

**BELİRSİZLİK ALTINDA HETEROJEN FİLO VE ZAMAN PENCERELİ
ROTALAMA PROBLEMİ:
HIZLI TÜKETİM SEKTÖRÜNDE BİR UYGULAMA**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Elçin ÖZEN KURU

İşletme Mühendisliği Anabilim Dalı

İşletme Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Ferhan ÇEBİ

Haziran 2018

**BELİRSİZLİK ALTINDA HETEROJEN FİLO VE ZAMAN PENCERELİ
ROTALAMA PROBLEMİ:
HIZLI TÜKETİM SEKTÖRÜNDE BİR UYGULAMA**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Elçin ÖZEN KURU
(507101009)**

İşletme Mühendisliği Anabilim Dalı

İşletme Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Ferhan ÇEBİ

Haziran 2018

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 507101009 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Elçin ÖZEN KURU, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “BELİRSİZLİK ALTINDA HETEROJEN FİLO VE ZAMAN PENCERELİ ROTALAMA PROBLEMİ: HIZLI TÜKETİM SEKTÖRÜNDE BİR UYGULAMA” başlıklı tezini aşağıdaki imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Ferhan ÇEBİ**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Doç. Dr. Hür Bersam BOLAT**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi İrem OTAY
İstanbul Okan Üniversitesi

Teslim Tarihi : **03 Mayıs 2018**
Savunma Tarihi : **05 Haziran 2018**





Aileme,



ÖNSÖZ

Hazırlamış olduğum bu yüksek lisans tezimde, firmaların tedarik zinciri maliyetlerini azaltmaya yardımcı olan araç rota planlaması konuları üzerine çalıştım.

Yüksek lisans tezim ve öğrenimim süresince bana destek veren, zaman ayıran ve kıymetli bilgi ve deneyimlerini benden esirgemeyen Sayın Prof. Dr. Ferhan Çebi'ye en içten teşekkürlerimi sunarım.

Özellikle modelin kurulması ve GAMS çözümleri için kıymetli zamanını ayıran ve her türlü yardımı esirgemeyen Sayın Ar. Gör. Aycan Kaya'ya çok teşekkür ederim.

Tüm öğrenim hayatım boyunca maddi ve manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen, aldığım en önemli kararlarda her daim yanımda olan babam Mehmet Özen ve annem Hafize Özen'e çok teşekkür ederim.

Endüstri Mühendisi olmam konusundaki ısrarları ile yaşamımdaki en doğru kararlardan birini almamı sağlayan canım ablam Yasemin Barkın'a teşekkürü bir borç bilirim.

Bu yoğun dönemimde desteğini üzerimden bir an bile çekmeyen, en iyi arkadaşım, sevgili eşim Akın Kuru'ya sonsuz teşekkür ederim.

Son olarak bu süreçte bana destek veren tüm arkadaşlarıma çok teşekkür ederim.

Haziran 2018

Elçin ÖZEN KURU
(Endüstri Mühendisi)



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR.....	xi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xv
ÖZET	xvii
SUMMARY	xix
1. GİRİŞ.....	1
2. TEDARİK ZİNCİRİ YÖNETİMİ.....	3
2.1 Tedarik Zinciri Yönetiminin Gelişimi	4
2.2 Tedarik Zinciri Kararları.....	5
2.3 Tedarik Zincirinde Lojistik Yönetimi.....	6
3. ARAÇ ROTALAMA.....	9
3.1 Araç Rotalama Problemi Türleri	10
3.1.1 Klasik araç rotalama problemi (KARP)	10
3.1.2 Heterojen filolu araç rotalama problemi (HFARP).....	12
3.1.3 Açık uçlu araç rotalama problemi (AUARP)	13
3.1.4 Zaman pencereli araç rotalama problemi (ZPARP)	14
3.1.5 Önce dağıt sonra topla araç rotalama problemi (ÖDSTARP)	14
3.1.6 Eş zamanlı topla-dağıt araç rotalama problemi (ETDARP)	15
3.1.7 Mesafe kısıtlı araç rotalama problemi	15
3.1.8 Dinamik araç rotalama problemleri (DARP).....	15
3.1.9 Stokastik araç rotalama problemi	16
3.1.10 Bölünmüş dağıtımlı araç rotalama problemi	16
3.1.11 Çok amaçlı araç rotalama problemleri	16
3.1.12 Çok depolu araç rotalama problemi	17
4. ARAÇ ROTALAMA PROBLEMİ İÇİN LİTERATÜRDE ÇALIŞILAN ÇÖZÜM YÖNTEMLERİ.....	19
4.1 Kesin Çözüm Yöntemleri	19
4.1.1 Dal ve sınır algoritması	19
4.1.2 Dal ve kesme düzlemi yöntemi	20
4.1.3 Dinamik programlama.....	20
4.2 Sezgisel Çözüm Yöntemleri	21
4.2.1 Klasik sezgiseller.....	21
4.2.1.1 Yapıcı sezgiseller	21
Clarke ve Wright tasarruf algoritması	21
Mole ve Jameson sıralı ekleme sezgiseli.....	22

Christofides, Mingozzi ve Toth sıralı ekleme sezgiseli	23
4.2.1.2 İki aşamalı yöntemler	23
Süpürme algoritması	23
Fisher ve Jaikumar algoritması	24
Bramel ve Simchi-Levi algoritması.....	24
Kesilmiş Dal-Sınır yöntemi.....	24
Taç yaprağı algoritmaları.....	24
Önce rotala sonra kümele metotları	25
4.2.1.3 İyileştirici sezgiseller	25
4.2.2 Metasezgisel yöntemler	25
4.3 ARP için Sezgisel Metodların Degerlendirilmesi	28
5. BULANIK MANTIK.....	31
5.1 Bulanık Kümeler ve Üyelik Fonksiyonları.....	31
5.2 Bulanık Sayılar ve Aritmetik İşlemler.....	32
5.2.1 Üçgen bulanık sayı	32
5.2.2 Yamuk bulanık sayı	33
5.3 Bulanık Doğrusal Programlama	34
5.3.1 Bulanık hedef ve bulanık kısıtlı modeller.....	35
6. ARAÇ ROTALAMA PROBLEMİ VE UYGULAMA.....	37
6.1 Çalışmanın Amacı	37
6.2 Problemin Tanımı	37
6.2.1 Modelin açıklaması	39
6.3 Dataların Toplanması.....	40
6.3.1 Tedarikçilerden Toplanan Ürün Miktarları.....	40
6.3.2 Araç Kapasiteleri ve Maliyetler.....	41
6.3.3 Tedarikçiler Arası Mesafe ve Süreler	41
6.3.4 Tedarikçi Çalışma Saatleri ve Yükleme Zamanları	42
6.4 Modelin Geliştirilmesi.....	43
6.4.1 Çok amaçlı tam sayılı doğrusal programlama modeli	43
6.4.2 Bulanık çok amaçlı programlama modeli.....	45
6.5 Modelin Çözümü ve Sayısal Sonuçlar	47
7. SONUÇ VE ÖNERİLER	49
KAYNAKLAR.....	51
EKLER	55
EK A.1	57
EK A.2	61
EK A.3	63
EK A.4.....	67
ÖZGEÇMİŞ	69

KISALTMALAR

APICS	: American Production and Inventory Control Society
KARP	: Klasik Araç Rotalama Problemi
HFARP	: Heterojen Filolu Araç Rotalama Problemi
AUARP	: Açık Uçlu Araç Rotalama Problemi
ZPARP	: Zaman Pencereci Araç Rotalama Problemi
ÖDSTARP	: Önce Dağıt Sonra Topla Araç Rotalama Problemi
ETDARP	: Eş Zamanlı Topla-Dağıt Araç Rotalama Problemi
DARP	: Dinamik Araç Rotalama Problemleri
DP	: Doğrusal Programlama
ARP	: Araç Rotalama Problemi
CPT	: Carriage Paid To (Taşıma Ücreti Ödenmiş Olarak Teslim)
EXW	: Exworks (Ticari İşletmede Teslim)



ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 4.1: ARP için klasik sezgisel metotların karşılaştırılması [1].	29
Çizelge 5.1: Üçgen bulanık sayılar için aritmetik işlemler [2].	33
Çizelge 5.2: Doğrusal programlama modellerinde bulanıklık [2].	35
Çizelge 6.1: Tedarikçiden alınacak günlük malzeme miktarları	41
Çizelge 6.2: Araçların kapasiteleri ve maliyetleri	41
Çizelge 6.3: Km cinsinden tedarikçiler arası uzaklık matrisi	42
Çizelge 6.4: Saat cinsinden tedarikçiler arası uzaklık matrisi	42
Çizelge 6.5: Tedarikçi çalışma saatleri	43
Çizelge 6.6: Üyelik fonksiyonu değerleri	46
Çizelge 6.7: Tek amaçlı çözüm değerleri	47
Çizelge 6.8: Çok amaçlı çözüm değerleri	47
Çizelge 6.9: Bulanık amaçlı model için çözüm değerleri	48



ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1 : Tedarik zinciri ağı [3]	3
Şekil 3.1 : Araç rotalama örnek şeması	9
Şekil 3.2 : Çok depolu araç rotalama problemi [4]	17
Şekil 4.1 : Temel tassarruf kavramı [5]	22
Şekil 5.1 : Kümelerin gösterimi: (a) Klasik küme (b) Bulanık küme.....	32
Şekil 5.2 : Üçgen bulanık sayı [2]	33
Şekil 5.3 : Yamuk bulanık sayı [2]	34
Şekil 6.1 : Firmanın ham madde tedarik ağı a) Değişiklikten önce b) Değişiklikten sonra.....	39



**BELİRSİZLİK ALTINDA HETEROJEN FİLO VE ZAMAN PENCERELİ
ROTALAMA PROBLEMİ:
HIZLI TÜKETİM SEKTÖRÜNDE BİR UYGULAMA**

ÖZET

Günümüz artan rekabet koşullarında firmalar, sürekli gelişerek değişen koşullara uyum sağlamaya ve pazardaki paylarını arttırmaya çalışmaktadırlar. Pazarda bir çok alternatifin bulunduğu günümüzde, firmalar rekabet güçlerini ellerinde bulundurabilmek için yüksek kalite ve çeşitlilikte olan ürünlerini düşük maliyet ve yüksek servis hızı ile müşterilerine ulaştırmak zorundadırlar. Ancak, müşteri memnuniyetini arttırmak için hızlı ve esnek yapılar kurulurken, kârlılıkların da kontrol altında tutulabilmesi önemlidir. Bu sebeple, firmalar sürekli olarak maliyetlerini düşürme hedefindedirler. Etkin bir tedarik zinciri yönetimi, maliyetleri dengelemek için etkili bir araçtır. Müşterilere gereken ürünleri istenilen miktar ve zamanda ulaştırırken bir yandan da tedarikçilerle etkin bir biçimde çalışarak ham maddeleri istenilen zamanda ve düşük maliyetlerle tedarik etmek gerekmektedir. Lojistik maliyetleri işletmelerin toplam maliyetlerinin %6-20'sine karşılık gelmektedir. Bu sebeple lojistik yönetiminin en önemli faaliyetlerinden biri olan dağıtım alanında yapılan iyileştirmeler firmaların kârlılıklarına önemli katkılar sağlamaktadır.

Araç rotalama problemleri dağıtım yönetiminin merkezini oluşturmaktadır. Araç rotalama problemlerinde talebin yapısı, araçların çeşitliliği, taşınacak malzemelerin tipi, dağıtım ve toplama noktalarının lokasyonları, kapasite ve zaman gibi girdilere göre araçların müşterilere ve tedarikçilere atamasını gerçekleştirerek, süreçlerdeki verimliliklerin artırılıp lojistik maliyetlerinin düşürülmesi amaçlanmaktadır.

Yapılan bu çalışma, bir firmanın ihtiyaçlarından yola çıkılarak üretilmiştir. İşletmenin lojistik maliyetlerini düşürebilmek için ham madde tedarik ağı planlaması yapılmıştır. İncelenen işletmenin depolama, zaman gibi kısıtları ve maliyet düşürme amacı göz önüne alınarak, problem, bir araç rotalama problemine dönüştürülmüştür. Problem yapısının daha iyi anlaşılabilmesi için öncelikle araç rotalama problemlerinin türleri ve literatürde kullanılmakta olan çözüm yöntemlerinden bahsedilmiştir. Tezin daha sonraki kısımlarında ise, problemin amaçlarında bazı belirsizlikler olması nedeni ile bulanık kümeler ve bulanık programlama üzerinde durulmuş, tez kapsamında geliştirilen çok amaçlı karma tam sayılı doğrusal programlama modelinin çözümünde bulanık modelleme kullanılmıştır. Bulanık çok amaçlı modelin geleneksel tek amaçlı doğrusal programlama modeline dönüştürülmesinde arttırılmış max-min modeli kullanılmıştır. Modelin çözümünde GAMS 24.1 solver'ından yararlanılmış ve firma yetkililerinin belirlediği başarıma derecelerine göre en iyi çözümler elde edilmeye çalışılmıştır. Son olarak elde edilen sonuçlara göre firmanın kazanımları tartışılmış ve gelecek çalışmalar için önerilerde bulunulmuştur.



HETEROGENEOUS VEHICLE ROUTING PROBLEM WITH TIME WINDOW AND FUZZY OBJECTIVES AN APPLICATION IN THE FAST MOVING CONSUMER GOODS INDUSTRY

SUMMARY

In today's increasing competitive conditions, firms try to adapt to changing conditions and increase their market share with constantly evolving. Nowadays, there are many alternatives in the market because of that companies must deliver high quality and diversity products to customers with low cost and high service speed in order to maintain their competitive power. However, while increasing customer satisfaction with having a quick and flexible structure, also profitability need to be kept under control. Therefore, firms need to constantly aim to reduce their costs. An efficient supply chain management is an effective tool for balancing costs. While delivering the required products to customers in the desired quantity and time, it is necessary to work with suppliers efficiently to supply raw materials at the desired time with low costs. Supply chain does not contains only manufacturers, suppliers and distributors. It is also contain warehouse management, carriers and customers. In recent years, firms realized that they can not gain competitive advantage in the market with only established their marketing strategies. They should design effective supply chain network to sustain their market share. Logistics costs correspond to between six and twenty percent of the total cost of companies. Distribution is one of the most important activity of logistic management. For this reason, improvements in distribution area provide significant contributions to the profitability of companies.

Vehicle routing problems constitute the center of distribution management. According to inputs such as the structure of demand, diversity of vehicles, the type of materials, locations of distribution and collection points, capacity and time, the assignment of vehicles to customers or suppliers is done to increase the efficiency of processes and reduce logistics costs. In general, the main objectives of vehicle routing problems are as follows: Minimizing the total route cost, minimizing the costs of vehicles (fixed costs or variable costs), minimizing the total route time, minimizing the number of vehicles, minimizing routes times, if there are customers who cannot meet the their demand on time or in full, minimizing the total penalty cost for these customers. In addition, some studies in the literature have been used often workload balancing as a second goal of vehicle routing problems. The first study in vehicle routing problems was done by Dantzing and Ramser in 1959. This study aims to provide an optimal routing plan with using homogeneous vehicle fleets. Five years after this study, Clarke and Wright extended this study as optimisation problem and created today's vehicle routing problem. However, with the increase of the complex structures of today's firms, presented models in 1960s are insufficient to respond to company needs. For this reason, for solving the real life problems heuristic and meta- heuristics approaches have been developed.

In many methods developed for vehicle routing problems, the problem parameters are are considered to be known, precise, and unchanging data. But in real life,

especially in the transportation industry there are many uncertainties, and these uncertainties have made the problems very complicated. Using the exact solution methods for such problems and trying to achieve the best solution make the problems more complicated by making the solution impossible. Therefore, considering today's competitive conditions, instead of wasting unnecessary money and time for the best solution, searching for the best solution for the best will bring more viable solutions. Heuristic and Metaheuristic methods aim to find the closest solution to the best to minimize the time spent solving the problem.

On the other hand, in real life problems there are uncertainties due to lack of information. For the solutions of this kind of vague, probability theory and statistics have been used for many years. Both methods use a logic that relies on the truth in suggestions, meaning that a proposition is either true or false. However, expressions may not always be clear. They can be partially true or partially wrong and this cause to fuzzy environments. If information is not mathematically precise and clear, solution of the classical methods does not provide results. For this reason Zadeh was developed fuzzy logic and fuzzy set theory. According to Zadeh, if we have more information about the system, complexity in the problems is reduced. On the other hand, as the complexity increases, definite and meaningful expressions can not be established and uncertainty occurs. Zadeh called this situation as fuzzy.

The developed model under this study is provided by the needs of an industrial organization which is operating in the fast moving consumer goods industry. Due to there is no enough storage areas in the plant, the company has rented another warehouse. But due to the high cost of renting a warehouse and material movements between the main depot and the rental warehouse, significant increase in production expenses was realized. For this reason, efforts have been initiated to reduce transportation and storage costs by planning and logistics departments. In this study, it was determined that, the 53% of raw materials which hold in the rental warehouse are belong to only eight local suppliers. For this reason, to reduce shipping and storage costs, vehicle routing plan was designed for raw material collection network. With this new design, assigned trucks collect the goods and delivery the goods to directly to plant. The trucks should leave from the plant and should return back to the factory by collecting raw materials from suppliers. Purchased products should be delivered directly to the main warehouse in the factory without being stocked in the rental warehouse.

The first goal to be achieved with the solution of the problem is minimizing the total route cost. In addition, completion material collection operations in the minimum time is important for the company. The manufacturer is working with a carrier company for raw material procurement. This company has different types of trucks. For this reason, total processing times have been added to the model as a second goal and the problem has been transformed to multi-objective mixed integer linear programming model with heterogeneous fleet. Due to each supplier has defined time zones for material loading, time windows were added the models. In addition that firm has two different satisfaction degrees for goals of models, and this situation cause the uncertainty. To eliminate uncertainties, multi-objective mixed-integer linear programming model is solved by fuzzy modelling.

For the solution of the model, augmented max-min model was used to transform fuzzy objective model to the single objective function model. Augmented model was preferred due to give more balanced solutions. GAMS 24.1 solver was used for the solution of the model.

According to the results obtained, products from eight suppliers can be taken with a total of four vehicles. Total cost of routes was calculated as 3026 TL and all vehicles return to factory until 14 o'clock so the factory can be used same trucks for internal movements again. Because the products were directly placed in the production site without being stored in the rental warehouse, thirty percent profit was achieved in total cost due to the reduction in storage and internal transports.

In this master thesis, the data of a real problem was used and the solution was calculated according to this data. But some assumptions were used for simplify the problem. As an example, the changes in demand are not considered as part of the thesis. In real life applications there will be cases where demand is uncertain. Therefore, it is suggested that the model can be expanded for cases where the demand is uncertain. In addition that, If the number of suppliers and vehicles in the model increases, the solution of the model will take a long with exact solution methods. For this reason heuristic and meta-heuristics approaches can be used in future studies.





1. GİRİŞ

Günümüz koşullarında, rekabet avantajı elde edebilmek için firmalar üretim faaliyetleri ve pazarlama etkinliklerinin yanı sıra, tedarik zinciri yönetimine de önem vermek zorundadırlar. Tedarik zincirinin en önemli halkası olan lojistik yönetimi verimliliğin artırılmasına, üretim maliyetlerinin düşmesine, servis hızının artmasına, nakit akışının hızlanmasına, kalitenin artmasına ve dolayısıyla müşteri memnuniyetinin artmasına bağlı olarak pazarda büyümeye ve rakabet avantajı kazanılmasına yardımcı olmaktadır.

Lojistik yönetiminin iki önemli parçası olan dağıtım ve depolama faaliyetlerinin yarattığı maliyetler, üretim maliyetlerinin önemli bir kısmını oluşturmaktadırlar. Bu sebeple, bu alanlarda yapılan maliyet azaltma çalışmaları firmaların kârlılıklarının artırılmasına yardımcı olmaktadır. Matematiksel yöntemler ve teknolojik araçlar ile desteklenen çözümler, sonuçların daha hızlı alınmasını sağlayarak firmalara rekabet avantajı sağlamaktadır.

Hazırlamış olduğum bu tez çalışması, hızlı tüketim sektöründe faaliyet gösteren bir sanayi kuruluşunun ihtiyaçlarından yola çıkılarak oluşturulmuştur. Tez kapsamında, firmanın ham madde tedarik maliyetlerinin düşürülmesi amacı ile bir dağıtım ağı modeli hazırlanmıştır. Hazırlanan bu modelin çözümü ile en az taşıma maliyetini ve işlem süresini veren araç rotalarının bulunması hedeflenmiştir. Literatürde araç rotalama problemleri ile ilgili olarak bir çok çalışma vardır. Ancak firmanın araç filosunun heterojen olması, tedarikçilerinin sadece belirli zaman aralıklarında hizmet vermesi ve amaçlardaki belirsizlik, problemi karmaşık bir hâle getirmiştir. Tez kapsamında geliştirilen bu model ile başka firmaların benzer gerçek hayat problemlerinin çözümüne de yardımcı olmak amaçlanmıştır.

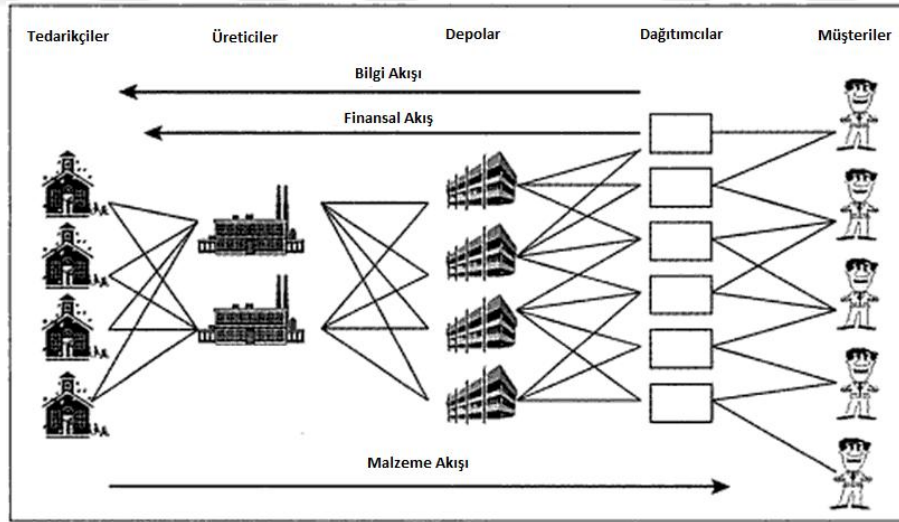
Bu çalışmanın ikinci bölümünde tedarik zinciri ve lojistik kavramlarına değinilmiştir. Üçüncü bölümde literatürdeki araç rotalama problem türleri incelenmiştir. Dördüncü bölümde literatürde araç rotalama problemlerinde kullanılan çözüm yöntemleri ele alınmıştır. Beşinci bölümde bulanık mantık ve literatürde çalışılan bulanık doğrusal programlama modelleri anlatılmıştır. Altıncı bölümde teze konu olan firmanın

problemi detaylı bir biçimde anlatılıp kurulan modelin detaylarına ve problemin çözümüne yer verilmiştir. Son olarak yedinci bölümde sonuçlar tartışılmış ve gelecek çalışmalar için öneriler sunulmuştur.



2. TEDARİK ZİNCİRİ YÖNETİMİ

APICS'e göre tedarik zinciri; ham madde aşamasından bitmiş ürüne dönüştürme ve bitmiş ürünün son müşteriye veya tüketiciye aktarılması aşamasına kadar uzanan bir ölçekte, fiziksel ve teknolojik araçlar, süreçler ve yöntemlerden oluşan bütünleşik bir ağ olarak tanımlanmaktadır. Tedarik zinciri, ürün ve servislerin ham madde aşamasından son kullanıcıya ulaşan son ürün aşamasına kadar olan dönüşümünün tümünü kapsamaktadır. Tedarik zinciri yönetimi ise, son kullanıcıya etkili ve verimli bir şekilde değer sağlamak için malzeme, bilgi ve para akışının planlanması ve kontrol edilmesidir [3]. Tedarik zinciri sadece üreticiler, tedarikçiler ve dağıtımıcılardan oluşan bir yapı değildir, aynı zamanda depo yönetimini, nakliyecileri ve en önemlisi müşterileri de içermektedir. Şekil 2.1 tedarikçiler, üreticiler, depolar, dağıtımıcılar ve müşterilerden oluşan tedarik zinciri ağını şematik olarak göstermektedir.



Şekil 2.1 : Tedarik zinciri ağı [3]

Son yıllarda firmalar sadece pazarlama stratejileri ile değil, kurmuş oldukları tedarik zinciri ağı ile de pazarda rekabet avantajı elde edebileceklerinin farkına vardılar. Müşteriler ürünü ve servisi doğru yerde, doğru zamanda, uygun kalitede ve uygun

fiyata elde etmek istemektedirler. Kurulan tedarik zinciri ağı ile istenilen servis düzeyi yakalanılamadığı takdirde, müşteriler artık zincirin bir elemanı olmayı bırakacaktır.

2.1 Tedarik Zinciri Yönetiminin Gelişimi

Geçtiğimiz son yüzyıl içerisinde tedarik zinciri yönetiminde üç ana gelişme yaşanmıştır. Birinci ana gelişme, 1910-1920 yılları arasında Ford Motor Company tarafından geliştirilen bütünleşik tedarik zinciri yönetimidir. Henry Ford geliştirmiş olduğu üretim sistemi ile bir otomobilin üretim çevrim zamanını 81 saate kadar düşürmüş, tek çeşit otomobil üretimi ile oldukça verimli ama esnek olmayan bir tedarik zinciri geliştirmiştir. Fakat bu tedarik zinciri yapısı müşterilerine farklı ürün alternatifleri sunmadığı ve pazar talebini anlayamadığı için uzun dönemde kalıcı olamamıştır [3].

Birinci ana gelişmenin sonuna, yani 1960'lara kadar üretim endüstrisinde bir çok değişiklik yaşanmış ve ürün çeşitliliği ciddi oranda artmıştır. Bu sebeple tedarik zincirleri çok daha esnek ve verimli bir hâl almak zorunda kalmış ve bu yüksek ürün çeşitlerini çok fazla envanter tutmadan yönetme ihtiyacı ortaya çıkmıştır. Toyota Motor Company'nin bu problemi farketmesiyle ikinci ana gelişme süreci başlamıştır. Toyota'nın tedarik zinciri anlayışına göre sadece ana montaj ve önemli parçaların üretimi Toyota tarafından yapıp geri kalan tüm bileşenler ise tedarikçiler tarafından stoklanıp sevkiyatı sağlanmaktadır. Toyota tedarikçileri ile uzun süreli ilişkiler kurup onları montaj hattına yakın lokasyonlara konumlandırmıştır. Şu anda yalın üretim sistemi olarak bildiğimiz bu sistem ile Toyota çok az stok tutarak üretim hazırlık zamanını birkaç saatten birkaç dakikaya kadar düşürmeyi başarmıştır. Tedarik zincirindeki bu gelişmenin getirdiği büyüme etkisi ve müşteriye daha yakın olma gereklilikleri ile Toyota, dünyanın farklı yerlerinde montaj hatları kurmaya başlamıştır. Farklı üretim lokasyonları mevcut tedarikçilerin de yeni üretim hatları kurma gerekliliğini beraberinde getirmiştir. Böylece "keiretsu" sisteminin maliyet avantajı yavaş yavaş azalmaya başlamıştır ve elektronik data aktarımında yaşanan gelişmeler ile birlikte de üçüncü ana gelişmenin önü açılmıştır [3].

Bilgi teknolojilerindeki gelişmelerle birlikte Dell Computers, müşterilerine bilgisayarlarını kendi ihtiyaçlarına göre uyarlama fırsatını vermiştir. Dell, Toyota'dan farklı olarak, kendi teknoloji ve maliyet liderliğini elinde tutmasına katkı sağlayacak

tedarikçilerle çalışmıştır. Tedarikçilerini elektronik ortama entegre ettiği için, tedarikçileri ana montaj hatlarına yakın lokasyonlarda konumlandırmadan kolayca yönetebilmiştir. Tedarikçilerine olan siparişlerini talep tahminlerine göre değil gerçek müşteri sipariş adetlerine göre yönetebilmiştir. Böylece ham madde stoğunu ciddi bir şekilde düşürerek marketteki herhangi bir değişime çok hızlı bir şekilde yanıt verebilmiştir [3].

2.2 Tedarik Zinciri Kararları

Tedarik zinciri ile verilmesi gereken kararlar, stratejik (tasarımsal) kararlar ve operasyonel kararlar olarak iki ana gruba ayrılır.

- Stratejik kararlar: Uzun vadeli kararlar olup kısa vade için oldukça maliyetlidirler. Stratejik kararlar aşağıdaki kritik konuları içermektedir:
 - Kapasite ve lokasyon seçimi ile ilgili kararlar,
 - Üret ya da satınal kararları,
 - Stoklama ve taşıma kararları.
- Operasyonel kararlar: Firmanın stratejik kararları verildikten sonra, tedarik zinciri operasyonlarının yönetimi için kısa vadeli aldığı kararlara "operasyonel kararlar" adı verilir. Bu kararlar üç ay ile bir yıl arasındaki süreçleri kapsayan taktik seviye kararlar ve bir gün ile bir ay arasındaki süreçleri kapsayan operasyonel seviye kararlardan oluşur. Taktik ve operasyonel seviye kararların ikisi de aşağıdaki konuları içermektedir:
 - Talep tahmini,
 - Satınalma planlama ve kontrolü,
 - Üretim planlama ve kontrolü,
 - Dağıtım planlama ve kontrolü,
 - Stok yönetimi,
 - Taşıma yönetimi,
 - Müşteri sipariş prosesi,
 - Tedarik zincirinin diğer elemanları ile olan ilişkilerin yönetimi.

2.3 Tedarik Zincirinde Lojistik Yönetimi

Amerikan Lojistik Yönetimi Konseyi tarafından yapılan tanımlamaya göre lojistik, stoklanan ham maddelerin, işlem gören yarı mamullerin, bitmiş ürünlerin ve bunlarla ilişkili tüm bilgilerin müşteri ihtiyaçlarını karşılamak amacıyla üretim noktasından son kullanıldığı tüketim noktasına kadar olan hareketinin ve depolanmasının maliyet etkili bir biçimde planlanması, uygulanması ve kontrol edilmesidir. Lojistik fonksiyonlarının en temel amacı ürün ve hizmetleri müşterinin seçmiş olduğu lokasyona zamanında dağıtımını gerçekleştirmektir. Bu amaç gerçekleştirilirken maliyet dengesi de gözetilmelidir [6].

Tedarikçi yönetiminin temel amaçları aşağıdaki gibi listelenebilir [6]:

- Envanterin azaltılması,
- Güvenilir ve sürekli dağıtım performansı,
- Nakliye maliyetlerinin azaltılması,
- Minimum hasarlı ürün,
- Hızlı yanıt.

Lojistik yönetiminde, bir tedarikçiden malzemenin üretici firmaya, oradan da son tüketiciye olan akışı tek bir zincir olarak değerlendirilir ve müşteri memnuniyeti artırılırken maliyetlerin azaltılması amaçlanır. Bu sebeple lojistik yönetim süreci aşağıdaki tüm faaliyetleri kapsamaktadır [6].

- Sipariş yönetimi: Sipariş yönetimi, lojistik operasyonlarındaki en önemli adımlardan biridir. Satınalma siparişleri satıcı ve alıcı arasındaki en önemli yasal dokümanı oluşturur ve ürün detayları, fiyat, teslimat zamanı ve şekli, ödeme dönemi, vergiler ve diğer ticari bilgileri içermektedir. Sipariş işlemini aşağıdaki adımlar izler:

- Sipariş kontrolü,
- Stoktaki malzemenin kontrolü,

- Stoksuz olma durumunda üretim ve malzeme planları,
- Sipariş onayı.

Sipariş yönetiminin yavaş ve karmaşık olduğu organizasyonlarda söz verilen teslimat zamanlarına uymada zorluklar yaşanmaktadır. Bu durum toplam lojistik maliyetlerinin artmasına neden olmaktadır. Bu sebeple, sipariş yönetimi iyi bir günlük operasyonel takip ve planlama gerektirmektedir [6].

- Envanter yönetimi: Envanter yönetimi ile stok taşıma maliyetini mümkün olduğunca düşük tutacak şekilde müşteri ihtiyaçlarını karşılayacak stoğu sağlamak hedeflenmektedir. Özetle, beklenen hizmet seviyesini karşılayacak şekilde, stoksuzluk maliyeti ile stok tutma maliyeti dengede tutulmaya çalışılmaktadır. Envanter yönetiminde, müşteri memnuniyeti ve maliyet olmak üzere iki temel yaklaşım mevcuttur. Firmalar bu iki yaklaşımı dengeleme amacıyla, özellikle üretici ve tedarikçinin yakın ilişki içinde oldukları tam zamanlı üretim gibi teknikler kullanarak envanter maliyetlerini azaltmaya çalışmaktadırlar [6].
- Depolama: Depolama faaliyetleri lojistik yönetiminde çok önemli bir rol oynar. Organizasyonun pazarlama stratejisindeki etkinliği depolama alanında verdiği kararlarla oldukça ilişkilidir. Depolama faaliyetleri firmaların en temel maliyet kalemlerinden birini oluşturur ve burada oluşan herhangi bir problem direkt olarak son kullanıcıyı etkileyebileceği için de firmalar için oldukça önem taşırlar. Depolama kararları lojistikteki en temel karar alanlarından biri olup aşağıdaki gibi sıralanabilirler [6]:
 - Depoların lokasyonları,
 - Depoların sayısı ve büyüklükleri,
 - Depo binasının yerleşim tasarımı,
 - Depo yönetimi.
- Nakliye: Sipariş işleminin tamamlanması için, sipariş verildikten sonra ürünlerin son müşteriye olan hareketinin tamamlanmış olması gerekmektedir. Ülkedeki taşıma altyapısına bağlı olarak firmalar nakliye türlerini seçmektedirler. Maliyet bu seçimlerdeki en önemli karar kriteridir. Özellikle düşük maliyetli ve büyük hacimli ürünlerde, taşıma maliyetlerinin toplam ürün maliyetlerine oranı %70'e

kadar çıkabilmektedir. Bununla beraber müşteri tarafındaki aciliyetlere bağılı olarak müşteri memnuniyetini arttırmak amacıyla maliyetler ikinci plana atılıp hızlı ama pahalı nakliye türleri tercih edilebilir. Firmalar yatırım gerekliliklerini, operasyonel maliyetleri, sahip olunan deneyimi ve güvenilirliği gözönüne alarak kendi filolarına sahip olma ya da taşeron bir firmadan nakliye hizmeti alma kararını vermelidirler [6].

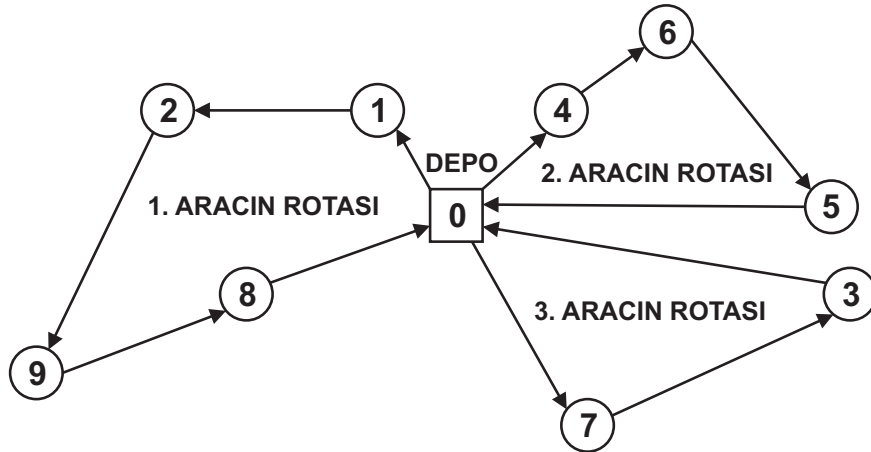
- Malzeme taşıma ve depolama sistemleri: Envanter hareketlerinin hızı, depoların kullandıkları malzeme taşıma yöntemlerine göre belirlenir. Uygun olmayan malzeme taşıma ve depolama yöntemleri hasarlı malzeme ve geç teslimat oranlarını arttırmaktadır. Uygun seçilen malzeme depolama sistemi depo alanının en etkin şekilde kullanılmasını sağlarken, uygun malzeme taşıma sistemleri ile desteklendiğı durumlarda hareket hızı ciddi bir artış göstermektedir [6].
- Paketleme: Lojistik veya endüstriyel paketleme, ürünlerin fiziksel dağıtımındaki etkinliğin arttırılmasında önemli rol oynar. Ürünlerin birincil paketlemeleri pazarlama faaliyetlerinin amaçlarına hizmet ederken, ikincil (dış) paketlemeleri ürünlerin daha az yer kaplayarak stoklanmasını, kolay bir şekilde taşınmasını ve ürünlerin zarar görmeden hareket görmesini sağlar. Bu sebeple ürünlerin yapılarına özel lojistik paketlemelerin tasarlanması, paketleme ve hasarlı ürün maliyetlerinin minimum seviyede tutulmasında önemli rol oynar [6].
- Bilgi teknolojileri: Bilgi teknolojilerinin etkin kullanımı müşteri hizmet düzeyinin artışına önemli katkılar sağlamaktadır. Bilgi teknolojilerinin sipariş yönetimi, envanter hareketlerinin kontrolü ve gerekli analizlerde kullanımı firmaların karar almalarını destekleyerek, rekabet avantajı kazanmalarını sağlamaktadır [6].

3. ARAÇ ROTALAMA

Araç rotalama problemleri dağıtım yönetiminin kalbini oluşturmaktadır [7]. Günümüzde birçok firma veya organizasyon mal veya insan dağıtım ve toplama işi ile meşguldür. Bu sebeple bir çok algoritma ve yazılım geliştirilmiş ve geliştirilmeye devam edilmektedir. Araç rotalama problemleri, belirli bir amaca göre, aracın en uygun rotalara atanabilmesi için kullanılır.

Bu konudaki ilk çalışma 1959 yılında Dantzing ve Ramser tarafından kamyon dağıtım problemi üzerine ele alınmıştır [8]. Bu çalışma ile homojen araç filoları kullanarak optimum bir rotalama planı sunmak amaçlanmıştır [9] ve ana bir depodan gidilen mesefayı minimize edecek şekilde farklı akarkaykıt istasyonlarının akaryakıt taleplerini karşılamak için bir model sunulmuştur [10]. Bu çalışmadan 5 yıl sonra, yani 1964 yılında ise Clarke ve Wright bu çalışmayı doğrusal optimisasyon problemi olarak genelleştirmişler ve bugün “araç rotalama problemi” olarak ele aldığımız yöneylem araştırmalarının bir alanını oluşturmuşlardır [10].

Günümüzdeki firmaların karmaşık yapılarının artması ile 1959 ve 1964’de sunulan modeller firma ihtiyaçlarına cevap vermekte yetersiz kalmıştır. Bu sebeple gerçek hayat problemlerinin çözümü için sezgisel ve üstsezgisel yöntemler geliştirilmiş ve daha sıklıkla kullanılmaya başlanmıştır [10]. Şekil 3.1 tek depolu araç rotalamayı gösteren örnek bir şemadır.



Şekil 3.1 : Araç rotalama örnek şeması

Genel olarak, araç rotalama problemlerindeki temel amaçları şu şekilde sıralayabiliriz:

- Toplam rota maliyetini minimize etmek,
- Araçların maliyetlerini (sabit maliyetler ya da değişken maliyetler) minimize etmek,
- Talebi karşılanamayan müşteriler varsa bu müşterilerden gelecek olan toplam ceza maliyetlerini minimize etmek,
- Toplam rota zamanını minimize etmek,
- Araç sayısını minimize etmek,
- Rotaların sürelerini minimize etmek,

3.1 Araç Rotalama Problemi Türleri

3.1.1 Klasik araç rotalama problemi (KARP)

Klasik araç rotalama problemi kombinatoriyal optimisasyon problemlerinin en popüler olanıdır ve genelde gezgin satıcı problemleri olarak genelleştirilir [7]. Klasik araç rotalama problemler, simetrik araç rotalama problemleri ve asimetrik araç rotalama problemleri olmak üzere ikiye ayrılır. Simetrik araç rotalama problemleri genelde şu şekilde tanımlanır:

$G = (V, E)$: Bir Serim

$V = 0, \dots, n$: Düğüm Kümesi

Her bir düğüm $i \in V \setminus \{0\}$ negatif olmayan bir müşteri talebi q_i 'yi temsil etmektedir. 0 noktası ise depoyu göstermektedir.

Her bir kenar $e \in E = \{(i, j) : i, j \in V, i < j\}$ taşıma maliyeti c_e veya c_{ij} ile ilişkilendirilmiştir. Her bir filo m adet aynı türde araca sahiptir ve her aracın kapasitesi Q 'dur. Simetrik araç rotalama problemlerinde m adet rotanın toplam taşıma maliyetinin minimizasyonu hedeflenmektedir. Buna göre:

1. Her bir müşteri bir rota tarafından sadece bir kere ziyaret edilmelidir,
2. Her bir rota depoda başlamalı ve depoda bitmelidir,

3. Bir rotadaki müşteri talepleri toplamı Q araç kapasitesini aşmamalıdır,
4. Her bir rotanın uzunluğu başta belirlenen L limintini aşmamalıdır.

Burada genellikle araç hızları sabit kabul edilmektedir. Böylece mesafe, seyahat süresi ve seyahat maliyetleri karşılaştırılması daha gerçekçi sonuçlar verecektir.

Asimetrik araç rotalama problemlerinde ise yine benzer şekilde:

$G = (V, A)$: Bir serim

$A = \{(i, j) : i, j \in V, i \neq j\}$: Ayrıt kümesi

Eğer G yönlü bir serim ise, c maliyet matrisi asimetriktir, yani $c_{ij} \neq c_{ji}$ olur.

Tek depolu klasik bir araç rotalama probleminin doğrusal modeli aşağıdaki gibidir [11]:

M : Araç sayısı

N : Müşteri sayısı

d_{ij} : i noktası ile j noktası arasındaki mesafe

q_i : i müşterisinin talep miktarı

$$x_{ijk} = \begin{cases} 1, & \text{eğer } k \text{ aracı } i \text{ noktasından } j \text{ noktasına hareket ederse} \\ 0, & \text{aksi takdirde} \end{cases} \quad (3.1)$$

Amaç fonksiyonu:

$$\min Z = \sum_{i=0}^N \sum_{j=0, j \neq i}^N \sum_{k=0}^M d_{ij} X_{ijk} \quad (3.2)$$

Kısıtlar:

$$i = 0 \text{ için } \sum_{k=1}^M \sum_{j=1}^N X_{ijk} = M \quad (3.3)$$

$$i \in \{1, \dots, N\} \text{ için } \sum_{k=1}^M \sum_{j=0, j \neq i}^N X_{ijk} = 1 \quad (3.4)$$

$$j \in \{1, \dots, N\} \text{ için } \sum_{k=1}^M \sum_{i=0, i \neq j}^N X_{ijk} = 1 \quad (3.5)$$

$$k \in \{1, \dots, M\} \text{ için } \sum_{i=1}^N X_{i0k} \leq 1 \quad (3.6)$$

$$k \in \{1, \dots, M\} \text{ için } \sum_{i=1}^N q_i \sum_{j=0, j \neq i}^N X_{ijk} \leq C \quad (3.7)$$

Amaç fonksiyonu denklem (3.2)'de amaç, toplam mesefeyi minimize etmektir. Denklem (3.3) toplam araç sayısının M adet olduğunu belirtir. Denklem (3.4) bir müşterinin sadece bir kez ziyaret edilmesi gerektiğini, denklem (3.5) ise müşteriye gelen ve müşteriden çıkan yollardan sadece bir tanesinin kullanılmasının zorunlu olduğunu ifade eder. Denklem (3.6) bir aracın sadece bir rotada kullanılması şartını garanti altına alır. Denklem (3.7) ise, yapılan yüklemelerin araç kapasitelerini aşmamasını sağlar.

3.1.2 Heterojen filolu araç rotalama problemi (HFARP)

Gerçek hayattaki bir çok dağıtım probleminde müşteri talepleri birbirinden farklı tür ve büyüklükteki araçlarla karşılanmaktadır [9]. Bu sebeple firmalar, farklı türdeki araçlara sahip olmak ile taşıma işlemlerini taşere etme arasında karar vermek zorunda kalmaktadırlar. Filo boyut karar problem modelleri, bu noktada firmalara yardımcı olmaktadır. Heterojen filolu araç rotalama problemlerinde farklı tür ve kapasitede araçlar vardır ve verilen kararlar bu araçların sayısı ve çeşidinin seçilmesini içerebilir [9]. Bu problemlere literatürde ilk olarak Kirby, 1959 yılında “Filonuz doğru büyüklükte mi?” adlı tek sayfalık çalışması ile değinmiştir [12]. Ancak bu konuda literatürdeki ilk detaylı çalışma Golden ve arkadaşları tarafından yapılmıştır [9]. Bu çalışma ile Golden ve arkadaşları araç rotalamayı üç farklı problem tipinde incelemiştir [13]. Bunlardan ilki klasik araç rotalama problemidir. Bu problemde kapasiteleri ve sayıları bilinen araçlarla, sadece rotadan oluşan değişken maliyetler gözönüne alınarak toplam gidilen mesafeyi, böylelikle de toplam maliyetin de minimize edilmesi amaçlanmıştır. İkinci incelenen problem, filo büyüklüğü problemidir. Bu problemin çözümü ile araçların sabit ve kilometre başına değişken maliyetleri gözönüne alınarak müşteri talebini karşılayacak araç sayısının belirlenmesi amaçlanmıştır. Üçüncü incelenen problem ise filo büyüklüğü ve karışımı problemidir. Bu problemde tüm maliyetleri aynı kabul edilen farklı kapasitedeki araçlardan oluşan filonun optimize edilmesi amaçlanmıştır [13].

Baldacci ve arkadaşları ise heterojen araç rotalama problemlerini, araçların sabit maliyetlerinin olup olmasına, rotalama maliyetlerinin gidilen yere bağlı olup olmasına ve filo boyutunun sınırlı ya da sınırsız olmasına göre sınıflandırmışlardır [14].

Baldacci ve arkadaşları, problemi $G = (N, A)$ grafiğine göre modellenmiştir. Burada $N = \{0, \dots, n\}$ müşteri noktalarının kümesidir. $N = 0$ başlangıç deposunu temsil etmektedir.

$A = \{(i, j) : 0 \leq i, j \leq n, i \neq j\}$ ise yay kısmını oluşturur. c_{ij}^h taşıma maliyetini temsil etmektedir. f_{ij}^h ise ürün akışını temsil etmektedir. H ise farklı tiplerdeki araç sayısı kümesidir.

$$\sum_{h \in H} \sum_{j \in N} t^h x_{0j}^h + \sum_{h \in H} \sum_{i, j \in A} c_{ij}^h x_{ij}^h \quad (3.8)$$

Minimize:

$$\sum_{j \in N_0} x_{0j}^h \leq m_h, h \in H \quad (3.9)$$

$$\sum_{h \in H} \sum_{j \in N} x_{ij}^h = 1, i \in N_0 \quad (3.10)$$

$$\sum_{h \in H} \sum_{i \in N} x_{ij}^h = 1, j \in N_0 \quad (3.11)$$

$$\sum_{h \in H} \sum_{j \in N} f_{ji}^h - \sum_{h \in H} \sum_{j \in N} f_{ij}^h = q_i, (i, j) \in A, h \in H \quad (3.12)$$

$$q_j x_{ij}^h \leq f_{ij}^h \leq (Q_h - q_i) x_{ij}^h, (i, j) \in A, h \in H \quad (3.13)$$

$$x_{ij}^h \in \{0, 1\}, (i, j) \in A, h \in H \quad (3.14)$$

$$f_h^{ij} \geq 0, (i, j) \in A, h \in H \quad (3.15)$$

Amaç fonksiyonu denklem (3.8)'de amaç, araçların toplam sabit maliyetini ve toplam kilometre başına maliyetini minimize etmektir. Her çeşide ait araç sayısının maksimum sayısı denklem (3.9) ile sağlanmıştır. Denklem (3.10) ve denklem (3.11) ile her bir müşteri sadece bir kere ziyaret edilebilir. Denklem (3.12) ve denklem (3.13) ürün akışı kısıtlarıdır. Denklem (3.14) ve denklem (3.15) ise değişkenlerin negatif olmamasını sağlar.

3.1.3 Açık uçlu araç rotalama problemi (AUARP)

Özellikle dışarıya taşere edilen dağıtım operasyonlarında, nakliye firmalarına yapılan ödemeler sadece gidilen mesafeye göre yapıp araçların dönüş maliyetlerini kapsamamaktadır. Bu sebeple araçlar başladıkları noktalara dönmeyerek, başka müşterilere hizmet vermeye devam edebilirler. Açık uçlu araç rotalamanın klasik araç

rotalamadan farkı, rotaların depodan başlayıp bir müşteride sona eriyor olmasıdır [15]. Bu konu ile ilgili yapılan ilk çalışma 1981 yılında Lines Schrage tarafından yapılmıştır [15]. Açık uçlu rotalamanın amacı klasik araç rotalama problemleri ile benzerlik göstermekte olup genellikle ya araç sayısının ya da toplam taşıma maliyetlerinin en aza indirilmesidir [16].

3.1.4 Zaman pencereli araç rotalama problemi (ZPARP)

Klasik araç rotalama problemlerinde birinci amaç araç sayısının, ikinci amaç ise toplam seyahat mesafesinin minimize edilmesidir. Ancak bu ikinci amaç çok yüksek bekleme zamanlarına, dolayısıyla yüksek maliyetlere yol açabilir [17]. Kapasite kısıtlı araç rotalama problemlerindeki düğüm noktalarının her birine zaman kısıtları ekleyerek problem, zaman pencereli araç rotalama problemine dönüştürülür. Literatürde, a ile b kapalı aralığında tanımlanan zaman penceresinde, servise en erken başlama zamanı a_i , servise en geç başlama zamanı ise b_i ile gösterilmektedir. ZPARP'ın amacı, servis zamanlarını ve araç kapasitelerini göz önüne alarak her bir aracı en uygun rotalara atamak ve ziyaret edilecek müşteri sırasını belirlemektir [18].

3.1.5 Önce dağıt sonra topla araç rotalama problemi (ÖDSTARP)

ÖDSTARP' de, ürünlerin teslim edileceği müşteriler ve ürün teslim alınacak müşteriler olmak üzere iki farklı müşteri tipi mevcuttur. Ürünlerin teslim edileceği müşteriler, hat doğrultusunda bulunmakta ve literatürde linehaul müşteriler olarak isimlendirilmektedirler. İkinci müşteri tipi olan ve literatürde backhaul olarak tanımlanan ürün toplanılacak müşteri tipi ise geri toplama rotasında bulunmaktadır. Otomotiv sektöründe çalışan bir ana sanayi firması göz önüne alındığında, ana sanayi firması ham madde ve parça tedarikçi yapan tedarikçi firma backhaul müşteri tipine, ana sanayiye ait fabrika ise linehaul müşteri tipine örnek oluşturmaktadır. ÖDSTARP' nin genel amacı backhaul ve linehaul müşterilerinin maliyetini en aza indirgeyecek araç rotalarının tespitidir. Araçlar rotalara atanırken dikkate alınması gereken en önemli kısıt, aracın depodan hareketi öncesinde yüklenmesi gereken ürün miktarı ile müşteriden teslim alınacak olan ürün miktarının araç kapasitesini aşmaması gerekliliğidir. Linehaul ve backhaul müşterilerinin eş zamanlı olarak aynı

rotada bulunması durumunda, önce dağıtım yapılacak müşterilere akabinde de toplama yapılacak müşterilere gidilmesi gerekmektedir. [19].

3.1.6 Eş zamanlı topla-dağıt araç rotalama problemi (ETDARP)

Eş zamanlı topla dağıt araç rotalama problemlerinde dağıtım ve toplama işlemleri eş zamanlı olarak gerçekleşmektedir. Araç müşteriye geldiğinde müşterinin talebini teslim ederken depoya gönderilecek malzemeleri de teslim almaktadır. Eş zamanlı topla-dağıt ARP'ye, marketlere süt/soda şişelerinin teslim edilmesi esnasında boş şişelerin dolum tesislerine gönderilmek üzere araca yüklenmesi, kargo firmalarında ana depodan kolilerin bayilere dağıtılması, bayilerden gönderilecek olan kolilerin ana depoya taşınması örnek olarak verilebilir [20].

3.1.7 Mesafe kısıtlı araç rotalama problemi

Mesafe kısıtlı araç rotalama probleminde, belirlenmiş olan rotalara atanan her aracın gidebileceği maksimum mesafe kısıtı bulunmaktadır. Bu kısıt, araçların belirli bir süreden fazla yolculuk yapmaması veya herhangi bir aksaklıktan dolayı gecikmemesi durumlarında eklenmelidir [19]. T , araçların kat edebileceği maksimum mesafe kısıtı olmak üzere, denklem (3.16) aracın gidebileceği maksimum mesafeyi göstermektedir.

$$\sum_{i=0} \sum_{j=0} c_{ijk} X_{ijk} \leq T \quad (3.16)$$

3.1.8 Dinamik araç rotalama problemleri (DARP)

Dinamik araç rotalama ile ilgili yapılan ilk çalışma Psaraftis tarafından 1988 yılında yapılmıştır ve çalışmada dinamik ve statik araç rotalama problemleri arasındaki farklara değinilmiştir. DARP'de yer alan dinamiklik kavramı, araç rotalarının bulunması ve güncellenmesinde ihtiyaç duyulan bilgilerin zamana bağlı olarak açığa çıkmasından gelmektedir [21]. ARP'de probleme ait bilgiler planlama periyoduna başlamadan önce tamamıyla bilinmektedir ve planlama sonuna kadar değişmemektedir. Öte yandan DARP'de problem ile ilgili bilgilerin tamamı bilinmemekle beraber, planlama periyodu boyunca değişebilmesi de söz konusudur [21].

3.1.9 Stokastik araç rotalama problemi

Deterministik problemlerde, problemin verileri genellikle geçmiş veriler baz alınarak oluşturulur. Ancak gerçek hayat uygulamalarında belirsizlik problemlerin doğal karakteristiklerinden biridir [22]. Stokastik araç rotalama problemlerinde, problem elemanlarından bir ya da birden fazlası rastlantısaldır. Gerçek hayat verilerindeki belirsizlikler nedeniyle bu problemlerde servis süreleri veya müşteri talepleri olasılıksal verilerden oluşmaktadır ve problemlerin çözümü daha zordur [22].

3.1.10 Bölünmüş dağıtımli araç rotalama problemi

Bölünmüş dağıtımli araç rotalama problemleri ilk olarak Dror ve Trudeau tarafından 1989 yılında çalışılmıştır [23]. Geleneksel araç rotalama problemlerinde bir müşteri sadece bir kez ve bir araç tarafından ziyaret edilirken, bölünmüş dağıtımli araç rotalama problemlerinde müşteri talebi birden fazla aracın ziyareti ile karşılanmaktadır [23].

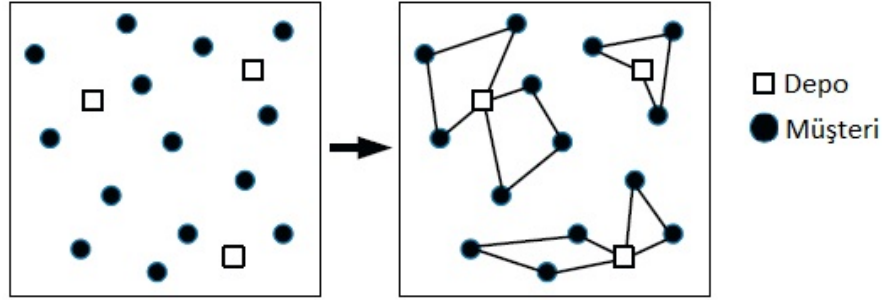
3.1.11 Çok amaçlı araç rotalama problemleri

Araç rotalama problemlerini oluşturan bileşenler ağ yapısı, talep, filo, maliyetler ve amaçlar olarak nitelendirilebilir. Araç rotalama problemleri üzerine yapılan birçok çalışmada sıklıkla toplam taşıma maliyeti veya toplam gidilen mesafenin en aza indirgenmesi gibi tek bir amacın çözümüne yönelik modeller geliştirilmektedir. Ancak lojistikteki çoğu problemde birden fazla amaç gözönüne alınarak en iyi çözüm değerlerinin bulunmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu sebeple iş yükü dengeleme gibi ikinci amaçlar problemlere dahil edilmektedir [24].

Litaratürde en yaygın olarak kullanılan amaçlar toplam seyahat mesafesini, toplam rota süresini, toplam rota maliyetinin en aza indirgenmesi ve servis kalitesinin en yüksek seviyeye çekilmesi olarak sıralanabilir. Tek amaçlı problemler genellikle ilk amaçla çatışacak şekilde ikinci bir amacın eklenmesi ile genişletilir ve gerçek hayattaki problemlerin çözümüne yönelik modeller geliştirilir [24].

3.1.12 Çok depolu araç rotalama problemi

Çok depolu araç rotalama problemlerinde araçların harekete başlayabileceği birden fazla depo bulunmaktadır. Araçlar, problemin tanımına göre başladıkları depoya geri dönebilir (sabitlenmiş) ya da bir limit olmaksızın bir müşteride rotayı tamamlayabilirler (sabitlenmemiş). Çok depolu araç rotalama problemlerinin çözümünde müşterileri belli gruplar altında toplamak sıklıkla tercih edilen bir yöntemdir. Her bir gruptaki müşteriler kendilerine en yakın olan depodan harekete geçen araç tarafından ziyaret edilir. Burada amaç, toplam taşıma maliyetlerini en aza indireyecek şekilde optimal rotalar oluşturmaktır [4]. Şekil 3.2 çok depolu araç rotalama problemini şematize etmektedir.



Şekil 3.2 : Çok depolu araç rotalama problemi [4]



4. ARAÇ ROTALAMA PROBLEMİ İÇİN LİTERATÜRDE ÇALIŞILAN ÇÖZÜM YÖNTEMLERİ

4.1 Kesin Çözüm Yöntemleri

Genelde gezgin satıcı problemleri gibi ziyaret edilen nokta sayısının 100'ü aşmadığı problemlerin çözümünde tercih edilen çözüm yöntemleridir. Tamsayılı modellerin çözümlerinde kullanılırlar ve optimum sonuç elde edilmesini sağlarlar. Daha karmaşık modellerin çözümlerinde yetersiz kalmaktadırlar. Kesin yöntemleri dal ve sınır algoritması, kesme düzlemi ve dinamik programlama olarak üç ana kategoride sınıflandırabiliriz.

4.1.1 Dal ve sınır algoritması

1980'lerin sonuna kadar klasik araç rotalama problemlerinin en etkili çözüm yöntemlerinden biri kabul edilen dal ve sınır algoritmaları, sonrasında yerini daha ileri bir kesin çözüm yöntemi olan Lagrangian ayrıştırması gibi yöntemlere bırakmıştır. [7]. Dal ve sınır algoritmaları, tamsayılı programlama problemlerinin çözümünde kullanılmaktadır. Doğrusal programlama modellerinde çözüm mutlaka uç noktalardan birisindedir, ancak tamsayılı programlamada DP'ye oranla olası çözüm sayısı daha fazladır.

Bu sebeple, dal sınır algoritması böl ve yönet stratejisiyle ürettiği her bir çözüm uzayını daha küçük problemlere çevirir. Elde edilen ve literatürde dallandırma noktaları olarak isimlendirilen her bir alt problemin, çözüme değer olup olmadığı amaç fonksiyon değerlerinin alt ve üst sınırlarla karşılaştırılmasıyla belirlenir. En aza indirgeme problemlerinde, çözümlenen alt problemin geçerli çözümlerine karşılık bir alt sınır değeri bulunur. Eğer alt sınır değerleri, bir üst sınır değerinden büyük veya ona eşitse alt problemlerin tamamı elemine edilir. Yöntem her değerlendirmeden sonra üst sınırın yeniden düzenlenmesini olanaklı kılacak biçimde tasarlanmıştır. Dallandırma elimine edilmemiş ve en küçük alt sınırlı alt problemlerde yapılır. Sınırlar arasındaki fark, daha iyi çözümler bulundukça azalır ve optimal çözüm bulunur. Maksimuma ulaşma

sorunlarında ise her alt problem için amaç fonksiyonunun değerine üst sınırlar bulunur. Her alt problem için bu üst sınırlar, optimum amaç fonksiyon değerine ilişkin bir alt sınır ile karşılaştırılır [25]. Alt problemlerin ortaya çıkmadığı bir noktaya gelene kadar, yani optimum sonuca ulaşınca kadar algoritmaya devam edilir. Tüm alt problemler sınırlandırılırsa algoritma sona erer.

4.1.2 Dal ve kesme düzlemi yöntemi

Dal ve kesme yöntemi tamsayılı programlama problemleri için oldukça etkili bir yöntemdir. Bu yöntem kesme düzlemi algoritması ve dal ve sınır yöntemlerinin bir birleşimidir. Eğer dallarda elde edilen çözümler tamsayı değilse, doğrusal programlama problemine ek bir doğrusal kısıtlayıcı eklenir. Eğer çözümler yine tamsayılı olarak bulunamazsa, tekrar kesme eklenebilir ya da problem tekrar dallara ayrılabilir [25].

4.1.3 Dinamik programlama

Dinamik programlama, problemi aşamalar halinde çözer ve her bir aşamada en uygun çözümü bulmaya çalışır. Dinamik programlama çok yaygın bir kullanım alanı olan yineleme denklemi ile en uygun şekle sokma tekniğidir. Diğer matematik programlama yöntemlerinde de en iyi çözüme aşamalarla gidilmektedir, ancak yaklaşım yineleme değil iteratiftir. Örneğin, doğrusal programlamada da optimum sonuca iterasyonla gidilir. Dinamik programlamada ise her aşama daha önceki aşamalar ile sırasal olarak ilişki içerisindedir. Bir alt problemin optimum çözümü bir sonraki alt problemin girdisidir. Son alt problem çözüldüğünde problemin tamamının optimum çözümüne ulaşılmış olur. Dinamik programlamanın diğer tekniklere göre üstünlüğü, zaman faktörünü değerlendirmesi yanında, çok boyutlu problemlerin çözümünde etkin hesaplama kolaylığı sağlamasıdır. En büyük dezavantajı bütün problemler için uygun gelen bir modelin ifade edilememesidir. Dolayısıyla her problem kendi içinde formüle edilme zorluğunu taşır [26].

4.2 Sezgisel Çözüm Yöntemleri

Araç rotalama problemleri için geliştirilen bir çok yöntemde, problem parametreleri önceden bilinen, kesin ve değişmeyen veriler olduğu kabul edilir. Ancak gerçek hayatta, özellikle de taşımacılık sektöründe bir çok belirsizlik mevcuttur ve bu belirsizlikler, problemleri çok karmaşık bir hale getirmiştir. Bu tarz problemler için kesin çözüm yöntemlerini kullanmak ve en iyi çözümü elde etmeye çalışmak problemleri daha karmaşık hale getirerek çözümü imkânsız kılmaktadır. Bu sebeple, günümüz rekabet şartları da göz önüne alınarak en iyi çözüm için gereksiz para ve zaman harcamak yerine en iyiye en yakın çözümü aramak daha uygulanabilir çözümler getirecektir. Sezgisel yöntemlerde amaç problemin çözümü için harcanan zamanı en aza indirgeyecek şekilde en iyiye en yakın çözümü bulabilmektir [27]. Litaratürde sezgisel yöntemler, klasik ve meta-sezgisel yöntemler olarak iki grupta ele alınır.

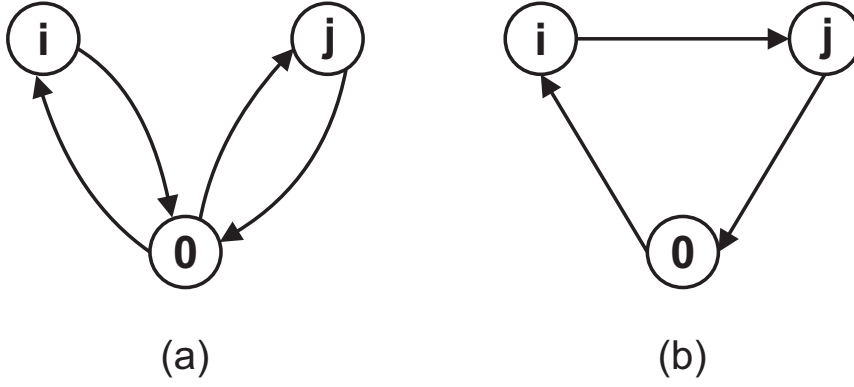
4.2.1 Klasik sezgiseller

4.2.1.1 Yapıcı sezgiseller

Yapıcı sezgiseller, klasik araç rotalama problemleri için geliştirilmiş ilk sezgisel yöntemlerdendir. Bu yöntemler genellikle boş bir çözüm ile başlayıp iterasyonlarla her bir müşteri için optimum rotaları oluştururlar [7]. Yapıcı sezgiseller paralel ve sıralı metodlar olmak üzere kendi içinde alt kategorilere ayrılırlar.

Clarke ve Wright tasarruf algoritması

Clarke ve Wright tasarruf algoritması (1964) klasik araç rotalama problemleri için geliştirilen ilk sezgisel yöntemlerdendir. Litaratürde en bilinen yöntemlerden biri olan bu algoritma iki müşteriye sıralı bir biçimde aynı rotada hizmet vermenin, iki ayrı rota ile müşterilere hizmet vermeye göre maliyet avantajını hesaplar [5]. Şekil 4.1, Clarke ve Wright tasarruf algoritmasını göstermektedir.



Şekil 4.1 : Temel tassarruf kavramı [5]

Eğer i bir rotadaki son müşteri ve j 'yide başka bir rotanın ilk müşterisi olarak kabul edersek ilgili tasarruf aşağıdaki gibi tanımlanır.

$$s_{ij} = c_{i0} + c_{0j} - c_{ij}$$

Eğer tasarruf değeri pozitif çıkarsa i ve j 'yi arka arkaya bir rotada ziyaret etmek ayrı ayrı rotalarda ziyaret etmeye göre daha karlı demektir [7]. Clarke ve Wright Tasarruf Algoritması tüm müşterileri çiftler halinde düşünür ve tasarruf değerlerine göre rotaları birleştirerek çözüme devam eder. Rotaların birleşiminde araç kapasitesi göz önüne alınır. Toplam talep araç kapasitesini geçemez. Genel olarak eğer tasarruf değeri pozitif ise rotaların birleştirilmesine karar verilir, ancak aynı zamanda araç sayısı da minimize edilmek isteniyorsa negatif tasarruflarla rota birleşimi de düşünülebilir.

Mole ve Jameson sıralı ekleme sezgiseli

Mole ve Jameson'ın 1976 yılında önerdiği bu algorithmada, seçme ve ekleme ölçütü olarak mevcut bir rotaya ek bir müşteri eklemekten kaynaklanan ekstra mesafe kullanır. Şöyle ki, i ve j mevcut rotanın iki müşterisi, k sonradan eklenecek olan müşteri, λ ise kontrol parametresi olacak şekilde ekleme kriteri aşağıdaki formülasyona göre hesaplanır.

$$\alpha(i, k, j) = c_{ik} + c_{kj} - \lambda_{ij}$$

Her bir müşterinin depolara olan uzaklıkları da hesaplamalarda dikkate alınabilir. Her bir ekleme sonrasında mevcut rota 3-opt yöntemi ile optimize edilebilir [7]. Bu yöntemle rotada yer alan 3 kenar silinir ve kalan olası yollar yeniden birleştirilir. Yeniden birleştirilme her bir alternatif yol için hesaplanır ve en iyi rota seçilir.

Christofides, Mingozzi ve Toth sıralı ekleme sezgiseli

Mole ve Jameson'ın algoritmasına göre daha etkili bir yöntem olan iki aşamalı sıralı ekleme sezgiseli Christofides, Mingozzi ve Toth tarafından 1979 yılında önerilmiştir. Birinci aşamada uygulanabilir rotaları tanımlamak için sıralı ekleme metodu uygulanırken, ikinci aşamada paralel ekleme yöntemi kullanılmaktadır. İlk aşamada temsilci bir müşteri seçilir ve diğer müşterilerin bu ilk seçilen müşteriye olan rotalama maliyetleri ayrı ayrı hesaplanır. En kısa mesafe ve/veya en düşük maliyet kriterlerine göre rotalanmamış müşteriler arasından seçim yapılarak rotaya eklenir ve Oluşan bu rota 3-opt yöntemi ile optimize edilir [7].

4.2.1.2 İki aşamalı yöntemler

İki aşamalı yöntemler araç rotalama problemlerinin çözüm yöntemine göre problemi iki ayrı alt probleme ayırır [7].

1. Kümeleme: Müşterilerin altkümelere gruplandırılır ve daha sonra bu kümeler rotalanır.
2. Rotalama: Her bir müşteri bir rotaya atanır, daha sonra ise rotalar kendi içlerinde gruplandırılırlar.

Süpürme algoritması

Süpürge algoritması önce kümele sonra rotala yaklaşımının ilk örneklerindendir. Yöntem Gillet ve Miller tarafından 1974 yılında önerilmiştir [7]. Süpürme algoritması araç rotalama problemlerinin düzlemsel örneklerine uygulanır [7]. Algoritma rastgele bir müşteri ile başlar. Sonrasında depo ve ilk müşterinin oluşturduğu doğrunun döndürülmesi ile oluşan bir polar açının arasında kalan diğer müşteriler, sırası ile araca atanır. Araç kapasite veya gidilecek toplam mesafe kısıtları aşıncaya kadar müşteriler araca eklenmeye devam eder. Kısıtlar aşıldığında yeni bir rota daha oluşturulur. Tüm müşteriler bir araca atandığında, her bir rota ayrı ayrı gezgin satıcı problemine göre optimize edilir [7].

Fisher ve Jaikumar algoritması

Önce kümele sonra rotala yöntemlerindendir. Araçları genel atama problemlerinin çözümüne göre gruplandıran yöntem, 1981 yılında Fisher ve Jaikumar tarafından önerilmiştir [7]. Öncelikle K adet çekirdek müşteri tanımlanır ve her bir K çekirdek müşterisi k araca atanır. Bu yöntemde araç sayısı sabit kabul edilir. İkinci adım olarak her bir i müşterisinin k araca eklenme maliyeti hesaplanır [28]. Çoğu durumda araca yeni müşteri ekleme maliyeti, müşterinin çekirdek müşteriye olan uzaklığına eşit kabul edilir. Müşteri ağırlıkları, araç kapasiteleri ve maliyet kısıtlarına göre genel atama problemi çözülür [7]. Her müşteri araca atanıp gruplar tanımlandıktan sonra, her bir rota kendi içinde gezgin satıcı problemi çözümüne göre optimize edilir [28].

Bramel ve Simchi-Levi algoritması

Bramel ve Simchi-Levi tarafından 1995 yılında geliştirilen algorithmada öncelikle merkezler, kapasiteli lokasyon probleminin çözülmesi ile hesaplanır ve m kadar merkez belirlenir. Sonrasında ise müşteriler, toplam taleplerinin Q araç kapasitesini geçmeyecek şekilde merkezlere olan mesafelerine göre gruplandırılıp rotaya ekleme maliyeti minimize edilecek şekilde rotaya eklenirler [7].

Kesilmiş Dal-Sınır yöntemi

Chritofides, Mingozzi ve Toth tarafından 1979'da önerilen bu algorithmada arama ağacı birden çok seviyede uygun araç rotalarını içerir. Ağacın her seviyesinde sadece bir adet dallanma vardır ve her iterasyonda rotilanmamış bir müşteri seçilerek uygun rotalar üzerinden rotaya dahil edilir. Kısıtlandırılmış ağaç birkaç olası rotanın her seviyede tutulması ile yapılandırılır [29].

Taç yaprağı algoritmaları

Süpürge algoritmasının doğal olarak genişletilmiş halidir [29]. Bu yöntemde taç yaprağı adı verilen birkaç olası rota oluşturulur ve final alt küme modelin parçalar halinde çözümünden elde edilir [7]. İlk olarak Foster ve Ryan tarafından 1976 yılında geliştirilmiştir. Renaud tarafından 1996 yılında model genişletilerek kesişen veya bütünleşik iki rota ele alınmış ve çift taç yaprağı adı verilmiştir [7].

Önce rotala sonra kümele metotları

Önce rotala sonra kümele yönteminde ilk aşamada yan kısıtlar dikkate alınmadan geniş bir gezgin satıcı problemi turu oluşturulur. İkinci aşamada ise bu tur uygun araç rotalarına ayrıştırılır [29]. Bu metodla ilgili literatürdeki ilk çalışma Beasley tarafından 1983 yılında yapılmış ve ikinci aşamanın standart bir en kısa yol problemi olduğu öne sürülmüştür. Haimovich ve Rinnoay ise eğer müşterilerin birim talebi varsa bu algoritmanın asimptotik olarak optimal olduğunu göstermişlerdir [29].

4.2.1.3 İyileştirici sezgiseller

İyileştirici sezgiseller tek seferde her rotayı ayrı ayrı ya da birden fazla rotayı ele alabilirler. Buna göre tek rota iyileştiricileri ve çoklu rota iyileştiricileri olarak iki gruba ayrılmışlardır [29]. Yerel arama algoritmaları genelde diğer sezgisellerin oluşturduğu başlangıç çözümlerini geliştirmek için kullanılır. Bu yöntemde daha iyi maliyetli çözümler elde etmek için müşterilerin yerleri değiştirilebilir. Eğer iyileştirilmiş çözüm bulunursa bu, mevcut çözüm olur. Aksi durumda yerel minimum çözüm belirlenir. Oldukça fazla çeşitlilikte komşuluk yapısı mevcuttur. Bu sebeple bu yapılar iç rota komşuluklarına bölünebilirler. En yaygın komşuluk yapısı Lin tarafından 1965 yılında gezgin satıcı problemleri için geliştirilen λ -opt sezgiselidir. Burada λ adet kenar mevcut çözümden kaldırılıp yerine λ adet kadar kenar eklenir. Pratikte en çok kullanılan λ değeri 2 veya 3'tür. Daha büyük λ değerleri için 4-opt komşuluk yapısı Renaud tarafından 1996 yılında geliştirilmiştir [7].

4.2.2 Metasezgisel yöntemler

Özellikle son yıllarda araç rotalama problemlerinin çözümü için çeşitli metasezgisel yöntemler geliştirilmiştir. Metasezgisel yöntemleri klasik sezgisel yöntemlerden ayıran en temel özellik daha geniş bir çözüm uzayında arama yaparak optimum olmayan orta seviyedeki sonuçların da araştırılmasına izin vermesidir. Çözüme ulaşma süresi klasik sezgisellere oran ile daha uzun zaman alabilir [29]. Metasezgisel yöntemleri 3 temel kategoriye ayırabiliriz [7]:

1. Yerel aramanın kullanıldığı, tavlama benzetimleri ve tabu arama,

2. Populasyon aramanın kullanıldığı genetik algoritmalar ve adaptif hafıza tabanlı algoritmalar,
3. Öğrenen mekanizmaların kullanıldığı yapay sinir ağları ve karınca kolonisi algoritmaları

Yerel arama algoritmaları, çözüm uzayında x_t çözümünden t iterasyonları ile x_t çözümünün $N(x_t)$ komşuluğundaki x_{t+1} çözümünü durma kriteri sağlanana kadar ararlar. Eğer $f(x)$, x çözümünün maliyetini simgeler ise $f(x_{t+1})$ mutlaka $f(x_t)$ 'den küçük olmalıdır [7]. Yerel algoritmalar bir çevrimi engellemek için uygulanmaktadırlar. Tavlama benzetimi yönteminde x çözümü $N(x_t)$ 'de rastgele olarak seçilir. Eğer $f(x) \leq f(x_t)$ ise o zaman $x_{t+1} = x$ olacaktır. Aksi durumda:

$$x_{t+1} = \begin{cases} x, & p_t \text{ olasılığı ile} \\ x_t, & 1 - p_t \text{ olasılığı ile} \end{cases} \quad (4.1)$$

p_t olasılığı denklem (4.2) ile ifade edilir.

$$p_t = \exp\left(-\frac{f(x) - f(x_t)}{\theta_t}\right) \quad (4.2)$$

Burada θ_t iterasyondaki sıcaklık değerini simgeler ve genellikle t 'nin artmayan fonksiyonu olarak tanımlanır. Tabu aramada ise çevrim oluşumunu engellemek için daha önceden gidilen komşuluklar (yasaklı çözümler) bir sonraki iterasyondan çıkarılır. t iterasyonu, $N(x_t)$ içindeki yasaklı olmayan en iyi x çözümünü bulmaya çalışır. Tabu arama hakkında bilinen ilk çalışma 1989 yılında Williard tarafından yapılmış olup 1990'lardan itibaren bir çok çalışma yapılmıştır. Osman ve Taillard'ın 1993 yılında önerdikleri algoritma ise araç rotalama için önerilen en başarılı tabu arama uygulaması olmuştur [7].

Populasyon arama algoritmaları çözüm populasyonlarının farklı nesilleri üzerinde çalışır. Bir populasyon arama algoritması olan genetik algoritmalarda, arama, tek bir noktadan değil noktalar kümesinden başlar. Öncelikle populasyondan iki ebeveyn çözüm seçilir ve çaprazlama ile iki yavru oluşturulur. Çözümlerin çeşitliliğini arttırmak için her bir yavru çözüme mutasyon operasyonu uygulanır. Populasyondaki $2k$ kadar olan kötü çözüm çıkarılıp yerine yeni oluşturulan $2k$ yavru çözüm eklenir [7]. Bu şekilde çözüm değerlerinin kalitesi arttırılmaya çalışılır. Genetik algoritmalar arama uzayının büyük ve karmaşık olduğu durumlarda kullanılırlar ve en iyi çözümleri makul

bir sürede bulabilirler.

Adaptif hafıza tabanlı algoritmalarda ise yavru çözümler çözüm uzayındaki farklı çözüm parçalarının birleştirilmesi ile oluşturulur. Adaptif hafıza kötü çözümlerin iyi çözümlerle sürekli olarak yer değiştirdiği bir havuzdur. Yeni çözümler elde etmek için havuzdan birkaç çözüm seçilir ve yeniden birleştirilir. Araç rotalama problemlerine olan uygulamasında araç rotaları bu çözümlerden çıkartılarak yeni çözüm için kullanılır. Bu çıkartılma daha önceden seçilen rotalarla çakışmama durumuna kadar devam eder [7].

Öğrenen mekanizmaların bir alt kategorisi olan yapay sinir ağları insan beyinde öğrenmeyi sağlayan biyolojik sinir sisteminin çalışma prensibinin matematiksel modellenmesidir. Yapay sinir ağları işlem birimi olarak da adlandırılan sinir hücrelerini içerirler. Bu işlem birimleri ağırlıklandırılmış olarak çeşitli şekillerde birbirlerine bağlanarak öğrenmeyi sağlayan ağı oluştururlar. Bir transfer fonksiyonu olarak görev yapan nöronlar diğer nöronlarla çeşitli sinyaller aracılığıyla haberleşerek sinyalleri birleştirme ve dönüştürme işlevleri ile sayısal bir sonuç ortaya çıkarırlar. Veri madenciliği alanında sınıflandırma, kümeleme, örüntü tanıma gibi konularda kullanılması yanı sıra optimizasyon problemlerinin çözümünde de kullanılmaktadır. İlk kez Hopfield ve Tank (1985) tarafından alan gezgin satıcı problemine uygulanmıştır [30].

Temel ilkeleri ilk kez Marco Dorigo tarafından ortaya atılmış olan karınca kolonisi algoritmaları ise, karınca kolonilerinin feromon salgılayarak yiyecek kaynakları ile yuvaları arasındaki en kısa yolu bulma yöntemlerinden esinlenerek oluşturulmuş bir tekniktir [30]. Bu teknik ilk kez gezgin satıcı problemlerinde uygulanmış ve edilen olumlu sonuçlar üzerine başka alanlarda da kullanılmaya başlanmıştır. Bu yöntemle göre öncelikle karıncalar oluşturularak şehirlere rastgele olarak yerleştirilir. Her bir karınca belirtilen alfa (feromon kuvvetlendirme oranı) ve beta (sezgisellik kuvvetlendirme oranı) değerlerine göre şehirleri dolaşarak rotaları oluştururlar. Her bir karıncanın rota mesafesi hesaplanır. Karıncaların rota mesafelerine göre alfa değeri artırılır. Feromon buharlaşma değerine göre bütün yollardaki feromon değeri azaltılır. Belirtilen hedef değere ulaşılan kadar işlemler tekrar edilir [30].

4.3 ARP için Sezgisel Metodların Değerlendirilmesi

Cordea ve arkadaşları klasik sezgisel yöntemlerle bazı metasezgisel yöntemleri kesinlik, hız, basitlik ve esneklik yönlerinden değerlendirmiştir [1]. Buna göre basit olan algoritmalar hızlı sonuç vermektedir, ancak üretilen sonucun kalitesi iyi değildir. Bu sebeple klasik sezgiseller kesinlik ve esneklikte başarılı sonuçlar vermemektedir. Clarke ve Wright tasarruf algoritması uygulaması, basitliği ve hızlı sonuç vermesi ile hala en çok tercih edilen çözüm metodlarındanıdır. Bununla birlikte, lojistik maliyetlerinde artış ve yüksek sayıdaki rota gereksinimleri firmaları daha fazla zaman harcayarak daha kesin sonuçlar alabildikleri metasezgisel yöntemleri kullanmaya zorlamaktadır. Çizelge 4.1 araç rotalama problemleri için klasik sezgisel metodların karşılaştırılmasını içermektedir.

Çizelge 4.1 : ARP için klasik sezgisel metotların karşılaştırılması [1].

Klasik Sezgiseller	Kesinlik	Hız	Basitlik	Esneklik
Clarke ve Wright Tasarruf Algoritması	Düşük	Çok Yüksek	Çok Yüksek	Düşük
Esleme Tabanlı Metotlar	Yüksek	Çok Düşük	Düşük	Düşük
Süpürme Yöntemi	Düşük	Orta Yüksek	Yüksek	Düşük
1-Taç Yaprağı Yöntemi	Düşük	Yüksek	Orta	Orta
2-Taç Yaprağı Yöntemi	Orta	Orta	Orta	Orta
Fisher ve Jaikumar Atama Tabanlı Yöntemi	-	Orta	Düşük	Düşük
Bramel ve Simichi-Lemi Lokasyon Tabanlı Algoritması	Orta	Düşük	Düşük	
Meta Sezgiseller	Kesinlik	Hız	Basitlik	Esneklik
Tabu Rota Algoritması	Yüksek	Orta	Orta	Yüksek
Taillard Tabu Arama Algoritması	Çok Yüksek	Düşük	Orta Düşük	Yüksek
Adaptif Hafıza Tabanlı Algoritmalar	Çok Yüksek	Düşük	Orta Düşük	Yüksek
Tanecikli Tabu Arama Algoritması	Yüksek	Orta	Orta	Yüksek
Bütünleşik Tabu Arama Algoritması	Yüksek	Orta	Orta	Yüksek



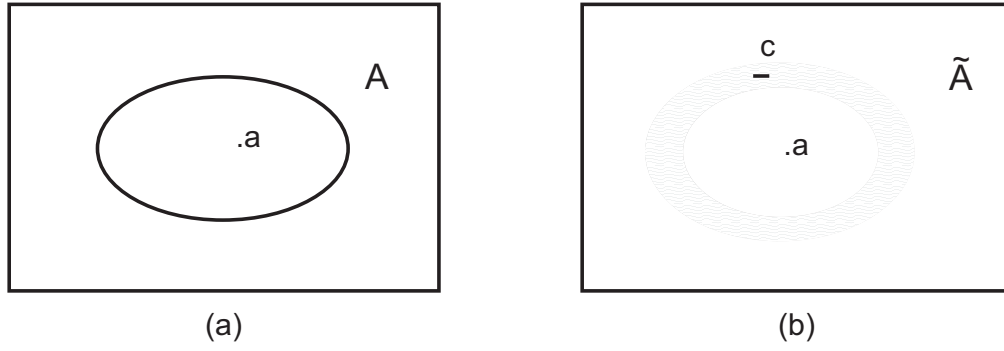
5. BULANIK MANTIK

Gerçek hayatta sıklıkla belirsiz durumlarla karşılaşırız. Bilgi eksiklikleri nedeni ile sistemlerin gelecek durumları tam anlamıyla bilinmemektedir. Bu tarz belirsiz durumların çözümleri için uzun yıllardır olasılık teorisi ve istatistik kullanılmaktadır. Her iki yöntemde de, önermelerin ya doğru ya da yanlış olduğu sonucunun doğruluğuna dayanan bir mantık kullanılmaktadır. Bundan dolayı, ifadelerin çok iyi bir şekilde tanımlandığı varsayılır. Ancak ifadeler her zaman net olmayabilir, kısmen doğru veya yanlış olabilirler ve bu durum da bulanıklık yaratmaktadır [31].

Sayısal olarak bir bilginin açık ve kesin bir biçimde tanımlanamadığı durumlarda, kompleks problemlerin klasik yöntemlerle çözümü sıkıntılı olacaktır. L.A. Zadeh, 1965 yılında belirsizlik ve bilinmezlik içeren problemlerin çözümü için “Bulanık Mantık” ve “Bulanık Küme Teorisi” ni geliştirmiştir. L.A. Zadeh’ e göre, sistemlerdeki karmaşıklıkların sebebi belirsizliklerin fazla olmasıdır. Ancak ve ancak sistem hakkındaki bilginin artmasıyla üstesinden gelinebilir. Belirsizliğin, dolayısıyla karmaşıklığın artması bir sistem hakkında kesin ve anlamlı ifadelerin kurulmasına engel olur. Yani, belirsizliği ve kesinliksizliği oluşturur. Bu durumu Zadeh, bulanıklık olarak isimlendirmiştir [2].

5.1 Bulanık Kümeler ve Üyelik Fonksiyonları

Bir elemanın bir kümeye ait olup olmadığı sorusu, klasik kümelerde, kümenin elemanıdır veya elemanı değildir şeklinde cevaplanabilir. Bu soru, bulanık kümelerde ise bu şekilde net cevaplanamayacaktır, çünkü bulanık kümelerin sınırları kesin değildir ve elemanın bulanık olarak tanımlanmış alana yaklaşması veya alandan uzaklaşmasına göre kümeye aitliği de değişmektedir. Şekil 5.1 klasik kümenin ve bulanık kümenin şematik gösterimidir. Bir elemanın, kümenin elemanı olması durumu "1", kümenin elemanı olmama durumu ise "0" ile ifade edilirse, şekil 5.1 (b)’ de gösterilen c elemanın kümenin elemanı olma durumu bulanıktır ve "0" ile "1" arasında bir değere sahip olmalıdır.



Şekil 5.1 : Kümelerin gösterimi: (a) Klasik küme (b) Bulanık küme

Bulanık küme elemanları için, kümeden uzaklaşmak üyelik derecesini azaltırken, yaklaşmak ise üyelik derecesini arttıracaktır [2]. Zadeh, her bir nesneyi "0" ile "1" arasında bir üyelik derecesi atayan üyelik fonksiyonu ile tanımlar.

Bulanık kümelerde üyelik fonksiyonu matematiksel olarak $\mu_{\tilde{A}}(x) : X \rightarrow [0, 1]$ olarak tanımlanır [2]. Burada $\mu_{\tilde{A}}(x)$, x elemanının $\tilde{A}$ bulanık kümesine üyelik derecesini ifade eder.

Klasik denklemde ise, üyelik fonksiyonu $X_A(X) = \{1, X \in A; 0, X \notin A\}$ şeklinde ifade edilir [2].

Bulanık kümelerde, kesişim, bileşim ve tümleyen gibi küme işlemlerini aşağıdaki gibi tanımlamıştır [2]:

$$\text{Birleşim: } \mu_{\tilde{A} \cup \tilde{B}}(x) = \mu_{\tilde{A}}(x) \vee \mu_{\tilde{B}}(x) = \max\{\mu_{\tilde{A}}(x), \mu_{\tilde{B}}(x)\}$$

$$\text{Kesişim: } \mu_{\tilde{A} \cap \tilde{B}}(x) = \mu_{\tilde{A}}(x) \wedge \mu_{\tilde{B}}(x) = \min\{\mu_{\tilde{A}}(x), \mu_{\tilde{B}}(x)\}$$

$$\text{Tümleyen: } \mu_{\tilde{A}^c}(x) = 1 - \mu_{\tilde{A}}(x)$$

5.2 Bulanık Sayılar ve Aritmetik İşlemler

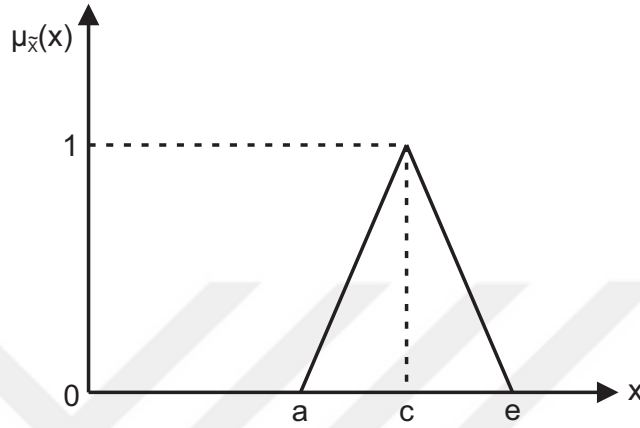
Bulanık sayılar, bulanık kümelerin bir alt kümesidir. Bulanık sayılar üyelik derecelerinin ifade edilişlerine göre "Üçgen", "Yamuk", "L-R", "Gauss" ve "Üçgen Bulanık Sayılar" şeklinde adlandırılır [2].

5.2.1 Üçgen bulanık sayı

Şekil 5.2'de görüldüğü gibi bulanık $\tilde{X}$ sayısı $\tilde{X} = (a; c; e)$ ile ifade edilmiştir. Üçgen bulanık sayı $\tilde{X}$ 'in üyelik fonksiyonu aşağıdaki gibidir [2]:

$$\mu_{\tilde{X}}(x) = \begin{cases} (x-a)/(c-a), & a \leq x \leq c \\ (e-x)/(e-c), & c \leq x \leq e \\ 0, & \text{diğer durumda} \end{cases}$$

Şekil 5.2 üçgen bulanık sayının üyelik fonksiyonunun grafiksel gösterimini ifade etmektedir.



Şekil 5.2 : Üçgen bulanık sayı [2]

Çizelge 5.1 üçgen sayılar için aritmetik işlemleri göstermektedir.

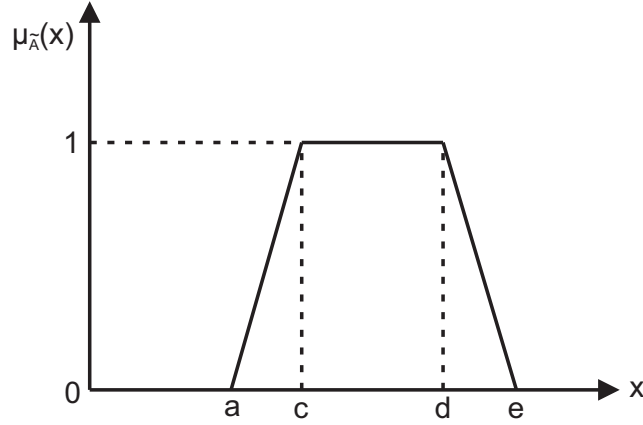
Çizelge 5.1 : Üçgen bulanık sayılar için aritmetik işlemler [2].

İşlem	Matematiksel Gösterimler
Toplama İşlemi	$\tilde{X} \oplus \tilde{Y} = (a+k; c+l; e+m)$
Çıkarma İşlemi	$\tilde{X} \ominus \tilde{Y} = (a-m; c-l; e-k)$
Bulanık Sayının Tersini Alma	$\tilde{X}^{-1} = (\frac{1}{e}; \frac{1}{c}; \frac{1}{a})$
Çarpma İşlemi	$\tilde{X} > 0$ ve $\tilde{Y} > 0$; $\tilde{X} \otimes \tilde{Y} \cong (ak; cl; em)$ $\tilde{X} < 0$ ve $\tilde{Y} > 0$; $\tilde{X} \otimes \tilde{Y} \cong (am; cl; ek)$ $\tilde{X} < 0$ ve $\tilde{Y} < 0$; $\tilde{X} \otimes \tilde{Y} \cong (em; cl; ak)$
Sabit Sayı ile Çarpma	$\forall k > 0, k \in \mathfrak{S} : k \otimes \tilde{X} = (ka; kc; ke)$ $\forall k < 0, k \in \mathfrak{S} : k \otimes \tilde{X} = (ke; kc; ka)$
Bölme İşlemi	$\tilde{X} > 0$ ve $\tilde{Y} > 0$; $\tilde{X} \oslash \tilde{Y} \cong (\frac{a}{m}; \frac{c}{l}; \frac{e}{k})$ $\tilde{X} < 0$ ve $\tilde{Y} > 0$; $\tilde{X} \oslash \tilde{Y} \cong (\frac{e}{m}; \frac{c}{l}; \frac{a}{k})$ $\tilde{X} < 0$ ve $\tilde{Y} < 0$; $\tilde{X} \oslash \tilde{Y} \cong (\frac{e}{k}; \frac{c}{l}; \frac{a}{m})$

5.2.2 Yamuk bulanık sayı

Şekil 5.3’de de görüldüğü gibi bulanık $\tilde{X}$ sayısı $\tilde{X} = (a; c; d; e)$ ile ifade edilmiştir.

Yamuk bulanık sayı $\tilde{X}$ ’in üyelik fonksiyonu aşağıdaki gibidir [2].



Şekil 5.3 : Yamuk bulanık sayı [2]

$$\mu_{\tilde{X}}(x) = \begin{cases} (x-a)/(c-a), & a \leq x \leq c \\ 1, & c \leq x \leq d \\ (e-x)/(e-d), & d \leq x \leq e \\ 0, & \text{diğer durumda} \end{cases}$$

5.3 Bulanık Doğrusal Programlama

Bulanık mantık ve bulanık küme teorisi yöneylem araştırmalarında doğrusal programlama, doğrusal olmayan programlama, tamsayılı programlama, hedef programlama ve çok amaçlı karar verme modellerinde sıkça kullanılmaktadır [2].

1976 da, H-J Zimmermann ilk olarak geleneksel lineer programlama problemini bulanık küme teorisini kullanarak modellemeyi önermiş ve modelinde bulanık hedef ve bulanık kısıtları ele almıştır.

Zimmermann bulanık doğrusal programlamayı simetrik ve asimetrik olarak iki kategoriye ayırmıştır. Simetrik bulanık modellerde amaç ve kısıtların önem dereceleri aynı olurken asimetrik modellerde amaç ve kısıtlar eşit önemde olmayıp farklı ağırlıklar taşırlar [32].

Leung ise bulanık doğrusal programlamayı "Kesin Amaç ve Bulanık Kısıtlar", "Bulanık Amaç ve Kesit Kısıtlar", "Bulanık Amaç ve Bulanık Kısıtlar" ve "Dirençli Programlama" olmak üzere dört kategoriye ayırmıştır [32].

Doğrusal programlama modellerinde bulanıklık Çizelge 5.2 ifade edilir. Burada bulanıklık ‘~’ işareti ile gösterilmiştir [2].

Çizelge 5.2 : Doğrusal programlama modellerinde bulanıklık [2].

Yalnız hedef bulanık ise	$\max_{\sim} Z = \sum_{j=1}^n c_j x_j$ $\sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \leq b_i, \quad x_j \leq 0$
Yalnız kısıt bulanık ise	$\max Z = \sum_{j=1}^n c_j x_j$ $\sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \leq_{\sim} b_i, \quad x_j \leq 0$
Hem hedef hem kısıt bulanık ise	$\max_{\sim} Z = \sum_{j=1}^n c_j x_j$ $\sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \leq_{\sim} b_i, \quad x_j \leq 0$
Tüm parametreler bulanık ise	$\max Z = \sum_{j=1}^n c_j x_j$ $\sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \leq_{\sim} b_i, \quad x_j \leq_{\sim} 0$

5.3.1 Bulanık hedef ve bulanık kısıtlı modeller

Bulanık hedef ve bulanık kısıtlı model denklem 5.1, denklem 5.2, denklem 5.3, denklem 5.4 ve denklem 5.5'te verilmiştir. Modelde $\tilde{Z}_k$ bulanık negatif (minimizasyon amaçlı) hedefleri, $\tilde{Z}_m$ bulanık pozitif (maksimizasyon amaçlı) hedefleri, $\tilde{g}_p$ bulanık kısıtları ve g_l ise deterministik kısıtları göstermektedir. Modeldeki Z_k^0 ve Z_m^0 , karar vericilerin ulaşmak istedikleri istek-erişim seviyelerini göstermektedir [33].

$$\tilde{Z}_k = \sum_{i=1}^n c_{ki} x_i \leq_{\sim} Z_k^0 \quad k = 1, 2, \dots, s \quad (5.1)$$

$$\tilde{Z}_m = \sum_{i=1}^n c_{mi} x_i \geq_{\sim} Z_m^0 \quad m = s+1, s+2, \dots, t \quad (5.2)$$

$$\tilde{g}_p(x) = \sum_{i=1}^n a_{pi} x_i \leq_{\sim} b_p \quad p = 1, 2, \dots, y \quad (5.3)$$

$$g_l(x) = \sum_{i=1}^n a_{li} x_i \leq b_l \quad l = y+1, y+2, \dots, q \quad (5.4)$$

$$x_i \geq 0 \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (5.5)$$

Zimmermann'ın önerdiği yöntemde, öncelikle model her bir hedef için, deterministik kısıtlar aynı kalmak şartıyla tek tek çözülür. Her bir hedefin alt ve üst limitleri hesaplanır [33].

$$Z_k^+ = \max Z_k \quad , \quad Z_k^- = \min Z_k$$

$$Z_m^+ = \max Z_m \quad , \quad Z_m^- = \min Z_m$$

Minimizasyon amaçlı modeller için üyelik fonksiyonları denklem 5.6, maksimizasyon amaçlı modeller için üyelik fonksiyonları denklem 5.7'ye göre hesaplanır [33].

$$\mu_{zk}(x) = \begin{cases} 1, & Z_k \leq Z_k^-, \\ \frac{Z_k^+ - Z_k(x)}{Z_k^+ - Z_k^-}, & Z_k^- \leq Z_k(x) \leq Z_k^+ \quad k = 1, 2, \dots, p, \\ 0, & Z_k \geq Z_k^+. \end{cases} \quad (5.6)$$

$$\mu_{zm}(x) = \begin{cases} 1, & Z_m \geq Z_m^+, \\ \frac{Z_m(x) - Z_m^-}{Z_m^+ - Z_m^-}, & Z_m^- \leq Z_m(x) \leq Z_m^+ \quad m = s + 1, s + 2, \dots, t, \\ 0, & Z_m \leq Z_m^-. \end{cases} \quad (5.7)$$

Bulanık kısıtların üyelik fonksiyonları ise denklem (5.8)'deki gibi ifade edilmektedir [33].

$$\mu_{gp}(x) = \begin{cases} 1, & g_p(x) \leq b_p, \\ 1 - \frac{g_p(x) - b_p}{t_p}, & b_p \leq g_p(x) \leq b_p + t_p \quad p = 1, 2, \dots, y, \\ 0, & g_p(x) \geq b_p + t_p. \end{cases} \quad (5.8)$$

Üyelik fonksiyonları hesaplandıktan sonra, bulanık model klasik doğrusal programlama modeline dönüştürülür. Oluşturulan model, denklem (5.9)' de gösterilmiştir. Yeni oluşturulan modelde, bulanık amaç ve bulanık kısıtlar üyelik fonksiyonlarından yararlanılarak yeni kısıtlar şeklinde eklenir. Bulanık olmayan kısıtlar da yeni modele aynen aktarılır [2].

$$\begin{aligned} & \max \lambda & (5.9) \\ & \lambda \leq \mu_{zj}(x) & j = 1, 2, \dots, t \\ & \lambda \leq \mu_{gp}(x) & p = 1, 2, \dots, y \\ & g_l(x) \leq b_l & l = y + 1, y + 2, \dots, q \\ & x_i \geq 0 & i = 1, 2, \dots, n \\ & \lambda \in [0, 1] \end{aligned}$$

6. ARAÇ ROTALAMA PROBLEMİ VE UYGULAMA

6.1 Çalışmanın Amacı

Daha önce de belirtildiği gibi, bu çalışmada, bir işletmenin ham madde tedarik ağının tasarımına ve lojistik maliyetlerinin planlanmasına destek olacak şekilde bir çok amaçlı doğrusal programlama modeli geliştirilmiştir. Geliştirilen model ile firmanın tedarik zinciri kapsamında önemli paya sahip olan ham madde depolama ve nakliye maliyetlerinin düşürülmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla, belirsizlik altında zaman pencereli heterojen araç filolu bir araç rotalama problemi oluşturulmuştur.

Tez kapsamında, firmanın nakliye ve depolama maliyetlerini azaltmak amacı ile yapılan bu çalışmada, sekiz yerel tedarikçi için araç rotası planlaması yapılarak ürünlerin depolanmadan direkt olarak üretim lokasyonuna sevk edilmesini sağlayan bir ham madde toplama ağı tasarımı yapılmıştır.

Şirket politikaları gereği bu çalışma kapsamında firma isimleri açıkça belirtilmeyip simgeler ile ifade edilmiştir.

6.2 Problemin Tanımı

Çalışma kapsamında incelenen fabrika, Çorlu bölgesinde bulunmakta ve hızlı tüketim ürünleri sektöründe faaliyet göstermektedir. Fabrika bulunduğu konum nedeni ile kısıtlı bir üretim alanına sahiptir ve ek bina yapımı ile büyümesine olanak yoktur. Bu sebeple gelen ek makine yatırımları ile mevcut üretim alanları yetersiz kalmış, depo olarak kullanılan alanların da üretim alanına dönüştürülme kararı alınmıştır. Artan üretim hacmi ve fabrikadaki mevcut depo alanlarının azalması ek bir depo kiralınmasını zorunlu hale getirmiştir. Bu sebeple, üretim alanına 5 km uzaklıkta bir depo kiralamıştır. Kiralanan depoda ortalama 3000 palet kadar ürün stoklanmaktadır. Depolama ücreti olarak ise palet başına \$6 ödeme yapılmaktadır.

Firma otuz beşi yurtiçi, yetmiş üçü ise yabancı olmak üzere, toplam yüz sekiz tedarikçiden ayda ortalama 1700 çeşit ham madde tedarik etmektedir. Yüksek

depo kiralama maliyeti ve yeni düzenle oluşan, kiralık depo ile fabrika arasındaki ham madde nakliye maliyetleri nedeni ile üretim giderlerinde ciddi bir artış gerçekleşmiştir. Bu sebeple planlama ve lojistik birimlerince nakliye ve depolama maliyetlerinin azaltılması için çalışmalar başlatılmıştır.

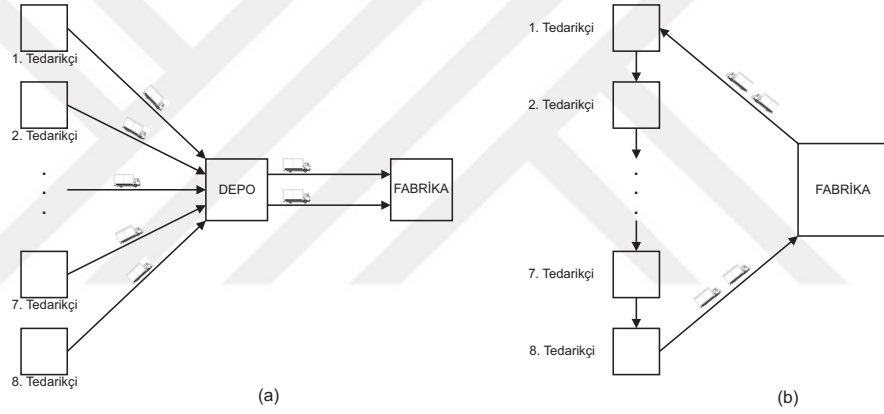
Yapılan çalışmalarda, kiralık depoda tutulan ham maddelerin miktarsal olarak %53'ünün sadece sekiz yerel tedarikçiye ait olduğu belirlenmiştir. Planlama departmanı üretim ihtiyaçları ve tedarikçilerin teslim zamanlarını göz önünde bulundurarak ham madde siparişlerini planlamakta ve sipariş formlarını tedarikçilere iletmektedir. Ürünler, istek tarihlerine göre üretilir ve tedarikçi tarafından sevk edilir. Satınalma politikaları gereği tedarikçilerle CPT taşıma şekline göre anlaşma yapılmıştır. Bu terim satıcının malın kararlaştırılan varış yerine kadar taşınması için gerekli navlunu ödediği anlamına gelir [34]. Tedarikçi navlun bedellerini ürün maliyetlerine ekleyerek faturalandırma yapmaktadır. Ele alınan sekiz tedarikçi de ürün nakliyelerini kendileri yaptıkları için kendi nakliye giderlerini düşürmek için aldıkları siparişler ancak bir tırı doldurduğu zaman ürün sevkiyatı yapmaktadırlar. Bu durum ise fabrikada depolanan ham madde miktarını artırmakta ve bazı ürünlerin istenilen tarihten daha geç veya erken sevk edilmesine neden olmaktadır.

Gelen ham maddelerin mal kabul işlemleri kiralık depo tarafından yapılır ve ürünler stoklanır. Üretim sorumluları üretim planlarına göre, ana depodan malzeme isteği yaparlar. Ana depoya iletilen malzeme istekleri, kiralık depoya aktarılır ve ürünler sevk edilmek üzere hazırlanır. Deponun belirlemiş olduğu malzeme dağıtım saatlerine göre ise kiralık depoda hazırlanan malzemeler ana depoya sevk edilir ve oradan da üretim sahalarına teslim edilirler. Bu ara transfer işlemleri için firma bir taşıma firmasıyla anlaşmıştır. Yapılan anlaşmalar çerçevesinde taşıyıcı firma, üretici firma için dört farklı araç kapasitesine sahip günlük yedi araç rezerve edebilmektedir. Araç kapasiteleri ve kiralama ücretleri dataların toplanması bölümünde verilmiştir. Firma iki depo arasında malzeme transferi yapmak için genellikle günde iki araç ile altı sefer düzenlemektedir.

Deponun üretim alanının dışına taşınması ile oluşan ek maliyetleri azaltmak için bir çalışma başlatılmıştır. Yapılan çalışmada, depoda tutulan hammaddelerin yaklaşık olarak yarısının sekiz yerel tedarikçiden alındığı belirlenmiştir. Bu sebeple bu tez kapsamında yapılan çalışmada, depolama maliyetlerini ve kiralık-ana depo arasındaki malzeme hareketlerini azaltmak amacı ile taşıyıcı firmalardan kiralanmış olan araçlar

ile araç rotası planlaması yapılarak, minimum maliyet ile ham maddelerin alınması için bir model sunulmuştur.

Sunulan modelin uygulanabilmesi için satınalma ile görüşülerek tedarikçilerle yapılan anlaşmalarda değişikliğe gidilmiştir. Yeni anlaşmaya göre tedarikçiler üretimlerini yaptıktan sonra üretilen tüm ürünleri kendi depolarında stoklamaktadır ve ürünlerin sevkiyatını tek seferde yapmak yerine üretici firmanın ihtiyaçlarına göre günlere bölerek gönderimler yapılmaktadır. Bu kapsamda üretici firma ile tedarikçileri arasındaki taşıma şekli de EXW olarak güncellenmiştir. Bu teslim şekline göre, satıcı hazırlamış olduğu ürünleri alıcısı için hazır tutmaktadır, ürünlerin alımından ve navlun ücretlerinden alıcı firma sorumludur [34]. Firmanın ham madde tedarik ağındaki yaptığı değişiklik Şekil 6.1’de gösterilmiştir.



Şekil 6.1 : Firmanın ham madde tedarik ağı
a) Değişiklikten önce b) Değişiklikten sonra

6.2.1 Modelin açıklaması

Firmanın probleminin en basit şekliyle çözümü için problem, heterojen filolu araç rotalama problemine dönüştürülmüştür. Fabrikadan boş olarak çıkan araçlar, tedarikçilerden ham maddeleri toplayarak yine fabrikaya dönmelidir. Alınan ürünler kiralık depoda stoklanmadan direkt olarak fabrikadaki ana depoya teslim edilmelidirler. Problemden elde edilmek istenen birinci amaç, toplam rota maliyetlerinin en aza indirgenmesidir. Kiralanan araçlar kiralık-ana depo arasındaki malzeme transferlerini de yaptıkları için malzeme toplama işlemlerini minimum sürede tamamlanması da firma açısından önemlidir. Bu sebeple, toplam işlem süreleri modele

ikinci bir amaç olarak eklenmiş ve problem çok amaçlı karma tam sayılı doğrusal programlama modeline dönüştürülmüştür. Her bir tedarikçinin malzeme yüklemesi yaptığı tanımlı zaman dilimleri vardır. Bu sebeple probleme zaman pencerelerinin eklenmesi zorunlu hale gelmiştir. Ayrıca firmanın problemdeki iki amaca farklı erişim seviyeleri ile yaklaşması problemin amaçlarında belirsizlikler oluşturmuştur. Bu belirsizlikleri gidermek amacı ile bulanık modellemeyi kullanılmıştır. Modeldeki belirsizliğin çözümünde, daha dengeli ve baskın olmayan sonuçlar verdiği için Lai ve Hwang tarafından önerilen artırılmış max-min modeli kullanılmıştır [35].

Problemin varsayımları aşağıdaki gibi sıralanmıştır:

- Her müşteriye bir kez uğranmalıdır,
- Tüm rotalar fabrikada başlayıp yine fabrikada sonlanmalıdır,
- Rota üzerindeki tedarikçilerden toplanan ürünlerin toplamı araç kapasitesini geçmemelidir,
- Her tedarikçiden izin verilen zaman aralıklarında ürünler toplanmalıdır,
- Seyahat zamanları ortalama hızlara göre hesaplanmıştır ve trafik gibi dış faktörlerden etkilenmediği kabul edilmiştir,
- Ani üretim planı değişiklikleri ile oluşan malzeme isteklerindeki değişimler tez kapsamında yer almamaktadır,
- Tedarikçi, teyidini verdiği malzeme miktarını belirtilen zamanda hazır etmekte ve sevkiyatı yapan araca yüklemektedir.

6.3 Dataların Toplanması

6.3.1 Tedarikçilerden Toplanan Ürün Miktarları

Fabrikanın bir yıllık ham madde tüketim miktarları ve altı aylık üretim öngörülleri göz önüne alınarak günlük ortalama palet cinsinden ham madde ihtiyaçları belirlenmiştir. Buna göre tedarikçilerden günlük olarak alınacak ürünlerin palet sayıları Çizelge 6.1’de verilmiştir.

Çizelge 6.1 : Tedarikçiden alınacak günlük malzeme miktarları

Tedarikçi İsmi	Toplanacak Palet Sayısı
Tedarikçi A	2
Tedarikçi B	26
Tedarikçi C	9
Tedarikçi D	12
Tedarikçi E	17
Tedarikçi F	4
Tedarikçi G	2
Tedarikçi H	3

6.3.2 Araç Kapasiteleri ve Maliyetler

Firma tedarikçilerden ürün alımı ve depo ile fabrika arasındaki malzeme hareketleri için taşıyıcı bir firma ile anlaşmıştır. Yapılan anlaşmalar çerçevesinde taşıyıcı firma, üretici firma için günlük 7 araç rezerve edebilmektedir. Araçların türleri, kapasiteleri, kiralama maliyetleri ve km başına oluşan birim rota maliyetleri Çizelge 6.2’de gösterilmiştir.

Çizelge 6.2 : Araçların kapasiteleri ve maliyetleri

Araç Listesi	Araç Türü	Araç Kapasitesi [Palet]	Araç Kiralama Maliyetleri [TL]	Km Başına Oluşan Birim Maliyet [TL]
1. Araç	Tır	33	700	1.9
2. Araç	Tır	33	700	1.9
3. Araç	Kamyon	18	600	1.7
4. Araç	Kamyon	18	600	1.7
5. Araç	Kamyonet	8	400	1.0
6. Araç	Minibüs	5	300	0.5
7. Araç	Minibüs	5	300	0.5

6.3.3 Tedarikçiler Arası Mesafe ve Süreler

Google Maps programı kullanılarak ortalama trafiğe göre tedarikçiler arasındaki en kısa rota mesafeleri belirlenmiştir. Kilometre ve saat cinsinden tedarikçiler arasındaki uzaklıklar Çizelge 6.3 ve Çizelge 6.4 ile gösterilmiştir.

Çizelge 6.3 : Km cinsinden tedarikçiler arası uzaklık matrisi

Mesafe [km]	Fabrika	Tedarikçi A	Tedarikçi B	Tedarikçi C	Tedarikçi D	Tedarikçi E	Tedarikçi F	Tedarikçi G	Tedarikçi H
Fabrika	0	158	5	4	34	90	100	110	80
Tedarikçi A	144	0	146	147	167	82	48	53	80
Tedarikçi B	6	159	0	8	37	87	101	98	81
Tedarikçi C	6	154	5	0	35	89	95	103	82
Tedarikçi D	34	185	35	31	0	105	120	140	98
Tedarikçi E	85	80	87	86	106	0	37	35	30
Tedarikçi F	96	53	99	101	120	35	0	12	25
Tedarikçi G	93	48	96	98	117	32	13	0	33
Tedarikçi H	80	70	80	84	100	21	25	29	0

Çizelge 6.4 : Saat cinsinden tedarikçiler arası uzaklık matrisi

Süre [saat]	Fabrika	Tedarikçi A	Tedarikçi B	Tedarikçi C	Tedarikçi D	Tedarikçi E	Tedarikçi F	Tedarikçi G	Tedarikçi H
Fabrika	0.00	2.17	0.22	0.18	0.67	1.25	1.33	1.70	1.17
Tedarikçi A	2.08	0.00	2.00	2.08	2.17	1.33	0.97	0.92	1.33
Tedarikçi B	0.20	2.33	0.00	0.28	0.70	1.17	1.25	1.33	1.17
Tedarikçi C	0.22	2.25	0.22	0.00	0.67	1.50	1.58	1.50	1.12
Tedarikçi D	0.72	2.58	0.72	0.58	0.00	1.42	1.43	2.17	1.33
Tedarikçi E	1.17	1.13	1.25	1.30	1.42	0.00	0.58	0.57	0.58
Tedarikçi F	1.33	0.83	1.33	1.42	1.57	0.53	0.00	0.25	0.47
Tedarikçi G	1.22	0.77	1.25	1.30	1.38	0.52	0.25	0.00	0.47
Tedarikçi H	1.17	1.05	1.13	1.33	1.33	0.43	0.43	0.55	0.00

6.3.4 Tedarikçi Çalışma Saatleri ve Yükleme Zamanları

Modelin kısıtlarından bir diğeri de fabrika ve tedarikçilerin çalışma saatleridir. Fabrika iki vardiya olarak yani 08:00-16:00 ve 16:00-24:00 saatleri arasında mal kabulü yapmaktadır. Ancak mal kabullerinin depo kapanış saatine kadar tamamlanması amacı ile modelde fabrikanın en geç işe başlama saati olarak saat 20:00 alınmıştır. Tedarikçiler ise gerekli yükleme dökümanlarının hazırlanabilmesi için sadece gündüz vardiyalarında yükleme yapmayı tercih etmektedirler. Bu sebeple tüm tedarikçilerin en erken işe başlama zamanları saat 08:00 olarak modele dahil edilmiştir.

Araçların tedarikçilere ulaşmalarının ardından, tedarikçilerin yüklemeleri tamamlaması, sevk ve taşıma irsaliyelerinin hazırlanması ve faturalandırılmaların tamamlanması amacı ile tedarikçiler belirli bir servis süresine ihtiyaç duyarlar. Tedarikçilerle görüşülerek ortalama hizmet süreleri alınmış ve modele tedarikçilerin ortak servis süresi olarak modele dahil edilmiştir.

Fabrika ve tedarikçilerin çalışma saatleri ve tedarikçilerin ortalama servis süreleri Çizelge 6.5’de gösterilmiştir.

Çizelge 6.5 : Tedarikçi çalışma saatleri

Tedarikçi	En Erken İşe Başlama Saati	En Geç İşe Başlama Saati	Tedarikçideki Ortalama Servis Süresi [saat]
Fabrika	08:00	20:00	0.00
Tedarikçi A	08:00	15:00	0.33
Tedarikçi B	08:00	15:00	0.67
Tedarikçi C	08:00	15:00	0.50
Tedarikçi D	08:00	15:00	0.58
Tedarikçi E	08:00	15:00	0.58
Tedarikçi F	08:00	20:00	0.50
Tedarikçi G	08:00	16:00	0.33
Tedarikçi H	08:00	18:00	0.33

6.4 Modelin Geliştirilmesi

6.4.1 Çok amaçlı tam sayılı doğrusal programlama modeli

Çalışma kapsamında geliştirilen, çok amaçlı, heterojen filolu ve zaman pencereli araç rotalama probleminin matematiksel modeli aşağıda sunulmuştur.

İndisler:

i, j : Tedarikçiler kümesi ($i = 1$ ve $j = 1$ ise fabrika) $i, j = 1, \dots, n$

K : Araçlar kümesi $k = 1, \dots, K$

Parametreler:

k : Araç sayısı

n : Tedarikçi sayısı

C_k : k türünün araç kapasitesi (palet sayısı cinsinden)

L_{ij} : i tedarikçisinden j tedarikçisine gidilen mesafe

d_i : i tedarikçisinden alınan ürün miktarı

M_k : k türündeki aracın kullanılmasının sabit maliyeti

P_k : k türündeki aracın kilometre başına oluşan rota maliyeti

α_j : j tedarikçisinin servise en erken başlama zamanı

β_j : j tedarikçisinin servise en geç başlama zamanı

t_{ij} : i tedarikçisinden j tedarikçisine ulaşım süresi

S_i : i tedarikçisindeki ortalama servis süresi

M : Büyük bir sayı

Karar deęişkenleri:

$$x_{ijk} = \begin{cases} 1, & \text{eğer } k. \text{ araç } i \text{ tedarikçisinden } j \text{ tedarikçisine giderse} \\ 0, & \text{diğer durumda} \end{cases}$$

$$f_k = \begin{cases} 1, & \text{eğer } k. \text{ araç kullanılıyorsa} \\ 0, & \text{diğer durumda} \end{cases}$$

V_j : j tedarikçisine varış süresi,

Amaç fonksiyonu:

$$Z_1 = \min \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^K L_{ij} P_k x_{ijk} + \sum_{k=1}^K M_k f_k \quad (6.1)$$

$$Z_2 = \min \sum_{j=1}^n \sum_{j=1}^n (V(j) + S(j)) \quad (6.2)$$

Kısıtlar:

$$\sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^n x_{ijk} = 1 \quad i \neq 1 \quad (6.3)$$

$$\sum_{k=1}^K \sum_{i=1}^n x_{ijk} = 1 \quad j \neq 1 \quad (6.4)$$

$$\sum_{j=1}^n x_{1jk} = f_k \quad k = 1, \dots, K \quad (6.5)$$

$$\sum_{j=1}^n x_{j1k} = f_k \quad k = 1, \dots, K \quad (6.6)$$

$$\sum_{i=1}^n x_{iyk} = \sum_{j=1}^n x_{yjk} \quad k = 1, \dots, K \text{ ve } y = 2, \dots, n \text{ ve } i, j \neq y \quad (6.7)$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n d_i x_{ijk} \leq C_k f_k \quad k = 1, \dots, K \quad (6.8)$$

$$x_{ijk} + x_{jik} \leq 1 \quad k = 1, \dots, K \text{ ve } i, j = 2, \dots, n \quad (6.9)$$

$$V_{jk} \leq \beta_j \quad (6.10)$$

$$V_{ik} \geq \alpha_j \quad (6.11)$$

$$V_j \geq V_i + t_{ij} x_{ijk} + S_i - M(1 - x_{ijk}) \quad i, j = 1, \dots, n \text{ ve } k = 1, \dots, K \text{ ve } i \neq j \quad (6.12)$$

$$V_j \geq V_1 + t_{1,j} x_{1jk} \quad j = 1, \dots, n \text{ ve } k = 1, \dots, K \quad (6.13)$$

$$x_{ijk}, f_k \in \{0, 1\} \quad (6.14)$$

$$V_{jk} \geq 0 \quad (6.15)$$

Birinci amaç fonksiyonu olan denklem (6.1), toplam rota maliyetlerinin en aza indirgenmesini ifade etmektedir. İkinci amaç fonksiyonu denklem (6.2) ise, rotaya atanan araçların toplam işlem sürelerinin en aza indirgenmesini sağlar. Denklem (6.3) ve denklem (6.4) bütün düğümlere bir defa ve yalnız bir araç ile gidilmesini sağlar. Denklem (6.5), her aracın tura fabrikadan başlamasını sağlar. Denklem (6.6) tüm araçların tekrar fabrikaya dönüşünü garanti altına alır. Denklem (6.7), her aracın en son varış yaptığı tedarikçiden ayrılmasını garanti eder. Denklem (6.8), kapasite kısıtıdır ve bir rota boyunca toplanan ürün miktarının araç kapasitesini aşmamasını sağlar. Denklem (6.9) araçların alt tur yapmalarını engelleyen kısıttır. Denklem (6.10) ve denklem (6.11) tedarikçilere varış zamanının servise en erken ve en geç başlama zamanları arasında olmasını sağlar. Denklem (6.12) ulaşım ve servis süreleri dikkate alınarak varış zamanlarının hesaplanmasını sağlar. Denklem (6.13) boş aracın fabrikadan çıkışının ardından sadece ulaşım zamanı düşünülerek ilk tedarikçiye varış zamanını hesaplar. Denklem (6.14) ve denklem (6.15) ise işaret kısıtlarıdır.

6.4.2 Bulanık çok amaçlı programlama modeli

Çok amaçlı tam sayılı doğrusal programlama modelinin kurulmasının ardından, modelin iki amacı için karar vericilerin ulaşmak istedikleri erişim seviyeleri Z_1^0 ve Z_1^0 bulanık hale getirilmiştir.

$$\tilde{Z}_1 = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^K L_{ij} P_k x_{ijk} + \sum_{k=1}^K M_k f_k \lesseqgtr Z_1^0 \quad (6.16)$$

$$\tilde{Z}_2 = \sum_{j=1}^n \sum_{j=1}^n (V(j) + S(j)) \lesseqgtr Z_2^0 \quad (6.17)$$

Zimmermann'ın yaklaşımı kullanılarak, Bölüm 6.4.1'de kurulmuş olan model her bir amaç için deterministik kısıtlar aynı kalmak şartıyla GAMS 24.1 kullanılarak tek tek çözüldü ve her iki amacın da minimum ve maksimum idael çözüm değerleri bulundu. Zimmerman'ın en aza indirgeme amaçlı doğrusal programlama modelleri için önermiş olduğu denklem 6.19 kullanılarak çizelge 6.6'deki üyelik fonksiyonları elde edilmiştir [33].

$$Z_k^+ = \max Z_k \quad , \quad Z_k^- = \min Z_k \quad (6.18)$$

$$\mu_{zk}(x) = \begin{cases} 1, & Z_k \leq Z_k^-, \\ \frac{Z_k^+ - Z_k(x)}{Z_k^+ - Z_k^-}, & Z_k^- \leq Z_k(x) \leq Z_k^+ \quad k = 1, 2, \dots, p, \\ 0, & Z_k \geq Z_k^+. \end{cases} \quad (6.19)$$

Çizelge 6.6 : Üyelik fonksiyonu değerleri

Amaçlar	$\mu = 1$	$\mu = 0$
Z_1 (Toplam Maliyet)	2979	5676
Z_1 (Toplam İş Süresi)	84	145

Üyelik fonksiyonlarının elde edilmesinin ardından model, Lai ve Hwang tarafından önerilen arttırılmış min-max modeli kullanılarak tek amaçlı doğrusal programlama modeline dönüştürülmüştür. Bu yöntemde, hedef ve kısıtlar için ortak bir erişim derecesine (λ) ulaşılmaya çalışılır. Amaç, erişim derecesinin maksimum kılınmasıdır [36].

Yeni amaç fonksiyonu:

Yeni modelin amaç fonksiyonu Denklem 6.20’de gösterilmiştir. Burada λ_1 ve λ_2 , sırası ile Z_1 ve Z_2 amaçlarının minimum erişim derecelerini ifade etmektedir. Firma yöneticileri ile görüşülerek $\lambda_1 = 0.9$, $\lambda_2 = 0.5$ erişim dereceleri tanımlanmıştır.

$$\max \lambda + \frac{\lambda_1 + \lambda_2}{2} \quad (6.20)$$

Yeni kısıtlar:

Bölüm 6.4.1’de belirtilmiş olan kısıtlara ek olarak aşağıdaki yeni kısıtlar da modele eklenmiştir.

$$\lambda_1 \leq \frac{5675 - Z_1}{5675 - 2979} \quad (6.21)$$

$$\lambda_2 \leq \frac{145 - Z_2}{145 - 84} \quad (6.22)$$

$$\lambda_1 \geq 0.9 \quad (6.23)$$

$$\lambda_2 \geq 0.5 \quad (6.24)$$

$$\lambda \leq \lambda_1 \quad (6.25)$$

$$\lambda \leq \lambda_2 \quad (6.26)$$

$$\lambda \geq 0 \quad (6.27)$$

6.5 Modelin Çözümü ve Sayısal Sonuçlar

Kurulan modeller GAMS 24.1 programı kullanılarak çözülmüştür. Modeller yaklaşık 0.016 saniyede çözülmüş ve optimum sonuçlar elde edilmiştir. Kurulan model öncelikle her bir amaç fonksiyonu için tek tek çözülmüş ve minimum ile maksimum çözüm değerleri elde edilmiştir. Çözüm değerleri Çizelge 6.7’de gösterilmiştir.

Çizelge 6.7 : Tek amaçlı çözüm değerleri

Amaçlar	Maliyet [TL]	İşlem Süresi [saat]	Kullanılan Araç Sayısı
Minimum Maliyet	2980	117	3
Minimum İş Süresi	4587	85	7
Maksimum Maliyet	5675	116	7
Minimum İşlem Süresi	4879	146	7

Model daha sonra iki amaç, yani maliyet ve toplam işlem sürelerinin her ikisinin de minimum değerlerinin elde edilmesi için tekrar çalıştırılmıştır. Çalıştırılan modelin yedi araç ve sekiz tedarikçiye (T0: Fabrika, T1, T2,..T8) ilişkin optimal çözüm değeri çizelge 6.8 gösterilmiştir.

Çizelge 6.8 : Çok amaçlı çözüm değerleri

Amaçlar	Maliyet [TL]	İşlem Süresi [saat]	Kullanılan Araç Sayısı	Araçların Rotları
Mininum Maliyet ve İşlem Süresi	2973	93	3	1. Araç: T0-T2-T0 2. Araç: T0-T4-T8-T5-T0 4. Araç: T0-T3- T6-T1- T7-T0

Modelde yer alan amaçlar, karar vericilerin ulaşmak istedikleri erişim seviyelerine göre bulanık hale getirilmiştir. Karar vericilerin belirlemiş olduğu erişim seviyelerine ($\lambda_1 \geq 0.9$ ve $\lambda_2 \geq 0.5$) göre bulanık çok amaçlı modelin optimum çözüm değerleri çizelge 6.9’de gösterilmiştir.

Çizelge 6.9 : Bulanık amaçlı model için çözüm değerleri

Maksimum Erişim Derecesi (λ)	0.912
Birinci Aşamanın Erişim Derecesi (λ_1)	0.983
İkinci Aşamanın Erişim Derecesi (λ_2)	0.912
Rotaların Toplam Maliyetleri (Z_1)	3026
Rotaların Toplam İşlem Süresi (Z_2)	89
Amaçların Rotaları	1. Araç : T0-T2- T0 2. Araç: T0-T3- T8-T6- T5-T0 4. Araç: T0-T4- T0 7. Araç: T0-T7- T1-T0

Buna göre, istenilen zaman aralıklarında ve modelde belirtilmiş olan kısıtlar çerçevesinde, toplam dört araç ile sekiz tedarikçideki tüm ham maddeler alınmıştır. Rotaların toplam maliyeti 3026 TL, toplam işlem süresi ise 89 saat olarak hesaplanmıştır. Modelin amaç fonksiyonu 0.912 olarak bulunmuştur. Diğer bir deyişle belirsizlikler altında elde ettiğimiz bu değerlerin olabilirliği 0.912'dir.

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Artan küreselleşme, hızla gelişen teknoloji ve değişen müşteri istekleri, tedarik zinciri yönetim anlayışlarının da günden güne değişmesini ve gelişmesini zorunlu kılmıştır. Firmalar birçok rakip arasından öne çıkabilmek için ürün çeşitlerini, kalitelerini ve servis hızlarını arttırmaya çalışmaktadır. Ancak bu faaliyetler, firmaların maliyetlerinin artmasına ve kârlılıkların azalmasına neden olmaktadır. Lojistik sistemlerinin en önemli iki faaliyeti depolama ve nakliye. Bu iki faaliyet alanında yapılan iyileştirmeler üretim maliyetlerinin azaltılmasına ve müşteri memnuniyetlerinin artmasına önemli katkı sağlarlar. Bu sebeple, özellikle dağıtım ağı optimizasyonları konusunda birçok akademik çalışma yapılmıştır.

Bu tez çalışmasında, hızlı tüketim sektöründe faaliyet gösteren bir firmada depolama ve nakliye maliyetlerinin düşürülmesi amacıyla başlatılan bir çalışma, araç rotalama problemlerinin çözümü ile desteklenmiş ve optimum sonuçların bulunması sağlanmıştır. Oluşturulan model ile miktarsal olarak en çok alımın yapıldığı sekiz tedarikçiden ürünlerin toplanması için en az maliyetli rotalar hesaplanmaya çalışılmıştır. Firma, ham madde alımlarında kullandığı araçları, başka parçaların taşınmasında ara nakliyelerde de kullanmak istediği için modele ikinci bir amaç eklenmiştir. Son olarak her iki amaç için firmanın belirlediği hedef erişilme düzeyleri olması nedeni ile modele bulanıklık eklenmiş ve tüm kısıtlara göre optimum sonuçlara ulaşılmıştır.

Elde edilen sonuçlara göre sekiz tedarikçiden ürünler toplam dört araç ile alınabilmektedir. Rotaların toplam maliyeti 3026 TL olup bütün araçlar saat 14:00'e kadar fabrikaya dönmektedir, bu sayede ara nakliye işlemleri için kullanılmaya devam edilebilmektedir. Ürünler kiralık depoda depolanmadan direkt üretim sahasına verildiği için, depolama ve ara nakliye işlemleri azaltılmış ve toplam maliyette % 30'luk bir kazanç sağlanmıştır.

Modelde gerçek bir problemin verileri kullanılmış ve bu verilere göre çözüm yapılmıştır. Ancak çözüm esnasında bazı varsayımlardan faydalanılmıştır. Bu varsayımlardan biri talepteki değişimlerin dikkate alınmamasıdır. Gerçek hayat

uygulamalarında talebin belirsiz olduğu durumlar olacaktır. Bu sebeple, modelin, talebin belirsiz olduğu durumlar için genişletilmesi önerilebilir. Ayrıca firma yöneticileri ile alınan karara göre her bir amaç için tek bir erişim derecesine göre çözüm yapılmıştır. Farklı erişim derecelerine göre ayrı ayrı çözümler yapılarak modelin verdiği sonuçlar incelenebilir.

Modeldeki tedarikçi ve araç sayılarının artması durumunda modelin kesin çözüm yöntemleri ile çözümü uzun zaman alacaktır. Bu sebeple çözüm için sezgisel veya metasezgisel yöntemler kullanılabilir. Son olarak çalışmada bulanık hedeflerin çözümü için arttırılmış max-min modeli kullanılmıştır. Gelecek çalışmalarda literatürde önerilen diğer yöntemlerin de uygulanması ve sonuçların karşılaştırılması önerilebilir.



KAYNAKLAR

- [1] **J-F. Cordeau, M. Gendreau, G.L., Potvin, J.Y. ve Semet, F.** (2002). A Guide to Vehicle Routing Heuristics, *Operational Research Society*, 53(5), 512–522.
- [2] **İrem Otay** (2015). Geri Kazanımlı Kapalı Çevrim Tedarik Zinciri İçin Dağıtım Planlama, *Doktora Tezi*, Istanbul Technical University.
- [3] **Shah, J.** (2009). *Supply Chain Management: Text and Cases*, Pearson Education.
- [4] **Karakatic, S. ve Podgorelec, V.** (2015). A survey of genetic algorithms for solving multi depot vehicle routing problem, *Applied Soft Computing*, 27, 519–532.
- [5] **Lysgaard, J.** (1997). Clarke & Wright's Savings Algorithm, *Department of Management Science and Logistics*, 1–7.
- [6] **Sople, V.V.** (2007). *Logistic Management The Supply Chain Imperative*, Pearson Education.
- [7] **Barnhart, C. ve Laporte, G.** (2007). *Handbooks in Operations Research and Management Science: Transportation*, Elsevier Ltd.
- [8] **Dantzig, G.B. ve Ramser, J.H.** (1959). The Truck Dispatching Problem, *Management Science*, 6(1), 80–91.
- [9] **Çağrı Koç, Bektaş, T., Jabali, O. ve Laporte, G.** (2016). Thirty years of heterogeneous vehicle routing, *European Journal of Operational Research*, 249, 1–21.
- [10] **Braekers, K., Ramaekers, K. ve Nieuwenhuyse, I.V.** (2016). The vehicle routing problem: State of the art classification and review, *Computers and Industrial Engineering*, 99, 300–313.
- [11] **G. Nilay Yücenur, N.c.D.** (2011). A hybrid algorithm with genetic algorithm and ant colony optimization for solving multi-depot vehicle routing problems, *The Journal of Engineering and Natural Sciences*, 29, 340–350.
- [12] **Kirby, D.** (1959). Is Your Fleet the Right Size?, *Operational Research Society*, 10(4), 252.
- [13] **Golden, B., Assad, A., Levy, L. ve Gheysens, F.** (1984). The fleet size and mix vehicle routing problem, *Computers and Operations Research*, 11(1), 49–66.

- [14] **Baldacci, R., Battarra, M. ve Vigo, D.** (2007). Routing a Heterogeneous Fleet of Vehicles.
- [15] **Atefia, R., Salari, M., Coelho, L.C. ve Renaud, J.** (2018). The open vehicle routing problem with decoupling points, *European Journal of Operational Research*, 265(1), 316–327.
- [16] **Brandao, J.** (2014). A tabu search algorithm for the open vehicle routing problem, *European Journal of Operational Research*, 257, 552–564.
- [17] **Oesterlea, J. ve Bauernhansla, T.** (2016). Exact method for the vehicle routing problem with mixed linehaul and backhaul customers, heterogeneous fleet, time window and manufacturing capacity, *Procedia CIRP*, 41, 573–578.
- [18] **Çetin, S. ve Gencer, C.** (2010). Kesin Zaman Pencereli - Eş Zamanlı Dağıtım Toplamalı Araç Rotalama Problemi: Matematiksel Model, *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.*, 25(3), 579–585.
- [19] **Keskintürk, T., Topuk, N. ve Özyeşil, O.** (2015). Araç Rotalama Problemleri ile Çözüm Yöntemlerinin Sınıflandırılması ve Bir Uygulama, *İşletme Bilim Dergisi*, 3(2), 77–107.
- [20] **Alağaç, H.M., Çetin, S., Yerlikaya, A. ve Eren, T.** (2016). Heterojen Eş-Zamanlı Topla-Dağıt Rotalama Problemi: Tehlikeli Malzeme Sevkiyatı, *International Symposium on Innovative Technologies in Engineering and Science*, 472–480.
- [21] **Demirtaş, Y.E. ve Özdemir, E.** (2017). A novel approach for solution of dynamic vehicle routing problems, *The Journal of Faculty of Economics and Administrative Sciences*, 22, 807–823.
- [22] **Ritzinger, U., Puchinger, J. ve Hartl, R.F.** (2016). A survey on dynamic and stochastic vehicle routing problems, *Production Research*, 54(1), 215–231.
- [23] **Chen, P., Golden, B., Wang, X. ve Wasil, E.** (2017). A novel approach to solve the split delivery vehicle routing problem, *International Transactions in Operational Research*, 24, 27–41.
- [24] **Nicolas Jozefowicz, Frederic Semet, E.G.T.** (2008). Multi-Objective Vehicle Routing Problems, *European Journal of Operational Research*, 189, 293–309.
- [25] **Başkaya, Z. ve Öztürk, B.A.** (2005). Tamsayılı Programlamada Dal Kesme Yöntemi ve Bir Emek Fabrikasında Oluşturulan Araç Rotalama Problemine Uygulanması, *Uludağ Üniversitesi İktisadi-İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 24(1), 101–114.
- [26] **Patir, S.** (2009). Dinamik Programlama ve Bir Ecza Deposunun Şehir İçi İlaç Dağıtımına Alternatifli Bir Çözüm Önerisi, *Atatürk Üniversitesi İktisadi-İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 23(2), 63–79.

- [27] **Braaten, S., Gjønnnes, O., Hvattum, L.M. ve Tiradoc, G.** (2017). Heuristics for the robust vehicle routing problem with time windows, *Expert Systems with Applications*, 77, 136–147.
- [28] **M. O. Ball, T. L. Magnanti, C.L.M. ve Nemhauser, G.L.** (1995). *Network Routing*, Handbooks in operations research and management science 8, Elsevier.
- [29] **Toth, P. ve Vigo, D.** (2001). *The Vehicle Routing Problem*, Monographs on Discrete Mathematics and Applications, SIAM.
- [30] **Hasan Dikmen, Hüseyin Dikmen, A.E., Ekşi, Z. ve Çelik, F.** (2014). Gezin Satici Probleminin Karınca Kolonisi ve Genetik Algoritmalarla Eniyilemesi ve Karşılaştırılması, *Journal of Natural and Applied Science*, 18(1), 8–13.
- [31] **Zimmermann, H..J.** (1996). *Fuzzy Set Theory and Its Applications*, Springer Science+Business Media, LLC.
- [32] **Kaur, J. ve Kumar, A.** (2016). *An Introduction to Fuzzy Linear Programming Problems*, Springer.
- [33] **A. Amid, S.G. ve O'Brien, C.** (2006). Fuzzy Multiobjective Linear Model for Supplier Selection in a Supply Chain, *Science Direct*, 104, 394–407.
- [34] URL1, <<https://www.hgtrans.com/faydali-bilgiler/incotems>>, 30.04.2018.
- [35] **Çebi, F. ve Otay, İ.** (2016). A Two-stage Fuzzy Approach for Supplier Evaluation and Order Allocation Problem with Quantity Discounts and Lead Time, *Information Sciences*, 339, 143–157.
- [36] **Arikan, F.** (2013). A fuzzy Solution Approach for Multi Objective Supplier Selection, *Expert Systems with Applications*, 40, 947–952.
- [37] **Gendreau, M., Laporte, G., Musaraganyi, C. ve Taillard, E.D.** (1999). A tabu search heuristic for the heterogeneous fleet vehicle routing problem, *Computers and Operations Research*, 26, 1153–1173.
- [38] **Gillett, B.E. ve Miller, L.R.** (1974). A Heuristic Algorithm for the Vehicle-Dispatch Problem, *Operations Research*, 22(2), 340–349.



EKLER

EK A.1 : Çok Amaçlı Modelin GAMS Programında Yazımı

EK A.2 : Çok Amaçlı Modelin GAMS Çözümü

EK A.3 : Bulanık ve Çok Amaçlı Modelin GAMS Programında Yazımı

EK A.4 : Bulanık ve Çok Amaçlı Modelin GAMS Çözümü





EK A.1

sets i tedarikci /0*8/

k arac /1*7/;

alias(i,j,y);

parameter c(k) arac kapasitesi

/

1 33

2 33

3 18

4 18

5 8

6 5

7 5

/

parameter m(k) sabit maliyet

/

1 700

2 700

3 600

4 600

5 400

6 300

7 300

/

parameter p(k) rota maliyeti

/

1 1.9

2 1.9

3 1.7

4 1.7

5 1

6 0.5

7 0.5

/

parameter d(i) tedarikciden alınan ürün miktar

/

1 2

2 26

3 9

4 12

5 17

6 4

7 2

8 3

/

table L(i,j) mesafe

0	1	2	3	4	5	6	7	8	
0	0	158	5	4	34	90	100	110	80
1	144	0	146	147	167	82	48	53	80
2	6	159	0	8	37	87	101	98	81
3	6	154	5	0	35	89	95	103	82
4	34	185	35	31	0	105	120	140	98
5	85	80	87	86	106	0	37	35	30
6	96	53	99	101	120	35	0	12	25
7	93	48	96	98	117	32	13	0	33
8	80	70	80	84	100	21	25	29	0

table t(i, j) tedarikçisine varis süresi

	0	1	2	3	4	5	6	7	8
0	0.00	2.17	0.22	0.18	0.67	1.25	1.33	1.70	1.17
1	2.08	0.00	2.00	2.08	2.17	1.33	0.97	0.92	1.33
2	0.20	2.33	0.00	0.28	0.70	1.17	1.25	1.33	1.17
3	0.22	2.25	0.22	0.00	0.67	1.50	1.58	1.50	1.12
4	0.72	2.58	0.72	0.58	0.00	1.42	1.43	2.17	1.33
5	1.17	1.13	1.25	1.30	1.42	0.00	0.58	0.57	0.58
6	1.33	0.83	1.33	1.42	1.57	0.53	0.00	0.25	0.47
7	1.22	0.77	1.25	1.30	1.38	0.52	0.25	0.00	0.47
8	1.17	1.05	1.13	1.33	1.33	0.43	0.43	0.55	0.00

parametre a(j) j tedarikçisinin servise en erken baslama zamanı

/

0	8
1	8
2	8
3	8
4	8
5	8
6	8
7	8
8	8

/

parameter b(j) j tedarikçisinin servise en gec baslama zamanı

```
/
0 20
1 15
2 15
3 15
4 15
5 15
6 20
7 16
8 18
/
```

parameter s(i) i tedarikçisindeki ortalama servis süresi

```
/
1 0.33
2 0.67
3 0.50
4 0.58
5 0.58
6 0.50
7 0.33
8 0.33
/
```

```
;
scalar N tedarikci sayısı /9/;
variables z1,z2;
binary variables x(i,j,k), f(k);
positive variables v(j);
equations
obj
con1(j)
con2(i,j,k)
con3(k)
con4(y,k)
con5(k)
con6(k)
con7(i)
con8(j)
con9(i)
con10(i,j,k)
con11 (i,j,k)
con12
con13
con14
;
obj..z1=e=sum((i,j,k),L(i,j)*p(k)*x(i,j,k))+sum(k,m(k)*f(k));
```

```

con1(j)$((ord(j) ne 1))..sum((i,k),x(i,j,k))=e=1;
con7(i)$((ord(i) ne 1))..sum((j,k),x(i,j,k))=e=1;
con2(i,j,k)$((ord(i) ne 1)and(ord(j) ne 1))..x(i,j,k)+ x(j,i,k)=l=1;
con3(k)..sum((i,j), d(i)*x(i,j,k))=l=c(k)*f(k);
con4(y,k)$ (ord(y) ne 1)..sum(i$(ord(i) ne ord(y)),x(i,y,k))=e=sum(j$(ord(j) ne
ord(y)),x(y,j,k));
con5(k)..sum(j,x('0',j,k))=e=f(k);
con6(k)..sum(i,x(i,'0',k))=e=f(k);
con8(j)..v(j)=l=b(j);
con9(i)..v(i)=g=a(i);
con10(i,j,k)$((ord(i) ne ord(j))and (ord(j) ne 1))..v(j)=g=v(i)+t(i,j)*x(i,j,k)+s(i)-10000*(1-
x(i,j,k));
con11(i,j,k)$((ord(i) ne ord(j))and (ord(j) ne 1))..v(j)=g=v("0")+t("0",j)*x("0",j,k);
con12..z2=e=sum(j,(v(j)+s(j)));
con13..z2=l=145;
con14..z2=g=84;
;

model elcin /all/ ;
options optcr=0;
solve elcin using mip minimizing z1;
display x.l, f.l, z1.l, v.l, z2.l;

```

EK A.2

**** REPORT SUMMARY :0 NONOPT

0 INFEASIBLE

0 UNBOUNDED

GAMS 24.1.3 r41464 Released Jul 26, 2013 WEX-VS8 x86/MS Windows 04/29/18
16:11:56 Page 6

General Algebraic Modeling System

Execution

-- 163 VARIABLE x.L

	1	2	4
0.2	1.000		
0.3			1.000
0.4		1.000	
1.7			1.000
2.0	1.000		
3.6			1.000
4.8		1.000	
5.0		1.000	
6.1			1.000
7.0			1.000
8.5		1.000	

-- 163 VARIABLE f.L

1 1.000, 2 1.000, 4 1.000

-- 163 VARIABLE z1.L = 2979.700

-- 163 VARIABLE v.L

0 8.000, 1 11.590, 2 8.220, 3 8.180, 4 8.670, 5 11.340

6 10.260, 7 12.840, 8 10.580

-- 163 VARIABLE z2.L = 93.500

EXECUTION TIME = 0.016 SECONDS 3 MB 24.1.3 r41464 WEX-VS8



EK A.3

sets i tedarikci /0*8/

k arac /1*7/;

alias(i,j,y);

parameter c(k) arac kapasitesi

/

1 33

2 33

3 18

4 18

5 8

6 5

7 5

/

parameter m(k) sabit maliyet

/

1 700

2 700

3 600

4 600

5 400

6 300

7 300

/

parameter p(k) rota maliyeti

/

1 1.9

2 1.9

3 1.7

4 1.7

5 1

6 0.5

7 0.5

/

parameter d(i) tedarikciden alınan ürün miktar

/

1 2

2 26

3 9

4 12

5 17

6 4

7 2

8 3

/

table L(i,j) mesafe

0	1	2	3	4	5	6	7	8	
0	0	158	5	4	34	90	100	110	80
1	144	0	146	147	167	82	48	53	80
2	6	159	0	8	37	87	101	98	81
3	6	154	5	0	35	89	95	103	82
4	34	185	35	31	0	105	120	140	98
5	85	80	87	86	106	0	37	35	30
6	96	53	99	101	120	35	0	12	25
7	93	48	96	98	117	32	13	0	33
8	80	70	80	84	100	21	25	29	0

table t(i, j) tedarikçisine varis süresi

	0	1	2	3	4	5	6	7	8
0	0.00	2.17	0.22	0.18	0.67	1.25	1.33	1.70	1.17
1	2.08	0.00	2.00	2.08	2.17	1.33	0.97	0.92	1.33
2	0.20	2.33	0.00	0.28	0.70	1.17	1.25	1.33	1.17
3	0.22	2.25	0.22	0.00	0.67	1.50	1.58	1.50	1.12
4	0.72	2.58	0.72	0.58	0.00	1.42	1.43	2.17	1.33
5	1.17	1.13	1.25	1.30	1.42	0.00	0.58	0.57	0.58
6	1.33	0.83	1.33	1.42	1.57	0.53	0.00	0.25	0.47
7	1.22	0.77	1.25	1.30	1.38	0.52	0.25	0.00	0.47
8	1.17	1.05	1.13	1.33	1.33	0.43	0.43	0.55	0.00

parameter a(j) j tedarikçisinin servise en erken baslama zamanı

/

0	8
1	8
2	8
3	8
4	8
5	8
6	8
7	8
8	8

/

parameter $b(j)$ j tedarikçisinin servise en gec baslama zamanı

```
/
0 20
1 15
2 15
3 15
4 15
5 15
6 20
7 16
8 18
/
```

parameter $s(i)$ i tedarikçisindeki ortalama servis süresi

```
/
1 0.33
2 0.67
3 0.50
4 0.58
5 0.58
6 0.50
7 0.33
8 0.33
/
;
```

```
scalar N tedarikci sayısı /9/;
variables z1,z2,z3;
binary variables x(i,j,k), f(k);
integer variables u(i);
positive variables v(j);
positive variables g,g1,g2
equations
obj
con1(j)
con2(i,j,k)
con3(k)
con4(y,k)
con5(k)
con6(k)
con7(i)
con8(j)
con9(i)
con10(i,j,k)
con11(i,j,k)
con12
con13
```

```

con14
con15
con16
con17
con18
con19
;
obj..z3=e+g+(g1+g2)/2;
con1(j)$((ord(j) ne 1)..sum((i,k),x(i,j,k))=e=1;
con7(i)$((ord(i) ne 1)..sum((j,k),x(i,j,k))=e=1;
con2(i,j,k)$((ord(i) ne 1)and(ord(j) ne 1)..x(i,j,k)+ x(j,i,k)=l=1;
con3(k)..sum((i,j), d(i)*x(i,j,k))=l=c(k)*f(k);
con4(y,k)$ (ord(y) ne 1)..sum(i$(ord(i) ne ord(y)),x(i,y,k))=e=sum(j$(ord(j) ne
ord(y)),x(y,j,k));
con5(k)..sum(j,x('0',j,k))=e=f(k);
con6(k)..sum(i,x(i,'0',k))=e=f(k);
con8(j)..v(j)=l=b(j);
con9(i)..v(i)=g=a(i);
con10(i,j,k)$((ord(i) ne ord(j))and (ord(j) ne 1)..v(j)=g=v(i)+t(i,j)*x(i,j,k)+s(i)-10000*(1-
x(i,j,k));
con11(i,j,k)$((ord(i) ne ord(j))and (ord(j) ne 1)..v(j)=g=v("0")+t("0",j)*x("0",j,k);
con12..z1=e=sum((i,j,k),L(i,j)*p(k)*x(i,j,k))+sum(k,m(k)*f(k));
con13..z2=e=sum(j,(v(j)+s(j)));
con14..g=l=g1;
con15..g=l=g2;
con16..g1=g=0.9;
con17..g2=g=0.5;
con18..g1=l=(5675-z1)/2695;
con19..g2=l=(145-z2)/61;
;
model elcin /all/ ;
options optcr=0;
solve elcin using mip maximizing z3;
display x.l, f.l, z1.l, v.l, z2.l, z3.l, g.l, g1.l, g2.l, z1.l;

```

EK A.4

**** REPORT SUMMARY :0 NONOPT

0 INFEASIBLE

0 UNBOUNDED

GAMS 24.1.3 r41464 Released Jul 26, 2013 WEX-VS8 x86/MS Windows 04/29/18

16:20:30 Page 6

General Algebraic Modeling System

Execution

-- 179 VARIABLE x.L

	1	2	4	7
0.2	1.000			
0.3		1.000		
0.4			1.000	
0.7				1.000
1.0				1.000
2.0	1.000			
3.8		1.000		
4.0			1.000	
5.0		1.000		
6.5		1.000		
7.1				1.000
8.6		1.000		

-- 179 VARIABLE f.L

1 1.000, 2 1.000, 4 1.000, 7 1.000

-- 179 VARIABLE z1.L = 3026.400

-- 179 VARIABLE v.L

0 8.000, 1 10.800, 2 8.220, 3 8.180, 4 8.670, 5 11.590

6 10.560, 7 9.700, 8 9.800

-- 179 VARIABLE z2.L = 89.340

VARIABLE z3.L = 1.860

VARIABLE g.L = 0.912

VARIABLE g1.L = 0.983

VARIABLE g2.L = 0.912
VARIABLE z1.L = 3026.400

EXECUTION TIME = 0.015 SECONDS 3 MB 24.1.3 r41464 WEX-VS8



ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad: Elçin ÖZEN KURU

Doğum Tarihi ve Yeri: 06/05/1987 - Gelibolu

E-Posta: ozenelcin@hotmail.com

ÖĞRENİM DURUMU: Lisans

- **Lisans:** 2009, Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü
- **Lisans:** 2010, Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü