

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**GIDA ÜRÜNLERİNİN ŞEHİR-İÇİ DAĞITIMININ OPTİMİZASYONU İÇİN
SÜRDÜRÜLEBİLİR BİR YAKLAŞIM**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Sibel SATICI

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Endüstri Mühendisliği Programı

HAZİRAN 2019

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**GIDA ÜRÜNLERİNİN ŞEHİR-İÇİ DAĞITIMININ OPTİMİZASYONU İÇİN
SÜRDÜRÜLEBİLİR BİR YAKLAŞIM**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Sibel SATICI
507161132**

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Endüstri Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Seda YANIK ÖZBAY

HAZİRAN 2019

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 507161132 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Sibel SATICI, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “GIDA ÜRÜNLERİNİN ŞEHİR-İÇİ DAĞITIMININ OPTİMİZASYONU İÇİN SÜRDÜRÜLEBİLİR BİR YAKLAŞIM” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Doç. Dr. Seda YANIK ÖZBAY**

İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Doç. Dr. Özgür KABAK**

İstanbul Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Yeliz EKİNCİ

İstanbul Bilgi Üniversitesi

Teslim Tarihi : 03 Mayıs 2019
Savunma Tarihi : 14 Haziran 2019





Eşime,



ÖNSÖZ

Öncelikle tez çalışmamın her aşamasında bana destek veren, değerli katkılarıyla beni yönlendiren danışmanım Doç. Dr. Seda Yanık Özbay'a en içten dileklerle teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmamı gerçekleştirdiğim süre boyunca daima yanımda olan, anlayış gösteren, desteğini hiçbir zaman esirgemeyen ve her adımda beni motive eden sevgili eşime teşekkürlerimi sunarım.

Haziran 2019

Sibel SATICI
(Araştırma Görevlisi)



İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖNSÖZ	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xi
SEMBOLLER	xiii
ÇİZELGE LİSTESİ	xv
ŞEKİL LİSTESİ	xvii
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	5
2.1 Küme Kapsama Problemi.....	5
2.2 Küme Kapsama Yerleşim Problemi	6
2.3 Maksimum Kapsama Yerleşim Problemi	6
2.4 Hiyerarşik Maksimum Kapsama Yerleşim Problemi.....	8
2.5 Kısmi Kapsamanın Olduğu Maksimum Kapsama Yerleşim Problemi.....	10
2.6 Şehirçi Ürün Dağıtımı	12
2.7 Son Kilometre Teslimatı	16
3. METODOLOJİ	19
3.1 Optimizasyon	19
3.2 Doğrusal Programlama.....	21
3.2.1 Doğrusal programlama modelinin bileşenleri.....	22
3.2.2 Doğrusal programlama modelinin varsayımları.....	23
3.2.3 Doğrusal programlamanın aşamaları	23
3.3 Tamsayı Doğrusal Programlama.....	25
3.4 Doğrusal Programlama ile Yapılan Çalışmalar.....	25
4. UYGULAMA	27
4.1 Problemin Tanımı.....	27
4.2 Kullanılan Veri Setinin Özellikleri.....	28
4.3 Varsayımlar	29
4.4 Matematiksel Model.....	30
4.5 Parametrelerin Belirlenmesi	32
4.5.1 Müşteri talebi	32
4.5.2 Mesafe matrislerinin hesaplanması	32
4.5.3 Lf ve Lp parametre değerlerinin belirlenmesi.....	33
4.5.4 Kapsama parametresinin hesaplanması	33
4.5.5 Raylı hat sistemlerinin belirlenmesi.....	34
4.5.6. Ağırlık çarpanının belirlenmesi	34
4.6. Kodun doğrulanması ve onaylanması	34
4.7. Elde Edilen Sonuçlar	36
4.8. Çalışmanın Sürdürülebilirliğe Katkısı.....	38
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	41
EKLER	45
ÖZGEÇMİŞ	49



KISALTMALAR

MKYK : Maksimum Kapsama Yerleşim Problemi

HMKYK : Hiyerarşik Maksimum Kapsama Yerleşim Problemi

SKT : Son Kilometre Teslimatı





SEMBOLLER

I	: Müşterilerin kümesi
J	: Aday bakkalların kümesi
K	: İstasyonların kümesi
d_i	: Müşteri talebi
a_{ij}	: Müşteri ile bakkal arasındaki mesafe
b_{jk}	: Bakkal ile istasyon arasındaki mesafe
Lf	: Talep noktalarının tam kapsanması için limit mesafe
Lp	: Talep noktalarının kısmi kapsanması için limit mesafe
r_{ij}	: Kapsama parametresi
p	: Aday bakkal sayısı
g	: Ağırlık çarpanı



ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 4.1 : Hangi bakkalların kullanıldığını gösteren karar değişkeni değerleri. ..	35
Çizelge 4.2 : Hangi bakkalın hangi istasyona atandığını gösteren karar değişkeni değerleri.	35
Çizelge 4.3 : Müşterinin talebinin karşılanma oranına ilişkin karar değişkeni değerleri.	35
Çizelge 4.4 : Kapsama parametresi değerleri.	36
Çizelge 4.5 : Kısıt eklenmediğinde gerçekleşen atamalar.	36



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 : İnternet kullanan bireylerin oranı (TÜİK, 2018).	1
Şekil 1.2 : İnternet üzerinden alışveriş yapma oranı (TÜİK, 2018).	2
Şekil 1.3 : Ürün ve hizmet türüne göre internet üzerinden yapılan alışveriş oranları (TÜİK, 2018).	2
Şekil 2.1 : Maksimum kapsama yerleşim probleminin örnek gösterimi.	7
Şekil 2.2 : Kısmi kapsamının olduğu maksimum kapsama yerleşim probleminin örnek gösterimi.	11
Şekil 2.3 : SKT türleri.....	16
Şekil 3.1 : Optimizasyon algoritmalarının sınıflandırılması, Yang (2010)'dan uyarlanmıştır.	21
Şekil 4.1 : Problemin hiyerarşik yapısı.....	28
Şekil 4.2 : Müşteri konumları.	28
Şekil 4.3 : Aday bakkal konumları	29
Şekil 4.4 : Tam kapsama ve kısmi kapsama alanları.	33
Şekil 4.5 : Marmaray ve M4 raylı sistemleri.	34
Şekil 4.6 : Atanan bakkal ve istasyon konumları.	37
Şekil 4.7 : Birinci istasyona atanan bakkalların konumları.	37
Şekil 4.8 : İkinci istasyona atanan bakkalların konumları.	38
Şekil 4.9 : Müşterilerin taleplerinin karşılanma durumu.	38



GIDA ÜRÜNLERİNİN ŞEHİR-İÇİ DAĞITIMININ OPTİMİZASYONU İÇİN SÜRDÜRÜLEBİLİR BİR YAKLAŞIM

ÖZET

Gıda sektöründeki dağıtım, çiftçiden toptancıya, toptancıdan perakendeciye ve oradan da son tüketiciye olmak üzere çok katmanlı bir yapıya sahiptir. Şehirlerde nüfusun yoğun olması sebebiyle gıda ürünlerine talep hayli fazladır. Bu nedenle hem sistemin karmaşık bir yapıya sahip olması hem de talebin fazla olması, tüm zinciri göz önünde bulundurup etkili ve sürdürülebilir bir dağıtım ağı tasarlamayı oldukça zor bir hale getirmektedir.

İnternet ağının hızla gelişmesi, internet üzerinden yapılan alışverişlerin artmasına ve e-ticaret kavramının ortaya çıkmasına neden olmuştur. İnternet üzerinde yapılan alışverişlerde ürünlerin teslimatı müşterinin bulunduğu yere ya da istediği bir yere yapıldığından bu durum müşteri açısından bir avantaj yaratmaktadır. Sipariş edilen bir ürünün müşterinin bulunduğu yere teslim edilmesi şeklinde tanımlanan Son Kilometre Teslimatı lojistik zinciri içerisinde yüksek maliyete sahip bir işlemdir. Ayrıca trafik sıkışıklığı, hava kirliliği, gürültü kirliliği gibi çevreye olumsuz etkileri de bulunmaktadır.

Kentsel bölgelerde gıda ürünlerini son tüketiciye ulaştırırken trafikte kaybedilen zaman ve müşterilerin dağınık haldeki lokasyonları ürünlerin bozulmasına neden olabilmektedir. Bu nedenle ürünleri daha az maliyet ile daha hızlı taşınmasını sağlayacak dağıtım modelini kurmak daha zor hale gelmektedir.

Bu çalışmada, raylı ulaştırma hattını dağıtım ağına entegre ederek ve kentlerde yoğunlaşmış olan küçük bakkal ya da market noktalarıyla işbirliği yaparak gıda ürünlerinin son tüketiciye ulaştırıldığı yeni bir kentsel dağıtım modeli önerilmektedir. Problem kısmi kapsamanın olduğu maksimum yerleşim problemi şeklinde tanımlanmıştır. Belirlenen yerleşim bölgesinde aday bakkal noktaları olduğu ve müşterilerin taleplerinin bu aday bakkallar tarafından karşılandığı varsayılmaktadır. Problemde tren istasyonları, yerleşim yerlerinde bulunan bakkallar ve son tüketiciler yani müşteriler olmak üzere üç hiyerarşik düzey bulunmaktadır. Raylı hattın başlangıç noktasına yakın bir noktada bulunan depodan bakkalların atandığı istasyona raylı hat ile bakkallara gıda ürünlerinin gönderildiği varsayılmaktadır. Problem iki amaca hizmet edecek şekilde formüle edilmiştir. Birinci amaç, tanımlanan bir kapsama parametresi ile müşterilerin en yakındaki bakkaldan taleplerini karşılamalarını sağlayarak talebin karşılanmasını maksimize etmektir. İkinci amaç ise tren istasyonları ile bakkallar arasındaki mesafeyi en aza indirmektir.

İstanbul ili için sürdürülebilir bir optimizasyon yaklaşımı önerilmektedir. Çalışmada Marmaray hattı ve bu hatta entegre olarak çalışan M4 metro hattı kullanılmıştır. Ürünlerin metro ve Marmaray sistemlerinde taşınmasının, yolcu taşımacılığının başladığı en erken saatten daha önce yapıldığı varsayılmaktadır. Kurulan modeli analiz etmek için Türkiye'deki büyük bir bankanın müşterilerine ait kredi kartı işlem verileri kullanılmıştır. 0-1 tamsayı programlama formülasyonu geliştirilerek veri

setinden alınan küçük bir problem örneği GAMS programında çözülmüştür. Daha sonra gerçek veriler kullanılarak MATLAB 2019a programı ile problem çözdürülmüş ve optimum sonuç elde edilmiştir. Çalışmanın sonucunda amaç fonksiyonunu optimize edecek bakkal konumları belirlenmiştir. Belirlenen bu bakkalların konumları harita üzerinde gösterilmiştir.



A SUSTAINABLE APPROACH FOR THE OPTIMIZATION OF THE URBAN GROCERY DISTRIBUTION

SUMMARY

In recent years, internet usage has become widespread with the rapid development of technology. In ten years, the amount of internet users has increased significantly. As a result of this increase, companies have become aware of the potential customer over internet. The fact that the Internet is a part of people's lives has forced some companies in many sectors to change their way of doing business. For this reason, companies have started to offer products or services to consumers over the internet in order to keep up with these new conditions and to maintain their presence in a developing competitive environment. It offered some companies the opportunity to use them as an alternative and effective way to reach their target markets. As a result, the concept of e-commerce has evolved and continues to grow rapidly.

With the development of e-commerce, the process of delivering the products which are the last leg of the supply chain to the customers' place has become a big problem for the enterprises. This process, called the last mile delivery, is a very costly process with little efficiency. For this reason, firms have to make their supply chains effective to adapt to the new conditions that are formed in order to deliver the products to the end customer more quickly with less cost. This makes it difficult to design a sustainable and effective distribution network within the supply chain.

In addition to high cost and inefficiency, the last mile delivery has a negative impact on the environment. In cities, especially in metropolitan cities, both the number of people and the number of vehicles are quite high. This situation causes people to spend long hours in traffic, to create air pollution, to cause people to live in stress. In addition to this situation vehicles used to deliver products to the customer also cause negative effects such as traffic congestion in cities, air pollution resulting from increased CO₂ emissions and noise pollution. This leads to a decrease in the quality of life in cities.

In recent times, environmental awareness and responsibility have emerged in humans and both the state and the companies make investments that respect the environment. The concept of sustainability, which means ensuring the continuity of diversity and productivity of biological systems, has become a notable issue. Nowadays, electric vehicles are being used instead of fossil fuel powered vehicles. When the studies in the literature are analyzed, creative solutions have been presented to reduce the negative effects of the last mile delivery and the distribution of the product within the city as well as to protect the environment. Railway lines, electric vehicles, bicycle couriers are some of the examples presented to reduce the negative effects of last mile delivery.

Especially in the food sector which is the subject of this study, is commonly multi-layered starting from the farmer to the wholesaler, then to logistics service provider, to the retailer and finally to the end-customer. Thus, an effective and sustainable distribution network design considering the whole chain is quite complex and challenging. With the increasing use of internet and e-tailing, last-mile delivery has also become one of the challenges of grocery distribution. When the total number of deliveries made with the orders given over the internet according to the type of product is examined, the sales volume of the food products is quite high. It is also a critical issue that the distribution of food products is made faster than the danger of degradation of products.

Therefore there exist many improvement areas in the traditional grocery distribution such as reducing the carbon emissions by better routing, changing the transportation modes or eliminating the food spoil during the distribution. The heavy traffic in the cities and the scattered location of the customers in the residential area cause a loss of time in the distribution of the products. Because of the danger of product deterioration, the time spent in traffic can increase the cost.

In this study, we propose a new urban distribution model for grocery goods particularly by integrating the railway mode in the distribution network and enhancing the last mile delivery via collaboration with the small independent grocery shops dispersed densely around the urban area. The problem is defined as a maximal covering facility location problem with coverage parameter. The coverage parameter is explained as follows. Demand points that are within the minimum critical distance to a facility are said to be covered, points that are further than the maximum critical distance are said to be uncovered, and the points that are located between the minimum critical distance and the maximum critical distance are partially covered. The distribution network considered in this problem consists of three levels, that are (i) railway stations, (ii) small grocery stores and (iii) end-customers. It is assumed that there are candidate grocery points within a given residential area and that the demand of the customers can be divided. It is assumed that the railway is used to replenish the small grocery stores from a grocery warehouse which is close to the starting point of the railway line. The grocery goods are sent to from this warehouse to the specific railway stations to which grocery stores are assigned to and the grocery goods are picked up by the grocery stores. Contrary to the common practice of using trucks for the long-distance distribution process, using rail line as proposed in this study would contribute to cost-effectiveness and the carbon emission reduction even though, the latter is not explicitly added in the mathematical model. The network is also designed by incorporating the small grocery stores in order to maximize the coverage of the end-customers and to minimize the collecting cost of goods from the railway stations. The problem is formulized as a mixed integer programming model. The first objective is to maximize the fulfilment of the demand by ensuring that customers receive the service from the nearest grocery stores with the specified coverage parameter. The second is to minimize the distance between railway stations and grocery stores.

A sustainable approach is proposed for a case study problem in Istanbul. The urban railway to be used is a metro line named as “Marmaray”. The M4 metro line which is integrated to the Marmaray line was also used. It is assumed that rail transportation systems are utilized for goods transportation before starting the daily scheduled earliest passenger transportation trip. To analyse the grocery demand in Istanbul a credit card transaction data in the category of grocery from a large Turkish bank is used.

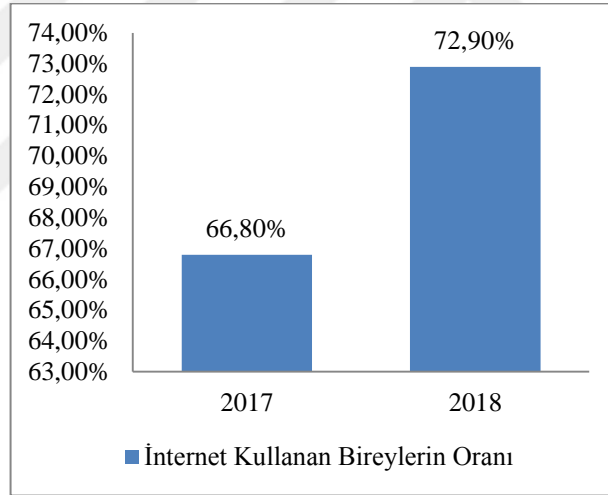
In this study, the locations of customers in Istanbul were used in the data set since Istanbul was selected as the application area. Candidate grocery points were created randomly in Istanbul. A total of 5159 customers, 200 candidate grocery stores and 22 stations were used in the study. The mathematical model was first solved by GAMS with the help of a small sample taken from the data set. After testing the accuracy of the model, the problem is solved by using the Optimization Toolbox of MATLAB 2019a program for a large-scale problem.

As a result of the study, grocery points where the above-stated objectives for the distribution of food products are optimally provided have been identified. Information about which candidate grocery points will be used can be obtained from the solution of the problem. These determined grocery points are shown on the map. According to the results obtained, it is aimed to reduce the negative economic, social and environmental impacts that occur during the delivery of food products in the city.



1. GİRİŞ

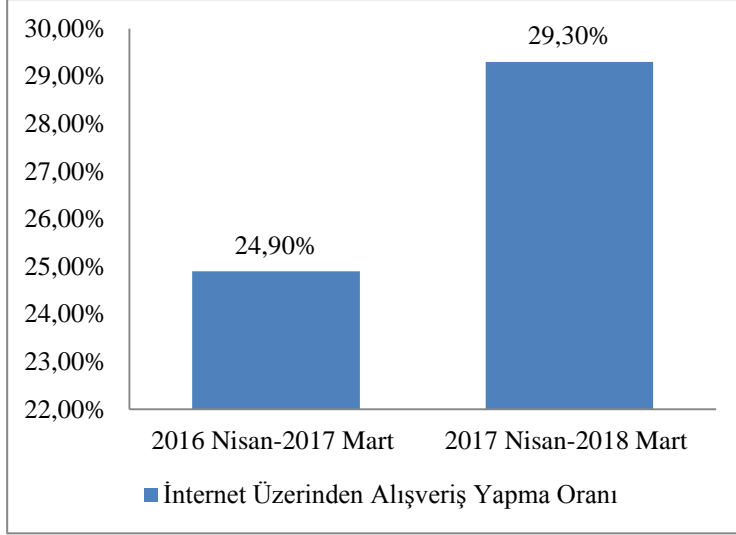
Son yıllarda teknolojinin hızla gelişmesiyle internet kullanımı da yaygın bir hale gelmiştir. Firmalar gelişen internet ortamı üzerindeki potansiyel müşteri kitlesinin farkına varmıştır. Bu nedenle firmalar oluşan bu yeni koşullara ayak uydurmak, gelişen rekabet ortamında varlıklarını sürdürebilmek için internet üzerinden tüketicilere ürün veya hizmet sunmaya başlamışlardır. Bunun sonucu olarak da gelişen ve hızla büyümeye devam eden e-ticaret kavramı ortaya çıkmıştır. Şekil 1.1’de Türkiye İstatistik Kurumu’nun (TÜİK) 2018 yılı Hanehalkı Bilişim Teknolojileri (BT) Kullanım Araştırmasına göre 16-74 yaş grubundaki bireylerin internet kullanım oranı 2017 yılının verisiyle karşılaştırmalı olarak gösterilmektedir.



Şekil 1.1: İnternet kullanan bireylerin oranı (TÜİK, 2018).

Şekil 1.1’e bakıldığında 16-74 yaş grubundaki bireylerin 2017 yılı internet kullanım oranı %66,80 iken 2018 yılında bu oran %72,90 olmuştur.

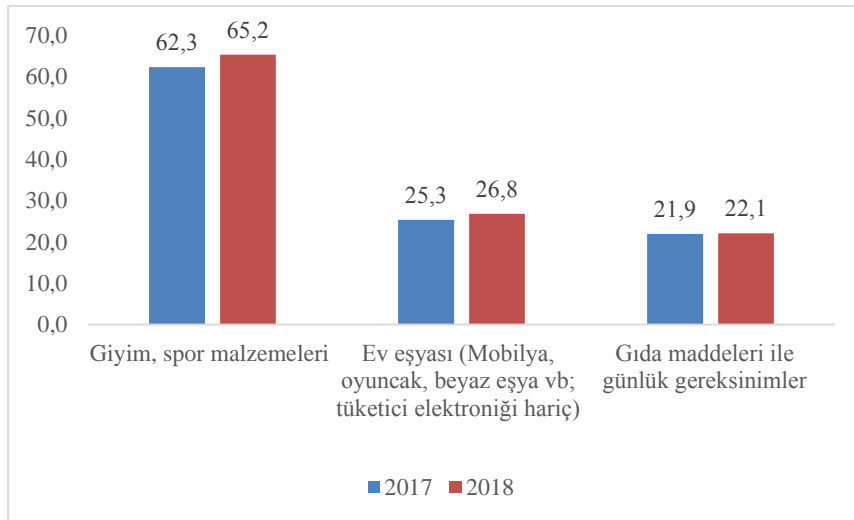
Şekil 1.2’de TÜİK 2018 yılı Hanehalkı Bilişim Teknolojileri (BT) Kullanım Araştırmasına göre 16-74 yaş grubundaki bireylerin internet üzerinden alışveriş yapma oranı gösterilmektedir.



Şekil 1.2: İnternet üzerinden alışveriş yapma oranı (TÜİK, 2018).

Şekil 1.2'ye bakıldığında 2016 Nisan-2017 Mart döneminde 16-74 yaş grubundaki bireylerin internet üzerinden alışveriş yapma oranı %24,90 iken bu oran 2017 Nisan-2018 Mart döneminde %29,30 olmuştur.

İnternet üzerinden yapılan satış hacmi 2013'ten bu yana %50 oranında artış göstermiştir, ürün türüne göre internet üzerinden verilen siparişler ile yapılan toplam teslimat sayısına bakıldığında gıda ürünleri üçüncü sırada yer almaktadır (Barclays, 2014). Şekil 1.3'te TÜİK 2018 yılı Hanehalkı Bilişim Teknolojileri (BT) Kullanım Araştırmasında ürün ve hizmet türüne göre internet üzerinden yapılan alışveriş oranları gösterilmektedir. Bu oranlar göz önünde bulundurulduğunda gıda maddeleri ile günlük gereksinimler üçüncü sırada yer almaktadır.



Şekil 1.3: Ürün ve hizmet türüne göre internet üzerinden yapılan alışveriş oranları (TÜİK, 2018).

Şekil 1.3 incelendiğinde, 2017 yılında gıda maddeleri ve günlük gereksinimler kategorisinde internet üzerinden yapılan alışveriş oranı %21,9 iken bu oran 2018 yılında %22,1 olmuştur.

Gelişen yeni koşullar müşterilerin satın alma davranışlarının değişmesine neden olmuştur. Artık müşteriler satın aldıkları ürünlerin hızlı, ucuz ve güvenilir bir şekilde kendilerine ulaşmasını beklemektedirler. İşletmeler ise hem talepleri istenilen zamanda en az maliyet ile karşılamak, hem de karlılıklarını arttırmak istemektedirler. Müşterilerin taleplerine hızlı bir şekilde cevap verebilmek için işletmeler, tedarik zincirlerini oluşturan yeni koşullara adapte olacak şekilde etkin bir hale getirmek zorundadır. Ürünlerin son tüketiciye hızlı, ucuz ve güvenilir bir şekilde ulaştırılması dağıtım ağı içerisindeki en önemli sorunlardan biri haline gelmiştir.

Tedarik zincirinin son aşaması olan son kilometre teslimatı (SKT) sipariş edilen bir ürünün tüketicinin bulunduğu yere teslim edilmesidir. SKT günümüzde genel lojistik zincirinin içerisinde en pahalı, en verimsiz ve çevreyi en çok olumsuz bir şekilde etkileyen bölümü olarak görülmektedir. SKT maliyetinin, toplam tedarik zinciri maliyetinin %13'ü ile %75'i arasında olduğu kabul edilmektedir (Gevaers ve ark., 2011).

Şehiriçinde son tüketiciye ulaştırılmak üzere ürün dağıtımının geleneksel karayolu taşımacılığı ile yapılmasının olumsuz ekonomik, sosyal ve çevresel etkileri mevcuttur. Başlıca etkilerinden biri araç trafiğinin neden olduğu karbondioksit emisyonunun artmasıdır. Buna bağlı olarak şehirlerde araç sayısının fazla ve trafiğin yoğun olması hava ve gürültü kirliliğini arttırmaktadır. Bu durum, şehirlerde yaşam kalitesinin düşmesine neden olmaktadır. Şehiriçinde yoğun trafik sebebiyle kaybedilen zaman ve artan yakıt masrafı dağıtımın ekonomik anlamda olumsuz etkileridir. Bu olumsuz etkilerin azaltılması ve dağıtımın iyileştirilmesi için çalışmalar yapılmıştır. Çevreye verilen zararları azaltmak için şehir-içindeki ürün dağıtımının raylı ulaştırma sistemleri, elektrikli araçlar, bisiklet kuryeler gibi yöntemlerle yapılması üzerine çalışmalar mevcuttur.

Özellikle bu çalışmaya konu olan gıda sektöründeki dağıtım, çiftçiden toptancıya, toptancıdan perakendeciye ve oradan da son tüketiciye olmak üzere çok katmanlı bir yapıya sahiptir. Bu nedenle tüm zinciri göz önünde bulundurup etkili ve sürdürülebilir bir dağıtım ağı tasarlamak oldukça zordur.

Bu çalışmada, raylı ulaştırma hattını dağıtım ağına entegre ederek ve kentlerde yoğunlaşmış olan küçük bakkal ya da market noktalarıyla işbirliği yaparak gıda ürünlerinin son tüketiciye ulaştırıldığı yeni bir kentsel dağıtım modeli önerilmektedir. Uzun mesafedeki dağıtım işlemi için kamyonların genel olarak kullanılmasının aksine bu işlem için raylı hatların kullanılması hem maliyetin hem de karbon salınımının azalmasına katkı sağlamaktadır. Önerilen dağıtım modeli raylı sistem istasyonları, aday bakkal noktaları ve son tüketiciler yani müşteriler olmak üzere hiyerarşik üç farklı düzeyden oluşmaktadır. Dağıtım modeli, kısmi kapsamanın olduğu maksimum kapsama yerleşim probleminden hareketle belirlenen kritik mesafeler içerisinde yer alan müşterilerin taleplerinin maksimum oranda karşılanmasını sağlamak ve ürünlerin istasyonlardan toplanma maliyetini azaltmak için bakkallar ile istasyonlar arasındaki mesafeyi en küçüklemek üzere tasarlanmıştır. 0-1 tamsayılı doğrusal programlama ile problemin matematiksel modeli yazılmıştır. Türkiye'deki büyük bir bankanın müşterilerine ait kredi kartı işlem verileri kullanılarak İstanbul ili için bir vaka çalışması yapılmıştır.

Çalışmanın sonucunda, gıda ürünlerinin dağıtımı için yukarıda ifade edilen amaçların optimum olarak sağlandığı bakkal noktaları tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlarla şehiriçindeki gıda ürünlerinin teslimatı yapılırken ortaya çıkan olumsuz ekonomik, sosyal ve çevresel etkilerin azaltılması amaçlanmaktadır.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

2.1 Küme Kapsama Problemi

Küme kapsama problemi belirli sayıdaki aday tesis yerleşimi içerisinde tüm talep noktalarının en az bir tesis tarafından kapsandığı minimum maliyetli tesis yerleşiminin bulunmasıdır.

m tane talep noktası, n tane aday tesis yerleşiminin olduğu bir sistemin tamsayı küme kapsama modeli şu şekildedir (Beasley, 1996):

$$\text{Min} \sum_{j=1}^n c_j x_j \quad (2.1)$$

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \geq 1, \quad i = 1, \dots, m \quad (2.2)$$

$$x_j \in \{0, 1\}, \quad j = 1, \dots, n \quad (2.3)$$

Bu modelde

i = talep indisi;

j = aday tesis yerleşim indisi;

c_j = j noktasında kurulacak olan tesisin sabit maliyeti;

$a_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{eğer } j \text{ noktasında açılacak tesis } i \text{ noktasını kapsıyorsa} \\ 0, & \text{kapsamıyorsa;} \end{cases}$

$x_j = \begin{cases} 1, & j \text{ noktasına tesis açılırsa} \\ 0, & \text{açılmazsa.} \end{cases}$

Denklem 2.1'deki amaç fonksiyonu, tüm talep noktalarının en az bir tesis tarafından kapsanabilmesi için en az maliyetli tesis kombinasyonunu bulmayı hedeflemektedir.

Denklem 2.2'deki kısıt ile tüm talep noktalarının en az bir tesis tarafından kapsanması sağlanmıştır. Karar değişkeninin ikili değer alması için gerekli olan kısıt görüldüğü gibi denklem 2.3 ile sağlanmıştır.

2.2 Küme Kapsama Yerleşim Problemi

Küme Kapsama Yerleşim Probleminin amacı belirli bir uzaklık ya da zaman birimi içerisinde tüm talep noktalarını kapsayacak minimum sayıda servis sağlayıcının bulunmasıdır. Acil durum istasyonlarının yerlerinin belirlenmesi, bir iletişim ağı içerisinde kontrol merkezinin yerinin belirlenmesi, baz istasyonlarının yerlerinin belirlenmesi gibi uygulama alanları mevcuttur.

Küme Kapsama Yerleşim Problemi ilk olarak Hakimi (1964) tarafından ele alınmıştır. Bu çalışmanın amacı bir iletişim ağındaki kontrol merkezini ağı içindeki en uzak noktaya olan mesafenin minimum olduğu bir noktaya doğru yönlendirmektir.

Hakimi (1965), bir önceki çalışmasında ele aldığı merkez kavramını genelleştirerek, belirlenen maksimum mesafe içerisindeki tüm talep noktalarını kapsayan minimum merkez sayısını bulmayı amaçlamıştır. Bu problemi çözmek için Boolean fonksiyonlarını kullanmıştır.

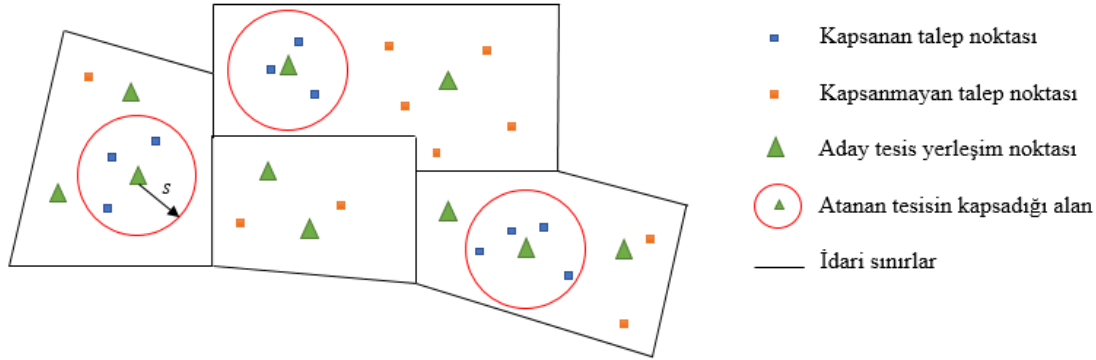
Toregas (1971), Küme Kapsama Yerleşim Problemini ilk olarak tamsayılı programlama problemi olarak ele almıştır. Bu çalışmanın amacı, tüm talepleri karşılamak için gerekli olan itfaiye gibi acil durum hizmeti veren istasyonların sayısını minimuma indirmektir. Bir talebin kapsanabilmesi için talep noktası ile servis sağlayıcı arasındaki mesafenin önceden belirlenmiş mesafeden daha küçük olması gerekmektedir.

2.3 Maksimum Kapsama Yerleşim Problemi

Maksimum kapsama yerleşim probleminde (MKYP) küme kapsama probleminin aksine tüm talep noktalarının kapsanması gibi bir kısıtlama yoktur. Bu problemin amacı belirlenen bir S uzaklığı ya da bir zaman birimi içinde maksimum popülasyon kapsanacak şekilde tesislerin yerlerinin belirlenmesidir.

Şekil 2.1'de üç tesisin atandığı bir maksimum yerleşim probleminin örneği görülmektedir. Her bir tesis S yarıçapına sahip dairesel bir alan içindeki talep

noktalarını kapsamaktadır. Bu alan içerisinde yer almayan talep noktaları kapsamamaktadır.



Şekil 2.1: Maksimum kapsama yerleşim probleminin örnek gösterimi.

MKYP üzerindeki ilk çalışma Church ve Revelle (1974) tarafından yapılmıştır. Bu çalışmada yer alan problemin amacı, sınırlı sayıda tesis ile belirtilen bir servis mesafesi ya da süresi içinde kapsanacak veya hizmet sağlanacak maksimum popülasyonu bulmaktır. Aynı zamanda servis mesafesi S olarak tanımlandığında, hiçbir talep noktası kendisine en yakın tesise $T(T > S)$ mesafesinden daha uzakta olmayacaktır. Burada T , zorunlu kapsama alanı olarak tanımlanmaktadır. Bu çalışmada önerilen problemin matematiksel olarak ifade edilmiş şekli aşağıda yer almaktadır:

$$\text{Maks } \sum_{i \in I} a_i y_i \quad (2.4)$$

öyle ki

$$\sum_{j \in N_i} x_j \geq y_i \quad (2.5)$$

$$\sum_{j \in J} x_j = p \quad (2.6)$$

$$x_j \in \{0, 1\} \quad \forall j \in J \quad (2.7)$$

$$y_i \in \{0, 1\} \quad \forall i \in I \quad (2.8)$$

Bu modelde

J = talep noktalarının kümesi;

I = aday tesis yerleşim noktalarının kümesi;

S = talebin kapsanıp kapsanmadığına ilişkin uzaklık;

d_{ij} = i noktası ile j noktası arasındaki en kısa mesafe;

$$x_j = \begin{cases} 1, j \text{ tesis yerleşim noktasına tesis atanmışsa} \\ 0, \text{ atanmamışsa;} \end{cases}$$

$$y_i = \begin{cases} 1, i \text{ talep noktası } S \text{ uzaklığı içinde bir tesis tarafından kapsanıyorsa} \\ 0, \text{ kapsanmıyorsa;} \end{cases}$$

$$N_i = \{j \in J | d_{ij} \leq S\};$$

a_i = i talep noktasında kapsanan popülasyon;

p = yerleştirilecek tesis sayısı.

Eğer d_{ij} , S uzaklığına eşit ya da daha küçük ise i talep noktası kapsanmaktadır. Kapsanan talep noktalarının kümesi N_i ile gösterilmektedir.

Denklem 2.4'te yer alan amaç fonksiyonu belirtilen S uzaklığı içinde kapsanan maksimum popülasyonu bulmayı hedeflemektedir. Denklem 2.5'teki kısıt belirtilen S uzaklığı içinde kurulan bir ya da daha fazla tesisin talep noktası i 'yi kapsamasını sağlamaktadır. Denklem 2.6'daki kısıt kurulan tesislerin sayısını p ile sınırlandırmaktadır. Denklem 2.7 ve denklem 2.8'teki kısıtlar ise değişkenlerin ikili değer almasını sağlamaktadır.

2.4 Hiyerarşik Maksimum Kapsama Yerleşim Problemi

Hiyerarşik maksimum kapsama yerleşim problemi (HMKYP), MKYP'nin genişletilmiş bir halidir. Bu problemde yüksek-seviyedeki talep ve düşük-seviyedeki talep olmak üzere birden fazla seviyede talep bulunduran bir hiyerarşi bulunmaktadır. Yüksek-seviyedeki talep yüksek-seviyedeki tesis tarafından karşılanırken, düşük-seviyedeki talep hem yüksek-seviyedeki tesis hem de düşük-seviyedeki tesis tarafından karşılanabilmektedir.

Moore ve Revelle (1982) çalışmalarında HMKYP sunmuşlardır. Problemin amacı, sayısı önceden belirlenmiş olan tesislerin, popülasyonun tüm hizmet seviyelerine

erişimini maksimum düzeyde tutacak şekilde hiyerarşinin her seviyesi için yerleşimidir. Çalışmada sunulan iki seviyeli HMKYP aşağıdaki gibi modellenmiştir:

$$\text{Maks } \sum_{j \in J} f_j x_j \quad (2.9)$$

öyle ki

$$\sum_{i \in I} a_{ij} y_i + \sum_{i \in I} b_{ij} z_i - x_j \geq 0 \quad \forall j \in J \quad (2.10)$$

$$\sum_{i \in I} c_{ij} z_i - x_j \geq 0 \quad \forall j \in J \quad (2.11)$$

$$\sum_{i \in I} y_i = p \quad (2.12)$$

$$\sum_{i \in I} z_i = q \quad (2.13)$$

$$x_j, y_i, z_i \in \{0, 1\} \quad \forall j \in J, \forall i \in I \quad (2.14)$$

Bu modelde

I = aday tesis yerleşim noktalarının kümesi;

J = talep alanlarının kümesi;

$$a_{ij} = \begin{cases} 1, \text{ eğer } j \text{ talep alanı seviye-1'de } i \text{ noktasındaki düşük-seviyeli} \\ \text{tesis tarafından kapsanıyorsa} \\ 0, \text{ kapsanmıyorsa;} \end{cases}$$

$$b_{ij} = \begin{cases} 1, \text{ eğer } j \text{ talep alanı seviye-1'de } i \text{ noktasındaki yüksek-seviyeli} \\ \text{tesis tarafından kapsanıyorsa} \\ 0, \text{ kapsanmıyorsa;} \end{cases}$$

$$c_{ij} = \begin{cases} 1, \text{ eğer } j \text{ talep alanı seviye-2'de } i \text{ noktasındaki yüksek-seviyeli} \\ \text{tesis tarafından kapsanıyorsa} \\ 0, \text{ kapsanmıyorsa;} \end{cases}$$

$$x_j = \begin{cases} 1, & \text{eğer } j \text{ talep alan kapsaniyorsa} \\ 0, & \text{kapsanmiyorsa;} \end{cases}$$

$$y_i = \begin{cases} 1, & \text{eğer düşük-seviyeli tesis } i \text{ noktasına atanmışsa} \\ 0, & \text{atanmamışsa;} \end{cases}$$

$$z_j = \begin{cases} 1, & \text{eğer yüksek-seviyeli tesis } i \text{ noktasına atanmışsa} \\ 0, & \text{atanmamışsa;} \end{cases}$$

$f_j = j$ talep alanındaki popülasyon;

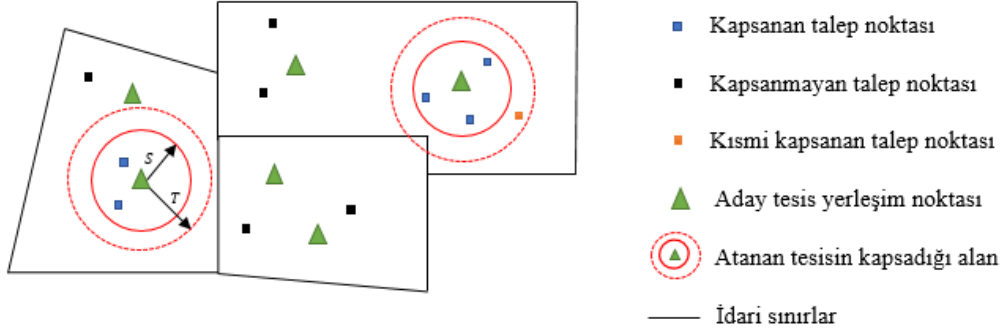
$p =$ atanan düşük-seviyeli tesis sayısı;

$q =$ atanan yüksek-seviyeli tesis sayısı.

Denklem 2.9'daki amaç fonksiyonu, hem seviye-1 hem de seviye-2'deki tesislerin kapsadığı popülasyonu maksimize etmeyi hedeflemektedir. Denklem 2.10 eğer j talep alanının kritik mesafesi içinde en az bir düşük seviye veya yüksek seviye tesis varsa talep alanının seviye-1 tarafından kapsanmasını kısıtlamaktadır. Denklem 2.11 eğer j talep alanının kritik mesafesi içinde en az bir yüksek seviye tesis varsa talep alanının seviye-2 tarafından kapsanmasını kısıtlamaktadır. Denklem 2.12 çözümdeki düşük-seviyeli tesislerin sayısını p ile kısıtlarken, denklem 2.13 çözümdeki yüksek-seviyeli tesislerin sayısını q ile kısıtlamaktadır. Denklem 2.14 ise karar değişkenlerinin 0-1 değerini almasını sağlamaktadır.

2.5 Kısmi Kapsamanın Olduğu Maksimum Kapsama Yerleşim Problemi

Klasik MKYP'de eğer bir talep noktası, tesisten belirlenen kritik mesafe kadar uzaklıkta taranan alan içerisinde yer alıyorsa tamamen kapsanır, bu alanın içinde yer almıyorsa kapsanmaz şeklinde düşünülmektedir. Bu sebeple MKYP'nin optimum sonucu belirlenen kritik mesafeye bağlı olmakta ve bu durum hatalı sonuçlara yol açabilmektedir. Bu nedenle kısmi kapsamanın olduğu MKYP'de bir tane kritik mesafe tanımlamak yerine iki tane kritik mesafe tanımlanmıştır. Bunlar minimum kritik mesafe S ve maksimum kritik mesafe T 'dir. Talep noktası tesise S uzaklıkta ise kapsanmakta, T mesafesinden daha uzakta ise kapsanmamakta, S mesafesi ile T mesafesi arasında ise kısmi olarak kapsanmaktadır. Şekil 2.2'de kısmi kapsamanın olduğu MKYP için örnek gösterim yer almaktadır.



Şekil 2.2: Kısmi kapsamanın olduğu maksimum kapsama yerleşim probleminin örnek gösterimi.

Kısmi kapsamanın olduğu MKYP Karasakal ve Karasakal (2004) tarafından şu şekilde modellenmiştir:

$$Maks \sum_{i \in I} \sum_{j \in M_i} C_{ij} x_{ij} \quad (2.15)$$

öyle ki

$$\sum_{j \in J} y_j = P \quad (2.16)$$

$$x_{ij} \leq y_j \quad \forall i \in I, j \in M_i \quad (2.17)$$

$$\sum_{j \in M_i} x_{ij} \leq 1 \quad \forall i \in I \quad (2.18)$$

$$y_j \in \{0, 1\} \quad \forall j \in J \quad (2.19)$$

$$x_{ij} \in \{0, 1\} \quad \forall i \in I, j \in M_i \quad (2.20)$$

Bu modelde

I = talep noktalarının indis kümesi;

J = aday tesis yerleşim noktalarının indis kümesi;

P = yerleştirilecek tesis sayısı;

M_i = talep noktası i 'yi tamamen ya da kısmi olarak kapsayabilecek tesislerin kümesi;

S = maksimum tam kapsama mesafesi;

T = maksimum kısmi kapsama mesafesi ($T > S$);

D_{ij} = talep noktası i ile j tesisi arasındaki seyahat mesafesi;

C_{ij} = talep noktası i 'nin j tesisi tarafından kapsanma seviyesi;

$$C_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{eğer } D_{ij} \leq S \\ f(D_{ij}), & \text{eğer } S < D_{ij} \leq T, (0 < f(D_{ij}) < 1) \\ 0, & \text{aksi halde;} \end{cases}$$

$$y_j = \begin{cases} 1, & \text{eğer bir tesis } j \text{ noktasında kurulmuşsa} \\ 0, & \text{kurulmamışsa;} \end{cases}$$

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, & i \text{ noktasındaki talep } j \text{ noktasındaki tesis tarafından kısmen} \\ & \text{ya da tamamen karşılanırsa} \\ 0, & \text{karşılanmazsa;} \end{cases}$$

Denklem 2.15'te yer alan amaç fonksiyonu T maksimum kritik mesafesi içerisinde kapsama seviyesini en büyükmeyi amaçlamaktadır. Denklem 2.16'da yerleştirilecek olan tesis sayısı P 'de kısıtlanmaktadır. Denklem 2.17'de yer alan kısıt eğer bir tesis j noktasına kurulmazsa i noktasındaki talebin j noktasındaki tesis ile karşılanamayacağını garanti etmektedir. Denklem 2.18 tüm talep noktalarının en fazla bir tesis tarafından karşılanmasını kısıtlamaktadır. Eğer talep noktası birden fazla tesis tarafından kapsanıyorsa, amaç fonksiyonu tarafından zorlanan maksimum kapsamayı sağlayan tesis seçilecektir. Denklem 2.19 ve 2.20 karar değişkenlerinin 0-1 değerini almasını sağlayan kısıtlardır.

2.6 Şehiriçi Ürün Dağıtımı

Şehiriçindeki ya da büyükşehirlerdeki ürün dağıtımının sıklığı bu bölgelerde artan nüfusa bağlı olarak son yıllarda hızlı bir artış göstermektedir. Ayrıca e-ticaretin gelişmesiyle birlikte tedarik zincirlerinin kazandığı yeni özellikler kalabalık şehirlerdeki ürün dağıtımını üzerinde etki yaratmaktadır. Ürün dağıtımının sorunsuz bir şekilde yapılabilmesi için işbirliği yapan taraflar bu durumdan ekonomik olarak fayda sağlamaktadır. Dolayısıyla şehiriçi ürün dağıtımı ekonomik açıdan düşünüldüğünde kente de katkı sağlamaktadır.

Şehiriçi ürün dağıtımını tümüne bakıldığında karmaşık bir problemdir. Çünkü pek çok bileşeni vardır. Şehir yönetimi, şehirde yaşayan vatandaşlar, taşıyıcılar, tedarikçiler bu bileşenler arasındadır. Karmaşık bir problem olması aslında tüm bu bileşenlerin çıkarlarının birbiriyle çelişir durumda olmasından kaynaklanmaktadır. Tüm bu bileşenler göz önüne alındığında şehiriçi ürün dağıtımının tanımını aşağıdaki özelliklere dayandırılarak yapılabilir (Alvarez ve Calle, 2013):

- İlgili bileşenleri: Çok sayıda bileşenin konuya dahil olması ve bu bileşenlerin her birisinin çıkarlarını önde tutmak istemesi şehiriçi dağıtımını çok yönlü bir problem haline getirmektedir. Taraflar arasında iş birliği yapılması bu sorunun çözümü için en sık görülen yöntem olsa da bu işbirliğine şehirde yaşayan vatandaşların ya da şehir yönetiminin temsilcileri dahil edilmemektedir.
- Kısa rotalar: Bu taşıma türü, hem kapsanan alanlar hem de dağıtılan malların türü nedeniyle nispeten kısa rotalar ve düşük hızlı sürüş gerektirmektedir.
- Kısa süreli etkili sürüş: Bir sürücünün çalışma süresi aracı sürdüğü zaman ve nakliye işlemini yaptığı zaman olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Nakliye işleminin gerçekleştiği kısım sürüş zamanını geçebilmektedir ve genellikle dağıtım maliyetlerinin çok önemli bir bölümünü temsil etmektedir.
- Uzun süreli araç duruşları: Sürücünün arabayı park edip yürüyerek teslimatı alıcıya götürmesi dağıtımın bir parçasıdır. Sürücü aracı kullanmamasına rağmen teslimat yapılırken geçen süre çalışma zamanı olarak kabul edilmektedir. O yüzden bu durum şehiriçi ürün dağıtımının maliyeti olarak düşünülmelidir.
- Yoğun insan gücü ihtiyacı: İnsan gücü, şehiriçi ürün dağıtımının başlıca maliyetlerinden biridir. Yakıt, araçların bakımı, amortisman giderleri gibi maliyetlerin üzerinde yer almaktadır.
- Alan kısıtlamaları: Şehiriçindeki alanların ürün dağıtımını için yapılandırılması alan kısıtlamaları nedeniyle çok zor bir durumdur. İki ya da üç eksenli ağır taşıtların şehiriçinde kullanılmasına genellikle izin verilmemektedir. O nedenle bu bölgelere ağırlığı 3,5 tonu geçmeyen nakliye kamyonları ile teslimat yapılmaktadır. Bu özellikteki araçlar sınırlı taşıma kapasitesine sahiptir, bu da karayollarında trafiğin artmasına neden olmaktadır.

- Ulaştırma altyapısı: Şehirlerde sınırlı bir altyapı olmasına karşın hem yolcu hem de yük taşımacılığı için yüksek bir talep vardır. Bu durum trafik sıkışıklığı nedeniyle taşıma işleminin gecikmesine neden olmaktadır. Sorunu çözmek için yeni altyapı geliştirmek yüksek maliyetlere sahiptir.
- Çevresel etki: Şehiriçinde yapılan teslimatlar bu bölgelerde yaşayan insan sayısının fazla olduğu göz önünde bulundurularak çevreye saygılı bir şekilde yapılmalıdır. Gürültü kirliliğine karşı sınırlamalar getirmek, egzoz gazı emisyonunu kontrol etmek gibi uygulamalar gereklidir.

Bu özellikler göz önünde bulundurulduğunda, şehiriçindeki ürün dağıtımının iyileştirilmesi için her şehrin sahip olduğu farklı özelliklere göre uygulamalar geliştirilmesi gerektiği anlaşılmaktadır.

Şehiriçi ürün dağıtımının neden olduğu trafik, hava kirliliği, gürültü gibi pek çok olumsuz durumun iyileştirilmesi ve etkilerinin azaltılabilmesi için yenilikçi çözümler önerilmiştir.

Holguin-Veras ve ark. (2016) çalışmalarında kentlerdeki taşımacılığın olumsuz çevresel etkilerinin çoğunun trafik sıkışıklığından kaynaklandığını vurgulamıştır. Bu olumsuz çevresel etkilerin yarattığı problemlere çözüm getirmek için teslimatların trafiğin yoğun olmadığı saatlerde yapılarak emisyonun azaltılması ile ilgili yeni bir araştırma sunulmuştur. Amerika'da üç büyük şehirde yapılan ölçümlerden elde edilen sonuçlar emisyon azalışının teslimat saatlerinin değişme derecesine bağlı olduğunu göstermektedir. Eğer teslimatlar tamamen trafiğin yoğun olmadığı saatlerde (19.00-06.00 arası) yapılırsa emisyon miktarında %45 ile %67 arasında bir azalma meydana gelmektedir. Teslimatlar trafiğin yoğun olmadığı zaman dilimi içerisinde kısmi olarak yapılırsa (18.00-22.00 arası) emisyon miktarında yaklaşık %13'lük bir azalma görülmektedir. Böylece kentsel ürün dağıtımının verimliliği artmaktadır. Ayrıca yenilikçi çözümlerden elde edilen çevresel faydaların artmasıyla da şehirlerin yaşanabilirliği artmaktadır.

Trafiğin yoğun olmadığı saatlerde yapılan başarılı teslimatın trafik koşullarını iyileştirdiği, zaman ve yakıt tasarrufu sağladığı, daha düşük teslimat maliyeti yarattığı, trafik sıkışıklığının yarattığı zorlukları azalttığı ve müşteri hizmetlerini geliştirdiği görülmektedir (Noel, 1983).

Diğer bir yandan teslimatın trafiğin yoğun olduğu saatler dışında yani gece geç saatlerde ya da sabah erken saatlerde yapılması teslimatı o saatlerde yapacak personel ihtiyacını doğurmaktadır. Bu da ek bir personel maliyetine neden olmaktadır. Teslimatı alacak olanlara ise kamera ya da diğer cihazların kurulumuyla ortaya çıkan bir güvenlik maliyeti getirmektedir (Estrada ve ark. 2017).

Teslimatların birleştirilmesi şehiriçi ürün teslimatının neden olduğu olumsuz çevresel etkilerin azaltılabilmesi için sunulan diğer bir öneridir. Teslimatları birleştirmenin amacı teslimatı yapan araç sayısını azaltmaktır. Araç sayısının azalmasıyla trafik, egzoz gazı emisyonu gibi olumsuz çevresel etkilerin azaltılması amaçlanmaktadır. Bu stratejinin uygulanabilmesi için farklı tedarikçilerden alınan teslimatların birleştirilmesi gerekmektedir. Teslimatların ne zaman ve ne şekilde birleştirileceği ile ilgili farklı konsolidasyon stratejileri literatürde yer almaktadır.

Holguín-Veras, Sánchez-Díaz (2016), çalışmalarında taşıyıcıların konsolide edildiği bir strateji sunmuştur. Bu stratejide çok sayıda taşıyıcı tarafından ziyaret edilen bir tesiste teslimatlar konsolide edilip, şehirlerdeki son alıcılara götürülmek üzere son kilometre teslimatı yapacak araçlara yüklenmektedir. Bu tesisler Kentsel Konsolidasyon Merkezi (KKM) olarak adlandırılmaktadır. Bu merkezler şehirlerdeki yük taşımacılığının neden olduğu trafiği azaltmak için kurulmuş tesislerdir. Aynı zamanda yük taşımacılığının sürdürülebilirliğini temsil eden somut örneklerdir.

Şehiriçi ürün dağıtımının maliyetini ve çevreye verdiği olumsuz etkileri azaltmak için Kelly ve Marinov (2017) farklı bir bakış açısı sunmuştur. Çalışmada şehir merkezlerine yük taşımacılığının metro ya da tramvay ağı kullanılarak yapılması ele alınmıştır. Metroların iç dizaynı yük taşımacılığı yapmak için uygun değildir. Bu nedenle metronun iç tasarımı ile ilgili üç farklı öneri yapılmıştır. Bu önerilere iki değerlendirme yöntemi uygulanmıştır. Belirlenen kriterler ile bir karar matrisi oluşturulmuştur. Böylece en yüksek puandan en düşük puana kadar tasarımlar sıralanarak birbiriyle karşılaştırılmaktadır. Diğer bir değerlendirme yöntemi, önerilen tasarımın mevcut dağıtım sistemleri ile karşılaştırılmasıdır.

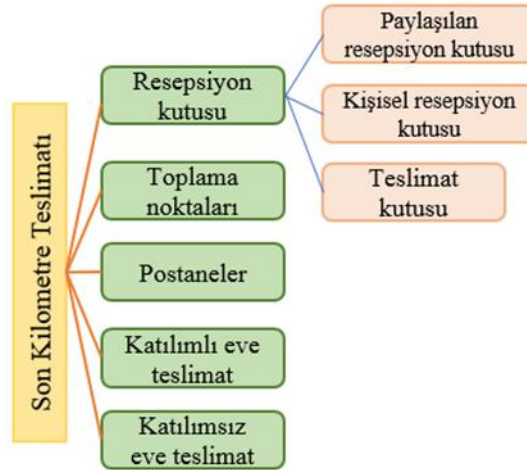
Metro hatlarını kullanarak şehiriçinde ürün dağıtımına ilişkin bir diğer çalışma da Dampier ve Marinov (2015) tarafından yapılmıştır. Bu çalışmada İngiltere'nin Newcastle upon Tyne şehrinin Killingworth bölgesi için bir sistem önerilmiştir. Önerilen bu sistemde, öncelikle şehir merkezine gelen mallar işletmeler tarafından

metro istasyonundaki küçük konsolidasyon merkezine götürülür. Mallar burada metro içinde taşınabilecek şekilde belirli ölçülerde birleştirilerek yük taşımacılığı için yeniden düzenlenmiş metro trenine yüklenir ve şehir merkezine kısa mesafede bulunan, günün büyük bir çoğunluğunda kullanılmayan bir hat ile getirilir. Son aşamada ürünler ayrılarak bisiklet kuryeler ya da elektrikli araçlar ile son tüketiciye teslim edilmek üzere götürülür.

2.7 Son Kilometre Teslimatı

Günümüzde internet kullanımının artmasıyla gelişen ve büyük bir hızla büyümeye devam eden e-ticaret kavramı, tedarik zincirlerinin oluşan yeni koşullara adapte olmasını sağlayacak şekilde uyarlanmasını gerektirmektedir. Teslimatların hızlı, ucuz ve güvenilir bir şekilde yapılması değişen koşullara ayak uydurmada önemli bir etken olmaktadır. Son kilometre teslimatı (SKT) hem değişen koşullara adapte olmada, hem de artan rekabet ortamında varlık sürdürebilmeye önemli bir rol oynamaktadır. SKT, sipariş edilen bir ürünün e-perakendecinin deposundan son tüketicinin bulunduğu yere teslim edilmesidir.

Tiwapat ve Pornsig (2018) çalışmalarında SKT'nin resepsiyon kutusu, toplama noktaları, postane, katılımlı eve teslimat ve katılımsız eve teslimat olmak üzere beş farklı türünü açıklamıştır. Şekil 2.3'te SKT'nin türleri gösterilmektedir.



Şekil 2.3: SKT türleri.

Müşteriler resepsiyon kutusunun özelliklerine göre (örneğin; büyüklük, konum, sıcaklık kontrolü vb.) ürünlerinin buraya teslimatının yapılmasını isteyebilirler. Resepsiyon kutusunun üç farklı türü mevcuttur. Bunlardan biri paylaşılan resepsiyon kutusudur. Bu kutular otobüs durakları, alışveriş merkezleri, metro istasyonları gibi

merkezi yerlerde bulunmaktadır. Müşteri kutuyu kod yardımıyla açar ve teslimatını alır. Farklı müşterilerin teslimatları aynı resepsiyon kutusunda bulunabilmektedir. Resepsiyon kutusunun bir diğer türü ise, kişisel resepsiyon kutusudur. Bu kutular müşterilerin evinin dışında bulunmaktadır. Bu kutulara tedarikçiler herhangi bir saatte müşterinin teslimatını bırakabilmektedir. Zaman sınırlaması yoktur. Fakat bu kutular müşterilerin çok farklı yerlerde bulunması sebebiyle verimlilik açısından düşünüldüğünde iyi bir çözüm değildir. Resepsiyon kutusunun son türü teslimat kutusudur. Bu kutular teslimatı yapan tedarikçiye aittir ve güvenlidir. Müşteri paketini teslimat kutusundan alabilmektedir. Bu kutular tedarikçi tarafından toplanmakta ve daha sonraki teslimatlarda tekrar kullanılmaktadır.

- Toplama noktaları, kilit nokta ve hizmet nokta olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Kilit nokta, bir paylaşılan resepsiyon kutusudur. Hizmet noktası ise yerleşim yerlerine yakın yerlerde bulunan yüz yüze hizmet veren noktalardır.
- SKT'nin bir türü olan postaneler ilk seferde müşteriye ulaşmayan teslimatların bırakıldığı yerdir. Müşteriler daha sonra gelip paketlerini buradan alabilmektedir.
- Katılımlı eve teslimat, müşterinin kapısına kadar yapılan teslimattır. Bu teslimat türü oldukça yüksek maliyetlidir. Belirli bir zaman dilimi içerisinde paketlerin müşterilere ulaştırılması gerektiğinden araç rotalama için optimizasyon tekniklerinin kullanılması gerekmektedir. Paketlerin tek seferde müşteriye ulaştırılabilmesi için müşterilere paketlerin hangi zaman diliminde teslim edilmesini istedikleri sorularak sürecin verimliliği arttırılmaktadır.
- Katılımsız eve teslimat, müşterinin evde olmadığı durumlarda paketin müşterinin komşusuna ya da posta kutusuna bırakılmasıdır. Paketler tek seferde teslim edildiği için teslimat zamanından tasarruf sağlamaktadır. Fakat bu tür paketlerin güvenliği açısından müşterilerde endişe yaratmaktadır.

Yüksek hız ve düşük maliyet SKT için iki önemli başarı unsuru olarak gösterilmektedir (Chen ve Pan, 2016). Daha düşük maliyet ile daha hızlı teslimat yapmak en büyük problemdir. Bu nedenle bu problemin çözümü için yaratıcı fikirlere ihtiyaç duyulmuştur.

Wang ve Zang (2016) çalışmalarında SKT'nin verimliliğini arttırmak için uygulanan stratejilere yer vermiştir. Bu stratejiler iki kategoriye ayrılmıştır. Birincisi müşterinin teslimat sırasında evde olmadığı durumdur. Bu durumda teslim edilemeyen siparişler literatürde konteyner olarak da ifade edilen stok alanlarında tutulmaktadır. Daha sonra müşteri kendisine verilen tek kullanımlık şifre ile siparişini almaktadır. Amico ve Hadjidimitriou (2012) çalışmalarında bununla ilgili olarak "bentobox" olarak adlandırılan taşınabilir bir konteyner sistemi düşünmüştür. Bu sistem SKT problemini çözmeyi amaçlamaktadır. Bu sistemde, müşterilerin siparişleri konut bölgelerinde, alışveriş merkezinin içinde, ofislerle çevrili merkezi meydanlarda bulunabilen bentobox denilen yerlere teslim edilmektedir. Müşteriler siparişini bu yerlerden gelip kendisi almaktadır, müşteri alması kadar da sipariş burada saklanmaktadır. Böylece siparişi son tüketiciye ulaştırmak için katlanması gereken yüksek maliyet azalmaktadır. İkinci kategoride ise, mevcut kaynakların daha iyi birleştirilip daha iyi senkronize edilerek verimliliğin artırılması yer almaktadır. Bu stratejinin ana fikri, çoklu lojistik şirketlerinin kaynak kullanımını geliştirmek için dağıtım araçlarını ve personelini paylaşmasıdır. Tarafların kaynaklarını genişletmesi, pazardaki pozisyonlarını güçlendirmesi için çoklu işbirliği vurgulanmaktadır (Souza ve ark., 2014).

Wang ve ark. (2016) SKT'nin maliyetini azaltmak için farklı bir bakış açısı geliştirmişlerdir. Bu çalışmada SKT'yi gerçekleştirmek için herhangi bir şirket personeli olmayan vatandaşların kullanıldığı bir kitlesel-lojistik optimizasyon problemi formüle edilmiştir.

3. METODOLOJİ

3.1 Optimizasyon

Optimizasyon “iyi” ya da “kötü” olan durumların ölçülebilmesi ya da değiştirilmesi mümkün olduğunda en iyisini elde etme işlemidir (Antoniou ve Lu, 2010).

Optimizasyon, sistemdeki mevcut kaynakları en verimli şekilde kullanarak belirli hedeflere ulaşılmasını sağlayan bir teknolojidir. Optimizasyon teknolojisi, karar verme süreçlerini hızlandırmak için gerçek dünyada karşılaşılan problemlerin etkili, doğru ve gerçek zamanlı çözümlerinde kullanılmaktadır (Winston, 2003).

Optimizasyon problemleri mühendislik, fizik, matematik, ekonomi, işletme, ticaret, sosyal bilimler ve hatta politika gibi birçok disiplinde ortaya çıkmaktadır (Antoniou ve Lu, 2010).

Optimizasyon problemlerinin çoğunu matematiksel olarak ifade etmek mümkündür. Denklem 3.1, Denklem 3.2, Denklem 3.3 ve Denklem 3.4'te optimizasyon probleminin genel formda yazılmış hali görülmektedir (Yang, 2010).

$$\text{minimize(maximize)} \quad f_i(x), \quad (i = 1, 2, \dots, M), \quad (3.1)$$

$$\text{öyle ki } \phi_j(x) = 0, \quad (j = 1, 2, \dots, J), \quad (3.2)$$

$$\psi_k(x) \leq 0, \quad (k = 1, 2, \dots, K), \quad (3.3)$$

$$x = (x_1, x_2, \dots, x_n)^T. \quad (3.4)$$

Bu modelde,

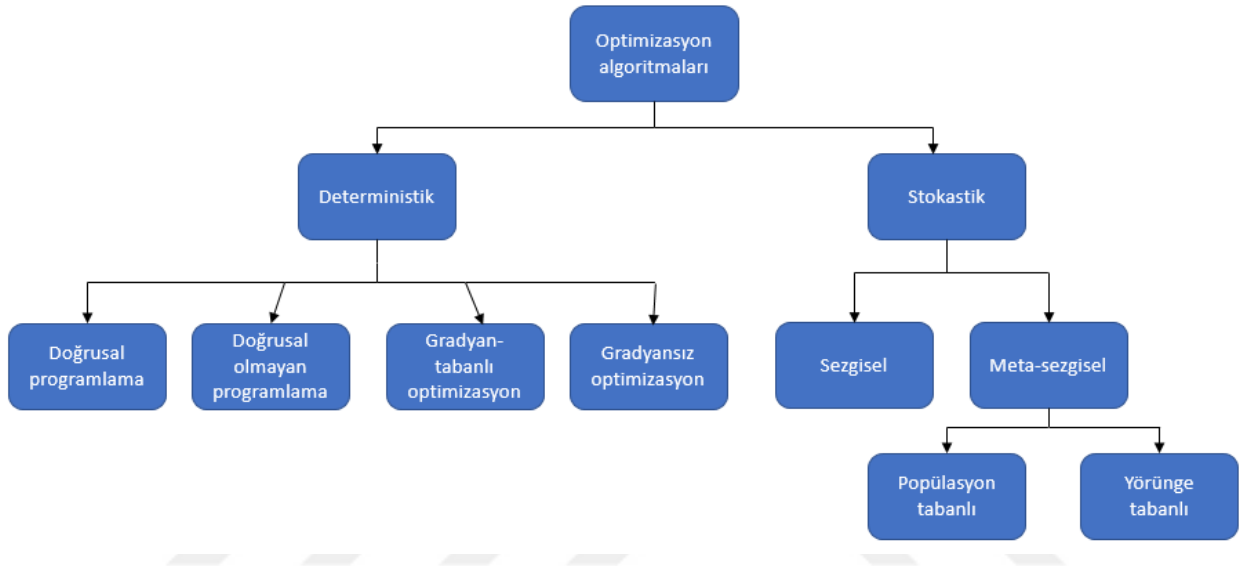
$f_i(x)$, $\phi_j(x)$ ve $\psi_k(x)$ dizayn vektörünün fonksiyonlarıdır. x kümesinin bir elemanı olan x_i karar değişkeni olarak adlandırılmaktadır. $f_i(x)$, amaç fonksiyonudur. Denklem 3.2'de $\phi_j(x)$ için yazılan eşitlik ve Denklem 3.3'te $\psi_k(x)$ için yazılan eşitsizlik ise kısıt olarak adlandırılmaktadır.

Optimizasyon problemlerinin sınıflandırılması ve özellikle bazı terminolojilerin kullanımı ile ilgili literatürde bazı karmaşıklıklar vardır. En çok kullanılan terminolojilere göre optimizasyon problemlerinin sınıflandırması şu şekildedir (Yang, 2010):

- Amaç fonksiyonu tek bir amaca hizmet ediyorsa tek amaçlı, birden fazla amaca hizmet ediyorsa çok amaçlı optimizasyon problemi olarak tanımlanmaktadır. Çok amaçlı optimizasyon problemleri literatürde çok kriterli optimizasyon şeklinde de adlandırılmaktadır.
- Kısıtlamaların olmadığı problemler kısıtlamasız optimizasyon, kısıtlamaların olduğu problemler ise kısıtlamalı optimizasyon problemi olarak tanımlanmaktadır.
- Hem amaç fonksiyonunun hem de kısıtların doğrusal olduğu problemler doğrusal programlama problemi, doğrusal olmayan problemler ise doğrusal olmayan optimizasyon problemi olarak adlandırılırlar.
- Karar değişkenlerinin alacağı değerler ayrık ise bu tür problemler ayrık optimizasyon problemi, karar değişkenlerinin alacağı değerler sürekli değerler ise problemler sürekli optimizasyon problemi olarak tanımlanırlar. Ayrık optimizasyon problemleri kombinasyonel optimizasyon problem olarak da adlandırılmaktadır. Karar değişkenlerinin tamsayı değerler aldığı problemler tamsayı programlama problemi olarak adlandırılırlar. Bu problemler ayrık optimizasyon problemi sınıfının alt koludur. Sırt çantası problemi, gezgin satıcı problemi, minimum kapsayan ağaç problemi, araç rotalama problemi bu problem türüne örnek olarak gösterilebilir.
- Karar değişkenleri, amaç ve kısıt fonksiyonları tam olarak biliniyorsa bu tür problemler deterministik optimizasyon problemi, karar değişkenleri, amaç ve kısıt fonksiyonlarının tam olarak bir kurala bağlı olmadığı rastlantısal durumun söz konusu olduğu problemler stokastik optimizasyon problemi olarak tanımlanmaktadır.

Optimizasyon problemlerinin çözümünde kullanılan algoritmalar genel olarak deterministik ve stokastik olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Deterministik algoritmalar, belirli kuralı olan kesin bir işlem sırasını takip eden algoritmalarlardır. Bu nedenle karar değişkenlerinin ve amaç fonksiyonunun değerleri tekrarlıdır. Örneğin,

bir deterministik algoritma olan tepe tırmanışı algoritmasında aynı başlangıç noktası için farklı zamanlarda aynı çözüm yolu izlenmektedir. Stokastik algoritmalar ise rastlantısallık içermektedir. Örneğin genetik algortmada popülasyondaki çözümler, rastgele sayıların kullanımından dolayı her seferinde farklı olmaktadır. Sonuçlar arasında büyük farklar olmayabilir fakat her bir çözüm yolu tam olarak tekrarlanmamaktadır. Optimizasyon algoritmalarının sınıflandırması Şekil 3.1’de gösterilmektedir (Yang, 2010).



Şekil 3.1: Optimizasyon algoritmalarının sınıflandırılması, Yang (2010)’dan uyarlanmıştır.

3.2 Doğrusal Programlama

Doğrusal programlama sınırlı sayıda eşitlik ve eşitsizlik kısıtlarına uygun olarak bir doğrusal amaç fonksiyonunu minimize ya da maksimize etme işlemidir (Karloff, 1991).

1939 yılında L.V. Kantorovich doğrusal programlama için algoritma geliştirmiş ve bunu ekonomide kullanmıştır. Dorfman (1984) çalışmasında doğrusal programlamanın 1939 ve 1947 yılları arasında her defasında farklı şekillerde olmak üzere üç kez keşfedildiğini belirtmiştir. İlk olarak matematikçi L.V. Kantorovich daha sonra ekonomist Koopmans ve son olarak George Dantzig tarafından çalışmalar yapılmıştır. Dantzig’in devrim niteliğindeki simpleks metodu çok karmaşık problemleri çözebilme yeteğine sahiptir (Yang, 2010).

3.2.1 Doğrusal programlama modelinin bileşenleri

Doğrusal programlama modeli üç ana bileşenden oluşmaktadır (Sarker ve Newton, 2008):

- Karar değişkenleri,
- Amaç fonksiyonu,
- Kısıtlar.

Karar değişkenleri ele alınan problemin türüne bağlıdır. Örneğin, karar değişkenleri tahsis edilecek kaynakların miktarını veya üretilecek birimlerin sayısını belirlemeye yönelik olabilmektedir. Karar değişkenleri genel olarak x_1, x_2, \dots, x, y, z ile gösterilmektedir. Amaç fonksiyonu, problemin amacını karar değişkenlerini kullanarak ifade etmektedir. Örneğin, belirli ürünleri üretirken ya da satarken amaç fonksiyonu karı maksimize etmek ya da toplam üretim maliyetini en aza indirmek şeklinde olabilmektedir. Kısıtlar, problemin sınırlamaları veya limitleri olarak tanımlanmaktadır. Bir kısıtın eşitlik veya eşitsizlik işareti ile ilgili genellikle fonksiyon ve sabit olmak üzere iki bileşeni vardır. Örneğin bir kaynak kısıtında, fonksiyon karar değişkenleri için gereken toplam kaynağı ifade ederken sabit ise toplam kaynak kullanılabilirliğini ifade etmektedir (Sarker ve Newton, 2008).

Bir doğrusal programlama modelinin genel olarak matematiksel tanımı şu şekildedir (Dantzig, 1963):

$$\text{minimize (maksimize)} \quad z = \sum_{j=1}^N C_j x_j \quad (j = 1, 2, \dots, N) \quad (3.5)$$

$$\sum_{j=1}^N a_{ij} x_j \begin{cases} \geq \\ = \\ \leq \end{cases} b_i \quad (i = 1, 2, \dots, M) \quad (3.6)$$

$$x_j \geq 0 \quad (3.7)$$

Bu modelde i , kısıt sayısını j ise karar değişkeni sayısını göstermektedir. Denklem 3.5'te yer alan z amaç fonksiyonunu, C_j ise j karar değişkeninin amaç fonksiyonuna olan katkısını ifade etmektedir. Denklem 3.6'da yer alan b_i , i kısıtının sağ taraf değerini, a_{ij} ise i kısıtındaki j karar değişkeninin katsayısını göstermektedir.

3.2.2 Doğrusal programlama modelinin varsayımları

Bir optimizasyon probleminin lineer programlama formülasyonuna uygun olarak yazılabilmesi için aşağıda ifade edilen varsayımların sağlanmış olması gerekmektedir (Bazaraa, 1990):

- Oransallık: Bir x_j karar değişkeninin fonksiyonuna katkısı $c_j x_j$, i . kısıta olan katkısı ise $a_{ij} x_j$ kadardır. x_j karar değişkeni λ gibi sabir bir değer ile çarpıldığında değişkenin amaç fonksiyonuna olan katkısı $\lambda c_j x_j$, i . kısıta olan katkısı ise $\lambda a_{ij} x_j$ olmaktadır.
- Toplanabilirlik: Bu varsayım, amaç fonksiyonundaki toplam maliyetin (minimizasyon problem için) ya da toplam faydanın (maksimizasyon problem için) karar değişkenlerinden kaynaklanan maliyet ya da faydanın toplamı olduğunu ifade etmektedir. Aynı şekilde düşünüldüğünde i kısıtına olan toplam katkı, tüm değişkenlerin i kısıtına olan katkılarının toplamıdır. Değişkenlerin katkıları birbirlerini etkilememektedir.
- Bölünebilirlik: Karar değişkenleri tamsayı olmayan değerler alabilmektedir.
- Kesinlik: Bu özellik doğrusal programlama modelinde amaç fonksiyonundaki ve kısıtlardaki tüm katsayıların deterministik olduğunu, yani tam olarak bilindiğini açıklamaktadır.

Sarker ve Newton (2008) çalışmalarında doğrusal programlamanın temel varsayımlarını şu şekilde açıklamışlardır:

- Kesinlik: Parametrelerin değerleri bilinir ve sabittir.
- Orantılılık: Amaç ya da kısıt fonksiyonundaki değişkenin fonksiyona olan etkisi ile değeri orantılıdır.
- Toplanabilirlik: Toplam etki bireysel etkilerin toplamına eşittir.
- Bölünebilirlik: Karar değişkenleri reel ya da tamsayı olabilmektedir.
- Pozitif olma: Sadece pozitif değişkenlere izin verilir.

3.2.3 Doğrusal programlamanın aşamaları

Doğrusal programlama problemlerinin kurulması ve incelenmesi birkaç aşamadan oluşmaktadır. İlk aşama olan problem oluşturma aşaması sistem kısıtları, limitler ve

amaç fonksiyonu ile birlikte analiz edilmesi gereken bir spesifik problemin tanımlanmasını içermektedir. İkinci adım, tanımlanan problemin matematiksel modelinin kurulmasıdır. Üçüncü adım ise uygun bir teknik seçilerek veya tasarlanarak bir çözüm elde edilmesidir. Dördüncü adım model çözümünün, parametrelerin hassasiyetinin test edilmesidir. Son aşama uygulama aşamasıdır. Bir modelin temel amacı, karar alma sürecinde etkileşimli olarak yardımcı olmaktır fakat model hiçbir zaman karar vericinin yerine geçmemelidir. Ayrıca, modelin parametreleri, varsayımları ve kısıtlamaları modeli güncel tutmak için belirli aralıklarla gözden geçirilmelidir (Bazaraa, 1990).

Bir sistemim matematiksel modeli, sistemin mümkün olan çözümlerini tanımlayan matematiksel ilişkilerin toplamıdır. Mümkün çözümler, sistemin sınırlamaları içerisinde gerçekleştirilebilecek çözümler anlamına gelmektedir. Matematiksel bir model kurmak, gerçek dünyadaki çeşitlilik, belirsizlik gibi nedenlerden dolayı çoğu zaman zor olmaktadır. Bununla birlikte, belirli ilkeler ile model kurma sürecindeki adımları ayırmak mümkündür. Bu adımlar şu şekildedir (Dantzig, 1963):

- 1. Adım: İncelenen sistemin tümünü temel fonksiyonlarına ayırarak her bir fonksiyon için miktar veya seviyenin ölçülebileceği bir birim belirlenmelidir.
- 2. Adım: Sistemin temel fonksiyonlarında kullanılan karar değişkenlerinin belirlenerek her birinin ölçülebileceği bir birim seçilmelidir.
- 3. Adım: Temel fonksiyonlarda kullanılan ya da üretilen karar değişkenlerinin etkisi belirlenmektedir. Belirlenen katsayılar, temel fonksiyon ile karar değişkenleri arasındaki orantıyı ifade etmektedir.
- 4. Adım: Nesnelerin sistem ve dışardaki öğeler arasındaki net girdilerinin ya da çıktılarının belirlenmesi gerekmektedir.
- 5. Adım: Pozitif, bilinmeyen karar değişkenleri fonksiyonlara atanır, sonra fonksiyonlardaki her bir akışın cebirsel toplamı dış akışa eşitlenir.

3.3 Tamsayı Doğrusal Programlama

Bir matematiksel programlama probleminde amaç fonksiyonu ve kısıt fonksiyonları lineer, karar değişkenleri de tamsayı değerler ise, problem bir tamsayı doğrusal programlama problemidir. Eğer karar değişkenleri sadece 0 veya 1 değerini alabiliyorsa, problem 0-1 tamsayı doğrusal programlama problemi adını alır. Eğer hem rasyonel sayılardan hem de tamsayılardan oluşan bir karar değişkenler kümesi söz konusuysa, probleme karışık tamsayı doğrusal programlama problemi denir (Çınar, 2016).

Bu çalışmada problemin formülasyonu 0-1 tamsayı doğrusal programlama ile geliştirilmiştir.

3.4 Doğrusal Programlama ile Yapılan Çalışmalar

Literatürde yer alan çalışmalar incelendiğinde, SKT'nin doğrusal programlama ile çözümünde araç rotalama probleminin (ARP) ele alındığı görülmektedir.

Raoui ve ark. (2018) çalışmalarında bozulabilen yiyeceklerin şehirlerdeki dağıtımını için zamana bağlı ARP önermişlerdir. Gerçek mesafelere dayanan etkin rotaların oluşturulabilmesi için coğrafi veriler kullanılmıştır. Coğrafi bilgi sistemi ile entegre ajan tabanlı simülasyon modeli önerilmiştir. Amaç, bozulabilen yiyecekleri en hızlı şekilde ulaştırabilmek için en hızlı rotaların bulunmasıdır.

Yao ve ark. (2015) teslimat aracının müşterinin bulunduğu yerin karşısında geçici olarak durduğunu ve teslimat için görevli kişinin yol boyunca yürüyerek müşteriye ürünü teslim ettiğini varsayarak alternatif durma noktaları kavramını tanıtmışlar ve zamana bağlı ARP üzerinde çalışmışlardır. Araçların alternatif noktalarda durdurulmasına izin verilerek araç rotalarının değişmesi önlenmektedir. Çalışmanın sonucunda, kat edilen yolun ve toplam yakıt tüketiminin azaldığı görülmektedir.

Bent ve Hentenryck (2004) zamana bağlı kısmi dinamik ARP üzerinde çalışmışlardır. Problemin amacı, sabit sayıda araç ile olabildiğince çok müşteriye hizmet verebilmektir. Müşterilerin taleplerinin stokastik olduğu varsayılmıştır. Dinamik stokastik ARP probleminin çözümü için farklı statik ve dinamik talepler

içeren senaryolar oluşturulmuştur. Bu senaryolar çözümlenerek optimum rotalama planının oluşturulması amaçlanmıştır.



4. UYGULAMA

4.1 Problemin Tanımı

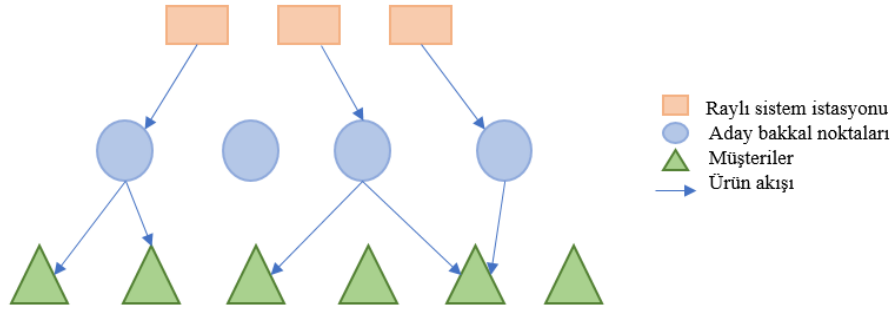
Genel olarak düşünülduğünde ürünlerin tedarikçiden son tüketiciye ulaştırılması pek çok bileşene sahip, maliyeti yüksek ve karmaşık bir işlemdir. Özellikle kentsel alanlardaki yoğun nüfus, alan kısıtı, trafik sıkışıklığı düşünülduğünde ürünlerin istenilen zamanda, istenilen şekilde ve istenilen yere taşınması daha zor bir hale gelmektedir.

Şehiriçinde gıda ürünlerinin dağıtımını ise ürünlerin bozulma tehlikesi göz önünde bulundurulduğunda daha da önemli bir sorun haline gelmektedir. Bu ürünlerin dağıtımını için geleneksel dağıtım yöntemlerinden ziyade hızlı ve maliyeti az alternatif ulaştırma yöntemlerine ihtiyaç vardır.

Bu çalışma, İstanbul'da bulunan Marmaray ve Metro raylı ulaşım sistemleri ile gıda ürünlerinin şehiriçinde bulunan bakkallara dağıtılmasını konu edinmiştir. Ürünlerin dağıtımında klasik olarak kullanılan araçlar yerine raylı sistemlerin kullanılması düşünülmüştür. Böylece hem maliyette iyileşme sağlanacak, hem de kentlerdeki araç trafiği azalacağından çevreye verilen hava kirliliği, karbon salınımı, gürültü kirliliği, trafik gibi olumsuz etkiler azalacaktır.

Problem, çok amaçlı kısmi kapsamanın olduğu maksimum kapsama yerleşim problem olarak tanımlanmıştır. Amaç, belirlenen kapsama mesafeleri içerisindeki müşterilerin market kategorisindeki talebini maksimum düzeyde karşılamak, aday bakkal noktaları ile ürünlerin dağıtım maliyetini azaltmak için kullanılacak olan Marmaray ve Metro hatlarındaki istasyonlar arasındaki mesafeyi minimum yapmaktır. Problemin çözümünde bahsedilen iki amacın optimum düzeyde sağlanabilmesi için 200 aday bakkal noktası arasından hangileri kullanılmalıdır sorusunun cevabı aranmaktadır. Bu problemde ele alınan dağıtım ağı raylı hat istasyonları, aday bakkal noktaları ve son tüketiciler yani müşteriler olmak üzere üç farklı hiyerarşik seviyeden oluşmaktadır. Şekil 4.1'de problemin hiyerarşik yapısı gösterilmektedir.

Matematiksel model, karar değişkenlerinin 0-1 değer alabilecek şekilde tanımlanmasından dolayı karma tamsayı doğrusal programlama problemi olarak kurulmuştur.



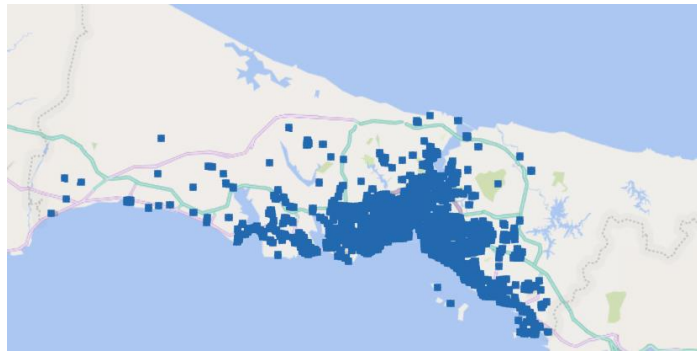
Şekil 4.1: Problemin hiyerarşik yapısı.

4.2 Kullanılan Veri Setinin Özellikleri

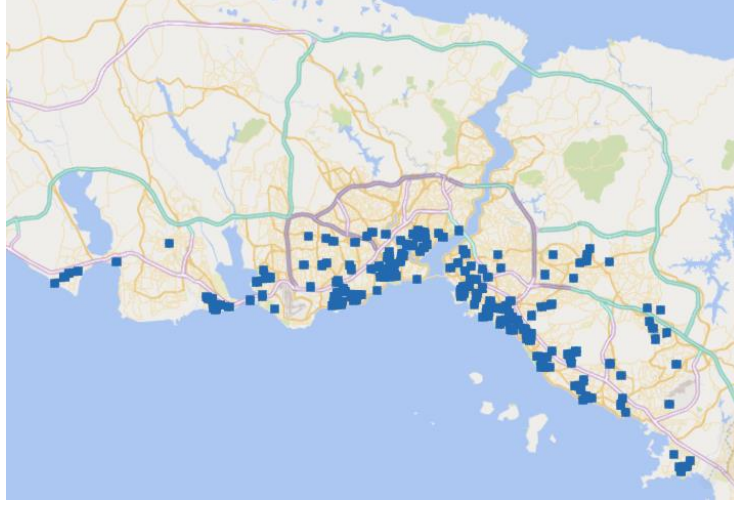
Çalışmada Türkiye'deki büyük bir bankanın müşterilerinin kredi kartı harcaması verileri kullanılmıştır. Bu kredi kartı işlemleri içerisinde müşterilerin üç ay süresince market alışverişi kategorisinde yaptığı harcamalar göz önünde bulundurulmuştur.

Veri setinde, işlemin gerçekleştiği tarih, işlemin gerçekleştiği iş yeri ve bu iş yerine ait koordinatlar, müşterilerin ev ve iş yeri koordinatları bulunmaktadır. İş yeri olarak ifade edilen yerler müşterilerin market alışverişini yaptıkları bakkallar ya da marketlerdir. Modelde bakkal ifadesi kullanılmıştır. Ayrıca veri setinde müşterilerin yaşı, cinsiyeti, medeni hali, eğitim durumu gibi demografik bilgiler de yer almaktadır.

Veriler Türkiye genelini kapsadığından sadece İstanbul'daki müşterilerin konumları dikkate alınmıştır. Aday bakkal noktaları ise İstanbul ili içerisinde olacak şekilde rastgele üretilmiştir. Şekil 4.2'de müşterilerin konumları, Şekil 4.3'te ise aday bakkal noktalarının konumları gösterilmektedir.



Şekil 4.2: Müşteri konumları.



Şekil 4.3: Aday bakkal konumları.

Kullanılan veri setinde 5159 müşteri, 200 aday bakkal noktası yer almaktadır.

4.3 Varsayımlar

Problemin varsayımları şu şekildedir:

- Problem kapasite kısıtlı bir optimizasyon problemi değildir. Problemin çözümünde çıkan sonuç operasyonel olmaktan ziyade aday bakkallardan hangilerinin kullanıldığına yönelik olan daha çok stratejik bir karardır. Bu sebeple problemde yer alan istasyon ve bakkalların sonsuz kapasiteli olduğu varsayılmıştır.
- Müşterilerin taleplerinin bölünebildiği, birden fazla bakkal tarafından karşılanabildiği varsayılmaktadır.
- Herbir bakkalın sadece bir istasyona atandığı varsayılmaktadır. Yani herbir bakkal sadece bir istasyondan ürün alabilmektedir.
- Bir istasyona birden fazla bakkal atanabilmektedir.
- Tüm müşterilerin taleplerinin karşılanma zorunluluğu yoktur.
- Çözümde yer alan bakkallar bir istasyona atanmak zorundadır.
- Ürünlerin metro ve Marmaray sistemlerinde taşınmasının, yolcu taşımacılığının başladığı en erken saatten daha önce yapıldığı varsayılmaktadır.

- Raylı hattın başlangıç noktasına yakın bir noktada bulunan depodan raylı hat kullanılarak bakkalın atandığı istasyona ürün gönderildiği ve bakkalların bu ürünleri aldığı varsayılmaktadır.

4.4 Matematiksel Model

Tezin amacına uygun olarak bir 0-1 tamsayılı doğrusal programlama modeli geliştirilmiştir. Sırasıyla modelde yer alan kümeler, parametreler, karar değişkenleri, amaç fonksiyonu ve kısıtlar açıklanmıştır. Modelin notasyonu ve formülasyonu aşağıdaki şekildedir:

Kümeler

I müşterilerin kümesi $\forall i \in I$,

J aday bakkalların kümesi $\forall j \in J$,

K istasyonların kümesi $\forall k \in K$.

Parametreler

d_i = i . müşterinin talebi,

a_{ij} = i . müşteri ile j . aday bakkal arasındaki mesafe,

b_{jk} = j . bakkal ile k . istasyon arasındaki mesafe,

Lf = talep noktalarının tam kapsanması için limit mesafe,

Lp = talep noktalarının kısmi kapsama için limit mesafe,

r_{ij} = i . müşterisinin j . aday bakkal tarafından kapsanma oranı

$$r_{ij} = \begin{cases} 1 & a_{ij} \leq Lf \\ 1 - \frac{a_{ij} - Lf}{Lp - Lf} & Lf < a_{ij} \leq Lp \\ 0 & a_{ij} > Lp \end{cases}, \quad i \in I, j \in J \quad (4.1)$$

p = aday bakkal sayısı,

g = ağırlık çarpanı.

Karar değişkenleri

$$x_j = \begin{cases} 1, & \text{eğer } j \text{ aday bakkalı kullanılıyorsa} \\ 0, & \text{kullanılmıyorsa;} \end{cases} \quad \forall j \in J$$

$$y_{jk} = \begin{cases} 1, & \text{eğer } j \text{ aday bakkalı } k \text{ istasyonuna atanıyorsa} \\ 0, & \text{atanılmıyorsa;} \end{cases} \quad \forall j \in J, k \in K$$

$t_i = i$ müşterisinin talebinin karşılanma oranı $\forall i \in I$

Amaç Fonksiyonu

$$\text{maks } z = \sum_{i \in I} d_i t_i g - \sum_{j \in J} \sum_{k \in K} b_{jk} y_{jk} \quad (4.2)$$

Kısıtlar

$$\sum_{j \in J} x_j \leq p \quad (4.3)$$

$$\sum_{j \in J} r_{ij} x_j \geq t_i \quad \forall i \in I \quad (4.4)$$

$$t_i \leq 1 \quad \forall i \in I \quad (4.5)$$

$$\sum_{k \in K} y_{jk} = x_j \quad \forall j \in J \quad (4.6)$$

$$x_j \in \{0, 1\} \quad \forall j \in J \quad (4.7)$$

$$y_{jk} \in \{0, 1\} \quad \forall j \in J, k \in K \quad (4.8)$$

Denklem 4.1’de r_{ij} parametresinin hesaplanmasında kullanılan eşitlik gösterilmektedir. Denklem 4.2’de yer alan amaç fonksiyonu, belirtilen tam kapsama ve kısmi kapsama limit mesafeleri içerisinde müşterilerin talebinin kapsanmasını en büyükmeyi amaçlarken aynı zamanda da aday bakkallar ile istasyonlar arasındaki mesafeyi en küçükmeyi amaçlamaktadır. Denklem 4.3’te yer alan kısıt, aday bakkallar arasından amaçları optimum düzeyde sağlayan bakkalların kullanılmasını sağlamaktadır. Dolayısıyla aday bakkallardan hepsi kullanılmayacaktır. Denklem 4.4’te yer alan kısıtta ifade edildiği üzere, atanan bakkalların i müşterisinin talebini karşılama oranlarının toplamı i müşterisinin talebine eşit ya da büyük olmalıdır. Müşterilerin talepleri farklı bakkallar tarafından karşılanabilmekte yani bölünebilmektedir. Denklem 4.5’te yer alan kısıt, i müşterisinin talebinin karşılanma oranını ifade eden t_i karar değişkeninin 0 ile 1 arasında değer almasını

sağlamaktadır. Denklem 4.6'te yer alan kısıt, her bir aday bakkalın bir istasyona atanmasını sağlamaktadır. Denklem 4.7 ve denklem 4.8 karar değişkenlerinin 0-1 değerlerini almasını sağlayan kısıtlardır.

4.5 Parametrelerin Belirlenmesi

4.5.1 Müşteri talebi

Müşterilerin üç ay süresince market kategorisinde yaptığı harcamalar toplanmıştır. Bu toplam, müşterilerin market kategorisindeki talebi olarak kabul edilmiştir.

4.5.2 Mesafe matrislerinin hesaplanması

Koordinatları belli olan iki nokta arasındaki en kısa mesafeyi bulmak için çeşitli metodlar kullanılmaktadır. Haversine formülü, mesafe hesaplama problemini çözmek için kullanılan metodlardan bir tanesidir. Bu formül başlangıç noktası ile varış noktasının enlem ve boylam değerlerini kullanarak trigonometrik fonksiyon ile hesap yapmaktadır. Haversine formülü denklem 4.9, denklem 4.10 ve denklem 4.11'de gösterilmektedir (Alam ve ark., 2016).

$$a = \sin^2(\Delta\varphi/2) + \cos\varphi_1 \cdot \cos\varphi_2 \cdot \sin^2(\Delta\lambda/2) \quad (4.9)$$

$$c = 2 \cdot \text{atan2}(\sqrt{1-a}, \sqrt{a}) \quad (4.10)$$

$$d = R \cdot c \quad (4.11)$$

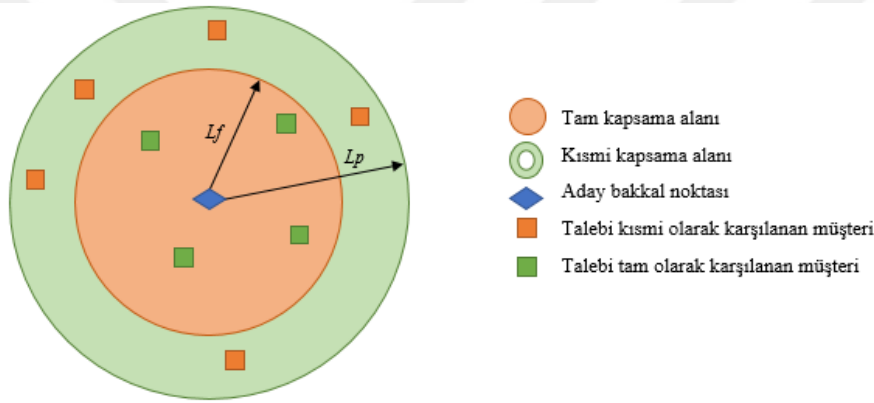
Denklem 4.9'da yer alan φ enlemi, λ ise boylamı ifade etmektedir. φ_1 , 1. noktanın enlemini φ_2 ise 2. noktanın enlemini göstermektedir. O halde $\Delta\varphi = \varphi_2 - \varphi_1$, $\Delta\lambda = \lambda_2 - \lambda_1$ 'dir. Denklem 4.11'de yer alan d iki nokta arasındaki mesafedir ve birimi kilometredir. R ise Dünya'nın yarıçapıdır. Dünya'nın yarıçapı 6371 km olarak kabul edilmektedir. Formülde kullanılacak enlem ve boylam değerleri radyan cinsinden olmalıdır.

Matematiksel modelde ifade edilen müşteri ile aday bakkal noktaları arasındaki mesafe matrisi a_{ij} , aday bakkal noktaları ile istasyon noktaları arasındaki mesafe matrisi b_{jk} yukarıda bahsedilen haversine formülü kullanılarak elde edilmiştir. Müşterilerin koordinat bilgileri veri setinde bulunmaktadır. Aday bakkalların koordinat bilgileri ise rastgele üretilmiştir. İstasyonların koordinat bilgileri ise

Google Maps ile elde edilmiştir. a_{ij} matrisinin boyutu 5159×200 , b_{jk} matrisinin boyutu ise 200×22 'dir.

4.5.3 L_f ve L_p parametre değerlerinin belirlenmesi

Matematiksel modelin parametreler bölümünde ifade edilen L_p müşterinin talebinin tam olarak karşılandığı limit mesafesidir. L_f ise müşterinin talebinin kısmi olarak karşılandığı limit mesafesidir. Aday bakkal noktasından yarıçapı L_f olan bir alan tarandığında bu alan içerisinde kalan müşterilerin talepleri tam olarak karşılanmaktadır. Aday bakkal noktasından yarıçapı L_p olan bir alan tarandığında bu alan içerisinde kalan müşterilerin talebi ise kısmi olarak karşılanmaktadır. Şekil 4.4'te kapsama alanları şematik olarak gösterilmektedir.



Şekil 4.4: Tam kapsama ve kısmi kapsama alanları.

Uygulamada kullanılan L_f değeri belirlenirken İstanbul'un herhangi bir ilçesinde bulunan bir bakkalın ilçe sınırları içerisinde bulunan müşterilere hizmet verebileceği varsayılmıştır. Bu sebeple L_f değeri 0,5 km olarak belirlenmiştir. L_p değerini belirlerken de herhangi bir ilçede bulunan bakkalın bulunduğu ilçeye komşu ilçelerde bulunan müşterilere de hizmet verebileceği düşünülmüştür. Bu sebeple L_p değeri 2 km olarak belirlenmiştir.

4.5.4 Kapsama parametresinin hesaplanması

Müşterilerin talebinin karşılanma düzeylerini belirlemek için bir kapsama parametresi hesaplanmıştır. Bu parametrenin hesabı için veri setinde yer alan müşteri koordinatları ile rastgele üretilen aday bakkal koordinatları kullanılmıştır. Haversine formülü ile koordinatları bilinen iki nokta arasındaki mesafe hesaplanmıştır. Böylelikle a_{ij} matrisi elde edilmiştir. Denklem 4.1'de ifade edilen formülde,

parametre değerleri yerine konularak her i müşterisinin j bakkalı tarafından kapsama oranı hesaplanmıştır.

4.5.5 Raylı hat sistemlerinin belirlenmesi

Şehirlerde yaşayan insan sayısının fazla olması ve buna bağlı olarak araç trafiğinin yoğun olması şehiriçi ürün dağıtımını zor bir hale getirmektedir. Ürünlerin dağıtım yapılırken trafikte kaybedilen zaman ve buna bağlı olarak artan yakıt tüketimi maliyeti arttırmaktadır. Bu nedenle çalışmada ürünlerin bakkalara raylı ulaştırma sistemleri ile taşınması düşünülmüştür. Uygulama bölgesi olarak İstanbul seçilmiştir. İstanbul'daki Marmaray hattı ve bu hatta entegre çalışan M4 hattı göz önünde bulundurularak bir dağıtım modeli tasarlanmıştır. Şekil 4.5'te Marmaray ve M4 raylı sistemleri gösterilmektedir.



Şekil 4.5: Marmaray ve M4 raylı sistemleri.

Belirlenen raylı sistem güzergahında toplam 22 istasyon bulunmaktadır.

4.5.6. Ağırlık çarpanının belirlenmesi

Amaç fonksiyonunda yer alan talep ve mesafe değerlerini aynı ölçeğe getirebilmek için birinci amaç g ağırlık çarpanı ile çarpılmıştır. Ağırlık çarpanı değerini belirlemek için öncelikle birinci amaç tek başına çözdürülüp maksimum değeri bulunmuştur. Ardından bulunan değer kısıt olarak yazılarak ikinci amaç fonksiyonunun aldığı değere bakılmıştır. Sonuçlar incelendiğinde çalışmada g ağırlık çarpanı değeri olarak 0,0035 kullanılmıştır.

4.6. Kodun doğrulanması ve onaylanması

Yukarıda ifade edilen matematiksel model MATLAB 2019a programında yer alan "Optimization Toolbox" ile çözülmüştür. Kodun yazılımsal olarak hata içerip içermediği kod çalıştırıldığında program tarafından yapılmaktadır. Eğer kod çalıştırıldığında program hata vermezse yazılan kod doğrulanmış olmaktadır. Bu

çalışma için yazılan MATLAB kodu çalıştırıldığında hata vermediğinden kodun doğrulandığını söylemek mümkündür.

Modelin onaylanması amacıyla ise veri setinden alınan 20 müşteri, 7 aday bakkal noktası ve 3 istasyondan oluşan küçük ölçekli bir problem hem GAMS23.5 hem de MATLAB 2019a programında çözülmüştür ve çıkan sonuçlar karşılaştırılmıştır. Karşılaştırılan sonuçların aynı olduğu görülmüştür. Çizelge 4.1, Çizelge 4.2, Çizelge 4.3 ve Çizelge 4.4 elde edilen sonuçlar göstermektedir.

Çizelge 4.1: Hangi bakkalların kullanıldığını gösteren karar değişkeni değerleri.

x_j karar değişkeni değerleri						
B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7
0	1	1	1	1	0	1

Çizelge 4.1’de gösterilen B1, B2, B3, B4, B5, B6 ve B7 bakkal noktalarını ifade etmektedir. x_j karar değişkeninin aldığı değerlere bakıldığında indisi 2, 3, 4, 5 ve 7 olan bakkallar çözümde yer almaktadır. 1 ve 6 numaralı bakkallar çözümde yer almamaktadır.

Çizelge 4.2: Hangi bakkalın hangi istasyona atandığını gösteren karar değişkeni değerleri.

y_{jk} karar değişkeni değerleri			
	İ1	İ2	İ3
B2	0	1	0
B3	0	0	1
B4	1	0	0
B5	0	0	1
B7	0	0	1

Çizelge 4.2’de gösterilen B2, B3, B4, B5 ve B7 bakkal noktalarını İ1, İ2, İ3 ise istasyon noktalarını ifade etmektedir. y_{jk} karar değişkeninin aldığı değerlere bakıldığında, bakkalların atandığı istasyonlar görülmektedir.

Çizelge 4.3: Müşterinin talebinin karşılanma oranına ilişkin karar değişkeni değerleri.

t_i karar değişkeni değerleri							
M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8
1	1	0	0	0,20	0	0,60	1

Çizelge 4.3'te gösterilen M1, M2,...,M8 müşterileri ifade etmektedir. 20 müşteriden 8'i için karar değişkeni değerleri gösterilmektedir. t_i karar değişkeninin aldığı değerlere bakıldığında, müşterilerin talebinin karşılanma oranları görülmektedir.

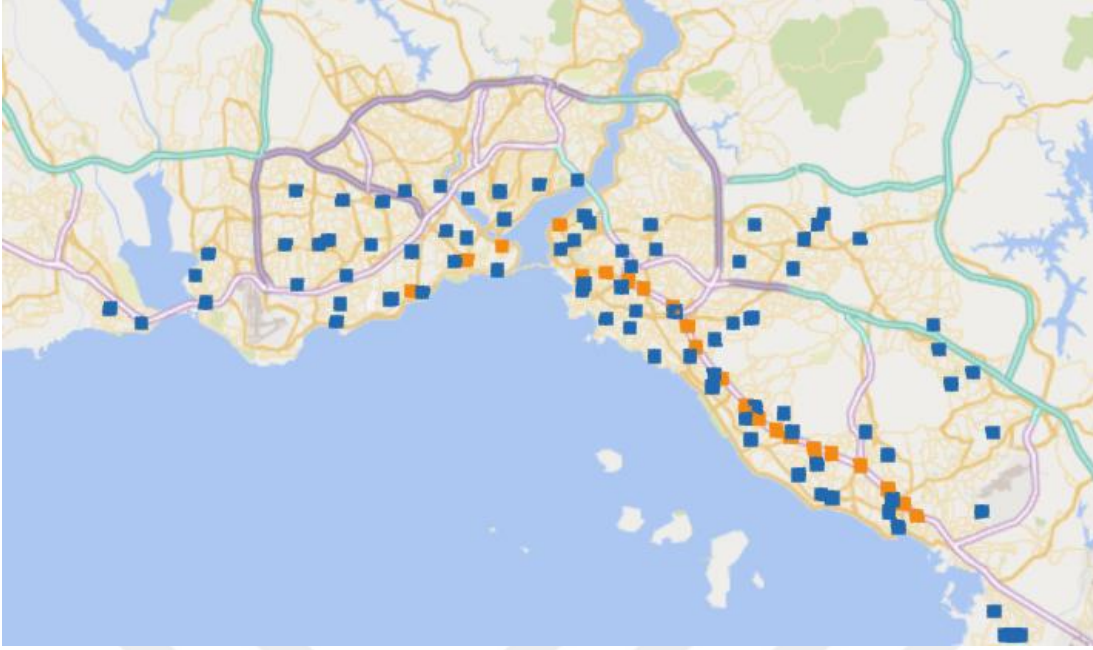
Çizelge 4.4: Kapsama parametresi değerleri.

	Kapsama parametresi (r_{ij})						
	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7
M1	0	0	0	0	1	0	0
M2	0	0	1	0,40	0	0	0
M3	0	0	0	0	0	0,20	0
M4	0	0	0	0	0	0	0
M5	0	0,20	0	0	0	0	0
M6	0	0	0	0	0	0	0
M7	0	0,60	0	0	0	0	0
M8	0	1	0	0	1	0	0
M9	0	0	0	0	1	0	0
M10	0	1	0,80	0	0	0	1
M11	0	0	0	0	0	0	0
M12	0	0	0	0	0	0	0,20
M13	0	0,60	0	0	0	0	0
M14	0	0	0,60	1	0	0	0
M15	0	1	0	0	0	0	0
M16	0	1	0	0	0	0	0
M17	0	0	0	0	0	0	0
M18	0	0	0	0,60	0	0	0
M19	0	0	0	1	0	0	0
M20	1	0	0	0	0	0	0,40

Çizelge 4.4'te gösterilen M1, M2,...,M20 müşterileri ifade etmektedir. B1, B2, B3, B4, B5, B6 ve B7 ise aday bakkal noktalarını göstermektedir. Denklem 4.1'de ifade edilen formülde, parametre değerleri yerine konularak her i müşterisinin j bakkalı tarafından kapsanma oranı hesaplanmıştır.

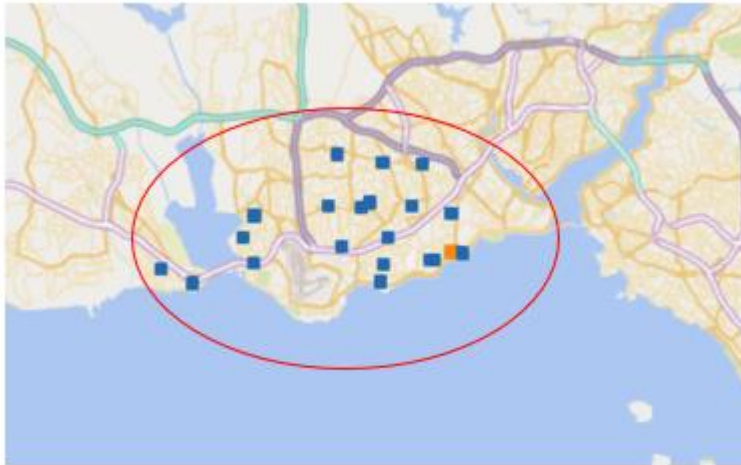
4.7. Elde Edilen Sonuçlar

Kurulan matematiksel model MATLAB 2019a Optimization Toolbox ile çözülmüştür. Elde edilen sonuçlara göre 200 bakkal arasından 85'i çözümde yer almaktadır. Şekil 4.6'da atanan bakkal ve istasyonların konumları gösterilmektedir. Mavi noktalar atanan bakkalları, turuncu noktalar ise kullanılan istasyonları göstermektedir. 22 istasyonun tümü çözümde yer almaktadır.



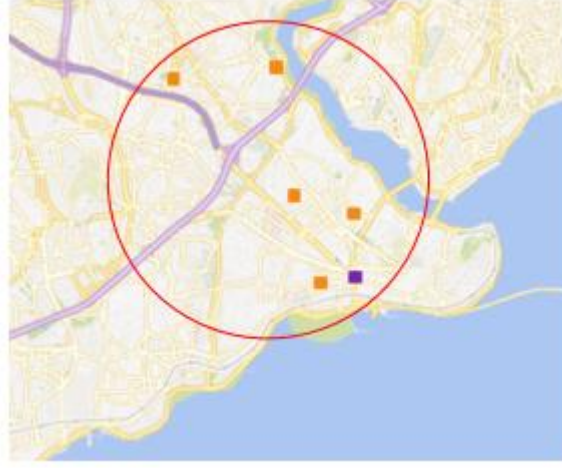
Şekil 4.6: Atanan bakkal ve istasyon konumları.

Çözümde yer alan 22 istasyon 2'sine atanan bakkallar örnek olması amacıyla Şekil 4.7'de ve Şekil 4.8'de gösterilmektedir. Şekil 4.7'de birinci istasyona atanan bakkallar gösterilmektedir. Mavi noktalar atanan bakkaları, turuncu nokta ise istasyonu göstermektedir.



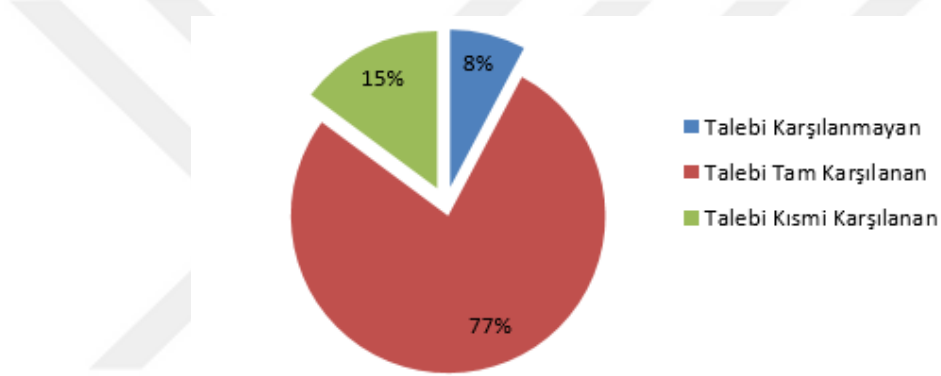
Şekil 4.7: Birinci istasyona atanan bakkalların konumu.

Şekil 4.8'de ikinci istasyona atanan bakkallar gösterilmektedir. Turuncu noktalar atanan bakkaları, mor nokta ise istasyonu göstermektedir.



Şekil 4.8: İkinci istasyona atanan bakkalların konumu.

Şekil 4.9’da müşterilerin taleplerinin karşılanma durumu gösterilmektedir.



Şekil 4.9: Müşterilerin taleplerinin karşılanma durumu.

Şekil 4.9’a bakıldığında müşterilerin %77’sinin talebinin tam olarak karşılandığı, %15’inin talebinin kısmi olarak karşılandığı ve %8’inin talebinin karşılanmadığı görülmektedir.

4.8. Çalışmanın Sürdürülebilirliğe Katkısı

Bu çalışmaya konu olan gıda ürünlerinin şehir-içine dağıtımının geleneksel karayolu yerine raylı ulaşım hatlarının kullanılarak yapılmasının sürdürülebilirliğe bir katkısı olmaktadır. Çalışmada raylı hattın başlangıç noktasına yakın bir noktada bulunan depodan raylı hat kullanılarak bakkalın atandığı istasyona ürün gönderildiği ve bakkalların bu ürünleri aldığı varsayılmaktadır. Önerilen modelin çözümünden elde edilen sonuçlara göre bakkalların istasyonlardan ürün almak için katetmesi gereken toplam mesafe 334,3910 km’dir. Deponun Gebze’de olduğu farzedilip, çözümde yer alan bakkalların bu depodan ürün almak için karayolunu kullandığını düşünürsek toplamda 3243,039 km yol katedilecekti. Amerika Birleşik Devletleri Çevre

Ajansının 2016 yılındaki raporuna göre hafif ticari araçların karbondioksit emisyonu 250 gr/mil'dir. Bu durumda 503577,48 gr karbondioksit açığa çıkacaktır.

Modelin çözümünden elde edilen sonuçlar incelendiğinde optimum sonucu elde etmek için modelin nüfusun yoğun olduğu yerlerde bulunan bakkalları da atadığı görülmektedir. Bu bölgelerde bulunan bakkallar en yakındaki istasyona uzak mesafede olduğundan dağıtım maliyetleri artmaktadır. Bu durum da çalışmanın hedefindeki lokal dağıtım modeline ters düşmektedir. Bu sebeple modele bakkallar ile istasyonlar arasındaki mesafe en çok 3 km olacak şekilde yeni bir kısıt eklenmiştir. Yeni kısıt eklenerek çözülen modelden elde edilen sonuca göre bakkalların ürün almak amacıyla kendilerine en çok 3 km mesafede bulunan bir istasyona gitmek için 86,6639 km yol katetmesi gerekecektir. Çizelge 4.5'te yeni kısıt eklenmediğinde gerçekleşen atamalar gösterilmektedir.

Çizelge 4.5: Kısıt eklenmediğinde gerçekleşen atamalar.

İstasyon No	İstasyon İsmi	Atanan Bakkal Sayısı	Atanan Bakkalların Toplam Dağıtım Mesafesi	İstasyondan Bakkallara Ortalama Dağıtım Mesafesi
1	Kazlıçeşme	20	132,97	6,65
2	Yenikapı	5	13,56	2,71
3	Sirkeci	4	9,27	2,32
4	Üsküdar	6	10,99	1,83
5	Ayrılık Çeşmesi	2	1,35	0,68
6	Acıbadem	1	1,49	1,49
7	Ünalı	4	7,14	1,78
8	Göztepe	3	5,88	1,96
9	Yenisahra	4	11,52	2,88
10	Kozyatağı	5	44,85	8,97
11	Bostancı	6	13,62	2,27
12	Küçükyalı	2	1,21	0,60
13	Maltepe	1	0,55	0,55
14	Huzurevi	2	2,00	1,00
15	Gülsuyu	1	1,02	1,02
16	Esenkent	1	0,30	0,30
17	Hastane	2	2,50	1,25
18	Soğanlık	1	2,26	2,26
19	Kartal	5	22,27	4,45
20	Adnan	3	15,27	5,09
21	Pendik	1	0,92	0,92
22	Tavşantepe	6	33,46	5,58
Toplam		85	334,39	
Ortalama				2,57

Diğer bir yaklaşım ile modelin çözümünde yer alan 85 bakkal noktası ve Gebze’de bulunduğu varsayılan depo noktası Gezgin Satıcı Problemi ile ele alındığında ise problemin çözümünde çıkan minimum mesafe 198,8415 km’dir.

Sonuç olarak yeni kısıtın eklendiği model ile birlikte şehir-içinde gıda ürünlerinin dağıtılması için daha az mesafe katedilecek ve böylelikle çevreye daha az karbondioksit salınımı olacaktır. Ayrıca bakkallar ile istasyonlar arasındaki mesafenin en çok 3 km olacağı düşünüldüğünde, bu mesafeler arasında küçük yüklerin taşınması için motorlu olmayan taşıtların kullanılması mümkün olabilmektedir. Böylelikle önerilen model ile ürünlerin geleneksel karayolu ile dağıtımını nedeniyle artan karbondioksit salınımı büyük ölçüde azalmış olacaktır. Bu durum çalışmanın sürdürülebilirliğe olan katkısını göstermektedir.



5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Büyükşehirlerde özellikle de vaka çalışmasına konu olan İstanbul şehrinde trafik büyük bir sorun haline gelmiştir. Yoğun trafiğin hava kirliliği, gürültü kirliliği gibi olumsuz etkileri de düşünüldüğünde şehirlerde ürünlerin dağıtımını için geleneksel yöntemler yerine çevreci yöntemlerin kullanılması sürdürülebilirlik açısından büyük önem arz etmektedir.

Tedarik zincirinin son aşaması olan ürünlerin son tüketiciye ulaştırılması kısmının hem çok maliyetli olması hem de çevresel kirliliğe yol açması bu konuyu önemli bir hale getirmektedir. Özellikle gıda sektörü düşünüldüğünde tüm bu zorluklara ek olarak dağıtım süresince ürünlerin bozulma tehlikesinin olması problemi daha da önemli bir hale getirmektedir.

Bu çalışmada gıda ürünlerini dağıtımını için raylı ulaştırma sistemlerinin kullanıldığı bir dağıtım modeli önerilmiştir. Önerilen dağıtım modelinde, istasyona yakın bir noktada bulunan depodan raylı hat kullanılarak bakkalara gönderilmektedir. İstanbul ili için yapılan çalışmada Marmaray ve M4 metro hattı kullanılmıştır. Problem, 0-1 tamsayılı doğrusal programlama problemi şeklinde formüle edilmiştir. Veri setinden alınan küçük bir problem örneği GAMS programı ile çözdürülmüştür. Daha sonra gerçek veriler kullanılarak MATLAB 2019a programında problem çözdürülmüş ve optimum sonuç elde edilmiştir. Problemin çözümünde aday bakkal noktalarından hangilerinin kullanılarak amaç fonksiyonunun optimum düzeyde sağlandığı bulunmuştur. Böylelikle raylı ulaştırma sistemleri kullanılarak ürünleri son tüketiciye ulaştırmak için katlanılan yüksek maliyetin, hem de çevreye verilen olumsuz etkilerin azaltıldığı sürdürülebilir bir yaklaşım sunulmuştur.

Ülkemizde metro, tramvay, Marmaray gibi raylı ulaştırma sistemleri yük taşımacılığında ziyade yolcu taşımacılığına uygun şekilde iç dizaynı yapılmıştır. Öncelikle raylı ulaştırma sistemlerinin şehirlerdeki ürün dağıtımında kullanılabilmesi için metroların ve metro istasyonlarının yük taşımacılığına uygun olarak dizayn

edilmesi gerekmektedir. İleride bu konuyla ilgili yapılacak çalışmalarda geliştirilen yöntemler raylı ulaştırma sistemlerinin şehiriçindeki ürün dağıtımına nasıl entegre bir şekilde çalışacağı konusuna çözüm olabilir. Bu çalışma baz alınarak gelecekte kapasitenin ve müşteri son kilometre dağıtımının dikkate alınarak modele eklendiği çalışmalar yapılabilir.



KAYNAKLAR

- Alam, C. N., & Manaf, K.** (2016). Implementation of Haversine Formula for Counting Event Visitor in The Radius Based on Android Application. *2016 4th International Conference on Cyber and IT Service Management*. IEEE.
- Álvarez, E., & Calle, A.** (2013). Sustainable Practices in Urban Freight Distribution in Bilbao. *Journal of Industrial Engineering and Management* , 538-553.
- Amico, M. D., & Hadjidimitriou, S.** (2012). Innovative Logistics Model and Containers Solution for Efficient Last Mile Delivery. *Procedia Social and Behavioral Sciences*, 48, 1505-1514.
- Antonioni, A., & Lu, W.-S.** (2007). *Practical Optimization*. Springer.
- Barclay.** (2014). *The Last Mile. Exploring the online purchasing and delivery journey.* Retrieved from <https://www.home.barclays/news/2014/September/the-lastmile>.
- Bazaraa, M. S., Jarvis, J., & Sherali, H.** (1990). *Linear Programming and Network Flows*. A John Wiley & Sons.
- Beasley, J., & Chu, P.** (1996). A Genetic Algorithm for the Set Covering. *European Journal of Operational Research*, 392-404.
- Bent, R., & Hentenryck, P.** (2014). Scenario-Based Planning for Partially Dynamic Vehicle Routing with Stochastic Customers. *Operations Research*, 52.
- Chen, C.** (2016). Using the Crowd of Taxis to Last Mile Delivery in E-Commerce: a methodological research. *Service Orientation in Holonic and Multi-Agent*, 61-70.
- Church, R., & ReVelle, C.** (1974). The Maximal Covering Location Problem. *Papers of the Regional Science Association*, 32, 101-118.
- Dampier, A., & Marinov, M.** (2015). A Study of the Feasibility and Potential Implementation of Metro-Based Freight Transportation in Newcastle upon Tyne. *Urban Rail Transit*, 1(3), 164-182.
- Dantzig, G. B.** (1963). *Linear Programming and Extensions*. Princeton, The United States of America: Princeton University Press.
- Dorfman, R.** (1984). The Discovery of Linear Programming. *Annals of the History of Computing*, 6(3), 283-295.
- E., Y., Lang, Z., Yang, Y., & Zhang, Y.** (2015). Vehicle Routing Problem Solution Considering Minimising Fuel Consumption. *IET Intelligent Transport Systems*, 9, 523-529.
- Estrada, M., Campos-Cacheda, J.-M., & Robuste, F.** (2018). Night Deliveries and Carrier-Led Consolidation Strategies to Improve Urban Goods Distribution. *Special Issue on Collaboration and Urban Transport*, 33, 930-947.
- Gevaers, R., Van de Voorde, E., & Vanelslander, T.** (2011). Characteristics and Typology of Lastmile. In *City Distribution and Urban Freight Transport: Multiple Perspectives* (pp. 56-71). Edward Elgar Publishing.
- Hakimi, S.** (1964). Optimum Locations of Switching Centers. *Operations Research*, 450-459.

- Hakimi, S.** (1965). Optimum Distribution of Switching Centers in A Communication Network and Some Related Graph Theoretic Problems. *Operations Research*, 462-475.
- Holguín-Veras, J., Encarnación, T., & González-Calderón, C.** (2018). Direct impacts of off-hour deliveries on urban freight emissions. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 61, 84-103.
- Karasakal, O., & Karasakal, E.** (2004). A Maximal Covering Location Model in The Presence of Partial Coverage. *Computers & Operations Research*, 31, 1515-1526.
- Karloff, H.** (1991). *Linear Programming*. Birkhauser.
- Kelly, J., & Marinov, M.** (2017). Innovative Interior Designs for Urban Freight Distribution Using. *Urban Rail Transit*, 3(4), 238-254.
- Moore, G. C., & ReVelle, C.** (1982). The Hierarchical Service Location Problem. *Management Science*, 28(7), 775-780.
- Noel, E.** (1983). Night delivery: Institutional restraints. . *Journal of Urban Planning and Development*, 109, 44-49.
- Raoui, H. E., Oudani, M., & Hilali Alaoui, A.** (2018). ABM-GIS simulation for urban freight distribution of perishable food. *MATEC Web of Conferences*, (pp. 1-8).
- Sarker, R. A., & Newton, C.** (2008). *Optimization Modelling A Practical Approach*. Taylor & Francis Group.
- Souza, R., Goh, M., Lau, H.-C., Ng, W.-S., & Tan, P.-S.** (2014). Collaborative Urban Logistics – Synchronizing the Last Mile. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 125, 422-431.
- Tiwapat, N., Pornsing, C., & Jomthong, P.** (2018). Last Mile Delivery: Modes, Efficiencies, Sustainability, and Trends. *2018 3rd International Conference on Intelligent Transportation Engineering*, (pp. 313-317).
- Toregas, C., Swain, R., ReVelle, C., & Bergman, L.** (1971). The Location of Emergency Service Facilities. *Operations Research*, 1363-1373.
- Wang, Y., Zhang, D., Liu, Q., Shen, F., & Lee, L.** (2016). Towards enhancing the last-mile delivery: An effective. *Transportation Research Part E*, 279-293.
- Winston, W. L.** (2003). *Operations Research: Applications and Algorithms* . Duxbury Press.
- Yang, X.-S.** (2010). *Engineering Optimization: An Introduction with Metaheuristic Applications*. A John Wiley & Sons.

EKLER

EK A: GAMS Kodu

EK B: MATLAB Kodu



EK A

set

i müşteri/1*20/

j aday bakkal noktaları/1*7/

k istasyon/1*3/;

scalars

Lf /5/

Lp /10/

p /7/

g /0.5/;

parameter

d(i) müşterinin talebi

/

1 8
2 37
3 45
4 111
5 357
6 465
7 53
8 14
9 46
10 1503
11 69
12 72
13 718
14 19
15 14
16 25
17 144
18 75
19 650
20 14 /;

table a(i,j) müşteri ile bakkal arasındaki mesafe

	1	2	3	4	5	6	7
1	31	39	48	26	5	35	75
2	40	16	3	8	25	81	78
3	17	52	41	95	69	9	13
4	11	10	81	19	29	46	79
5	37	9	70	44	66	46	54
6	15	89	52	67	64	66	75
7	50	7	46	30	14	38	97
8	24	4	61	59	5	88	85
9	85	42	15	113	3	18	17
10	13	2	6	17	53	14	2
11	68	14	27	67	37	62	89

12	75	95	18	48	21	41	9
13	11	7	11	18	73	25	37
14	20	27	7	5	14	64	72
15	47	2	61	38	57	30	82
16	10	5	73	59	60	44	19
17	35	14	43	77	75	37	72
18	12	31	18	7	29	19	95
19	28	57	73	2	54	25	75
20	3	105	20	13	15	22	8

table b(j,k) bakkal ile istasyon arasındaki mesafe

	1	2	3
1	22	24	20
2	54	13	25
3	78	58	11
4	3	41	35
5	107	97	18
6	48	10	92
7	14	57	5;

parameter

r(i,j) coverage parametresi;

r(i,j) \$ [a(i,j) <= Lf] = 1;

r(i,j) \$ [Lf < a(i,j) and a(i,j) <= Lp] = 1 - (a(i,j) - Lf) / (Lp - Lf);

r(i,j) \$ [a(i,j) > Lp] = 0;

variables

z obj;

binary variables

y(j,k) j.bakkalın k.istasyonuna atanıp atanmaması

x(j) j.bakkalın kullanılıp kullanılmaması

t(i) i.müşterinin talebinin karşılanıp karşılanmaması;

equations

obj

kisit1

kisit2(i)

kisit3(j);

obj..z=e=(sum(i,d(i)*t(i)*g)-sum((j,k),b(j,k)*y(j,k)));

kisit1..sum(j,x(j))=l=p;

kisit2(i)..t(i)=l=sum(j,r(i,j)*x(j));

kisit3(j)..sum(k,y(j,k))=e=x(j);

model aa /all/;

solve aa using mip maximizing z;

display z,l,y,l,t,l,x,l,r;

EK B

```
musteri=5159;
bakkal=200;
istasyon=22;
lf=5;
lp=10;
p=200;
g=0.001;
parametre=zeros;
talep=xlsread('demand.xlsx');
mesafe1=xlsread('distance1.xlsx');
mesafe2=xlsread('distance2.xlsx');
for i=1:musteri
    for j=1:bakkal
        if (mesafe1(i,j)<=lf)
            parametre(i,j)=1;
        end
        if (mesafe1(i,j)>lf) && (mesafe1(i,j)<=lp)
            parametre(i,j)=1-(mesafe1(i,j)-lf)/(lp-lf);
        end
        if mesafe1(i,j)>lp
            parametre(i,j)=0;
        end
    end
end

prob=optimproblem('ObjectiveSense','max');
y=optimvar('y',200,22,'Type','integer','Lowerbound',0,'Upperbound',1);
t=optimvar('t',5159,'Type','integer','Lowerbound',0,'Upperbound',1);
x=optimvar('x',200,'Type','integer','Lowerbound',0,'Upperbound',1);

a=sum(mesafe2.*y);
b=sum(a,2);
cost=(transpose(talep)*t*g)-b;
prob.Objective=cost;
c=parametre*x;
prob.Constraints.kisit2=c>=t;
prob.Constraints.kisit1=sum(x)<=p;
prob.Constraints.kisit3=sum(y,2)==x;
showproblem(prob);
[sol,fval]=solve(prob);
buyx=sol.x;
buyy=sol.y;
buyt=sol.t;
```

ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Sibel SATICI
Doğum Tarihi ve Yeri : 05.12.1993/İstanbul
E-posta : sibel.ozkardes@kocaeli.edu.tr

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** :2016, Arel Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü