik olarak yapılandırılır. Bir problemin hiyerarşisinin tasarımına dair ayrıntılı adımlar şöyle sıralanabilir (Saaty, 1994: 22):

1. Genel hedefin tespiti,

2. Genel hedefe dair alt hedeflerin tespiti,
3. Genel hedefe dair alt hedefleri gerçekleştirebilmek için gerekli olan kriterlerin tespiti,
4. Her bir kriter için alt kriterlerin tanımlanması,
5. Sürece dahil olan aktörlerin tespiti,
6. Bu aktörlerin hedeflerinin tespiti,
7. Bu aktörlerin politikalarının tespiti,
8. Sonuçların ya da alternatiflerin tespiti,
9. Evet-hayır kararlarında, en çok tercih edilen sonuç üzerinden, karar verme ile karar vermemenin fayda ve maliyetlerinin karşılaştırılması,
10. Marjinal değerlerin kullanılarak fayda/maliyet analizinin yapılması.

Hiyerarşik yapılandırmanın ardından, kriterlerin göreceli önem dereceleri ikili karşılaştırmalar şeklinde gerçekleştirilir. Bu ikili karşılaştırma işleminde Tablo 2.2’ de verilen Saaty’ nin 1-9 ölçeği kullanılır (Saaty, 1994: 26-27).

Önem Derecesi	Tanım	Açıklama
1	Eşit derecede önemli.	Her iki faktör amaca eşit derecede hizmet eder.
	Orta derecede önemli	Deneyim ve yargılara göre bir faktör diğerinden biraz daha önemlidir.
5	Güçlü derecede önemli	Deneyim ve yargılara göre bir faktör diğerinden güçlü derecede daha önemlidir.
7	Çok güçlü ya da kanıtlanmış derecede önemli.	Bir faktör diğerine göre çok güçlü derecede daha önemlidir.
9	Aşırı derecede önemli	Bir faktör diğerine göre kanıtlanabilir derecede daha önemlidir.
2,4,6,8	Aradaki değerleri temsil eder.	Bazı durumlar için ara değerler gerekir. Bunlar yukarıdakilerin ara değerleridir.

Tablo 2.2: İkili karşılaştırmalar ölçeği.

Kaynak: Saaty, Thomas L., "How to make a decision: the analytic hierarchy process." Interfaces 24.6 (1994): 19-43.

AHP yönteminin en önemli avantajları; tüm değişkenleri ve aralarındaki ilişkileri hiyerarşik bir yapıda sunması, karar verme problemini yapılandırılmış bir biçimde önermesi, görüşme yapılan uzmanların kişisel görüşlerini yapılandırılmış bir biçimde bütünleştirmesi ve kararı mantıksal bir süreçle elde etmesidir (Cucchiella v.d., 2017: 403).

AHP yönteminin avantajları olduğu gibi bazı eksik yanları da vardır. Bunlar; yöntemin çoğunlukla iyi yapılandırılmış karar uygulamalarında kullanılması, sıralamanın kesin olmaması, karar vericilerin öznel yargılarının, seçimlerinin ve tercihlerinin karar üzerindeki etkisinin çok büyük olması şeklinde sıralanabilir (Cheng, 1997: 344).

2.3.2 TOPSIS

TOPSIS yöntemi, ilk olarak 1981 yılında Hwang ve Yoon tarafından geliştirilmiştir (Hwang ve Yoon, 1981). Bir doğrusal ağırlıklandırma yöntemi olan TOPSIS günümüzde en sık kullanılan ÇKKV yöntemlerinden biri haline gelmiştir. TOPSIS yöntemi fayda kriterlerini maksimize ederken, maliyet kriterlerini minimize eden; hem en iyi alternatifini hem de en kötü alternatifini açıklayan bir tekniktir (Ataei v.d., 2013: 48-49).

TOPSIS yöntemi kullanımı ve anlaşılması oldukça kolay olan bir sıralama tekniğidir. Standart TOPSIS yöntemi, aynı anda, pozitif ideal çözüme en yakın ve negatif ideal çözüme en uzak olan alternatifleri seçmeye çalışır. Burada pozitif ideal çözüm fayda kriterlerini maksimize edip maliyet kriterlerini minimize ederken; negatif ideal çözüm maliyet kriterlerini maksimize edip fayda kriterlerini minimize eder (Behzadian v.d., 2012: 13052).

TOPSIS yöntemi son yıllarda; insan kaynakları yönetiminden ulaşıma, ürün tasarımıyla üretim yönetimine, su yönetiminden kalite kontrol ve yer seçimi analizine kadar pek çok alanda başarıyla uygulanabilmektedir. Yöntemin esnekliğinin yüksek oluşu ve farklı durumlara kolayca adaptasyonu, en önemli tercih sebepleridir (Shih v.d., 2007: 802).

TOPSIS yönteminin çözüm süreci aşağıdaki birbirini izleyen 5 adımdan oluşmaktadır (Opricovic ve Tzeng, 2004: 448-449):

1. adım: Normalize karar matrisi Eşitlik 2.1 yardımıyla hesaplanır.

$$r_{ij} = \frac{f_{ij}}{\sqrt{\sum_{j=1}^J (f_{ij})^2}}, \quad j = 1 \dots J; \quad i = 1 \dots n. \quad (2.1)$$

2. adım: Ağırlıklandırılmış normalize karar matrisi Eşitlik 2.2 yardımıyla hesaplanır.

$$v_{ij} = w_i \cdot r_{ij}, \quad j = 1 \dots J; \quad i = 1 \dots n. \quad (2.2)$$

(w_i i. kriterin ağırlığı olmak üzere)

3. adım: Pozitif ideal çözüm ve negatif ideal çözüm sırasıyla Eşitlik 2.3 ve Eşitlik 2.4 yardımıyla hesaplanır.

$$\begin{aligned} A^* &= \{v_1^*, \dots, v_n^*\} \\ &= \left\{ \left(\max_j v_{ij} \mid i \in I' \right), \left(\min_j v_{ij} \mid i \in I'' \right) \right\} \end{aligned} \quad (2.3)$$

$$\begin{aligned} A^- &= \{v_1^-, \dots, v_n^-\} \\ &= \left\{ \left(\min_j v_{ij} \mid i \in I' \right), \left(\max_j v_{ij} \mid i \in I'' \right) \right\} \end{aligned} \quad (2.4)$$

I' fayda kriteri ile ilişkili iken; I'' maliyet kriteri ile ilişkilidir.

4. adım: Pozitif ideal çözüme olan uzaklık ve negatif ideal çözüme olan uzaklık sırasıyla Eşitlik 2.5 ve Eşitlik 2.6' da verilmiştir.

$$D_j^* = \sqrt{\sum_{i=1}^n (v_{ij} - v_i^*)^2}, \quad j = 1, \dots, J. \quad (2.5)$$

$$D_j^- = \sqrt{\sum_{i=1}^n (v_{ij} - v_i^-)^2}, \quad j = 1, \dots, J. \quad (2.6)$$

5. adım: İdeal çözüme göreli yakınlığın hesaplanması adıımıdır. Eşitlik 2.7 yardımıyla hesaplanır ve elde edilen veriler doğrultusunda alternatiflerin tercih sıralaması yapılır.

$$C_j^* = D_j^- / (D_j^* - D_j^-), \quad j = 1, \dots, J. \quad (2.7)$$

TOPSIS yöntemi, günümüzde oldukça sık kullanılan çok kriterli karar verme yöntemlerinden biridir. Yöntemin en önemli avantajları; uygulamasının kolay olması, hesaplama sürecinin sade olması, her tür kriteri dikkate alıyor olması, akılcı ve anlaşılır olmasıdır (Praveenkumar ve Sathishkumar, 2016: 17).

Tıpkı diğer yöntemlerde olduğu gibi TOPSIS yönteminde de bir takım dezavantajlar söz konusudur. Bunlardan biri; TOPSIS yönteminin sıranın çevrilmesi olarak bilinen duruma sebep olmasıdır. Yani karar problemine yeni bir alternatif eklendiğinde veya çıkarıldığında alternatiflerin tercih sırası değişmektedir. Hatta bazı durumlarda, tercihlerin sırasının tamamen tersine çevrilmesine yol açabilmektedir (Garcia-Cascales ve Lamata, 2012: 124). TOPSIS yöntemi ile ilgili bir başka eleştiri, pozitif ideal çözüme en yakın ve negatif ideal çözüme en uzak uzlaşık çözümü bulmayı amaçlamasıdır. Sıralama yapılırken de yalnızca bu iki mesafe kullanılır ve bu mesafelerin göreceli önemleri ve ağırlıkları dikkate alınmaz (Kuo, 2017:154). Yöntemin dezavantajları zaman içerisinde farklı versiyonlarının ortaya çıkmasına sebep olmuştur.

2.3.3 ANP (Analytic Network Process –Analitik Ağ Süreci)

ANP yöntemi Thomas L. Saaty tarafından geliştirilen bir çok kriterli karar verme yöntemidir (Saaty, 1996). AHP’ den yola çıkılarak geliştirilen ve AHP’ nin devamı niteliğinde olan ANP yöntemi, karar verme problemlerine oldukça etkili ve gerçekçi çözümler sunmaktadır (Görener, 2009:102-103).

ANP yönteminde de tıpkı AHP’ de olduğu gibi ikili karşılaştırmalar yoluyla değerlendirme yapılmaktadır. Ayrıca bu yöntemde öznel yargılamayı azaltabilecek bir yapı geliştirilmiştir (Niemira ve Saaty, 2004: 574). ANP yönteminin en önemli avantajı; yalnızca nicel ve nitel veri türleri için uygun olmakla kalmayıp, aynı zamanda tüm kriterler ve alternatifler arasındaki karşılıklı bağımlılık ve geri bildirim sorunlarının da üstesinden gelebiliyor olmasıdır (Tzeng ve Huang, 2011: 35). ANP yönteminin AHP’ ye oranla daha fazla ve karmaşık hesaplama işlemleri gerektirmesi

ve ikili karşılaştırmaların yalnızca öznel olarak yapılıyor olması, yöntemin en büyük dezavantajlarıdır (Ayyıldız, 2010: 35).

2.3.4 VIKOR

VIKOR yöntemi 1998 yılında Opricovic tarafından geliştirilmiştir. Karmaşık sistemlerin çok kriterli optimizasyonu için geliştirilmiş olan bu yöntem, birbiri ile çelişen kriterlerin varlığında, bir dizi alternatif arasından sıralama ve seçim yapmaya odaklanır (Opricovic ve Tzeng, 2004: 447).

VIKOR yöntemi, karar vericinin sistem tasarımının başında, tercihini ifade edemediği ya da nasıl ifade edeceğini bilemediği durumlarda oldukça etkili bir çok kriterli karar verme aracıdır. Bir çok kriterli karar verme probleminin VIKOR yöntemi ile çözümü için problemin aşağıdaki özellikleri taşıyor olması gerekmektedir (Opricovic ve Tzeng, 2007: 517).

- Anlaşmazlıkların çözümü konusunda uzlaşma kabul edilebilir olmalıdır.
- Karar verici ideale en yakın çözümü onaylama konusunda istekli olmalıdır.
- Her bir kriter fonksiyonu ve karar vericinin faydası arasında doğrusal bir ilişki olmalıdır.
- Alternatifler, belirlenen tüm kriterler için değerlendirilmeli ve karar vericinin tercihleri ağırlıklarla ifade edilmelidir.
- VIKOR yöntemi karar vericinin etkili katılımı olmadan başlatılabilir ancak nihai çözümün karar verici tarafından onaylanması gerekmektedir.

2.3.5 MOORA

Çok kriterli karar verme problemlerinin çözümü için geliştirilen MOORA yöntemi bir oran sistemidir (Brauers ve Zavadskas, 2006). Diğer ÇKKV yöntemlerine göre daha yeni bir yöntem olan MOORA, tüm amaçları dikkate alarak, alternatifler ve

hedefler arasındaki tüm etkileşimleri bir bütün halinde değerlendirir (Ersöz ve Atav, 2011: 1-2).

Oran sistemi ve referans noktası yaklaşımı olmak üzere iki kısımdan oluşan MOORA yöntemi ile çözüm, tüm hedeflere ilişkin tüm alternatif çözümlerin yanıtlarının bir matrisi ile başlar (Brauers ve Zavadskas, 2009: 356).

MOORA yöntemi hesaplama zamanı oldukça kısa, uygulaması kolay ve matematiksel hesaplamaları az olan bir çok kriterli karar verme yöntemidir. Yöntemin bazı faktörler açısından diğer çok kriterli karar verme tekniklerinden bazılarıyla olan karşılaştırması Tablo 2.3’ te verilmiştir (Brauers ve Zavadskas, 2012: 5).

ÇKKV	Hesaplama Zamanı	Uygulama Kolaylığı	Matematiksel Hesaplamalar	Güvenilirliği	Veri Tipi
MOORA	Çok Az	Çok Kolay	Minimum	İyi	Nicel
AHP	Çok Yüksek	Çok Kritik	Maksimum	Zayıf	Karma
TOPSIS	Orta	Orta Derecede Kritik	Orta Seviyede	Orta	Nicel
VIKOR	Az	Kolay	Orta Seviyede	Orta	Nicel
ELECTRE	Yüksek	Orta Derecede Kritik	Orta Seviyede	Orta	Karma
PROMETHEE	Yüksek	Orta Derecede Kritik	Orta Seviyede	Orta	Karma

Tablo 2.3: MOORA’ nın diğer ÇKKV yöntemleri ile karşılaştırması

Kaynak: Brauers, Willem Karel M., and Edmundas Kazimieras Zavadskas. "Robustness of MULTIMOORA: a method for multi-objective optimization." *Informatica* 23.1 (2012): 1-25.

2.3.6 ELECTRE

ELECTRE yöntemi ilk olarak 60’ lı yılların ortalarında Bernard Roy ve SEMA danışmanlık şirketindeki meslektaşları tarafından geliştirilmiştir (Figueira v.d., 2016). ELECTRE yöntemleri kırk yılı aşındır var olmalarına rağmen çok kriterli karar verme

problemlerinde popüler bir araştırma alanı olmaya hala devam etmektedir (Govindan ve Jepsen, 2016: 1).

ELECTRE yönteminin temel amacı, her bir kriter için alternatiflerin ikili karşılaştırmalar yoluyla üstünlük ilişkilerini oluşturmaktır. Bir alternatif birden fazla kriterde üstün diğerlerinde eşit olursa, baskın kriter olarak adlandırılabilir (Ömürbek ve Mercan, 2014: 245).

ELECTRE yöntemi, üstünlük tabanlı çok kriterli karar verme teknikleri arasında değerlendirilir. Yöntemin, ELECTRE I, II, III, IV ve TRI olarak adlandırılan farklı varyasyonları vardır. Tüm bu farklı varyasyonların ortaya çıkma sebebi, uygulama problemlerinde karşılaşılan sorunları gidermektir (Durucasu v.d., 2017: 232).

2.3.7 SAW

Basit toplamli ağırlıklandırma yöntemi olan SAW, Churchman ve Ackoff tarafından 1954 yılında portföy seçimi problemlerine uygulanmak üzere geliştirilmiştir. Matematiksel anlamda hesaplanması oldukça kolay olması sebebiyle sık kullanılan çok kriterli karar verme tekniklerinden biridir (Ömürbek v.d., 2016: 179).

SAW yönteminin çözümü, karar matrisinin normalizasyonu ve alternatiflerinin tercih değerlerinin hesaplanması olmak üzere iki adımdan oluşmaktadır. Bu yöntemde tüm kriterler karşılaştırılabilir sayısal değerlerden oluşmaktadır (Çakır ve Perçin, 2013: 452).

2.3.8 COPRAS

COPRAS yöntemi, Vilnius Gediminas Teknik Üniversitesi Profesörü E.K. Zavadskas tarafından seksenli yılların ortalarında, inşaatların çeşitli aşamalarında en uygun teknolojilerin değerlendirilmesi ve seçilmesi için geliştirilmiştir (Podvezko, 2011: 134).

COPRAS yöntemi çok kriterli karar verme problemlerinde, maksimum ve minimum kriter değerlerinin her ikisi için de kullanılabilir olması ve karmaşık

problemlere kolaylıkla uygulanabilir olması sebebiyle literatürde pek çok farklı alana uygulanmıştır (Sarıçalı ve Kundakçı, 2016: 50).

COPRAS yöntemi, diğer ÇKKV yöntemlerine (özellikle AHP ve TOPSIS gibi) oranla kullanımı son derece kolay bir yöntemdir. Kullanıcıya alternatifleri ve seçenekleri sıralama imkanı sağlar. COPRAS yönteminin diğer ÇKKV yöntemlerinden üstün tarafı alternatiflere dair fayda derecelerini gösteriyor olmasıdır. Bu sayede alternatiflerin birbirleri arasında karşılaştırılabilmesini sağlar (Aksoy v.d., 2015: 11-12).

Karmaşık nisbi değerlendirme yöntemi olarak da bilinen COPRAS yöntemi, farklı normalizasyon tekniklerinin kullanıldığı çok kriterli karar verme yöntemlerinden biridir. Burada amaç, farklı ölçüm birimlerinin değerlendirmeye tabii olması sorununun ortadan kaldırılmasıdır (Özdağoğlu, 2013: 229-230).

2.3.9 PROMETHEE

1982 yılında Brans tarafından geliştirilen PROMETHEE yöntemi, bir öncelik belirleme tekniğidir. Yöntem, mevcut önceliklendirme yöntemlerinin uygulanmalarının zor olması sebebiyle geliştirilmiştir (Dağdeviren ve Erarslan, 2008: 70).

Yöntem toplam 7 adımdan oluşmaktadır (Uzun ve Kazan, 2016: 104):

1. Adım: İlk adımda karar vericiler alternatifleri belirler ve kriterlerin önem derecelerini atar.
2. Adım: Kriterler için tercih fonksiyonları belirlenir.
3. Adım: Alternatif çiftleri için ortak tercih fonksiyonları belirlenir.
4. Adım: Her bir alternatif çifti için tercih indeksleri belirlenir.
5. Adım: Alternatifler için pozitif ve negatif üstünlükler belirlenir.
6. Adım: Kısmi öncelikler yani alternatiflerin birbirlerine göre tercih edilme durumları belirlenir.

7. Adım: Son adımda alternatiflerin tam öncelikleri hesaplanır.

2.3.10 WASPAS

WASPAS yöntemi, çok kriterli karar verme problemlerinin çözümü için Zavadskas ve arkadaşları tarafında 2012 yılında geliştirilmiştir. Yöntemin çözümü toplam 5 adımdan oluşmaktadır (Madic v.d., 2014: 80):

1. Adım: Karar matrisinin oluşturulması.
2. Adım: Karar matrisinin normalize edilmesi.
3. Adım: Ağırlıklı toplam yöntemine dayanarak i. alternatifin toplam göreceli öneminin hesaplanması.
4. Adım: Ağırlıklı ürün yöntemine dayanarak i. Alternatifin toplam göreceli öneminin hesaplanması.
5. Adım: Alternatiflerin toplam göreceli öneminin belirlenmesi.

2.4 Bulanık Küme Kavramı

Bulanık küme teorisi, Lütü Aliasker Zadeh tarafından ilk defa 1965 yılında geliştirilmiştir. Üyelik derecelerinin sürekliliği olan bir sınıf kavramı ihtiyacından hareketle geliştirilen bulanık küme kavramı, kesin kümelerle tanımlanamayan ifadeler için düşünülmüştür (Zadeh, 1965).

Bulanık mantık klasik mantığın aksine, belirsizlik ortamında karar alınırken insan düşüncelerinin modellenmesini sağlamada rol oynar. Geliştirildiği yıldan günümüze kadar finansal deprem mühendisliğine pek çok farklı alanda uygulanan bulanık mantık kavramı, esnekliği daha fazla olan bulanık verilerin kullanımı prensibine dayanmaktadır (Zadeh, 1988: 83).

Klasik mantık olarak bilinen Aristo mantığında, belirli bir kümeye ait olan öğelerin tümü aynı üyelik derecesine yani aynı aitlik derecesine sahiptir ve bu alt kümelerin üyelik fonksiyonları da dikdörtgen şeklindedir. Bu, herhangi bir öğenin aitlik bakımından, diğer herhangi bir öğeden ayrıcalıklı olmadığı anlamına gelmektedir (Şen, 2020; 2). Yani klasik mantığa göre; bir öğe, bir kümenin ya

elamanıdır ya da değildir. Dolayısıyla klasik mantıkta üyelik fonksiyonu ya “0” a ya da “1” e eşit olacak, üyelik fonksiyonunun ara bir değer alması söz konusu olmayacaktır. Oysa ya hep ya hiç mantığının hakim olduğu bu durum, günlük yaşam problemlerinin kesinlikten uzak, belirsizliğin hakim olduğu karakteristiğine uygun değildir.

Bulanık kümelerde, kümeyi oluşturan ögeler farklı aitlik derecelerine sahiptir. Bu kümelerde elemanların her birine “0” ile “1” arasında üyelik değerleri atanır. Buna göre kümeye ait olmayan elemanların üyelik dereceleri “0” iken; kümeye tam olarak ait olan elemanların üyelik dereceleri “1” olarak tanımlanır. Kümeye ait olup olmadığı kesin olmayan elemanlara ise; aitlik dereceleri doğrultusunda “0” ile “1” arasında değerler atanmaktadır (Altaş, 1999: 84).

A kümesinin bir bulanık küme, X ’ in evrensel küme ve x ’ in ise evrensel kümenin kesin küme elemanları olduğunu varsayarsak, bir A bulanık kümesinin matematiksel gösterimi ve üyelik fonksiyonunun gösterimi sırasıyla aşağıdaki gibidir (Voloshyn v.d., 2003: 244).

$$A = \{(x, \mu_A(x))\} \quad \text{ve } x \in X$$

$$\mu_A : x \rightarrow [0,1]$$

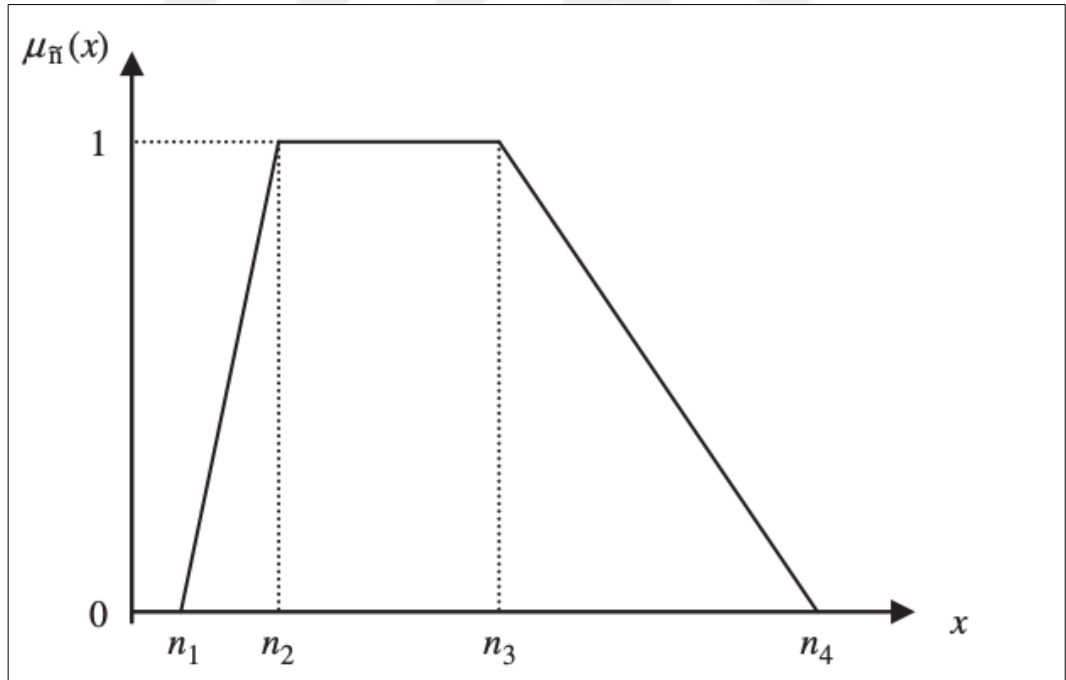
Bulanık küme teorisi sayesinde, insanın öznel yargılarından kaynaklanan dilsel belirsizlik, bulanık sayıların kullanımı yoluyla modellenenilmektedir. Dilsel değişkenlerin matematiksel karşılığı olarak değerlendirebileceğimiz bulanık sayılar için iki farklı türden söz edilebilir. Bunlar; yamuk bulanık sayılar ve üçgen bulanık sayılardır (Ecer, 2007: 164).

Pozitif bir yamuk bulanık sayı $\tilde{n} = (n1, n2, n3, n4)$ şeklinde ifade edilmekte iken; eğer $n2 = n3$ ise; $\tilde{n}$ sayısı üçgen bulanık sayı olarak adlandırılmakta ve $\tilde{n} = (n1, n2, n3)$ şeklinde ifade edilmektedir. Bir $\tilde{n}$ yamuk bulanık sayısının üyelik fonksiyonunun matematiksel gösterimi aşağıdaki gibidir (Kaufmann ve Gupta, 1988: 28).

$$\mu_{\tilde{n}}(x) = \begin{cases} 0, & x < n_1, x > n_4 \\ \frac{x-n_1}{n_2-n_1}, & n_1 \leq x \leq n_2 \\ 1, & n_2 \leq x \leq n_3 \end{cases}$$

$$\frac{x-n_4}{n_3-n_4}, \quad n_3 \leq x \leq n_4$$

Şekil 2.2’ de ise yamuk bulanık sayının grafik üzerindeki gösterimi yer almaktadır (Chen v.d., 2006: 292).



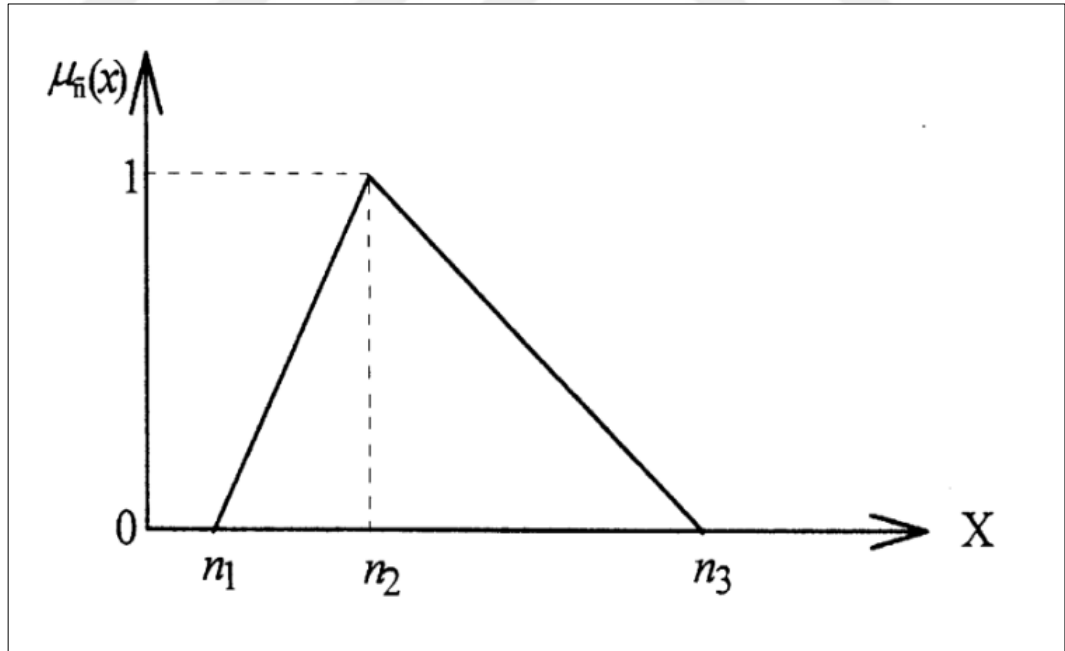
Şekil 2.2: Yamuk bulanık sayı.

Kaynak: Chen, Chen-Tung, Ching-Torng Lin, and Sue-Fn Huang. "A fuzzy approach for supplier evaluation and selection in supply chain management." International journal of production economics 102.2 (2006): 289-301.

Bir $\tilde{n}$ üçgen bulanık sayısının üyelik fonksiyonunun matematiksel gösterimi ise aşağıda gösterilmiştir.

$$\mu_{\tilde{n}}(x) = \begin{cases} 0, & x < n_1 \\ \frac{x-n_1}{n_2-n_1}, & n_1 \leq x \leq n_2 \\ \frac{x-n_3}{n_2-n_3}, & n_2 \leq x \leq n_3 \\ 0, & x > n_3 \end{cases}$$

Şekil 2.3 ise bir üçgen bulanık sayının grafik üzerindeki gösterimini temsil etmektedir (Chen, 2000: 3).



Şekil 2.3: Üçgen bulanık sayı.

Kaynak: Chen, Chen-Tung. "Extensions of the TOPSIS for group decision-making under fuzzy environment." Fuzzy sets and systems 114.1 (2000): 1-9.

2.5 Bulanık TOPSIS Yöntemi

Önceki bölümlerde de belirtilmiş olduğu üzere TOPSIS yöntemi, literatürde oldukça sık kullanılan çok kriterli karar verme yöntemlerinden biridir. Anlaşılması ve uygulanması bakımından oldukça kolay olan bu yöntem, geliştirildiği günden günümüze kadar pek çok alanda uygulanmıştır. Bu başlık altında ise, bulanık sayıların TOPSIS yöntemine entegre edildiği bulanık TOPSIS yöntemi anlatılacaktır.

Chen 1997 yılında yapmış olduğu çalışmada TOPSIS yöntemini bulanık çerçevede ele almıştır. Kesin değerlerin gerçek yaşam durumlarını modellemede yetersiz kalmasından hareketle, her bir alternatifin değerlendirilmesinde ve her bir kriterin ağırlıklandırılmasında, bulanık sayılarla temsil edilen dilsel değişkenleri kullanmıştır (Chen, 1997: 1).

Bir karar vericinin, herhangi bir alternatif için performans derecesini hassas bir biçimde ataması çoğu zaman zordur. TOPSIS yöntemine bulanık bir yaklaşım entegre etmek, gerçek yaşam problemlerinin belirsizlik temelli karakteristiğine daha uygun olacak ve kesin sayılar yerine bulanık sayılar kullanılarak öznel derecelendirmeler daha hassas bir biçimde gerçekleştirilmiş olacaktır (Sun, 2010: 7747). Bulanık TOPSIS yönteminin temeli, pozitif bulanık ideal çözüme en yakınlık ve aynı zamanda negatif bulanık ideal çözüme en uzaklık prensibine dayanır (Özçakar ve Demir, 2011: 25).

Literatürde farklı şekillerde uygulanmış olan birden fazla bulanık TOPSIS yöntemi söz konusudur. Bu fark, çoğunlukla kullanılan bulanık sayıların türlerinden ileri gelmektedir. Çalışmaların kiminde yamuk bulanık sayılar kullanılırken, kiminde üçgen bulanık sayılar tercih edilmiştir (Özdemir ve Seçme, 2009: 86).

Bulanık TOPSIS yöntemi, geliştirildiği tarihten günümüze kadar pek çok farklı alanda uygulanmıştır.

Nazim v.d. (2022), yazılım gereksinimleri seçimi probleminde Bulanık AHP ve Bulanık TOPSIS yöntemlerini karşılaştırmalı olarak ele almışlardır. Bir başka çalışmada ise Bulanık TOPSIS yöntemi, ideal yazılım geliştirme sürecinin doğrulanması probleminin çözümü için kullanılmıştır (Govil ve Sharma, 2022). 2022

yılında yapılan bir başka çalışmada, sözleşmeler yoluyla gemi operasyonları için yakıt fiyatı değişkenliklerinin yönetilmesinde yine bulanık TOPSIS yöntemi tercih edilmiştir (Chrysafis v.d., 2022). Türkiye’ de sürdürülebilir kalkınma için yenilenebilir enerji alternatiflerinin değerlendirilmesinde Bulanık TOPSIS yöntemi kullanılmış ve Türkiye’nin sürdürülebilir büyümesi için en iyi yenilenebilir enerji kaynağının “güneş enerjisi” olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Çalışmanın bir diğer önemli bulgusu ise; Türkiye’nin yenilenebilir enerji için temel “kriter değerlendirmesi” nin “sermaye/yatırım maliyeti” olduğu bulgusudur (Bilgili v.d., 2022). Modibbo v.d. (2022), Bulanık TOPSIS yöntemini kullanarak ilaç tedarikçisi seçimi probleminin çözümü için çok kriterli karar analizi gerçekleştirmiştir.

Sağnak v.d. (2021), çalışmalarında elektronik atıklar için sürdürülebilir toplama merkezi konumu seçimi probleminin çözümünde Bulanık TOPSIS yöntemini kullanmışlardır. Aynı yılda yapılan başka bir çalışmada sürdürülebilir tersine lojistik uygulamaları ve performans değerlendirmesinde Bulanık TOPSIS yöntemi tercih edilmiştir (Sharma v.d., 2021). Konut seçimi probleminin ele alındığı bir çalışmada ise Bulanık TOPSIS yöntemi, Bulanık VIKOR, Bulanık WASPAS ve Bulanık MOORA yöntemleri ile birlikte çözüm için karşılaştırmalı olarak kullanılmıştır (Kizielewicz ve Baczkiewiczbc, 2021). Shanker v.d. (2021), gıda tedarik zincirinde 3. Parti lojistik ile ilgili kritik başarı faktörlerini ve riskleri analiz etmek için Bulanık TOPSIS yöntemini tercih etmişlerdir. Çalışma, kahve endüstrisi içerisinde 3. Parti lojistikten kaynaklı riskleri analiz etmeyi amaçlamaktadır.

2020 yılında yapılan bir çalışmada, çelik endüstrisinde faaliyet gösteren bir firma için tedarikçi seçimi probleminin çözümünde Bulanık TOPSIS yöntemi tercih edilmiştir. Çalışma, tedarikçilerin yeşil inovasyon yeteneklerine göre sıralanmasını sağlamıştır (Javad v.d., 2020). Yenilenebilir enerji kaynakları seçimi problemi için genişletilmiş bir Bulanık TOPSIS yöntemi kullanılmış ve önerilen bu yeni yöntemin nicel bilgi eksikliğinin olduğu durumlarda etkili olduğu belirlenmiştir (Rani v.d., 2020).

Rajak ve Shaw (2019), mobil sağlık uygulamalarının değerlendirilmesi ve seçiminde Bulanık TOPSIS yöntemini kullanırken, Rashidi ve Cullinane (2019) aynı

yöntemi sürdürülebilir tedarikçi seçiminde kullanmışlardır. Türkiye’ de kurulacak olan yerli otomobil fabrikası için en uygun fabrika yerinin seçimi probleminin çözümünde de Bulanık TOPSIS yöntemi tercih edilmiş ve çalışmanın sonucunda Bursa-Gemlik alternatifinin en uygun yer olduğuna karar verilmiştir (Yıldız ve Demir, 2019). Benzer şekilde 2019 yılında, Bulanık TOPSIS yöntemi bakım politikası seçimi probleminin çözümünde Bulanık AHP yöntemi ile entegre bir biçimde kullanılmıştır (Hemmati v.d., 2019).

2018 yılında, deprem tehlikesi altındaki binaların belirlenmesi için bir hiyerarşik Bulanık TOPSIS yaklaşımı geliştirilmiştir (Ranjbar ve Nekooie, 2018). Aynı yılda yapılan başka bir çalışmada ise; Entegre bulanık AHP-TOPSIS yöntemi kullanılarak Polonya’da en uygun düşük emisyonlu enerji teknolojilerinin geliştirilmesinin belirlenmesi amaçlanmıştır (Ligus ve Peternek, 2018).

Bulanık TOPSIS yöntemi, TOPSIS yöntemi prensibinden hareketle pozitif bulanık ideal çözüme en yakın, negatif bulanık ideal çözüme en uzak çözümü hesaplamayı hedefler. Chen (2000), TOPSIS yöntemini üçgen bulanık sayıları kullanarak geliştirmiş ve iki üçgen bulanık sayı arasındaki uzaklığı hesaplamak için Eşitlik 2.8’ i önermiştir.

Buna göre; $\tilde{x} = (a_1, b_1, c_1)$ ve $\tilde{y} = (a_2, b_2, c_2)$ iki üçgen bulanık sayı olmak üzere, bu iki üçgen bulanık sayı arasındaki uzaklık:

$$d(\tilde{x}, \tilde{y}) = \sqrt{\frac{1}{3}[(a_1 - a_2)^2 + (b_1 - b_2)^2 + (c_1 - c_2)^2]} \quad (2.8)$$

Bulanık TOPSIS yönteminin çözümü için 8 adım izlenir (Nadaban v.d., 2016: 826-827).

1. Adım - Karar Vericiler Tarafından Kriterlerin ve Alternatiflerin Önem Derecelerinin Belirlenmesi: Bulanık TOPSIS yönteminin ilk adımında karar vericiler tarafından kriterlere ve belirlenmiş olan alternatiflere, performansları doğrultusunda Tablo 2.4’ te yer alan dilsel ifadeler atanır. Tablo 2.4’ te görüldüğü üzere; söz konusu dilsel ifadelerin her birinin üçgen bulanık sayı ve yamuk bulanık sayı karşılıkları vardır. (Bu tez çalışmasının uygulama bölümünde üçgen bulanık sayılar kullanılacağı

için, bu aşamadan itibaren verilecek olan örnekler üçgen bulanık sayılar üzerinden olacaktır.)

Dilsel İfadeler	Üçgen Bulanık Sayı	Yamuk Bulanık Sayı
Çok Yüksek	(8,10,10)	(8,9,10,10)
Yüksek	(7,8,9)	(7,8,8,9)
Biraz Yüksek	(5,7,8)	(5,6,7,8)
Epeyce	(4,5,6)	(4,5,5,6)
Biraz Düşük	(2,4,5)	(2,3,4,5)
Düşük	(1,2,3)	(0,2,2,3)
Çok Düşük	(0,0,2)	(0,0,1,2)

Tablo 2.4: Dilsel ifadelerin bulanık sayı karşılıkları.

Kaynak: Ecer, Fatih. "Üyelik fonksiyonu olarak üçgen bulanık sayılar mı yamuk bulanık sayılar mı?." Gazi Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi 9.2 (2007): 161-180.

Karar verici grubumuzun K adet üyeden oluştuğunu varsayarsak; k. karar vericinin A_i. alternatif için atadığı performansın bulanık karşılığı $\tilde{x}_{ij}^k = (a_{ij}^k, b_{ij}^k, c_{ij}^k)$ şeklinde ifade edilmektedir. Benzer şekilde aynı karar vericinin C_j kriteri için belirlemiş olduğu ağırlığın bulanık sayı karşılığı $\tilde{w}_j^k = (w_{j1}^k, w_{j2}^k, w_{j3}^k)$ şeklindedir. Daha önce de belirtildiği gibi bu değerlendirmeler yamuk bulanık sayılar kullanılarak da yapılabilir.

2. Adım - Alternatifler ve Kriterler İçin Bütünleşik Bulanık Değerlerin

Hesaplanması: Yöntemin bu adımında, karar vericiler tarafından atanan önem derecelerinin bulanık ortalamaları alınarak bütünleşik bulanık değerler elde edilir. Alternatiflerin önem derecelerinin bütünleşik değerlerinin hesaplanması için Eşitlik 2.9, kriter ağırlıklarının bütünleşik değerlerinin hesaplanması için ise Eşitlik 2.10 kullanılır.

$$a_{ij} = \min_k \{a_{ij}^k\}, b_{ij} = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K b_{ij}^k, c_{ij} = \max_k \{c_{ij}^k\} \quad (2.9)$$

$$w_{j1} = \min_k \{w_{j1}^k\}, w_{j2} = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K w_{j2}^k, w_{j3} = \max_k \{w_{j3}^k\} \quad (2.10)$$

3. Adım - Normalize Karar Matrisinin Oluşturulması: Çözümün bu aşamasında Eşitlik 2.11 ve Eşitlik 2.12 yardımıyla bulanık değerler normalize edilir. Eşitlik 2.11 ile fayda kriterleri için normalizasyon hesabı yapılırken; Eşitlik 2.12 ile maliyet kriterleri için normalizasyon işlemi gerçekleştirilir. Uygulama bölümünde maliyet ve fayda kriterleri örneklerle açıklanacaktır.

$$\tilde{r}_{ij} = \left(\frac{a_{ij}}{c_j^*}, \frac{b_{ij}}{c_j^*}, \frac{c_{ij}}{c_j^*} \right) \text{ ve } c_j^* = \max_i \{c_{ij}\} \quad (\text{fayda kriteri için}) \quad (2.11)$$

$$\tilde{r}_{ij} = \left(\frac{a_j^-}{c_{ij}}, \frac{a_j^-}{b_{ij}}, \frac{a_j^-}{a_{ij}} \right) \text{ ve } c_j^- = \min_i \{a_{ij}\} \quad (\text{maliyet kriterleri için}) \quad (2.12)$$

4. Adım - Ağırlıklandırılmış Normalize Karar Matrisinin Oluşturulması:

Bu adımda normalize edilmiş değerler ile bütünleşik ortalama ağırlıklar çarpılır. Eşitlik 2.13' te bu işlem gösterilmiştir.

$$\tilde{V} = (\tilde{v}_{ij}), \quad \tilde{v}_{ij} = \tilde{r}_{ij} * w_j \quad (2.13)$$

5. Adım - Pozitif Bulanık İdeal Çözüm ve Negatif Bulanık İdeal Çözümün

Hesaplanması: Önceki bölümlerde değinildiği gibi; Bulanık TOPSIS yönteminin amacı, pozitif bulanık ideal çözüme en yakın ve negatif bulanık ideal çözüme en uzak değeri belirlemektir. Eşitlik 2.14 pozitif bulanık ideal çözümün hesaplanması için kullanılırken; eşitlik 2.15 negatif bulanık ideal çözümün hesaplanması için kullanılmaktadır.

$$A^* = (\tilde{v}_1^*, \tilde{v}_2^*, \dots, \tilde{v}_n^*), \quad \tilde{v}_j^* = \max_i \{v_{ij3}\} \text{ olduğunda} \quad (2.14)$$

$$A^- = (\tilde{v}_1^-, \tilde{v}_2^-, \dots, \tilde{v}_n^-), \quad \tilde{v}_j^- = \min_i \{v_{ij1}\} \text{ olduğunda} \quad (2.15)$$

6. Adım - Her Bir Alternatifin Pozitif Bulanık İdeal Çözüme ve Negatif Bulanık İdeal Çözüme Olan Uzaklıklarının Hesaplanması: Çözümün 4. adımında hesaplanmış olan ağırlıklandırılmış normalize değerlerin, 5. adımda hesaplanmış olan ideal çözüm değerleri ile aralarındaki uzaklıklar her bir alternatif için ayrı ayrı hesaplanır. Bu hesaplama için Eşitlik 2.16 kullanılmaktadır.

$$d_i^* = \sum_{j=1}^n d(\tilde{v}_{ij}, \tilde{v}_j^*) \quad , \quad d_i^- = \sum_{j=1}^n d(\tilde{v}_{ij}, \tilde{v}_j^-) \quad (2.16)$$

7. Adım - Her Bir Alternatif İçin Yakınlık Kat Sayılarının Hesaplanması:

Eşitlik 2.17’ da verilen formül yardımıyla her bir alternatifin yakınlık kat sayıları hesaplanır.

$$CC_i = \frac{d_i^-}{d_i^- + d_i^*} \quad (2.17)$$

8. Adım - Alternatiflerin Sıralanması: Çözümün son adımında tüm alternatifler yakınlık kat sayıları doğrultusunda sıralanır. Buna göre, yakınlık kat sayısı büyük olan alternatif öncelikli olarak tercih edilmelidir.

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

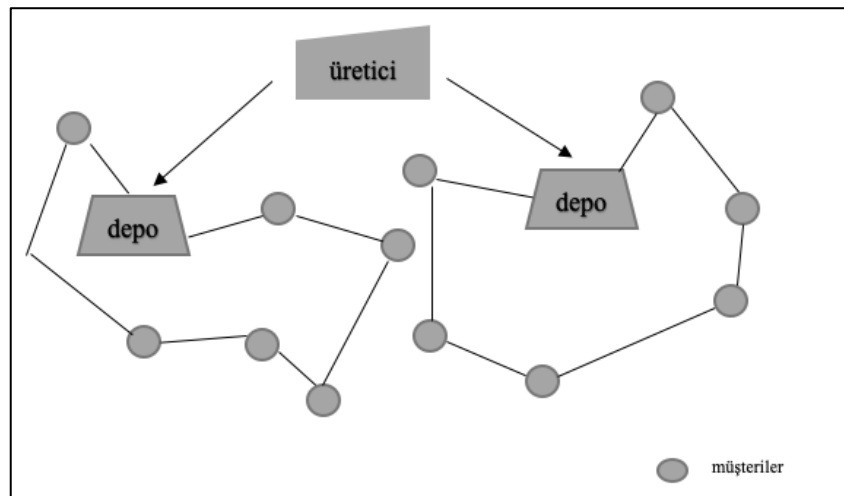
ARAÇ ROTALAMA PROBLEMİ

3.1 Araç Rotalama Probleminin Tanımı ve Formülasyonu

Araç rotalama problemi; merkezi bir depodan coğrafi olarak farklı noktalara dağılmış olan talep noktalarına, dağıtım yapacak ve/veya bu talep noktalarından toplama işlemi gerçekleştirecek olan araçların kat edeceği mesafeyi minimize edecek rotaların hesaplanması problemidir (Eryavuz ve Gencer, 2001: 139).

Araç rotalama problemi ilk olarak Dantzig ve Ramser tarafından 1959 yılında çözülmeye çalışılmıştır. Bu çalışma, benzin istasyonlarına dağıtım gerçekleştirecek olan araçların rotalarının üzerinde gerçekleştirilmiştir (Dantzig ve Ramser, 1959). Clarke ve Wright ise, 1964 yılında yöntemi geliştirmiş ve tasarruf modelini ortaya atmışlardır (Clarke ve Wright, 1964).

Bir tedarik zinciri dağıtım sistemi genel olarak değerlendirildiğinde; araç rotalama problemi üretici(ler), dağıtımın ve/veya toplamanın gerçekleştirildiği bir ya da daha fazla depo ve dağıtım taleb eden müşteriler olmak üzere üç ana aktörden oluşmaktadır. Şekil 3.1 bu üç aktörden oluşan bir araç rotalama problemini temsil etmektedir. Burada da belirtildiği gibi araç rotalama problemi yalnızca üreticiden müşterilere dağıtımın gerçekleştirilmesinde değil, aynı zamanda müşterilerden üreticilere toplamanın gerçekleştirildiği durumlar için de ele alınabilir.



Şekil 3.1: Araç rotalama problemi.

İşletmeler arası rekabette hayati öneme sahip olan maliyet ve zaman kavramı, araç rotalama problemlerinin çözümünde temel amaç haline gelmiştir. Rotaların iyileştirilmesine yönelik olarak gerçekleştirilen bu çalışmalar, daha az maliyetle ve daha kısa sürede dağıtım ve/veya toplamayı hedeflemektedir. Araçların kat edeceği mesafeyi en aza indirmenin sonucunda, maliyetlerden ve zamandan tasarruf sağlamanın yanı sıra, atmosfere salınan zararlı gazların da en aza indirgenmesi sağlanmaktadır.

Araç rotalama problemleri çözülürken temel amaç; maliyetleri minimize ederken, tüm kısıtları sağlamak ve toplam mesafeyi ve/veya toplam zamanı minimuma indiren rotayı tespit etmektir. ARP' de;

- Her müşterinin talebi bir defa ziyaret edilecek şekilde karşılanmalıdır.
- Bir aracın dağıtım listesindeki müşterilerin toplam talebi aracın kapasitesinden fazla olmamalıdır.
- Her rota depoda başlayıp depoda sona ermelidir.
- Bir aracın toplam kat ettiği mesafe belirlenen en yüksek değeri aşmamalıdır (Düzakın ve Demircioğlu, 2009: 70).

K: Araç sayısı

n: Dağıtım yapılması gereken müşteri sayısı

bk: k aracının kapasitesi

ai: i müşterisine gerçekleştirilecek olan teslimatın büyüklüğü

cij: i müşterisinden j müşterisine ulaşım maliyeti olmak üzere, ARP' nin genel matematiksel formülasyonu şöyledir (Fisher ve Jaikumar, 1981:111):

$$\min \sum_{ijk} c_{ij} x_{ijk} \quad (3.1)$$

Öyle ki;

$$\sum_i a_i y_{ik} \leq b_k, \quad k = 1, \dots, K \quad (3.2)$$

$$\sum_k y_{ik} = \begin{cases} K, & i = 0 \\ 1, & i = 1, \dots, n \end{cases} \quad (3.3)$$

$$y_{ik} = 0 \text{ ya da } 1, \quad \begin{matrix} i=0, \dots, n \\ k=1, \dots, K \end{matrix} \quad (3.4)$$

$$\sum_i x_{ijk} = y_{jk}, \quad j = 0, \dots, n \quad k = 1, \dots, K \quad (3.5)$$

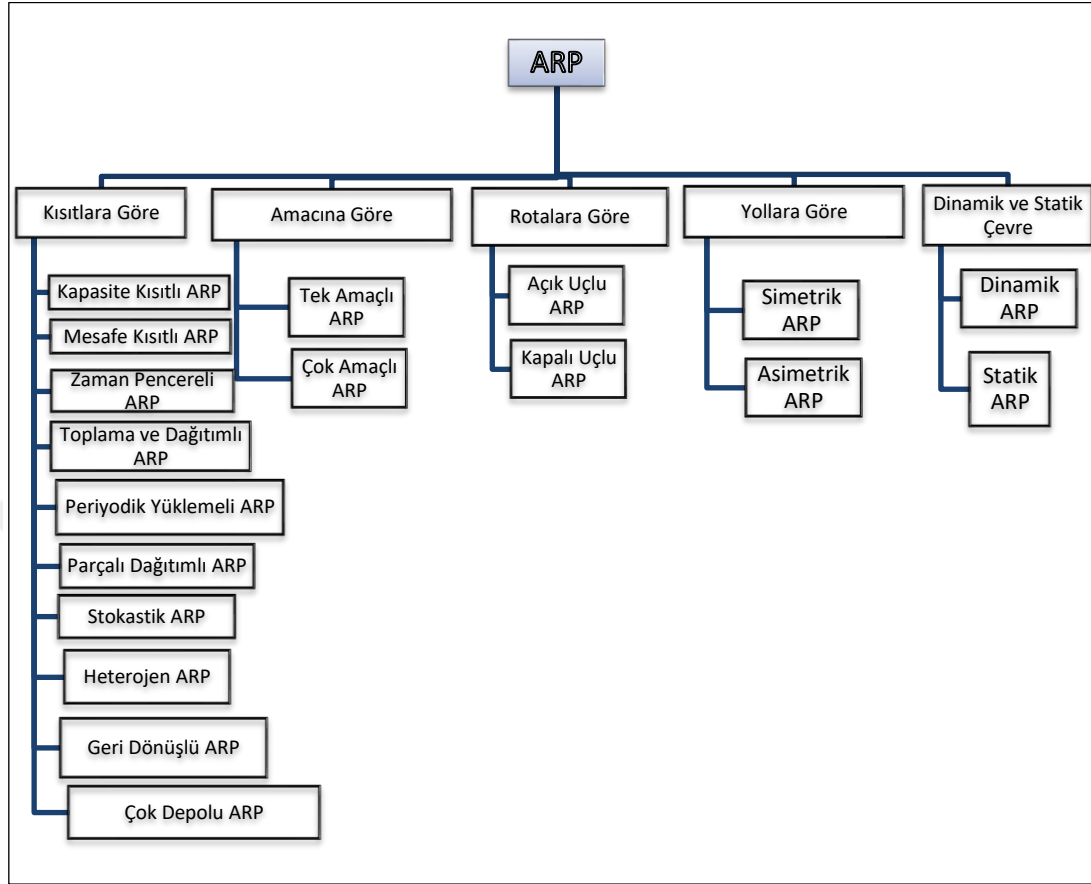
$$\sum_j x_{ijk} = y_{ik}, \quad i = 0, \dots, n \quad k = 1, \dots, K \quad (3.6)$$

$$\sum_{ij \in S \times S} x_{ijk} \leq |S| - 1, \quad \begin{matrix} S \subseteq \{1, \dots, n\} \\ 2 \leq |S| \leq n - 1 \end{matrix} \quad k = 1, \dots, K \quad (3.7)$$

$$x_{ijk} = 0 \text{ ya da } 1, \quad \begin{matrix} i = 0, \dots, n \\ j = 0, \dots, n \end{matrix} \quad k = 1, \dots, K \quad (3.8)$$

3.2 Araç Rotalama Probleminin Türleri

NP-zor problemler sınıfında değerlendirilen araç rotalama problemlerinin literatürde pek çok farklı türü ele alınmıştır. Şekil 3.2.' de ARP' nin detaylı sınıflandırılması gösterilmektedir (Ercan ve Gencer, 2013: 107).



Şekil 3.2: ARP' nin sınıflandırılması.

Kaynak: Ercan, Cihan, and Cevriye Gencer. "Dinamik insansız hava sistemleri rota planlaması literatür araştırması ve insansız hava araçları çalışma alanları." Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi 19.2 (2013): 104-111.

Şekil 3.2.' ye göre ARP; kısıtlara, amaca, rotalara, yollara, dinamik ve statik oluşa göre olmak üzere toplam beş farklı grupta sınıflandırılabilir. Bir sonraki başlığın altında tüm bu ARP türleri detaylarıyla incelenecektir.

3.2.1 Kısıtlara Göre ARP Türleri

3.2.1.1 Kapasite Kısıtlı Araç Rotalama Problemi

Kapasite kısıtlı araç rotalama problemleri (KKARP), dağıtım ve lojistik endüstrisi için oldukça önemli problemlerdir. KKARP genel olarak, N tane müşterinin, d miktarda talebini karşılamak için, K adet araç setinin içerisinde k adet uygun aracın rotalanması problemidir. Bu problemlerin en önemli kısıtı, müşteri talebinin, araç kapasitesini aşmaması gerekliliğidir (Oropeza v.d., 2012: 212).

N: müşteri sayısı, K: araç sayısı, S: araç kapasitesi, c_{ij} : i' den j' ye ulaşım süresi olmak üzere, KARP' nin genel matematiksel gösterimi aşağıdaki gibidir (Toth ve Vigo, 2014: 5):

$$\min \sum_{(i,j) \in A} c_{ij} x_{ij} \quad (3.9)$$

Öyle ki;

$$\begin{aligned} \sum_{j \in \delta^+(i)} x_{ij} &= 1 & \forall i \in N \\ \sum_{i \in \delta^-(j)} x_{ij} &= 1 & \forall j \in N \end{aligned} \quad (3.10)$$

$$\sum_{j \in \delta^+(0)} x_{0j} = |K| \quad (3.11)$$

$$\sum_{(i,j) \in \delta^+(S)} x_{ij} \geq r(S) \quad \forall S \subseteq N, S \neq \emptyset \quad (3.12)$$

$$x_{i,j} \in \{0,1\} \quad \forall (i,j) \in A \quad (3.13)$$

3.2.1.2 Mesafe Kısıtlı Araç Rotalama Problemi

Mesafe kısıtlı araç rotalama problemlerinde, araçların gidebileceği mesafeye dair kısıtlar söz konusudur. M: araç sayısı, N: müşteri sayısı, d_{ij} : i noktasından j noktasına olan mesafe, L bir aracın gidebileceği maksimum mesafe olmak üzere, probleme eklenecek mesafe kısıtı denklemi Eşitlik 3.14' teki gibi olacaktır (Erol, 2006: 11):

$$k \in \{1, \dots, M\} \text{ için } \sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^N d_{ij} \sum_{j=0, j \neq i}^N x_{ijk} \leq L \quad (3.14)$$

3.2.1.3 Zaman Pencere Arac Rotalama Problemi

Zaman pencere aracı rotalama problemlerinde (ZPARP), müşteri taleplerinin daha önceden belirlenmiş olan bir zaman diliminde karşılanması ve aracın hizmet sırasında müşterinin bulunduğu konumda hazır bekliyor olması gerekmektedir. ZPARP' nin formülasyonu ise şöyledir (Cordeau v.d., 2000: 2):

$$\min \sum_{k \in K} \sum_{(i,j) \in A} c_{ij} x_{ijk} \quad (3.15)$$

$$\sum_{k \in K} \sum_{j \in \delta^+(i)} x_{ijk} = 1, \quad \forall i \in N \quad (3.16)$$

$$\sum_{j \in \delta^+(0)} x_{0jk} = 1, \quad \forall k \in K \quad (3.17)$$

$$\sum_{i \in \delta^-(j)} x_{ijk} - \sum_{i \in \delta^+(j)} x_{ijk} = 0, \quad \forall k \in K, \quad \forall j \in N \quad (3.18)$$

$$\sum_{i \in \delta^-(n+1)} x_{i,n+1,k} = 1, \quad \forall k \in K \quad (3.19)$$

$$x_{ijk}(w_{ik} + s_i + t_{ij} - w_{jk}) \leq 0, \quad \forall k \in K, \quad \forall (i,j) \in A \quad (3.20)$$

$$a_i \left(\sum_{j \in \delta^+(i)} x_{ijk} \right) \leq w_{ik} \leq b_i \left(\sum_{j \in \delta^+(i)} x_{ijk} \right), \quad \forall k \in K, \quad \forall i \in N \quad (3.21)$$

$$E \leq w_{ik} \leq L, \quad \forall k \in K, \quad \forall i \in \{0, n+1\} \quad (3.22)$$

$$\sum_{i \in N} d_i \sum_{j \in \delta^+(i)} x_{ijk} \leq C, \quad \forall k \in K \quad (3.23)$$

$$x_{ijk} \geq 0, \quad \forall k \in K, \quad \forall (i,j) \in A \quad (3.24)$$

3.2.1.4 Toplama ve Dağıtım Arac Rotalama Problemi

Toplama ve dağıtım aracı rotalama problemlerinin, önce dağıt sonra topla araç rotalama problemi, eş zamanlı ve karışık toplama ve dağıtım aracı rotalama problemi,

çok depolu önce dağıt sonra topla araç rotalama problemi gibi farklı varyasyonları bulunmaktadır (Keskintürk v.d., 2015: 83-84).

Önce dağıt sonra topla araç rotalama probleminde dağıtımın ve toplamının gerçekleştirildiği iki ayrı müşteri grubu bulunmaktadır. Çok depolu önce dağıt sonra topla araç rotalama probleminde ise birden fazla depo bulunmakta ve rotalama boyunca hem dağıtım hem de toplama yapılmaktadır. Eş zamanlı dağıtım toplama ve dağıtımlı araç rotalama probleminde, dağıtım ve toplama hizmeti aynı müşteriye verilir. Yani araçlar bir müşteriye dağıtım yaparken, aynı müşteriden merkeze götürülmek üzere ürün teslim alır. Boş şişelerin, boş kasaların toplanması bu duruma örnek olarak gösterilebilir. Karışık toplama ve dağıtımlı araç rotalama probleminde ise; dağıtım ve toplama işlemi herhangi bir sıra takip etmeden gerçekleştirilir.

3.2.1.5 Periyodik Yüklemeli Araç Rotalama Problemi

Periyodik araç rotalama problemine göre belirli bir günlük (örneğin t günlük) planlama ufku söz konusudur. Her müşteri bir hizmet frekansına göre ve yalnızca izin verilen hizmet günlerinde ziyaret edilir. Bu araç rotalama problemi, daha çok marketlere dağıtım yapan araçların rotalanmasında ya da çöp toplama hizmetinde kullanılan araçlarda karşımıza çıkmaktadır (Cordeau v.d., 1997: 106).

3.2.1.6 Parçalı Dağıtımlı Araç Rotalama Problemi

Bu araç rotalama probleminde bazı müşterilere farklı araçlarla dağıtım ve/veya toplama gerçekleştirilebilir. Klasik ARP' den çok daha karmaşık bir çözümü olan bu problemlerin amacı da yine araçların kat edeceği toplam mesafeyi ve dolayısıyla da ulaştırma maliyetlerini minimize etmektir.

3.2.1.7 Stokastik Araç Rotalama Problemi

Stokastik araç rotalama probleminde bazı unsurlar rastsaldır ve bu problemler, bu özellikleri sebebiyle gerçek yaşam problemlerine daha uygundurlar. Bu araç rotalama problemi, rastsal olan unsuruna göre isim alır. Örneğin; talep rastsal olduğunda “stokastik talepli araç rotalama problemi”, müşteri rastsal olduğunda “stokastik müşterili araç rotalama problemi”, ziyaret zamanı rastsal olduğunda “stokastik zamanlı araç rotalama problemi” gibi isimler alır (İşleyen, 2008: 2).

3.2.1.8 Heterojen Araç Rotalama Problemi

Heterojen araç filolu araç rotalama probleminde araçlar birbirinden farklıdır. Farklı araçların söz konusu olması, farklı kapasitelere, farklı maliyetlere ve/veya ulaştırma zamanlarında farklılıklara yol açmaktadır.

Heterojen filolu araç rotalama probleminin gerçek yaşam problemlerine daha uygun olduğu söylenebilir. Np-zor problemler sınıfında değerlendirilen bu problemlerin çözümleri için kesin çözüm yöntemleri yerine sezgisel yöntemler daha çok tercih edilmektedir (Çetin ve Gencer; 2011: 20).

3.2.1.9 Geri Dönüslü Araç Rotalama Problemi

Geri dönüşlü araç rotalama problemi (GDARP), müşterilerden depolara ya da fabrikaya ürünlerin geri döndüğü durumlarda ortaya çıkmaktadır. Klasik araç rotalama problemlerinde olduğu gibi burada da amaç, araçların kat edeceği mesafeyi minimize etmektir.

3.2.1.10 Çok Depolu Araç Rotalama Problemi

Çok depolu araç rotalama problemlerinde (ÇDARP) dağıtım ağının içerisinde birden fazla depo vardır. Bu problemde araçlar farklı depolarda konuşlanabilmektedir. Amaç, tıpkı diğer problem türlerinde olduğu gibi toplam kat edilen mesafeyi ve maliyetleri minimize ederek hedeflenen tüm müşterilere dağıtımı gerçekleştirebilmektir.

Klasik ÇDARP’ de araçların homojen olduğu varsayılır, her müşteri yalnızca bir kez ziyaret edilir ve araçlar başladıkları depoya geri dönerler. Rotanın sonunda tüm müşterilerin ziyaret edilmiş olması ve tüm araçların başladıkları depoya geri dönmüş olması gerekmektedir (Kurt, 2008: 8).

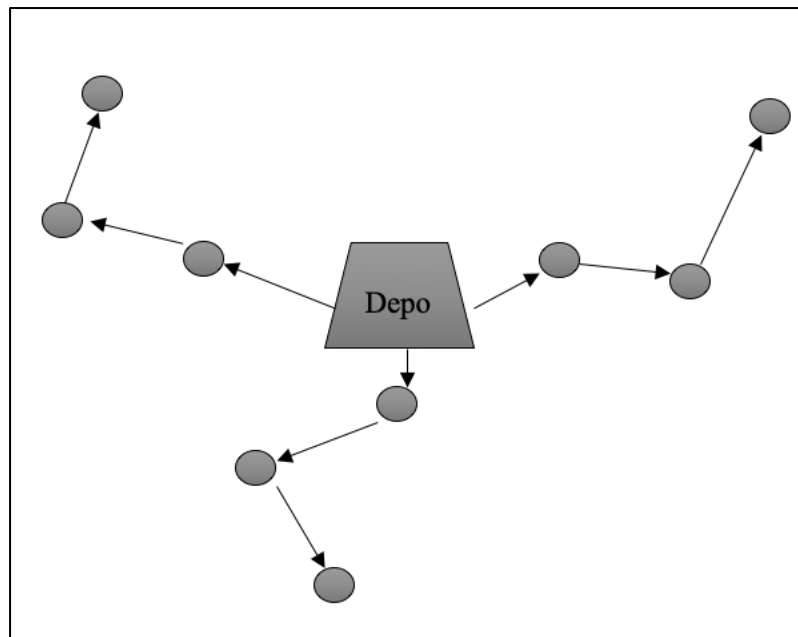
3.2.2 Amacına Göre Araç Rotalama Problemi

Genellikle araç rotalama problemlerinde toplam maliyeti ya da toplam kat edilen mesafeyi minimize etmek gibi tek bir amaç söz konusudur. Bunlar tek amaçlı araç rotalama problemleri olarak sınıflandırılırlar. Ancak pek çok gerçek endüstriyel problem, yalnızca maliyet minimizasyonu amacı ile sınırlandırılmaz, hatta aynı problemin içerisinde dahi; finansal maliyet, zaman maliyeti gibi farklı maliyetlerden

söz etmek mümkündür. Çok amaçlı araç rotalama problemlerinde maliyetin yanı sıra gecikme ve eşitlik gibi amaçlar da söz konusu olabilmektedir (Jozefowicz, 2008: 446).

3.2.3 Rotalara Göre Araç Rotalama Problemi

Araçlar rotayı başlangıç noktalarından farklı bir noktada tamamlıyorlarsa, bu problem türü açık uçlu araç rotalama problemi olarak sınıflandırılmaktadır. Şekil 3.3. açık uçlu araç rotalama problemini göstermektedir.



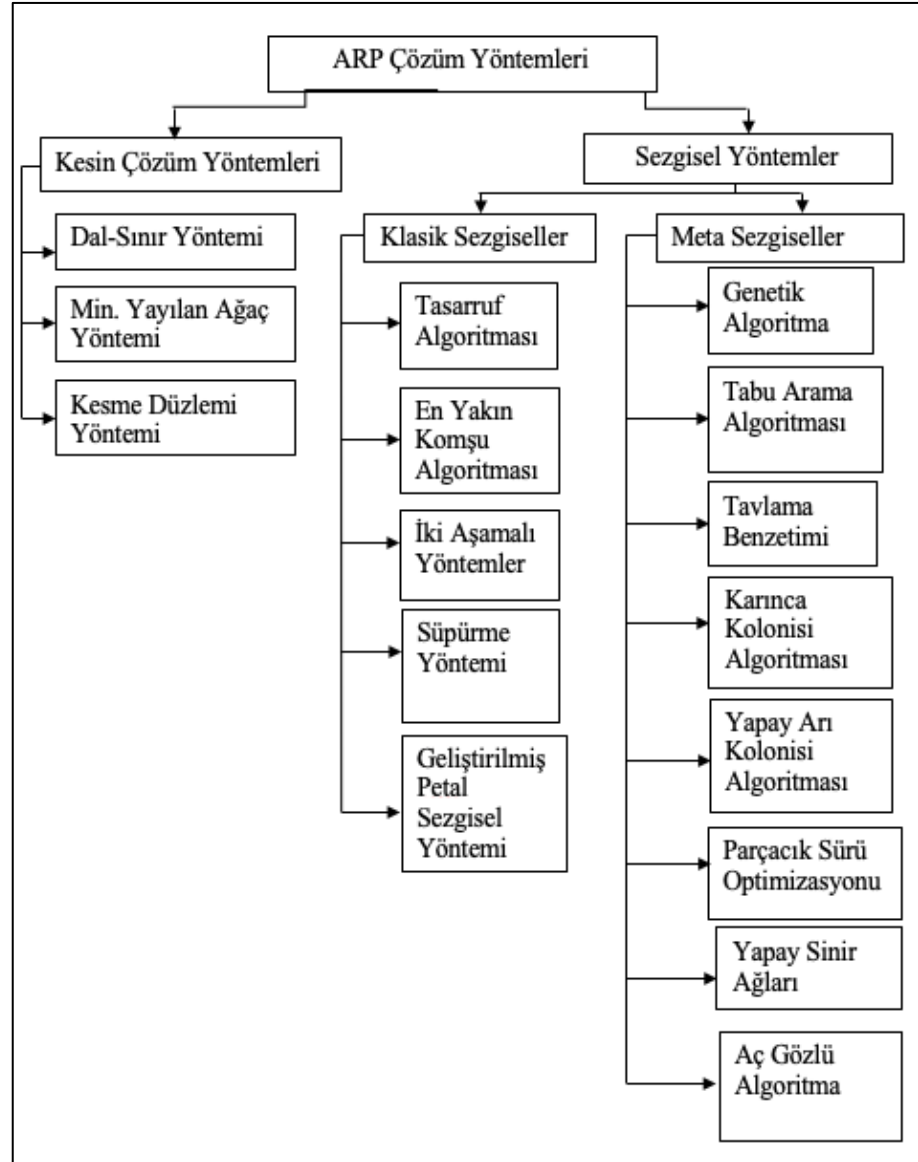
Şekil 3.3: Açık uçlu araç rotalama problemi.

Eğer araçların rotaya başladıkları nokta ile rotayı tamamladıkları nokta aynı ise; bu problem türü kapalı uçlu araç rotalama problemidir (Yılmaz, 2008: 38). Şekil 4.4. kapalı uçlu araç rotalama problemini göstermektedir.

yeniden düzenlenmesi gerekmektedir. Amaç, diğer araç rotalama problemlerinde olduğu gibi kat edilen mesafeyi en aza indirmektir.

3.3 ARP' nin Çözüm Yöntemleri

Araç rotalama problemleri için literatürde pek çok farklı çözüm yöntemi geliştirilmiştir. Bu yöntemleri; kesin çözüm yöntemleri ve sezgisel çözüm yöntemleri olmak üzere iki başlık altında incelemek mümkündür. Şekil 3.5. ARP çözüm yöntemlerinin sınıflandırılmasını göstermektedir.



Şekil 3.5: ARP çözüm yöntemleri.

Şekil 3.5' te adı geçen tüm yöntemler: kesin çözüm yöntemleri ve sezgisel yöntemler başlıkları altında tek tek ele alınarak açıklanmıştır.

3.3.1 Kesin Çözüm Yöntemleri

3.3.1.1 Dal-Sınır Yöntemi

Dal-sınır yönteminde ağaç kökleri tüm çözüm olasılıklarını göstermektedir. Arama ağacındaki her bir düğüm amaç fonksiyonu için daha düşük bir sınır noktası içeren çözüm kümesinin bir alt kümesidir. Optimal çözüm aranırken, düğümlerin artmasıyla daha dar bir çözüm kümesi elde edilir. Bu yöntemde dallandırma yoluyla yeni arama yolları açılmaktadır (Demircioğlu, 2009:26).

Dal sınır yönteminde tüm uygun çözümler belirlenir, ancak optimum çözüme gitmeyen çözümler bu çözümlerin içerisinde elenir. Bu sebeple çözüm alana küçük alt setlere bölünmüş olunur. Her alt set daha fazla araştırma gerektirip gerektirmediği konusunda değerlendirilir (Patır, 2009: 198).

3.3.1.2 Minimum Yayılan Ağaç Yöntemi

Minimum yayılan ağaç yöntemi (MYAY), klasik graf teorisinde en iyi bilinen optimizasyon yöntemlerinden biridir. Bu yöneme göre; T ağacı, G' nin bir alt grafiği ise ve T, G'nin tüm düğümlerini içeriyorsa, bağlantılı bir G grafiğinin yayılan ağacı olduğu söylenir. MYAY; ulaşım, iletişim, lojistik, küme analizi, telekomünikasyon ağları gibi pek çok gerçek yaşam probleminin çözümünde kullanılmaktadır (Dey v.d., 2019, 3964).

3.3.1.3 Kesme Düzlemi Yöntemi

Kesme düzlemi yöntemi 1959 yılında R.E. Gomory tarafından geliştirilmiştir. Doğrusal programlama problemlerinin tam sayılı çözümlerini sağlayacak bu yöneme tam sayılı algoritma veya kesme düzlemi yöntemi denilmiştir (Çevik, 2006: 160).

Kesme düzlemi algoritmasının adımları kısaca tanımlanacak olunursa; başlangıçta, negatif olmayan kısıtlamaları ve bir eşitsizlik alt kümesini içeren doğrusal bir program oluşturulur. Ardından her tekrarda mevcut doğrusal program çözülür ve

bir dizi geçerli eşitsizlik aranır. Algoritma ihlal edilmiş herhangi bir eşitsizlik bulunmadığında durur (Belenguer ve Benavent, 2003: 717).

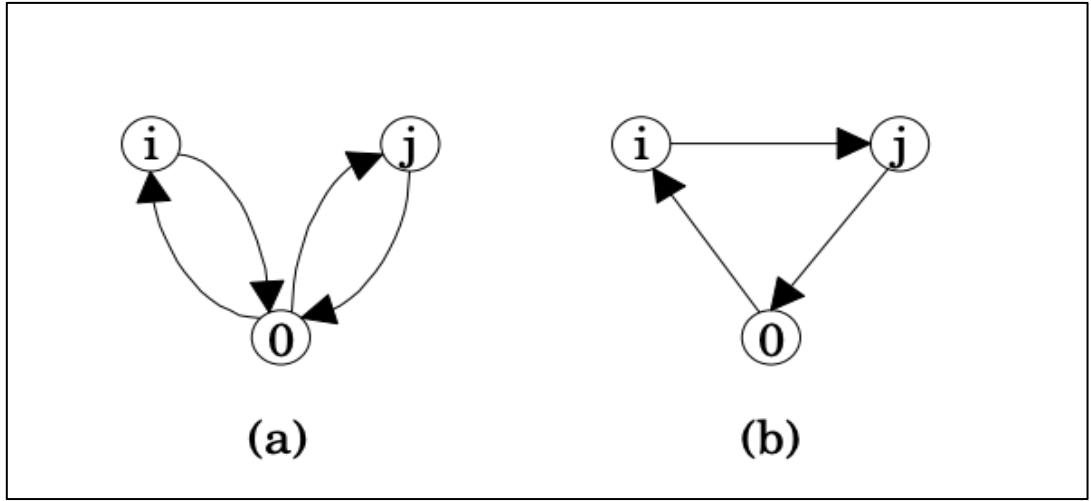
3.3.2 Sezgisel Yöntemler

3.3.2.1 Klasik Sezgiseller

3.3.2.1.1 Tasarruf Algoritması

Clarke ve Wright (1964), Dantzig ve Ramser (1959)' un yöntemine benzer fakat geliştirilmiş bir formülasyon ortaya atmışlardır. Tasarruf algoritması sezgisel bir algoritmadır ve bu nedenle problemin çözümü için kesin çözümler sunmaz. Elde edilen sonuçlar çoğu zaman optimum çözümden ufak farklılıklar gösteren sonuçlardır.

Şekil 3.6. tasarruf algoritmasının temelindeki tasarruf kavramını temsil etmektedir (Lysgaard, 1997: 2).



Şekil 3.6: Tasarruf kavramı.

Kaynak: Lysgaard, Jens. "Clarke & Wright's Savings Algorithm.(1997)." Department of Management Science and logistics, Aarhus (1997).

Şekil 3.6. incelenecek olunursa; şeklin (a) kısmında i ve j müşterilerinin, "0" ile temsil edilen depo noktasından ayrı ayrı ziyaret edildikleri görülmektedir. Yani araç i müşterisine dağıtımını gerçekleştirip depoya geri dönmekte ve ardından j müşterisine dağıtımını gerçekleştirip tekrar depoya dönmektedir. Şeklin (b) kısmında ise; bu dağıtımın ayrı ayrı iki rota yerine, tek bir rotada gerçekleştirildiği görülmektedir. Bu

basit düzenlemeden elde edilen kat edilen mesafe tasarrufu, tasarruf algoritmasının temel tasarruf mantığını ifade etmektedir.

$M(a)$: (a)'daki rotanın toplam maliyeti

$M(b)$: (b)'deki rotanın toplam maliyeti

$m_{0,i}$: Depodan i müşterisine ulaştırma maliyeti

$m_{i,0}$: i müşterisinden depoya ulaştırma maliyeti

$m_{0,j}$: Depodan j müşterisine ulaştırma maliyeti

$m_{j,0}$: j müşterisinden depoya ulaştırma maliyeti

$m_{i,j}$: i müşterisinden j müşterisine ulaştırma maliyeti

olmak üzere;

$M(a)$: $m_{0,i} + m_{i,0} + m_{0,j} + m_{j,0}$

$M(b)$: $m_{0,i} + m_{i,j} + m_{j,0}$

Bu iki rotanın maliyetleri arasındaki fark tasarruf miktarını göstermektedir. Buna göre i ve j müşterilerine dağıtım yapılırken elde edilen tasarruf $T_{i,j}$ olmak üzere;

$T_{i,j}$: $M(a) - M(b) = m_{0,i} + m_{i,0} + m_{0,j} + m_{j,0} - (m_{0,i} + m_{i,j} + m_{j,0}) = m_{i,0} + m_{0,j} - m_{i,j}$ şeklinde ifade edilir.

3.3.2.1.2 En Yakın Komşu Algoritması

En yakın komşu algoritmasını (EYKA) Bellmore ve Nemhauser (1968), gezgin satıcı probleminin (GSP) çözümünde kullanmak üzere geliştirmiştir. EYKA, basit ancak etkili bir sezgisel yöntemdir ve araç rotalama gibi karmaşık problemlerin çözümünde de kullanılmaktadır.

EYKA 'nın çözümü beş adımda sıralanabilir (Şahin ve Kulak, 2013: 147):

1. Adım: Başlangıç noktasına en yakın talep noktası belirlenir.
2. Adım: İlk talep noktasından diğer talep noktalarına olan uzaklık belirlenir.

3. Adım: Bu uzaklıklar arasından en kısa olan seçilir ve ikinci talep noktası belirlenir.

4. Adım: Tüm talep noktaları tamamlanana kadar 2. ve 3. adımlar tekrar edilir.

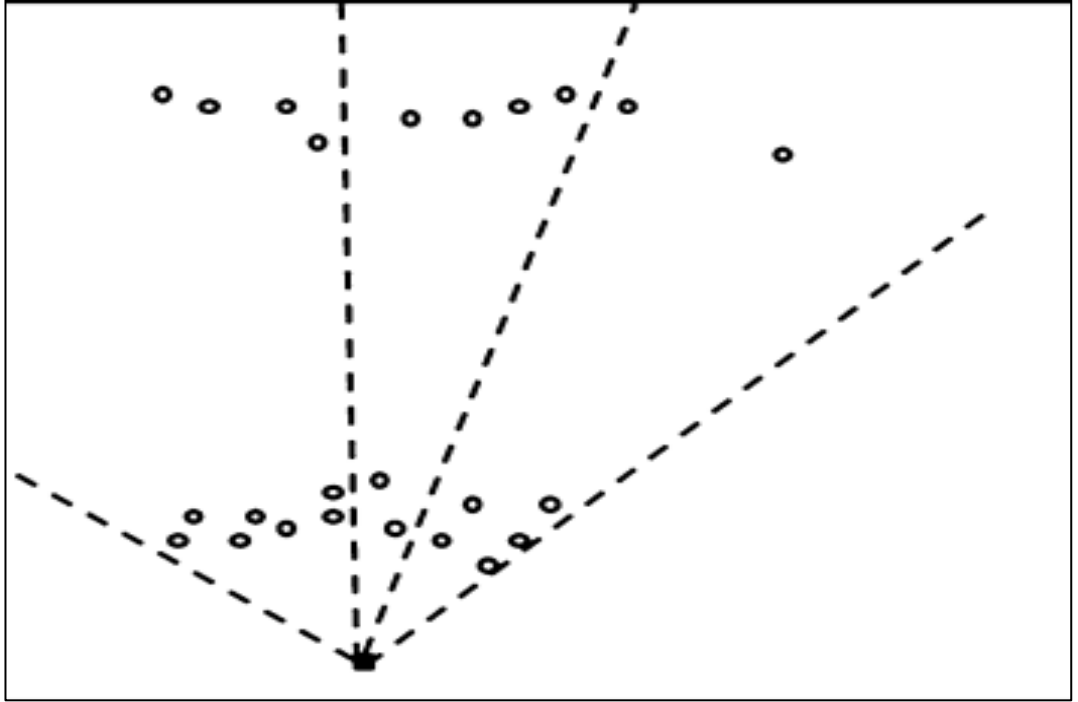
5. Adım: Belirlenen sıra doğrultusunda rota oluşturulur.

3.3.2.1.3 İki Aşamalı Yöntemler

İki aşamalı yöntemlerin birinci aşamasında talep noktaları, araçların kapasitelerini aşmayacak şekilde uygun şekilde kümelendirilerek araçlara atanır. İkinci aşamada ise her bir araç için tek tek en uygun rota belirlenir. Burada ilk aşamadaki kümeleme ve atama işlemi için farklı yöntemler kullanılabilmektedir. Her bir aracın sorumlu olduğu noktalar belirlendikten sonra ise problem, her bir araç için gezgin satıcı problemine dönüşmüş olur.

3.3.2.1.4 Süpürme (Sweep) Yöntemi

Gillett ve Miller (1974) tarafından geliştirilen süpürme yöntemi, iki aşamalı yöntemlerden biridir. Süpürme sezgiselinin birinci aşamasında, merkez kabul edilen depo ile ziyaret edilecek olan talep noktaları arasındaki kutup açıları hesaplanır ve bu kutup açılarına göre talep noktalarının sırası belirlenir. Kutup açılarına göre kümeleme Şekil 3.7’ de gösterilmiştir (Na, 2011: 1058). Yerleştirme sırasına göre uygun araçlara bu talep noktaları atanır. Burada dikkat edilmesi gereken nokta, araç kapasitesinin aşılmaması gerekliliğidir.



Şekil 3.7: Kutup açılarına göre kümeleme.

Kaynak: Na, Byungsoo, Yeowoon Jun, and Byung-In Kim. "Some extensions to the sweep algorithm." The International Journal of Advanced Manufacturing Technology 56.9 (2011): 1057-1067.

Talep noktaları araçlara atandıktan sonra problem her bir araç için gezgin satıcı problemine dönüşmektedir. Bu aşamada gezgin satıcı problemi için geliştirilen çözüm yöntemlerinden biri ile rotalama gerçekleştirilir.

3.3.2.1.5 Geliştirilmiş Petal Sezgisel Yöntemi

Geliştirilmiş petal sezgiseli yöntemi Renaud v.d. (1996) tarafından geliştirilmiştir. Bu yöntem, petal yöntemi sayesinde turların oluşturularak, kolon yenileme işlemi ile en uygun seçimin bulunmasıdır. Geliştirilmiş petal sezgiseli kısa sürede optimuma yakın sonuçlar ortaya koymaktadır (Demircioğlu, 2009: 66).

3.3.3 Meta Sezgisel Yöntemler

3.3.3.1 Genetik Algoritma

Doğal seçim ilkelerine dayanan bir arama ve optimizasyon yöntemi olan genetik algoritmalar John Holland tarafından ortaya atılmıştır. Algoritmanın çözüm sürecini; çözümlerin kodlanması, ilk popülasyonun oluşturulması, uygunluk değerlerinin hesabı, çoğalma işlemi, çaprazlama işlemi, mutasyon işlemi, yeni kuşağın

oluşturulup döngünün durdurulması olmak üzere 7 adımda sıralamak mümkündür (Emel ve Taşkın, 2002: 133-135).

Temeli doğal seçim ve genetik kurallara dayanan genetik algoritmalar, ortama en çok uyum sağlayabilenlerin yaşamaya devam etmesi ve uyum sağlayamayanların ise elenmesi mantığıyla çalışır (Şen, 2004: 19).

Geleneksel sezgisel yöntemlerden daha etkili ve daha esnek olan genetik algoritmaların; çaprazlama oranı, mutasyon oranı, popülasyon büyüklüğü, seçim, kodlama ve mutasyon gibi parametreleri vardır. Bu parametrelerden çaprazlama oranının yüksek olması gerekirken, mutasyon oranının düşük olması istenir (İşçi ve Korukoğlu, 2003: 193).

3.3.3.2 Tabu Arama Algoritması

Tabu arama (TA) algoritması, optimizasyon problemlerinin çözümü için geliştirilmiş, yüksek seviyeli bir meta sezgisel yöntemdir. TA' nın alternatif yöntemlerle daha önce elde edilen en iyi çözümlerden daha üstün çözümler bulduğu görülmüştür. TA; çalışanların çizelgelenmesi, iş yeri planlaması, gezgin satıcı problemi, makine çizelgeleme, ağ tasarımı, olasılıksal mantık problemleri gibi pek çok farklı alanda problemlerin çözümü için kullanılmaktadır (Glover, 1990: 75).

TA, çözüm arama işlemine herhangi bir başlangıç çözümüyle başlar ve bu çözüm üzerinde yapılan küçük değişiklikler ile yeni çözümler elde edilir. Elde edilen bu yeni komşu çözümler, mevcut çözümün yöresini oluşturur. Mevcut çözümün yöresi içinde daha iyi bir çözüm elde edildiğinde, bu yeni çözüm mevcut çözüm olarak belirlenir. Bu işleme, yöredeki komşu çözümlerden daha iyi bir sonuç elde edilmeyinceye kadar devam edilir. En sonda bulunan çözüm ise “yerel en iyi” olarak adlandırılır (Türkbey ve Alabaş, 2002: 79).

TA, çözüm uzayındaki aramayı komşu arama ile sağlar. Arama boyunca en iyi komşunun bulunmasını sağlayan hareketler yapay bir hafızaya kaydedilir. Bu yapay hafıza sayesinde önceki aramalardan elde edilen tasarımların tekrar edilmesi engellenir ve engellenen bu tasarımlara tabu denir. Tabu hareketler tabu listesine eklenir ve bahsi geçen yapay hafızada yer alır (Değertekin v.d., 2006: 3919). Başka bir ifadeyle TA

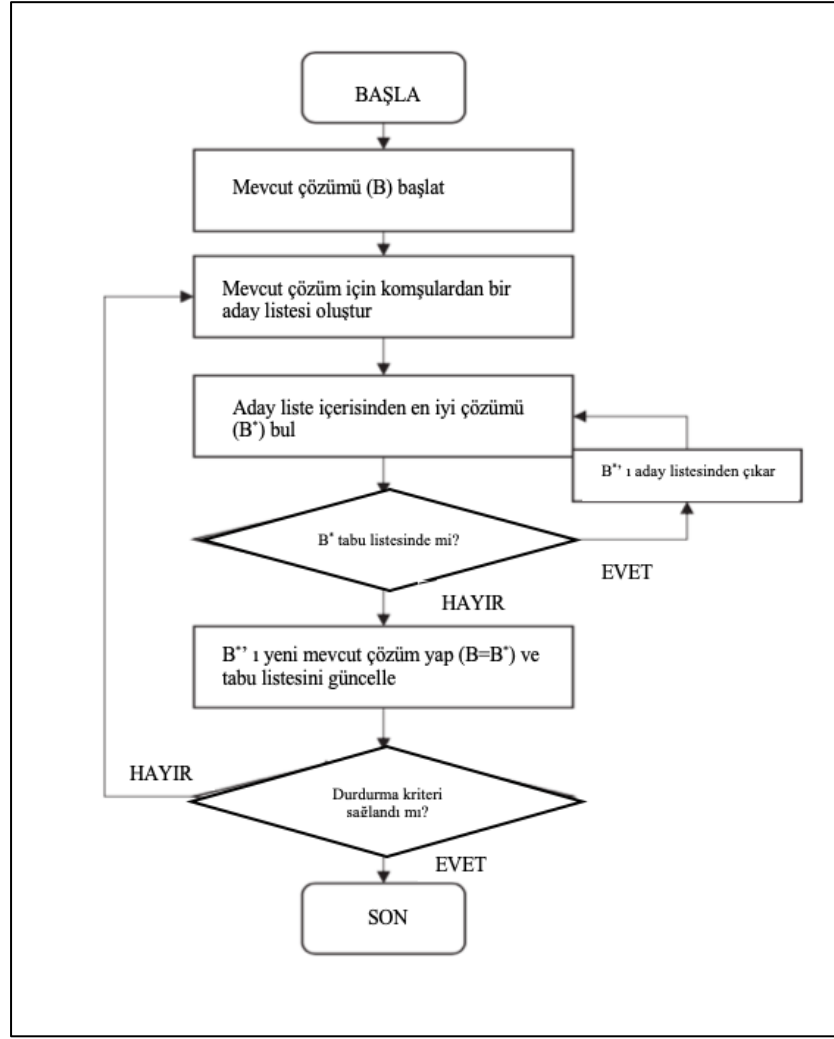
algoritmasında; bir çözümün ardışık komşuları oluşturulur ve bunların amaç fonksiyon değerleri incelenir. Döngüyü önlemek amacıyla, yakın zamanda incelenen çözümlerin yinelenmemesi için, bu çözümler yasaklanır ya da tabu olarak ilan edilir (Barbarosoğlu ve Özgür, 1999: 259).

Literatürde en sık kullanılan meta sezgisel yerel algoritmalarından biri olan TA, arama süreci boyunca potansiyel çözümden, komşu çözümler arasından uygunluğu daha yüksek olan çözümlere, belirlenen durdurma kriteri sağlanıncaya kadar arama işlemine devam eder. En uygunu yakın çözümü oldukça kısa bir sürede sağlaması sebebiyle TA, araç rotalama problemlerinin tüm versiyonlarında sıklıkla kullanılmaktadır (Şahin ve Eroğlu, 2014: 345).

TA Algoritmasının çözümü beş adımda sıralanabilir (Haltaş v.d., 2015: 421):

1. Adım: Bir başlangıç çözümü oluşturulur.
2. Adım: Tabu listesi uzunluğu, durdurma kriteri, tabu yıkma kriteri gibi algorithmada kullanılacak olan parametreler belirlenir.
3. Adım: Komşu çözümler üretilir. Bu komşu çözümler ile başlangıç çözümü arasında tabu listesinde yer almayan en iyi çözüm seçilir.
4. Adım: Seçilen en iyi çözüm ile mevcut çözüm değiştirilerek yeni tabu listesi belirlenir.
5. Adım: Belirlenen durdurma kriteri sağlanana kadar 3. ve 4. adımlar yinelenir.

TA, bir potansiyel çözümden başka bir gelişmiş çözüme geçmek için yerel arama prosedürünü uygular. Şekil 3.8 TA algoritmasının çözüm sürecini göstermektedir (Hao v.d., 2017: 486).



Şekil 3.8: TA algoritması çözüm süreci.

Kaynak: Hao, Peng, vd. "Intra-platoon vehicle sequence optimization for eco-cooperative adaptive cruise control." 2017 IEEE 20th International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC). IEEE, 2017.

Şekil 3.8’ de de görüldüğü gibi TA Algoritmasında, daha önce yapılan aramaların saklandığı hafızaya sık sık başvurularak, yeni aday listeleri ve yeni tabu listeleri oluşturulur. Durdurma kriteri sağlandığında ise çözüm süreci sona erdirilmektedir.

3.3.3.3 Tavlama Benzetimi

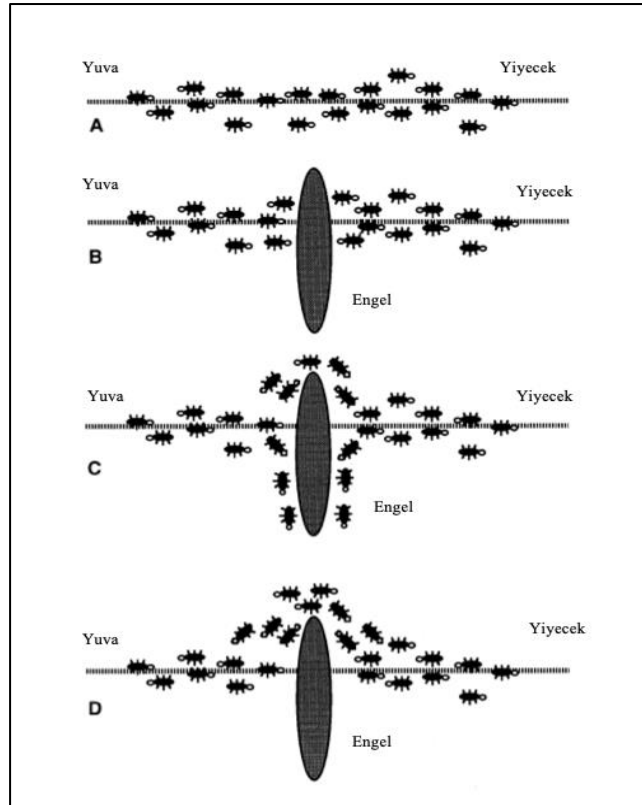
Tavlama benzetimi yöntemi, Kirkpatrick v.d. (1983) tarafından metallerin tavlama işleminden esinlenerek geliştirilmiştir. Metallerin tavlama sonucunda ortaya çıkan kristalleşme, metalin mekanik özelliklerini iyileştiren yapısal

değişiklikler meydana getirir. Tavlama benzetimi, bu iyileştirme işleminin optimizasyon problemlerinin çözümünde model olarak kullanılmasıyla ortaya çıkmış bir yerel arama algoritmadır (Söke ve Bingöl, 2005: 27). Yöntem, araç rotalama problemlerinin çözümünde sıklıkla kullanılmakta ve oldukça iyi sonuçlar ortaya koymaktadır.

3.3.3.4 Karınca Kolonisi Algoritması

Karınca kolonisi algoritması, karınca sürülerinin davranışlarından esinlenerek Dorigo v.d. (1991) tarafından geliştirilmiştir. Bu algoritma, kombinasyonel optimizasyon problemlerinin çözümünde kullanılan ve optimuma oldukça yakın sonuçlar ortaya koyan meta sezgisel bir yöntemdir.

Şekil 3.9 karınca kolonilerinin davranışlarını temsil etmektedir (Dorigo ve Gambardella, 1997: 74).



Şekil 3.9: Karınca kolonisi davranışları.

Kaynak: Dorigo, Marco, Luca Maria Gambardella. "Ant colonies for the travelling salesman problem." biosystems 43.2 (1997): 73-81.

Şekil 3.9' un A bölümü, karıncaların yuvaları ve yiyecek kaynakları arasında bir yol izlediklerini göstermektedir. B ve C bölümü karınca kolonilerinin önüne bir engel çıktığında, eşit olasılıkla sağa veya sola dönmeyi seçeceklerini göstermektedir. D bölümüne göre ise; karıncaların salgılamış oldukları feromon maddesi en kısa yol üzerinde daha çabuk birikmekte ve zamanla tüm karıncalar feromonu fazla olan bu en kısa yolu tercih etmektedir. Karınca kolonisi algoritması da, karıncaların bu davranışından esinlenerek en kısa yolu hesaplamayı amaçlamaktadır.

3.3.3.5 Yapay Arı Kolonisi Algoritması

Yapay arı kolonisi algoritması (YAKA), Karaboğa (2005) tarafından geliştirilmiş olan sürü tabanlı bir meta sezgisel algoritmadır. Bu algoritma, özellikle Tereshko ve Loengarov (2005) tarafından geliştirilen, bal arısı kolonilerinin yiyecek arama davranışları için önerilen modeli temel almıştır (Karaboğa, 2010).

Tereshko ve Loengarov (2005)' in önerdiği model; besin kaynakları, çalışan toplayıcılar (hali hazırda bir besin kaynağı ile ilişkili olan ve o kaynaktan nektar toplamakta olan arılar) ve çalışmayan toplayıcılar (başka bir besin kaynağı aramakta olan arılar) olmak üzere üç bileşenden oluşmakta ve iki ayrı modda çalışmaktadır. Bu modlar; besin kaynağına yönelme ve besin kaynağını terk etme şeklindedir. Besin kaynağının bir arı için değeri ise; yuvaya yakınlık, enerjinin zenginliği ve bu enerjiyi çıkarma kolaylığı faktörlerine bağlıdır (Tereshko ve Loengarov, 2005: 2).

YAKA' da besin kaynaklarının yeri optimizasyon problemindeki olası çözümlere, kaynaklardaki nektar miktarları ise çözümlerin uygunluğuna karşılık gelmektedir. Bu algoritma en fazla nektara sahip olan besin kaynağının yerini (yani en uygun çözümü) tespit ederek çözüme ulaşmaya çalışmaktadır. Algoritmanın çözüm adımları aşağıdaki gibi sıralanabilir (Akay, 2009: 58):

1. Çalışmayan arılar tarafından başlangıç besin kaynaklarının yerleri tespit edilir.
2. Bu aşamada çalışmayan arılar artık çalışan arı olur ve besin kaynağı ile kovan arasında çalışmaya başlarlar.
3. İşçi arılar besin kaynağına gönderilir.

4. Olasılık değerleri çalışan arılardan gelen bilgilere göre hesaplanır.
5. Olasılık değerlerine göre besin kaynağı bölgesi seçilir.
6. Kaynakta besin kalmayınca yani çözüm tükendiğinde kaynak (zm) terk edilir. Ve yeni kaynaklar (zmler) aranmaya başlanır.

3.3.3.6 Parçacık Sürü Optimizasyonu

Parçacık sürü optimizasyonu (PSO) algoritması, Kennedy ve Eberhart (1995) tarafından, parçacık sürüsü metodunu kullanarak doğrusal olmayan fonksiyonların optimizasyonu için geliştirilmiştir. Bu algoritma ile yapay yaşam ve genetik algoritmalar arasındaki ilişkiler açıklanmıştır.

PSO, sürü halinde hareket eden hayvanların sosyal davranışlarından esinlenerek geliştirilmiş, popülasyon temelli bir optimizasyon algoritmasıdır. Bu algoritma sürü içerisindeki üyelerin bilgi paylaşımını temel alır. Her ye bir parçacık ve parçacıklardan oluşan topluluk ise srdr (Özsağlam ve unkaş, 2008: 299-300).

PSO’ da her ye önceki tecrübelerinden faydalanarak sürü içerisindeki en iyi yere sahip olan üyeye yakın olmayı hedefler. Sürü içerisindeki en iyi yere sahip olan üyeye küresel en iyi, bu üyenin mevcut duruma kadarki en iyi yerine ise yerel en iyi denir (zakar ve Bastı, 2012: 245). PSO, yelerin her bir adımda, bir önceki pozisyonlarından daha iyi bir pozisyona geçmelerini ve en nihayetinden en iyi pozisyonu bulabilmelerini hedefler. Söz konusu bu algoritma, geliştirildiği günden bu yana pek çok optimizasyon probleminin çözümünde güvenle kullanılmaktadır.

3.3.3.7 Yapay Sinir Ağları

McCulloch ve Pitts (1943), yapay sinir ağları (YSA) zerine bilinen ilk çalışmayı gerçekleştirmişlerdir.

YSA’ nın geliştirilmesinde biyolojik sinir sisteminden etkilenilmiştir. Sinir hücrelerinin birbirleri ile iletişim kurmaları gibi yapay sinir hücreleri de dışarıdan gelen bilgileri toplar ve diğer hücrelere aktarır. Bilgiler, diğer hücrelere aktarılmadan önce bir aktivasyon fonksiyonundan geçirilmektedir (Öztemel, 2003: 45).

Genel olarak YSA, insan beyninin bir görevi yerine getirme şeklini modelleyen bir sistemdir. Bu modelleme sistemi elektronik devreler ya da bilgisayar yazılımları sayesinde sağlanabilmektedir (Ataseven, 2013: 102).

İnsan beyninin bir görevi yerine getirme şekli, öğrenme prensibine dayanmaktadır. Beynin bu çalışma şeklini temel alan YSA da bilgiyi öğrenir ve saklar. Benzer durumlarla karşılaşıldığında bu bilgi genelleme yöntemiyle kullanılır. YSA, geliştirildiği günden bu güne; sınıflandırma, tahmin yapma, veri saklama, veri tanıma gibi konularda; ekonomiden tarıma, üretimden teknolojiye kadar pek çok alanda tercih edilmektedir.

3.3.3.8 Aç Gözlü Algoritma

Aç gözlü algoritma, kombinatoriyal optimizasyon problemlerinin çözümünde kullanılan, uygulanabilir, basit bir algoritmadır (Bendall ve Margot, 2006: 288). Açgözlü yaklaşımın mantığı oldukça basittir. Bu algoritmaya göre arama yapılırken alternatif seçeneklerden “en iyisi” tercih edilir. Buradaki “En iyisi” kavramı bazen en büyük değer olabileceği gibi bazen de en küçük değer olabilmektedir (Bulut ve İnce, 2017: 93).

Aç gözlü arama, özellikle gezgin satıcı problemlerinin çözümünde sıklıkla kullanılan yöntemlerden biridir. Genel olarak aç gözlü aramanın üç bileşeni söz konusudur. Bu bileşenler (Chen v.d., 2014: 865):

1. Çözümün aday veri kümesi,
2. Uygulanabilir çözümler elde etmek için çözüme gelişen bir fonksiyon kullanma,
3. Tam bir çözüm keşfedildiğinde mümkün olan en iyi çözümün seçilmesi.

Aç gözlü algoritmalar, her zaman yerel ve anlık en iyi çözümü alarak ilerlerler. Bu sebeple bu algoritmalar bazı optimizasyon problemlerinin çözümünde genel veya global olarak optimum çözümü sağlarken; bazılarında ise optimumdan daha uzak çözümler bulabilmektedir (<https://xlinux.nist.gov/>). Örneğin; gezgin satıcı

probleminin çözümü için yapılan çalışmalarda; öklid uzaklıkların baz alınması halinde, aç gözlü algoritmanın kabul edilebilir sonuçlar verdiği görülmüştür. Ancak yine yapılan deneysel çalışmalar, simetrik ve asimetrik gezgin satıcı problemlerinin çözümünde aç gözlü algoritmaların daha zayıf kaldığını göstermektedir (Gutin v.d., 2001: 82).

ARP' de Açgözlü arama ile çözüm gerçekleştirilirken, her adımda daha önce kullanılmamış olan en kısa kenar rotaya eklenerek tur oluşturulur ve bu işlem esnasında alt tur oluşumu engellenmeye çalışılır. Açgözlü aramanın genel adımları aşağıdaki gibi özetlenebilir (Babayiğit ve Yıldız, 2019: 510):

1. Adım: Hedef düğüme giderken oluşturulan tüm kenarlar uzundan kısaya doğru sıralanır.
2. Adım: Alt tur oluşturmadan en kısa kenarın tura eklenmesi sağlanır.
3. Adım: Tüm düğümler tura katılınca kadar 2. adım tekrarlanır.

3.4 Araç Rotalama Problemi Literatür Araştırması

Araç rotalama problemi pek çok bilim insanı tarafından, farklı türleri ve farklı çözüm yöntemleri ile ele alınan, çözümü zor problemlerdendir. Bu bağlamda; gazete dağıtımından okul servislerinin rotalanmasına, hızlı tüketim mamulleri dağıtımından atık toplamaya kadar pek çok farklı gerçek yaşam probleminin çözümü akademik çalışmalara konu olmuştur. Bu literatür çalışması, özellikle son yıllarda ele alınan araç rotalama problemi türlerini ve çözüm yöntemlerini araştırmayı hedeflemektedir.

Kool vd. (2022); gezgin satıcı problemi (GSP), klasik araç rotalama problemi (KARP) ve ZPARP' yi ele aldıkları çalışmalarında geliştirilmiş bir dinamik programlama metodunu kullanmışlardır. Kuo vd. (2022) ise; ZPARP probleminin çözümü için bir karışık tam sayılı programlama metodu geliştirmiştir. Kabadurmuş ve Erdoğan (2022), yeşil araç rotalama problemini (YARP) ele aldıkları çalışmalarında, problemi karmaşık tam sayılı doğrusal programlama ile modellemiş ve çok amaçlı optimizasyon tekniklerinden biri olan epsilon kısıtı yöntemini kullanmışlardır. Şehitoğlu ve Ağayeva (2022), ekmek dağıtımı problemini homojen ve heterojen filolu

olarak modellerken, problemin çözümünde tavlama benzetimi algoritmasını kullanmıştır. Zhang vd. (2022), heterojen filolu ve çok depolu bir araç rotalama problemini (HF-ÇDARP) ele almış ve problemin çözümü için Benders tabanlı bir dal-kesme algoritması geliştirmiştir. Can ve Erol (2022), evde bakım hizmeti dağıtım konusunu ZPARP problemi kapsamında incelemiş ve problemin çözümünde karınca koloni algoritmasını tercih etmiştir.

Altabeeb vd. (2021), KKARP probleminin çözümünde hibrit ateş böceği algoritmasını kullanırken; Islam vd. (2021) kümelenmiş araç rotalama probleminin (KÜARP) çözümünde yeni bir hibrit parçacık sürü optimizasyonu meta sezgiseli önermiştir. Euchi ve Sadok 2021 yılındaki çalışmalarında genetik süpürme algoritmasını kullanmışlardır. Erdoğan (2021) ise, çok bölmeli araç rotalama problemini (ÇBARP) ele almış olduğu çalışmada çözüm yöntemi olarak melez bir genetik algoritma tercih etmiştir. Park vd. (2021), eş zamanlı topla dağıt araç rotalama probleminin (EZTDARP) çözümü için bir genetik algoritma modeli geliştirmiştir. Bu modelin büyük ölçekli problemlerin çözümünde de kullanılması hedeflenmiştir.

Eshtehadi vd. (2020), ÇBARP' yi inceledikleri çalışmalarında, bir geliştirilmiş uyarlanabilir geniş komşu arama algoritması önermişlerdir. Sonuçlar, önerilen algoritmanın, gerek çözüm kalitesi gerekse çözüm süresi açısından verimli olduğunu ve ayrıca şehir lojistiği için faydalı bilgiler sağladığını ortaya koymuştur. Trachanatzi vd. (2020), getiri toplamalı araç rotama probleminin (GTARP) çözümünde ateş böceği algoritmasını kullanırken; Yazgan vd. (2020), KKARP' nin çözümünde Clarke-Wright tasarruf algoritmasını ve yerel aramalı sezgisel algoritmayı kullanmışlardır. Mao vd. (2020), ZPARP' yi elektrikli araçların rotalanması için ele almış ve problemi formüle etmek için bir karma tam sayılı programlama modeli geliştirmiştir. Problemin çözümünde ise gelişmiş bir karınca koloni algoritması kullanılmıştır.

Bruglieri vd. (2019), YARP için yol tabanlı bir çözüm yaklaşımı geliştirmiştir. Geliştirilen yaklaşımın ilk aşamasında, baskınlık kuralları ile sayılar sınırlandırılarak tüm uygulanabilir yollar oluşturulur. İkinci aşamada ise, yollar seçilir ve karma tam sayılı doğrusal programlama yoluyla rotaları oluşturmak için uygun şekilde birleştirilir. Benzer şekilde, Erdoğan (2019) da, KKARP' nin çözümü için tam sayılı

doğrusal programlama yöntemini tercih etmiştir. Bula vd. (2019), tehlikeli madde taşımacılığı için iki amaçlı araç rotalama problemini (İAARP) ele aldıkları çalışmalarında komşu arama algoritmasına dayalı iki çözüm yöntemi önermişlerdir. Algoritmalar 20 farklı kıyaslama örneği ile test edilmiştir. Huang vd. (2019) ise; besleyici araç rotalama problemi (BARP) olarak tanımladıkları yeni bir tür ARP ortaya atmışlardır. Bu ARP türünde, büyük araçlar teslimatı gerçekleştirirken motosikletler vasıtasıyla araçlara yeniden yüklemeler yapılır. Problemin çözümü için ise karınca koloni algoritması kullanılmıştır. Zhang vd. (2019), esnek zaman pencereli çok amaçlı araç rotalama problemi (EZP-ÇAARP) için ise yine bir hibrit karınca koloni algoritması geliştirmişlerdir.

Costa vd. (2018), YARP' nin çözümü için bir genetik algoritma yöntemi önerirken; Xu vd. (2018), dinamik araç rotalama problemini (DARP) ele aldıkları çalışmalarında geliştirilmiş bir karınca koloni algoritması kullanmışlardır. Çok amaçlı kapasite kısıtlı araç rotalama problemini (ÇA-KKARP) ele alan Pala ve Aksaraylı (2018), çözüm yöntemi olarak yine karınca koloni algoritmasını kullanmışlardır. Göçken vd. (2018), ZPARP' nin çözümünde genetik algoritmayı tercih ederken; Cömert vd. (2018) sıkı zaman pencereli araç rotalama probleminin (SZPARP) çözümü için K-medoids kümeleme algoritmasını ve DBSCAN kümeleme algoritmasını kullanmışlardır.

Ulutaş vd. (2017), bir ekmek dağıtım problemini KKARP kapsamında ele almış ve problemin çözümü için klasik sezgisel yöntemlerden biri olan tasarruf algoritmasını kullanmıştır. Benzer şekilde Mohammed vd. (2017), yine KKARP' nin çözümü için geliştirilmiş bir genetik algoritma kullanmıştır.

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

UYGULAMA

4.1 Depo Yeri Seçimi Problemi Çözümü

Bu tez çalışmasının uygulama kısmı iki bölümden oluşmaktadır. Her iki uygulama bölümünde de sektörün liderlerinden olan hızlı tüketim mamulleri üreticisi ve dağıtıcısı bir işletmenin gerçek verileri kullanılmıştır. Söz konusu işletme 50 yılı aşkın bir zamandır Türkiye’ de faaliyet göstermekte olup, 5000’ in üzerinde çalışanı bulunmaktadır. Ayrıca işletmenin diğer Türk devletlerine de satışı vardır.

İstanbul İli içerisinde hali hazırda 2 depo ile faaliyet göstermekte olan bu işletme, artan satış hacmi sebebiyle ve müşteri taleplerine daha hızlı cevap verebilme amacıyla, dağıtım ağı içerisine yeni bir depo dahil etmeyi planlamaktadır. Mevcut depolara ilave olarak planlanacak olan bu yeni depo yeri için değerlendirmeye alınacak alternatifler, işletmenin tedarik zinciri departmanında görev yapmakta olan üç yöneticisi ile yapılan mülakatların sonucunda belirlenmiştir. Buna göre Esenyurt, Hadımköy ve Tuzla ilçelerinde belirlenen üç farklı depo alternatifi değerlendirmeye alınacaktır. Çözüm sürecinde; Esenyurt alternatif 1 (A1), Hadımköy alternatif 2 (A2) ve Tuzla ise alternatif 3 (A3) olarak adlandırılacaktır.

Depo yeri seçiminde etkili olacak kriterlerin belirlenmesinde ikincil veriler kullanılmıştır. Depo yeri seçimi başlığı altında gerçekleştirilmiş olan kapsamlı literatür çalışmasının sonucunda Tablo 4.1’ de yer alan kriterlerin değerlendirmeye alınmasına karar verilmiştir. Yine üç tedarik zinciri yöneticisi ile yapılan mülakatlarda, söz konusu bu kriterlerin önem dereceleri doğrultusunda ağırlıklandırılması ve alternatif depo yerlerinin bu kriterler çerçevesindeki performans değerlerinin belirlenmesi sağlanmıştır.

Kriter	Kullanılan Yöntemler	Araştırmacılar
Arazi Maliyeti	Bulanık AHP, SAW, TOPSIS, VIKOR, Bulanık TOPSIS, KEMIRA-M, AHP, MAUT, ANP-TOPSIS Entegre Yaklaşım, Stokastik AHP ve Bulanık VIKOR, PROMETHEE.	KrSingh vd. (2018), Ofloğlu vd. (2017), Ashrafzadeh vd. (2012), Karmaker ve Saha (2015), Kış vd. (2020), Turgut ve Şahin (2019), Ergün vd. (2020), Nong (2021), Emeç ve Akkaya (2018), Şeker ve Alakaş (2019), Roh vd. (2018).
İş Gücü Maliyeti	Gri Sistem Teorisi, VIKOR, Bulanık AHP, CHOQUET İntegral, Aralık Tip-2 Bulanık AHP, Aralık Tip-2 Bulanık TOPSIS, TOPSIS, Bulanık TOPSIS, AHP, Bulanık TODIM, UTASTAR, ANP -TOPSIS Entegre Yaklaşım, Stokastik AHP, Bulanık VIKOR, ANP.	Yavuz (2018), Cömert ve Yener (2016), Çaka (2012), Demirel vd. (2010), Çalık (2020), Karmaker ve Saha (2015), Sağnak (2020), Turgut ve Şahin (2019), Ehsanifar vd. (2020), Nong (2021), Emeç ve Akkaya (2018), Yapıcı vd. (2020), Roh vd. (2018), Garcia vd. (2014).
Ulaşım ve Ulaştırma Maliyeti	Bulanık TOPSIS, Choquet integral, Aralık Tip-2 Bulanık AHP ve Aralık Tip-2 Bulanık TOPSIS, Bulanık AHP, AHP, ANP, TOPSIS.	Ashrafzadeh vd. (2012), Demirel vd. (2010), Çalık (2020), Karmaker ve Saha (2015), Yapıcı vd. (2020), Roh vd. (2018), Ocampo vd. (2020).
Vergi İndirimi ve Teşvikler	Bulanık AHP, ELECTRE, MAUT, SAW.	KrSingh, vd. (2018), Akyüz ve Soba (2013), Demirel vd. (2010), Choquet integral, Alberto (2000), Ergün vd. (2020).
Nitelikli İş Gücüne Erişebilirlik	Bulanık AHP, Bulanık TOPSIS, Choquet integral, TOPSIS, AHP, MAUT, SAW, ANS-TOPSIS Entegre Yaklaşım, Sezgisel Bulanık WASPAS, ANP.	Cömert ve Yener (2016), Ashrafzadeh vd. (2012), Çaka (2012), Demirel vd. (2010), Karmaker ve Saha (2015), Turgut ve Şahin (2019), Ergün vd. (2020), Nong (2021), Tirmikçioğlu (2021), Alberto (2000), Kuo vd. (2007), Yapıcı vd. (2020), Garcia vd. (2014).
Arazi Büyüklüğü	SAW, TOPSIS, VIKOR, Bulanık AHP, Bulanık TOPSIS, AHP ve ANP.	Ofloğlu vd. (2017), Cömert ve Yener (2016), Kuo vd. (2007), Yapıcı vd. (2020), Ocampo vd. (2020).

Arazinin Genişlemeye Elverişliliği	UTASTAR, Bulanık TOPSIS, AHP, Bulanık AHP, TOPSIS, TOPSIS, SAW ve MOORA' dan oluşan entegre yaklaşım.	Ehsanifar vd. (2020), Kuo vd. (2007), Chen (2009), Karmaker ve Saha (2015), Dey vd. (2016), Wazer ve Moutaz (2021).
Arazinin Topoğrafik Yapısı	AHP, SAW, TOPSIS, VIKOR, Bulanık AHP, Bulanık TOPSIS, Bulanık TODIM, ANP.	Turgut ve Şahin (2019), Ofloğlu vd. (2017), Chen (2009), Karmaker ve Saha (2015), Sağnak (2020), Yapıcı vd. (2020).
İklim Koşulları	Bulanık TOPSIS, Aralık Tip-2 Bulanık AHP ve Aralık Tip-2 Bulanık TOPSIS, Stokastik AHP ve Bulanık VIKOR, AHP.	Ashrafzadeh vd. (2012), Çalık (2020), Karmaker ve Saha (2015), Emeç ve Akkaya (2018), Alberto (2000), Roh vd. (2018).
Enerji Altyapısı (elektrik, su, doğalgaz)	AHP, Bulanık TODIM, Stokastik AHP ve Bulanık VIKOR, Bulanık AHP, SAW. TOPSIS, VIKOR, Bulanık TOPSIS.	Sağnak (2020), Emeç ve Akkaya (2018), KrSingh vd. (2018), Ofloğlu vd. (2017), Ashrafzadeh vd. (2012), Garcia vd. (2014).
Telekomünikasyon Altyapısı	Choquet integral, Bulanık AHP, Bulanık TOPSIS, TOPSIS, Stokastik AHP, Bulanık VIKOR.	Demirel vd. (2010), KrSingh vd. (2018), Ashrafzadeh vd. (2012), Karmaker ve Saha (2015), Emeç ve Akkaya (2018), Ocampo vd. (2020).
Arazinin Afetselliği	SAW, TOPSIS, VIKOR, AHP, MAUT, SAW, ELECTRE II, Bulanık AHP, Bulanık TOPSIS.	Ofloğlu vd. (2017), Turgut ve Şahin (2019), Ergün vd. (2020), He vd. (2017), Roh vd. (2018).
Mevcut ve/veya Potansiyel Rakiplere Yakınlık	AHP, VIKOR, MOORA, Stokastik AHP, Bulanık VIKOR, Sezgisel Bulanık WASPAS.	Aktepe ve Ersöz (2014), Emeç ve Akkaya (2018), Tırmıkçioğlu (2021).
Pazarlara/ Müşterilere Yakınlık	Bulanık TOPSIS, AHP, ANP, Bulanık AHP, Choquet integral, ANP-TOPSIS Entegre Yaklaşım, TOPSIS.	Kuo vd. (2007), Yapıcı vd. (2020), KrSingh vd. (2018), Çaka (2012), Demirel vd. (2010), Turgut ve Şahin (2019), Nong (2021), Ocampo vd. (2020), Garcia vd. (2014).

Tedarikçilere Yakınlık	AHP, COPRAS, TOPSIS, ELECTRE, Gri Teori, Choquet integral, Aralık Tip-2 Bulanık AHP ve Aralık Tip-2 Bulanık TOPSIS, VIKOR, Bulanık TODIM, KEMIRA-M, AHP-TOPSIS Entegre Yaklaşım, Stokastik AHP, Bulanık VIKOR.	Özbek ve Erol (2016), Özcan vd. (2011), Demirel vd. (2010), Çalık (2020), Jayant (2015), Sağnak (2020), Kış vd. (2020), Nong (2021), Emeç ve Akkaya (2018), Alberto (2000), Ocampo vd. (2020).
Üreticilere (Ana Fabrikalara) Yakınlık	Bulanık TOPSIS, Choquet integral, Aralık Tip-2 Bulanık AHP ve Aralık Tip-2 Bulanık TOPSIS, Bulanık TODIM, AHP, Stokastik AHP, Bulanık VIKOR,	Ashrafzadeh vd. (2012), Demirel vd. (2010), Çalık (2020), Karmaker ve Saha (2015), Sağnak (2020), Turgut ve Şahin (2019), Emeç ve Akkaya (2018)
Diğer Depolara Yakınlık	AHP, Bulanık AHP, Bulanık TOPSIS.	Alberto (2000), Roh vd. (2018), Wazer ve Moutaz (2021).
Otoyollara Yakınlık	ANP-TOPSIS Entegre Yaklaşım, AHP, SAW, TOPSIS, VIKOR, Bulanık AHP, Bulanık TOPSIS, MOORA, KEMIRA-M, MAUT.	Nong (2021), Alberto (2000), Ofloğlu vd. (2017), Roh vd. (2018), Cömert ve Yener (2016), Aktepe ve Ersöz (2014), Kış vd. (2020), Ergün vd. (2020), Wazer ve Moutaz (2021), Ocampo vd. (2020), Garcia vd. (2014).

Tablo 4.1: Literatür çalışmasından elde edilen kriterler.

Uygulamanın bu ilk bölümünde ele alınan depo yeri seçimi probleminin çözümü için, önceki bölümde detaylı bir biçimde anlatılmış olan Bulanık TOPSIS yöntemi tercih edilmiştir. Bu yöntemin tercih edilmesinin başlıca sebebi, ele alınan problemin karakteristiğiyle olan uyumdur. Problemin çözümü sırasında gerçekleştirilen hesaplamalarda Microsoft Excel programı kullanılmıştır. Bulanık TOPSIS başlığı altında da belirtildiği gibi çözüm, toplam 8 adımdan oluşmuştur.

1. Adım: Karar Vericiler Tarafından Kriterlerin ve Alternatiflerin Önem Derecelerinin Belirlenmesi: Bu adımda üç tedarik zinciri yöneticisinden, dilsel ifadelerden faydalanarak, literatür çalışmasından elde edilen kriterlerin ve kendi belirlemiş oldukları üç alternatifin, bu kriterler çerçevesindeki performans derecelerini atamaları istenmiştir. Söz konusu dilsel ifadelerin her birinin bulanık sayı karşılıkları

bulunmaktadır. Bu tez çalışmasının uygulama bölümünde üçgen bulanık sayılar kullanılacağı için, Chen (2000) tarafından verilen dilsel ifadelerin üçgen bulanık sayı karşılıkları tablosundan hareketle Tablo 4.2 oluşturulmuştur.

Dilsel Değişkenler	Üçgen Bulanık Sayı Karşılığı
Çok Düşük (ÇD)	(1,1,3)
Düşük (D)	(1,3,5)
Orta (O)	(3,5,7)
Yüksek (Y)	(5,7,9)
Çok Yüksek (ÇY)	(7,9,9)

Tablo 4.2: Dilsel değişkenlerin üçgen bulanık sayı karşılıkları

Kaynak: Chen, Chen-Tung. "Extensions of the TOPSIS for group decision-making under fuzzy environment." Fuzzy sets and systems 114.1 (2000): 1-9.

Tablo 4.2’ de yer alan üçgen bulanık sayı karşılıkları kullanılarak Tablo 4.3 ve Tablo 4.4 elde edilmiştir.

KRİTERLER	Karar Verici 1	Karar Verici 2	Karar Verici 3
Arazi Maliyeti	(7,9,9)	(7,9,9)	(5,7,9)
İş Gücü Maliyeti	(7,9,9)	(5,7,9)	(5,7,9)
Ulaşım ve Ulaştırma Maliyeti	(5,7,9)	(5,7,9)	(7,9,9)
Vergi İndirimi ve Teşvikler	(1,3,5)	(3,5,7)	(3,5,7)
Nitelikli İş Gücüne Erişebilirlik	(5,7,9)	(1,3,5)	(3,5,7)
Arazi Büyüklüğü	(5,7,9)	(7,9,9)	(3,5,7)
Arazinin Genişlemeye Elverişliliği	(3,5,7)	(1,1,3)	(3,5,7)
Arazinin Topoğrafik Yapısı	(3,5,7)	(3,5,7)	(1,3,5)
İklim Koşulları	(5,7,9)	(7,9,9)	(7,9,9)
Enerji Altyapısı (elektrik, su, doğalgaz)	(5,7,9)	(5,7,9)	(5,7,9)
Telekomünikasyon Altyapısı	(5,7,9)	(5,7,9)	(3,5,7)
Arazinin Afetselliği	(5,7,9)	(3,5,7)	(5,7,9)
Mevcut ve/veya Potansiyel Rakiplere Yakınlık	(5,7,9)	(7,9,9)	(5,7,9)
Pazarlara/ Müşterilere yakınlık	(5,7,9)	(7,9,9)	(5,7,9)
Tedarikçilere Yakınlık	(3,5,7)	(5,7,9)	(3,5,7)
Üreticilere (Ana Fabrikalara) Yakınlık	(5,7,9)	(5,7,9)	(5,7,9)
Diğer Depolara Yakınlık	(1,3,5)	(1,1,3)	(1,1,3)

Otoyollara Yakınlık	(5,7,9)	(3,5,7)	(5,7,9)
---------------------	---------	---------	---------

Tablo 4.3: Kriterlere atanan önem derecelerinin üçgen bulanık sayı karşılıkları.

Tablo 4.3 kriterlere atanan önem derecelerinin üçgen bulanık sayı karşılıklarını göstermekte iken, Tablo 4.4 alternatiflerin kriterler çerçevesindeki performans değerlerinin bulanık sayı karşılıklarını göstermektedir.

Kriterler	Karar Verici 1			Karar Verici 2			Karar Verici 3		
	A1	A2	A3	A1	A2	A3	A1	A2	A3
Arazi Maliyeti	(1,1,3)	(1,3,5)	(3,5,7)	(1,1,3)	(1,3,5)	(3,5,7)	(1,3,5)	(3,5,7)	(3,5,7)
İş Gücü Maliyeti	(1,1,3)	(1,1,3)	(1,3,5)	(1,1,3)	(1,1,3)	(1,3,5)	(1,3,5)	(1,3,5)	(3,5,7)
Ulaşım ve Ulaştırma Maliyeti	(5,7,9)	(5,7,9)	(3,5,7)	(3,5,7)	(3,5,7)	(5,7,9)	(5,7,9)	(5,7,9)	(3,5,7)
Vergi İndirimi ve Teşvikler	(3,5,7)	(3,5,7)	(3,5,7)	(1,3,5)	(1,3,5)	(1,3,5)	(1,3,5)	(1,3,5)	(1,3,5)
Nitelikli İş Gücüne Erişebilirlik	(7,9,9)	(7,9,9)	(3,5,7)	(7,9,9)	(7,9,9)	(3,5,7)	(5,7,9)	(5,7,9)	(3,5,7)
Arazi Büyüklüğü	(3,5,7)	(3,5,7)	(5,7,9)	(3,5,7)	(5,7,9)	(7,9,9)	(1,3,5)	(1,3,5)	(5,7,9)
Arazinin Genişlemeye Elverişliliği	(1,1,3)	(1,3,5)	(5,7,9)	(3,5,7)	(3,5,7)	(7,9,9)	(3,5,7)	(3,5,7)	(5,7,9)
Arazinin Topoğrafik Yapısı	(3,5,7)	(3,5,7)	(5,7,9)	(3,5,7)	(3,5,7)	(7,9,9)	(1,3,5)	(1,3,5)	(3,5,7)
İklim Koşulları	(5,7,9)	(3,5,7)	(5,7,9)	(1,3,5)	(3,5,7)	(5,7,9)	(5,7,9)	(5,7,9)	(5,7,9)
Enerji Altyapısı (elektrik, su, doğalgaz)	(7,9,9)	(7,9,9)	(5,7,9)	(5,7,9)	(5,7,9)	(5,7,9)	(5,7,9)	(5,7,9)	(5,7,9)
Telekomünikasyon Altyapısı	(7,9,9)	(7,9,9)	(5,7,9)	(5,7,9)	(5,7,9)	(5,7,9)	(5,7,9)	(5,7,9)	(5,7,9)
Arazinin Afetselliği	(1,3,5)	(1,3,5)	(5,7,9)	(1,3,5)	(1,3,5)	(3,5,7)	(1,3,5)	(1,3,5)	(3,5,7)
Mevcut ve/veya Potansiyel Rakiplere Yakınlık	(7,9,9)	(7,9,9)	(3,5,7)	(5,7,9)	(5,7,9)	(1,3,5)	(5,7,9)	(5,7,9)	(3,5,7)
Pazarlara/ Müşterilere yakınlık	(7,9,9)	(7,9,9)	(3,5,7)	(5,7,9)	(5,7,9)	(3,5,7)	(5,7,9)	(5,7,9)	(3,5,7)
Tedarikçilere Yakınlık	(5,7,9)	(5,7,9)	(3,5,7)	(5,7,9)	(5,7,9)	(1,3,5)	(5,7,9)	(5,7,9)	(5,7,9)

Üreticilere (Ana Fabrikalara) Yakınlık	(5,7,9)	(5,7,9)	(5,7,9)	(5,7,9)	(5,7,9)	(5,7,9)	(5,7,9)	(5,7,9)	(5,7,9)
Diğer Depolara Yakınlık	(7,9,9)	(7,9,9)	(3,5,7)	(7,9,9)	(5,7,9)	(3,5,7)	(5,7,9)	(5,7,9)	(1,3,5)
Otoyollara Yakınlık	(7,9,9)	(7,9,9)	(5,7,9)	(5,7,9)	(5,7,9)	(5,7,9)	(7,9,9)	(5,7,9)	(5,7,9)

Tablo 4.4: Alternatiflerin kriterler çerçevesindeki performans değerleri.

2. Adım: Alternatifler ve Kriterler İçin Bütünleşik Bulanık Değerlerin

Hesaplanması: Bu adımda, üç karar vericinin değerlendirmelerinin ortalamaları alınarak bütünleşik bulanık değerler elde edilmiştir. Bu hesaplamalar, Eşitlik 2.9 ve Eşitlik 2.10 ile gerçekleştirilmiştir. Buna göre; Tablo 4.5 kriterlere atanan önem derecelerinin bütünleşik değerlerini göstermektedir.

KRİTERLER	Karar Verici 1	Karar Verici 2	Karar Verici 3	Ortalama
Arazi Maliyeti	(7,9,9)	(7,9,9)	(5,7,9)	(5;8,333;9)
İş Gücü Maliyeti	(7,9,9)	(5,7,9)	(5,7,9)	(5;7,667;9)
Ulaşım ve Ulaştırma Maliyeti	(5,7,9)	(5,7,9)	(7,9,9)	(5;7,667;9)
Vergi İndirimi ve Teşvikler	(1,3,5)	(3,5,7)	(3,5,7)	(1;4,333;7)
Nitelikli İş Gücüne Erişebilirlik	(5,7,9)	(1,3,5)	(3,5,7)	(1;5;9)
Arazi Büyüklüğü	(5,7,9)	(7,9,9)	(3,5,7)	(3;7;9)
Arazinin Genişlemeye Elverişliliği	(3,5,7)	(1,1,3)	(3,5,7)	(1;3,667;7)
Arazinin Topoğrafik Yapısı	(3,5,7)	(3,5,7)	(1,3,5)	(1;4,333;7)
İklim Koşulları	(5,7,9)	(7,9,9)	(7,9,9)	(5;8,333;9)
Enerji Altyapısı (elektrik, su, doğalgaz)	(5,7,9)	(5,7,9)	(5,7,9)	(5;7;9)
Telekomünikasyon Altyapısı	(5,7,9)	(5,7,9)	(3,5,7)	(3;6,333;9)
Arazinin Afetselliği	(5,7,9)	(3,5,7)	(5,7,9)	(3;6,333;9)
Mevcut ve/veya Potansiyel Rakiplere Yakınlık	(5,7,9)	(7,9,9)	(5,7,9)	(5;7,667;9)
Pazarlara/ Müşterilere yakınlık	(5,7,9)	(7,9,9)	(5,7,9)	(5;7,667;9)
Tedarikçilere Yakınlık	(3,5,7)	(5,7,9)	(3,5,7)	(3;5,667;9)
Üreticilere (Ana Fabrikalara) Yakınlık	(5,7,9)	(5,7,9)	(5,7,9)	(5;7;9)
Diğer Depolara Yakınlık	(1,3,5)	(1,1,3)	(1,1,3)	(1;1,667;5)
Otoyollara Yakınlık	(5,7,9)	(3,5,7)	(5,7,9)	(3;6,333;9)

Tablo 4.5: Kriterlere atanan önem derecelerinin bütünleşik değerleri.

Tablo 4.6 ise alternatiflerin kriterler çerçevesindeki performans değerlerinin bütünleşik değerlerini göstermektedir.

Kriterler	Karar Verici 1			Karar Verici 2			Karar Verici 3			Ortalama		
	A1	A2	A3	A1	A2	A3	A1	A2	A3	A1	A2	A3
Arazi Maliyeti	(1,1,3)	(1,3,5)	(3,5,7)	(1,1,3)	(1,3,5)	(3,5,7)	(1,3,5)	(3,5,7)	(3,5,7)	(1;1,667;5)	(1;3,667;7)	(3;5;7)
İş Gücü Maliyeti	(1,1,3)	(1,1,3)	(1,3,5)	(1,1,3)	(1,1,3)	(1,3,5)	(1,3,5)	(1,3,5)	(3,5,7)	(1;1,667;5)	(1;1,667;5)	(1;3,667;7)
Ulaşım ve Ulaştırma Maliyeti	(5,7,9)	(5,7,9)	(3,5,7)	(3,5,7)	(3,5,7)	(5,7,9)	(5,7,9)	(5,7,9)	(3,5,7)	(3;6,333;9)	(3;6,333;9)	(3;5,667;9)
Vergi İndirimi ve Teşvikler	(3,5,7)	(3,5,7)	(3,5,7)	(1,3,5)	(1,3,5)	(1,3,5)	(1,3,5)	(1,3,5)	(1,3,5)	(1;3,667;7)	(1;3,667;7)	(1;3,667;7)
Nitelikli İş Gücüne Erişebilirlik	(7,9,9)	(7,9,9)	(3,5,7)	(7,9,9)	(7,9,9)	(3,5,7)	(5,7,9)	(5,7,9)	(3,5,7)	(5;8,333;9)	(5;8,333;9)	(3;5;7)
Arazi Büyüklüğü	(3,5,7)	(3,5,7)	(5,7,9)	(3,5,7)	(5,7,9)	(7,9,9)	(1,3,5)	(1,3,5)	(5,7,9)	(1;4,333;7)	(1;5;9)	(5;7,667;9)
Arazinin Genişleme Elverişliliği	(1,1,3)	(1,3,5)	(5,7,9)	(3,5,7)	(3,5,7)	(7,9,9)	(3,5,7)	(3,5,7)	(5,7,9)	(1;3,667;7)	(1;4,333;7)	(5;7,667;9)
Arazinin Topoğrafik Yapısı	(3,5,7)	(3,5,7)	(5,7,9)	(3,5,7)	(3,5,7)	(7,9,9)	(1,3,5)	(1,3,5)	(3,5,7)	(1;4,333;7)	(1;4,333;7)	(3;7;9)
İklim Koşulları	(5,7,9)	(3,5,7)	(5,7,9)	(1,3,5)	(3,5,7)	(5,7,9)	(5,7,9)	(5,7,9)	(5,7,9)	(1;5,667;9)	(3;5,667;9)	(5;7;9)
Enerji Altyapısı (elektrik, su, doğalgaz)	(7,9,9)	(7,9,9)	(5,7,9)	(5,7,9)	(5,7,9)	(5,7,9)	(5,7,9)	(5,7,9)	(5,7,9)	(5;7,667;9)	(5;7,667;9)	(5;7;9)
Telekomünikasyon Altyapısı	(7,9,9)	(7,9,9)	(5,7,9)	(5,7,9)	(5,7,9)	(5,7,9)	(5,7,9)	(5,7,9)	(5,7,9)	(5;7,667;9)	(5;7,667;9)	(5;7;9)
Arazinin Afetselliği	(1,3,5)	(1,3,5)	(5,7,9)	(1,3,5)	(1,3,5)	(3,5,7)	(1,3,5)	(1,3,5)	(3,5,7)	(1;3;5)	(1;3;5)	(3;5,667;9)
Mevcut ve/veya Potansiyel Rakiplere Yakınlık	(7,9,9)	(7,9,9)	(3,5,7)	(5,7,9)	(5,7,9)	(1,3,5)	(5,7,9)	(5,7,9)	(3,5,7)	(5;7,667;9)	(5;7,667;9)	(1;4,333;7)
Pazarlara/ Müşterilere Yakınlık	(7,9,9)	(7,9,9)	(3,5,7)	(5,7,9)	(5,7,9)	(3,5,7)	(5,7,9)	(5,7,9)	(3,5,7)	(5;7,667;9)	(5;7,667;9)	(3;5;7)
Tedarikçilere Yakınlık	(5,7,9)	(5,7,9)	(3,5,7)	(5,7,9)	(5,7,9)	(1,3,5)	(5,7,9)	(5,7,9)	(5,7,9)	(5;7;9)	(5;7;9)	(1;5;9)
Üreticilere (Ana Fabrikalara) Yakınlık	(5,7,9)	(5,7,9)	(5,7,9)	(5,7,9)	(5,7,9)	(5,7,9)	(5,7,9)	(5,7,9)	(5,7,9)	(5;7;9)	(5;7;9)	(5;7;9)
Diğer Depolara Yakınlık	(7,9,9)	(7,9,9)	(3,5,7)	(7,9,9)	(5,7,9)	(3,5,7)	(5,7,9)	(5,7,9)	(1,3,5)	(5;8,333;9)	(5;7,667;9)	(1;4,333;7)
Otoyollara Yakınlık	(7,9,9)	(7,9,9)	(5,7,9)	(5,7,9)	(5,7,9)	(5,7,9)	(7,9,9)	(5,7,9)	(5,7,9)	(5;8,333;9)	(5;7,667;9)	(5;7;9)

Tablo 4.6: Alternatiflerin kriterler çerçevesindeki performans değerlerinin bütünleşik değerleri.

3. Adım: Normalize Karar Matrisinin Oluşturulması: Bu adım, önceki adımda elde edilen bütünleşik değerlerin normalize edildiği adımdır. Bulanık TOPSIS başlığı altında verilen Eşitlik 2.11 ve Eşitlik 2.12 ile normalizasyon işlemi gerçekleştirilir. Burada özellikle dikkat edilmesi gereken husus; fayda ve maliyet kriterlerinin ayrı ayrı değerlendirilmesi gerektiğidir. Örneğin; arazi maliyeti, iş gücü maliyeti, ulaşım ve ulaştırma maliyeti gibi kriterler maliyet kriterleri iken; nitelikli iş gücüne erişebilirlik, arazinin genişlemeye elverişliliği gibi kriterler fayda kriterleri kapsamında değerlendirilir. Buna göre fayda kriterlerini normalize ederken Eşitlik

2.11, maliyet kriterlerini normalize ederken ise Eşitlik 2.12 kullanılmalıdır. Normalizasyon sonrası değerler Tablo 4.7 de verilmiştir.

Kriterler	ORTALAMA			c_j ya da a_j	Normalize Değerler		
	A1	A2	A3		A1	A2	A3
Arazi Maliyeti	(1;1,667;5)	(1;3,667;7)	(3;5;7)	1	(0,2;0,6;1)	(0,143;0,273;1)	(0,143;0,2;0,333)
İş Gücü Maliyeti	(1;1,667;5)	(1;1,667;5)	(1;3,667;7)	1	(0,2;0,6;1)	(0,2;0,6;1)	(0,143;0,273;1)
Ulaşım ve Ulaştırma Maliyeti	(3;6,333;9)	(3;6,333;9)	(3;5,667;9)	3	(0,333;0,474;1)	(0,333;0,474;1)	(0,333;0,53;1)
Vergi İndirimi ve Teşvikler	(1;3,667;7)	(1;3,667;7)	(1;3,667;7)	7	(0,143;0,524;1)	(0,143;0,524;1)	(0,143;0,524;1)
Nitelikli İş Gücüne Erişebilirlik	(5;8,333;9)	(5;8,333;9)	(3;5;7)	9	(0,556;0,926;1)	(0,556;0,926;1)	(0,333;0,556;0,778)
Arazi Büyüklüğü	(1;4,333;7)	(1;5;9)	(5;7,667;9)	9	(0,111;0,481;0,778)	(0,111;0,556;1)	(0,556;0,852;1)
Arazinin Genişlemeye Elverişliliği	(1;3,667;7)	(1;4,333;7)	(5;7,667;9)	9	(0,111;0,407;0,778)	(0,111;0,481;0,778)	(0,556;0,852;1)
Arazinin Topoğrafik Yapısı	(1;4,333;7)	(1;4,333;7)	(3;7;9)	9	(0,111;0,481;0,778)	(0,111;0,481;0,778)	(0,333;0,778;1)
İklim Koşulları	(1;5,667;9)	(3;5,667;9)	(5;7;9)	9	(0,111;0,63;1)	(0,333;0,63;1)	(0,556;0,778;1)
Enerji Altyapısı (elektrik, su, doğalgaz)	(5;7,667;9)	(5;7,667;9)	(5;7;9)	9	(0,556;0,852;1)	(0,556;0,852;1)	(0,556;0,778;1)
Telekomünikasyon Altyapısı	(5;7,667;9)	(5;7,667;9)	(5;7;9)	9	(0,556;0,852;1)	(0,556;0,852;1)	(0,556;0,778;1)
Arazinin Afetliliği	(1;3;5)	(1;3;5)	(3;5,667;9)	9	(0,111;0,333;0,556)	(0,111;0,333;0,556)	(0,333;0,63;1)
Mevcut ve/veya Potansiyel Rakiplere Yakınlık	(5;7,667;9)	(5;7,667;9)	(1;4,333;7)	9	(0,556;0,852;1)	(0,556;0,852;1)	(0,111;0,481;0,778)
Pazarlara/ Müşterilere yakınlık	(5;7,667;9)	(5;7,667;9)	(3;5;7)	9	(0,556;0,852;1)	(0,556;0,852;1)	(0,333;0,556;0,778)
Tedarikçilere Yakınlık	(5;7;9)	(5;7;9)	(1;5;9)	9	(0,556;0,778;1)	(0,556;0,778;1)	(0,111;0,556;1)
Üreticilere (Ana Fabrikalara) Yakınlık	(5;7;9)	(5;7;9)	(5;7;9)	9	(0,556;0,778;1)	(0,556;0,778;1)	(0,556;0,778;1)
Diğer Depolara Yakınlık	(5;8,333;9)	(5;7,667;9)	(1;4,333;7)	9	(0,556;0,926;1)	(0,556;0,852;1)	(0,111;0,481;0,778)
Otoyollara Yakınlık	(5;8,333;9)	(5;7,667;9)	(5;7;9)	9	(0,556;0,926;1)	(0,556;0,852;1)	(0,556;0,778;1)

Tablo 4.7: Normalize değerler.

4. Adım: Ağırlıklandırılmış Normalize Karar Matrisinin Oluşturulması:

Tablo 4.5’ te hesaplanan bütünleşik ağırlıklar ile Tablo 4.7’ de hesaplanan normalize değerlerin çarpımı sonucu ağırlıklandırılmış normalize değerler elde edilir. Eşitlik 2.13 bu hesaplamayı göstermektedir. Ağırlıklandırılmış normalize değerler Tablo 4.8’ de gösterilmiştir.

Kriterler	Normalize Değerler			Ortalama Ağırlıklar	Ağırlıklandırılmış Normalize Değerler		
	A1	A2	A3		A1	A2	A3
Arazi Maliyeti	(0,2;0,6;1)	(0,143;0,273;1)	(0,143;0,2;0,333)	(5;8,333;9)	(1;4,99;9)	(0,715;2,275;9)	(0,715;1,67;2,997)
İş Gücü Maliyeti	(0,2;0,6;1)	(0,2;0,6;1)	(0,143;0,273;1)	(5;7,667;9)	(1;4,6002;9)	(1;4,6002;9)	(0,715;2,093;9)
Ulaşım ve Ulaştırma Maliyeti	(0,333;0,474;1)	(0,333;0,474;1)	(0,333;0,53;1)	(5;7,667;9)	(1,665;3,634;9)	(1,665;3,634;9)	(1,665;4,064;9)
Vergi İndirimi ve Teşvikler	(0,143;0,524;1)	(0,143;0,524;1)	(0,143;0,524;1)	(1;4,333;7)	(0,143;2,27;7)	(0,143;2,27;7)	(0,143;2,27;7)
Nitelikli İş Gücüne Erişebilirlik	(0,556;0,926;1)	(0,556;0,926;1)	(0,333;0,556;0,778)	(1;5;9)	(0,556;4,63;9)	(0,556;4,63;9)	(0,333;2,78;7,002)
Arazi Büyüklüğü	(0,111;0,481;0,778)	(0,111;0,556;1)	(0,556;0,852;1)	(3;7;9)	(0,333;3,367;7,002)	(0,333;3,892;9)	(1,668;5,964;9)
Arazinin Genişlemeye Elverişliliği	(0,111;0,407;0,778)	(0,111;0,481;0,778)	(0,556;0,852;1)	(1;3,667;7)	(0,111;1,492;5,446)	(0,111;1,764;5,446)	(0,556;3,124;7)
Arazinin Topoğrafik Yapısı	(0,111;0,481;0,778)	(0,111;0,481;0,778)	(0,333;0,778;1)	(1;4,333;7)	(0,111;2,084;5,446)	(0,111;2,084;5,446)	(0,333;3,371;7)
İklim Koşulları	(0,111;0,63;1)	(0,333;0,63;1)	(0,556;0,778;1)	(5;8,333;9)	(0,555;5,25;9)	(1,665;5,25;9)	(2,78;6,483;9)
Enerji Altyapısı (elektrik, su, doğalgaz)	(0,556;0,852;1)	(0,556;0,852;1)	(0,556;0,778;1)	(5;7;9)	(2,78;5,964;9)	(2,78;5,964;9)	(2,78;5,446;9)
Telekomünikasyon Altyapısı	(0,556;0,852;1)	(0,556;0,852;1)	(0,556;0,778;1)	(3;6,333;9)	(1,668;5,396;9)	(1,668;5,396;9)	(1,668;4,927;9)
Arazinin Afetselliği	(0,111;0,333;0,556)	(0,111;0,333;0,556)	(0,333;0,63;1)	(3;6,333;9)	(0,333;2,109;5,004)	(0,333;2,109;5,004)	(0,999;3,99;9)
Mevcut ve/veya Potansiyel Rakiplere Yakınlık	(0,556;0,852;1)	(0,556;0,852;1)	(0,111;0,481;0,778)	(5;7,667;9)	(2,78;6,532;9)	(2,78;6,532;9)	(0,555;3,688;7,002)
Pazarlara/Müşterilere yakınlık	(0,556;0,852;1)	(0,556;0,852;1)	(0,333;0,556;0,778)	(5;7,667;9)	(2,78;6,532;9)	(2,78;6,532;9)	(1,665;4,263;7,002)
Tedarikçilere Yakınlık	(0,556;0,778;1)	(0,556;0,778;1)	(0,111;0,556;1)	(3;5,667;9)	(1,668;4,409;9)	(1,668;4,409;9)	(0,333;3,151;9)
Üreticilere (Ana Fabrikalara) Yakınlık	(0,556;0,778;1)	(0,556;0,778;1)	(0,556;0,778;1)	(5;7;9)	(2,78;5,446;9)	(2,78;5,446;9)	(2,78;5,446;9)
Diğer Depolara Yakınlık	(0,556;0,926;1)	(0,556;0,852;1)	(0,111;0,481;0,778)	(1;1,667;5)	(0,556;1,544;5)	(0,556;1,42;5)	(0,111;0,802;3,89)
Otoyollara Yakınlık	(0,556;0,926;1)	(0,556;0,852;1)	(0,556;0,778;1)	(3;6,333;9)	(1,668;5,864;9)	(1,668;5,396;9)	(1,668;4,927;9)

Tablo 4.8: Ağırlıklandırılmış normalize değerler.

5. Adım: Pozitif Bulanık İdeal Çözüm ve Negatif Bulanık İdeal Çözümün Hesaplanması: Eşitlik 2.14 kullanılarak Pozitif Bulanık İdeal Çözüm (A^*), Eşitlik

2.15 kullanılarak Negatif Bulanık İdeal Çözüm (A^-) hesaplanmıştır. Tablo 4.9 bu değerleri göstermektedir.

Kriterler	Ağırlıklandırılmış Normalize Değerler			A^+	A^-
	A1	A2	A3		
Arazi Maliyeti	(1;4,99;9)	(0,715;2,275;9)	(0,715;1,67;2,997)	(1;4,99;9)	(0,715;1,67;2,997)
İş Gücü Maliyeti	(1;4,6002;9)	(1;4,6002;9)	(0,715;2,093;9)	(1;4,6002;9)	(0,715;2,093;9)
Ulaşım ve Ulaştırma Maliyeti	(1,665;3,634;9)	(1,665;3,634;9)	(1,665;4,064;9)	(1,665;4,064;9)	(1,665;3,634;9)
Vergi İndirimi ve Teşvikler	(0,143;2,27;7)	(0,143;2,27;7)	(0,143;2,27;7)	(0,143;2,27;7)	(0,143;2,27;7)
Nitelikli İş Gücüne Erişebilirlik	(0,556;4,63;9)	(0,556;4,63;9)	(0,333;2,78;7,002)	(0,556;4,63;9)	(0,333;2,78;7,002)
Arazi Büyüklüğü	(0,333;3,367;7,002)	(0,333;3,892;9)	(1,668;5,964;9)	(1,668;5,964;9)	(0,333;3,367;7,002)
Arazinin Genişlemeye Elverişliliği	(0,111;1,492;5,446)	(0,111;1,764;5,446)	(0,556;3,124;7)	(0,556;3,124;7)	(0,111;1,492;5,446)
Arazinin Topoğrafik Yapısı	(0,111;2,084;5,446)	(0,111;2,084;5,446)	(0,333;3,371;7)	(0,333;3,371;7)	(0,111;2,084;5,446)
İklim Koşulları	(0,555;5,25;9)	(1,665;5,25;9)	(2,78;6,483;9)	(2,78;6,483;9)	(0,555;5,25;9)
Enerji Altyapısı (elektrik, su, doğalgaz)	(2,78;5,964;9)	(2,78;5,964;9)	(2,78;5,446;9)	(2,78;5,964;9)	(2,78;5,446;9)
Telekomünikasyon Altyapısı	(1,668;5,396;9)	(1,668;5,396;9)	(1,668;4,927;9)	(1,668;5,396;9)	(1,668;4,927;9)
Arazinin Afetselliği	(0,333;2,109;5,004)	(0,333;2,109;5,004)	(0,999;3,99;9)	(0,999;3,99;9)	(0,333;2,109;5,004)
Mevcut ve/veya Potansiyel Rakiplere Yakınlık	(2,78;6,532;9)	(2,78;6,532;9)	(0,555;3,688;7,002)	(2,78;6,532;9)	(0,555;3,688;7,002)
Pazarlara/ Müşterilere yakınlık	(2,78;6,532;9)	(2,78;6,532;9)	(1,665;4,263;7,002)	(2,78;6,532;9)	(1,665;4,263;7,002)
Tedarikçilere Yakınlık	(1,668;4,409;9)	(1,668;4,409;9)	(0,333;3,151;9)	(1,668;4,409;9)	(0,333;3,151;9)
Üreticilere (Ana Fabrikalara) Yakınlık	(2,78;5,446;9)	(2,78;5,446;9)	(2,78;5,446;9)	(2,78;5,446;9)	(2,78;5,446;9)
Diğer Depolara Yakınlık	(0,556;1,544;5)	(0,556;1,42;5)	(0,111;0,802;3,89)	(0,556;1,544;5)	(0,111;0,802;3,89)

Otoyollara Yakınlık	(1,668;5,864;9)	(1,668;5,396;9)	(1,668;4,927;9)	(1,668;5,864;9)	(1,668;4,927;9)
---------------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------

Tablo 4.9: Pozitif (A^*) ve negatif (A^-) bulanık ideal çözüm değerleri.

6. Adım: Her Bir Alternatifin Pozitif Bulanık İdeal Çözüm ve Negatif Bulanık İdeal Çözüm Olan Uzaklıklarının Hesaplanması: Her bir alternatifin ağırlıklandırılmış normalize değerleri ile, A^* ve A^- değerlerine olan uzaklıkları Eşitlik 2.16 ile hesaplanmış ve toplam uzaklıklar elde edilmiştir. Tablo 4.10 pozitif bulanık ideal çözüm (A^*) ile olan uzaklıkları göstermektedir.

Kriterler	Ağırlıklandırılmış Normalize Değerler			A^+	A1 ile mesafe	A2 ile mesafe	A3 ile mesafe
	A1	A2	A3				
Arazi Maliyeti	(1;4,99;9)	(0,715;2,275;9)	(0,715;1,67;2,997)	(1;4,99;9)	0	1,57611865	3,963989321
İş Gücü Maliyeti	(1;4,6002;9)	(1;4,6002;9)	(0,715;2,093;9)	(1;4,6002;9)	0	0	1,456854699
Ulaşım ve Ulaştırma Maliyeti	(1,665;3,634;9)	(1,665;3,634;9)	(1,665;4,064;9)	(1,665;4,064;9)	0,248260616	0,248260616	0
Vergi İndirimi ve Teşvikler	(0,143;2,27;7)	(0,143;2,27;7)	(0,143;2,27;7)	(0,143;2,27;7)	0	0	0
Nitelikli İş Gücüne Erişebilirlik	(0,556;4,63;9)	(0,556;4,63;9)	(0,333;2,78;7,002)	(0,556;4,63;9)	0	0	1,577364152
Arazi Büyüklüğü	(0,333;3,367;7,002)	(0,333;3,892;9)	(1,668;5,964;9)	(1,668;5,964;9)	2,042762672	1,423072849	0
Arazinin Genişlemeye Elverişliliği	(0,111;1,492;5,446)	(0,111;1,764;5,446)	(0,556;3,124;7)	(0,556;3,124;7)	1,326193173	1,219636695	0
Arazinin Topoğrafik Yapısı	(0,111;2,084;5,446)	(0,111;2,084;5,446)	(0,333;3,371;7)	(0,333;3,371;7)	1,171973976	1,171973976	0
İklim Koşulları	(0,555;5,249;9)	(1,665;5,249;9)	(2,78;6,483;9)	(2,78;6,483;9)	1,468663111	0,95977671	0
Enerji Altyapısı (elektrik, su, doğalgaz)	(2,78;5,964;9)	(2,78;5,964;9)	(2,78;5,446;9)	(2,78;5,964;9)	0	0	0,29906744
Telekomünikasyon Altyapısı	(1,668;5,396;9)	(1,668;5,396;9)	(1,668;4,927;9)	(1,668;5,396;9)	0	0	0,27077276
Arazinin Afetselliği	(0,333;2,109;5,004)	(0,333;2,109;5,004)	(0,999;3,989;9)	(0,999;3,99;9)	2,578742135	2,578742135	0
Mevcut ve/veya Potansiyel Rakiplere Yakınlık	(2,78;6,532;9)	(2,78;6,532;9)	(0,555;3,688;7,002)	(2,78;6,532;9)	0	0	2,38264314
Pazarlara/ Müşterilere yakınlık	(2,78;6,532;9)	(2,78;6,532;9)	(1,665;4,263;7,002)	(2,78;6,532;9)	0	0	1,860429162
Tedarikçilere Yakınlık	(1,668;4,409;9)	(1,668;4,409;9)	(0,333;3,151;9)	(1,668;4,409;9)	0	0	1,059054452
Üreticilere (Ana Fabrikalara) Yakınlık	(2,78;5,446;9)	(2,78;5,446;9)	(2,78;5,446;9)	(2,78;5,446;9)	0	0	0

Diğer Depolara Yakınlık	(0,556;1,544;5)	(0,556;1,42;5)	(0,111;0,802;3,89)	(0,556;1,544;5)	0	0,071591433	0,812545178
Otoyollara Yakınlık	(1,668;5,864;9)	(1,668;5,396;9)	(1,668;4,927;9)	(1,668;5,864;9)	0	0,270199926	0,540977202
d_i^+					8,836595683	9,51937299	14,22370202

Tablo 4.10: Pozitif bulanık ideal çözüm ile olan uzaklıklar.

Tablo 4.11 ise negatif bulanık ideal çözüm (A^-) ile olan uzaklıkları göstermektedir.

Ağırlıklandırılmış Normalize Değerler				A ⁻	A1 ile mesafe	A2 ile mesafe	A3 ile mesafe
Kriterler	A1	A2	A3				
Arazi Maliyeti	(1;4,99;9)	(0,715;2,275;9)	(0,715;1,67;2,997)	(0,715;1,67;2,997)	3,963989321	3,483390781	0
İş Gücü Maliyeti	(1;4,6002;9)	(1;4,6002;9)	(0,715;2,093;9)	(0,715;2,093;9)	1,456854699	1,456854699	0
Ulaşım ve Ulaştırma Maliyeti	(1,665;3,634;9)	(1,665;3,634;9)	(1,665;4,064;9)	(1,665;3,634;9)	0	0	0,248260616
Vergi İndirimi ve Teşvikler	(0,143;2,27;7)	(0,143;2,27;7)	(0,143;2,27;7)	(0,143;2,27;7)	0	0	0
Nitelikli İş Gücüne Erişebilirlik	(0,556;4,63;9)	(0,556;4,63;9)	(0,333;2,78;7,002)	(0,333;2,78;7,002)	1,577364152	1,577364152	0
Arazi Büyüklüğü	(0,333;3,367;7,002)	(0,333;3,892;9)	(1,668;5,964;9)	(0,333;3,367;7,002)	0	1,192704071	2,042762672
Arazinin Genişlemeye Elverişliliği	(0,111;1,492;5,446)	(0,111;1,764;5,446)	(0,556;3,124;7)	(0,111;1,492;5,446)	0	0,157039273	1,326193173
Arazinin Topoğrafik Yapısı	(0,111;2,084;5,446)	(0,111;2,084;5,446)	(0,333;3,371;7)	(0,111;2,084;5,446)	0	0	1,171973976
İklim Koşulları	(0,555;5,249;9)	(1,665;5,249;9)	(2,78;6,483;9)	(0,555;5,25;9)	0	0,640859059	1,468663111
Enerji Altyapısı (elektrik, su, doğalgaz)	(2,78;5,964;9)	(2,78;5,964;9)	(2,78;5,446;9)	(2,78;5,446;9)	0,299067439	0,299067439	0
Telekomünikasyon Altyapısı	(1,668;5,396;9)	(1,668;5,396;9)	(1,668;4,927;9)	(1,668;4,927;9)	0,270777276	0,270777276	0
Arazinin Afetselliği	(0,333;2,109;5,004)	(0,333;2,109;5,004)	(0,999;3,989;9)	(0,333;2,109;5,004)	0	0	2,578499047
Mevcut ve/veya Potansiyel Rakiplere Yakınlık	(2,78;6,532;9)	(2,78;6,532;9)	(0,555;3,688;7,002)	(0,555;3,688;7,002)	2,38264314	2,38264314	0
Pazarlara/Müşterilere yakınlık	(2,78;6,532;9)	(2,78;6,532;9)	(1,665;4,263;7,002)	(1,665;4,263;7,002)	1,860429162	1,860429162	0
Tedarikçilere Yakınlık	(1,668;4,409;9)	(1,668;4,409;9)	(0,333;3,151;9)	(0,333;3,151;9)	1,059054452	1,059054452	0
Üreticilere (Ana	(2,78;5,446;9)	(2,78;5,446;9)	(2,78;5,446;9)	(2,78;5,446;9)	0	0	0

Fabrikalara) Yakınlık							
Diğer Depolara Yakınlık	(0,556;1,544;5)	(0,556;1,42;5)	(0,111;0,802;3,89)	(0,111;0,802;3,89)	0,812545178	0,777184877	0
Otoyollara Yakınlık	(1,668;5,864;9)	(1,668;5,396;9)	(1,668;4,927;9)	(1,668;4,927;9)	0,540977202	0,270777276	0
	d_i^-				14,22370202	15,42814566	8,836352595

Tablo 4.11: Negatif bulanık ideal çözüm ile olan uzaklıklar.

7. Adım: Her Bir Alternatif İçin Yakınlık Kat Sayılarının Hesaplanması:

Eşitlik 2.17 kullanılarak alternatiflerin ayrı ayrı yakınlık kat sayıları (CC_i) hesaplanır. Her bir alternatif için hesaplanan yakınlık kat sayıları Tablo 4.12’ de verilmiştir. Bu adımda hesaplanan yakınlık kat sayıları, pozitif ve negatif uzaklıkların kullanılması ile elde edilir. Yakınlık kat sayıları 0 ile 1 arasında değerler alır. Yakınlık kat sayısı 1’ e en yakın olan alternatif, seçilme olasılığı en yüksek olan alternatiftir.

Alternatifler	d_i^+	d_i^-	CC_i
A1 (Esenyurt)	8,836595683	14,22370202	0,616804787
A2 (Hadımköy)	9,51937299	15,42814566	0,618424056
A3 (Tuzla)	14,22370202	8,836352595	0,383188711

Tablo 4.12: Alternatiflerin yakınlık kat sayıları.

8. Adım: Alternatiflerin Sıralanması: Çözümün bu son adımında bir önceki

adımda hesaplanmış olan yakınlık kat sayıları doğrultusunda sıralama yapılır. Yakınlık kat sayısı büyük olan yani 1’ e en yakın olan alternatif ilk tercih olarak belirlenir. Tablo 4.12’ de verilen değerlerden hareketle elde edilen sıralama Tablo 4.13’ te verilmiştir.

Alternatifler	CC_i	Sıralama
A1 (Esenyurt)	0,616804787	2
A2 (Hadımköy)	0,618424056	1
A3 (Tuzla)	0,383188711	3

Tablo 4.13: Alternatiflerin sıralanması.

Gerçekleştirilen tüm bu hesaplamalar sonucunda, yeni açılacak olan depo için belirlenen alternatifler arasından en uygun seçeneğin **Hadımköy** olduğu tespit edilmiştir. Yakınlık kat sayıları incelendiğinde; Hadımköy ve Esenyurt arasında oldukça küçük bir fark olduğu görülmektedir. Tuzla alternatifinin yakınlık kat sayısı ise; diğer alternatiflerden çok daha düşüktür. Bu da Tuzla alternatifinin, işletmenin kriterlerine olan uyumunun düşük olduğunu göstermektedir.

4.2 ARP Çözümü

Uygulamanın ilk alt başlığında ele alınan depo yeri seçimi problemi, Bulanık TOPSIS yöntemi ile çözülmüş ve dağıtım ağı içerisine dahil edilmesi planlanan yeni deponun Hadımköy' e kurulması gerektiği sonucuna ulaşılmıştır. Uygulamanın ikinci alt başlığında ise; belirlenen bu yeni depo yerinden gerçekleştirilecek olan dağıtımların rotalanması problemi ele alınacaktır.

Yeni açılacak olan deponun Hadımköy' de konumlanacak olması sebebiyle, uygulamanın gerçekleştirildiği işletmenin tedarik zinciri yöneticileri; Beylikdüzü, Avcılar, Başakşehir, Esenyurt, Haramidere, İkitelli, Halkalı, Hadımköy ve Bahçeşehir' deki müşterilerine yapılacak olan dağıtımı, bu yeni depodan planlamayı kararlaştırmıştır. Yine işletmenin tedarik zinciri yöneticileri tarafından, müşterilerin önceki dönemlerdeki talepleri doğrultusunda, bu yeni depoya başlangıç için 1000 koli kapasiteli 7 aracın atanması uygun görülmüştür. Özetle, toplam 102 müşteri noktasına 1000 koli kapasiteli, 7 homojen araçla hizmet verilecektir.

Problem, bir klasik araç rotalama problemi olarak ele alınmıştır. Problemin çözümünde toplam kat edilen mesafenin minimize edilmesi hedeflenmiştir. Problemin amaç fonksiyonu ve kısıt fonksiyonları aşağıdaki gibidir.

Notasyonlar:

m: kat edilen mesafe

T: araç sayısı

N: müşteri sayısı

S_{ij} : i müşterisinden j müşterisine giderken geçen süre

A: düğümler arasındaki yaylar kümesi

K: araç kapasitesi

Karar Değişkenleri:

X_{ijt} : t aracı i müşterisinden j müşterisine gidiyor ise 1, aksi halde ise 0

Amaç fonksiyonu:

$$\min m = \sum_{t \in T} \sum_{i,j \in A} s_{ij} X_{ij} \quad (4.1)$$

Kısıt Fonksiyonları:

$$\sum_{t \in T} \sum_{j \in \Delta^+(i)} X_{ijt} = 1, \quad \forall i \in N \quad (4.2)$$

$$\sum_{j \in (0)} X_{0jt} = 1, \quad \forall t \in T \quad (4.3)$$

$$\sum_{i \in \Delta^-(j)} X_{ijt} - \sum_{i \in \Delta^+(j)} X_{ij} = 0, \quad \forall t \in T, \quad i \in N \quad (4.4)$$

$$\sum_{i \in \Delta^-(n+1)}^{i \in \Delta^-(j)} X_{i,(n+1),t} = 1, \quad \forall t \in T \quad (4.5)$$

$$\sum_{i \in N}^{i \in \Delta^-(n+1)} d_i \sum_{i \in \Delta^+(i)} x_{ijt} \leq K, \quad \forall t \in T \quad (4.6)$$

$$X_{i,j,t} \geq 0, \quad \forall t \in T, \quad (i,j) \in A \quad (4.7)$$

$$X_{ijt} \in (0,1), \quad \forall t \in T, \quad (i,j) \in A \quad (4.8)$$

Eşitlik 4.1’ de verilen amaç fonksiyonu, problemin çözümündeki amacın kat edilen toplam mesafeyi minimize etmek olduğunu göstermektedir. Eşitlik 4.2 her müşteri noktasının sadece bir araç tarafından ziyaret edileceğine dair kısıtı gösterir. Eşitlik 4.3’ teki kısıt fonksiyonu depodan gönderilen her aracın yalnızca bir müşteriye gönderileceğini gösterir. Eşitlik 4.4 ise; bir aracın ziyaret ettiği müşteriden harekete başlayacağını ifade eder. Eşitlik 4.5’ e göre ise; rota tamamlandıktan sonra sadece bir nokta (en son ziyaret edilen müşteri noktası) depoya bağlanır. Eşitlik 4.6’ da yer alan kısıta göre ise; müşterilerin toplam talebi araç kapasitesini aşamaz. Eşitlik 4.7’ deki kısıt, değişkenlerin negatif olmama şartını; Eşitlik 4.8’ deki kısıt ise 0-1 ikili tamsayı değişkenlerini ifade etmektedir.

Bu tez çalışmasının uygulama bölümünün 2. kısmında, yukarıda modellenen araç rotalama problemi; Aç Gözlü Algoritma ve Tabu Arama Algoritması olmak

üzere; iki farklı algoritmayla ayrı ayrı çözülmüştür. Adı geçen algoritmaların detaylı anlatımlarına, ARP Çözüm Yöntemleri başlığı altında yer verilmiştir.

Problemin çözümü için; nesne yönelimli programlamayı destekleyen Java programlama dili kullanılarak bir simülasyon uygulaması geliştirilmiştir. Java 11 versiyonunun kullanıldığı uygulamada, ekran tasarımları ve geliştirmeleri JavaFX framework kullanılarak yapılmıştır. Uygulamadaki tüm ekranlar JavaFX kütüphanesinin SceneBuilder editörü kullanılarak tasarlanmıştır. Haritanın gösterildiği bölüm, JavaFX Canvas kullanılarak geliştirilmiştir. 102 müşterinin ve başlangıç noktası olarak belirlenen depo yerinin koordinatları programın içine gömülmüştür. Tüm koordinatlar Canvas' ın boyutlarına oranlandıktan sonra, seçilen algoritmaya göre en kısa ve verimli yollar bulunup Canvas' a çizilmiştir. Uygulama için seçilen haritadaki noktalar gerçek dünyada birbirine ne kadar uzak olursa olsun bu noktalar Canvas' ın boyutlarına oranlandığı için her zaman Canvas içinde görünmesi sağlanmıştır. Uygulamadaki hesaplama süresi kullanılan bilgisayarın hızına bağlı olarak değişiklik gösterebilmektedir.

Kullanılan her bir algortimanın çözüm ekranları ve elde edilen sonuçlar sonraki başlıklarda verilecektir.

4.2.1 Aç Gözlü Algoritma ile Çözüm

Ele alınan araç rotalama probleminin Aç Gözlü Algoritma ile çözümüne dair ekran görüntüsü Resim 4.1' de verilmiştir.

```

public void GreedySolution(Node[] nodes, double[][] costMatrix) {
    double candCost, endCost;
    int vehicleIndex = 0;

    while (unassignedCustomerExists(nodes)) {
        int costIndex = 0;
        Node candidate = null;
        double minCost = (float) Double.MAX_VALUE;

        if (vehicles[vehicleIndex].route.isEmpty())
            vehicles[vehicleIndex].AddNode(nodes[0]);

        for (int i = 1; i <= noOfCustomers; i++) {
            if (!nodes[i].isRouted) {
                if (vehicles[vehicleIndex].checkIfFits(nodes[i].demand)) {
                    candCost = costMatrix[vehicles[vehicleIndex].curLoc][i];
                    if (minCost > candCost) {
                        minCost = candCost;
                        costIndex = i;
                        candidate = nodes[i];
                    }
                }
            }
        }

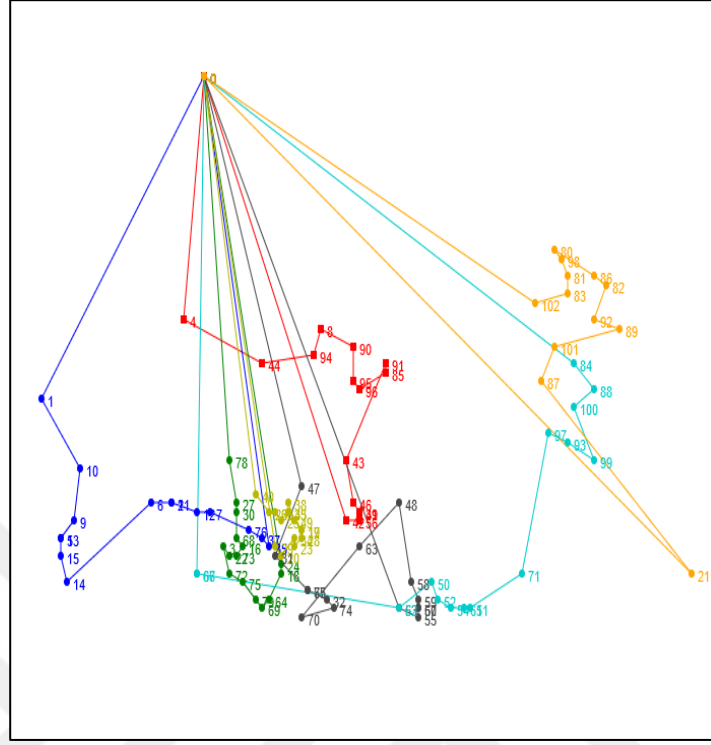
        if (candidate == null) {
            if (vehicleIndex + 1 < vehicles.length) {
                if (vehicles[vehicleIndex].curLoc != 0) {
                    endCost = costMatrix[vehicles[vehicleIndex].curLoc][0];
                    vehicles[vehicleIndex].AddNode(nodes[0]);
                    this.cost += endCost;
                }
                vehicleIndex = vehicleIndex + 1;
            } else {
                System.exit(0);
            }
        } else {
            vehicles[vehicleIndex].AddNode(candidate);
            nodes[costIndex].isRouted = true;
            this.cost += minCost;
        }
    }

    endCost = costMatrix[vehicles[vehicleIndex].curLoc][0];
    vehicles[vehicleIndex].AddNode(nodes[0]);
    this.cost += endCost;
}

```

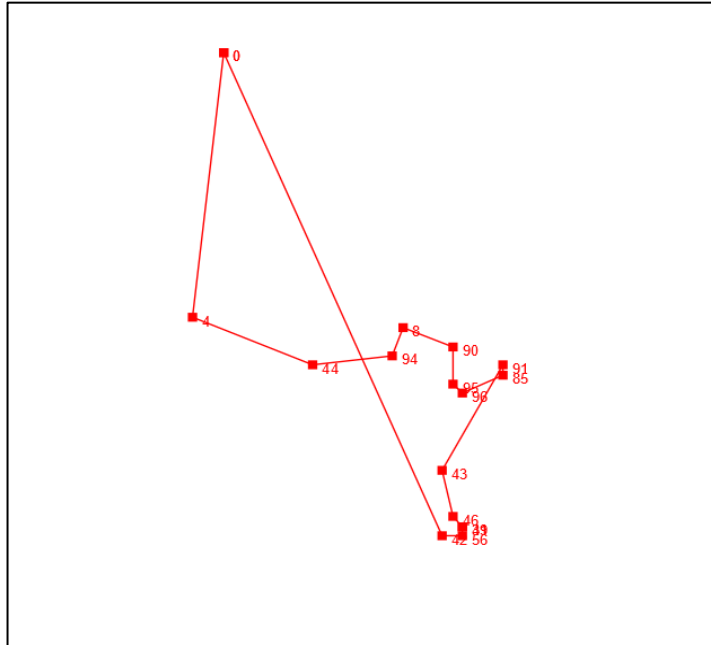
Resim 4.1: Aç gözlü algoritma ile çözümün ekran görüntüsü.

Aç Gözlü Algoritma ile gerçekleştirilen çözüm işlemi yaklaşık 1 milisaniye (ms) sürmüş ve toplam kat edilen mesafe 392 km olarak hesaplanmıştır. 7 homojen aracın farklı renklerle temsil edildiği çözüm grafiği Şekil 4.1’ de gösterilmektedir.



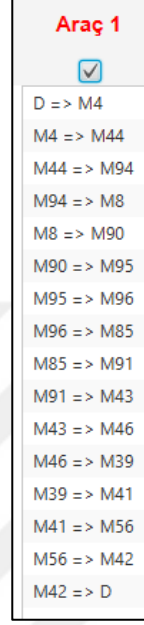
Şekil 4.1: Aç gözlü algoritma ile çözüm grafiği.

Şekil 4.2, 1. aracın Aç Gözlü Algoritmaya göre izlediği rotanın grafiğini göstermektedir.



Şekil 4.2: Aç Gözlü algoritma ile 1. aracın rota grafiği.

Resim 4.2’ de, 1. Aracın Aç Gözlü Algoritma ile hesaplanan rotasının liste görünümüne dair ekran görüntüsü verilmiştir. Bu algoritma ile yapılan çözüm ile 1. aracın kat ettiği toplam mesafe **50 km** olarak hesaplanmıştır.

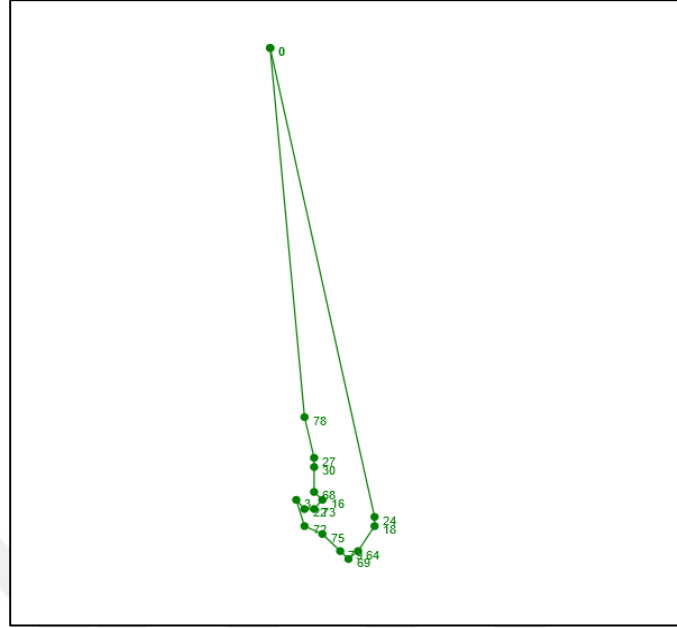


Araç 1	
☒	
D => M4	
M4 => M44	
M44 => M94	
M94 => M8	
M8 => M90	
M90 => M95	
M95 => M96	
M96 => M85	
M85 => M91	
M91 => M43	
M43 => M46	
M46 => M39	
M39 => M41	
M41 => M56	
M56 => M42	
M42 => D	

Resim 4.2: Aç Gözlü algoritma ile 1. aracın rotasının liste görünümü.

Resim 4.2’ de yer alan liste görünümünden de anlaşılacağı üzere, 1. Araç depodan hareketine başlayarak önce 4 numaralı müşteriye gitmiş ve oradan sırasıyla; 44, 94, 8, 90, 95, 96, 85,91,43, 46, 39, 41,56 ve 42 numaralı müşterilere uğrayarak depoya dönmüştür.

Şekil 4.3, 2. aracın Aç Gözlü Algoritmaya göre izlediği rotanın grafiğini göstermektedir.



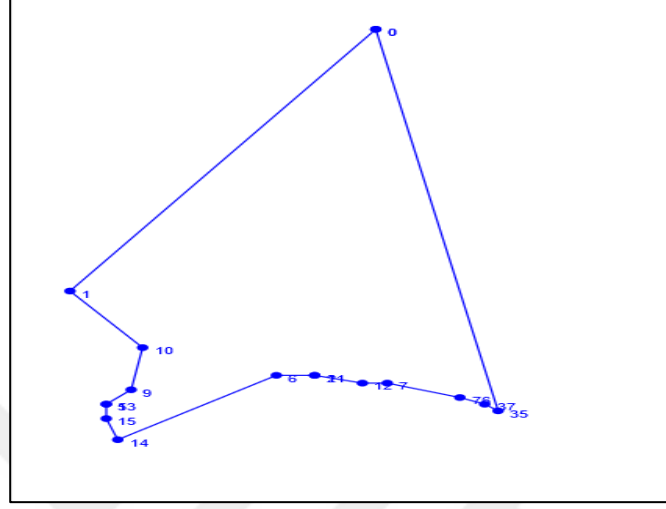
Şekil 4.3: Aç gözlü algoritma ile 2. aracın rota grafiği.

Resim 4.3' te, 2. Aracın Aç Gözlü Algoritma ile hesaplanan rotasının liste görünümüne dair ekran görüntüsü verilmiştir. Bu algoritma ile yapılan çözüm ile 2. Aracın kat ettiği toplam mesafe **47 km** olarak hesaplanmıştır.

Araç 2
☒
D => M78
M78 => M27
M27 => M30
M30 => M68
M68 => M16
M16 => M73
M73 => M22
M22 => M3
M3 => M72
M72 => M75
M75 => M79
M79 => M69
M69 => M64
M64 => M18
M18 => M24
M24 => D

Resim 4.3: Aç gözlü algoritma ile 2. Aracın rotasının liste görünümü.

Şekil 4.4, 3. aracın Aç Gözlü Algoritmaya göre izlediği rotanın grafiğini göstermektedir.



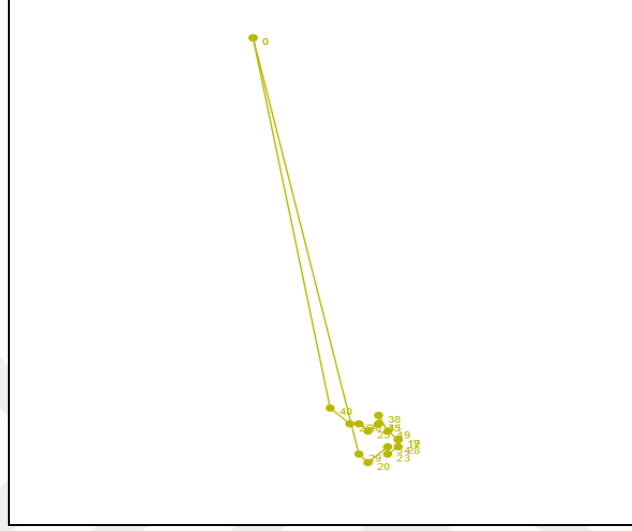
Şekil 4.4: Aç Gözlü Algoritma İle 3. Aracın Rota Grafiği

Resim 4.4' te ise, 3. Aracın Aç Gözlü Algoritma ile hesaplanan rotasının liste görünümüne dair ekran görüntüsü verilmiştir. Bu algoritma ile yapılan çözüm ile 3. Aracın kat ettiği toplam mesafe **53 km** olarak hesaplanmıştır.

Araç 3
☒
D => M1
M1 => M10
M10 => M9
M9 => M5
M5 => M13
M13 => M15
M15 => M14
M14 => M6
M6 => M2
M2 => M11
M11 => M12
M12 => M7
M7 => M76
M76 => M37
M37 => M35
M35 => D

Resim 4.4: Aç gözlü algoritma ile 3. aracın rotasının liste görünümü.

Şekil 4.5, 4. aracın Aç Gözlü Algoritmaya göre izlediği rotaya dair grafiği göstermektedir.



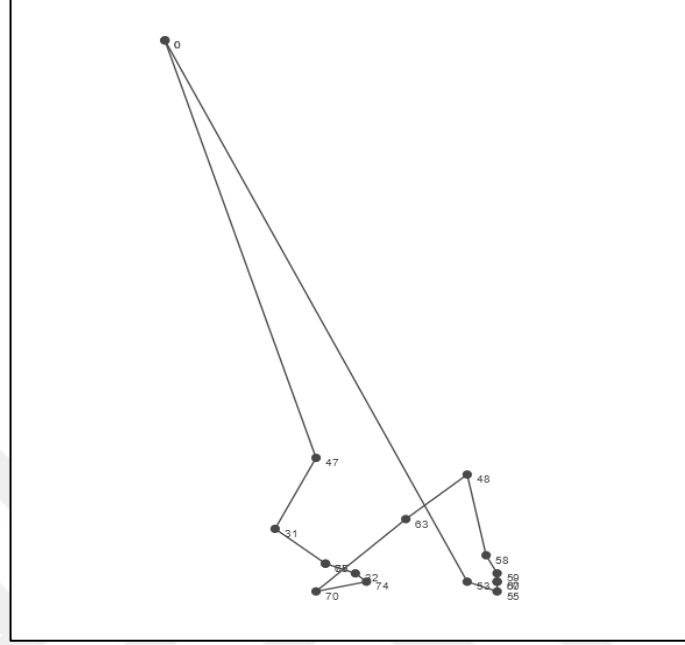
Şekil 4.5: Aç Gözlü Algoritma İle 4. Aracın Rota Grafiği

Resim 4.5' te, 4. Aracın Aç Gözlü Algoritma ile hesaplanan rotasının liste görünümüne dair ekran görüntüsü verilmiştir. Bu algoritma ile yapılan çözüm ile 4. Aracın kat ettiği toplam mesafe **44 km** olarak hesaplanmıştır.

Araç 4
☒
D => M40
M40 => M26
M26 => M36
M36 => M25
M25 => M33
M33 => M45
M45 => M38
M38 => M49
M49 => M17
M17 => M19
M19 => M28
M28 => M23
M23 => M34
M34 => M20
M20 => M29
M29 => D

Resim 4.5: Aç gözlü algoritma ile 4. aracın rotasının liste görünümü.

Şekil 4.6, 5. aracın Aç Gözlü Algoritmaya göre izlediği rotayı göstermektedir.



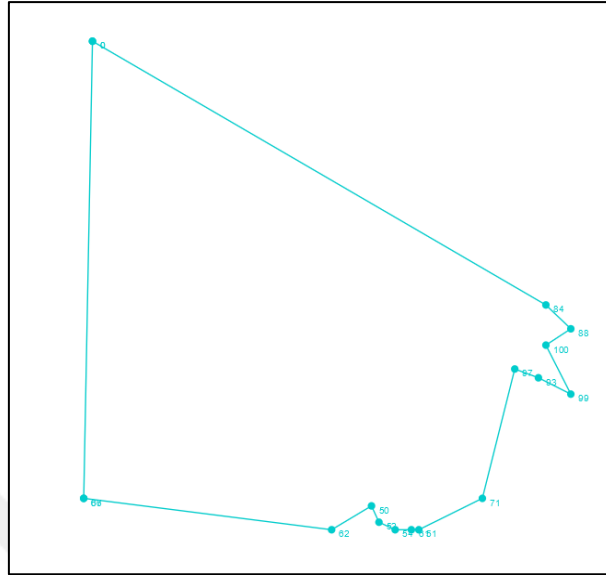
Şekil 4.6: Aç Gözlü Algoritma İle 5. Aracın Rota Grafiği

Resim 4.6' da ise, 5. Aracın Aç Gözlü Algoritma ile hesaplanan rotasına dair liste görünümü verilmiştir. Bu algoritma ile yapılan çözüm ile 5. Aracın kat ettiği toplam mesafe **62 km** olarak hesaplanmıştır.

Araç 5
☒
D => M47
M47 => M31
M31 => M65
M65 => M77
M77 => M32
M32 => M74
M74 => M70
M70 => M63
M63 => M48
M48 => M58
M58 => M59
M59 => M57
M57 => M60
M60 => M55
M55 => M53
M53 => D

Resim 4.6: Aç gözlü algoritma ile 5. aracın rotasının liste görünümü.

Şekil 4.7, 6. aracın Aç Gözlü Algoritmaya göre izlediği rotayı göstermektedir.



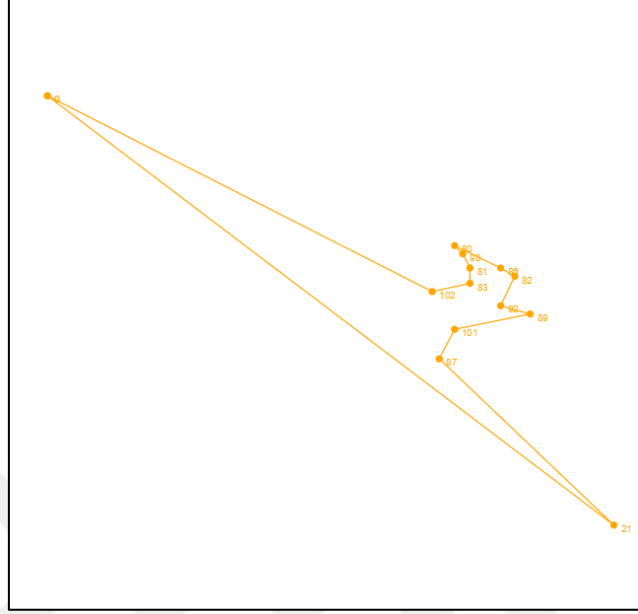
Şekil 4.7: Aç gözlü algoritma ile 6. aracın rota grafiği.

Resim 4.7’ de ise, 6. Aracın Aç Göznlü Algoritma ile hesaplanan rotasına dair liste görünümü verilmiştir. Bu algoritma ile yapılan çözüm ile 6. Aracın kat ettiği toplam mesafe **68 km** olarak hesaplanmıştır.

Araç 6
☒
D => M66
M66 => M67
M67 => M62
M62 => M50
M50 => M52
M52 => M54
M54 => M61
M61 => M51
M51 => M71
M71 => M97
M97 => M93
M93 => M99
M99 => M100
M100 => M88
M88 => M84
M84 => D

Resim 4.7: Aç gözlü algoritma ile 6. aracın rotasının liste görünümü.

Şekil 4.8, 7. aracın Aç Gözlü Algoritmaya göre izlediği rotayı göstermektedir.



Şekil 4.8: Aç gözlü algoritma ile 7. aracın rota grafiği.

Resim 4.8’ de, 7. Aracın Aç Gözlü Algoritma ile hesaplanan rotasına dair liste görünümü verilmiştir. Bu algoritma ile yapılan çözüm ile 7. Aracın kat ettiği toplam mesafe **68 km** olarak hesaplanmıştır.

Araç 7
☒
D => M102
M102 => M83
M83 => M81
M81 => M98
M98 => M80
M80 => M86
M86 => M82
M82 => M92
M92 => M89
M89 => M101
M101 => M87
M87 => M21
M21 => D

Resim 4.8: Aç gözlü algoritma ile 7. aracın rotasının liste görünümü.

4.2.2 Tabu Arama Algoritması ile Çözüm

Bu tez çalışmasında ele alınan ARP' nin, Tabu Arama Algoritması kullanılarak yapılan çözümüne dair ekran görüntüleri Resim 4.9 ve Resim 4.10' da verilmiştir.

```
public void TabuSearch(int TABU_Horizon, double[][] CostMatrix) {
    ArrayList<Node> routeFrom;
    ArrayList<Node> routeTo;

    int movingNodeDemand = 0;

    int vehIndexFrom, vehIndexTo;
    double bestNCost, neighborCost;

    int swapIndexA = -1, swapIndexB = -1, swapRouteFrom = -1, swapRouteTo = -1;

    int MAX_ITERATIONS = 200;
    int iterationNumber = 0;

    int dimensionCustomer = CostMatrix[1].length;
    int[][] tabuMatrix = new int[dimensionCustomer + 1][dimensionCustomer + 1];

    bestSolutionCost = this.cost;

    boolean termination = false;

    while (!termination) {
        iterationNumber++;
        bestNCost = Double.MAX_VALUE;

        for (vehIndexFrom = 0; vehIndexFrom < this.vehicles.length; vehIndexFrom++) {
            routeFrom = this.vehicles[vehIndexFrom].route;
            int RoutFromLength = routeFrom.size();
            for (int i = 1; i < RoutFromLength - 1; i++) {
                for (vehIndexTo = 0; vehIndexTo < this.vehicles.length; vehIndexTo++) {
                    routeTo = this.vehicles[vehIndexTo].route;
                    int RouteToLength = routeTo.size();
                    for (int j = 0; (j < RouteToLength - 1); j++) {

                        movingNodeDemand = routeFrom.get(i).demand;

                        if ((vehIndexFrom == vehIndexTo) || this.vehicles[vehIndexTo].checkIfFits(movingNodeDemand)) {
                            if ((vehIndexFrom == vehIndexTo) && ((j == i) || (j == i - 1))) == false) {
                                double MinusCost1 = CostMatrix[routeFrom.get(i - 1).nodeId][routeFrom.get(i).nodeId];
                                double MinusCost2 = CostMatrix[routeFrom.get(i).nodeId][routeFrom.get(i + 1).nodeId];
                                double MinusCost3 = CostMatrix[routeTo.get(j).nodeId][routeTo.get(j + 1).nodeId];

                                double AddedCost1 = CostMatrix[routeFrom.get(i - 1).nodeId][routeFrom.get(i + 1).nodeId];
                                double AddedCost2 = CostMatrix[routeTo.get(j).nodeId][routeFrom.get(i).nodeId];
                                double AddedCost3 = CostMatrix[routeFrom.get(i).nodeId][routeTo.get(j + 1).nodeId];

                                if ((tabuMatrix[routeFrom.get(i - 1).nodeId][routeFrom.get(i + 1).nodeId] != 0)
                                    || (tabuMatrix[routeTo.get(j).nodeId][routeFrom.get(i).nodeId] != 0)
                                    || (tabuMatrix[routeFrom.get(i).nodeId][routeTo.get(j + 1).nodeId] != 0)) {
                                    break;
                                }

                                neighborCost = AddedCost1 + AddedCost2 + AddedCost3
                                    - MinusCost1 - MinusCost2 - MinusCost3;

                                if (neighborCost < bestNCost) {
                                    bestNCost = neighborCost;
                                    swapIndexA = i;
                                    swapIndexB = j;
                                    swapRouteFrom = vehIndexFrom;
                                    swapRouteTo = vehIndexTo;
                                }
                            }
                        }
                    }
                }
            }
        }
    }
}
```

Resim 4.9: Tabu arama algoritması ile çözümün ekran görüntüsü.

```

for (int o = 0; o < tabuMatrix[0].length; o++) {
    for (int p = 0; p < tabuMatrix[0].length; p++) {
        if (tabuMatrix[o][p] > 0) {
            tabuMatrix[o][p]--;
        }
    }
}

routeFrom = this.vehicles[swapRouteFrom].route;
routeTo = this.vehicles[swapRouteTo].route;
this.vehicles[swapRouteFrom].route = null;
this.vehicles[swapRouteTo].route = null;

Node SwapNode = routeFrom.get(swapIndexA);

int NodeIDBefore = routeFrom.get(swapIndexA - 1).nodeId;
int NodeIDAfter = routeFrom.get(swapIndexA + 1).nodeId;
int NodeID_F = routeTo.get(swapIndexB).nodeId;
int NodeID_G = routeTo.get(swapIndexB + 1).nodeId;

Random TabuRan = new Random(73885);
int RandomDelay1 = TabuRan.nextInt(5);
int RandomDelay2 = TabuRan.nextInt(5);
int RandomDelay3 = TabuRan.nextInt(5);

tabuMatrix[NodeIDBefore][SwapNode.nodeId] = TABU_Horizon + RandomDelay1;
tabuMatrix[SwapNode.nodeId][NodeIDAfter] = TABU_Horizon + RandomDelay2;
tabuMatrix[NodeID_F][NodeID_G] = TABU_Horizon + RandomDelay3;

routeFrom.remove(swapIndexA);

if (swapRouteFrom == swapRouteTo) {
    if (swapIndexA < swapIndexB) {
        routeTo.add(swapIndexB, SwapNode);
    } else {
        routeTo.add(swapIndexB + 1, SwapNode);
    }
} else {
    routeTo.add(swapIndexB + 1, SwapNode);
}

this.vehicles[swapRouteFrom].route = routeFrom;
this.vehicles[swapRouteFrom].load -= movingNodeDemand;

this.vehicles[swapRouteTo].route = routeTo;
this.vehicles[swapRouteTo].load += movingNodeDemand;

PastSolutions.add(this.cost);

this.cost += bestNCost;

if (this.cost < bestSolutionCost)
    SaveBestSolution();

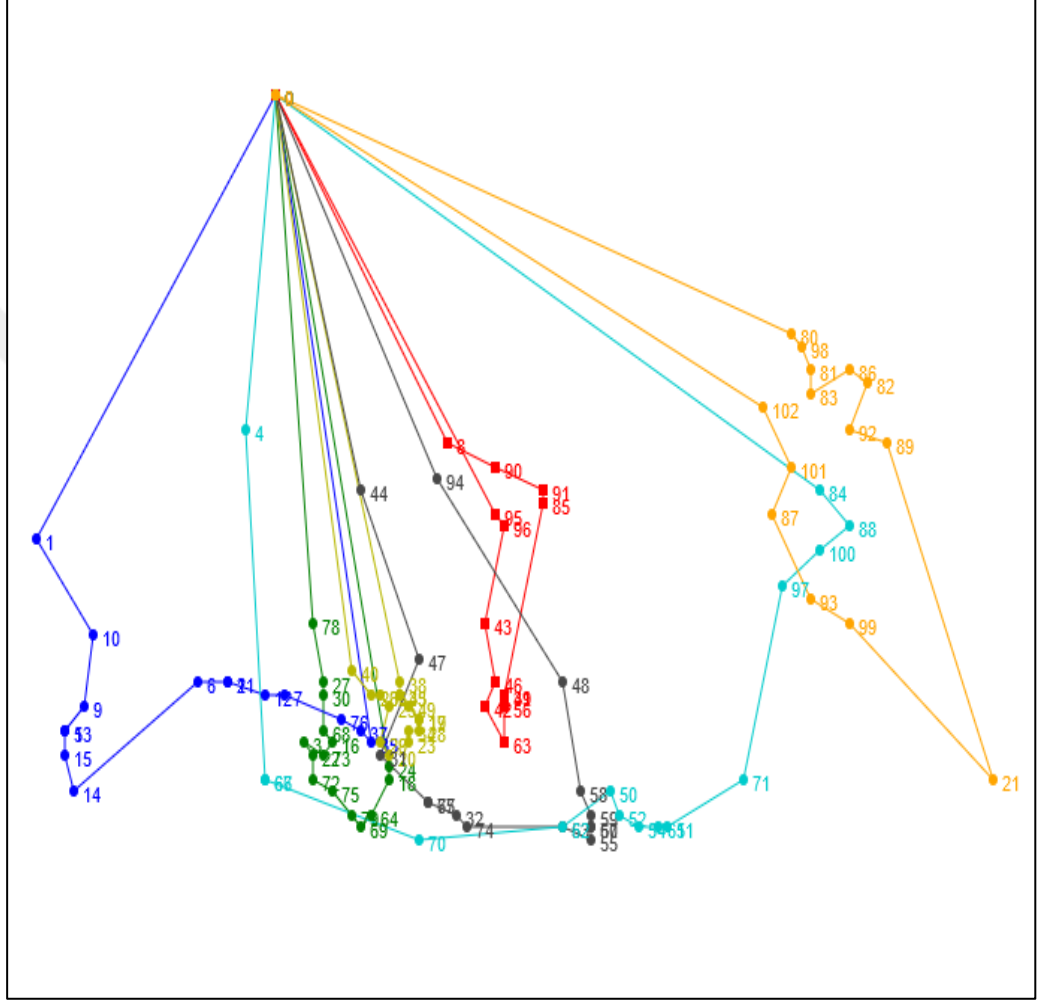
if (iterationNumber == MAX_ITERATIONS)
    termination = true;
}

this.vehicles = VehiclesForBestSolution;
this.cost = bestSolutionCost;
}

```

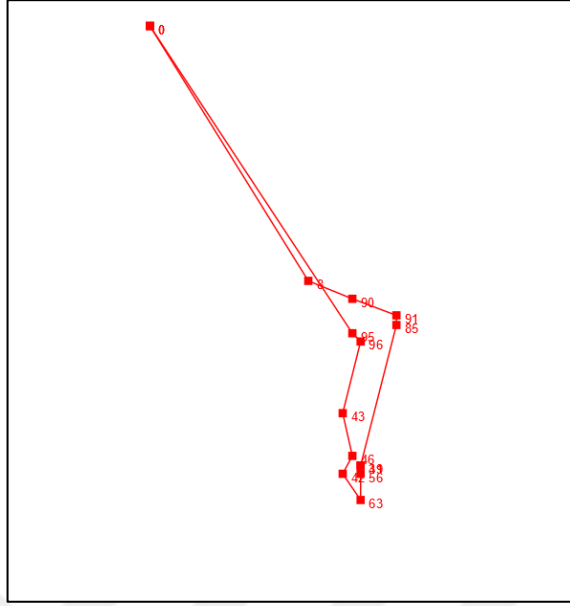
Resim 4.10: Tabu arama algoritması ile çözümün ekran görüntüsü (Devamı).

Tabu Arama Algoritması ile gerçekleştirilen çözüm işlemi yaklaşık 215 ms sürmüş ve toplam kat edilen mesafe 370 km olarak hesaplanmıştır. Bu algoritma ile gerçekleştirilen çözümün grafiği Şekil 4.9’ da gösterilmektedir.



Şekil 4.9: Tabu arama algoritması ile çözüm grafiği.

Şekil 4.10, 1. aracın Tabu Arama Algoritmasıyla gerçekleştirilen çözüme göre izlediği rotayı göstermektedir.



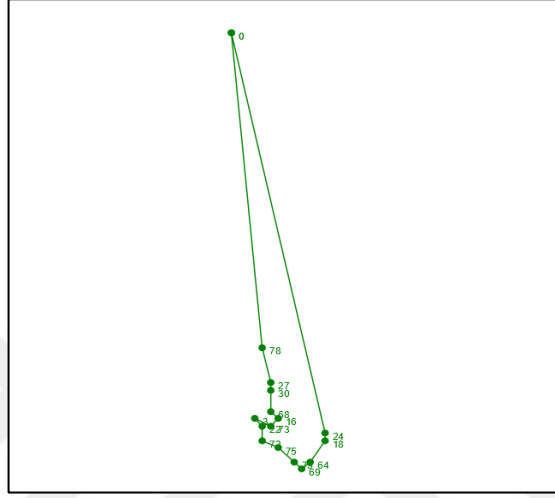
Şekil 4.10: Tabu arama algoritması ile 1. aracın rotası.

Resim 4.11’ de 1. Aracın Tabu Arama Algoritması ile hesaplanan rotasına dair liste görünümü verilmiştir. Buna göre 1. Aracın kat ettiği toplam mesafe 44 km olarak hesaplanmıştır.

Araç 1
☒
D => M8
M8 => M90
M90 => M91
M91 => M85
M85 => M41
M41 => M39
M39 => M56
M56 => M63
M63 => M42
M42 => M46
M46 => M43
M43 => M96
M96 => M95
M95 => D

Resim 4.11: Tabu arama algoritması ile 1. aracın rotasının liste görünümü.

Şekil 4.11, 2. aracın Tabu Arama Algoritmasıyla gerçekleştirilen çözüme göre izlediği rotayı göstermektedir.



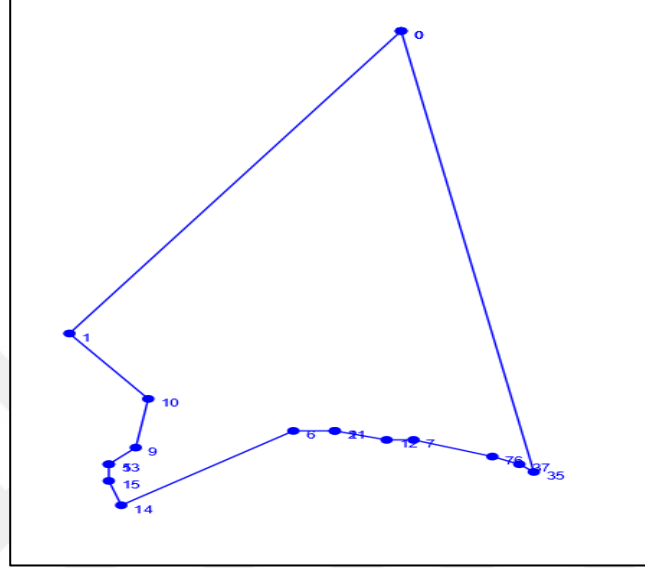
Şekil 4.11: Tabu arama algoritması ile 2. aracın rotası.

Resim 4.12’ de ise 2. Aracın Tabu Arama Algoritması ile hesaplanan rotasına dair liste görünümü verilmiştir. Buna göre 2. aracın kat ettiği toplam mesafe 47 km olarak hesaplanmıştır.

Araç 2
☒
D => M78
M78 => M27
M27 => M30
M30 => M68
M68 => M16
M16 => M73
M73 => M3
M3 => M22
M22 => M72
M72 => M75
M75 => M79
M79 => M69
M69 => M64
M64 => M18
M18 => M24
M24 => D

Resim 4.12: Tabu arama algoritması ile 2. aracın rotasının liste görünümü.

Şekil 4.12, 3. aracın Tabu Arama Algoritmasıyla gerçekleştirilen çözüme göre izlediği rotayı göstermektedir.



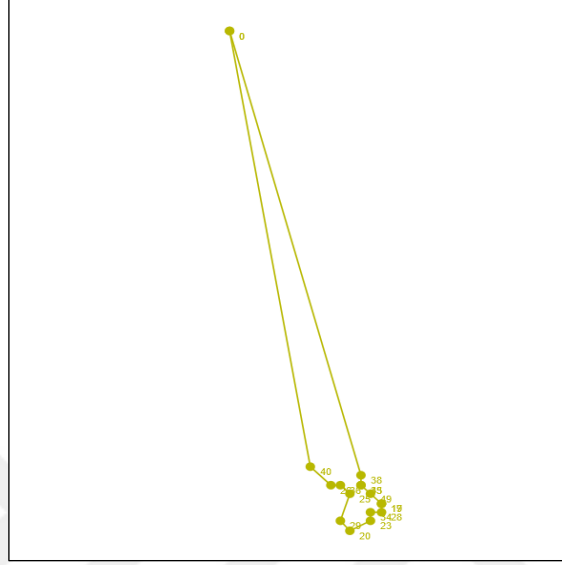
Şekil 4.12: Tabu arama algoritması ile 3. aracın rotası.

Resim 4.13' te 3. Aracın Tabu Arama Algoritması ile hesaplanan rotasına dair liste görünümü verilmiştir. Buna göre 3. aracın kat ettiği toplam mesafe 54 km olarak hesaplanmıştır.

Araç 3
☒
D => M1
M1 => M10
M10 => M9
M9 => M13
M13 => M5
M5 => M15
M15 => M14
M14 => M6
M6 => M11
M11 => M2
M2 => M12
M12 => M7
M7 => M76
M76 => M37
M37 => M35
M35 => D

Resim 4.13: Tabu arama algoritması ile 3. aracın rotasının liste görünümü.

Şekil 4.13, 4. aracın Tabu Arama Algoritmasıyla gerçekleştirilen çözüme göre izlediği rotayı göstermektedir.



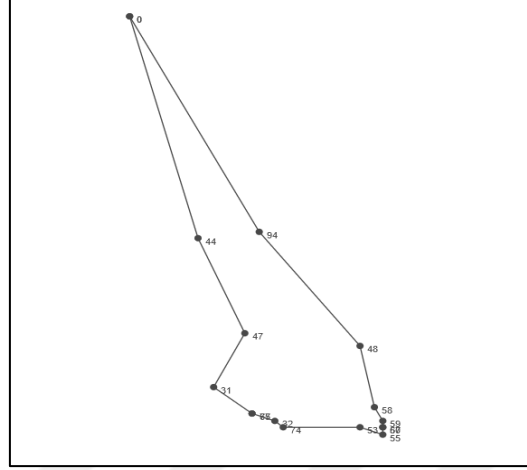
Şekil 4.13: Tabu arama algoritması ile 4. aracın rotası.

Resim 4.14’ te ise 4. Aracın Tabu Arama Algoritması ile hesaplanan rotasına dair liste görünümü verilmiştir. Buna göre 4. aracın kat ettiği toplam mesafe 42 km olarak hesaplanmıştır.

Araç 4	
☒	
D =>	M38
M38 =>	M45
M45 =>	M33
M33 =>	M49
M49 =>	M17
M17 =>	M19
M19 =>	M28
M28 =>	M34
M34 =>	M23
M23 =>	M20
M20 =>	M29
M29 =>	M25
M25 =>	M36
M36 =>	M26
M26 =>	M40
M40 =>	D

Resim 4.14: Tabu arama algoritması ile 4. aracın rotasının liste görünümü.

Şekil 4.14, 5. aracın Tabu Arama Algoritmasıyla gerçekleştirilen çözüme göre izlediği rotayı göstermektedir.



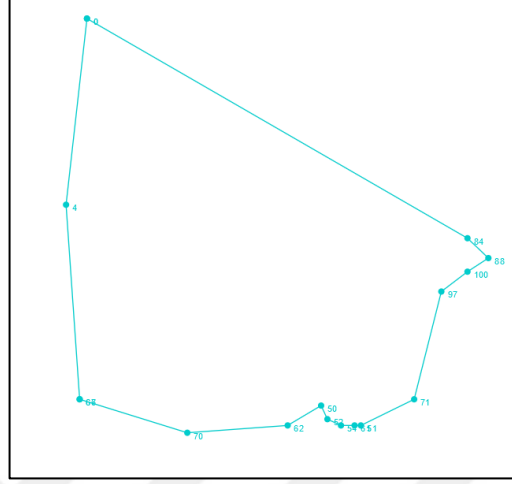
Şekil 4.14: Tabu arama algoritması ile 5. aracın rotası.

Resim 4.15’ te ise 5. Aracın Tabu Arama Algoritması ile hesaplanan rotasına dair liste görünümü verilmiştir. Buna göre 5. aracın kat ettiği toplam mesafe 53 km olarak hesaplanmıştır.

Araç 5
☒
D => M44
M44 => M47
M47 => M31
M31 => M65
M65 => M77
M77 => M32
M32 => M74
M74 => M53
M53 => M55
M55 => M57
M57 => M60
M60 => M59
M59 => M58
M58 => M48
M48 => M94
M94 => D

Resim 4.15: Tabu arama algoritması ile 5. aracın rotasının liste görünümü.

Şekil 4.15, 6. aracın Tabu Arama Algoritmasıyla gerçekleştirilen çözüme göre izlediği rotayı göstermektedir.



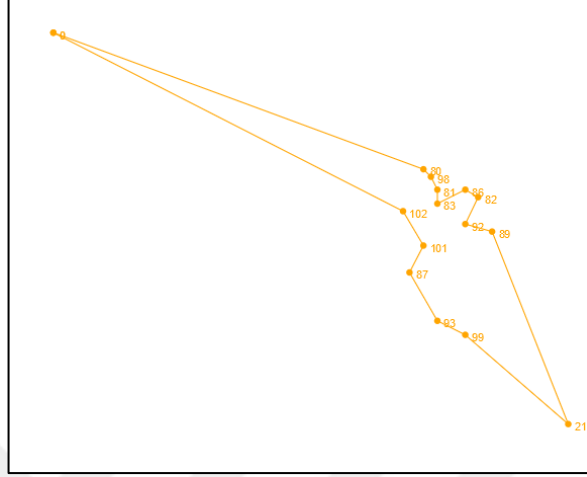
Şekil 4.15: Tabu arama algoritması ile 6. aracın rotası.

Resim 4.16, 6. Aracın Tabu Arama Algoritması ile hesaplanan rotasına dair liste görünümünü göstermektedir. Buna göre 6. aracın kat ettiği toplam mesafe 66 km olarak hesaplanmıştır.

Araç 6
☒
D => M4
M4 => M66
M66 => M67
M67 => M70
M70 => M62
M62 => M50
M50 => M52
M52 => M54
M54 => M61
M61 => M51
M51 => M71
M71 => M97
M97 => M100
M100 => M88
M88 => M84
M84 => D

Resim 4.16: Tabu arama algoritması ile 6. aracın rotasının liste görünümü.

Son olarak Şekil 4.16 ise, 7. aracın Tabu Arama Algoritmasıyla gerçekleştirilen çözüme göre izlediği rotayı göstermektedir.



Şekil 4.16: Tabu arama algoritması ile 7. aracın rotası.

Resim 4.17’ de ise, 7. Aracın Tabu Arama Algoritması ile hesaplanan rotasına dair liste görünümünü gösterilmektedir. Buna göre 7. aracın kat ettiği toplam mesafe Tabu Arama Algoritması ile 64 km olarak hesaplanmıştır.

Araç 7
☒
D => M80
M80 => M98
M98 => M81
M81 => M83
M83 => M86
M86 => M82
M82 => M92
M92 => M89
M89 => M21
M21 => M99
M99 => M93
M93 => M87
M87 => M101
M101 => M102
M102 => D

Resim 4.17: Tabu arama algoritması ile 7. aracın rotasının liste görünümü.

Bu bölümde ele alınan ARP, geliştirilen bir ARP uygulaması ile, Aç Gözlü Algoritma ve Tabu Arama algoritması kullanılarak ayrı ayrı çözülmüştür. Rotalara dair elde edilen veriler yukarıda detayları ile verilmiştir.

Elde edilen sonuçları özetlemek gerekirse; 7 homojen araçlı ve 102 müşterili bu ARP' nin Aç Gözlü Algoritma ile çözümü neticesinde 392 km' lik bir rota hesaplanırken, Tabu Arama Algoritması ile çözümü neticesinde 370 km' lik bir rota hesabı yapılmıştır. Bu da, bu problemin çözümünde, Tabu Arama Algoritmasının kat edilen mesafeyi en küçüklemek konusunda daha başarılı olduğunu göstermektedir. Tablo 4.14' te elde edilen sonuçlar özet halinde sunulmuştur.

Yöntem	Araç Numarası	Kat Edilen Mesafe (km)	Toplam Mesafe (km)
Aç Gözlü Algoritma	A1	50	392
	A2	47	
	A3	53	
	A4	44	
	A5	62	
	A6	68	
	A7	68	
Tabu Arama Algoritması	A1	44	370
	A2	47	
	A3	54	
	A4	42	
	A5	53	
	A6	66	
	A7	64	

Tablo 4.14: Özet sonuçlar tablosu.

Çözüm için tercih edilen algoritmalar bir de çözüm süresi bakımından karşılaştırılmıştır. Buna göre Aç Gözlü Algoritma ile elde edilen çözüme 1 milisaniyede (ms) ulaşılırken; Tabu Arama Algoritması ile elde edilen çözüme 215 ms' de ulaşılmıştır. Bu sonuca göre, bu problemin çözümünde Aç Gözlü Algoritmanın Tabu Arama Algoritmasına göre çok daha hızlı hesaplama yaptığı söylenebilir.

SONUÇ

Rekabetin günümüzdeki gibi küresel boyutta olmadığı, dolayısıyla rakiplerin sayısının çok daha az olduğu geçmiş yıllarda; işletmeler iç süreçlerini ayrı ayrı yöneterek başarıyı yakalayabilmekteydi. Rekabetin küresel boyutlara ulaştığı, müşteri isteklerinin her geçen gün daha da gelişip değiştiği günümüzde ise, işletmeler için yalnızca iç süreçleri doğru yönetmek, rekabet avantajı elde etmede yetersiz kalmaktadır.

2000' li yıllardan itibaren, Tedarik Zinciri Yönetimi kavramının önemi, dünyadaki işletmelerin çoğu tarafından anlaşılmaya başlanmış ve işletmeler arası rekabet bambaşka bir boyut kazanmıştır. Bu yıllardan itibaren işletmeler artık, tedarik zincirleri ile rekabet etme stratejisine yönelmiş, bu da pek çok eski yönetim anlayışının rafa kaldırılmasına sebep olmuştur.

Tedarik zinciri yalnızca tedarikçi ve üreticilerden oluşmamaktadır. Bunların yanı sıra depolar, taşıyıcı ve dağıtıcılar, perakendeciler ve hatta müşterinin kendisi dahi tedarik zinciri kapsamına dahil olmuştur. Tüm bu ağ içerisindeki aktörlerin top yekûn yönetildiği, her bir aktörün birbirleri ile iletişim ve etkileşim halinde olduğu bu anlayış, günümüzde yeni rekabet stratejilerinden biri haline gelmiştir.

Özellikle son yıllarda yapılan çalışmalar, ürün ve/veya hizmetin üretildiği andan müşteriye ulaşmaya kadar ve hatta müşteriye ulaştıktan sonrası da dahil olmak üzere, geçirdiği tüm süreçlerin başarısının, işletme performansı üzerindeki etkisini önemle vurgulamaktadır. Süreçlerin başarısını ise; bu süreçlere dahil olan iç ve dış aktörler belirlemektedir.

Tedarik zinciri yönetiminin başarısı, zincire dahil olan tüm aktörlerin ortak hedefler etrafında bir araya gelerek faaliyet gösterebilmesine bağlıdır. Ortak hedefler etrafında bir araya gelebilme kavramı ise; üreticiler, tedarikçiler, dağıtıcılar ve müşteriler ile tam bir iş birliği içerisinde olma durumunu ifade etmektedir. Günümüzün zorlayıcı rekabet koşulları altında, işletmelerin sürdürülebilir başarı elde edebilmesi için bu iş birliği son derece önemlidir.

Çok hızlı değişen ve gelişen müşteri isteklerinin karşılanabilmesi, işletmeleri hız kazanmaya mecbur bırakmıştır. Gerekli olan hızı kazanmak için ise; isabetli talep tahmini, doğru tedarikçi seçimi, uygun üretim stratejisi ve etkin bir dağıtım ağı tasarımı şarttır. Tüm bu ağın içerisinde ürünlerin, bilgilerin ve finansal kaynakların, çift taraflı olarak etkin bir biçimde hareket edebilmesi, tedarik zinciri performansını ve dolayısıyla işletme başarısını doğrudan etkilemektedir.

Tedarik zinciri dağıtım ağının önemli bir parçası olan depolar, günümüzde yalnızca ürünlerin saklanabildiği tesisler olmaktan çok daha stratejik bir öneme sahiptir. Bu sebeple; depoların sayıları, nerelere konumlandırılacağı, büyüklükleri, kapasiteleri, teknolojik alt yapıları, genişlemeye elverişlilikleri gibi hususların işletmeler tarafından ayrı ayrı ve dikkatle planlanması ve yönetilmesi gerekmektedir.

Tedarik zinciri yöneticileri için; pek çok amacın birbiri ile çeliştiği ve birden fazla kriterin aynı anda değerlendirilmesi gerektiği bir problem olan depo yeri seçimi problemi, çözümü zor ve karmaşık olan bir problemdir. Yapılan literatür çalışmasında, söz konusu bu problemin çözümü için pek çok farklı yöntemin denenmiş olduğu görülmüştür. Bu yöntemler arasında özellikle çok kriterli karar verme yöntemleri güvenle ve sıklıkla tercih edilmiştir.

Depo yeri seçimi probleminde ele alınan kriterlerin ve aday yerlerin belirlenmesi ve değerlendirilmesi noktasında, problemin karakteristiğinin bir sonucu olarak, belirsizlikler ve öznel değerlendirmeler söz konusu olmaktadır. Bu durum da, problemin çözümünde kesin sayıların kullanımının gerekli hassasiyetin sağlanması konusunda yetersiz kalabileceğini göstermektedir. Buradan hareketle bu tez çalışmasında ele alınan depo yeri seçimi probleminin çözümü için Bulanık TOPSIS yöntemi tercih edilmiştir.

Ele alınan problem; hali hazırda faaliyet göstermekte olan, lider bir hızlı tüketim mamulleri üreticisi ve dağıtıcısının depo yeri seçimi problemidir. İşletmenin büyüklüğü, müşteri sayısı, rakip sayısı ve mevcut tesis sayısının fazlalığı da ele alınan problemin karmaşıklığını arttırmaktadır. Yapılan bu çalışma ile, söz konusu işletmenin tedarik zinciri dağıtım ağının performansını doğrudan ve hayati derecede etkileyecek olan depo yeri seçimi problemi için; birden fazla kriteri aynı anda değerlendirebilmeyi

sağlayan, öznel yargıları hassasiyetle ortaya koyup çözüme dahil edebilen, anlaşılabilir ve uygulanabilir bir çözüm önerisi sunulmuştur.

Tedarik zinciri dağıtım ağı içerisinde depo yeri seçimi probleminin yanı sıra, dağıtımın planlanması ve rotalanması da son derece önemlidir. Özellikle çok sayıda ve farklı lokasyonlarda müşterisi olan işletmeler için, dağıtımdan kaynaklanan zaman kaybı ve maliyetler tedarik zinciri performansını doğrudan etkilemektedir.

Birden fazla aracın, birden fazla noktaya, belirli kısıtlar altında, toplam kat edilen mesafeyi en küçükleyecek şekilde planlanması olarak tanımlanabilecek olan ARP' nin çözümü için, pek çok farklı yöntem geliştirildiği yapılan literatür çalışmasıyla ortaya konmuştur. Bunlar arasında, kesin çözüm vadeden yöntemler olduğu gibi bir takım sezgisel yöntemler de geliştirildiği görülmektedir.

Yapılan kapsamlı literatür çalışması sonucunda, ARP' nin çözümünde tercih edilen meta sezgisel yöntemlerden olan Tabu Arama Algoritması ve Aç Gözlü Algoritmanın daha önce böyle bir problemin çözümünde karşılaştırmalı olarak ele alınmadığı görülmüştür. Literatürdeki bu boşluktan hareketle, bu iki algoritmayı gerek hesaplamayı tamamlama süreleri açısından, gerekse toplam kat edilen mesafeyi düşürebilme yetenekleri açısından karşılaştırabilen bir uygulama geliştirilmiştir. Geliştirilen bu uygulama, bir önceki aşamada depo yeri seçimi problemi çözülen işletmenin gerçek verileri üzerine uygulanmıştır. Uygulamadan elde edilen sonuçlara göre; Tabu Arama Algoritmasının daha uzun sürede çözüme ulaştığı, fakat toplam kat edilen mesafeyi minimize etme noktasında Aç Gözlü Algoritmaya göre daha başarılı olduğu görülmüştür.

Özetle bu tez çalışmasında, tedarik zinciri dağıtım ağı içerisinde son derece önemli olan depo yeri seçimi probleminin ve bu depo yerinden dağıtımı gerçekleştirecek olan araçların rotalanması probleminin bütünleşik olarak ele alınarak, çözülmesi hedeflenmiştir. Özellikle araç rotalama probleminin çözümünde farklı yöntemlerin karşılaştırmalı olarak kullanılmasının, araştırmacıların ve/veya uygulayıcıların yöntemler hakkında fikir sahibi olmasını sağlayacağı düşünülmektedir.

Ele alınan problemin büyüklüğü ve türü, dağıtım ağı içerisinde karşılaşılan iki farklı ve karmaşık problemin bütünleşik olarak ele alınması ve çözümde karşılaştırmalı olarak kullanılan yöntemler açısından değerlendirildiğinde, bu çalışmanın literatüre katkıda bulunacağı düşünülmektedir.

Gelecek çalışmalarda ARP' ye; kapasite, zaman penceresi, topla-dağıt gibi kısıtlar eklenerek mevcut yöntemler ile çözüm tekrar denenebileceği gibi; mevcut yöntemlere farklı yöntemler eklenerek karşılaştırmanın kapsamı da genişletilebilir. Depo yeri seçimi probleminin çözümü için ise; bulanık TOPSIS yönteminin bir de yamuk bulanık sayılar ile çözümü incelenebileceği gibi; farklı çok kriterli karar verme yöntemlerinin bulanık versiyonları da tercih edilebilir.

KAYNAKÇA

- Akay, Bahriye: "Nümerik optimizasyon problemlerinde yapay arı kolonisi (artificial bee colony) algoritmasının performans analizi.", 2009.
- Aksoy, Esra, Nuri Ömürbek, Meltem Karaatlı: "AHP Temelli MULTIMOORA ve COPRAS yöntemi ile Türkiye Kömür İşletmeleri'nin performans değerlendirmesi." Hacettepe üniversitesi iktisadi ve idari bilimler fakültesi dergisi 33.4, 2015, s. 1-28.
- Aktepe, Adnan, Süleyman Ersöz: "AHP-Vikor ve Moora yöntemlerinin depo yeri seçim probleminde uygulanması." Endüstri Mühendisliği 25.1, 2014, s. 2-15.
- Akyol, Şebnem Demirkol: "Covid-19 Pandemisi Sürecinde Hijyen Ürünleri Üreten Bir Firmada Tedarik Zinciri Ağı Tasarımı." Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi 35, 2022, s. 387-394.
- Akyüz, Yılmaz, Mustafa Soba: "ELECTRE yöntemiyle tekstil sektöründe optimal kuruluş yeri seçimi: Uşak ili örneği." Uluslararası Yönetim İktisat ve İşletme Dergisi 9.19, 2013, s. 185-198.
- Alakaş, Hacı Mehmet, Şafak Kızıldaş, Tamer Eren, Evrencan Özcan: "Sıfır atık projesi kapsamında atıkların toplanması: Kırıkkale ilinde homojen çok araçlı araç rotalama uygulaması." Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi 3.3, 2018, s. 190-196.
- Alberto, Petroni: "The logistics of industrial location decisions: An application of the analytic hierarchy process methodology." International Journal of Logistics 3.3, 2000, s. 273-289.

- Altabeeb, Asma, Abdulqader Mohsen, Laith Abualigah, Abdullatif Ghallab: "Solving capacitated vehicle routing problem using cooperative firefly algorithm." *Applied Soft Computing* 108, 2021, 107403.
- Altaş, İsmail: "Bulanık Mantık: Bulanıklılık Kavramı." *Enerji, Elektrik, Elektromekanik-3e*, 62, 1999, s. 80-85.
- Altıparmak, Fulya, Mitsuo Gen, Lin Lin, İsmail Karaoğlu: A steady-state genetic algorithm for multi-product supply chain network design." *Computers & industrial engineering* 56.2, 2009, s. 521-537.
- Ashrafzadeh, Maysam, Farimah Mokhatab Rafiei, Naser Mollaverdi Isfahani, Zahra Zare: Application of fuzzy TOPSIS method for the selection of Warehouse Location: A Case Study." *Interdisciplinary journal of contemporary research in business* 3.9, 2012, s. 655-671.
- Ataei, Esfandiyar, A. Branch: "Application of TOPSIS and fuzzy TOPSIS methods for plant layout design." *World Applied Sciences Journal* 24.7, 2013, s. 908-913.
- Ataseven, Burçin: "Yapay sinir ağları ile öngörü modellemesi." *Öneri Dergisi* 10.39, 2013, s. 101-115.
- Ayvaz, Berk, Ali Osman Kuçakçı, Fatih Öztürk, Melike Sırakaya: "Biyodizel tedarik zinciri ağ tasarımı için çok amaçlı karma tam sayılı doğrusal programlama modeli önerisi." *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 2018, 23(4), s. 55-70.
- Ayyıldız, Gökhan: "Bulanık ortamda Choquet integrali kullanılarak tedarikçi değerlendirme modeli.", 2010.

Babayiğit, Bilal, "Kapasite kısıtlı araç rotalama problemi için melez bir Kadir Yıldız: algoritma.", 2019.

Ballou, Ronald: "The evolution and future of logistics and supply chain management." European business review, 2007.

Barbarosoglu, "A tabu search algorithm for the vehicle routing Gulay, Demet problem." Computers & Operations Research 26.3, 1999, s. Ozgur: 255-270.

Behzadian, "A state-of the-art survey of TOPSIS applications." Expert Majid, Systems with applications 39.17, 2012, 13051-13069.
Khanmohammadi
Otaghsara,
Morteza Yazdani,
Joshua Ignatius:

Belenguer, José "A cutting plane algorithm for the capacitated arc routing M., Enrique problem." Computers & Operations Research 30.5, 2003, s. Benavent: 705-728.

Bellmore, "The traveling salesman problem: a survey." Operations Mandell, George Research 16.3, 1968, s. 538-558.
L. Nemhauser:

Bendall, Gareth, "Greedy-type resistance of combinatorial problems." Discrete François Margot: Optimization 3.4, 2006, s. 288-298.

Bilgili, Faik, "The evaluation of renewable energy alternatives for Fulya Zaralı, sustainable development in Turkey using intuitionistic fuzzy- Miraç Fatih İlğün, TOPSIS method." Renewable Energy 189, 2022, s. 1443-1458.
Cüneyt Dumrul,
Yasemin Dumrul:

- Bortolini, Marco, Francesca Calabrese, Francesco Gabriele Galizia, Cristina Mora: "A three-objective optimization model for mid-term sustainable supply chain network design." *Computers & Industrial Engineering* 168, 2022, 108131.
- Bowersox, Donald J.: "Physical distribution development, current status, and potential." *Journal of Marketing* 33.1, 1969, s. 63-70.
- Bowersox, Donald, David Closs, Bixby Cooper: "Supply chain logistics management." Michigan State: McGraw Hill, 2002.
- Brauers, Willem K., Edmundas K. Zavadskas: "Robustness of the multi-objective MOORA method with a test for the facilities sector." *Technological and economic development of economy* 15.2, 2009, s. 352-375.
- Brauers, Willem Karel M., Edmundas Kazimieras Zavadskas: Brauers, Willem Karel M., and Edmundas Kazimieras Zavadskas. "Robustness of MULTIMOORA: a method for multi-objective optimization." *Informatica* 23.1, 2012, s. 1-25.
- Brauers, Willem Karel, Edmundas Kazimieras Zavadskas: "The MOORA method and its application to privatization in a transition economy." *Control and cybernetics* 35.2, 2006, s. 445-469.
- Bruglieri, Maurizio, Simona Mancini, Ferdinando Pezzella, Ornella Pisacane: "A path-based solution approach for the green vehicle routing problem." *Computers & Operations Research* 103, 2019, s. 109-122.

- Bula, Gustavo, "Bi-objective vehicle routing problem for hazardous materials transportation." *Journal of cleaner production* 206, 2019, s. 976-986.
- Murat Afsar, Fabio A. González, Caroline Prodhon, Nubia Velasco:
- Bulut, Faruk, Bulut, Faruk, and Furkan İbrahim İNCE. "Tam Sayı Programlamada Açgözlü ve Sezgisel Aramalar ile 0/1 Sırt Çantası Problemine Yeni Bir Bakış." *Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi* 8.1, 2018, s. 89-98.
- Furkan İbrahim İnce:
- Can, Burak, "Zaman Pencereli Evde Bakım/Beslenme Hizmeti Hamza Erol: Yönlendirme Problemi İçin Karınca Koloni Algoritması." *Bilgisayar Bilimleri ve Teknolojileri Dergisi* 3.1, 2022, s. 17-22.
- Chen, Chang: "A decision model of field depot location based on the centrobaric method and analytic hierarchy process (AHP)." *International Journal of Business and Management* 4.7, 2009, s. 71-75.
- Chen, Chen-Tung, Ching-Torng Lin, Sue-Fn Huang: "A fuzzy approach for supplier evaluation and selection in supply chain management." *International journal of production economics* 102.2, 2006, s. 289-301.
- Chen, Chen-Tung: "Extensions of the TOPSIS for group decision-making under fuzzy environment." *Fuzzy sets and systems* 114.1, 2000, s. 1-9.
- Chen, Meng-Hui, Chiao-Wei Yu, Pei-Chann Chang: "Block based imperial competitive algorithm with greedy search for traveling salesman problem." *International Journal of Computer and Information Engineering* 8.5, 2014, s. 864-870.

- Cheng, Ching-Hsue: "Evaluating naval tactical missile systems by fuzzy AHP based on the grade value of membership function." *European journal of operational research* 96.2, 1997, s. 343-350.
- Chopra, Sunil, Peter Meindl: "Supply chain management. Strategy, planning & operation." *Das summa summarum des management*. Gabler, 2007, s. 265-275.
- Chopra, Sunil, Peter Meindl: "Supply Chain Management: Strategy, Planning, And Operation", 5/e. Pearson India, 2013.
- Chrysafis, Konstantinos A., Ioannis N. Theotokas, and Ioannis N. Lagoudis: "Managing fuel price variability for ship operations through contracts using fuzzy TOPSIS." *Research in Transportation Business & Management*, 2022, 100778.
- Clarke, Geoff, John W. Wright: "Scheduling of vehicles from a central depot to a number of delivery points." *Operations research* 12.4, 1964, s. 568-581.
- Cordeau, Jean-Francois, Groupe d'études et de recherche en analyse des décisions (Montréal, Québec): "The VRP with time windows. Montréal: Groupe d'études et de recherche en analyse des décisions", 2000.

- Cordeau, Jean-François, Michel Gendreau, Gilbert Laporte: "A tabu search heuristic for periodic and multi-depot vehicle routing problems." *Networks: An International Journal* 30.2, 1997, s. 105-119.
- Cömert, Serap Ercan, Furkan Yener: "Bir Gıda Firması İçin Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi İle Depo Yeri Seçimi." *Uluslararası İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi* 2.2, 2017, s. 161-177.
- Cömert, Serap Harun Reşit Yazgan, İrem Sertvuran, Hanife Şengül: "Sıkı zaman pencereli araç rotalama probleminin çözümü için yeni bir yöntem önerisi ve bir süpermarket zincirinde uygulanması." *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 22.2, 2018, s. 685-694.
- Croxton, Keely, Sebastian Garcia-Dastugue, Douglas Lambert, Dale Rogers: "The supply chain management processes." *The international journal of logistics management* 12.2, 2001, s. 13-36.
- Cucchiella, Federica, Idiano D'Adamo, Massimo Gastaldi, Lenny Koh, Paolo Rosa: "A comparison of environmental and energetic performance of European countries: A sustainability index." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 78, 2017, s. 401-413.
- Çaka, Erkan: Tedarik zinciri yönetiminde choquet integral yöntemi ile depo yeri seçimi. Diss. Fen Bilimleri Enstitüsü, 2012.
- Çakır, Süleyman, Selçuk Perçin: "Çok kriterli karar verme teknikleriyle lojistik firmalarında performans ölçümü/Performance measurement of logistics firms with multi-criteria decision making methods." *Ege Akademik Bakış* 13.4, 2013, 449.

Çalık, Ahmet: "Gecikme Zamanlı Kapalı-Döngü Tedarik Zinciri Ağ Tasarımı için Çok-Amaçlı Karma-Tamsayılı Programlama Modeli." Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi 15.2, 2018, s. 451-478.

Çalık, Ahmet: "Depo yeri seçimi için aralık tip-2 bulanık ÇKKV tabanlı hibrit bir yaklaşım." MANAS Sosyal Araştırmalar Dergisi 9.1, 2020, s. 101-114.

Çetin, Suna, Cevriye Gencer: "Heterojen araç filolu zaman pencereli eş zamanlı dağıtım-toplamalı araç rotalama problemleri: matematiksel model." International Journal of Engineering Research and Development 3.1, 2011, s. 19-27.

Çevik, Osman: "Tam Sayılı Doğrusal Programlama İle İşgücü Planlaması ve Bir Uygulama" Afyon Kocatepe Üniversitesi İktisadi Ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi 8.1, 2006, s. 157-171.

da Costa, Paulo Roberto, Stefano Mauceri, Paula Carroll, Fabiano Pallonetto: "A genetic algorithm for a green vehicle routing problem." Electronic notes in discrete mathematics 64, 2018, s. 65-74.

Dağdeviren, Ergün Erarslan: "PROMETHEE sıralama yöntemi ile tedarikçi seçimi." Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi 23.1, 2008.

Dantzig, George B., John H. Ramser: "The truck dispatching problem." Management science 6.1, 1959, s. 80-91.

- Darmawan, Agus, Hartanto Wong, Anders Thorstenson: "Supply chain network design with coordinated inventory control." *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review* 145, 2021, 102168.
- Değertekin, S. Özgür, Mehmet Ülker, M. Sedat Hayalioğlu: "Uzay çelik çerçevelerin tabu arama ve genetik algoritma yöntemleriyle optimum tasarımı." *Teknik Dergi* 17.83, 2006, s. 3917-3934.
- Dehshiri, Seyyed, Maghsoud Amiri, Laya Olfat, Mir Saman Pishvae: "Multi-objective closed-loop supply chain network design: A novel robust stochastic, possibilistic, and flexible approach." *Expert Systems with Applications* 206, 2022, 117807.
- Demircioğlu, Mert: "Araç rotalama probleminin sezgisel bir yaklaşım ile çözümlenmesi üzerine bir uygulama.", 2009.
- Demirel, Tufan, Nihan Çetin, Demirel, Cengiz Kahraman: "Multi-criteria warehouse location selection using Choquet integral." *Expert Systems with Applications* 37.5, 2010, s. 3943-3952.
- Dey, Arindam, Le Hoang Son, Anita Pal, Hoang Viet Long: "Fuzzy minimum spanning tree with interval type 2 fuzzy arc length: formulation and a new genetic algorithm." *Soft computing* 24.6, 2020, s. 3963-3974.
- Dey, Balaram, Bipradas Bairagi, Bijan Sarkar, Subir Kumar Sanyal: "Warehouse location selection by fuzzy multi-criteria decision making methodologies based on subjective and objective criteria." *International Journal of Management Science and Engineering Management* 11.4, 2016, s. 262-278.
- Doan, Thu-Trang Thi: "Supply chain management drivers and competitive advantage in manufacturing industry." *Uncertain Supply Chain Management* 8.3, 2020, s. 473-480.

Dorigo, Marco, "Ant colonies for the travelling salesman problem." biosystems 43.2, 1997, s. 73-81.
Luca Maria Gambardella:

Dorigo, Marco, "The ant system: An autocatalytic optimizing process.", 1991.
Vittorio Maniezzo,
Alberto Colomi:

Durmaz, Yeşim "Multi-objective optimization of sustainable biomass supply chain network design." Applied Energy 272, 2020, 115259.
Gital, Bilge Bilgen:

Durucasu, Hasan, "ELECTRE ve PROMETHEE'nin Güncel Uygulama Alanları: Bir Alanyazın Taraması.", 2017.
Ahmet Aytekin, Bilal Saraç, Erhan Orakçı:

Düzakın, Erkut, "Araç rotalama problemleri ve çözüm yöntemleri." Çukurova Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi 13.1, 2009.
Mert Demircioğlu:

Ecer, Fatih: "Üyelik fonksiyonu olarak üçgen bulanık sayılar mı yamuk bulanık sayılar mı?." Gazi Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi 9.2, 2007, s. 161-180.

Ehsanifar, "UTASTAR method and its application in multi-criteria warehouse location selection." Operations Management Research 14.1, 2021, s. 202-215.
Mohammad, David A. Wood, Arezoo Babaie:

Elagöz, İsmail: "Tedarik Zinciri Yönetimi ve Tedarik Zinciri Yönetimi Uygulamalarının Mevcut Durumu ve Geleceğe İlişkin Değerlendirmeler." Yönetim Bilimleri Dergisi 6.1, 2008, s. 129-144.

Elhedhli, Samir, "Green supply chain network design to reduce carbon emissions." *Transportation Research Part D: Transport and Environment* 17.5, 2012, s. 370-379.

Emeç, Şeyma, "Stochastic AHP and fuzzy VIKOR approach for warehouse location selection problem." *Journal of Enterprise Information Management*, 2018.

Emel, Gül Gökay, "Genetik algoritmalar ve uygulama alanları." *Uludağ Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi* 21.1, 2002, s. 129-152.

Ercan, Cihan, "Dinamik insansız hava sistemleri rota planlaması literatür araştırması ve insansız hava araçları çalışma alanları." *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi* 19.2, 2013, s. 104-111.

Erdoğan, Semiha: "Tam sayılı doğrusal programlama ile araç rotalama problemi çözümü ve bir servis ağında uygulaması.", MS thesis. Sakarya Üniversitesi, 2019.

Erdoğan, Kazım: "Çok Bölmeli Araç Rotalama Problemi İçin Bir Melez Genetik Algoritma." *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi* 23.67, 2021, s. 71-80.

Ergün, Gül, Eren Tamer: "Lojistik dağıtım ağ problemlerinde analitik hiyerarşi prosesi yöntemi ve hedef programlama ile depo seçimi." *Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi* 2.1, 2017, s. 1-13.

Ergün, Mustafa, Selçuk Korucuk, Salih Memiş: "Sürdürülebilir afet lojistiğine yönelik ideal afet depo yeri seçimi: Giresun ili örneği." *Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 6.1, 2020, s. 144-165.

- Erol, Vural: "Araç rotalama problemleri için populasyon ve komşuluk tabanlı metasezgisel bir algoritmanın tasarımı ve uygulaması." 2006.
- Ersöz, Filiz, Ali Atav: "Çok kriterli karar verme problemlerinde MOORA yöntemi." KHO Savunma Bilimleri Enstitüsü Harekat Araştırması 1.10, 2011.
- Eryavuz, Mehmet, Cevriye Gencer: "Araç Rotalama Problemine Ait Bir Uygulama, Süleyman Demirel Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, Yayınlanmamış Y." Lisans Tezi, Isparta, 2001.
- Eshtehadi, Reza, Emrah Demir, Yuan Huang: "Solving the vehicle routing problem with multi-compartment vehicles for city logistics." Computers & Operations Research 115, 2020, 104859.
- Euchi, Jalel, Abdeljawed Sadok: ". "Hybrid genetic-sweep algorithm to solve the vehicle routing problem with drones." Physical Communication 44, 2021, 101236.
- Eymen, Erman: "Tedarik Zinciri Yönetimi." Kaliteofisi Yayınları 14 (2007), (Çevrimiçi)
https://www.academia.edu/40628448/Tedarik_Zinciri_Y%C3%B6netimi, 14 Mayıs 2020
- Farahani, Reza Zanjirani, Shabnam Rezapour, Tammy Drezner, Samira Fallah: "Competitive supply chain network design: An overview of classifications, models, solution techniques and applications." Omega 45, 2014, s. 92-118.

Figueira, José "ELECTRE methods." Multiple criteria decision analysis.
Rui, Vincent Springer, New York, NY, 2016, s. 155-185.

Mousseau,
Bernard Roy:

Fisher, Marshall "A generalized assignment heuristic for vehicle
L., Ramchandran routing." Networks 11.2, 1981, s. 109-124.

Jaikumar:

Fleischmann, "Strategic network design." Supply chain management and
Bernhard, Achim advanced planning. Springer, Berlin, Heidelberg, 2015, s. 107-
Koberstein: 123.

Ganeshan, Ram, "An Introduction To Supply Chain Management.", 1995.
Terry Harrison:

García-Cascales, "On rank reversal and TOPSIS method." Mathematical and
M. Socorro, M. computer modelling 56.5-6, 2012, s. 123-132.
Teresa Lamata:

Gillett, Billy E., "A heuristic algorithm for the vehicle-dispatch
Leland R. Miller: problem." Operations research 22.2, 1974, s. 340-349.

Glover, Fred: "Tabu search: A tutorial." Interfaces 20.4, 1990, s. 74-94.

Goodarzian, F., "A multi-objective sustainable medicine supply chain network
H. Hosseini- design using a novel hybrid multi-objective metaheuristic
Nasab, M. B. algorithm." International Journal of Engineering 33.10, 2020, s.
Fakhrzad: 1986-1995.

Govil, Nikhil, Ashish Sharma: "Validation of agile methodology as ideal software development process using Fuzzy-TOPSIS method." *Advances in Engineering Software* 168, 2022, 103125.

Govindan, Kannan, Martin Brandt Jepsen: "ELECTRE: A comprehensive literature review on methodologies and applications." *European Journal of Operational Research* 250.1, 2016, s. 1-29.

Göçken, Tolunay, Meltem Yaktubay, Fatih Kilic: "Zaman pencereli araç rotalama problemi çözümü için çok amaçlı genetik algoritma yaklaşımı." *Gazi University Journal of Science Part C: Design and Technology* 6.4, 2018, s. 774-786.

Görener, Ali: Görener, Ali. "Kesici Takım Tedarikçisi Seçiminde Analitik Ağ Sürecinin Kullanımı." *Journal of Aeronautics and Space Technologies* 4.1, 2009, s. 99-110.

Guo, Yuhuan, Yunyu Yu, Youssef Boulaksil, Hamid Allaoui, Fangxia Hu: "Solving the sustainable supply chain network design problem by the multi-neighborhoods descent traversal algorithm." *Computers & Industrial Engineering* 154, 2021, 107098.

Gutin, Gregory, Anders Yeo, Alexey Zverovich: "Traveling salesman should not be greedy: domination analysis of greedy-type heuristics for the TSP." *Discrete Applied Mathematics* 117.1-381-86, 2001.

Haltaş, Ahmet, Ahmet Alkan, Mustafa Karabulut: "Metin sınıflandırmada sezgisel arama algoritmalarının performans analizi." *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 30(3), 2015, s. 417-427.

Handfield, R. B., "Introduction to." Supply Chain Management, Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1999.

Hao, Peng, Ziran "Intra-platoon vehicle sequence optimization for eco-cooperative adaptive cruise control." 2017 IEEE 20th International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC). IEEE, 2017.
Wang, Guoyuan
Wu, Kanok
Boriboonsomsin,
Matthew Barth:

He, Junkang, "A decision model for emergency warehouse location based on a novel stochastic MCDA method: evidence from China." Mathematical Problems in Engineering, 2017.
Chenpeng Feng,
Dan Hu, Liang
Liang:

Hemmati, Narges, "An integrated fuzzy-AHP and TOPSIS approach for maintenance policy selection." International Journal of Quality & Reliability Management, 2019.
Masoud
Rahiminezhad
Galankashi, D.M.
Imani, Farimah
Mokhatab Rafiei:

Hoşgören, Burcu: Tedarik zinciri yönetiminin müşteri ilişkilerine etkisi. Diss. Marmara Üniversitesi (Turkey), 2011.

Huang, Ying- "Solving the feeder vehicle routing problem using ant colony optimization." Computers & Industrial Engineering 127, 2019, s. 520-535.
Hua, Carola
A.Blazquez,
Shan-
HuenHuang,
Germán Paredes-
Belmar,
Guillermo
Latorre-Nuñez:

Hugos, Michael: "Essentials of Supply Chain Management John Wiley & Sons." Inc. New Jersey s 14, 2018.

- Hwang, Ching-Lai, Kwangsun Yoon: "Methods for multiple attribute decision making." Multiple attribute decision making. Springer, Berlin, Heidelberg, 1981, s. 58-191.
- Ishii, Nobuaki, Masaaki Ohba: "A supply chain analysis and design method based on the value of information." Computer Aided Chemical Engineering. Vol. 44. Elsevier, 2018, s. 1591-1596.
- Islam, Md Anisul, Yuvraj Gajpal, Tarek Y. ElMekkawy: "Hybrid particle swarm optimization algorithm for solving the clustered vehicle routing problem." Applied Soft Computing 110, 2021, 107655.
- İşçi, Öznur, Serdar Korukoğlu: "Genetik algoritma yaklaşımı ve yöneylem araştırmasında bir uygulama." Yönetim ve Ekonomi Dergisi 10.2, 2003, s. 191-208.
- İşleyen, Selçuk Kürşat: "Lojistik yönetim sistemlerinde stokastik talepli araç rotalama problemi.", Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2008.
- Javad, Mahsa Oroojeni Mohammad, Maryam Darvishi, Arash Oroojeni Mohammad Javad: "Green supplier selection for the steel industry using BWM and fuzzy TOPSIS: a case study of Khuzestan steel company." Sustainable Futures 2, 2020, 100012.
- Jayant, Arvind: "Use of grey relational analysis in solving multiple attribute decision-making problem: A case study of warehouse location selection." Advances in Industrial Engineering and Management 4.2, 2015, s. 157-164.

Jozefowicz, Nicolas, Fr Semet, El-Ghazali Talbi: "From single-objective to multi-objective vehicle routing problems: Motivations, case studies, and methods." The vehicle routing problem: Latest advances and new challenges. Springer, Boston, MA, 2008, s. 445-471.

Kabadurmuş, Özgür, Mehmet Serdar Erdoğan: "Karbon salınımını azaltan ve hizmet kalitesini arttıran iki amaçlı yeşil araç rotalama problemi." Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi 38.1, 2023, s. 103-112.

Karaboga, Dervis: "Artificial bee colony algorithm." scholarpedia 5.3, 2010, 6915.

Karmaker, C., M. Saha: "Optimization of warehouse location through fuzzy multi-criteria decision making methods." Decision Science Letters 4.3, 2015, s. 315-334.

Kaufmann, Arnold, Madan M. Gupta: "Fuzzy mathematical models in engineering and management science.", Elsevier Science Inc., 1988.

Kennedy, James, Russell Eberhart: "Particle swarm optimization." Proceedings of ICNN'95-international conference on neural networks. Vol. 4. IEEE, 1995.

Keskindürk, Timur, Nihan Topuk, Okan Özyeşil: "Araç rotalama problemleri ve çözüm yöntemleri." İşletme Bilimi Dergisi 3.2, 2015, s. 77-107.

Kış, Öznıl, Gülin Feryal Can, Pelin Toktas: "Warehouse Location selection for an electricity distribution company by KEMIRA-M method.", 2020.

- Kirkpatrick, Scott, C. Daniel Gelatt Jr, Mario P. Vecchi: "Optimization by simulated annealing." science 220.4598, 1983, s. 671-680.
- Kizielewicz, Bartłomiej, Aleksandra Bączkiewicz: "Comparison of Fuzzy TOPSIS, Fuzzy VIKOR, Fuzzy WASPAS and Fuzzy MMOORA methods in the housing selection problem." Procedia Computer Science 192, 2021, s. 4578-4591.
- Kobu, Bülent: "Üretim Yönetimi", 2014, Beta Basım.
- Koç, Çağrı, Eren Özceylan, Saadettin Erhan Kesen, Zeynel Abidin Çil, Süleyman Mete: "İleri tedarik zinciri ağ tasarımı problemi: sezgisel yaklaşımlar." Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi 24.4, 2018, s. 749-763.
- Kool, Wouter, Herke van Hoof, Joaquim Gromicho, Max Welling: "Deep policy dynamic programming for vehicle routing problems." International Conference on Integration of Constraint Programming, Artificial Intelligence, and Operations Research. Springer, Cham, 2022.
- Kopczak, Laura Rock: "Logistics partnerships and supply chain restructuring: survey results from the US computer industry." Production and Operations Management 6.3, 1997, s. 226-247.
- Korpela, Jukka, Markku Tuominen: "A decision aid in warehouse site selection." International Journal of Production Economics 45.1-3, 1996, s. 169-180.
- Krajewski, Lee J., vd: "Üretim yönetimi: süreçler ve tedarik zincirleri.", Nobel Akademik, 2013.

- Kuo, Ming-Shin, "Group decision-making based on concepts of ideal and anti-ideal points in a fuzzy environment." *Mathematical and Computer Modelling* 45.3-4, 2007, s. 324-339.
- Gwo-Hshiung Tzeng, Wen-Chih Huang:
- Kuo, Ren Jieh, "Vehicle routing problem with drones considering time windows." *Expert Systems with Applications* 191, 2022, 116264.
- Shih-Hao Lu, Pei-Yu Lai, Setyo Tri Windras Mara:
- Kuo, Ting: "A modified TOPSIS with a different ranking index." *European journal of operational research* 260.1, 2017, s. 152-160.
- Kurt, Mehmet: Kurt, Mehmet. "Çoklu depolu araç rotalama problemleri için bir karınca kolonisi optimizasyonu algoritmasının tasarımı ve uygulaması.", 2008.
- Lee, Hau L., "Managing supply chain inventory: pitfalls and opportunities." *Sloan management review* 33.3, 1992, s. 65-73.
- Corey Billington:
- Lee, Jeong-Hun, "Multi-level supply chain network design with routing." *International Journal of Production Research* 48.13, 2010, s. 3957-3976.
- Il-Kyeong Moon, Jong-Heung Park:
- Ligus, Magdalena, Piotr Peternek: "Determination of most suitable low-emission energy technologies development in Poland using integrated fuzzy AHP-TOPSIS method." *Energy Procedia* 153, 2018, s. 101-106.
- Lysgaard, Jens: "Clarke & Wright's savings algorithm." *Department of Management Science and Logistics, The Aarhus School of Business* 44, 1997.

- Ma, Hongguang, Xiang Li: "Closed-loop supply chain network design for hazardous products with uncertain demands and returns." *Applied Soft Computing* 68, 2018, s. 889-899.
- Madić, M., vd: "Multi-criteria economic analysis of machining processes using the WASPAS method." *Journal of Production Engineering* 17.2 (2014): 1-6.
- Mao, Huiting, Jianmai Shi, Yuzhen Zhou, Guoqing Zhang: "The electric vehicle routing problem with time windows and multiple recharging options." *IEEE Access* 8, 2020, s. 114864-114875.
- Martínez-Oropeza, Alina, Marco Antonio Cruz-Chávez, Martín H. Cruz-Rosales, Pedro Moreno Bernal, Jesús Del: "Unsupervised Clustering Method for the Capacited Vehicle Routing Problem." 2012 IEEE Ninth Electronics, Robotics and Automotive Mechanics Conference. IEEE, 2012.
- McCulloch, Warren S., Walter Pitts: "A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity." *The bulletin of mathematical biophysics* 5.4, 1943, s. 115-133.
- McKeller, John: "Supply chain management demystified.", McGraw-Hill Education, 2014.
- Min, Hokey: "The essentials of supply chain management: New business concepts and applications.", FT Press, 2015.

Modibbo, Umar
Muhammad, vd: "Multi-criteria decision analysis for pharmaceutical supplier selection problem using fuzzy TOPSIS." Management Decision, 2022.

Mohammed,
Mazin, Mohd
Khanapi Abd
Ghani, Raed
Ibraheem Hamed,
Salama A.
Mostafa, Mohd
Sharifuddin
Ahmad, Dheyaa
Ahmed Ibrahim: "Solving vehicle routing problem by using improved genetic algorithm for optimal solution." Journal of computational science 21, 2017, s. 255-262.

Moheb-Alizadeh,
Hadi, Robert
Handfield,
Donald Warsing: "Efficient and sustainable closed-loop supply chain network design: A two-stage stochastic formulation with a hybrid solution methodology." Journal of Cleaner Production 308, 2021, 127323.

Na, Byungsoo,
Yeowoon Jun,
Byung-In Kim: "Some extensions to the sweep algorithm." The International Journal of Advanced Manufacturing Technology 56.9, 2011, s. 1057-1067.

Nădăban, Sorin,
Simona Dzitac,
Ioan Dzitac: "Fuzzy TOPSIS: A general view." Procedia computer science 91 (2016): s. 823-831.

Naeeni, Hannan
Sadjady, Navid
Sabbaghi: "Sustainable supply chain network design: A case of the glass manufacturer in Asia." International Journal of Production Economics 248, 2022, 108483.

- Nazim, Mohd, Chaudhary Wali Mohammad, Mohd Sadiq: "A comparison between fuzzy AHP and fuzzy TOPSIS methods to software requirements selection." Alexandria Engineering Journal 61.12, 2022, s. 10851-10870.
- Niemira, Michael P., Thomas L. Saaty: "An analytic network process model for financial-crisis forecasting." International journal of forecasting 20.4, 2004, s. 573-587.
- Nong, Thi Nhu-Mai: "A hybrid model for distribution center location selection." The Asian Journal of Shipping and Logistics 38.1, 2022, s. 40-49.
- Ofluoglu, Aylin, Baki Birdogan, İlker Murat Ar: "Multi-criteria decision analysis model for warehouse location in disaster logistics." Journal of Management Marketing and Logistics 4.2, 2017, s. 89-106.
- Opricovic, Serafim, Gwo-Hshiung Tzeng: "Compromise solution by MCDM methods: A comparative analysis of VIKOR and TOPSIS." European journal of operational research 156.2, 2004, s. 445-455.
- Opricovic, Serafim, Gwo-Hshiung Tzeng: "Extended VIKOR method in comparison with outranking methods." European journal of operational research 178.2, 2007, s. 514-529.
- Ozçakar, Necdet, Mehmet Basti: "P-Medyan kuruluş yeri seçim probleminin çözümünde parçacık sürü optimizasyonu algoritması yaklaşımı." İstanbul Üniversitesi İşletme Fakültesi Dergisi 41.2, 2012, s. 241-257.
- Ömürbek, Nuri, Meltem Karaatli, Hafize Gonca Cömert: "AHP-SAW ve AHP-ELECTRE yöntemleri ile yapı denetim firmalarının değerlendirmesi." Yönetim Bilimleri Dergisi 14.27, 2016, s. 171-199.

- Ömürbek, Nuri, "İmalat alt sektörlerinin finansal performanslarının TOPSIS ve ELECTRE yöntemleri ile değerlendirilmesi." Çankırı Karatekin Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi 4.1, 2014, s. 237-266.
- Özbek, Aşır, "COPRAS ve MOORA yöntemlerinin depo yeri seçim problemine uygulanması." Ekonomi İşletme Siyaset ve Uluslararası İlişkiler Dergisi 2.1, 2016, s. 23-42.
- Emel Erol:
- Özcan, Tuncay, "Comparative analysis of multi-criteria decision making methodologies and implementation of a warehouse location selection problem." Expert Systems with Applications 38.8, 2011, s. 9773-9779.
- Numan Çelebi, Şakir Esnaf:
- Özçakar, Necdet, "Bulanik Topsis Yöntemiyle Tedarikçi Seçimi." İstanbul Üniversitesi İşletme Fakültesi İşletme İktisadi Enstitüsü Yönetim Dergisi 22.69, 2011, s. 25-44.
- Handan Demir:
- Özdağoğlu, Aşkın, "Çok ölçütlü karar verme modellerinde normalizasyon tekniklerinin sonuçlara etkisi: COPRAS örneği." Eskişehir Osmangazi Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi 8.2, 2013, s. 229-255.
- Özdemir, Ali, "İki aşamalı stratejik tedarikçi seçiminin bulanik topsis yöntemi ile analizi." Afyon Kocatepe Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi 11.2, 2009, s. 79-112.
- İhsan, Neşe, Yalçın Seçme:
- Özdemir, Ali, "Tedarik zinciri yönetiminin gelişimi, süreçleri ve yararları." Erciyes Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi 23, 2004.
- İhsan:
- Özer, Özalp, Gal, Raz, "Supply chain sourcing under asymmetric information." Production and Operations Management 20.1, 2011, s. 92-115.

Özsalam, M. "Optimizasyon problemlerinin çözümü için parçaçık sürü Yasin, Mehmet optimizasyonu algoritması." Politeknik Dergisi 11.4, 2008, s. 299-305.
Çunkaş:

Öztemel, Ercan: "Yapay Sinir Ağları", Papatya yayıncılık, İstanbul, 2003.

Pala, Osman, "Çok Amaçlı Kapasite Kısıtlı Araç Rotalama Problemi Mehmet Çözümünde Bir Karınca Kolonisi Optimizasyon Algoritması Aksaraylı: Yaklaşımı." Alphanumeric Journal 6.1, 2018, s. 37-48.

Park, Hyungbin, "Waiting strategy for the vehicle routing problem with Dongmin Son, simultaneous pickup and delivery using genetic Bonwoo Koo, algorithm." Expert Systems with Applications 165, 2021, 113959.
Bongju Jeong:

Patir, Sait: "Tam Sayılı Programlama ve Malatya Maksan Transformatör İşletmesine Bir Uygulama." Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi 23.1, 2009, s. 193-206.

Podvezko, "The comparative analysis of MCDA methods SAW and Valentinas: COPRAS." Engineering Economics 22.2, 2011, s. 134-146.

PrasannaVenkatesan, S., S. "Multi-objective supply chain sourcing strategy design under risk using PSO and simulation." The International Journal of Kumanan: Advanced Manufacturing Technology 61.1, 2012, s. 325-337.

Praveenkumar, G. "Application of cancer data using TOPSIS D., G. methods." International Journal 5.4, 2016.
Sathishkumar:

Rajak, Manindra, Krishnendu Shaw: "Evaluation and selection of mobile health (mHealth) applications using AHP and fuzzy TOPSIS." *Technology in Society* 59, 2019, 101186.

Rani, Pradibha, Arunodaya Raj Mishra, Abbas Mardani, Fausto Cavallaro, Melfi Alrasheedi, Afaf Alrashidi: "A novel approach to extended fuzzy TOPSIS based on new divergence measures for renewable energy sources selection." *Journal of Cleaner Production* 257, 2020, 120352.

Ranjbar, Hamid Reza, Mohammad Ali Nekooie: "An improved hierarchical fuzzy TOPSIS approach to identify endangered earthquake-induced buildings." *Engineering Applications of Artificial Intelligence* 76, 2018, s. 21-39.

Rashidi, Kamran, Kevin Cullinane: "A comparison of fuzzy DEA and fuzzy TOPSIS in sustainable supplier selection: Implications for sourcing strategy." *Expert Systems with Applications* 121, 2019, s. 266-281.

Renaud, Jacques, Fayez F. Boctor, Gilbert Laporte: "An improved petal heuristic for the vehicle routing problem." *Journal of the operational Research Society* 47.2, 1996, s. 329-336.

Roh, Sae Yeon, Young Ran Shin, Young Joon Seo: "The Pre-positioned warehouse location selection for international humanitarian relief logistics." *The Asian Journal of Shipping and Logistics* 34.4, 2018, s. 297-307.

Saaty, Roseanna: "The analytic hierarchy process—what it is and how it is used." *Mathematical modelling* 9.3-5, 1987, s. 161-176.

- Saaty, Thomas L.: "Decision making with dependence and feedback: The analytic network process.", Vol. 4922. No. 2. Pittsburgh: RWS publications, 1996.
- Saaty, Thomas L.: "How to make a decision: the analytic hierarchy process." Interfaces 24.6, 1994, s. 19-43.
- Saghari, Mahya, Mohammad Ehsanifar, Arezoo Babaei: "Identification and Prioritization of Optimal Places for locating urban hospitals by Combining the F-ANP, F-WASPAS methods, and GIS output in the ArcGIS Environment: Case Study: Arak City." Theory of Approximation and Applications 14.2, 2020, 13-34.
- Sagnak, Muhittin, Yalçın Berberoğlu, İlker Memiş, Oğulcan Yazgan: "Sustainable collection center location selection in emerging economy for electronic waste with fuzzy Best-Worst and fuzzy TOPSIS." Waste Management 127, 2021, s. 37-47.
- Sağır, Cenk: Karar verme sürecini etkileyen faktörler ve karar verme sürecinde etğın önemi: Uygulamalı bir araştırma. MS thesis. Trakya Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, 2006.
- Sağnak, Muhittin: "Depo yeri seçimi: perakende sektöründe melez çok kriterli karar verme uygulaması." Yaşar Üniversitesi E-Dergisi 15.59, 2020, s. 615-623.
- Sarıçalı, Gizem, Nilsen Kundakçı: "AHP ve COPRAS yöntemleri ile otel alternatiflerinin değerlendirilmesi." International Review of Economics and Management 4.1, 2016, s. 45-66.
- Shahzadi, Irum, Saba Amin, Kashif Mahmood Chaudhary: "Drivers of supply chain performance enhancing organizational output: An exploratory study for manufacturing sector." facilities management 5.14, 2013, s. 53-64.

Shanker, Saket, "Analysing the critical success factors and the risks associated with third-party logistics in the food supply chain: a case of coffee industry." Journal of Advances in Management Research, 2021.

Sharma, "Sustainable reverse logistics practices and performance evaluation with fuzzy TOPSIS: A study on Indian retailers." Cleaner Logistics and Supply Chain 1, 2021, 100007.

Sherafati, "Supply chain network design considering sustainable development paradigm: A case study in cable industry." Journal of Cleaner Production 234, 2019, s. 366-380.

Shih, Hsu-Shih, "An extension of TOPSIS for group decision making." Mathematical and computer modelling 45.7-8, 2007, s. 801-813.

Sırakaya, Melike, "Biyodizel yakıtlar için çok ürünlü çok periyotlu tedarik zinciri ağ tasarım modelinin geliştirilmesi", 7. Ulusal Lojistik ve Tedarik Zinciri Kongresi, ULTZK 2018 Bildiriler Kitabı, 2018.

Singh, Rajesh Kr, "Selection of warehouse location for a global supply chain: A case study." IIMB management review 30.4, 2018, s. 343-356.

Söke, Alev, Zafer "İki Boyutlu Giyotinsiz Kesme Problemlerinin Benzetilmiş Tavlama Algoritması ile Çözümlerinin İncelenmesi." Politeknik Dergisi 8.1, 2005, s. 25-36.

Stadtler, Hartmut, "Supply chain management and advanced planning: concepts, Christoph Kilger, models, software, and case studies.", springer, 2015.
Herbert Meyr:

Sudalaimuthu, S., "Logistics management for international business: text and S. Anthony Raj: cases.", PHI Learning Pvt. Ltd., 2009.

Sun, Chia-Chi: "A performance evaluation model by integrating fuzzy AHP and fuzzy TOPSIS methods." Expert systems with applications 37.12, 2010, s. 7745-7754.

Şahin, Yusuf, "Kapasite kısıtlı araç rotalama problemi için metasezgisel Abdullah Eroğlu: yöntemler: bilimsel yazın taraması.", Suleyman Demirel University Journal of Faculty of Economics & Administrative Sciences, 19(4), 2014.

Şahin, Yusuf, "Depo Operasyonlarının Planlanması İçin Genetik Algoritma Osman Kulak: Esaslı Modeller." Uluslararası Alanya İşletme Fakültesi Dergisi 5.3, 2013, s. 141-153.

Şehitoğlu, Adem, "Homojen ve Heterojen Filolu, Kapasite Kısıtlı Araç Rotalama Çerkez Ağayeva: Problemi İçin Bir Uygulama." Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi 9.1: 9-19, 2022.

Şeker, Ömer, "Bir lojistik firması için çok ölçütlü karar verme yöntemleri ile Hacı Mehmet İç Anadolu bölgesinde depo yeri seçimi." Academic Alakaş: Perspective Procedia 2.3, 2019, s. 841-850.

Şen, Zekai: "Genetik algoritmalar ve en iyileme yöntemleri.", Su Vakfı, 2004.

Şen, Zekai: "Bulanık mantık ilkeleri ve modelleme.", Su Vakfı, 2020.

- Tanrıverdi, Yasemin: "Tedarik zinciri ve stok yönetimi üzerine bir uygulama.", MS thesis. 2010.
- Teigen, Rune: "Information flow in a supply chain management system." URL: <http://www.eil.utoronto.ca/profiles/rune/dip-thesis.Html>, 1997.
- Tereshko, Valery, Andreas Loengarov: "Collective decision making in honey-bee foraging dynamics." Computing and Information Systems 9.3, 2005, 1.
- Tırmıkçioğlu, Nihan: "Sezgisel Bulanık WASPAS Yöntemi ve Depo Yeri Seçimi Problemi." Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Ve Mühendislik Bilimleri Dergisi 21.6, 2021, s. 1330-1342.
- Timor, Mehpere: "Yöneylem Araştırması ve İşletmecilik Uygulamaları." İstanbul Üniversitesi Basımevi Müdürlüğü, İşletme Fakültesi Yayın 280, 2001.
- Tolooie, Ali, Meghna Maity, Ashesh Kumar Sinha: "A two-stage stochastic mixed-integer program for reliable supply chain network design under uncertain disruptions and demand." Computers & Industrial Engineering 148, 2020, 106722.
- Torğul, Belkız, Enes Demiralay, Turan Paksoy: "Tarım-Gıda Tedarik Zincirinde Ağ Tasarımı ve Optimizasyonu: Bir Meyve Suyu İşletmesi Örneği." Journal of Transportation and Logistics 6.1, 2021, s. 49-70.
- Toth, Paolo, Daniele Vigo: "Vehicle routing: problems, methods, and applications.", Society for Industrial and Applied Mathematics, 2014.

- Trachanatzi, Dimitra, Manousos Rigakis, Magdalene Marinaki, Yannis Marinakis: "A firefly algorithm for the environmental prize-collecting vehicle routing problem." Swarm and Evolutionary Computation 57, 2020, 100712.
- Turan, Gökhan: "İşletmeciler, mühendisler ve yöneticiler için operasyonel, yönetsel ve stratejik problemlerin çözümünde çok kriterli karar verme yöntemleri.": Yıldırım, Bahadır Fatih, Emrah Önder. Bursa: Dora Yayınları, 2014.
- Turgut, Muhammed, Ahmet Yavuz Şahin: "Analitik Hiyerarşi Prosesi Yöntemi ile Yaş Sebze ve Meyve Depo Yeri Seçimi: Mersin İli Uygulaması." Mersin Üniversitesi Denizcilik ve Lojistik Araştırmaları Dergisi 1.1, 2019, s. 42-59.
- Türkbey, Orhan, Çiğdem Alabaş: "Tesis Yerleşim Problemi İçin Bir Bulanık-Tabu Arama Yaklaşımı.", 2002.
- Tzeng, Gwo-Hshiung, Jih-Jeng Huang: "Multiple attribute decision making: methods and applications.", CRC press, 2011.
- Ulutaş, Alptekin, Ali Oğuz Bayrakçıl, Bilgehan Kutlu: "Araç rotalama probleminin tasarruf algoritması ile çözümü: Sivas' ta bir ekmek fırını için uygulama.", Cumhuriyet Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi, 18(1), 2017, s. 185-197.
- Uzun, Sümeyra, Halim Kazan: "Çok kriterli karar verme yöntemlerinden AHP TOPSIS ve PROMETHEE karşılaştırılması: Gemi inşada ana makine seçimi uygulaması." Journal of Transportation and Logistics 1.1, 2016, s. 99-113.
- Vaidya, Omkarprasad S., Sushil Kumar: "Analytic hierarchy process: An overview of applications." European Journal of operational research 169.1, 2006, s. 1-29.

- Vali-Siar, Mohammad Mahdi, Emad Roghanian: "Sustainable, resilient and responsive mixed supply chain network design under hybrid uncertainty with considering COVID-19 pandemic disruption." *Sustainable Production and Consumption* 30, 2022, s. 278-300.
- Vassilev, Vassil, Krassimira Genova, Mariyana Vassileva: "A brief survey of multicriteria decision making methods and software systems." *Cybernetics and information technologies* 5.1, 2005, s. 3-13.
- Vlachopoulou, Maro, George Silleos, Vassiliki Manthou: "Geographic information systems in warehouse site selection decisions." *International journal of production economics* 71.1-3, 2001, s. 205-212.
- Voloshyn, Alexey, Grygoriy Gnatenko, Elena Drobot: "Fuzzy membership functions in a fuzzy decision making problem.", 2003.
- Wang, Fan, Xiaofan Lai, Ning Shi: "A multi-objective optimization for green supply chain network design." *Decision support systems* 51.2, 2011, s. 262-269.
- Wang, Jian, Qian Wan, Mingzhu Yu: "Green supply chain network design considering chain-to-chain competition on price and carbon emission." *Computers & Industrial Engineering* 145, 2020, 106503.
- Xu, Haitao, Pan Pu, Feng Duan: "Dynamic vehicle routing problems with enhanced ant colony optimization." *Discrete Dynamics in Nature and Society* 2018.

Yalçın, Papatya Sevgin: "Talep yönetimi, dağıtım yönetimi ve tedarik tabanı yönetimi uygulamalarının tedarik zinciri performansı üzerindeki etkileri.", MS thesis., Başkent Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, 2013.

Yapıcı, Selma, Rabia Yumuşak, Eren Tamer: "Çok kriterli karar verme yöntemleri ile medikal depo yeri seçimi." Trakya Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi 9.2, 2020, s. 203-221.

Yavuz, Oğuzhan: "Depo Yeri seçimi probleminde gri sistem teorisi ve VIKOR yönteminin karşılaştırmalı analizi." İstanbul Gelişim Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi 5.1, 2018, s. 169-191.

Yazgan, Harun Reşit, Serap Ercan Cömert, Ecem Nükte Kılıç: "Araç rotalama probleminin sezgisel algoritmalar ile çözülmesi: Bir boya fabrikasında uygulama." Journal of Turkish Operations Management 4.2, 2020, s. 549-563.

Yıldız, Aytaç, Yunus Demir: "Bulanık TOPSIS Yöntemiyle Türkiye' nin Yerli Otomobili İçin En Uygun Fabrika Yerinin Seçimi", Business and Management Studies: An International Journal, 2019.

Yılmaz, Şule: "Çok depolu araç rotalama probleminin karınca kolonisi optimizasyonu ile modellenmesi ve bir çözüm önerisi.", 2008.

Yurdakul, Müberra, Mehmet Ozan Karahan: "Müşteri ilişkileri yönetimi (CRM) ve ulaşım sektöründe bir uygulama: İşletme çalışanlarının müşteri ilişkileri yönetimi'ne ve müşterilerine bakış açılarının belirlenmesi." Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi 28, 2010, s. 133-144.

Zadeh, Lutfi Aliasker: Fuzzy sets. Inf Control., 8 (3), pp. 338-353, 1965.

Zadeh, Lütüf Aliasker: "Fuzzy logic," in Computer, vol. 21, no. 4, pp. doi: 10.1109/2.53. pp. 83-93, 1988.

Zhang, Huizhen, Qinwan Zhang, Liang Ma, Ziyang Zhang, Yun Liu: "A hybrid ant colony optimization algorithm for a multi-objective vehicle routing problem with flexible time windows." Information Sciences 490, 2019, s. 166-190.

Zhang, Qihuan, Ziteng Wang, Min Huang, Yang Yu, Shu-Cherng Fang: "Heterogeneous multi-depot collaborative vehicle routing problem." Transportation Research Part B: Methodological 160, 2022, s. 1-20.

Zhen, Lu, Lufei Huang, Wencheng Wang: "Green and sustainable closed-loop supply chain network design under uncertainty." Journal of Cleaner Production 227, 2019, s. 1195-1209.

Zheng, Xiaojin, Meixia Yin, Yanxia Zhang: "Integrated optimization of location, inventory and routing in supply chain network design." Transportation Research Part B: Methodological 121, 2019, s. 1-20.

Ziari, Matineh, Morteza Ghomi-Avili, Mir Saman Pishvaei, Hamed Jahani: "A review on competitive pricing in supply chain management problems: models, classification, and applications." International Transactions in Operational Research 29.4, 2022, s. 2082-2115.

ÖZGEÇMİŞ

Lise eğitimimi Nişantaşı Anadolu Lisesinde tamamladım. 2007 yılında İstanbul Üniversitesi İşletme Fakültesinde lisans eğitime başladım. 2016 yılında Sakarya Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Üretim Yönetimi ve Pazarlama alanında yüksek lisansımı tamamladım ve aynı yıl İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü İşletme Anabilim Dalı Üretim Bilim Dalında doktora eğitime başladım. 2014 yılından bu yana İstanbul Üniversitesi İşletme Fakültesi Üretim Anabilim Dalında araştırma görevlisi olarak görev yapmaktayım.

