

TOBB EKONOMİ VE TEKNOLOJİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**EŞZAMANLI KAMYON YÜKÜ TAŞIMACILIK İHALELERİNDE
KONUM TABANLI FİYAT TAHMİNİ VE SİNERJİ TABANLI TEKLİF
OPTİMİZASYONU**

DOKTORA TEZİ
Evren OLCAYTU

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Gültekin KUYZU

Aralık 2019

Fen Bilimleri Enstitüsü Onayı

.....
Prof.Dr. Osman EROĞUL
Müdür

Bu tezin Doktora derecesinin tüm gereksinimlerini sağladığını onaylarım.

.....
Prof.Dr. Tahir HANALIOĞLU
Anabilimdalı Başkanı

TOBB ETÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 141317004 numaralı Doktora öğrencisi **Evren OLCAYTU**'nun ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı "EŞZAMANLI KAMYON YÜKÜ TAŞIMACILIK İHALELERİNDE KONUM TABANLI FİYAT TAHMİNİ VE SİNERJİ TABANLI TEKLİF OPTİMİZASYONU" başlıklı tezi tarihinde aşağıda imzaları olan jüri tarafından kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı: **Dr.Öğr. Üyesi Gültekin KUYZU**
TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi

Juri Üyeleri: **Dr.Öğr. Üyesi Salih TEKİN**
TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi

Dr.Öğr. Üyesi Vedat BAYRAM
TED Üniversitesi

Doç.Dr. Çağrı KOÇ
Ankara Sosyal Bilimler Üniversitesi

Doç.Dr. Ayşegül Altın KAYHAN
TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, alıntı yapılan kaynaklara eksiksiz atıf yapıldığını, referansların tam olarak belirtildiğini ve ayrıca bu tezin TOBB ETÜ Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlandığını bildiririm.

Evren OLCAYTU

İMZA

ÖZET

Doktora Tezi

EŞZAMANLI KAMYON YÜKÜ TAŞIMACILIK İHALELERİNDE KONUM TABANLI FİYAT TAHMİNİ VE SİNERJİ TABANLI TEKLİF OPTİMİZASYONU

Evren OLCAYTU

TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Gültekin KUYZU

Tarih: Aralık 2019

İnternetin yaygın kullanımı, yük taşımacılığı web sitelerinin taşıyıcı ve göndericilerin bir araya geldiği etkili bir pazar haline gelmesine neden olmuştur. Bu web siteleri; yüklerin daha düşük maliyetle, daha süratli ve daha güvenli bir şekilde taşınmasını sağlamıştır. Bu durum, ihale tabanlı hızlı satın alma sürecinde, kamyon yükü taşıyıcısının fiyat teklifi belirleme sorununa yol açmaktadır. Eşzamanlı bağımsız taşımacılık ihalelerinde, kamyon yükü taşıyıcılarının ihale sonucunda sahip olacağı olası geliri hesaplayabilmesi için, rakip taşıyıcıların fiyat tekliflerinin olasılık dağılımını tahmin etmesi gerekir. Geçmiş veriler bu amaç için kullanılabilir. Bu tahmin problem tipi için literatürde bulunan tek tahmin yöntemi sadece ihale edilen güzergâhların uzunluğunu dikkate almaktadır. Bu tez çalışmasında, uzun vadeli sözleşme altındaki mevcut yük ağlarını bir spot taşımacılık pazarından gelen yüklerle tamamlamak isteyen tam kamyon yükü taşıyıcısının problemi ele alınmıştır. Taşıyıcı bakış açısıyla, eşzamanlı birden fazla bağımsız tek güzergâh ihaleleri için geçmiş verileri filtreleyerek kullanan güzergâha özgü parametre tahmini yapan konum tabanlı yöntemler ve geçmiş veri bağımlılığına gerek olmayan sinerji tabanlı yöntemler geliştirilmiştir. Önerilen yöntemlerin etkinliğinin ölçülebilmesi için bir spot taşımacılık pazarı benzetimi içeren deneysel çalışmalar yapılmış ve elde edilen sonuçlar neticesinde bu yöntemlerin daha önce kullanılan yöntemle kıyasla taşıyıcıların kârlılığını artırabileceği gösterilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Satın alma ihaleleri, Kamyon taşımacılığı, Stokastik optimizasyon, Teklif verme, Parametre tahmini.



ABSTRACT

Doctor of Philosophy

LOCATION-BASED PRICE ESTIMATION AND SYNERGY-BASED BID PRICE OPTIMIZATION IN SIMULTANEOUS TRUCKLOAD TRANSPORTATION AUCTIONS

Evren OLCAYTU

TOBB University of Economics and Technology
Institute of Natural and Applied Sciences
Department of Industrial Engineering

Supervisor: Dr. Öğr. Üyesi Gültekin KUYZU

Date: December 2019

The widespread use of the Internet has made digital freight transport networks an effective marketplace where carriers and shippers come together. These web sites enable the cargo to be transported at a lower cost, and in a faster and safer manner. This leads to the problem of determining the bid price of the truckload carrier in the fast auction-based procurement process. In simultaneous independent transportation auctions, truckload carriers must estimate the probability distribution of competitive carriers' bid prices in order to estimate the possible revenue they will have as a result of the auction. Historical data can be used for this purpose. For this type of estimation problem, the only estimation method in the literature takes into account only the length of the auction lanes. This thesis focuses on the bid determination problem of a full truckload carrier that wants to complement the existing freight networks under a long-term contract with loads from a spot transportation market. Location-based methods that estimate lane-specific parameters that filter historical data for multiple simultaneous independent single lane auctions have been developed. In addition, synergy-based methods that do not require historical data dependence have been developed. In order to measure the effectiveness of the proposed methods, computational experiments have been carried out in the simulated spot transportation market and the results have shown that these methods

can increase the profitability of the carriers' profits compared to the previously used method.

Keywords: Procurement auctions, Truckload transportation, Stochastic optimization, Bidding, Parameter estimation.



TEŞEKKÜR

Çalıőmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren tez danıőmanım Dr. Gültekin KUYZU'ya, kıymetli tecrübelerinden faydalandığım Dr. Vedat BAYRAM, Dr. Salih TEKİN ve TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü öğretim üyelerine ve destekleriyle her zaman yanımda olan aileme, arkadaşlarıma ve maddi destekleri için TÜBİTAK'a çok teşekkür ederim.



İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	iv
ABSTRACT	vi
TEŞEKKÜR	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİL LİSTESİ	xi
ÇİZELGE LİSTESİ	xii
KISALTMALAR	xiii
SEMBOL LİSTESİ	xiv
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	5
2.1 İhale Teorisi	5
2.2 Taşımacılık İhaleleri	7
2.3 Karayolu Taşımacılığında Fiyat Teklifi Verme	10
2.4 Karayolu Taşımacılığı Piyasalarında Fiyat Tahmini	12
2.5 Mevcut Literatür Üzerine Açıklamalar	14
3. PROBLEM TANIMI VE ÇÖZÜM YAKLAŞIMI	15
4. METODOLOJİ	19
4.1 Konum Tabanlı Fiyat Tahmini Yöntemleri	19
4.1.1 Kümeleme Yöntemleri	20
4.1.1.1 k -Ortalama Kümeleme Yöntemi	20
4.1.1.2 k -En Yakın Komşular Yöntemi	22
4.1.1.3 Hiyerarşik Kümeleme Yöntemi	23
4.1.2 Doğrusal Regresyon Modeli	23
4.1.3 GRD Yöntemi	24
4.1.4 SQR Yöntemi	25
4.1.5 A-SQR Yöntemi	26
4.2 Sinerji Tabanlı Teklif Belirleme Yöntemleri	27
4.2.1 Sezgisel Yöntem	28
4.2.2 Verimli Sezgisel Yöntem	28
4.3 Metasezgisel Teklif Belirleme Yöntemleri	30
4.3.1 Parçacık Sürüsü Optimizasyon Yöntemi	30
4.3.2 Tavlama Benzetimi Yöntemi	31
5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	33
5.1 SB'nin Konum Tabanlı Tahmin Yöntemleri ile Performansı	35

5.2 SB'nin Sinerji Tabanlı Tahmin Yöntemleri ile Performansı	40
5.3 SB'nin Metasezgisel Yöntemler ile Performansı	42
6. SONUÇLAR	45
7. ÖNERİLER VE GELECEK ÇALIŞMALAR	47
KAYNAKÇA	49
Kaynaklar	49
EKLER	55
ÖZGEÇMİŞ	87



ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1: Yaygın kullanılan ihale mekanizmaları.	6
Şekil 3.1: Birleştirme örneği (Kuyzu ve diğ., 2015).	17
Şekil 4.1: Geçmiş güzergâhların kümelenmesi (k -MC).	21
Şekil 4.2: Geçmiş güzergâhların kümelenmesi (k -NN).	22
Şekil 4.3: GRD yöntemi.	25
Şekil 4.4: SQR yöntemi.	26
Şekil 4.5: A-SQR yöntemi.	27
Şekil 5.1: Simüle edilen 9 bölgenin yerleşimi.	33
Şekil 5.2: SB tarafından elde edilen birim kârın farklı tahmin yöntemleriyle karşılaştırılması.	37
Şekil 5.3: SB tarafından elde edilen toplam kârın farklı tahmin yöntemleriyle karşılaştırılması.	38
Şekil 5.4: SB tarafından elde edilen güzergâh sayılarının farklı tahmin yöntemleriyle karşılaştırılması.	39

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 5.1: Kümeleme yöntemleri.	35
Çizelge 5.2: Sezgisel yöntemlerin karşılaştırılması.	41
Çizelge 5.3: Ortalama koşum süreleri.	42
Çizelge 5.4: Metasezgisel yöntemler.	43
Çizelge 7.1: SB'nin KM yöntemini kullandığında elde edilen birim kâr. . .	57
Çizelge 7.2: SB'nin KM yöntemini kullandığında elde edilen toplam kâr. . .	58
Çizelge 7.3: SB'nin KM yöntemini kullandığında kazanılan ihale sayısı. . .	59
Çizelge 7.4: SB'nin LR yöntemini kullandığında elde edilen birim kâr. . .	61
Çizelge 7.5: SB'nin LR yöntemini kullandığında elde edilen toplam kâr. . .	62
Çizelge 7.6: SB'nin LR yöntemini kullandığında kazanılan ihale sayısı. . .	63
Çizelge 7.7: SB'nin GRD yöntemini kullandığında elde edilen birim kâr. . .	65
Çizelge 7.8: SB'nin GRD yöntemini kullandığında elde edilen toplam kâr. . .	66
Çizelge 7.9: SB'nin GRD yöntemini kullandığında kazanılan ihale sayısı. . .	67
Çizelge 7.10: SB'nin SQR yöntemini kullandığında elde edilen birim kâr. . .	69
Çizelge 7.11: SB'nin SQR yöntemini kullandığında elde edilen toplam kâr. . .	70
Çizelge 7.12: SB'nin SQR yöntemini kullandığında kazanılan ihale sayısı. . .	71
Çizelge 7.13: SB'nin A-SQR yöntemini kullandığında elde edilen birim kâr. . .	73
Çizelge 7.14: SB'nin A-SQR yöntemini kullandığında elde edilen toplam kâr. . .	74
Çizelge 7.15: SB'nin A-SQR yöntemini kullandığında kazanılan ihale sayısı. . .	75
Çizelge 7.16: SB'nin kilometre başına ortalama kazanan teklif değerleri. . .	77
Çizelge 7.17: SB'nin HM yöntemini kullandığında elde edilen birim kâr. . .	79
Çizelge 7.18: SB'nin HM yöntemini kullandığında elde edilen toplam kâr. . .	80
Çizelge 7.19: SB'nin HM yöntemini kullandığında kazanılan ihale sayısı. . .	81
Çizelge 7.20: SB'nin EHM yöntemini kullandığında elde edilen birim kâr. . .	83
Çizelge 7.21: SB'nin EHM yöntemini kullandığında elde edilen toplam kâr. . .	84
Çizelge 7.22: SB'nin EHM yöntemini kullandığında kazanılan ihale sayısı. . .	85

KISALTMALAR

- ARIMA** : Otoregressive entegre hareketli ortalama (*Autoregressive Integrated Moving Average*)
- A-SQR** : Adaptif kare yöntemi (*Adaptive-Square Method*)
- EHM** : Etkili segisel yöntem (*Efficient Heuristic Method*)
- FTL** : Tam kamyon yükü (*Full Truckload*)
- GRD** : Grid yöntemi (*Grid Method*)
- HM** : Segisel yöntem (*Heuristic Method*)
- KM** : Kuyzu vd. (2005) tarafından kullanılan yöntem (*Kuyzu's Method*)
- LCLCP** : Uzunluk kısıtlı güzergâh kaplama problemi (*Length Constraint Lane Covering Problem*)
- LP** : Doğrusal programlama (*Linear Programmig*)
- LR** : Doğrusal regresyon yöntemi (*Linear Regression Method*)
- LTL** : Kamyon yüküden daha az (*Less Than Truckload*)
- MU** : Fiyat artışı (*Markup*)
- SB** : Akıllı taşıyıcı-teklifçi (*Smart Bidder*)
- SQR** : Kare yöntemi (*Square Method*)
- 3PL** : Üçüncü parti lojistik
- k-MC** : *k*-Ortalama kümeleme yöntemi (*k-Means Clustering*)
- k-NN** : *k*-En yakın komşular yöntemi (*k-Nearest Neighbors*)
- H-Min** : Hiyerarşik kümeleme yöntemi (minimum değerlerin alındığı küme)
- H-Avg** : Hiyerarşik kümeleme yöntemi (ortalama değerlerin alındığı küme)
- H-Max** : Hiyerarşik kümeleme yöntemi (maksimum değerlerin alındığı küme)
- PSO** : Parçacık sürüsü optimizasyon metasezgiseli (*Partical Swarm Optimization*)
- SA** : Tavlama benzetimi metasezgiseli (*Simulated Annealing*)

SEMBOL LİSTESİ

Bu çalışmada kullanılmış olan simgeler açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklama
L	İhale edilen güzergâh kümesi.
X_i	İhale edilen güzergâhtaki en düşük rakip fiyat teklifini temsil eden rassal değişken ($i \in L$).
\mathbf{b}	İhale edilen güzergâhların fiyat teklifleri vektörü (karar değişkenleri).
$P(S, \mathbf{b})$	Teklif vektörü \mathbf{b} ile S kümesi güzergâhlarının kazanılma olasılığı.
$Q(L - S, \mathbf{b})$	Teklif vektörü \mathbf{b} ile $L - S$ kümesi güzergâhlarının kaybedilme olasılığı.
$R(S, \mathbf{b})$	Teklif vektörü \mathbf{b} ile S kümesi güzergâhlarından elde edilen gelir.
$C(S)$	S kümesi güzergâhlarına hizmet verme maliyeti.
d_j	İhale edilen j güzergâhının uzunluğu ($\forall j \in L$).
r_i	En büyük sinerji oranı.
L_0	Taşıyıcının mevcut güzergâh ağı.
b_l	l güzergâhı fiyat teklifi ($\forall l \in L$).
d_l	l güzergâhının uzunluğu ($\forall l \in L$).
MC_S	S güzergâh kümesinin marjinal maliyeti ($S \subseteq L$).
x_{ij}	Parçacık sürüsü optimizasyonundaki i parçacığının j güzergâhı için değeri ($i \in N, j \in L$).
v_{id}^t	t iterasyondaki i parçacığın d boyutundaki huz değeri ($v \in [-v_{max}, v_{max}]$).
p_{id}	i parçacığın arama boyunca bulduğu yerel en iyi değeri.
p_d	Arama boyunca bulunan global en iyideki x_{id} değeri.
c_1, c_2	Bilişsel (cognitive) ve sosyal etki ile ilgili hızlanma sabitleri.
r_1, r_2	$[0, 1]$ aralığında rassal sayılar ($r_1, r_2 \sim U[0, 1]$).
ω	Atalet (inertia) ağırlığı (<i>hızlı yakınsama için</i> $\omega \in [0.8, 1.2]$).
$\pi(\mathbf{b})$	\mathbf{b} fiyat teklif vektörüne ait amaç fonksiyonu, taşıyıcının beklenen kârını gösteren amaç fonksiyonu.
b_i^k	k . iterasyon i . güzergâh fiyat teklifi ($\forall i \in L$).
γ	Mantıksal(ikili) değişken.
l_{ij}	Yay uzunluğu.
x_{ij}	LCLCP matematiksel modelinde yayın ne sıklıkta kullanıldığını gösteren tam sayılı değişken.
C_k	Yönlendirilmiş döngü $k \in \{1, 2, \dots, n\}$.
B	Belirlenen döngü uzunluğu.

1. GİRİŞ

Kamyon yükü taşımacılığı satın alma ihaleleri, bu ihalelerde teklif veren potansiyel kamyon yükü taşıyıcıları arasındaki açık rekabeti başlatarak, nakliyecilerin yükleri için gerçek en düşük maliyeti bulmalarını sağlamak için tasarlanmıştır. Taşıyıcılar, teklif fiyatlarını dikkatlice seçmelidir. Fiyat teklifleri, rekabeti yenecek ve ihaleyi kazanacak kadar düşük olmalı, ancak tatmin edici bir kazanç sağlayacak kadar da yüksek olmalıdır. İhaleler aracılığıyla fiyat tekliflerinin yapılması, taşımacılık pazarının sağlıklı çalışması için de gereklidir.

Kamyon yükü taşıma operasyonlarındaki ana verimsizlik sebebi ardışık güzergâhlar arasındaki boş kamyon yükü (*empty truckload, deadhead mileage*) hareketleridir. Herhangi bir A ve B noktası göz önüne alındığında; A ve B noktası arasındaki kamyon yükü sayısını her iki yönde de dengeli bir şekilde artırmak, A'dan B'ye kadar olan yollardan birinde kamyon yükü sayısını artırmaktan çok daha önemlidir. Bu nedenle, taşıyıcılar satın alma ihalelerinde yüklere teklif verirken boş kamyon yükü hareketlerini doğru olarak değerlendirmelidir. Taşıyıcıların eşzamanlı olarak birden fazla yüke teklif vermeleri gerektiğinde bu riskin değerlendirilmesi daha da önemlidir. Birleşimsel ihaleler (*Combinatorial Auctions*), teklif sahiplerine tekliflerin güzergâh kümeleri üzerine teklif vermesini sağlayarak bu riski hafifletir (Sheffi, 2004). Ancak, teklif sahiplerinin ve müzayedecilerin karşılaştığı zorluklardan dolayı baskın ihale formatı bu değildir (Day ve Raghavan, 2009). Ek olarak, spot tedarik piyasası tipik olarak birleşimsel ihaleleri içermez. Sonuç olarak, taşıyıcılar sıklıkla aynı anda birden fazla bağımsız tek güzergâh ihalelerinde teklif vermeleri gereken durumlarla karşı karşıya kalmaktadır.

Kuyzu ve diğ. (2015), eş zamanlı ilk fiyat (*first-price*) ihale formatı altında birden fazla bağımsız tek güzergâhlı ters ihalede (*reverse auction*) teklif veren kamyon yükü taşıyıcılarının karşılaştığı karar sorununu ilk yorumlayanlardır. Çalışmalarında, taşıyıcı bakış açısıyla, uzun vadeli sözleşme altında mevcut yük ağlarını, bir spot taşımacılık pazarından gelen yüklerle tamamlamak isteyen tam kamyon yükü (FTL) taşıyıcısının problemini ele almışlardır. Her ihale güzergâhındaki, en düşük rakip fiyat teklifini rassal bir değişken olarak modellemişler ve taşıyıcının beklenen karını en üst düzeye çıkarmak amacıyla stokastik fiyat teklifi optimizasyon problemini formüle etmişlerdir. Yüksek kaliteli çözümler elde edilebilmesi için artan koordinat algoritması (*iterative coordinate search algorithm*, bkz. Kuyzu ve diğ., 2015) önermişlerdir. Önerilen yöntemin etkinliğinin gösterilmesi için önerilen yöntemi kullanan bir “akıllı” taşıyıcının (SB) birkaç dönem boyunca farklı büyüklükteki rakip taşıyıcılara karşı rekabet ettiği bir sanal pazar aracılığıyla simülasyonlar koşturmuşlardır. Simülasyonlardan elde ettikleri sonuçlarla akıllı taşıyıcının, gerek kendi yük ağı büyüklüğünden gerekse rakip taşıyıcıların

yük ağı büyüklüğünden bağımsız olarak rakip taşıyıcılardan daha iyi performansa sahip olduğunu göstermişlerdir.

Kuyzu ve diğ. (2015) tarafından önerilen yaklaşımın uygulanmasındaki kilit unsur, en düşük rakip fiyat tekliflerini temsil eden rassal değişkenlerin parametrelerinin tahminidir. Kamyon yükü taşıyıcıları genelde fiyatlarını kilometreye (veya mil başına) göre belirler ve ardından noktadan noktaya fiyat belirlemek için kilometre başına fiyatı yükün uzunluğuyla çarparlar. Kuyzu ve diğ. (2015), rassal değişkenlerin parametrelerini tahmin için geçmiş ihalelerin sonuçlarını kullanmışlardır. Elde ettikleri kilometre başına rassal değişkeni her güzergâhın uzunluğuna göre ölçeklendirmişlerdir. Taşımacılık piyasadaki her bir güzergâhın kilometre başına fiyatı, güzergâh ile rekabet eden taşıyıcıların ağırları arasındaki sinerji seviyesine göre değişebilir. Kilometre başına tek bir rassal değişken kullanmak, bazı güzergâhlarda değerinin üzerinde fiyat teklif edilmesine neden olurken, diğer yüklerde düşük fiyat teklifine neden olabilir. Bu tez çalışmasında sunduğumuz yaklaşımlar bu gözleme dayanarak ifade edilmiştir.

Literatürde, teklif kararlarını stokastik optimizasyon problemleri olarak modelleyen sınırlı sayıda çalışma bulunmaktadır. Stokastik optimizasyon modelleri öneren araştırmacılar yükler için fiyat tekliflerini belirlerken çoğunlukla yükler arasındaki farkları görmezden gelmiş ya da sadece güzergâhların başlangıç-varış noktaları arasındaki mesafenin bir fonksiyonu olarak değerlendirmişlerdir. Bilgimiz dahilinde, yalnızca iki çalışmada ardışık ihalelerde yük fiyat teklifi tahmin edilirken daha fazla özellik göz önünde bulundurulmuştur (Lindsey ve diğ., 2013; Wang ve diğ., 2018). Önerilen fiyat teklifi algoritmaları, simülasyon ortamlarında yaygın olarak test edilmiştir.

Kamyon yükü fiyatlarının tahmin edilmesi, ihalelerin ötesine geçen bir husustur. Her ne kadar karayolu taşımacılığı toplam lojistik maliyetlerinin önemli bir bölümünü oluştursa da (Zikopoulos, 2019), gerçek yaşam verisinin kullanıldığı kamyon yükü değerlerinin tahmin edilmesi çalışmaları sınırlı sayıda yapılmıştır (Miller, 2019). Doğrusal regresyonun kamyon yükü fiyatlarının tahmininde en sık kullanılan modelleme yaklaşımı olduğunu belirtmek önemlidir. Yine, fiyat tahmini ile taşıyıcı / üçüncü parti lojistik (3PL) / komisyoncu kârlılığı arasındaki ilişkiyi ele alan çalışma sayısı çok azdır.

Bu tez çalışmasında; güzergâha özel kamyon yükü fiyat tahmin yöntemleri geliştirilmiş ve eş zamanlı birden fazla bağımsız tek güzergâh ihalesine katılan taşıyıcıların kârlılığı üzerindeki etkilerini ölçülmüş, spot kamyon yükü pazarlarında taşımacılık ihaleleri ve fiyat tahminine ilişkin çalışmalarla literatüre katkıda bulunulmuştur. Tahmin yaklaşımımız; geçmiş verileri, ihale edilen yükün başlangıç konumundan başlayarak ve varış konumunun yakınında sona erecek güzergâhları

daraltmak/filtrelemek üzerine kuruludur. Böylece her bir güzergâh için kilometre başına rassal değişken daha doğru tahmin edilmiştir. İhale güzergâhlarının başlangıç ve varış konumlarını belirlemek için alternatif yöntemler araştırılmıştır. Taşımacılık fiyatlarının tahmininde, regresyon modeli geçmişte yapılan çalışmalarda sıklıkla kullanıldığından, analizimize alternatif olarak doğrusal bir regresyon modeli dâhil edilmiştir. Geliştirdiğimiz yöntemlerin performansının değerlendirmesi için Kuyzu ve diğ. (2015) çalışmalarındaki test setleri ve sonuçları ölçüt olarak kullanılmıştır.

Tez çalışmasının geri kalanı şu şekilde düzenlenmiştir; Bölüm 2’de literatür taraması, Bölüm 3’te problem tanımı ve çözüm yaklaşımı, Bölüm 4’te uygulanan tüm yöntemlerin anlatıldığı metodoloji, Bölüm 5’te önerilen yöntemlerin simüle edilen sanal pazarda nasıl performans gösterdiğini göstermek için yapılan deneysel çalışmalar, Bölüm 6’da sonuçlar ve son olarak Bölüm 7’de öneriler ve gelecek çalışma sunulmuştur.



2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Literatür araştırması; Bölüm 2.1’de ihale teorisi ve sıklıkla kullanılan ihale mekanizmaları, Bölüm 2.2’de taşımacılık ihaleleri, Bölüm 2.3’te karayolu taşımacılığında fiyat teklifi verme ve Bölüm 2.4’te karayolu taşımacılığı piyasalarındaki fiyat tahmini yaklaşımları, Bölüm 2.5’te de mevcut literatür üzerine açıklamalar başlıkları altında anlatılmıştır. Karayolu taşımacılığı ihalelerinde ihale modellerini incelediğimizde, taşımacılık ihalelerinin sonucundaki belirsizliği dikkate alan çalışmalara odaklanılmış, mevcut literatürde en düşük fiyat teklifi dağılımının tahmin edilmesinin nasıl ele alındığı vurgulanmıştır.

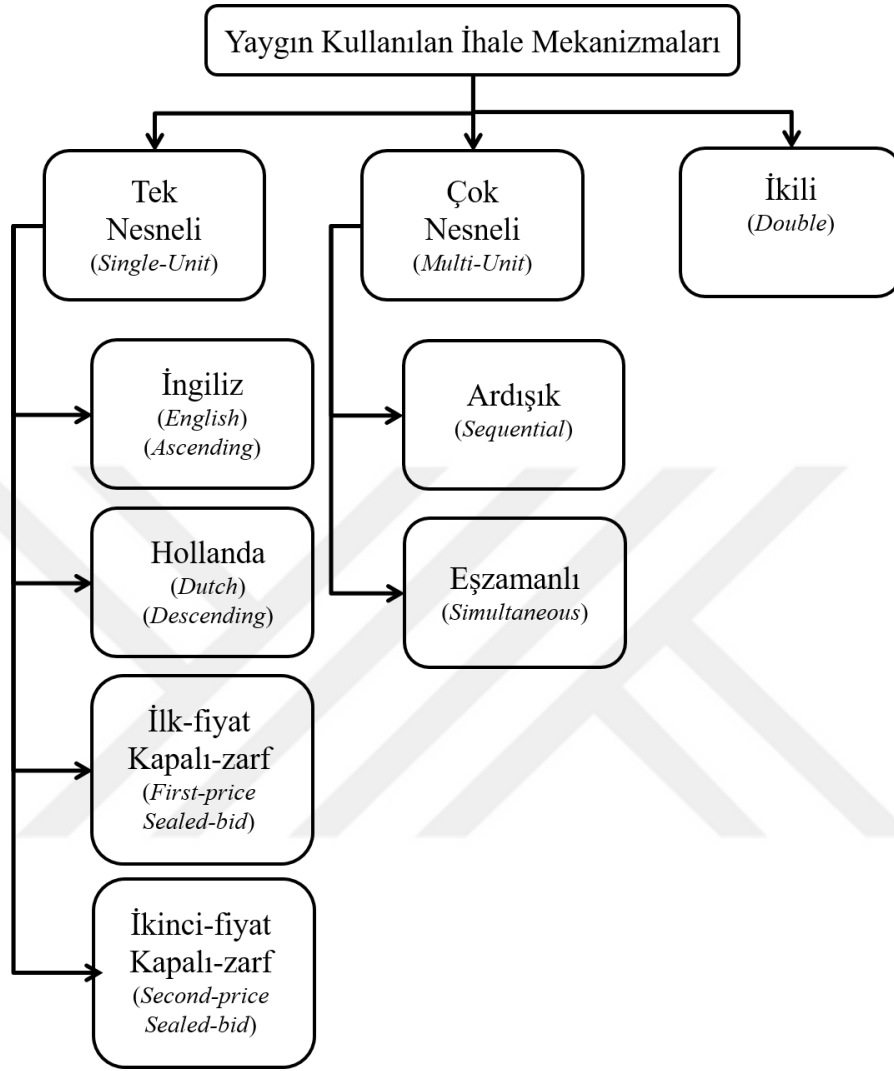
Çalışmamızın özelinde kalmak için deterministik fiyat teklifi belirleme yaklaşımlarını öneren literatür çalışmaları hariç tutulmuştur. Deterministik fiyat teklifi belirleme yaklaşımları ya rakip taşıyıcı tekliflerini tamamen göz ardı eder ya da ihaleden elde edilen gelirin bilindiğini varsayar. Gansterer ve Hartl’in (2016) çalışması, taşımacılık ihalelerinde deterministik teklif belirleme yaklaşımlarını gözden geçirmek isteyen ilgili okur için tavsiye edilmiştir. Öte yandan, stokastik teklif belirleme yaklaşımı, en düşük teklifi rassal bir değişken olarak modeller ve ihaleyi kazanma olasılığına dayanarak teklifleri belirler. Bu nedenle, kazanan tekliflerin olasılık dağılımını tahmin etmek stokastik modellerde kritik öneme sahiptir.

2.1 İhale Teorisi

İhale (müzayede) teorisinin tarihi uzun yıllar önceye dayandığı için geniş bir literatüre sahiptir. İhale, herhangi bir nesnenin veya hizmetin veya bunların bir kümesinin satılması için katılımcıların verdiği fiyat teklifleri tabanlı bir pazar mekanizmasıdır. İhale, en uygun fiyat teklifi veren katılımcıya bir nesnenin satışının sağlanması için geçerli olacak belirli kuralları sağlar. Literatürde birçok ihale mekanizması sınıflandırması mevcuttur. Genel olarak ihale sınıflandırmaları, tek nesneli (single-unit) ve çok nesneli (multi-unit) olarak gruplandırılmıştır. İhale mekanizmalarına ait genel sınıflandırma Şekil 2.1’de sunulmuştur.

İngiliz (artan) ihale mekanizması, tekliflerin bir açık artırmacı veya tekliflerin herkesin görebileceği açık teklif verenler tarafından açıklandığı ihalelerdir. En yüksek fiyat teklifini veren ihaleyi kazanır.

Hollanda (azalan) ihale mekanizması, İngiliz açık artırmalarının tersidir. İhale fiyatı yüksek bir değerden başlar, herhangi bir alıcı fiyatı kabul edene kadar sistematik olarak düşürülür.



Şekil 2.1: Yaygın kullanılan ihale mekanizmaları.

İlk-fiyat kapalı-zarf ihaleleri, tüm teklif veren taraflar tekliflerini kapalı olarak verirler. En yüksek fiyat teklifini veren alıcı ihaleyi kazanır. İngiliz ihalesinden temel farkı tekliflerin diğer teklif sahipleri için açıkça görüntülenememesidir.

İkinci-fiyat kapalı-zarf ihalelerde, ilk-fiyat kapalı-zarf ihale mekanizması ile aynı prensibi kullanır. Ancak, en yüksek teklifi veren ve kazanan yalnızca ikinci en yüksek teklifin ödemesini yapar.

Çok nesneli ihaleler söz konusu olduğunda, ihaleler ardışık ve eşzamanlı olarak yapılabilmektedir. Ardışık ihalelerde ürünler sırayla ihale edilmektedir. Bir başka

deyişle bir ihale tamamlandıktan sonra diğler ihaleye geçilir. Eşzamanlı bir ihalede ise, her teklif veren, tüm ürünler için aynı anda teklif verir. Tahsis ve fiyatlar daha sonra her bir ürün için ayrı ayrı, yalnızca o ürün için verilen tekliflere dayanarak çözümlenir.

İkili (çifte) ihale, potansiyel alıcıların tekliflerini ve potansiyel satıcıların talep fiyatlarını eşzamanlı bir açık arttırmacıya sundukları ihale mekanizmasıdır. Açık arttırmacı, alıcı tekliflerini ve satıcı talep fiyatlarını değerlendirerek bir fiyat belirler, belirlediği fiyatın üstünde fiyat veren alıcılar ve fiyatın altında talep eden satıcılar ihaleyi kazanmış olur.

Yukarda anlatılan ihale mekanizmalarının haricinde, ters ihale (*reverse auction*) mekanizmasından da bahsetmek gerekir. Ters ihaleler, alıcı ve satıcının rolünün tersine çevrildiği ihale türleridir. Birden fazla satıcı, alıcının işini almak için rekabet eder ve fiyatlar yeni teklifler sunuldukça genellikle zamanla düşer. Ters açık arttırmalar, alıcıları ve satıcıları şeffaf bir pazarda bir araya getirir. Tez çalışması kapsamında ele alınan problemin ihale mekanizması ters ihale olacak şekilde sanal spot taşımacılık pazarı oluşturulmuş ve deneysel çalışmalar yapılmıştır.

Geliştirilen bu ihale mekanizmalarının amacı, ihalenin bir grup teklifçi arasında paylaşımını yaparak, rekabetin sağlanması ve korunmasını sağlamaktır. Bir ihale modeli üç ana bölümden oluşur. Bunlar:

- Potansiyel teklifçilerin tanımı,
- İhale edilecek malların veya hizmetlerin tanımı,
- Teklifçiler tarafından ihale edilecek malların veya hizmetlerin değeridir (Kunimoto, 2008).

McAfee ve McMillan (1987), Klemperer (1999) ve Krishna'nın (2009) çalışmaları, ihale teorileri konusunda detaylı bilgi sahibi olmak isteyen isteyen ilgili okur için tavsiye edilmiştir.

2.2 Taşımacılık İhaleleri

Lojistik ve taşımacılık alanlarında hizmet satın alma faaliyetleri, internetin her alanda kullanılması ve yayılması ile birlikte önem kazanmıştır. Firmalar, elektronik satın alma ve elektronik pazarda etkinlikle faaliyet göstermek için büyük yatırımlar yapmaktadır.

Taşımacılık ihaleleri literatür taramasında kombinetoryal (birleşimsel) taşımacılık ihaleleri konusunda yapılan çalışmalara sıklıkla rastlanmıştır. Birleşimsel ihaleler,

taşıyıcıların tek tek güzergâhlardan ziyade güzergâh grupları/paketleri için teklif vermesini sağlayan bir açık artırma türüdür. Bu ihale türü boş kamyon yükü hareketleri riskini ortadan kaldırır. Birleşimsel ihalelerde, taşıyıcının hizmet vereceği grup/paket güzergâhların seçilmesi konusunda çok çeşitli çalışmalar yapılmıştır (Bkz. De Vries ve Vohra, 2003; Elmaghraby ve Keskinocak, 2004; Sheffi, 2004). Birleşimsel ihaleler üzerine birçok çalışmanın yapılmasına rağmen, fiyat teklifi stratejileri üzerine nispeten az sayıda çalışma olduğu görülmektedir (Sui ve Leung, 2008).

Birleşimsel ihalelerde paket satın alma konusunda birçok araştırmacı tarafından çok çeşitli çalışmalar yapılmıştır (Elmaghraby ve Keskinocak, 2003; Chen ve diğ., 2009; Sheffi, 2004; Elmaghraby, 2004; Elmaghraby ve Keskinocak, 2003; Day ve Raghavan, 2009). Song ve Regan (2003), An ve diğ. (2005), Chang (2009), Mesa ve Ukkusuri (2015), Triki (2016) ve Wang (2005) birleşimsel ihalelerde taşıyıcının boş hareketlerini azaltmak için paket sinerji yaklaşımları önermiştir. İhale edilen mallardan veya hizmetlerden oluşturulacak alt küme sayısının üssel sayıda olması, yapılacak hesapları güçleştirmektedir. Diğer bir deyişle, polinom zamanda, özellikle büyük örneklerde bunu yapmak mümkün değildir. Öte yandan, spot alım pazarlarında birleşimsel ihaleler yaygın kullanılan bir açık artırma türü değildir. Bu tür pazarlarda, taşıyıcılar aynı anda birden fazla bağımsız tek güzergâhlı açık artırmalarda fiyat teklifi vermektedir.

Sıralı ihaleler birleşimsel ihalelerden farklıdır. Sıralı ihale, çeşitli öğelerin birbiri ardına satıldığı bir açık artırmadır. Sıralı açık artırmının uygulanması, uygulamada daha basit ve daha yaygındır. Ancak, taşıyıcılar müteakip ihaleler için stratejik kararlar almalıdır. Figliozi (2004) spot taşımacılık piyasalarında kamyon yükü hizmet alımı için sıralı açık artırmaları incelemiştir. Figliozi ve diğ. (2006) diğer bir çalışmalarında ise sıralı kamyon yükü taşıma ihalelerinde fırsat maliyetlerini değerlendirmek için bir simülasyon çerçevesi kullanmışlardır.

Taşımacılık ihalelerinde özellikle teklifçilerin (taşıyıcıların) bakış açısı ile yapılan, fiyat tekliflerinin belirlenmesine yönelik yapılmış çalışmalar literatürde ender sayıdadır. Teklifçi bakış açısıyla yapılan fiyat tekliflerinin hesabında, toplam kârı maksimize etmek, kârı maksimize ederken mevcut taşıma şebekesini göz önüne alarak araçların boş taşıma maliyetlerini minimize etmek amaçlanmaktadır. Dolayısı ile taşıyıcı tarafından mevcut taşıma şebekesi göz önünde bulundurularak ölçülmesi veya hesaplanması gereken iki önemli konu vardır. Bunlar:

- Taşıma hizmetinin maliyeti,
- Taşıma hizmetinin değeridir.

Mevcut şebeke göz önünde bulundurularak hizmet verilecek olan güzergâhların maliyetlerinin hesaplanması *NP-Zor* bir problemdir. Kapalı zarf ihale mekanizması gereği kazanılan güzergâhların belirsizliği, rakip firmaların mevcut şebekelerinin coğrafik konumları, sayısı ve verecekleri fiyat tekliflerinin belirsizliği göz önüne alındığında ihale için fiyat belirlemek oldukça zordur.

Taşıyıcının beklenen kârını maksimize ederken göz önüne alması gereken en önemli konu ihale edilen güzergâhlar arası sinerjinin tespit edilmesidir. Güzergâhlar arası sinerji tespit edildiğinde oluşturulacak çevrimlerde boş taşıma maliyetleri azaltılmış olacak dolayısı ile elde edilecek hizmet bedellerinden daha az taşıma hizmet maliyeti çıkartılmış olacaktır. Fiyat teklifleri hesaplanırken ulaştırma ağlarındaki sinerjileri dikkate alan çok az çalışma vardır (An ve diğ., 2005; Wang ve Xia, 2005; Lee ve diğ., 2007; Chang, 2009; Triki ve diğ., 2014; Triki, 2016).

Taşıyıcı bakış açısıyla; taşımacılık ağındaki kârı artıracak, boş taşımayı azaltacak güzergâhların seçimi için bir optimizasyon yaklaşımı Triki (2014) tarafından geliştirilmiştir. Tesis yer seçimi problemlerinde sıklıkla kullanılan konum tabanlı bir yaklaşım izlenmiştir. Bunu yaparken mevcut taşıma ağı ve ihale edilen güzergâhlardan seçilecek alt küme güzergâhlar arası sinerji göz önüne alınmıştır. Geliştirilen konum tabanlı yaklaşımda, öncelikle taşıyıcının hizmet verebileceği tüm olası alt küme güzergâhlar sıralanmıştır. Konumlarına göre sinerji seviyeleri belirlenmiş, bu sinerji seviyelerine göre en büyükten en küçüğe sıralanmış ve en büyük sinerji seviyesine sahip güzergâh kümesi ihaleleri seçilmiştir.

Taşımacılık firmasının beklenen kârını en büyükleyecek stokastik fiyat teklifi optimizasyon modeli Kuyzu ve diğ. (2015) tarafından sunulmuş problemin çözümü için koordinat arama sezgiseli kullanılmıştır. Problem, tam kamyon yükü taşıyıcısının eş zamanlı taşımacılık ihalelerinde fiyat teklifi verme problemdir. Geliştirilen algoritmanın etkinliği oluşturulan sanal pazarda denenmiştir. Stokastik fiyat teklifi optimizasyon modelinde 3 ana konu göz önüne alınmıştır. Bunlar:

- Taşıyıcının beklenen kârının en iyilenmesi,
- İhale edilen güzergâhlar arası sinerjinin değerlendirilmesi,
- Rakip taşıyıcıların fiyat teklifi paternleri ile mücadele edilmesidir.

Literatürde genellikle taşıyıcı maliyetinin indirgenmesi için araç rotalama problemleri üzerinde çalışmalar yapılmıştır. Yapılan tez çalışmasında, tam kamyon yükü eş zamanlı taşımacılık ihalelerinde fiyat teklifi optimizasyon problemi üzerinde durulmuştur. Taşıyıcıların eş zamanlı fiyat teklifi verme problemi modeli ilk defa Kuyzu ve diğ. (2015) tarafından yapılmıştır. Taşıyıcının beklenen kârını en büyüklemeye çalışan stokastik fiyat teklifi optimizasyon problemi için yöntemler

geliştirilmiştir. Gerçek bir pazarın simülasyonu hazırlanarak değişik durumlar için algoritmanın etkinliği denenmiştir.

2.3 Karayolu Taşımacılığında Fiyat Teklifi Verme

Robu ve Poutre (2009) sıralı teklif verme karar sürecini bir Markov karar verme süreci olarak modellemiş, gelecekteki fiyat dağılımlarının, teklif sahibinin riskten kaçınma profili üzerindeki etkisini analiz etmişlerdir. Figliozzi ve diğ. (2007) spot pazarda sıralı kamyon yükü ihalelerinde taşıyıcıların fiyatlandırma stratejilerini incelemiştir. Her tek güzergâhlı ihalede en düşük teklifi normal dağılmış rasgele değişken olarak modellemişlerdir. Tek adımlı ileriye dönük bir yaklaşıma dayalı stokastik bir dinamik programlama kullanıp ve mevcut güzergâhın kazanılması nedeniyle açık artırma yapılacak bir sonraki güzergâhın marjinal maliyetindeki beklenen artışı hesaplamışlardır. Ayrıca, Mes ve diğ. (2010) ardışık kamyon yükü taşımacılığı ihalelerinde fiyatlandırma yapıp, beklenen gelecekteki maliyetleri hesaplamak için stokastik bir dinamik programlama tabanlı çok adımlı ileriye dönük bir yaklaşım kullanmışlardır. Bu maliyetleri, güzergâhları fiyatlandırmak ve araçları yönlendirmek için kullanmışlardır. Her bir ihaledeki en düşük teklifi, bir Gumbel (1958) dağılımlı rasgele bir değişken olarak modellemişlerdir. Hem Figliozzi ve diğ. (2007) hem de Mes ve diğ. (2010), ihalelerdeki en düşük tekliflerin bağımsız rassal değişkenler olduğunu varsaymış ve önceki ihalelerdeki en düşük teklifleri kullanarak en düşük teklifin dağılımının parametrelerini, uzaklık, başlangıç ve varış konumlarına bakılmaksızın tahmin etmiştir.

Mes ve diğ. (2009) tarafından yapılan çalışmada gönderici bakış açısıyla ardışık kamyon yükü ihaleleri incelenmiş ve göndericilerin kullanabileceği iki strateji önerilmiştir, bunlar; erteleme ve taahhütlerin yerine getirilmesidir. Taahhütler rezerv fiyatlar yoluyla ertelenirken, taahhütlerin yerine getirilmesi önceden belirlenmiş bir ceza gerektiriyordu. Bu stratejilerden herhangi birinin kullanımına, belirsiz olan gelecekteki bir ihalede elde edilebilecek en düşük teklife dayanarak karar verilmiştir. Bu nedenle, yazarlar geçmiş ihale verilerini kullanarak en düşük teklifin dağılımını tahmin etmişlerdir. Taşıyıcıların, ulaştırma mesafesinin doğrusal bir fonksiyonu olan bir teklif fonksiyonu ve ceza maliyetlerini kullandığını varsaymışlardır. Birkaç olasılık dağılımını değerlendirmişler ve en düşük teklifi modellemek için normal dağılım kullanmaya karar vermişlerdir.

Garrido (2007), hem taşıyıcıların hem de göndericilerin ihale yapanlar ve teklif verenler olarak hareket edebileceği bir ikili ihale (double auction) programı kapsamında taşımacılık satın alma spot piyasasını incelemiştir. İkili ihale, alıcılar ve satıcıların fiyatları aynı anda sunmalarını sağlayan 2 taraflı bir ihale mekanizması-

dır, alıcılar ve satıcıların aralarında bir eşleşme gerçekleştiğinde ihale tamamlanmış olur (Friedman, 1993). Garrido (2007) tarafından yapılan çalışmada taşıyıcılar nakliyecilerin/göndericilerin taşıma taleplerini teklif eder, ancak fiyatları büyük ölçüde düşürerek boş kapasite talep edebilir, bu da onları ihaleciye, nakliyecileri ise teklif sahiplerine dönüştürür.

Triki ve diğ. (2014) birleşimsel taşımacılık ihalelerinde stokastik teklif oluşturma problemini incelemiştir. Her bir yükün fiyatını normal rassal değişken olarak modelleyip, her bir paketin/grubun fiyatını, paketteki tek tek güzergâhların toplamı olarak, paket içindeki tüm güzergâh çiftleri üzerindeki ikili sinerjilerin ortalaması olarak hesapladıkları bir sinerji seviye parametresi ile çarpımları olarak modellemiştir. Her bir yükün fiyatının ortalama ve varyans değerlerinin rakip taşıyıcılardan numune toplama yoluyla tahmin edilebileceğini varsaymışlar, ancak spesifik bir örnek vermemişlerdir. İkili sinerji değerlerini tahmin etmek için iki farklı yöntem önermişlerdir.

Triki (2016), Triki ve diğ. (2014) tarafından önerilen sinerji yaklaşım yöntemlerini, güzergâh ihaleleri ve birleşimsel taşımacılık ihalelerine katılan bir taşıyıcının, önceden mevcut güzergâhları arasında sinerjiyi en üst düzeye çıkarmak amacıyla bir minimaks sürekli konum modeli geliştirerek genişletmiştir. Yaklaşım, önce güzergâhları bölgelere ayırmaya ve ardından her bölgenin merkezini belirlemeye dayanmaktadır.

Mesa ve Ukkusuri (2015), kâr getirecek güzergâhlar kümesi bulmak için kamyon yükü birleşimsel ihalelerinde üç aşamalı bir tespit yaklaşımı önermiştir. İlk olarak, güzergâhların hacmi ve fiyatlarının ortalamaları ve kovaryansı, geçmiş veriler kullanılarak hesaplanmış, bunlar daha sonra bir Latin Hypercube örnekleme işleminde fiyat senaryoları oluşturmak için kullanılmıştır. Daha sonra, taşıyıcı kârlarını en üst düzeye çıkaran kamyonların optimal dağılımını belirlemek için bir şebeke akışı doğrusal programlama (LP) modeli çözülmüştür. Son olarak, güzergâhlar kümeleri arasındaki bağlantılara kıyasla kümeler içindeki bağlantıların yoğunluğunun bir ölçüsü olan modülerliği en üst düzeye çıkarmak amacıyla kümelendirilmiştir. Sayısal deneyler, güzergâhların ve fiyatlarının varsayımsal ortalama ve kovaryans değerleri üzerinde gerçekleştirilmiştir.

Kuyzu ve diğ. (2015) aynı anda birden fazla bağımsız tek güzergâh ihalesine katılan kamyon yükü taşıyıcıları için stokastik fiyat teklif optimizasyon problemini önermişlerdir. En düşük fiyat teklifi rassal bir değişken olarak modellemişler ve sorunu üç farklı olasılık dağılımı varsayımı altında analiz etmişlerdir. Bunlar; düzgün, normal ve parçalı düzgün dağılımlardır. Yaptıkları sayısal deneylerde, en düşük teklifin güzergâhın hareket mesafesinin doğrusal bir fonksiyonu olduğunu varsaymışlardır.

Ağralı ve diğ. (2008) bir lojistik spot pazarı oluşturmanın yerel taşıyıcılar, transit taşıyıcılar ve nakliyatçılar üzerindeki etkisini ve farklı sistem parametrelerinin etkilerini analiz etmek için iki aşamalı stokastik bir model geliştirmiştir. İlk aşama, taşıyıcı sayısının ve maliyet dağılımının bir fonksiyonu olarak beklenen ihale fiyatının hesaplanmasıdır. İhalelerde taşıyıcıların gerçek maliyetlerini teklif edeceği varsayılmıştır. İkinci aşama ise, sürekli bir Markov zincir modeli aracılığıyla, rasgele varışlarla ve siparişlerin muhtemel iptali ile sistemin dinamik olarak değerlendirilmesidir. Sayısal deneyler, belirli bir ihalede bir taşıyıcının maliyetinin düzgün bir dağılımdan çekildiği varsayımı altında yapılmıştır.

2.4 Karayolu Taşımacılığı Piyasalarında Fiyat Tahmini

Karayolu taşımacılığı için pazar fiyatlarının belirlenmesi ve tahmin edilmesi, taşımacılık endüstrisindeki birkaç paydaş (*stakeholder*) için çeşitli potansiyel faydalara yol açmaktadır. Göndericiler, taşımacılık yöntemleri ve servis sağlayıcılar arasında seçim yaparken daha bilinçli kararlar alabilirler. Lojistik servis sağlayıcıları, göndericilere daha rekabetçi fiyatlandırma sunabilir. Kural koyucular piyasa dinamiklerini daha iyi anlayabilir ve daha etkili politikalar belirleyebilirler. İstatistiksel modeller kullanarak, taşımacılık pazarlarının fiyat dinamiklerini belirlemek amacıyla ve gelecekteki taşımacılık oranları da tahmin etmek için kullanılacak birçok çalışma yürütülmüştür.

Gerçek hayat verileri kullanılarak kamyon yükü piyasa fiyatlarının istatistiksel olarak modellenmesi konusunda çok az sayıda çalışma vardır. Tsai ve diğ. (2011) yaptıkları analizlerde zaman boyutunu düşünmüş kamyon yükü spot fiyatını basit bir ortalama geri dönüşümlü stokastik süreç olarak modellemiştir. Bir web sitesinde aylık olarak yayınlanan minimum, ortalama ve maksimum fiyatları kullanarak modelin parametrelerini tahmin etmiştir. Bignell (2013) mevcut kamyon yükü endüstrisi fiyatlandırma endekslerini gözden geçirmiş, doğrusal bir regresyon bazlı fiyatlandırma endeksi geliştirmiş ve yaygın olarak kullanılan iki endeksin spot piyasa tarafından kullanılmak üzere uygun şekilde tasarlanmadığını bulmuştur. Çalışma ayrıca, Kuzey Amerika'daki bir 3PL tedarikçisinin ölçtüğü spot oran endekslerinden önemli ölçüde farklı olduğunu ortaya koymuştur. Lindsey ve diğ. (2013) Kuzey Amerika'da faaliyet gösteren ABD merkezli bir 3PL tedarikçisinin verilerine dayanarak doğrusal ve doğrusal olmayan regresyon modelleri geliştirerek bölgeden bölgeye spot sevkiyatlardaki güzergâh oranlarını belirlemiştir. Çalışmaları, regresyon modellerinin bir taktik planlama senaryosunda düşük performans gösteren güzergâh taban fiyatlarının belirlenmesinde nasıl kullanılabileceğini gösteren bir durum çalışması da içermektedir. Scott (2015), 2014 yılında, ABD'de büyük bir nakliyatçı tarafından alınan tüm teklifleri kullanarak, önceden

gönderilen sevkiyat rezervasyonunun potansiyel değerini inceleme çabası kapsamında, gerçek zamanlıya yakın piyasa fiyatlarını tahmin etmek için doğrusal bir regresyon tabanlı yöntem geliştirmiştir. Scott (2018) ABD’de dört tam takvim yılını kapsayan büyük bir nakliyecinin başlattığı spot teklifler üzerindeki verileri kullanarak teklif fiyatlarını ve taşıyıcıların katılım kararlarını tahmin etmek için doğrusal regresyon modelleri inşa etmiştir. Wang ve diğ. (2018) büyük bir nakliye aracısının geçmiş verilerini kullanarak, bireysel spot kamyon yükü gönderilerinde nakliyatçıların ve taşıyıcıların cevap fonksiyonlarını tahmin etmek için lojistik regresyon modellerini kullanmışlardır. Cevap fonksiyonları, öğrenme yöntemleri kullanılarak çevrimiçi tahmin edilmiş ve sıralı bir stokastik optimizasyon çerçevesine gömülmüştür. Yaklaşım filo simülatörü yardımı ile test edilmiştir. Yukarıda belirtilen çalışmalar, bölgeden bölgeye veya sevkiyat seviyesi fiyatlarının tahmin edilmesini hedeflerken, Miller (2019) endüstri düzeyinde kamyon yükü nakliye fiyatlarını tahmin etmek için bir ARIMA zaman serisi modeli geliştirmiştir.

Taşımacılık ihalelerinde tam kamyon yükü taşımacılığın yanında kamyon yükünden daha az (LTL) taşımacılık da yapılmaktadır. Bu taşıma türünde taşıyıcı yükün miktarı veya hacmi üzerinden fiyat teklifi verir. LTL fiyatlarının tahmini, bazı araştırmalara konu olmuştur. Douma ve diğ. (2006) çok etmenli sistem kavramına dayanan çok şirketli LTL için dinamik bir değişken rotalama problemi ele almıştır. Bir araç acentesinin zekasına ve özellikle teklif stratejisine odaklanmıştır. Smith ve diğ. (2007) ABD’de ve Kanada’nın bazı bölgelerinde çalışan büyük bir LTL taşıyıcısı için bir müşteriden gelen gelir istatistiklerini tahmin etmek için normatif ikinci dereceden doğrusal olmayan (çok değişkenli) regresyon modelleri geliştirmiştir. Kay ve Warsing (2009) halka açık CzarLite LTL tarife oranlarını tahmin etmek için doğrusal olmayan bir regresyon modeli önermiştir.

Özkaya ve diğ. (2010) ABD’den gelen geçmiş sevkiyat verilerine dayanarak LTL piyasa oranlarını tahmin etmek için nicel ve nitel faktörleri birleştiren doğrusal ve ikinci dereceden regresyon modeller kullanmıştır. Lindsey ve diğ. (2013) 3PL sağlayıcısının perspektifini alarak, 3PL’nin beklenen kârını maksimize etmek, hem LTL hem de kamyon yükü gönderilerini içeren bir karar verme ortamında her bir bireysel güzergâh için potansiyel taşıyıcıların sıralı bir listesini belirlemek için ayrı bir seçim modeli önermiştir. Yüklerin ve taşıyıcıların çeşitli özelliklerini göz önünde bulundurarak geçmiş gönderi verilerine dayanarak seçim olasılıklarını tahmin etmişlerdir. Budak ve diğ. (2017) gerçek hayattaki nakliye spot piyasasındaki LTL ve kamyon yükü sevkiyat fiyatları tahminini incelemiştir. Bir regresyon modeli oluşturmuşlar ve parametrelerini tahmin etmek için iki yöntem kullanmışlardır, bunlar; kuantil regresyon ve geleneksel geri yayılım sinir ağıdır.

2.5 Mevcut Literatür Üzerine Açıklamalar

Literatür taramamız esnasında bulduğumuz çalışmalar ışığında aşağıdaki gözlemler yapılmıştır. Bir teklif kararı verildiğinde, normal dağılım (Figliozi ve diğ., 2007; Mes ve diğ., 2009; Triki ve diğ., 2014; Kuyzu ve diğ., 2015) ve Gumbel dağılım (Mes ve diğ., 2010; Garrido, 2007) en sık kullanılan olasılık dağılımlarıdır. Mesa-Arango ve Ukkusuri (2015) gelecekteki beklenen gelirleri tahmin etmek için senaryo oluşturma olasılıklarını kullanmıştır. Farklı açık artırmaların en düşük teklif dağılımının, genellikle bağımsız aynı şekilde dağılmış olduğu ve ihaledeki yüklerin özelliklerindeki farklılıkların göz ardı edildiği gözlemlenmiştir. Mes ve diğ. (2009) ve Kuyzu ve diğ. (2015) yükleri yalnızca hareket mesafesine göre karakterize etmiştir. Ağralı ve diğ. (2008) ise incelenen belirli pazarın makro seviye analizlerinde karmaşık tahmin yöntemleri kullanmıştır.

Gerçek hayat taşımacılığı pazarlarındaki kamyon oranlarının tahmin edilmesine yönelik ampirik çalışmalar, yükleri çeşitli gerçekçi özelliklerine göre ayırt etmiştir. Regresyon modelleri, gözlenen fiyatlar ile iç / dış faktörler arasında istatistiksel ilişkiler kurmak için yaygın olarak kullanılmaktadır (Smith ve diğ., 2007; Kay ve Warsing, 2009; Özkaya ve diğ., 2010; Scott, 2015; Budak ve diğ., 2017). Yüklerin başlangıç-varış konumlarının, en düşük fiyat teklifini etkileyen en kritik faktörler arasında olduğunu, lojistik sektöründeki tecrübemize istinaden söyleyebiliriz.

Ulaşım ihalelerinde taşıyıcıların karşılaştığı fiyatlandırma sorunu ve kazanan teklif fiyatlarındaki belirsizliğin modellenmesi, özellikle ihaleye dayalı lojistik spot piyasalarındaki araştırma sorularıdır. Kazanan teklif dağılımının tahmin edilmesi olası modellerin en kritik bileşenidir. Bildiğimiz kadarıyla, literatürde bu konulara odaklanan çok az çalışma vardır. Birleşimsel ve ardışık ihalelerde bir taşıyıcının teklif belirleme sorunu hakkında birçok makale olmasına rağmen, Kuyzu ve diğ. (2015) bağımsız eşzamanlı tek güzergâhlı ihalelerde taşıyıcının ihale kararlarını inceleyen tek araştırmacıdır.

Bu tez çalışmasında; ihale yapılan güzergâhların başlangıç-varış konumlarına göre en düşük rakip teklifin dağılımını tahmin etmek için geçmiş veriye bağımlı konum tabanlı yöntemler ve taşıyıcının mevcut güzergâh ağı ile ihale edilen güzergâhlar arası sinerjileri kullanan geçmiş veriden bağımsız sinerji tabanlı yöntemler geliştirilerek mevcut literatürü tamamlanmıştır. Geliştirilen yöntemlerin etkililiğini göstermek amacıyla Kuyzu ve diğ.'nin (2015) kullandığı mesafe yaklaşımı ile mukayese edilerek çeşitli simülasyonlar ile değerlendirmeler yapılmış ve en etkili alternatif tespit edilmiştir.

3. PROBLEM TANIMI VE ÇÖZÜM YAKLAŞIMI

Çalışmamızda Kuyzu ve diğ. (2015) ile aynı problem setlerini göz önünde bulundurduk, aynı optimizasyon modellerini ve aynı optimizasyon algoritmalarını kullandık. Problem tanımı ve optimizasyon yaklaşımları bu bölümde açıklanmıştır.

Uzun vadeli taahhütlü yük ağını, ihaleye dayalı spot tedarik piyasasından kısa vadeli sözleşmelerle tamamlamak isteyen kamyon yükü taşıyıcısının bakış açısı ele alınmıştır. Her dönemde, aynı anda birden fazla bağımsız ters ihale gerçekleşmektedir. Taşıyıcı, ilk fiyat ihalelerinin her birine teklif vermekte ve diğer taşıyıcılar ile rekabet etmektedir. Her ihale edilen güzergâhı, en düşük teklif veren taşıyıcı kazanmaktadır. Taşıyıcı, kazandığı güzergâha mümkün olan en düşük maliyetle hizmet vermek için rotalama problemini çözmektedir. Taşıyıcının güzergâhlara hizmet verebilmek için yeterli kapasiteye sahip olduğu varsayılmaktadır.

Ters ihale, teklif sahiplerinin ihaleyi kazanmak için daha düşük fiyatlar ile birbirlerine karşı teklif verdikleri bir satın alma sürecidir (bkz. Bölüm 2.1). Çalışmamızda ters ihaleyi kullandık, çünkü Nandiraju ve Regan (2003) ve Lafhiki ve diğ. (2019) tarafından yapılan çalışmalarda yük taşımacılığı ihalelerinde kullanılan ihale türünün ters ihale olduğunu göstermişlerdir. Ters ihaleleri kullanmanın temel nedenlerinin kullanım kolaylığı ve azaltılmış iş yükü olduğu belirtilmiştir. Ayrıca, ters ihale, daha önce yayınlanmış çalışmalarda da yaygın olarak kabul edilen bir ihale türüdür.

Çalışmamızda en düşük rakip fiyat teklifi bağımsız rassal değişken olarak modellenmiş ve taşıyıcının beklenen kârını maksimize edecek şekilde stokastik fiyat teklifi optimizasyon modeli oluşturulmuştur. Kuyzu ve diğ. (2015) tarafından geliştirilen optimizasyon modeli amaç fonksiyonu Eşitlik 3.1'de sunulmuştur. Normal kümülatif dağılım fonksiyonunun kapalı şekli bilinmediğinden, teklif fiyatı optimizasyon probleminin amaç fonksiyonunun içbükeyliğini analiz etmek çok daha karmaşıktır. Kuyzu ve diğ. (2015) yaptıkları çalışmada, yalnızca bir güzergâh ihale edilirken bile Eşitlik 3.1'deki amaç fonksiyonunun hem içbükey hem de dışbükey bölgeleri olduğunu ispat etmişlerdir. Modellerde kullanılan semboller ve anlamları sembol listesi bölümünde sunulmuştur.

$$\max \pi(\mathbf{b}) = \sum_{S \subseteq L} P(S, \mathbf{b}) Q(L - S, \mathbf{b}) [R(S, \mathbf{b}) - C(S)] \quad (3.1)$$

Tez çalışmasında, X_i değişkeninin bağımsız ve normal şekilde dağıldığı varsayılmıştır, çünkü Kuyzu ve diğ.'nin (2015) çalışmasından elde edilen sonuçlar normal

dağılımın iyi bir doğruluk ve karmaşıklık dengesi olduğunu göstermiştir. Verilen teklif vektörü \mathbf{b} için, S güzergâh kümesini kazanma ve $L - S$ kümesini kaybetme olasılıkları Eşitlik 3.2 ve 3.3’de verilmiştir. $P(S, \mathbf{b})Q(L - S, \mathbf{b})$ çarpımı ile de, verilen \mathbf{b} teklif vektörü altında $S \subseteq L$ güzergâh kümesinin tam olarak kazanılma olasılığı verilmiştir.

$$P(S, \mathbf{b}) = \prod_{i \in S} P\{X_i \geq b_i\} = \prod_{i \in S} \left(1 - \int_{-\infty}^{b_i} \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_i^2}} e^{-\frac{(b_i - \mu)^2}{2\sigma_i^2}} \right) \quad (3.2)$$

$$Q(L - S, \mathbf{b}) = \prod_{i \in L - S} P\{X_i \leq b_i\} = \prod_{i \in L - S} \left(\int_{-\infty}^{b_i} \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_i^2}} e^{-\frac{(b_i - \mu)^2}{2\sigma_i^2}} \right) \quad (3.3)$$

$$R(S, \mathbf{b}) = \sum_{i \in S} b_i \quad (3.4)$$

İhale mekanizmasının ilk-fiyat olduğu varsayıldığından, taşıyıcının, belirli bir $S (S \subseteq L)$ güzergâh kümesini fiyat teklif vektörü \mathbf{b} ile kazanarak elde ettiği gelir Eşitlik 3.4’te sunulmuştur. $R(S, \mathbf{b}) - C(S)$ ise taşıyıcının elde ettiği kârdır. Taşıyıcının $C(S)$ maliyetini hesaplaması için S kümesi üzerinden bir rotalama problemi çözmesi ve amaç fonksiyonunu değerlendirebilmesi için ise üssel sayıda optimizasyon problemi çözmesi gerekir. Çalışmada taşıyıcının bu problemi Uzunluk Kısıtlı Güzergâh Kaplama (LCLCP) ile çözdüğü varsayılmıştır.

LCLCP, taşıyıcının tüm güzergâhlarına hizmet vereceği, her bir döngü uzunluğunun önceden tanımlanmış bir üst sınır değerini geçemeyeceği bir *NP-hard* kaplama problemidir (Ergun ve diğ., 2007). LCLCP matematiksel modeli Eşitlik 3.5-3.9’da verilmiştir. N düğüm (*node*) kümesi ve A bağlantı/yay (*arc*) kümesi ile yönlendirilmiş bir Öklid çizgesi (*graph*) $G = (N, A)$ verildiğinde, $L (L \subseteq A)$ güzergâh kümesini kapsayan bir dizi basit yönlendirilmiş döngülerin minimum toplam uzunluğu Eşitlik 3.5’te amaç fonksiyonu olarak verilmiştir. Burada l_{ij} yay uzunluğunu, x_{ij} ise yayın ne sıklıkta kullanıldığını gösteren bir tamsayı değişkendir. Bu matematiksel model ile güzergâh kümesini kaplayan bir dizi basit yönlendirilmiş döngüler (C_1, C_2, \dots, C_n) elde edilir. Her bir döngünün toplam uzunluğu belirlenen B döngü uzunluğundan küçük eşit olmalıdır. Uzunluk kısıtı Eşitlik 3.7’de verilmiştir.

$$\text{Min} \sum_{(i,j) \in A} l_{ij} x_{ij} \quad (3.5)$$

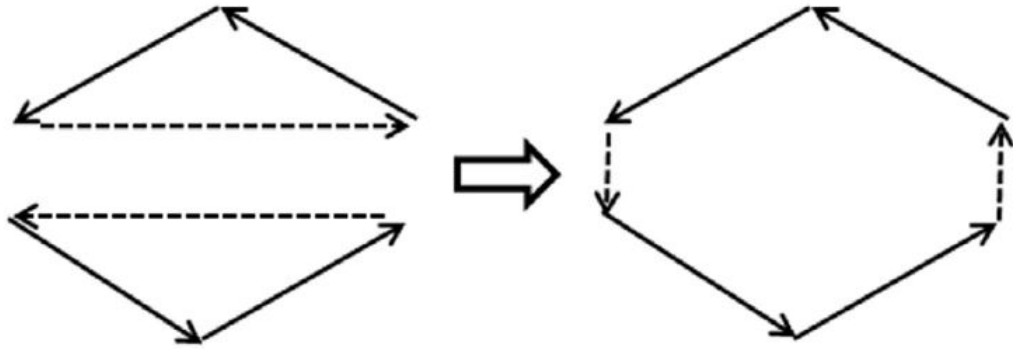
$$\sum_{j \in N} x_{ij} - \sum_{j \in N} x_{ji} = 0 \quad \forall i \in N \quad (3.6)$$

$$\sum_{(i,j) \in C_k} l_{ij} x_{ij} \leq B \quad k \in \{1, 2, \dots, n\} \quad (3.7)$$

$$x_{ij} \geq 1 \quad \forall (i, j) \in L \quad (3.8)$$

$$x_{ij} \geq 0 \quad \forall (i, j) \in A \setminus L \quad (3.9)$$

Hizmet verilecek güzergâhların marjinal maliyetlerinin hesaplanması için LCLCP problemi kullanılmış, LCLCP problemini çözmek için ise Ergun ve diğ. (2007) tarafından geliştirilen ağgözlü birleştirme sezgiseli kullanılmıştır. Ağgözlü birleştirme sezgiseli algoritmasında ilk önce maliyet azalması sağlayan tüm olası birleştirme çiftleri tanımlar. Çiftler, maliyet azaltma miktarlarına göre azalan sırada sıralanır. Daha sonra döngü çiftleri, sıralama tarafından verilen sırayla birleştirilir ve bir döngünün yalnızca bir kez birleştirildiğinden emin olunur. Tüm uygulanabilir birleştirmeler uygulandıktan sonra, yeni birleştirme çiftleri tanımlanarak işlem tekrarlanır. Birleştirme çiftleri bulunamadığında ağgözlü sezgisel algoritması durur. Birleştirmeye ait bir örnek Şekil 3.1’de gösterilmiştir.



Şekil 3.1: Birleştirme örneği (Kuyzu ve diğ., 2015).

Algoritma 1 Koordinat Arama Algoritması

Girdi : $L = \{1, 2, \dots, n\}$ güzergâhlar.

Çıktı : \mathbf{b} fiyat teklif vektörü.

- 1: $k \leftarrow 0$
 - 2: **Tekrarla**
 - 3: $\gamma \leftarrow \text{Yanlış}$
 - 4: **Her** $i \in L$ **İçin**
 - 5: $\mathbf{b} \leftarrow \text{argmax}\{\pi(\mathbf{b}) : b_j = b_j^k \forall j \in L - \{i\}\}$
 - 6: **Eğer** $|\bar{b}_i - \bar{b}_i^k| > \varepsilon$
 - 7: $\gamma \leftarrow \text{Doğru}$
 - 8: $k \leftarrow k + 1$
 - 9: $b_i^k \leftarrow \bar{b}_i$
 - 10: **Her** $j \in L - \{i\}$ **İçin**
 - 11: $b_j^k \leftarrow b_j^{k-1}$
 - 12: **Bitir**
 - 13: **Bitir**
 - 14: **Bitir**
 - 15: **Kadar** $\gamma = \text{Yanlış}$
-

Eşitlik 3.1’de verilen $\pi(\mathbf{b})$ amaç fonksiyonunu iteratif olarak iyileştiren koordinat arama algoritması kullanılmıştır. Koordinat arama algoritması Algoritma 1’de gösterilmiştir. Her iterasyonda $b_i, (i \in L)$ bileşeni değiştirilirken diğer $(b_j, j \in L - \{i\})$ bileşenler sabit tutulmuştur. Bir başka deyişle, her iterasyonda amaç fonksiyonu $\pi(\mathbf{b})$ sadece b_i değeri karar değişkeni olacak şekilde çözülmüştür. Her iterasyonda sadece bir güzergâhın fiyat teklif değeri optimize edildiğinde ve rakip fiyat teklifi dağılımı normal dağılım olarak alındığında optimum değer polinom zamanda elde edildiği Kuyzu ve diğ. (2015) tarafından gösterilmiştir. Eşitlik 3.1’de belirtilen amaç fonksiyonu içbükey olduğu için koordinat arama algoritması, küresel maksimumun bulunmasını garanti etmez. Bu nedenle, Kuyzu ve diğ. (2015) çalışmalarında koordinat arama ile birlikte çok-başlangıçlı bir strateji kullanmışlardır. Daha iyi bir değer elde etmek için koordinat arama algoritmasını 5 defa çalıştırmışlardır. 1’incisinde fiyat teklif vektörü başlangıç değerleri ihale edilen güzergâhların uzunluklarına eşit olacak şekilde, diğer 4’ünde ise fiyat teklif vektörü başlangıç değerleri ihale edilen güzergâhların uzunluğunun 3 katından küçük eşit olacak şekilde rassal belirlenen değerler olacak şekilde koşturulmuştur.

4. METODOLOJİ

Yukarıda tanımlanan stokastik fiyat teklifi optimizasyon modelimizden yararlanmak için, her güzergâh için en düşük rakip teklif dağılımının parametrelerinin tahmin edilmesine ihtiyaç vardır. Her ihale edilen güzergâh için en düşük rakip teklifin ($i \in L$) normal dağılımlı olduğunu varsaydığımızda, ortalama (μ_i) ve varyans (σ_i^2) değerlerinin tahmin edilmesi gerekmektedir.

Kuyzu ve diğ. (2015) ilk önce kilometre başına fiyat teklifini tek bir normal rassal değişken olarak modellemiştir. Geçmiş verileri kullanarak kilometre başına fiyat dağılımının parametrelerini tahmin etmeye çalışmışlar ve daha sonra bu parametreleri güzergâhın uzunluğu ile ölçeklendirmişlerdir. Bu, mesafeye dayalı tahmin yaklaşımı tezin kalan kısmında KM olarak adlandırılmıştır.

Çalışmamızdaki amacımız, bu tahmin yaklaşımını geliştirmek maksadıyla, ihale edilen güzergâhların başlangıç-variş noktalarını dikkate alan ve bu noktalara göre stratejik yaklaşan yöntemler geliştirmektir. Güzergâhların başlangıç-variş noktalarına göre alınan benzer geçmiş veriler kullanan birkaç yöntem denenmiştir. Mesafe benzerliğinin ana ölçüsü olarak kullanılmıştır. İki güzergâh, eğer hem başlangıç koordinatları hem de variş koordinatları yakın ise benzer olarak kabul edilmiştir.

Tez çalışmasında, önce Bölüm 4.1.1’de sunulan kümeleme yöntemleri anlatılmış daha sonra Bölüm 4.1.2’de sunulan karayolu taşımacılığı piyasasının ampirik çalışmalarında kullanılanlara benzer bir doğrusal regresyon modeli ve tamamen geçmiş veriye dayalı konum tabanlı 3 yöntem Bölüm 4.1.3-4.1.5’te anlatılmıştır. Bunlar sırasıyla; GRD, SQR ve A-SQR yöntemleridir. Bu üç yöntemde de en düşük fiyat teklifi dağılımının ortalama ve varyans değerleri ihale edilen güzergâha benzer geçmiş güzergâhlar kullanılarak elde edilmiştir. Gerek geçmiş verilere olan ihtiyacın ortadan kaldırılması gerekse taşıyıcının olası kaybını önlemeye yönelik risk almayan sinerji tabanlı 2 yöntem geliştirilmiş ve Bölüm 4.2’de anlatılmıştır. Son olarak koordinat arama algoritması yerine kullanılan 2 metasezgisel çözüm yöntemi ise Bölüm 4.3’te anlatılmıştır.

4.1 Konum Tabanlı Fiyat Tahmini Yöntemleri

En düşük rakip fiyat teklif dağılımının parametrelerinin tespiti için geçmiş ihale edilmiş güzergâh bilgilerine ihtiyaç vardır. Parametrelerin iyi bir şekilde tahmin edilmesi için ihale edilen güzergâhın başlangıç-variş konumlarına göre geliştirilen konum tabanlı yöntemler Bölüm 4.1.1 - 4.1.5’te anlatılmıştır.

4.1.1 Kümeleme Yöntemleri

Kümeleme (küme analizi), bir grup nesneyi, aynı gruptaki/kümedeki nesnelerin diğer gruplara/kümelere kıyasla birbirine daha yakın olacak şekilde gruplandırma görevidir. Veri madenciliği, makine öğrenme, örüntü tanıma, görüntü analizi, bilgi alma ve bilgisayar grafikleri gibi birçok alanda kullanılan istatistiksel veri analizi için ortak bir tekniktir. Bölüm 4'te de belirtildiği gibi en düşük fiyat teklif dağılımının parametrelerinin daha iyi tahmin edilmesi için Bölüm 4.1.1.1-4.1.1.3'te anlatılan kümeleme yöntemleri kullanılmıştır.

4.1.1.1 k -Ortalama Kümeleme Yöntemi

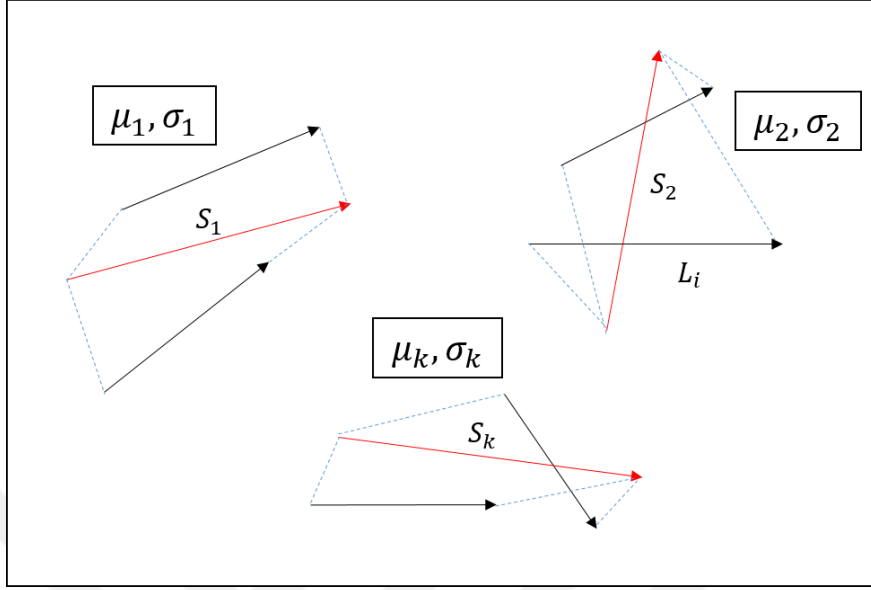
k -Ortalama kümeleme (*k-Means Clustering*, k -MC) standart algoritması ilk olarak 1957 yılında Stuart Lloyd tarafından önerilmiştir. Bell laboratuvarları içinde kalan önerme 1982 yılında yayımlanmıştır (Lloyd, 1982). 1965 yılında E.W.Forgy tarafından aynı metod yayımlanmıştır (Forgy, 1965). Bu sebeple, bu metoda Lloyd-Forgy metodu da denmektedir.

k -MC algoritması bir kümeyi benzer nitelikte olan elemanların oluşturduğu alt kümelere ayırmaya yarar. Her küme elemanının, küme merkezine göre hata toplamalarının en küçüklenmesine dayanan bir algoritmadır. n adet elemanın k adet kümeye atanması için çalışan bir algoritmadır. Her eleman sadece bir kümenin elemanı olabilir.

İhale edilecek n güzergâhın k kümeye ayrılması için k -MC algoritması kullanılmıştır. Bu kapsamda geliştirilen algoritma Algoritma 2'de sunulmuştur. Algoritmada sırasıyla belirlenen k kümenin ağırlık merkezini temsil edecek güzergâhlar rassal olarak atanmış ve Eşitlik 4.1'de gösterilen uzaklık fonksiyonunu (öklit mesafesi) en küçükleyen güzergâhları kümelere atama problemi çözülmüştür.

$$D = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k \sqrt{(x_i^o - x_j^o)^2 + (y_i^o - y_j^o)^2} + \sqrt{(x_i^d - x_j^d)^2 + (y_i^d - y_j^d)^2} \quad (4.1)$$

Şekil 4.1'de n adet güzergâhın k küme için kümelmesi örnek olarak gösterilmiştir. Küme ağırlık merkezini temsil eden güzergâhların (kırmızı ile gösterilen güzergâhlar) başlangıç-varış noktalarından diğer güzergâhların (siyah ile gösterilen güzergâhlar) başlangıç-varış noktalarına olan mesafenin toplamının en küçüklenmesi amaçlanarak algoritma kullanılmıştır.



Şekil 4.1: Geçmiş güzergâhların kümelenmesi (k -MC).

Algoritma 2 k -MC Algoritması

Girdi : $L = \{1, 2, \dots, n\}$ güzergâh başlangıç-varış koordinatları.

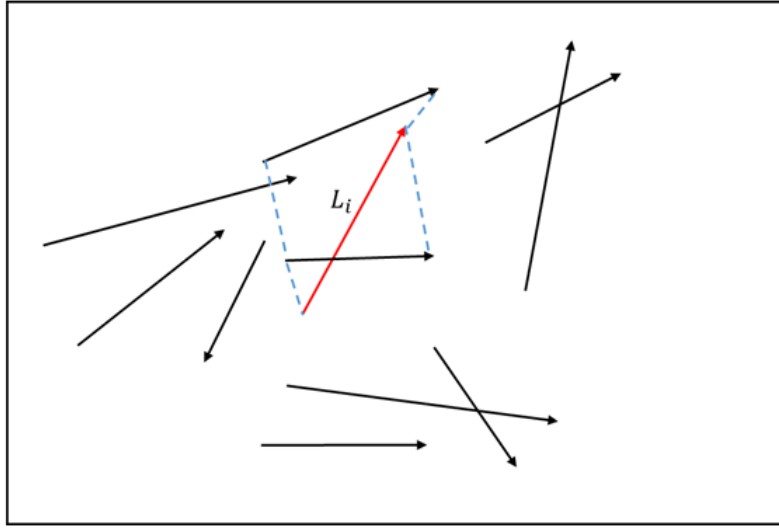
Çıktı : $S = \{S_1, S_2, \dots, S_k\}, S_j, J \in K, K = \{1, 2, \dots, k\}$ kümesine ait güzergâhlar.

- 1: $t \leftarrow 1$
 - 2: **Tekrarla**
 - 3: $D^{t-1} \leftarrow M$ yeterince büyük bir sayı
 - 4: $k \leftarrow$ küme sayısı belirle
 - 5: k kadar güzergâhı küme merkezi olarak rassal belirle
 - 6: **Her $i \in L$ İçin**
 - 7: **Her $j \in J$ İçin**
 - 8: $D^t \leftarrow$ hesapla
 - 9: **Eğer $D^t \leq D^{t-1}$**
 - 10: $D^t \leftarrow D^{t-1}$
 - 11: $m \leftarrow j$
 - 12: **Bitir**
 - 13: **Bitir**
 - 14: $S_m \leftarrow$ ekle(L_i)
 - 15: **Bitir**
 - 16: $t \leftarrow t + 1$
 - 17: **Kadar** $\{S_i^{t-1} = S_i^t, \forall i \in K\}$
-

Küme sayısı $k \in (3, 6, 12, 25)$ olacak şekilde simülasyonlar koşturulmuş ve ihale edilen güzergâhın Öklid mesafesi hangi kümenin merkezine daha yakın ise o küme elemanlarından elde edilen ortalama (μ) ve varyans (σ^2) değerleri rakip fiyat teklifi dağılımının parametreleri olarak kullanılmıştır.

4.1.1.2 k -En Yakın Komşular Yöntemi

k -En yakın komşular (k -Nearest Neighbors, k -NN) algoritması, hem sınıflandırma hem de regresyon problemlerini çözmek için kullanılabilen, basit, uygulaması kolay denetimli diğer bir makine öğrenme algoritmasıdır. Bölüm 4.1.1.1’de anlatılan k -MC algoritmasına benzer şekilde ihale edilen güzergâha en yakın $k \in (3, 6, 12, 25)$ komşu kazanan güzergâhtan elde edilen ortalama (μ) ve varyans (σ^2) değerleri rakip fiyat teklifi dağılımının parametreleri olarak kullanılmıştır. En yakın komşuların tespitinde yine Eşitlik 4.1’de gösterilen öklit mesafe fonksiyonu kullanılmıştır.



Şekil 4.2: Geçmiş güzergâhların kümelenmesi (k -NN).

Şekil 4.2’de ihale edilen güzergâha L_i (kırmızı ile gösterilmiştir) en yakın k adet komşu güzergâhın seçilmesi örnek olarak gösterilmiştir.

4.1.1.3 Hiyerarşik Kümeleme Yöntemi

Hiyerarşik kümeleme yöntemi, makine öğrenmedeki popüler kümeleme tekniklerinden biridir. Tüm geçmiş veriler bir küme olarak düşünülüp bölün hiyerarşik kümeleme (*Divisive Hierarchical Clustering*) yöntemi ile geçmiş veriler k kümeye ayrılmıştır.

k -MC ve k -NN kümeleme yöntemlerine benzer şekilde $k = 3$ olacak şekilde geçmiş güzergâhlar minimum, ortalama ve maksimum kümelere ayrılmıştır. Geçmiş verilerden elde edilen minimum, ortalama ve maksimum değerler küme merkezleri olarak alınmış, benzerlik olarak sayısal değerler kullanılmıştır. Diğer bir deyişle, küme merkez değerlerine en yakın değerli olan güzergâhlar o kümenin elemanı olarak atanmıştır. Konum tabanlı yaklaşımlardan farklı olarak bu yaklaşımda sadece geçmiş verilerin (km başına kazanan fiyat tekliflerinin) değerleri kullanılmıştır. Fiyat teklifi verecek taşıyıcının sırasıyla minimum, ortalama ve maksimum kümelere elde edeceği ortalama (μ) ve varyans (σ^2) değerleri kullanılarak 3 farklı strateji ile fiyat teklifi vermesi amaçlanmıştır.

4.1.2 Doğrusal Regresyon Modeli

Bölüm 2’de belirtildiği gibi güzergâhın piyasa değeri ile güzergâhın başlangıç-varış noktaları arasında kuvvetli bir ilişki vardır. Güzergâhın piyasa değerinin araştırılmasında LR sıkça kullanılan bir yöntemdir (Özkaya ve diğ., 2010; Scott, 2015; Scott, 2018; Wang ve diğ., 2018). İhale edilen güzergâhın km başına piyasa fiyat değerinin ($PPK_{o,d}$) hesaplanması için LR yöntemi kullanılmıştır. LR yöntemi Eşitlik 4.2’de gösterilmiştir.

$$PPK_{o,d} = \beta_0 + \beta_1 x^o + \beta_2 y^o + \beta_3 x^d + \beta_4 y^d + \varepsilon \quad (4.2)$$

Eşitlik 4.2’de başlangıç koordinatları için (x^o, y^o) , bitiş koordinatları için (x^d, y^d) ve hata terimi için ise ε kullanılmıştır. Geçmiş veriler kullanılarak en küçük kareler yöntemi ile β_0, \dots, β_4 parametreleri tahmin edilmeye çalışılmıştır. ε hata teriminin normal dağılmış olduğu varsayılmıştır. İhale edilen güzergâhın km başına piyasa fiyat değerinin ($PPK_{o,d}$) ortalama ve varyans değerleri güzergâhın uzunluğu ile çarpılmış ve sonuçta elde edilen rassal değişken Eşitlik 3.1’de belirtilen optimizasyon modelinde kullanılmıştır.

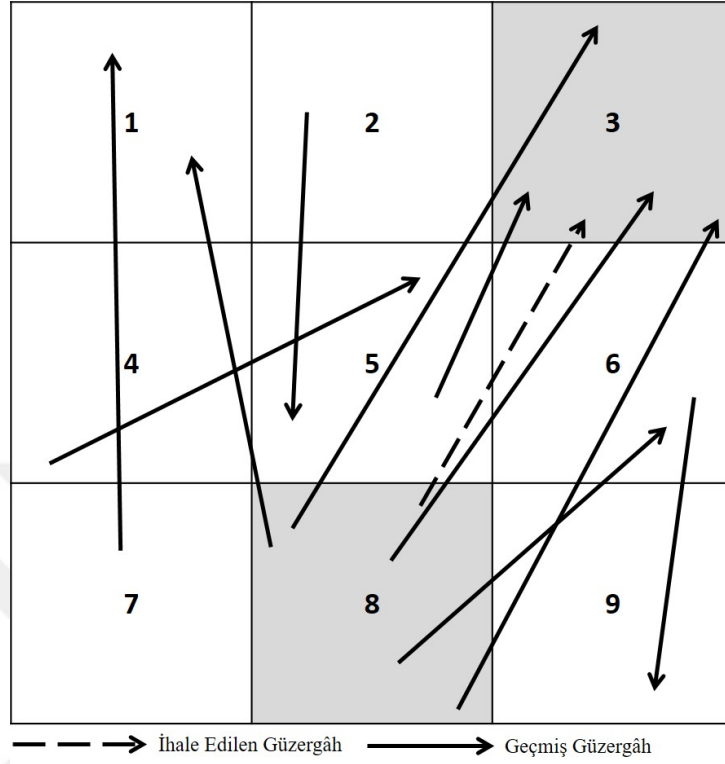
4.1.3 GRD Yöntemi

GRD yönteminde simüle edilen sanal pazar alanı 9 eşit kareye bölünmüştür. Normal dağılım ortalama ve standart sapma değerlerinin hesaplanmasında ise en düşük fiyat teklifi verilerek kazanılan geçmiş güzergâh fiyat teklifleri kullanılmıştır. Her periyot başında başlangıç-varış noktaları ihale edilen güzergâh ile aynı bölgeye düşen geçmiş güzergâhlar ortalama ve standart sapma değerlerinin hesaplanması için kullanılmıştır. GRD yöntemine ait örnek bir sanal pazar Şekil 4.3'te gösterilmiştir. İhale edilen güzergâh kesikli ok ile, kullanılabilir en düşük fiyat teklifi verilen geçmiş güzergâhlar ise düz ok ile gösterilmiştir. Örneğin, Şekil 4.3'te ihale edilen güzergâhın başlangıç-varış karelerine (başlangıç 8 no.lu kare, bitiş 3 no.lu kare) denk gelen 3 geçmiş güzergâh gösterilmiştir.

GRD yöntemi uygulanırken verilecek ana karar, toplam kare sayısını belirleyen gridlerin büyüklüğüdür. Birim grid ne kadar küçükse, ihale edilen güzergâh ile geçmiş güzergâh benzerliği o kadar yüksektir, öte yandan, grid ne kadar büyük olursa, örneklem için daha fazla veri olacaktır.

Kullandığımız grid boyutundan bağımsız olarak, GRD yöntemi tarafından elde edilen geçmiş güzergâh sayısı sıfır ya da bir olabilir. Bu durumlar için iki strateji kullanılmıştır. Örneklem sayısı sıfır olduğunda, parametreleri tahmin etmek için KM yöntemi kullanılmıştır. Örneklem büyüklüğünün bir olduğu durumda ise, μ_i değeri örneklem değeri kadar, σ_i değeri μ_i değerinin 0.2 katına eşit olacak şekilde alınmıştır. 0.2 değeri simülasyon koşullarından elde edilen değerlerin incelenmesine istinaden belirlenmiştir.

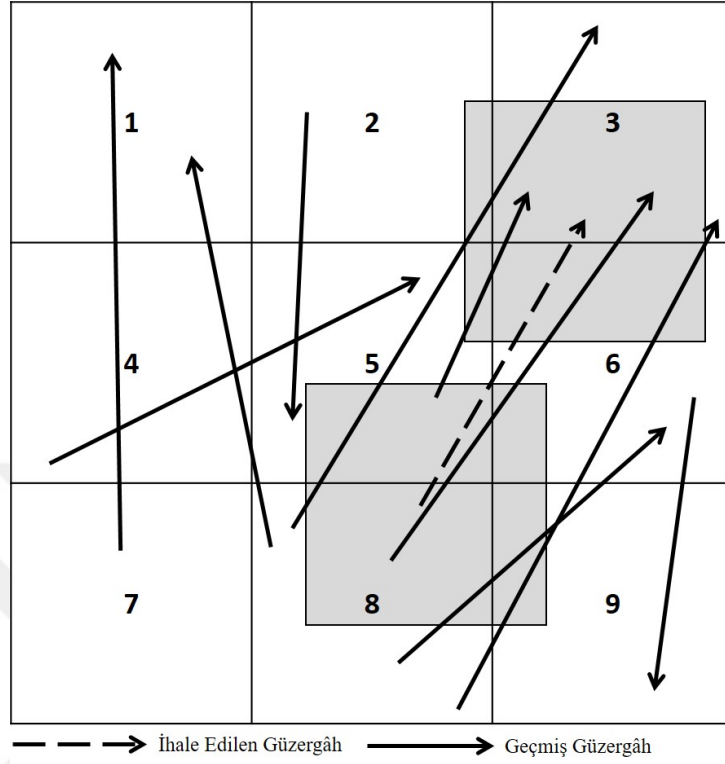
Sabit kareler kullanan GRD yönteminin potansiyel problemi, ihale edilen güzergâha benzer geçmiş güzergâhların başlangıç-varış noktalarının, ihale edilen güzergâhın başlangıç-varış karelerine denk gelmeme ihtimalidir.



Şekil 4.3: GRD yöntemi.

4.1.4 SQR Yöntemi

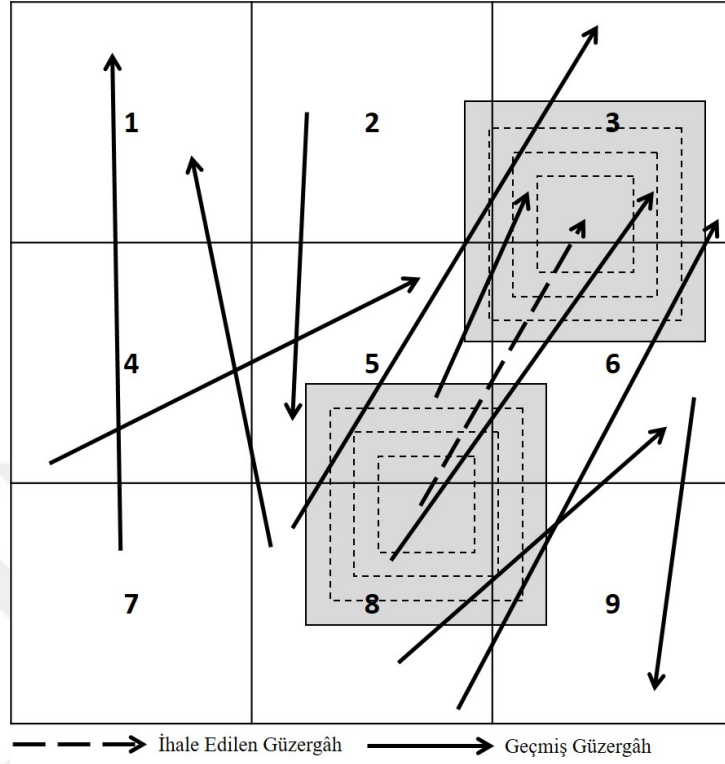
SQR yönteminde ihale edilen güzergâhın başlangıç-varış noktalarını merkezle-yecek şekilde kareler çizilmiştir. Geçmiş kazanan ihalelerden başlangıç-varış noktaları sadece bu kareler içine gelen güzergâhlar fiyat teklifi optimizasyonu için kullanılmıştır. GRD yöntemi ile karşılaştırıldığında SQR yöntemi sadece ilişkili geçmiş güzergâh verilerini alması ile daha etkindir. Ancak, herhangi bir geçmiş güzergâh bu karelere denk gelmediğinde KM yönteminde olduğu gibi tüm geçmiş güzergâhlar kullanılmıştır. Bir sonraki bölümde anlattığımız A-SQR yöntemi ile bu çekince ortadan kaldırılmıştır. SQR yöntemine ait bir örnek Şekil 4.4'te gösterilmiştir.



Şekil 4.4: SQR yöntemi.

4.1.5 A-SQR Yöntemi

A-SQR yönteminde SQR yönteminde olduğu gibi ihale edilen güzergâhın başlangıç-variş noktalarını merkezleyecek şekilde çizilmiştir. Geçmiş kazanan ihalelerden başlangıç-variş noktaları sadece bu kareler içine gelen güzergâhlar fiyat teklifi optimizasyonu için kullanılmıştır. SQR yönteminden farkı ise başlangıçta kare kenarı 100 km olacak şekilde başlanıp 500 km olana kadar adaptif artırılmıştır. Herhangi bir geçmiş güzergâh bu karelere denk geldiğinde artırma işlemi durdurularak elde edilen geçmiş güzergâhlar kullanılmıştır. Bu yaklaşım, SQR yöntemindeki geçmiş güzergâhların elde edilememesi ihtimalini ortadan kaldırmıştır. A-SQR yöntemine ait bir örnek Şekil 4.5'te gösterilmiştir.



Şekil 4.5: A-SQR yöntemi.

4.2 Sinerji Tabanlı Teklif Belirleme Yöntemleri

Kuyzu ve diğ.'nin (2015) çalışmalarındaki;

- Karmaşık hesaplamaların,
- Geçmiş verilere olan ihtiyacın,
- Taşıyıcının olası finansal kaybının

engellenmesi ve taşıyıcının beklenen kârının en üst seviyeye çıkarılmasını amaçlayan sinerji tabanlı iki yöntem geliştirmiştir. Önerilen her iki sezgisel yaklaşımda da büyük olan sinerji oranlarının seçilmesi sadece kazanılacak güzergâhların belirsizliğinden kaynaklanan taşıyıcının olası finansal kaybını önlemekle kalmamış, taşıyıcının kârını da artırmıştır.

4.2.1 Sezgisel Yöntem

Geliştirdiğimiz yöntemde ihalelerin tüm olası sonuçları için elde edilen güzergâhlara hizmet verme maliyetleri yinelemeli olarak açgözlü birleştirme sezgiseli kullanılarak hesaplanmıştır. Taşıyıcının mevcut yük ağı güzergâhlarının km başına maliyetleri ve hizmet verilecek güzergâhların km başına maliyetleri hesaplanarak sinerji oranları elde edilmiştir. Bu sinerji oranları kullanılarak güzergâhların fiyat teklif değerleri hesaplanmıştır. Kullanılacak oranı seçerken en kötü senaryo dikkate alınarak, teklif edilen güzergâhı içeren tüm alt kümelerin en yüksek sinerji değeri seçilmiştir. En yüksek sinerji değerinin hesaplanması denklemi Eşitlik 4.3'te verilen şekilde hesaplanmıştır.

$$r_i = \max \left\{ \frac{C(S)}{\sum_{j \in S} d_j}, S \subseteq L \right\}, \forall i \in L \quad (4.3)$$

Sinerji değerleri ve km başına maksimum maliyetler elde edildikten sonra, ihale edilen güzergâhların uzunlukları ile çarpılarak fiyat teklifleri elde edilmiştir. Fiyat teklifleri denklemi Eşitlik 4.4'te gösterilmiştir.

$$b_i = r_i d_i, \forall i \in L \quad (4.4)$$

Yukarıda anlatılan en kötü durum senaryosu yaklaşımıyla, taşıyıcı herhangi bir kar elde etmeyebilir, ancak teklif fiyatı tüm olası maliyetlerin en yükseği olacağı için herhangi bir mali zarar meydana gelme olasılığı ortadan kalkacaktır. Geliştirilen bu yaklaşımla, taşıyıcı hem güzergâhların kazanılmasının belirsizliğinden kaynaklanan finansal kayıplardan korunur hem de kârını artırmış olur.

4.2.2 Verimli Sezgisel Yöntem

Fiyat teklifi verme sezgiselimiz, ihale yapılan her güzergâhın sınırlı sayıdaki alt kümesinin marjinal katkısına dayanmaktadır. Çalışmamızda Kuyzu ve diğ.'nin (2015) çalışmasında olduğu gibi taşıyıcı tarafından herhangi bir güzergâh grubuna hizmet verme maliyetinin LCLCP ile çözüldüğü varsayılmıştır. Güzergâh maliyetlerinin hesaplanması için Ergun ve diğ. (2007) tarafından geliştirilen açgözlü birleştirme sezgiseli kullanılmıştır. Geliştirdiğimiz algoritmaya ait simgeler ve anlamları simge listesinde sunulmuştur.

Geliştirdiğimiz teklif verme algoritmamıza ait adımlar Algoritma 1'de sunulmuştur. Algoritma, taşıyıcının teklif fiyatlarını belirlemek için marjinal maliyet karşı-

laştırmalarını kullanmaktadır. Gereksiz hesaplamalardan kaçınmak için, algoritma karşılaştırma sırasını akıllıca yapmaktadır.

Algoritmanın 2 ile 8'inci satırları arasında, her ihale güzergâhının marjinal maliyeti, ihale güzergâhını taşıyıcının mevcut güzergâhlarına ekleyerek hesaplanır. $F(S)$ işlevi, açgözlü birleştirme sezgiselini kullanarak, S güzergâh kümesine ait LCLCP çözüm maliyetini hesaplar. Eğer l güzergâhının marjinal maliyeti ($MC_{\{l\}}$), l güzergâh uzunluğunun 2 katından büyük ise l güzergâh fiyat teklifi l güzergâh uzunluğunun 2 katı ($2d_l$) olarak belirlenir. Bu güzergâhlar S güzergâh kümesinden çıkartılır. Bir başka deyişle, ihale güzergâhını taşıyıcının mevcut ağına ekleme maliyeti, yalnızca bu güzergâha hizmet etmek için yeni bir döngü oluşturma maliyetinden daha yüksekse bu güzergâhlara $2d_l$ fiyat teklifi verilerek ihale edilen güzergâhlar kümesinden çıkartılır.

Algoritmanın 12 ile 16'ncı satırları arasında, S güzergâh kümesi içinde kalan güzergâhların her bir çiftinin marjinal maliyeti hesaplanır ve her güzergâhın içinde bulunduğu ikili alt kümelerinden elde edilen marjinal maliyetlerin en yükseği alınır. Bu ikili marjinal maliyetler hesaplanırken algoritma gereksiz marjinal maliyet hesaplamalarını önler.

Algoritma 3 Verimli Sezgisel Yöntem

Girdi : İhale edilen Güzergâh kümesi (L), taşıyıcının mevcut güzergâh ağı (L_0).

Çıktı : Taşıyıcının fiyat teklifi ($b_l, \forall l \in L$).

- 1: $S \leftarrow L$
 - 2: **Her** ($l \in L$) **İçin**
 - 3: $MC_{\{l\}} \leftarrow [F(L_0 \cup l) - F(L_0)]$
 - 4: **Eğer** ($MC_{\{l\}} \geq 2$)
 - 5: $b_l \leftarrow 2d_l$
 - 6: $S - \{l\}$
 - 7: **Bitir Eğer**
 - 8: **Bitir İçin**
 - 9: **Her** ($i \in S$) **İçin**
 - 10: $b_i \leftarrow -\infty$
 - 11: **Bitir İçin**
 - 12: **Her** ($\{i, j\} \subseteq S : i \neq j$) **İçin**
 - 13: $MC_{\{i,j\}} \leftarrow F(L_0 \cup \{i, j\}) - F(L_0)$
 - 14: $b_i \leftarrow \max\{b_i, MC_{\{i,j\}}\}$
 - 15: $b_j \leftarrow \max\{b_j, MC_{\{i,j\}}\}$
 - 16: **Bitir İçin**
-

Kuyzu ve diğ.'nin (2015) önerdikleri yaklaşım $2^{|L|}$ marjinal maliyet hesaplaması yapmakta, karmaşık hesaplamalara ve geçmiş verilere gereksinim duymaktadır. Olcaytu ve Kuyzu (2018) tarafından sunulan ve Bölüm 4.2.1'de geliştirdiğimiz sinerji tabanlı yaklaşım ise karmaşık hesaplara ve geçmiş veriye ihtiyaç duymamaktadır, ancak benzer şekilde $2^{|L|}$ marjinal maliyet hesaplaması gerektirmektedir. Önerdiğimiz etkili sezgisel yaklaşım ise *en fazla* $\binom{|L|}{2} = \frac{|L|(|L|-1)}{2}$ marjinal maliyet hesaplaması gerektirmektedir. Yukarıda bahsedilen yaklaşımların tümünde, güzergâhların alt kümelerinin maliyetleri hesaplanırken $F(\cdot)$ işlevi kullanılmıştır. Sezgisel yaklaşımımızın etkinliğinin sunulabilmesi için yapılan tüm deneylerde daha az hesaplama ile daha iyi değerler elde edilmiştir.

4.3 Metasezgisel Teklif Belirleme Yöntemleri

Metasezgisel yöntemler, çözüm uzayında olasılık temelli aramalar gerçekleştiren üst seviye sezgisel yaklaşımlardır. Metasezgisel yöntemlerde her adımda bulunan çözümden yola çıkılarak daha iyi bir çözüm elde edilmeye çalışılır. Bir başka deyişle, çözüm uzayında yerel en iyi noktadan küresel en iyi noktaya ulaşmaya çalışılır. Taşıyıcının beklenen kârını maksimize etmek için önerilen parçacık sürüsü optimizasyonu yöntemi (PSO) Bölüm 4.3.1'de, tavlama benzetimi yöntemi (SA) ise Bölüm 4.3.2'de sunulmuştur.

4.3.1 Parçacık Sürüsü Optimizasyon Yöntemi

Bireysel olarak sınırlı yeteneğe sahip parçacıkların (ajanların) topluca akıllı davranışlar sergilemesine "sürü zekâsı" denir. PSO yöntemi Kennedy tarafından sürekli en iyileme problemlerinin çözümü için önerilmiştir (Kennedy, 2010). Çok boyutlu yüzeylerde birkaç parçacığın parametrelerinin ayarlanması ile hızlı ve iyi sonuçlar verildiği için problemin çözümünde kullanılmasının faydalı olacağı değerlendirilmiştir.

PSO algoritmasında her parçacık çok boyutlu arama uzayında belirli bir hızda gider. Bu hız arama bilgisine göre dinamik olarak güncellenir. Arama ilerledikçe parçalar arama uzayında daha iyi noktalara doğru hareket eder.

Çoklu boyutlu uzaylarda iyi sonuç veren PSO metasezgiseli taşıyıcının beklenen kârını en büyüklenmesi için kullanılmıştır. Sezgisel için kullanılan t . iterasyonda i . parçacığın d . boyuttaki hız değeri Eşitlik 4.5'te, i . parçacığın j . güzergâh için değeri ise Eşitlik 4.6'da sunulmuştur.

$$v_{id}^{t+1} = \omega v_{id}^t + c_1 r_1 (p_{id} - x_{id}^t) + c_2 r_2 (p_d - x_{id}^t) \quad (4.5)$$

$$x_{id}^{t+1} = x_{id}^t + v_{id}^{t+1} \quad (4.6)$$

Atalet ağırlığı ω genellikle 1 fakat en hızlı yakınsama için $\omega \in [0.8, 1.2]$ değerleri arasında alınmış, bilişsel ve sosyal etki ile ilgili sosyal hızlanma sabitleri ise $c_1 = c_2 = 2$ alınarak denemeler yapılmıştır. PSO yöntemi Algoritma 4'te sunulmuştur.

Algoritma 4 PSO Algoritması

Girdi: $L = \{1, 2, \dots, n\}$ güzergâhlar.

Çıktı: $p_d, d \in L$ arama boyunca bulunan global en iyi değerler.

- 1: **Her** $i \in P$ **İçin**
 - 2: $x_i \leftarrow U[l_i, u_i]$
 - 3: $p_i \leftarrow x_i$
 - 4: $p \leftarrow p_i$
 - 5: $v_i \leftarrow U[-|u_i - l_i|, |u_i - l_i|]$
 - 6: **Bitir**
 - 7: **Tekrarla**
 - 8: $r_1 \leftarrow U[0, 1]$
 - 9: $r_2 \leftarrow U[0, 1]$
 - 10: **Her** $i \in L$ **İçin**
 - 11: $v_{id}^t \leftarrow$ güncelle
 - 12: **Eğer** $f(x_i) < f(p_i)$
 - 13: $p_i \leftarrow x_i$
 - 14: **Bitir**
 - 15: **Eğer** $f(p_i) < f(p)$
 - 16: $p \leftarrow p_i$
 - 17: **Bitir**
 - 18: **Bitir**
 - 19: **Kadar** $t \leq N$ $\{N: \text{iterasyon sayısı}\}$
-

4.3.2 Tavlama Benzetimi Yöntemi

Çalışmamızda kullandığımız diğer bir metasezgisel yöntem ise SA yöntemidir. SA yöntemi, bir optimizasyon problemi için geniş bir arama alanında küresel optimizasyonun yaklaşık olarak belirlenmesi için kullanılan metasezgiseldir. İlk

olarak Kirkpatrick (1983) tarafından seyahat eden satıcı probleminin çözümü için kullanılmıştır.

Karar değişkenlerine bakıldığında, karar değişkenlerinin aldığı değerler ve birim başına en düşük belenen değer in geçmiş verilerden elde edildiği, göz önüne alındığında SA sezgiselinin kullanımının iyi bir sonuç verebileceği değerlendirilmiştir. SA yöntemi Algoritma 5'te sunulmuştur.

Algoritma 5 SA Algoritması

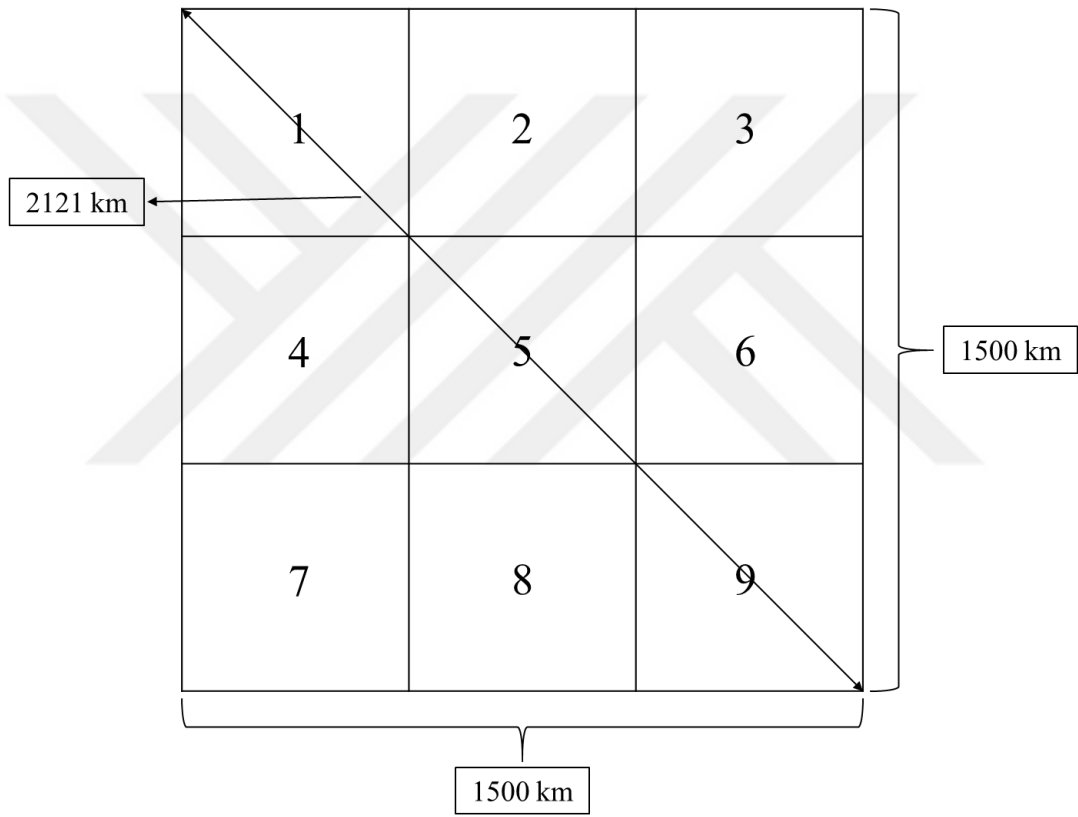
Girdi : M komşu sayısı, T sıcaklık değeri.

Çıktı : s_{eniyi} .

```
1:  $s \leftarrow s_0$ 
2:  $f(s) \leftarrow f(s_0)$ 
3:  $s_{eniyi} \leftarrow s_0$ 
4:  $f(s_{eniyi}) \leftarrow f(s_0)$ 
5: Tekrarla
6:    $n \leftarrow 0$ 
7:   Tekrarla
8:      $\{s' \in N(s)\}$  komşu üret
9:      $\Delta \leftarrow f(s') - f(s)$ 
10:    Eğer  $\Delta \geq 0$ 
11:       $s \leftarrow s'$ 
12:    Diğer
13:      Eğer  $rnd < e^{(-\Delta/T)}$ 
14:         $s \leftarrow s'$ 
15:    Bitir
16:  Bitir
17:  Eğer  $f(s') > f(s_{eniyi})$ 
18:     $s_{eniyi} \leftarrow s'$ 
19:  Bitir
20:   $i \leftarrow i + 1$ 
21:   $T \leftarrow T(i + 1)$ 
22:  Kadar  $n < M$ 
23: Kadar durdurma koşulu
```

5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Geliştirilen yöntemlerin etkinliğini değerlendirmek ve karşılaştırmalar yapabilmek için Kuyzu ve diğ. (2015) ile aynı simülasyon kurulumu kullanılmıştır. 9 eşit bölgeye ayrılmış 1500 km x 1500 km'lik bir alanda sanal bir pazar simüle edilmiştir. Her bölgede güzergâhların başlangıç-varış noktaları olarak kullanılacak 100 rassal nokta üretilmiştir. 9 eşit bölgeden oluşan sanal pazarın yerleşimi Şekil 5.1'de gösterilmiştir.



Şekil 5.1: Simüle edilen 9 bölgenin yerleşimi.

Üç tip taşıyıcı üretilmiştir, bunlar; sırasıyla başlangıçta 30, 60 ve 90 güzergâha sahip küçük, orta ve büyük seviye büyüklükteki taşıyıcılardır. Taşıyıcıların mevcut güzergâhlarının başlangıç-varış noktaları, her bir simülasyon tekrarı başlangıcında rassal üretilmiştir. Başlangıç-varış noktaları; küçük, orta ve büyük taşıyıcılar için sırasıyla 3, 4 ve 5 komşu bölge ile sınırlandırılmıştır. Toplamda 6 rakip taşıyıcı olacak şekilde her bir taşıyıcı türünden 2'ser tane yaratılmıştır. Rakip taşıyıcıların

fiyat tekliflerinin belirlenmesinde sabit fiyat artışı (MU) değerleri kullanılmıştır. Stokastik fiyat teklifi optimizasyon yaklaşımını kullanan akıllı taşıyıcı (SB) ile beraber toplamda 7 taşıyıcı oluşturulmuştur.

SB tarafından kullanılan tahmin yöntemini KM, LR, GRD, SQR, A-SQR, HM ve EHM tahmin yöntemlerinin her birine ayarlayarak 7 simülasyon kümesi çalıştırılmıştır. Hem GRD hem de SQR için 500 km x 500 km kare büyüklüğündeki gridler kullanılmıştır. Her bir simülasyon setinde, rakiplerin uyguladıkları MU fiyat artışı değerleri, rekabet yoğunluğunun etkisinin değerlendirmesi için değiştirilmiştir. MU değerleri sırasıyla 0.10, 0.15, 0.20, 0.30 ve 0.40 olacak şekilde ayarlanmıştır. Ayrıca, SB'nin mevcut güzergâh ağı büyüklüğü küçük ($L_0=30$), orta ($L_0=60$) veya büyük ($L_0=90$) olacak şekilde ayarlanarak mevcut güzergâh ağı boyutunun etkisi analiz edilmiştir.

Her parametre seti için 100 tekrar her tekrar için 52 periyotluk ulaştırma ihalesi simülasyonu gerçekleştirilmiş ve tüm tekrarlar için ortalama istatistikler hesaplanmıştır. Her periyotta, 10 güzergâh ihale edilmiştir. İhale edilen güzergâhların başlangıç-varış noktaları, her tekrar başında rassal (bölgelerden herhangi birinden) belirlenmiştir. 52 periyodun başında 5 periyot ısınma (veri toplama) periyodu olacak şekilde koşturulmuştur.

Günlük kamyon mesafesinin azami 720 km olduğu ve bir haftalık periyotta aracın kat edebileceği maksimum mesafenin 5040 km olduğu göz önüne alınarak sanal pazarın diyagonal mesafesinin 2 katı haftalık azami mesafeden küçük olacak şekilde tasarlanmıştır.

Simülasyon, Java (TM) programlama dili kullanılarak, Intel (R) Core (TM) i7-4790 Opteron İşlemci ve 16 GB RAM yapılandırmasına sahip bir masaüstü bilgisayarda gerçekleştirilmiştir.

Geliştirilen alternatif yöntemlerin etkinliği, 100 simülasyon tekrarından elde edilen değerlerin ortalaması kullanılarak aşağıdaki performans ölçütlerine göre değerlendirilmiştir.

- **Birim kâr:** Taşıyıcının hizmet vereceği güzergâhlardan elde edeceği kilometre başına kârdır, yani, taşıyıcının toplam kârının, kazandığı güzergâhların toplam uzunluğuna oranıdır.
- **Toplam kâr:** Taşıyıcının toplam kârı, kazanılan güzergâhlardan elde edilen toplam fiyat tekliflerinin toplamından, bu güzergâhlara hizmet verme maliyetlerinin farkıdır.
- **Kazanılan ihale sayısı:** Taşıyıcı tarafından 52 periyotta toplam ihale edilen

520 güzergâhtan kazanılan toplam güzergâh sayısıdır.

5.1 SB'nin Konum Tabanlı Tahmin Yöntemleri ile Performansı

Öncelikle simüle edilen taşımacılık pazarında Bölüm 4.1.1'de sunulan k -MC, k -NN ve hiyerarşik kümeleme yöntemleri kullanılmıştır. Elde edilen değerler incelendiğinde taşıyıcının beklenen kârının en büyüklenmesinde herhangi bir iyileştirme sağlanmadığı ancak hiyerarşik yöntemde maksimum değerlerin toplandığı H-*Max* kümesinden elde edilen değerler kullanıldığında ve SB taşıyıcısının mevcut güzergâh ağı büyüklüğü $L_0 = 90$ olduğu durum için nispeten iyi değerler elde edildiği görülmüştür. SB'nin kümeleme yöntemlerini kullandığı durumlar için elde edilen toplam kârlar ve KM yöntemi ile mukayesesi Çizelge 5.1'de sunulmuştur.

Çizelge 5.1: Kümeleme yöntemleri.

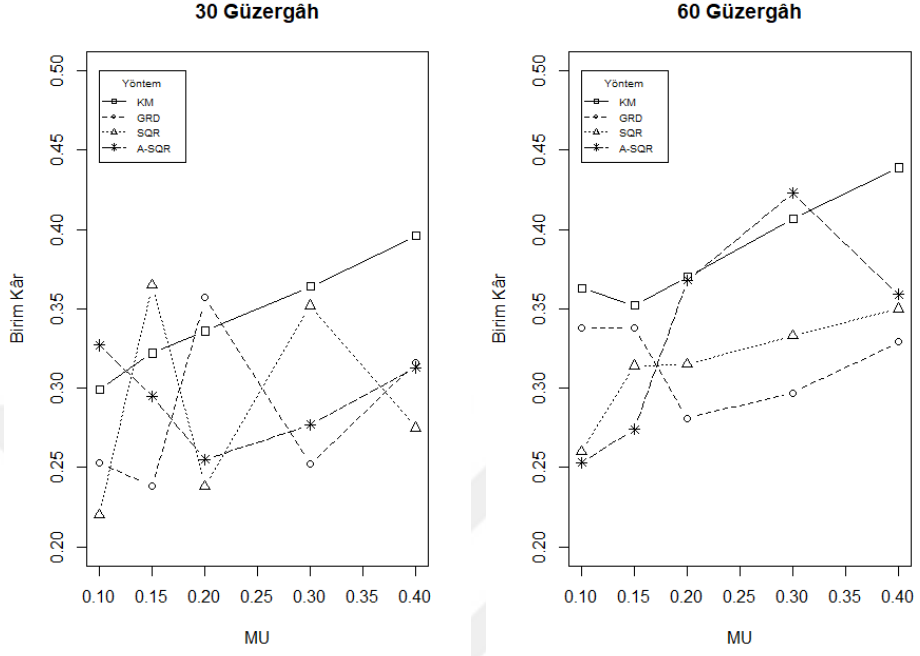
SB	Rakip		Toplam Kâr				
	L_0	MU	KM	k -MC	k -NN	H- <i>Min</i>	H- <i>Avg</i>
30	0.10	4,500	-3,013	-1,860	-50,968	-882	1,926
30	0.15	6,805	207	-3,068	-56,159	-1,040	2,674
30	0.20	8,439	1,274	-3,215	-61,096	-1,204	4,466
30	0.30	12,525	-341	-3,107	-68,634	-2,555	8,624
30	0.40	18,214	-919	-3,225	-74,324	-2,239	14,500
60	0.10	8,426	1,978	1,837	-89,804	485	6,687
60	0.15	12,689	2,518	2,394	-94,755	-804	9,556
60	0.20	14,790	2,824	1,917	-99,090	-2,166	12,570
60	0.30	20,655	4,610	3,648	-107,046	-2,958	20,201
60	0.40	27,670	6,659	4,172	-112,759	-3,181	29,150
90	0.10	14,386	7,446	226	-95,865	4,414	5,284
90	0.15	17,431	8,430	408	-100,656	4,402	8,501
90	0.20	20,778	8,743	815	-105,177	4,456	12,890
90	0.30	25,358	9,991	1,329	-113,247	3,795	21,648
90	0.40	32,972	12,863	2,794	-119,409	4,256	32,103

SB taşıyıcısının LR yöntemini kullandığı durum için simülasyonlar koşturulmuştur. Elde edilen sonuçlar Çizelge 7.4, 7.5 ve 7.6'daki tablolarda sunulmuştur. SB taşıyıcısının fiyat tekliflerini belirlemek için LR yöntemi kullanıldığında, KM yön-

temi ile elde edilen değerlerden daha kötü performans sergilediği görülmüştür. Ayrıca, SB taşıyıcısı, LR yöntemi kullandığında ve güzergâh ağ boyutu küçük veya orta olduğu zaman negatif toplam kâr (bkz. Çizelge 7.5) ve negatif birim kâr (bkz. Çizelge 7.4) elde etmiştir. SB taşıyıcısının, başlangıç ağ boyutu büyük olduğunda ise pozitif kâr elde ettiği, ancak bu kârların KM yöntemi ile elde edilen kârların çok altında olduğu görülmüştür. Öte yandan, LR yönteminde kazanılan güzergâh sayısının KM yöntemi ile kazanılanın 2 katından fazla olduğu görülmüştür. Bu yönüyle ele alındığında LR yönteminin KM yöntemine göre daha agresif davrandığı gözlemlenmiştir.

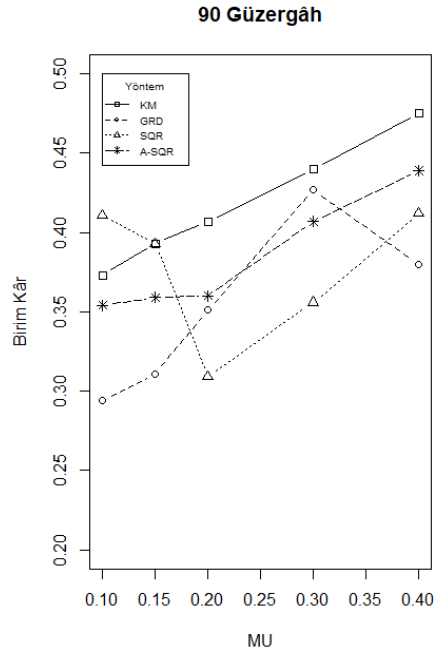
GRD, SQR ve A-SQR yöntemleri LR yöntemine kıyasla çok daha pozitif sonuç vermiştir. Bu nedenle, analizimizin geri kalan kısmında bu üç yöntemden elde ettiğimiz sonuçlar KM yöntemi sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Veri odaklı bu üç yöntemin sırasıyla birim kâr, toplam kâr, kazanılan ihale sayıları açısından karşılaştırılması Şekil 5.2, 5.3 ve 5.4'te gösterilmiştir. Tüm yöntemlerin sonuçları da dahil olmak üzere daha ayrıntılı sonuç çizelgeleri eklerde sunulmuştur.

Şekil 5.3'te görüldüğü üzere konum tabanlı tahmin yöntemleri olan GRD, SQR ve A-SQR'nin L_0 ve MU'nun tüm değerleri için daha önce kullanılan mesafeye dayalı yöntem olan KM'den daha iyi performans gösterdiği gözlemlenmiştir. A-SQR yönteminin en yüksek toplam kârı ve ardından SQR ve GRD yöntemlerinin takip ettiği görülmüştür. KM yönteminin L_0 ve MU değerleri arttığında daha iyi performans gösterdiğini, ancak $L_0 = 90$ ve MU 0.15'ten 0.20'ye değiştiğinde diğer yöntemlerin daha kötü performans gösterdiği gözlemlenmiştir.



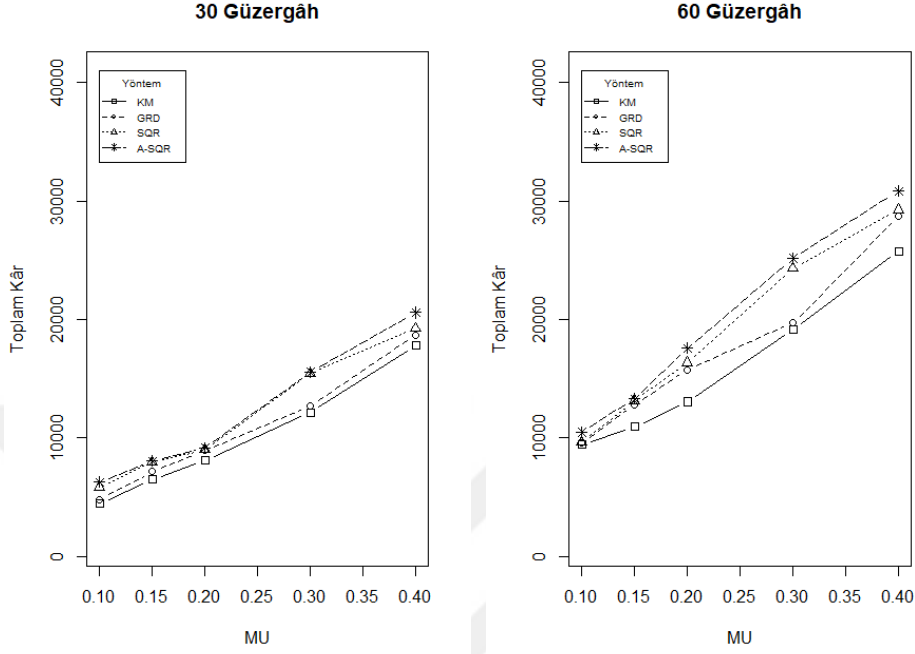
(a) SB'nin mevcut ağ büyüklüğü 30

(b) SB'nin mevcut ağ büyüklüğü 60



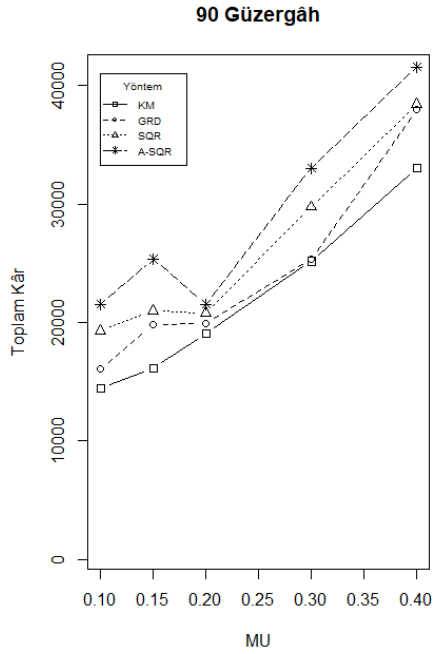
(c) SB'nin mevcut ağ büyüklüğü 90

Şekil 5.2: SB tarafından elde edilen birim kârın farklı tahmin yöntemleriyle karşılaştırılması.



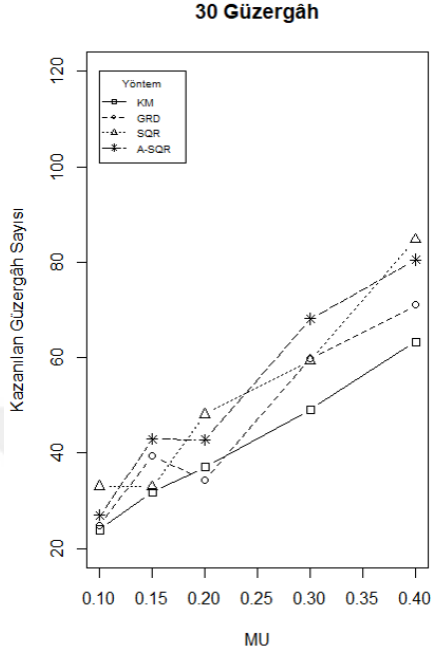
(a) SB'nin mevcut ağ büyüklüğü 30

(b) SB'nin mevcut ağ büyüklüğü 60

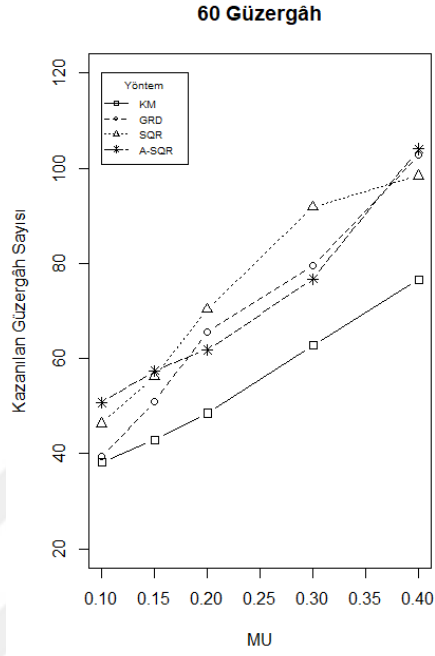


(c) SB'nin mevcut ağ büyüklüğü 90

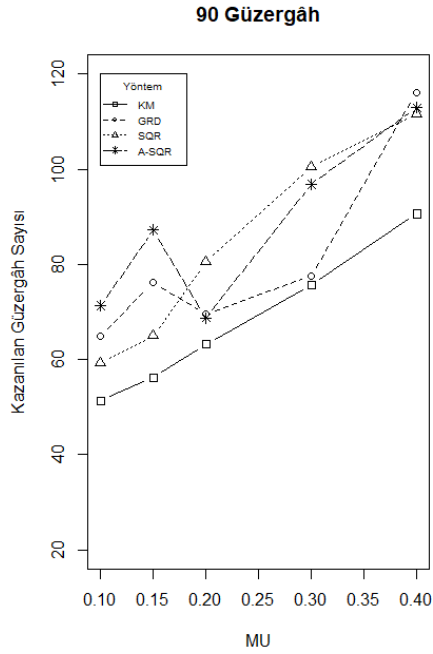
Şekil 5.3: SB tarafından elde edilen toplam kârın farklı tahmin yöntemleriyle karşılaştırılması.



(a) SB'nin mevcut ağ büyüklüğü 30



(b) SB'nin mevcut ağ büyüklüğü 60



(c) SB'nin mevcut ağ büyüklüğü 90

Şekil 5.4: SB tarafından elde edilen güzergâh sayılarının farklı tahmin yöntemleriyle karşılaştırılması.

GRD, SQR ve A-SQR yöntemleri, geçmiş ihalelerde kazanılan güzergâhlardan gelen örnek verileri ihale edilen güzergâhlara benzer olanlarla sınırlar. Bunları KM yöntemine ve LR yöntemine göre ihaleye özgü dağılım parametrelerinin daha doğru tahmin edicileri olarak görür. KM yönteminin kullanımı, bazı ihalelerde çok agresif bir şekilde teklif verirken SB taşıyıcısını bazı ihalelerde riske girmek istemeyen bir şekilde fiyat teklif vermesine neden olabilir. LR yönteminin kullanımı, SB taşıyıcısının genel olarak çok agresif bir şekilde fiyat teklif etmesine neden olur. Optimizasyon problemimizin amacı beklenen kârı maksimize etmek olduğundan, daha fazla ihale ile sonuçlanmasını sağlamak için doğru düzeyde bir agresiflik beklemek doğaldır. Öte yandan, daha doğru olan tahmin, SB taşıyıcısının daha risk almayan bir şekilde teklif vermektense daha agresif bir şekilde teklif vermeye yönelmesine neden olmuşsa; SB taşıyıcısının birim kârı, daha fazla ihale kazanmasına ve toplam kârı artırmasına rağmen düşecektir. Bu nedenle, konum tabanlı yöntemlerimizin KM yöntemine karşı bu üç ölçüm açısından göreceli performansının daha iyi olduğu gözlemlenmiştir.

Elde ettiğimiz sonuçlar ışığında, güzergâha özgü en düşük fiyat teklif dağılımını tahmin etmek için konum tabanlı yöntemler kullanmanın KM ve LR yönteminden daha doğru olacağı değerlendirilmiştir. Bu yöntemler, SB taşıyıcısının optimizasyon modelinin amacı açısından daha iyi performans göstermesini sağlar. A-SQR yöntemi teklif ettiğimiz konum tabanlı yöntemler arasında en iyi alternatif olarak belirlenmiştir, çünkü en yüksek toplam kâr değerini elde etmiştir. A-SQR yönteminin temel avantajı, ihale edilen güzergâh verisine göre ilgili geçmiş verileri adaptif olarak seçmesidir.

5.2 SB'nin Sinerji Tabanlı Tahmin Yöntemleri ile Performansı

Simüle edilen pazarda, SB'nin Bölüm 4.2.1 ve 4.2.2'de anlatılan sezgisel tabanlı yöntemleri kullandığı durumlar için simülasyonlar koşturulmuştur. HM yöntemi için elde edilen birim kâr, toplam kâr ve kazanılan güzergâh sayılarına ilişkin sonuçlar sırasıyla Çizelge 7.17, 7.18 ve 7.19'da, EHM yöntemine ilişkin sonuçlar ise Çizelge 7.20, 7.21 ve 7.22'de sunulmuştur.

Akıllı taşıyıcının sırasıyla KM, HM ve EHM yöntemlerini kullandığı durumlar için elde edilen birim kâr, toplam kâr ve kazanılan güzergâh sayılarının karşılaştırılması Çizelge 5.2'de sunulmuştur. EHM yöntemi ile edilen toplam kârların KM yöntemi ile elde edilen sonuçlara yakın olduğu, HM yönteminden daha iyi olduğu görülmüştür. Beklenildiği gibi, akıllı taşıyıcının başlangıçta sahip olduğu güzergâh sayısı ile doğru orantılı olarak toplam kârların arttığı görülmüştür.

Çizelge 5.2: Sezgisel yöntemlerin karşılaştırılması.

SB	Rakip	Birim Kâr			Toplam Kâr			Güzergâh Sayısı		
		L_0	MU	KM	HM	EHM	KM	HM	EHM	KM
30	0.10	0.30	0.23	0.28	4,500	2,186	4,363	24.1	17.7	24.4
30	0.15	0.34	0.26	0.29	6,805	3,460	6,005	32.2	23.3	33.2
30	0.20	0.35	0.27	0.27	8,439	5,249	8,007	37.3	30.5	41.0
30	0.30	0.37	0.29	0.26	12,525	10,074	12,359	49.3	48.8	62.1
30	0.40	0.40	0.30	0.26	18,214	16,485	17,483	63.6	72.3	87.2
60	0.10	0.35	0.32	0.33	8,426	4,511	8,054	35.8	21.9	36.8
60	0.15	0.38	0.34	0.33	12,689	6,739	10,515	46.2	28.8	47.2
60	0.20	0.39	0.36	0.32	14,790	9,481	13,191	51.6	37.1	52.0
60	0.30	0.42	0.36	0.31	20,655	15,985	19,388	65.2	58.1	77.8
60	0.40	0.45	0.36	0.30	27,670	24,558	26,374	79.6	85.6	106.7
90	0.10	0.40	0.40	0.37	14,386	6,040	11,229	50.2	24.3	51.2
90	0.15	0.41	0.41	0.36	17,431	8,880	13,985	57.6	32.6	58.6
90	0.20	0.43	0.41	0.35	20,778	12,158	17,045	64.6	42.2	65.6
90	0.30	0.45	0.40	0.33	25,358	20,451	23,695	75.4	66.2	89.4
90	0.40	0.49	0.40	0.32	32,972	30,051	31,351	88.9	94.3	118.6

KM, HM ve EHM yöntemlerine ait ortalama koşum süreleri Çizelge 5.3'te sunulmuştur. Beklenildiği gibi mevcut güzergâh büyüklükleri arttıkça çözüm sürelerinin de arttığı görülmüştür. Gerek toplam kâr gerekse ortalama çözüm süreleri gözönüne alındığında, geliştirilen sezgisel tabanlı yaklaşımların etkili olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca geçmiş verilere ihtiyaç duymaması, karmaşık işlemler gerektirmemesi ve taşıyıcının olası finansal kayıplarını engellemesi ile de etkili olduğu değerlendirilmiştir.

Çizelge 5.3: Ortalama koşum süreleri.

SB	Rakip L_0	Süre (milisaniye)		
		KM	HM	EHM
30	0.10	31,873	2,395	68
30	0.15	27,080	2,183	65
30	0.20	29,436	2,288	68
30	0.30	29,341	2,282	67
30	0.40	35,452	2,552	75
60	0.10	50,509	3,213	95
60	0.15	57,661	3,528	102
60	0.20	54,871	3,404	99
60	0.30	58,696	3,573	103
60	0.40	54,652	3,395	98
90	0.10	117,036	6,137	178
90	0.15	114,079	6,006	176
90	0.20	114,710	6,035	177
90	0.30	118,523	6,202	181
90	0.40	114,894	6,043	177

5.3 SB'nin Metasezgisel Yöntemler ile Performansı

Koordinat arama yöntemi yerine kullanılan PSO ve SA metasezgiselleri ile elde edilen değerler incelendiğinde taşıyıcının beklenen kârının en büyüklenmesinde herhangi bir iyileştirme sağlanamadığı gibi mevcut yöntemlerin çok altında değerler elde edilmiştir.

En büyüklenmeye çalışılan beklenen kâr fonksiyonun kuadratik olduğu ve birçok yerel en iyi değere sahip olduğu göz önüne alındığında kullanılan sezgisel yaklaşımların erken yakınsamaya (*premature convergence*) ve çeşitliliğin kaybına (*diversity loss*) sebep olduğu görülmüştür. Bunu engellenmek için algoritma içinde kullanılan birçok parametrenin en iyilenmesine çalışılmış ancak iyi bir sonuç elde edilememiştir. SB taşıyıcısının PSO ve SA metasezgisel yöntemlerini kullandığında elde edilen toplam kârların KM yöntemi ile elde edilen toplam kar ile mukayesesi Çizelge 5.4'te sunulmuştur.

Çizelge 5.4: Metasezgisel yöntemler.

SB	<i>Rakip</i>	Toplam Kâr		
		KM	PSO	SA
L_0	MU			
30	0.10	4,500	-435	-305
30	0.15	6,805	-544	-436
30	0.20	8,439	-409	-258
30	0.30	12,525	-387	-189
30	0.40	18,214	675	1,160
60	0.10	8,426	-121	176
60	0.15	12,689	-659	-560
60	0.20	14,790	993	1,491
60	0.30	20,655	5,354	6,977
60	0.40	27,670	11,678	14,951
90	0.10	14,386	-1,214	-1,221
90	0.15	17,431	-1,335	-1,342
90	0.20	20,778	-146	91
90	0.30	25,358	1,866	2,586
90	0.40	32,972	10,769	13,815



6. SONUÇLAR

Tez çalışmamızda, açık artırmaya dayalı spot piyasalarda stokastik fiyat teklifi optimizasyonu kullanan kamyon yükü taşıyıcıları için konum tabanlı ve sinerji tabanlı tahmin yöntemleri geliştirilmiştir. Hem konum tabanlı tahmin yöntemlerinin hem de sinerji tabanlı tahmin yöntemlerinin bu tür taşıyıcıların kârlılığını artırabileceği gösterilmiştir.

Bu tezde sunulan çalışmalar hem akademik hem de pratik açıdan değerlidir. Lojistik pazarlardaki taşıyıcıların teklif stratejileri hala nispeten keşfedilmemiş bir alandır. Literatürde taşımacılık ihalelerinin takas fiyatlarındaki belirsizliği modelleyen çok az çalışma vardır. Takas fiyatının olasılık dağılımının parametrelerinin doğru tahminine odaklanan daha az sayıda çalışma bulunmaktadır. Tedarik zincirinin tüm alanlarındaki firmalar, elektronik ticaret ve yapay zekânın kullanımına uyum sağlamalıdır ve kamyon yükü taşıyıcıları da aynı şekilde bundan istifade etmelidir. Bu tezde sunulan araştırma, bu çabadaki taşıyıcılara yardımcı olabilir.

Geçmiş teklif verilerinin elde edilmesi, sunulan yöntemlerin pratikte başarılı bir şekilde uygulanması için çok önemlidir. Taşıyıcılar hali hazırda böyle bir veriyi ellerinde bulundurmayabilir. Öte yandan literatür taraması esnasında bulduğumuz yayınlanmış ampirik çalışmalar, bu tür verilerin; büyük nakliyeciler, komisyoncular, çevrimiçi pazarlar, endüstri fiyat endeksleri ve halka açık web siteleri gibi çeşitli kaynaklardan elde edilebileceğini göstermektedir (Scott, 2015; Scott, 2018; Smith ve diğ., 2007; Özkaya ve diğ., 2010; Wang ve diğ., 2018; Kay ve Warsing, 2009; Bignell, 2013; Tsai ve diğ., 2011; Miller, 2019). Çalışmamız, bu veriler kendileri için mevcutsa taşıyıcıların daha rekabetçi fiyatlandırma sunabileceğini göstermektedir, bu da verileri taşıyıcılara ulaştırmak için bir teşvik olabilir. Öte yandan, çalışmamız taşıyıcılar için bu verilere erişimin değerini de göstermektedir. Dolayısıyla, bu tür veriler, fiyatlarına bağlı olarak satın almak isteyebilecekleri taşıyıcılara pazarlanabilir. Taşıyıcılar, bu tür verileri, bizim çalışmamızın yardımıyla satın alıp almayacağına karar verebilir.



7. ÖNERİLER VE GELECEK ÇALIŞMALAR

Tez çalışmasında, FTL taşıyıcısı için taşıyıcının beklenen kârını maksimize etmeye çalışan yöntemler geliştirilmiştir. İhale edilen güzergâhların konumlarına göre geçmiş verilerin kullanılmasının en düşük rakip fiyat dağılımının tahmininde çok önemli olduğu görüşü altında öncelikle makine öğrenmesi yöntemlerinden olan kümeleme yöntemleri kullanılmıştır. Bölüm 4.1.1’de sunulan denetlenmeyen (*unsupervised learning*) yöntemlere giren k -MC, denetlenen öğrenme (*supervised learning*) yöntemlerinden olan k -NN ve hiyerarşik kümeleme yöntemleri denenmiştir. Bu yöntemler kullanılarak elde edilen sonuçlar incelendiğinde taşıyıcının beklenen kârında herhangi bir iyileşme gözlemlenmemiştir.

Bölüm 4.3.1’de sunulan çoklu boyutlu uzaylarda iyi sonuç veren PSO metasezgiseli beklenen kârın en büyüklenmesi için kullanılmıştır. Parçacık sayıları ve algoritma içinde parçacıkların hızlarının belirlenmesinde kullanılan sabitler için birçok parametre grupları kullanılmış ancak fonksiyonun çok fazla yerel en iyi değere sahip olduğu için erken yakınsamaya neden olduğu görülmüştür. Koordinat arama sezgiseli (bkz. Kuyzu ve diğ., 2015) ile karşılaştırıldığında, beklenen değer en büyüklenmesi için herhangi bir iyileştirme sağlanamamıştır. Karar değişkenlerine bakıldığında, karar değişkenlerinin aldığı değerler ve birim başına en düşük belenen değer geçmiş verilerden elde edildiği, göz önüne alındığında Bölüm 4.3.2’de sunulan SA metasezgiseli ile iyi bir sonuç alınabileceği değerlendirilmiştir. Çeşitli komşu sayıları, sıcaklık değerleri ve rassal kabul edilme fonksiyonları için denemeler yapılmış simülasyonlar koşturulmuş ancak fonksiyonun çok fazla yerel en iyi değere sahip olduğu için erken yakınsamaya neden olduğu görülmüştür. Koordinat arama sezgiseli ile karşılaştırıldığında, beklenen değer en büyüklenmesi için herhangi bir iyileştirme sağlanamamıştır.

Daha sonra Bölüm 4.1.2-4.1.5’te detaylı şekilde anlatılan 4 farklı konum tabanlı yaklaşım geliştirilmiş ve yapılan simülasyon çalışmaları sonucu elde edilen değerler ile ihale edilen güzergâhların konumlarına göre geçmiş verilerin kullanılmasının en düşük rakip fiyat dağılımının tahmininde çok önemli olduğu ispatlanmış ve önerilen yöntemlerin rakip taşıyıcılarla rekabet edebildiği gösterilmiştir.

Gerçek hayatta geçmiş kazanan güzergâhlara ait bilgilerin elde edilmesinin zorluğu da göz önüne alınarak bu bağımlılığı ortadan kaldıracak, Bölüm 4.2’de detaylı olarak anlatılan 2 farklı sezgisel tabanlı yaklaşım önerilmiştir. Yapılan simülasyon çalışmalarında elde edilen sonuçlara istinaden önerilen sezgisel yaklaşımların etkinliği gösterilmiştir.

Kuyzu ve diğ.'nin (2015) önerdiği optimizasyon yöntemi ve önerdiğimiz konum tabanlı yaklaşımları kullanan taşıyıcı, ihale edilen güzergâhların bütün alt kümeleri üzerinden hesaplama yapmak zorundadır. İhaledeki güzergâh sayısı arttıkça problemin karmaşıklıklaştığının da artacağı göz önünde bulundurularak olası alt kümeler üzerinde hesaplama yapan sezgisel yaklaşım Bölüm 4.2.2'de önerilmiştir. Gelecekte, pazardaki ihale sayısı artırılıp segisel yaklaşımın etkinliği denenebilir. İhale sayısı artırıldığında olası alt kümelerin sayısı da artacağından olası alt kümelerin belirlenmesi için makine öğrenme yöntemlerinin de kullanıldığı yeni yaklaşımlar geliştirilebilir.

Rakip taşıyıcılar için fiyat artışı değerlerinin kullanımı yerine geliştirilen fiyat teklifi verme yöntemleri ve farklı maliyet hesaplama yöntemleri kullanılabilir. Kısa vadeli spot taşıma pazarına, uzun vadeli ihale güzergâhlarının da dahil edildiği sanal bir taşıma pazarı oluşturularak çalışmalar yapılabilir.

Tez çalışmasında, taşıyıcı bakış açısıyla, uzun vadeli sözleşme altında mevcut yük ağlarını, bir spot taşımacılık pazarından gelen yüklerle tamamlamak isteyen FTL taşıyıcısının problemi ele alınmıştır. İnternetin yaygınlaşması ve akıllı telefon uygulamalarının etkin bir şekilde kullanılması ile dijitalleşmenin taşımacılık sektöründeki büyük önemi ortaya çıkmaya başlamıştır. Yük veren ve yük taşıyanları bir araya getiren web siteleri / mobil uygulamalar (örn. TIRPORT, UBER FREIGHT) sayesinde taşıyıcılar kamyonlarına uygun yükleri görebilmekte ve anında yüke fiyat teklifi verebilmektedir. Yükü alan taşıyıcı boşaltma zamanına göre yine yük fırsatlarından haberdar olabilmekte ve dönüş yükü için fiyat teklifi verebilmektedir. Böylece, boş taşımanın da önüne geçebilmektedir. Gelecekte; küçük, orta, büyük taşıyıcıların yanında bireysel yük taşıyıcılarının da olduğu ve hatta bu bireysel taşıyıcılarının da bakış açısıyla teklif verme yöntemlerinin geliştirildiği bir pazar oluşurabilir.

Kaynaklar

- Ağralı, S., Tan, B., & Karaesmen, F. (2008). Modeling and analysis of an auction-based logistics market. *European Journal of Operational Research*, 191(1), 272–294.
- An, N., Elmaghraby, W., & Keskinocak, P. (2005). Bidding strategies and their impact on revenues in combinatorial auctions. *Journal of Revenue and Pricing Management*, 3(4), 337–357.
- Bignell, A. A. S. (2013). *Characteristics of spot-market rate indexes for truckload transportation* (Thesis, Massachusetts Institute of Technology). Retrieved 2019-09-22, from <https://dspace.mit.edu/handle/1721.1/81094>
- Budak, A., Ustundag, A., & Guloglu, B. (2017). A forecasting approach for truckload spot market pricing. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 97, 55–68.
- Chang, T.-S. (2009). Decision support for truckload carriers in one-shot combinatorial auctions. *Transportation Research Part B: Methodological*, 43(5), 522–541.
- Chen, R. L.-Y., AhmadBeygi, S., Cohn, A., Beil, D. R., & Sinha, A. (2009). Solving truckload procurement auctions over an exponential number of bundles. *Transportation Science*, 43(4), 493–510.
- Day, R. W., & Raghavan, S. (2009). Matrix bidding in combinatorial auctions. *Operations Research*, 57(4), 916–933.
- De Vries, S., & Vohra, R. V. (2003). Combinatorial auctions: A survey. *INFORMS Journal on computing*, 15(3), 284–309.
- Douma, A., Schuur, P., & van der Heijden, M. (2006). Applying revenue management to agent-based transportation planning. *BETA Working Paper*(169).
- Elmaghraby, W. (2004). *Handbook of quantitative supply chain analysis: Modeling in the e-business era, chapter pricing and auctions in e-marketplaces. international series in operations research and management science*. Kluwer Academic Publishers, Norwell, MA.
- Elmaghraby, W., & Keskinocak, P. (2003). Dynamic pricing in the presence of inventory considerations: Research overview, current practices, and future directions. *Management science*, 49(10), 1287–1309.
- Elmaghraby, W., & Keskinocak, P. (2004). Combinatorial auctions in procurement. In *The practice of supply chain management: Where theory and application converge* (pp. 245–258). Springer.
- Ergun, O., Kuyzu, G., & Savelsbergh, M. (2007). Reducing truckload transportation costs through collaboration. *Transportation science*, 41(2), 206–221.
- Figliozzi, M. A., Mahmassani, H. S., & Jaillet, P. (2004). Competitive performance assessment of dynamic vehicle routing technologies using sequential

- auctions. *Transportation Research Record*, 1882(1), 10–18.
- Figliozi, M. A., Mahmassani, H. S., & Jaillet, P. (2006). Quantifying opportunity costs in sequential transportation auctions for truckload acquisition. *Transportation Research Record*, 1964(1), 247–252.
- Figliozi, M. A., Mahmassani, H. S., & Jaillet, P. (2007). Pricing in dynamic vehicle routing problems. *Transportation Science*, 41(3), 302–318.
- Figliozi, M. A., Mahmassani, H. S., & Jaillet, P. (2008). Repeated Auction Games and Learning Dynamics in Electronic Logistics Marketplaces: Complexity, Bounded Rationality, and Regulation through Information. In D. Helbing (Ed.), *Managing Complexity: Insights, Concepts, Applications* (pp. 137–175). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. Retrieved 2019-09-12, from https://doi.org/10.1007/978-3-540-75261-5_7 doi: 10.1007/978-3-540-75261-5_7
- Forgy, E. W. (1965). Cluster analysis of multivariate data: efficiency versus interpretability of classifications. *biometrics*, 21, 768–769.
- Friedman, D. (1993). The double auction market institution: A survey. *The double auction market: Institutions, theories, and evidence*, 14, 3–25.
- Gansterer, M., & Hartl, R. F. (2016). Request evaluation strategies for carriers in auction-based collaborations. *OR spectrum*, 38(1), 3–23.
- Garrido, R. A. (2007). Procurement of transportation services in spot markets under a double-auction scheme with elastic demand. *Transportation Research Part B: Methodological*, 41(9), 1067–1078.
- Gumbel, E. (1958). Statistics of extremes. 1958. *Columbia Univ. press, New York*.
- Katehakis, M. N., & Puranam, K. S. (2012a). On bidding for a fixed number of items in a sequence of auctions. *European Journal of Operational Research*, 222(1), 76–84.
- Katehakis, M. N., & Puranam, K. S. (2012b). On optimal bidding in sequential procurement auctions. *Operations Research Letters*, 40(4), 244–249.
- Kay, M. G., & Warsing, D. P. (2009, June). Estimating LTL rates using publicly available empirical data. *International Journal of Logistics Research and Applications*, 12(3), 165–193. Retrieved 2019-09-22, from <https://doi.org/10.1080/13675560802392415> doi: 10.1080/13675560802392415
- Kennedy, J. (2010). Particle swarm optimization. *Encyclopedia of machine learning*, 760–766.
- Kirkpatrick, S., Gelatt, C. D., & Vecchi, M. P. (1983). Optimization by simulated annealing. *science*, 220(4598), 671–680.
- Klemperer, P. (1999). Auction theory: A guide to the literature. *Journal of economic surveys*, 13(3), 227–286.
- Krishna, V. (2009). *Auction theory*. Academic press.

- Kunimoto, T. (2008). Lecture note on auctions. *Department of Economics, McGill University*.
- Kuyzu, G. (2007). *Procurement in truckload transportation* (Unpublished doctoral dissertation). Georgia Institute of Technology.
- Kuyzu, G., Akyol, Ç. G., Ergun, Ö., & Savelsbergh, M. (2015). Bid price optimization for truckload carriers in simultaneous transportation procurement auctions. *Transportation Research Part B: Methodological*, 73, 34–58.
- Lafkihi, M., Pan, S., & Ballot, E. (2019). Freight transportation service procurement: A literature review and future research opportunities in omnichannel e-commerce. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 125, 348–365.
- Lee, C.-G., Kwon, R. H., & Ma, Z. (2007). A carrier's optimal bid generation problem in combinatorial auctions for transportation procurement. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 43(2), 173–191.
- Lindsey, C., Frei, A., Ali Babai, H., Mahmassani, H. S., Park, Y.-W., Klabjan, D., ... Keating, T. (2013). Modeling Carrier Truckload Freight Rates in Spot Markets. In *Transportation Research Board 92nd Annual Meeting* Transportation Research Board. Retrieved 2019-09-12, from <https://trid.trb.org/view/1242387>
- Lindsey, C., Frei, A., Mahmassani, H. S., Alibabai, H., Park, Y. W., Klabjan, D., ... Keating, T. (2013). *Online pricing and capacity sourcing for third-party logistics providers* (Technical Report). Northwestern University. Retrieved 2019-09-22, from http://dynresmanagement.com/uploads/3/5/2/7/35274584/3p1_pricing_and_sourcing.pdf
- Lloyd, S. (1982). Least squares quantization in pcm. *IEEE transactions on information theory*, 28(2), 129–137.
- McAfee, R. P., & McMillan, J. (1987). Auctions and bidding. *Journal of economic literature*, 25(2), 699–738.
- Mes, M., Van Der Heijden, M., & Schuur, P. (2009). Dynamic threshold policy for delaying and breaking commitments in transportation auctions. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 17(2), 208–223.
- Mes, M., van der Heijden, M., & Schuur, P. (2010). Look-ahead strategies for dynamic pickup and delivery problems. *OR spectrum*, 32(2), 395–421.
- Mesa-Arango, R., & Ukkusuri, S. V. (2015). Demand clustering in freight logistics networks. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 81, 36–51.
- Miller, J. W. (2019, December). ARIMA Time Series Models for Full Truckload Transportation Prices. *Forecasting*, 1(1), 121–134. Retrieved 2019-09-12, from <https://www.mdpi.com/2571-9394/1/1/9> doi: 10.3390/fore-

cast1010009

- Nandiraju, S., & Regan, A. (2003). Freight transportation electronic marketplaces: A survey of the industry and exploration of. *Industrial Marketing management*, 32, 187–198.
- Olcaytu, E., & Kuyzu, G. (2018). Synergy-based bidding method for simultaneous freight transportation auctions. *Transportation research procedia*, 30, 295–303.
- Olcaytu, E., & Kuyzu, G. (2019). Location-based distribution estimation for stochastic bid price optimization. *Transportation Letters*, 0(0), 1-15. Retrieved from <https://doi.org/10.1080/19427867.2019.1700011> doi: 10.1080/19427867.2019.1700011
- Robu, V., & La Poutré, H. (2009). Designing risk-averse bidding strategies in sequential auctions for transportation orders. In *Advances in agent-based complex automated negotiations* (pp. 139–160). Springer.
- Scott, A. (2015, September). The value of information sharing for truckload shippers. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 81, 203–214. Retrieved 2019-09-12, from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1366554515001428> doi: 10.1016/j.tre.2015.07.002
- Scott, A. (2018). Carrier Bidding Behavior in Truckload Spot Auctions. *Journal of Business Logistics*, 39(4), 267–281. Retrieved 2019-09-12, from <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/jbl.12194> doi: 10.1111/jbl.12194
- Sheffi, Y. (2004). Combinatorial auctions in the procurement of transportation services. *Interfaces*, 34(4), 245–252.
- Smith, L. D., Campbell, J. F., & Mundy, R. (2007, March). Modeling net rates for expedited freight services. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 43(2), 192–207. Retrieved 2019-09-22, from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1366554505001079> doi: 10.1016/j.tre.2005.11.001
- Song, J., & Regan, A. (2003). Combinatorial auctions for transportation service procurement: The carrier perspective. *Transportation Research Record*, 1833(1), 40–46.
- Sui, X., & Leung, H.-F. (2008). An adaptive bidding strategy in multi-round combinatorial auctions for resource allocation. In *2008 20th IEEE international conference on tools with artificial intelligence* (Vol. 2, pp. 423–430).
- TIRPORT. (n.d.). <http://www.tirport.com>. Accessed: 2019-12-20.
- Triki, C. (2016). Location-based techniques for the synergy approximation in combinatorial transportation auctions. *Optimization Letters*, 10(5), 1125–1139.
- Triki, C., Oprea, S., Beraldi, P., & Crainic, T. G. (2014). The stochastic bid gene-

- ration problem in combinatorial transportation auctions. *European Journal of Operational Research*, 236(3), 991–999.
- Tsai, M.-T., Saphores, J.-D., & Regan, A. (2011, November). Valuation of freight transportation contracts under uncertainty. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 47(6), 920–932. doi: 10.1016/j.tre.2011.03.005
- UBERFREIGHT. (n.d.). <http://www.uberfreight.com>. Accessed: 2019-12-20.
- Wang, X., & Xia, M. (2005). Combinatorial bid generation problem for transportation service procurement. *Transportation research record*, 1923(1), 189–198.
- Wang, Y., Nascimento, J. M. D., & Powell, W. (2018, February). *Reinforcement Learning for Dynamic Bidding in Truckload Markets: an Application to Large-Scale Fleet Management with Advance Commitments* [Unpublished manuscript]. Retrieved 2019-09-12, from <http://arxiv.org/abs/1802.08976> (arXiv: 1802.08976)
- Zikopoulos, C. (2019, September). Determination of freight rates under stochastic demand and freight consolidation savings. *International Journal of Production Research*, 57(17), 5556–5573. Retrieved 2019-09-12, from <https://doi.org/10.1080/00207543.2018.1552033> doi: 10.1080/00207543.2018.1552033
- Özkaya, E., Keskinocak, P., Roshan Joseph, V., & Weight, R. (2010, September). Estimating and benchmarking Less-than-Truckload market rates. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 46(5), 667–682. Retrieved 2019-09-22, from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1366554509001240> doi: 10.1016/j.tre.2009.09.004



EKLER

EK 1 : SB'nin KM Yöntemi Kullandığında Elde Edilen Sonuçlar

EK 2 : SB'nin LR Yöntemi Kullandığında Elde Edilen Sonuçlar

EK 3 : SB'nin GRD Yöntemi Kullandığında Elde Edilen Sonuçlar

EK 4 : SB'nin SQR Yöntemi Kullandığında Elde Edilen Sonuçlar

EK 5 : SB'nin A-SQR Yöntemi Kullandığında Elde Edilen Sonuçlar

EK 6 : Kilometre Başına SB'nin Ortalama Kazanan Teklif Değerleri

EK 7 : SB'nin Sezgisel Yöntem Kullandığında Elde Edilen Sonuçlar

EK 8 : SB'nin Etkili Sezgisel Yöntem Kullandığında Elde Edilen Sonuçlar



EK 1

Çizelge 7.1: SB'nin KM yöntemini kullandığında elde edilen birim kâr.

SB	<i>Rakip</i> L_0	Birim kâr						
		MU	SB	SC1	SC2	MC1	MC2	LC1
30	0.10	0.299	0.013	0.038	0.006	0.000	0.000	0.000
30	0.15	0.322	0.091	0.060	0.039	0.046	0.033	0.032
30	0.20	0.336	0.137	0.103	0.080	0.088	0.073	0.073
30	0.30	0.364	0.223	0.186	0.160	0.168	0.152	0.152
30	0.40	0.396	0.303	0.270	0.237	0.249	0.230	0.229
60	0.10	0.363	0.021	0.040	0.018	-0.001	-0.004	-0.012
60	0.15	0.352	0.069	0.071	0.050	0.055	0.018	0.033
60	0.20	0.370	0.113	0.115	0.092	0.096	0.056	0.073
60	0.30	0.407	0.193	0.198	0.175	0.184	0.137	0.153
60	0.40	0.439	0.275	0.280	0.253	0.261	0.208	0.227
90	0.10	0.373	0.043	0.031	0.000	-0.005	-0.002	-0.016
90	0.15	0.393	0.060	0.062	0.049	0.031	0.028	0.035
90	0.20	0.407	0.103	0.105	0.087	0.073	0.067	0.073
90	0.30	0.440	0.177	0.173	0.164	0.156	0.140	0.137
90	0.40	0.475	0.254	0.250	0.242	0.229	0.212	0.207

Çizelge 7.2: SB'nin KM yöntemini kullandığında elde edilen toplam kâr.

SB	Rakip	Toplam kâr								
		L_0	MU	SB	SC1	SC2	MC1	MC2	LC1	LC2
30	0.10			4,426	-895	398	-1,342	-1,693	-1,484	-1,894
30	0.15			6,469	2,111	1,090	1,287	1,263	1,614	1,041
30	0.20			8,112	3,365	2,705	3,893	3,799	5,413	4,701
30	0.30			12,122	5,610	5,606	8,848	8,351	12,524	11,549
30	0.40			17,804	7,712	8,308	13,105	12,588	19,034	17,529
60	0.10			9,436	-549	729	-110	-1,493	-1,676	-2,283
60	0.15			10,924	979	1,633	1,583	1,957	370	1,713
60	0.20			13,054	2,342	3,177	3,852	4,456	4,103	4,968
60	0.30			19,168	5,102	5,939	8,096	9,274	11,307	11,736
60	0.40			25,763	7,449	8,534	11,817	13,132	17,438	17,237
90	0.10			14,442	677	26	-1,662	-2,160	-1,588	-2,829
90	0.15			16,108	1,028	930	1,115	811	718	1,607
90	0.20			19,055	2,583	2,414	3,309	3,359	4,208	4,863
90	0.30			25,173	4,875	3,916	6,463	7,274	9,558	9,974
90	0.40			33,023	6,997	6,407	9,973	10,819	14,708	15,144

Çizelge 7.3: SB'nin KM yöntemini kullandığında kazanılan ihale sayısı.

SB	Rakip	Kazanılan ihale sayısı								
		L_0	MU	SB	SC1	SC2	MC1	MC2	LC1	LC2
30	0.10	23.9	47.2	47.2	85.0	82.8	117.1	116.9		
30	0.15	31.8	40.6	51.0	83.6	77.7	120.8	114.6		
30	0.20	37.0	40.1	50.4	82.6	77.0	119.6	113.4		
30	0.30	49.0	38.9	48.7	80.6	75.1	116.9	110.9		
30	0.40	63.3	38.1	47.0	78.0	73.0	113.6	107.2		
60	0.10	38.2	42.4	45.2	75.7	83.0	118.4	117.2		
60	0.15	42.9	43.5	48.0	74.0	80.3	124.7	106.6		
60	0.20	48.5	42.9	47.5	73.2	79.3	123.4	105.3		
60	0.30	62.7	44.8	45.0	70.0	74.2	117.6	105.7		
60	0.40	76.6	43.2	43.7	68.1	71.8	114.4	102.2		
90	0.10	51.3	42.1	40.7	83.1	78.5	110.2	114.1		
90	0.15	56.2	48.9	50.2	71.2	81.5	107.9	104.0		
90	0.20	63.2	47.2	47.4	72.0	79.4	105.2	105.6		
90	0.30	75.7	45.1	48.6	68.2	73.7	103.4	105.3		
90	0.40	90.6	42.7	47.3	65.0	71.9	100.2	102.2		



EK 2

Çizelge 7.4: SB'nin LR yöntemini kullandığında elde edilen birim kâr.

SB	<i>Rakip</i> L_0	Birim kâr						
		MU	SB	SC1	SC2	MC1	MC2	LC1
30	0.10	-0.035	0.024	0.003	-0.025	-0.005	-0.041	-0.023
30	0.15	-0.035	0.057	0.043	0.008	0.034	-0.002	0.013
30	0.20	-0.035	0.097	0.079	0.042	0.070	0.035	0.049
30	0.30	-0.042	0.175	0.142	0.108	0.143	0.101	0.108
30	0.40	-0.029	0.232	0.205	0.173	0.211	0.162	0.166
60	0.10	-0.004	0.008	0.056	0.003	0.020	-0.062	-0.001
60	0.15	-0.014	0.051	0.099	0.035	0.059	-0.028	0.037
60	0.20	-0.023	0.088	0.134	0.073	0.098	0.004	0.074
60	0.30	-0.020	0.160	0.197	0.136	0.167	0.059	0.135
60	0.40	-0.020	0.227	0.253	0.198	0.224	0.110	0.183
90	0.10	0.043	0.039	0.021	-0.013	-0.007	-0.019	-0.056
90	0.15	0.036	0.074	0.058	0.020	0.028	0.020	-0.023
90	0.20	0.033	0.107	0.095	0.060	0.058	0.060	0.007
90	0.30	0.021	0.167	0.160	0.122	0.122	0.118	0.062
90	0.40	0.021	0.210	0.213	0.187	0.172	0.171	0.120

Çizelge 7.5: SB'nin LR yöntemini kullandığında elde edilen toplam kâr.

SB	Rakip	Toplam kâr							
		L_0	MU	SB	SC1	SC2	MC1	MC2	LC1
30	0.10		-882	-489	-1,486	-3,500	-2,704	-7,448	-2,538
30	0.15		-1,040	406	-160	-1,154	-617	-3,451	-475
30	0.20		-1,204	1,402	1,040	1,066	1,349	196	1,301
30	0.30		-2,555	2,959	2,825	4,769	4,725	6,182	3,740
30	0.40		-2,239	3,852	4,358	7,767	6,783	10,817	5,566
60	0.10		485	-328	967	-1,079	313	-6,789	-2,970
60	0.15		-804	744	1,809	991	1,886	-3,611	-738
60	0.20		-2,166	1,508	2,393	3,079	3,334	-1,000	1,486
60	0.30		-2,958	2,863	3,053	5,702	5,008	3,155	4,352
60	0.40		-3,181	3,654	3,420	7,841	5,928	5,953	6,235
90	0.10		4,414	607	252	-839	-2,719	-3,083	-8,463
90	0.15		4,402	1,252	1,544	1,035	-1,213	55	-6,232
90	0.20		4,456	1,733	2,593	3,013	168	3,026	-4,158
90	0.30		3,795	2,396	3,901	5,188	2,234	6,467	-928
90	0.40		4,256	2,551	4,344	6,416	3,414	8,742	1,991

Çizelge 7.6: SB'nin LR yöntemini kullandığında kazanılan ihale sayısı.

SB	Rakip L_0	Kazanılan ihale sayısı						
		MU	SB	SC1	SC2	MC1	MC2	LC1
30	0.10	67.0	39.0	47.0	84.6	71.7	132.8	77.9
30	0.15	82.7	37.8	45.5	81.2	69.4	128.4	75.0
30	0.20	96.0	36.8	44.3	79.0	67.2	125.1	71.6
30	0.30	127.6	34.0	41.2	73.0	61.9	117.3	65.0
30	0.40	158.2	31.4	38.1	67.5	55.9	109.6	59.3
60	0.10	114.4	34.7	33.1	81.7	62.3	108.1	85.7
60	0.15	130.8	33.3	31.0	78.1	59.4	104.5	82.9
60	0.20	150.0	31.3	27.9	74.0	56.6	99.9	80.3
60	0.30	189.0	28.1	23.9	65.5	49.3	90.1	74.1
60	0.40	221.6	25.4	20.1	59.7	44.0	81.5	67.7
90	0.10	118.8	25.4	49.1	72.2	64.6	102.8	87.1
90	0.15	137.5	24.4	46.6	68.8	61.0	98.0	83.7
90	0.20	156.0	23.1	42.9	66.0	57.7	93.3	81.0
90	0.30	193.1	20.1	37.5	57.7	52.3	83.9	75.4
90	0.40	226.5	17.3	32.5	50.9	46.6	76.0	70.2



EK 3

Çizelge 7.7: SB'nin GRD yöntemini kullandığında elde edilen birim kâr.

SB	<i>Rakip</i>	Birim kâr							
		L_0	MU	SB	SC1	SC2	MC1	MC2	LC1
30	0.10		0.253	0.050	0.008	0.016	-0.044	-0.008	0.009
30	0.15		0.238	0.074	0.071	0.052	0.038	0.032	0.015
30	0.20		0.357	0.096	0.080	0.108	0.127	0.116	0.106
30	0.30		0.252	0.192	0.198	0.155	0.164	0.155	0.144
30	0.40		0.316	0.284	0.270	0.288	0.297	0.270	0.126
60	0.10		0.338	0.014	0.049	0.034	0.028	-0.018	0.006
60	0.15		0.338	0.133	0.106	0.085	0.086	0.098	0.052
60	0.20		0.281	0.106	0.113	0.084	0.089	0.068	0.074
60	0.30		0.297	0.196	0.189	0.147	0.156	0.129	0.144
60	0.40		0.329	0.273	0.283	0.237	0.248	0.207	0.212
90	0.10		0.294	0.030	0.018	0.005	0.010	-0.002	-0.018
90	0.15		0.311	0.069	0.084	0.035	0.048	0.027	0.027
90	0.20		0.351	0.077	0.113	0.045	0.096	-0.002	0.070
90	0.30		0.427	0.195	0.126	0.171	0.168	0.182	0.115
90	0.40		0.380	0.262	0.281	0.240	0.227	0.212	0.216

Çizelge 7.8: SB'nin GRD yöntemini kullandığında elde edilen toplam kâr.

SB	Rakip	Toplam kâr							
		L_0	MU	SB	SC1	SC2	MC1	MC2	LC1
30	0.10		4,771	1,607	-1,148	1,150	-3,169	-1,862	-219
30	0.15		7,165	1,962	1,404	2,043	376	1,401	-1,941
30	0.20		8,910	3,103	1,638	6,956	6,224	7,700	8,482
30	0.30		12,652	5,517	4,408	8,004	8,379	11,645	9,668
30	0.40		18,672	8,543	11,776	19,812	11,319	17,911	7,407
60	0.10		9,542	-482	803	860	12	-4,021	1,020
60	0.15		12,782	2,883	3,301	4,416	2,252	5,466	5,333
60	0.20		15,723	2,241	2,680	3,381	4,109	4,963	4,683
60	0.30		19,696	4,243	5,212	6,879	6,945	9,008	8,972
60	0.40		28,723	6,279	7,108	10,491	11,164	16,442	15,507
90	0.10		16,087	144	-1,416	-1,319	-1,303	-1,488	-3,247
90	0.15		19,840	1,487	1,557	1,325	1,350	142	466
90	0.20		19,873	649	3,589	-2,757	5,328	-5,917	3,614
90	0.30		25,389	4,201	5,013	8,040	7,553	11,188	8,253
90	0.40		38,026	5,800	7,058	9,848	9,630	14,109	13,961

Çizelge 7.9: SB'nin GRD yöntemini kullandığında kazanılan ihale sayısı.

SB	Rakip	Kazanılan ihale sayısı								
		L_0	MU	SB	SC1	SC2	MC1	MC2	LC1	LC2
30	0.10			24.8	53.5	47.0	82.8	78.9	120.9	112.1
30	0.15			39.3	45.2	46.9	78.2	83.2	112.0	115.3
30	0.20			34.2	47.2	60.7	87.4	64.2	114.3	112.0
30	0.30			59.8	45.2	42.7	82.1	75.4	108.6	106.3
30	0.40			71.0	44.3	70.0	86.3	47.7	96.3	104.3
60	0.10			39.3	57.0	41.0	70.3	53.9	133.1	125.4
60	0.15			51.0	32.9	54.8	88.7	71.0	94.9	126.7
60	0.20			65.5	46.7	41.0	74.3	77.9	111.7	103.1
60	0.30			79.6	39.7	44.3	78.2	73.5	110.6	94.2
60	0.40			102.8	36.9	38.1	66.4	66.2	108.0	101.6
90	0.10			64.9	45.3	48.1	82.3	73.0	99.3	107.3
90	0.15			76.2	42.8	39.9	81.2	72.4	104.2	103.3
90	0.20			69.5	44.7	46.5	76.5	74.6	124.5	83.7
90	0.30			77.5	42.6	68.7	67.7	69.7	88.0	105.8
90	0.40			116.1	38.3	42.0	65.4	65.4	98.2	94.6



EK 4

Çizelge 7.10: SB'nin SQR yöntemini kullandığında elde edilen birim kâr.

SB	Rakip	Birim kâr						
		L_0	MU	SB	SC1	SC2	MC1	MC2
30	0.10	0.220	0.040	0.027	0.002	0.005	-0.008	0.001
30	0.15	0.365	0.058	0.037	0.059	0.075	0.080	0.052
30	0.20	0.238	0.116	0.118	0.082	0.086	0.081	0.071
30	0.30	0.352	0.273	0.262	0.273	0.227	0.238	0.291
30	0.40	0.275	0.283	0.281	0.253	0.259	0.223	0.21
60	0.10	0.260	0.015	0.021	0.013	0.000	-0.017	0.006
60	0.15	0.314	0.074	0.069	0.036	0.069	0.049	0.017
60	0.20	0.315	0.137	0.082	0.099	0.114	0.081	0.082
60	0.30	0.333	0.218	0.200	0.134	0.16	0.175	0.132
60	0.40	0.350	0.284	0.313	0.226	0.257	0.183	0.197
90	0.10	0.411	0.069	0.044	0.055	-0.016	0.07	0.031
90	0.15	0.393	0.113	0.144	0.084	0.097	0.056	0.051
90	0.20	0.309	0.105	0.097	0.086	0.087	0.077	0.065
90	0.30	0.356	0.198	0.191	0.160	0.156	0.142	0.126
90	0.40	0.412	0.299	0.318	0.155	0.169	0.237	0.126

Çizelge 7.11: SB'nin SQR yöntemini kullandığında elde edilen toplam kâr.

SB	Rakip	Toplam kâr							
		L_0	MU	SB	SC1	SC2	MC1	MC2	LC1
30	0.10		5,855	436	-594	-1,253	-1,380	-2,190	-1,084
30	0.15		7,947	1,542	-563	3,065	4,558	6,327	4,550
30	0.20		9,020	3,052	3,309	3,636	3,872	5,807	3,465
30	0.30		15,438	8,327	11,019	14,410	15,692	16,611	21,742
30	0.40		19,237	7,733	6,647	12,623	11,768	16,761	16,567
60	0.10		9,630	-746	-382	-878	-1,470	-3,017	-893
60	0.15		13,148	2,109	58	1,852	2,188	3,003	1,236
60	0.20		16,352	3,667	2,259	4,956	4,544	6,015	5,683
60	0.30		24,315	7,216	6,617	4,361	4,243	11,777	7,647
60	0.40		29,284	7,241	8,736	6,193	11,439	15,868	13,597
90	0.10		19,314	461	-136	2,163	-3,487	5,074	965
90	0.15		20,993	3,069	2,731	3,425	4,287	2,850	3,803
90	0.20		20,795	2,041	1,866	3,444	3,393	4,467	3,836
90	0.30		29,772	5,185	4,028	6,533	6,551	9,928	8,579
90	0.40		38,441	2,393	8,458	10,414	5,700	19,707	10,384

Çizelge 7.12: SB'nin SQR yöntemini kullandığında kazanılan ihale sayısı.

SB	Rakip L_0	Kazanılan ihale sayısı						
		MU	SB	SC1	SC2	MC1	MC2	LC1
30	0.10	33.0	45.0	45.2	78.1	83.1	120.4	115.3
30	0.15	32.9	40.1	57.3	71.1	83.9	119.3	115.4
30	0.20	48.1	50.9	47.1	79.2	77.5	112.7	104.5
30	0.30	59.4	41.8	63.1	72.6	89.1	99.6	94.4
30	0.40	84.8	41.7	39.7	69.8	65.6	107.9	110.4
60	0.10	46.3	49.8	50.4	79.3	74.7	113.2	106.2
60	0.15	56.2	47.8	44.4	69.7	74.2	114.7	113.0
60	0.20	70.3	37.9	54.0	82.0	61.8	117.8	96.2
60	0.30	91.8	44.0	47.3	84.6	50.6	97.8	103.9
60	0.40	98.4	38.1	47.9	57.6	61.8	116.8	99.4
90	0.10	59.3	38.6	46.8	79.4	86.2	98.4	111.3
90	0.15	65.0	51.8	34.4	87.5	69.0	101.6	110.7
90	0.20	80.5	41.8	43.1	74.7	75.0	101.3	103.6
90	0.30	100.5	39.4	38.7	68.9	66.4	104.0	102.2
90	0.40	111.7	15.3	36.3	80.3	64.3	113.7	98.3



EK 5

Çizelge 7.13: SB'nin A-SQR yöntemini kullandığında elde edilen birim kâr.

SB	<i>Rakip</i> L_0	Birim kâr						
		MU	SB	SC1	SC2	MC1	MC2	LC1
30	0.10	0.327	0.016	-0.013	0.020	0.058	0.024	-0.006
30	0.15	0.295	0.023	0.074	0.102	0.062	0.024	0.065
30	0.20	0.255	0.058	0.090	0.101	0.108	0.065	0.085
30	0.30	0.277	0.200	0.209	0.219	0.212	0.142	0.152
30	0.40	0.313	0.260	0.270	0.245	0.283	0.231	0.197
60	0.10	0.253	0.031	-0.03	0.015	0.013	0.008	0.020
60	0.15	0.274	0.080	0.055	0.048	0.045	0.035	0.033
60	0.20	0.368	0.218	0.195	0.172	0.170	0.181	0.131
60	0.30	0.423	0.307	0.313	0.306	0.289	0.207	0.239
60	0.40	0.359	0.379	0.372	0.079	0.276	0.091	0.298
90	0.10	0.354	0.022	0.009	0.019	-0.043	-0.002	0.002
90	0.15	0.359	0.095	0.077	0.062	0.058	0.034	0.077
90	0.20	0.360	0.039	0.046	-0.080	-0.052	-0.007	-0.033
90	0.30	0.407	0.211	0.184	0.127	0.089	0.146	0.121
90	0.40	0.439	0.295	0.275	0.198	0.158	0.218	0.187

Çizelge 7.14: SB'nin A-SQR yöntemini kullandığında elde edilen toplam kâr.

SB	Rakip	Toplam kâr							
		L_0	MU	SB	SC1	SC2	MC1	MC2	LC1
30	0.10		6,252	-655	-1,955	1,372	2,572	426	-2,004
30	0.15		8,053	298	2,579	5,532	2,263	1,456	4,310
30	0.20		9,152	1,571	2,648	5,775	3,938	3,623	4,904
30	0.30		15,545	6,036	7,424	10,678	8,226	12,312	13,317
30	0.40		20,587	7,474	8,404	13,081	10,711	17,149	14,335
60	0.10		10,472	772	-3,993	282	-608	-927	1,126
60	0.15		13,299	1,852	914	785	1,331	702	396
60	0.20		17,584	4,725	6,860	10,090	6,582	11,033	13,426
60	0.30		25,159	7,938	10,431	15,734	10,777	14,716	17,552
60	0.40		30,859	4,872	10,917	3,838	6,117	10,924	19,579
90	0.10		21,548	-641	-793	-702	-4,880	-2,550	-914
90	0.15		25,339	1,719	841	1,611	3,341	758	5,164
90	0.20		21,527	395	1,201	-8,091	-3,569	-2,284	-2,291
90	0.30		33,017	3,172	5,932	2,745	2,756	9,952	7,942
90	0.40		41,594	4,522	8,588	5,679	6,190	14,915	12,554

Çizelge 7.15: SB'nin A-SQR yöntemini kullandığında kazanılan ihale sayısı.

SB	Rakip	Kazanılan ihale sayısı								
		L_0	MU	SB	SC1	SC2	MC1	MC2	LC1	LC2
30	0.10			26.9	46.1	56.3	79.5	68.4	133.8	109.0
30	0.15			42.9	49.0	51.9	76.6	76.3	114.4	108.9
30	0.20			42.8	74.9	48.8	76.1	68.1	100.7	108.6
30	0.30			68.1	42.6	52.4	71.7	50.2	118.0	117.0
30	0.40			80.5	43.4	49.2	77.6	55.0	113.3	101.0
60	0.10			50.7	41.9	69.3	69.5	65.4	118.0	105.2
60	0.15			57.4	41.8	54.6	74.1	70.0	119.3	102.8
60	0.20			61.8	32.0	53.6	86.7	69.7	92.2	124.0
60	0.30			76.7	34.7	45.9	70.9	56.7	124.0	111.1
60	0.40			104.0	18.0	44.5	119.5	29.0	132.5	72.5
90	0.10			71.3	35.4	62.5	56.8	102.5	103.7	87.8
90	0.15			87.2	29.8	45.4	68.6	80.7	125.7	82.6
90	0.20			68.7	28.7	35.7	102.0	95.7	111.3	78.0
90	0.30			96.8	28.6	53.9	62.9	85.7	97.4	94.7
90	0.40			112.9	26.8	51.2	61.2	80.2	92.7	95.0



EK 6

Çizelge 7.16: SB'nin kilometre başına ortalama kazanan teklif değerleri.

L_0	MU	LR	KM	GRD	SQR	A-SQR
30	0.10	1.524	1.841	1.812	1.755	1.827
30	0.15	1.544	1.845	1.833	1.769	1.837
30	0.20	1.553	1.861	1.835	1.773	1.854
30	0.30	1.582	1.893	1.863	1.794	1.880
30	0.40	1.602	1.926	1.885	1.811	1.907
60	0.10	1.295	1.754	1.720	1.680	1.728
60	0.15	1.312	1.760	1.727	1.686	1.759
60	0.20	1.327	1.779	1.754	1.685	1.754
60	0.30	1.364	1.818	1.786	1.723	1.806
60	0.40	1.393	1.857	1.818	1.737	1.838
90	0.10	1.275	1.668	1.649	1.586	1.663
90	0.15	1.288	1.691	1.674	1.607	1.676
90	0.20	1.310	1.703	1.681	1.618	1.697
90	0.30	1.349	1.748	1.724	1.639	1.738
90	0.40	1.394	1.793	1.762	1.693	1.780



EK 7

Çizelge 7.17: SB'nin HM yöntemini kullandığında elde edilen birim kâr.

SB	<i>Rakip</i>		Birim kâr						
	L_0	MU	SB	SC1	SC2	MC1	MC2	LC1	LC2
30	0.10	0.229	0.031	0.040	-0.016	0.007	0.007	-0.007	
30	0.15	0.261	0.077	0.085	0.025	0.048	0.050	0.036	
30	0.20	0.270	0.121	0.130	0.065	0.088	0.091	0.078	
30	0.30	0.289	0.205	0.217	0.141	0.164	0.169	0.160	
30	0.40	0.302	0.281	0.295	0.211	0.235	0.242	0.234	
60	0.10	0.321	0.019	0.029	-0.001	-0.014	0.020	0.037	
60	0.15	0.342	0.064	0.074	0.041	0.026	0.064	0.080	
60	0.20	0.361	0.108	0.119	0.082	0.065	0.105	0.123	
60	0.30	0.361	0.191	0.201	0.159	0.139	0.184	0.205	
60	0.40	0.363	0.266	0.276	0.228	0.206	0.257	0.276	
90	0.10	0.401	0.043	0.032	-0.004	-0.015	0.005	0.008	
90	0.15	0.406	0.088	0.077	0.037	0.025	0.048	0.050	
90	0.20	0.410	0.131	0.122	0.076	0.064	0.088	0.091	
90	0.30	0.404	0.213	0.203	0.151	0.138	0.164	0.168	
90	0.40	0.398	0.283	0.277	0.220	0.202	0.236	0.238	

Çizelge 7.18: SB'nin HM yöntemini kullandığında elde edilen toplam kâr.

SB	Rakip	Toplam kâr									
		L ₀	MU	SB	SC1	SC2	MC1	MC2	LC1	LC2	
30	0.10	2,186.08	14.71	145.65	-3,228.32	-1,086.98	-1,123.17	-2,354.05			
30	0.15	3,459.84	1,753.13	1,572.90	798.16	2,288.48	1,630.76	563.01			
30	0.20	5,248.95	3,405.21	2,977.17	4,733.04	5,417.01	4,095.17	3,282.49			
30	0.30	10,073.88	6,176.84	5,447.46	11,673.26	11,054.06	8,555.18	8,198.51			
30	0.40	16,484.90	8,205.62	7,258.33	17,370.91	15,736.42	12,114.93	11,985.69			
60	0.10	4,510.99	-537.42	-112.62	-1,423.73	-2,850.00	256.24	1,196.47			
60	0.15	6,738.84	989.34	1,686.35	2,557.46	897.39	2,967.28	3,527.56			
60	0.20	9,481.29	2,426.59	3,372.55	6,432.51	4,410.33	5,472.26	5,680.85			
60	0.30	15,984.51	4,846.78	6,141.15	12,951.71	10,792.78	9,816.39	9,530.49			
60	0.40	24,558.10	6,732.89	8,070.77	17,770.92	15,813.46	13,124.74	12,130.20			
90	0.10	6,040.02	776.94	538.88	-1,959.73	-3,142.75	-1,449.12	-1,248.65			
90	0.15	8,880.48	2,220.57	2,146.32	1,712.86	610.30	1,260.67	1,316.56			
90	0.20	12,158.28	3,543.90	3,663.87	5,089.84	4,073.17	3,760.09	3,671.07			
90	0.30	20,451.03	5,741.76	6,105.18	10,974.14	10,249.17	7,893.22	7,546.82			
90	0.40	30,050.81	7,346.37	7,854.13	15,441.02	14,672.39	11,074.30	10,324.42			

Çizelge 7.19: SB'nin HM yöntemini kullandığında kazanılan ihale sayısı.

SB	Rakip	Kazanılan ihale sayısı						
		L_0	MU	SB	SC1	SC2	MC1	MC2
30	0.10	17.70	52.12	44.40	125.95	106.87	85.10	87.87
30	0.15	23.32	51.48	43.77	124.65	105.68	84.13	86.97
30	0.20	30.50	50.73	43.30	123.22	104.20	82.50	85.55
30	0.30	48.82	48.30	41.63	118.97	100.48	79.37	82.43
30	0.40	72.32	45.28	39.17	113.67	96.25	75.20	78.12
60	0.10	21.90	45.83	52.80	122.15	120.28	81.85	75.18
60	0.15	28.78	45.20	51.98	120.40	118.87	80.78	73.98
60	0.20	37.08	44.45	51.00	118.50	117.12	79.42	72.43
60	0.30	58.07	42.42	48.20	112.82	113.35	75.85	69.30
60	0.40	85.62	39.95	44.70	106.00	107.70	71.32	64.72
90	0.10	24.27	44.17	49.38	116.43	121.50	83.83	80.42
90	0.15	32.58	43.22	48.43	114.77	119.58	82.23	79.18
90	0.20	42.20	42.47	47.37	112.52	117.20	80.72	77.53
90	0.30	66.20	39.93	44.92	107.30	112.25	76.17	73.23
90	0.40	94.32	37.27	41.77	101.27	106.00	71.27	68.12



EK 8

Çizelge 7.20: SB'nin EHM yöntemini kullandığında elde edilen birim kâr.

SB	<i>Rakip</i>		Birim kâr					
	L_0	MU	SB	SC1	SC2	MC1	MC2	LC1
30	0.10	0.284	0.031	0.039	-0.017	0.005	0.006	-0.008
30	0.15	0.285	0.076	0.085	0.023	0.045	0.049	0.035
30	0.20	0.272	0.119	0.129	0.062	0.086	0.088	0.076
30	0.30	0.263	0.201	0.213	0.135	0.160	0.165	0.157
30	0.40	0.257	0.274	0.289	0.207	0.230	0.235	0.228
60	0.10	0.333	0.019	0.027	-0.002	-0.016	0.020	0.035
60	0.15	0.328	0.063	0.072	0.039	0.024	0.062	0.078
60	0.20	0.323	0.106	0.115	0.079	0.062	0.103	0.120
60	0.30	0.309	0.188	0.198	0.155	0.134	0.181	0.200
60	0.40	0.302	0.260	0.269	0.222	0.201	0.251	0.271
90	0.10	0.372	0.042	0.032	-0.007	-0.017	0.003	0.007
90	0.15	0.360	0.087	0.077	0.033	0.023	0.045	0.048
90	0.20	0.349	0.130	0.119	0.072	0.062	0.085	0.087
90	0.30	0.325	0.204	0.196	0.145	0.131	0.162	0.161
90	0.40	0.319	0.278	0.270	0.212	0.194	0.230	0.229

Çizelge 7.21: SB'nin EHM yöntemini kullandığında elde edilen toplam kâr.

SB	Rakip	Toplam kâr								
		L_0	MU	SB	SC1	SC2	MC1	MC2	LC1	LC2
30	0.10			4,363	-8	105	-3,372	-1,274	-1,195	-2,429
30	0.15			6,005	1,654	1,541	572	1,955	1,440	375
30	0.20			8,007	3,159	2,873	4,268	5,082	3,753	2,930
30	0.30			12,359	5,666	5,155	10,710	10,353	7,925	7,532
30	0.40			17,483	7,467	6,811	16,297	14,708	11,202	11,022
60	0.10			8,054	-537	-177	-1,582	-3,006	211	1,004
60	0.15			10,515	919	1,493	2,276	627	2,773	3,220
60	0.20			13,191	2,228	3,001	5,865	3,986	5,132	5,248
60	0.30			19,388	4,503	5,518	11,732	9,853	9,093	8,606
60	0.40			26,374	6,071	7,172	16,171	14,556	12,196	10,985
90	0.10			11,229	769	497	-2,256	-3,322	-1,498	-1,321
90	0.15			13,985	2,127	2,004	1,153	269	1,058	997
90	0.20			17,045	3,386	3,335	4,407	3,606	3,395	3,055
90	0.30			23,695	5,247	5,416	9,706	8,984	7,210	6,518
90	0.40			31,351	6,740	6,957	13,767	12,947	9,989	9,141

Çizelge 7.22: SB'nin EHM yöntemini kullandığında kazanılan ihale sayısı.

SB	Rakip L_0	MU	Kazanılan ihale sayısı						
			SB	SC1	SC2	MC1	MC2	LC1	LC2
30	0.10		24.40	51.13	43.95	83.90	86.82	124.55	105.25
30	0.15		33.18	50.42	43.28	82.65	85.37	122.70	103.85
30	0.20		41.00	49.27	42.63	80.78	83.48	120.77	102.07
30	0.30		62.08	46.50	40.57	77.13	79.90	115.75	98.07
30	0.40		87.23	43.20	37.92	72.65	75.37	110.23	93.40
60	0.10		36.77	44.73	51.32	80.27	73.45	119.33	118.20
60	0.15		47.23	43.97	50.17	78.88	71.88	116.88	116.63
60	0.20		52.03	42.82	48.77	77.13	70.08	114.57	114.60
60	0.30		77.78	40.63	45.62	72.98	65.83	107.97	109.18
60	0.40		106.65	37.92	41.78	68.63	61.00	100.83	103.18
90	0.10		51.17	42.88	47.90	80.72	77.42	112.95	118.27
90	0.15		58.63	41.82	46.70	78.90	75.68	110.72	115.97
90	0.20		65.64	40.67	45.37	76.95	73.30	108.07	113.30
90	0.30		89.38	37.82	42.30	72.07	69.03	102.43	106.97
90	0.40		118.55	35.05	39.12	67.13	64.15	96.05	99.95



ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Evren OLCAYTU
Uyruđu : T.C.
Dođum Tarihi ve Yeri : 05.08.1983, GÖLCÜK
E-posta : eolcaytu@etu.edu.tr, evrenolcaytu@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2005, Deniz Harp Okulu, Endüstri Mühendisliği
- **Yüksek Lisans** : 2013, Deniz Harp Okulu, Barbaros Deniz Bilimleri ve Mühendisliği Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği
- **Doktora** : 2019, TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

Yıl	Yer	Görev
2005-2008	TCG GÖKSU	Atış Kontrol Subayı
2008-2011	Hücumbot Filosu K.lığı	Öğretim, İdari İşlem ve Planlama Subayı
2011-2011	TCG GÖKOVA	Top ve G/M Subayı
2011-2013	Deniz Harp Okulu	Yüksek Lisans
2013-2016	Genelkurmay Başkanlığı	Lojistik Analiz Subayı
2016-2019	Tak.Glř.Dokt. ve Anlz.Mrk.K.lığı	Analiz Subayı
2018-2019	Deniz Harp Merkezi K.lığı	Harp Oyunu Model Geliřtirme Subayı

Yıl Madalya

2006 NATO Article 5 Medal for Operation Active Endeavor

2018 NATO Non-Article 5 Medal for Operation Resolute Support

YABANCI DİL: İngilizce (Advanced), Almanca (Beginner)

TEZDEN TÜRETİLEN YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER:

- **Olçaytu, E.**, Kuyzu, G., 2018. Synergy Based Bidding Method for Simultaneous Freight Transportation Auctions, EURO Mini Conference on "Advances in Freight Transportation and Logistics", March 7-9, Padova, Italy.
- **Olçaytu, E.**, Kuyzu, G., 2018. Synergy Based Bidding Method for Simultaneous Freight Transportation Auctions, Transportation Research Procedia, 30, 295-303.
- **Olçaytu, E.**, Kuyzu, G., 2019. Location Based Distribution Estimation for Stochastic Bid Price Optimization, Transportation Letters, 1-15.

DİĞER YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER:

- Yıldız, B., **Olçaytu, E.**, 2017. The Recharging Infrastructure Design Problem with Capacitated Recharge Stations and Stochastic Demands, INFORMS Annual Meeting, October 22-25, Houston, USA.
- Yıldız, B., **Olçaytu, E.**, and Şen, A., 2019. The Urban Recharging Infrastructure Design Problem With Stochastic Demands and Capacitated Charging Stations, EURO Working Group on Locational Analysis Meeting (EWGLA), June 5-7, Brussels, Belgium.
- Yıldız, B., **Olçaytu, E.**, and Şen, A., 2019. The Urban Recharging Infrastructure Design Problem With Stochastic Demands and Capacitated Charging Stations, Transportation Research Part B: Methodological, 119, 22-44.