

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DOKTORA TEZİ

**Dinamik Tam Kamyon Yüklü Araç Rotalama Probleminin
Ajan Tabanlı Yaklaşım ile Çözülmesi**

Selin ÇABUK

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Haziran, 2023

İÇİNDEKİLER

ÖZ	I
ABSTRACT	II
ÇİZELGELER DİZİNİ	IV
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	V
SİMGELER VE KISALTMALAR	VII
1. GİRİŞ	1
1.1. Problemin Tanımı	1
1.2. Çalışmanın Amacı	7
1.3 Çalışmanın Kapsamı	8
1.4. Çalışmanın Adımları	9
1.5. Çalışmanın Özgün Katkıları.....	10
1.6. Çalışmanın Organizasyonu.....	11
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	13
2.1. Lojistikte Operasyon Yönetimi	13
2.2. Tam Kamyon Yüklü Araç Rotalama Problemleri	13
2.3. Literatürün Genel Değerlendirilmesi	20
3. MATERYAL ve METOT	21
3.1. Materyal	21
3.2. Metot	21
3.2.1. Lojistikte Dinamik Optimizasyon Problemleri İçin Çözüm Yaklaşımları.....	21
3.2.2. Problemin Formülasyonu	25
3.2.3. Geliştirilen İhaleye Dayalı Çoklu Ajan Dinamik Optimizasyon Yaklaşımı	29
3.2.4. Geliştirilen Simülasyon Modeli.....	47
3.2.5. Simülasyon Deneylerinin Tasarımı.....	47
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	53
4.1. Örnek Uygulama	53
4.2. Takas Mekanizması Uygulaması	78
4.3. Simülasyon Sonuçlarının Analizi	81
4.3.1. Birim Maliyet Sonuçları	81
4.3.2. Birim Kar Sonuçları.....	86
4.3.3. Talep Kabul Oranı Sonuçları.....	91
4.3.4. Dolu Gidilen Km Oranı (%) Sonuçları	95
4.3. Hesaplama Süresi Analizi.....	100
5. SONUÇLAR	103
5.1. Çalışmanın Özeti	103

5.2. Sonuçlar.....	103
5.3. Sonraki alıřmalar için neriler	105
KAYNAKÇA	107
ZGEMİř	111



ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DOKTORA TEZİ

**Dinamik Tam Kamyon Yüklü Araç Rotalama
Probleminin Ajan Tabanlı Yaklaşım ile Çözülmesi**

Selin ÇABUK

Danışman: Prof. Dr. Rızzvan EROL

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

ÖZ

Günümüzün karmaşık ve dinamik taşıma ağlarında artan enerji maliyetleri ve çevresel etkiler nedeniyle ürünlerin veya hammaddelerin noktalar arasında en düşük maliyeti sağlayacak şekilde optimum araç atama ve rotalama kararları ile gerçekleştirilmesi büyük bir önem arz etmektedir. Dinamik ve stokastik koşullara göre araç rotalama probleminin hem matematik modelleme hem de çözüm karmaşıklığı bakımından ciddi zorlukları barındırdığı bilinen bir gerçektir.

Bu çalışmada, dinamik tam kamyon yüklü araç atama ve rotalama probleminin özel bir varyantı ele alınmıştır. Bu amaçla, lojistik sektöründe sıvı taşımacılığı yapan büyük ölçekli bir araç filosuna sahip bir firmanın süreçleri kapsamlı bir şekilde incelenmiş ve yükleme/boşaltma zaman penceresi, farklı işlevli noktalar, heterojen filo, çoklu depo, çok seferli taşıma, çoklu dorse tipi, çoklu yük tipi ve seferler arası hazırlık süresi gibi özellikleri de içeren literatürdeki benzer problemlerden farklı özgün bir problem formülasyonuna ulaşılmıştır. Bu dinamik optimizasyon probleminin çözümü için çoklu akıllı ajan yaklaşımı seçilmiş ve amaca uygun ajan tasarımları, araç atama ve rotalama algoritmaları geliştirilmiştir. Geliştirilen yaklaşımın performansını incelemek amacıyla, farklı çevresel koşullar (sistem sıkışıklık oranı, çok seferli talep oranı) ve farklı algoritma parametre seviyeleri (cevap verme süresi, takas mekanizmasının aktif olup olmaması) altında simülasyon deneyleri yapılarak senaryo analizi gerçekleştirilmiştir. Simülasyon deneyleri sonucunda, geliştirilen algoritmaların makül sürelerde dinamik koşullara cevap verebilen etkin çözümler üretebildiği görülmüştür. Ayrıca, gelen taşıma taleplerine uzun cevap verme süresinin uygulanması ve araçlara önceden yapılan sefer atamalarının gerektiğinde takas mekanizması ile değiştirilmesine izin verilmesi halinde maliyetlerde, karlılıkta, araç doluluk oranlarında ve talep kabul oranlarında ciddi düzeyde iyileşme sağlandığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: dinamik optimizasyon, araç rotalama, tam kamyon yük, çoklu ajan modelleme

Solving Dynamic Full Truckload Vehicle Routing Problem Using An Agent-Based Approach

Selin ÇABUK

Advisor: Prof. Dr. Rızzvan EROL

Department of Industrial Engineering

ABSTRACT

In today's complex and dynamic transportation networks due to increasing energy costs and adverse environmental impact, it is crucial to transport goods or raw materials across a network in such a way that all vehicle assignment and routing decisions are taken to minimize all related costs. Vehicle routing problems under dynamic and stochastic conditions are known to be very challenging in both mathematical modeling and computational complexity.

In this study, a special variant of the full truck load vehicle assignment and routing problem is investigated. For this purpose, first, a detailed analysis of the processes in a liquid transportation logistics firm with a large fleet of tanker trucks is conducted. Then, a new original problem with distinctive features as compared to the similar studies in the literature, which includes loading/unloading time windows, nodes with different functions (loading/unloading, washing facility, parking) heterogen trucks, multiple trips, multiple trailer types, multiple load types and setup times between changing load types is formulated.

An intelligent multi-agent based approach is selected to solve this dynamic optimization problem along with the development of appropriate agent designs, vehicle assignment and routing algorithms. In order to assess the performance of the proposed approach under varying environmental conditions (e.g., system congestion ratio, ratio of orders with multiple trips) and different algorithmic parameter levels (e.g., latest response time to orders, whether swap option is active or inactive), a detailed scenario analysis is conducted based on a set of designed simulation experiments. As a result of these simulation runs, it is found out that the developed algorithms are able to provide good and efficient solutions responding to dynamic conditions. Furthermore, using longer latest response times and activating the swap mechanism appear to have a very significant positive impact on the relevant costs, profitability, ratios of loaded trips over the total distance travelled, and the acceptance ratios of customer demand.

Keywords: dynamic optimization, vehicle routing, full-truck load, multi-agent modeling

TEŞEKKÜR

Harcadığım emeğin bir ürünü olarak hazırladığım tezimin konusu ile ilgili katkılarıyla beni her zaman yönlendiren, ayrıca danışmanım olmasından onur duyduğum saygıdeğer hocam sayın Prof. Dr. Rızvan EROL'a teşekkürlerimi sunarım.

Doktora tezimin hazırlanması sürecinde danışmanım sayın Prof. Dr. Rızvan EROL ile birlikte tez izleme komitesinde yer alan hocalarım sayın Doç. Dr. Mustafa GÖÇKEN ve sayın Doç. Dr. Yusuf KUVVETLİ değerli katkılarıyla tezimin oluşmasında beni yönlendirdiler. Değerli görüşleri için kendilerine teşekkürlerimi sunarım.

Doktora tez jürimde jüri üyesi olarak bulunan ve tez konumla ilgili olumlu görüşlerini paylaşan değerli hocalarım sayın Prof. Dr. Adil BAYKASOĞLU ve sayın Doç. Dr. Cenk ŞAHİN'e teşekkür ederim.

Son olarak, tezimin başlangıcından son aşamasına kadar hazırlanması sürecinde her zaman destekleri ile yanımda olan annem sayın Prof. Dr. Serap ÇABUK'a, babam sayın Prof. Dr. H. Altan ÇABUK'a, ve ağabeyim sayın Opr. Dr. Yusuf Sertan ÇABUK'a ayrı ayrı teşekkürlerimi sunarım.

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1. Çoklu sefer oranı %20 için sefer sayıları dağılımı.....	48
Çizelge 3.2. Dağıtım ağı noktalarından yükleme olasılıkları.....	49
Çizelge 3.3. Farklı durumlar için sıkışıklık oranları	50
Çizelge 4.1. Yük Tipi Bilgileri Tablosu.....	60
Çizelge 4.2. Başlangıç Araç Bilgileri Tablosu.....	60
Çizelge 4.3. Birim Yıkama Maliyetleri (TL/yıkama) Tablosu.....	60
Çizelge 4.4. Yıkama Süreleri (saat) Tablosu	60
Çizelge 4.5. Sipariş Bilgileri Tablosu	61
Çizelge 4.6. 1 Nolu Siparişe Atanan Araçların İşlem Planları.....	62
Çizelge 4.7. 1 Nolu Siparişe Teklif Veren ve Teklifi Kabul Edilen Araçlar	62
Çizelge 4.8. 2 Nolu Siparişe Atanan Araçların İşlem Planları.....	63
Çizelge 4.9. 4 Nolu Siparişe Teklif Veren ve Teklifi Kabul Edilen Araçlar	65
Çizelge 4.10. 5 Nolu Siparişe Teklif Veren ve Teklifi Kabul Edilen Araçlar	66
Çizelge 4.11. 5 Nolu Siparişe Atanan Araçların İşlem Planları.....	66
Çizelge 4. 12. 7 Nolu Siparişe Teklif Veren ve Teklifi Kabul Edilen Araçlar	67
Çizelge 4.13. 7 Nolu Siparişe Atanan Araçların İşlem Planları.....	68
Çizelge 4.14. 8 Nolu Siparişe Teklif Veren ve Teklifi Kabul Edilen Araçlar	70
Çizelge 4.15. 9 Nolu Siparişe Teklif Veren ve Teklifi Kabul Edilen Araçlar	70
Çizelge 4.16. 8 Nolu Siparişe Atanan Araçların İşlem Planları.....	71
Çizelge 4.17. 9 Nolu Siparişe Atanan Araçların İşlem Planları.....	71
Çizelge 4.18. 10 Nolu Siparişe Atanan Araçların İşlem Planları.....	73
Çizelge 4.19. 11 Nolu Siparişe Teklif Veren ve Teklifi Kabul Edilen Araçlar	75
Çizelge 4.20. 12 Nolu Siparişe Teklif Veren ve Teklifi Kabul Edilen Araçlar	75
Çizelge 4.21. 11 Nolu Siparişe Atanan Araçların İşlem Planları.....	75
Çizelge 4.22. 12 Nolu Siparişe Atanan Araçların İşlem Planları.....	76
Çizelge 4.23. 14 Nolu Siparişe Atanan Araçların İşlem Planları.....	77
Çizelge 4.24. Yük Talepleri Bilgileri.....	78
Çizelge 4.25. Araç Bilgileri	78
Çizelge 4.26. Araçların Siparişlere Verdikleri Teklifler	81

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1. Dinamik optimizasyonda farklı yaklaşımların gerçek optimumu izleme performansının karşılaştırılması (Erol ve ark., 2012).....	25
Şekil 3.2. Araçların taleplere göre taşıma planı gösterimi	26
Şekil 3.3. Önerilen ihale-teklif sistemine dayalı bir lojistik planlama sistemi.....	30
Şekil 3.4.Sipariş ajanı zaman değişkenleri.....	31
Şekil 3.5. Sipariş ajanı ihale akış diyagramı	33
Şekil 3.6. Teklif toplama algoritması	34
Şekil 3.7. Sipariş ajanı ve Araç ajanı etkileşim diyagramı.....	35
Şekil 3.8. Sipariş ve Araç Ajanları arasında taşıma akış protokolü	35
Şekil 3.9. Araç Ajanı sipariş teklif hazırlama akış diyagramı.....	36
Şekil 3.10. Araç Ajanı sipariş teklif hazırlama akış diyagramı-2	37
Şekil 3.11. Sipariş Ajanı teklif değerlendirme algoritması	38
Şekil 3.12. Araç Ajanı teklif hazırlama algoritması.....	39
Şekil 3.13. Araç Ajanı dorse uygunluk kontrolü.....	39
Şekil 3.14. Sevkiyat Ajanı araç atama çizelgesi kontrol algoritması	40
Şekil 3.15. Araç Ajanı Kabul Edilen Siparişler Listesi.....	40
Şekil 3.16. Araç Ajanı İçin Örnek Bir Taşıma Operasyonları Dizisi.....	41
Şekil 3.17. Maliyet hesaplama akış diyagramı.....	42
Şekil 3.18. Araç Ajanı Sipariş Maliyeti Hesaplama Algoritması.....	43
Şekil 3.19. Sevkiyat Ajanı atama karlılık kontrol algoritması	44
Şekil 3.20. Araçların Taşıma Planları Arası Takas Mekanizması.....	44
Şekil 3.21. Yeni Sipariş ve Filo Maliyeti Hesaplama Algoritmaları	46
Şekil 3.22. Takas Mekanizması Algoritması	47
Şekil 4.1. Araç tanımlama ekranı	53
Şekil 4.2. Yük Tipi tanımlama ekranı	54
Şekil 4.3 Yıkama Süreleri Matrisi Ekranı	55
Şekil 4.4. Yıkama Maliyetleri Matrisi Ekranı.....	55
Şekil 4.5. Sipariş/Talep tanımlama ekranı	56
Şekil 4.6. Dağıtım ağındaki noktaların konumu	57
Şekil 4.7. Noktalar Arası Mesafe Matrisi.....	57
Şekil 4.8. Test Senaryosu tanımlama ekranı	58
Şekil 4.9. Örnek araç bilgileri ekranı	59
Şekil 4.10. Örnek sipariş bilgileri ekranı	59
Şekil 4.11. 1 Nolu Sipariş Gelince Oluşan Araç Rotası.....	63
Şekil 4.12. 2 Nolu Sipariş Gelince Oluşan Araç Rotası.....	64

Şekil 4.13. 3 Nolu Sipariş Gelince Oluşan Araç Rotası	65
Şekil 4.14. 5 Nolu Sipariş Gelince Oluşan Araç Rotası	67
Şekil 4.15. 6 Nolu Sipariş Gelince Oluşan Araç Rotası	68
Şekil 4.16. 7 Nolu Sipariş Gelince Oluşan Araç Rotası	69
Şekil 4.17. 8 Nolu Sipariş ve 9 Nolu Sipariş Gelince Oluşan Araç Rotası	72
Şekil 4.18. 10 Nolu Sipariş Gelince Oluşan Araç Rotası	74
Şekil 4.19. 11 ve 12 Nolu Sipariş Gelince Oluşan Araç Rotası	76
Şekil 4.20. 13 Nolu Sipariş Gelince Oluşan Araç Rotası	77
Şekil 4.21. Takas Uygulaması GANNT Şeması	80
Şekil 4.22. Cevap Verme Süresi ve Takas Mekanizmasının Birim Maliyete Etkisi	82
Şekil 4.23. Çok Seferli Talep Oranı ve Takas Mekanizmasının Birim Maliyete Etkisi	82
Şekil 4.24. Çok Seferli Talep Oranı ve Cevap Verme Süresinin Birim Maliyete Etkisi	83
Şekil 4.25. Cevap Verme Süresi ve Sıkışıklık Oranının Birim Maliyete Etkisi	84
Şekil 4.26. Takas Mekanizması ve Sıkışıklık Oranının Birim Maliyete Etkisi	85
Şekil 4.27. Çok Seferli Talep Oranı ve Sıkışıklık Oranının Birim Maliyete Etkisi	86
Şekil 4.28. Cevap Verme Süresi ve Takas Mekanizmasının Birim Kara Etkisi	87
Şekil 4.29. Çok Seferli Talep Oranı ve Takas Mekanizmasının Birim Kara Etkisi	88
Şekil 4.30. Çok Seferli Talep Oranı ve Cevap Verme Süresinin Birim Kara Etkisi	88
Şekil 4.31. Cevap Verme Süresi ve Sıkışıklık Oranının Birim Karlılığa Etkisi	89
Şekil 4.32. Sıkışıklık Oranı ve Takas Mekanizmasının Birim Kara Etkisi	90
Şekil 4.33. Çok Seferli Talep Oranı ve Sıkışıklık Oranının Birim Kara Etkisi	90
Şekil 4.34. Cevap Verme Süresi ve Takas Mekanizmasının Talep Kabul Oranına Etkisi	91
Şekil 4.35. Çok Seferli Talep Oranı Ve Takas Mekanizmasının Talep Kabul Oranına Etkisi	92
Şekil 4.36. Çok Seferli Talep Oranı Ve Cevap Verme Süresinin Talep Kabul Oranına Etkisi	92
Şekil 4.37. Cevap Verme Süresi ve Sıkışıklık Oranının Talep Kabul Oranına Etkisi	93
Şekil 4.38. Sıkışıklık Oranı ve Takas Mekanizmasının Talep Kabul Oranına Etkisi	94
Şekil 4.39. Sıkışıklık Oranı ve Çok Seferli Talep Oranının Talep Kabul Oranına Etkisi	95
Şekil 4.40. Cevap Verme Süresi ve Takas Mekanizmasının Etkisi	96
Şekil 4.41. Çok Seferli Talep Oranı ve Takas Mekanizmasının Dolu Gidilen Km Oranına Etkisi ..	97
Şekil 4.42. Çok Seferli Talep Oranı ve Cevap Verme Süresinin Dolu Gidilen Km Oranına Etkisi ..	98
Şekil 4.43. Cevap Verme Süresi ve Sıkışıklık Oranının Dolu Gidilen Km Oranına Etkisi	98
Şekil 4.44. Sıkışıklık Oranı ve Takas Mekanizmasının Dolu Gidilen Km Oranına Etkisi	99
Şekil 4.45. Çok Seferli Talep Oranı ve Sıkışıklık Oranı Dolu Gidilen Km Oranına Etkisi	100
Şekil 4.46. Araç Sayısının CPU Süresine Etkisi	101
Şekil 4.47. Sefer Sayısının CPU Süresine Etkisi	101

SİMGELER VE KISALTMALAR

3PL	: Üçüncü Parti Lojistik
ARP	: Araç Rotalama Problemi
DO	: Dinamik Optimizasyon
EEA	: En Erken Alım Zamanı
EET	: En Erken Teslim Zamanı
EGA	: En Geç Alım Zamanı
EGT	: En Geç Teslim Zamanı
FTL	: Tam Kamyon Yüğü Taşımacılığı
FTPDP	: Tam Kamyon Yüğü Toplama ve Teslimat Problemi
LTL	: Tam Kamyon Yüğünden Daha Az Taşımacılık

1. GİRİŞ

1.1. Problemin Tanımı

Dünyada ve Türkiye’de son yıllarda büyük gelişme gösteren lojistik sektörü, ekonomilerde çok önemli bir yere sahiptir. Özellikle üretim ve ticaret konusu gündeme geldiğinde lojistik faaliyetler daha fazla önem kazanmaktadır. Lojistik kavramı, hammaddenin başlangıç noktasından, ürünün tüketildiği son noktaya kadar gerçekleşen süreç içerisinde her türlü bilgi akışının sağlanması, depolama ve envanter faaliyetlerinin gerçekleşmesi ile sürecin verimli ve minimum maliyette planlaması ve kontrol altına alınması şeklinde tanımlanabilir (Sezer,2018).

Lojistik sektörü tüm dünyada ve ülkemizde giderek hızla gelişmektedir. Küreselleşen dünyada, ülkelerin ekonomilerinin gelişmesinde lojistik sektörünün oldukça önemli bir yeri vardır. Ülkelerin gelişmesi için lojistik alt yapı yatırımlarını doğru şekilde planlayıp, bu yatırımlara doğru zamanda, doğru ölçekte sahip olmaları büyük önem taşımaktadır. Lojistik sektöründeki problemlerin hızlı ve düşük maliyetle çözülmesi bu sektörde başarılı olmayı sağlar. Dünyada uluslararası ticaretin artması lojistik faaliyetlerin önemini arttırmış ve düzenli olarak yapılan lojistik faaliyetlerle, bu faaliyetlerin ekonomideki etkileri ölçülebilir hale gelmiştir. Lojistik faaliyetlerin en önemli unsurlarından biri taşımacılıktır. Bundan dolayı, küreselleşme yolunda, taşımacılıktaki gelişmeler ülkelerin dünya ekonomisinde bir araya gelerek bütünleşmelerinde önemli rol oynamıştır.

Dünya ticaretinde meydana gelen gelişmeler ve 1980 sonrasında Türkiye'nin ihracata önem vererek büyüme stratejilerini gerçekleştirmesi sonucu artan dış ticaret hacmi, Türk lojistik sektörünün güçlü adımlar atmasına neden olmuştur. Bu gelişmeler sonrası kurumsal yapıda ve altyapıda var olan eksikliklere rağmen Türkiye lojistik sektörü, bulunduğu bölgedeki mevcut ve potansiyel pazarlara hizmet verebilecek seviyeye ulaşmıştır. Lojistik hizmetlerde artan Rekabetin önemi lojistik sektörünü girişimciler açısından cazip bir yatırım alanı haline getirmiştir. Yerel ve ulusal çoğu firma, lojistik hizmeti verme yolunda önemli ilerlemeler gerçekleştirmiştir. Bunlarla beraber küresel firmalar Türkiye pazarına yönelerek, satın almadan, birleşme ya da doğrudan sermaye yatırımlarına kadar sektörde etkin olmaya başlamıştır. Lojistik sektörünün gelişmeye başlaması dış ticarete Türk işletmelerinin rekabet gücünü artırırken, istihdam alanında da önemli katkılar sağlamıştır.

Ürünlerin en kısa sürede ve en az maliyetle ulaşımının oldukça önemli olduğu bir ortamda firmaların hayatta kalabilmesi için etkin lojistik yönetimi yapma ihtiyacı ön plana çıkmaktadır. Günümüzde lojistik sistemlerindeki karmaşıklık düzeyinin giderek artması ve buna paralel olarak taşıma maliyetlerinin toplam maliyet içerisindeki payının artmasından dolayı etkin lojistik yönetiminin yapılması giderek daha da önemli bir hal almaktadır.

Tedarik zinciri lojistiği, birçok işletmenin rekabet gücünün merkezinde yer alır ve bu nedenle optimizasyona dayalı karar verme için çok çaba gerektirir. Araç rotalama problemleri (ARP) ise, lojistik yönetimi karar verme sistemlerinde karşılaşılan en kritik problemlerden biri olarak karşımıza

çıkılmaktadır. Talep noktalarına sunulan hizmet kalitesini artırmak, maliyetleri azaltmak ve ağ içerisinde araçların takip edeceği en uygun rotaları bulmak ARP' nin temel amaçlarıdır.

ARP, lojistikte önemli bir yere sahiptir ve birçok lojistik uygulamanın temelini oluşturmaktadır. Bu problemlerin en iyi şekilde çözülmesi, işletmenin taşıma maliyetleri ve sürelerinde büyük oranda tasarruf etmesini sağlayacaktır. Kısa sürede optimum veya optimuma yakın “iyi” rota planlarının elde edilebilmesi, firmalara maliyet avantajı sağlayarak rekabet üstünlüğü fırsatı sunmaktadır. Farklı çözüm yaklaşımları ve farklı alanlarda uygulanabilmeleri ile gelişmeye açık olmaları, firmaların maliyetlerini minimize etme veya karlarını maksimize etme avantajları sayesinde, araç rotalama, firmalar ve akademik çalışmalar için motivasyon kaynağı olmuştur. Araç rotalama problemine zaman boyutunun da eklenmesiyle daha karmaşık bir yapıya sahip olan dinamik araç rotalama problemleri elde edilmektedir. Dinamik araç rotalama problemi, karmaşık ve zor olması ve gerçek hayatta sık karşılaşılmaması sebebiyle dikkat çekmektedir (Eser, 2021).

ARP, bilindiği üzere NP-zor türü optimizasyon problemlerdir ve zaman penceresi, araç kapasitesi ve diğer uygunluk kısıtları ele aldığımız problemi çok daha zor hale getirmektedir. Ek olarak, günümüzde Üçüncü Parti Lojistik (3PL) sistemlerinde, müşterilerin belirli zaman diliminde taşınması gereken binlerce taşıma talebi olabilmektedir. Pratikte bu tür problemler için en iyi sonuçları elde eden optimal bir algoritma bulmanın güç olmasından sebeple, yapılan araştırmaların çoğunluğu makul sürelerde tatmin edici bir çözüme ulaşan algoritma bulmaya odaklanmıştır.

ARP'nin çeşitlerine ve problem türlerine göre birçok çözüm tekniği üzerine çalışmalar yapılmıştır. Bu problemler üzerine çalışma yapan araştırmacılar çoğunlukla müşteriler, teslimat noktaları, talepler vs. gibi temel bilgilerin önceden bilindiği statik problemlerle ilgilenmiştir. Fakat araç rotalama problemi gerçek dünyada dinamik bir yapıya sahiptir. Başka bir deyişle; müşteri taleplerine ilişkin bilgilerin bir kısmı bilinse dahi, zaman içerisinde kademeli olarak müşteri sayısı ve talep miktarı değişebilmektedir. Gerçek hayatta araç rotalama ve planlama problemlerinin çözümünde verimlilik, basitlik ya da optimallik ölçütleri arasından en az birinden ödün vermek gerekse bile pratikte gereksinimleri karşılayabilmek için basit, hızlı ve stabil çalışan bir sisteme ihtiyaç vardır.

ARP, optimum rotayı bulmaya dayalı bir grup müşteriye bir veya daha fazla aracın hizmet vermeyi amaçlayan, sıklıkla çalışılan kombinatoriyel optimizasyon problemleridir. En klasik ve çok karşılaşılan türü, bir dağıtım merkezi, bir grup müşterinin bulunduğu konumlar, bir grup uygun aracın bulunduğu ortamda araç kapasitesi, zaman penceresi gibi ilgili sistem kısıtlarını sağlayan ve müşteri taleplerine uyan araçlar için minimum maliyette rotanın bulunacağı (kapasiteli) araç rotalama problemidir (Wang, 2021). Kapasite kısıtlı araç rotalama problemi, talebin her bir müşteriyle ilişkilendirildiği klasik ARP' nin en çok çalışılan uzantısıdır. Her aracın aşılamayacak bir kapasitesi vardır ve araç dolduğunda (veya boşaldığında) depoya geri döner.

Açık uçlu ARP, araçların turları sonunda depoya geri dönmediği kapasite kısıtlı araç rotalama probleminin bir türüdür. Her rota, en son hizmet verilen müşteride sona erer (Soto ve ark.,

2017). Kapalı uçlu araç rotalama problemi, tüm araçların depoda turlarına başlayıp, tekrar turlarını depoda bitirdikleri araç rotalama problemi türüdür.

Zaman pencereli bir araç rotalama problemi, teslimatın müşteriler tarafından verilen belirli bir zaman aralığında yapılmasını gerektirir. Bu problemde her müşteriye belli bir zaman aralığında ulaşılması gerekir. Aracın talep noktasına gelme zamanı, belirli bir zaman aralığı içinde olmalıdır. Eğer araç müşteriye daha erken ulaşmış ise başlangıç zamanına kadar beklemesi gerekmektedir. Zaman pencereli araç rotalama probleminde amaç zaman penceresine uyularak minimum maliyetle rotalamanın yapılmasıdır. Öncelikle müşterinin istediği zaman aralığında hizmet vermek, sonra rotanın optimize edilmesi yoluyla çözüme ulaşılır.

Toplama ve teslim etme ile ARP, müşterilerin bazı malları iade etme olasılığının düşünüldüğü bir araç rotalama problemidir. Amaç araç akışını ve toplam dolaşım süresini minimize etmek ve bunu yaparken araçların malları müşterilere dağıtmak için ve müşterilerden topladığı malları depoya getirmek için yeterli kapasiteye sahip olmasına dikkat etmektir.

Çok depolu ARP, birden fazla deponun dikkate alındığı ve araçların tahsis edilen turların sonunda çıkış depolarına geri döndüğü bir varyanttır. Çok sayıda müşteriye hizmet götürecek birden fazla kaynak noktası bulunduğu, her kaynağa atanacak müşteriler ile bu müşteriler arasındaki en uygun rotanın bulunması problemi ile karşılaşmaktadır. Bu problem genelde birden fazla tedarikçi, fabrika ya da deponun aynı ürünü bir den fazla müşteriye ulaştırma çabası şeklinde günümüzde uygulama alanı bulmaktadır. Çok depolu ARP’de araçlar birden fazla depoda bulunabilir ve toplam maliyeti minimize edecek ve toplam talepler karşılanacak şekilde araç sayısı minimize edilmeye çalışılır

Heterojen filoya sahip araç rotalama problemi, filonun boyutunu ve bileşimini de belirlemenin gerekli olduğu yerlerde her türden araç sayısı sınırlı veya sınırsız olduğu ARP çeşididir. Mesafe kısıtlı ARP’de, rotalara atanmış olan her bir aracın gidebileceği maksimum bir mesafe limitinin olduğu araç rotalama problemidir.

Mesafe kısıtlı araç rotalama probleminde; rotalara atanmış olan her bir aracın gidebileceği maksimum bir mesafe limitinin olduğu araç rotalama problemidir.

Bölünmüş talepli araç rotalama probleminde, bir noktaya birden fazla aracın hizmet edebildiği araç rotalama problemi türüdür. Bu tür araç rotalama probleminde gelen talep araç kapasitesini aşarsa, birden fazla araca bölünerek taşınabilmektedir.

Tam kamyon yüklü araç rotalama problemi, kamyonun kapasitesinin tamamına yakın büyük bir kısmının veya tamamının doldurulduğu, müşteriye ait aynı veya benzer ürünlerin taşındığı, taşınan yükün bir veya daha fazla sayıda taşıma aracına yüklenerek, arada herhangi bir aktarma yapılmadan, yükleme noktasından boşaltma noktasına doğrudan ulaştırmanın yapıldığı taşımacılık türüdür.

Taşınacık eşyalar bir aracı dolduracak kadar fazlaysa tam kamyon yük taşıma yöntemi tercih edilir. Tam kamyon yüklü taşımacılık genellikle kara yolu taşımacılık modu ile yapılır. Tam kamyon

yük taşımacılığı, nakliye şirketi sahibi için hem de işveren firma için oldukça uygun ve rahat taşıma sistemidir. Nakliye şirketi sahibi bu sayede, ihbar, faturalama, yük yükleme ve indirme sırasındaki bekleme süreleri sonucunda meydana gelen ek masrafları en aza indirmiş olur. Ayrıca, tam kamyon yükü sistemi, taşınacak yükü, herhangi bir aktarma yapmadan, yükleme noktasından alıcıya doğrudan ulaştırdığı için en hızlı nakliye seçeneğidir. Sürücü, yükün doldurulması ve indirilmesi ve yüklenmiş yükün emniyetinin sağlanması gibi işlemler için daha az süre harcar.

Türkiye'nin dış ticaretinde karayolu taşımacılığı değer bazında denizyolundan sonra ikinci sırada yer almaktadır. Yurt içi yük taşıma faaliyetlerinde karayolu %89,22 oranında tercih edilmektedir. TÜİK verilerine göre 1990 yılında 257 bin olan kamyon sayısı 2020 yılının Kasım ayı sonunda yaklaşık %333 oranında artış göstererek 859 bine yükselmiştir. 1960'lı yıllara kadar ülkemizde uluslararası yük taşımacılığı %90'ı aşan oranda deniz yolu ile gerçekleştirilirken artık raporlara göre yük taşımacılığı alanında karayolu kullanım oranı ülkemizde %76,1 civarındadır (Utikad, 2020). 2021 yılı itibarıyla Türkiye'de yük taşımacılığının %90'ı karayolu ile yapılmaktadır. 1950'lerde karayolu taşımacılığının taşımacılık içindeki payı %17 olup, yıllar geçtikçe karayolu taşımacılığının payı artmıştır (Utikad, 2022)

Taşımacılık sektöründe çok önemli bir yere sahip olan tam kamyon yükü taşımacılık yükün hızlı ve profesyonel şekilde ulaşmasını sağlayan bir taşıma modeli olarak karşımıza çıkar. Yükün güvenli ve emniyetli bir şekilde yüklenmesi, indirilmesi, tüm taşıma işlemleri tam kamyon yükü taşımacılık ile çok daha rahat ve güvenilir bir şekilde yapılır.

Bu çalışmada, iki nokta arası tam yük taşımacılığı yapan firmalarda karşılaşılan bir problem olan, çoklu araçlar ve çoklu yüklerden meydana gelen dinamik bir tam kamyon yüklü araç atama ve rotalama problemi ele alınmıştır. Problemde, araçlar dorse ve çekici olmak üzere iki bileşenden oluşmaktadır. Araçlar farklı tipte dorselerin farklı özellik göstermelerinden dolayı çok çeşitlidir (örneğin; sac, krom, izoleli, soğutmalı, vb.). Problemde talepler büyük ve küçük tonajlı spot yüklerden oluşmaktadır. Yük tipleri birbirinden farklı özellikler gösterebilmektedir (örneğin; yağlar, kimyasal sıvılar, vb.). Ayrıca her yük türü her araç dorsesiyle taşınmayıp, kendi türüne uygun dorse tipiyle taşınabilmektedir. Yüklerin alınması ve bırakılmasıyla ilgili olarak, müşteri talebine göre zaman penceresi tanımlanabilmektedir. Dağıtım ağı üzerindeki noktalar (liman, fabrika, depo); gelen talebe göre, yükleme, boşaltma veya hem yükleme hem boşaltma noktası olabilmektedir. Farklı tipte bir sıvının aynı araç üzerinde taşınmasından önce araç yıkama işleminden geçebilmektedir. Araç dorse tipinin yük taşımaya uygun olmaması durumunda araçların belirli noktalarda dorse değişim işleminden geçmesi söz konusu olabilmektedir. Burada amaçlanan firmaya en yüksek karlılığı sağlayacak şekilde siparişlere atanacak en uygun araçları ve bu araçların rotalamasını bulmaktır.

Literatürdeki tam kamyon yüklü ARP ile ilgili farklı çalışmalarda farklı özellikler ele alınmıştır. Bu çalışmada ise öncelikle bu şekilde yük taşımacılığı yapan bir firmanın süreçleri detaylı bir şekilde incelenmiştir. Bu inceleme sonucunda gerçek hayatta bu problemde olması gereken karakteristikler ve özellikler tespit edilmiştir. Bu tespit neticesinde zaman penceresi, heterojen filo,

araç kapasite kısıtı gibi araç rotalama problemlerinde karşılaşılan birçok özellik problem formülasyonunda ele alınmasına karar verilmiştir. Çalışmada yer alan sisteme dinamik olarak sürekli gün içinde taşıma talepleri düşmektedir. Bu yük tiplerinin farklı dorse tipleriyle taşınabilmesi durumundan kaynaklı heterojen araç filosu ele alınmıştır. Heterojen filolu araç rotalama problemlerinde atanacak araç-dorse kararının verilecek olması homojen filonun ele alındığı araç rotalama problemlerine göre karar değişkenlerinin sayısını arttırdığından daha karmaşık bir yapıdadır. Ayrıca müşteriler yüklerin alınmasını ya da bırakılmasını istedikleri zamanları belirten iki adet zaman penceresi belirtebilmektedirler. Uygulamada araçların, farklı noktalardan/ depolardan rotaları başlayıp, farklı noktalarda rotaları son bulabilmektedir ve rotaya başladıkları noktalara dönmeyebilmektedirler. Birden fazla depolu olarak ele aldığımız problemde farklı depolardan/noktalardan araçlar hareket edebiliyor olup, araçların rotaya başladıkları noktalara geri dönme zorunlulukları bulunmamaktadır. Araçlar, bir yük tipinden başka yük tipine geçerken yıkama veya dorse değişim işlemlerini gerçekleştirebilmektedir. Araçların taşıma işlemleri arasında bu tür hazırlık zamanlarının da dikkate alınıyor olması probleme ek kısıtlamalar getirmiştir. Ayrıca araçlara konulan kapasite kısıtlamasıyla, araçların belirli olan kapasitelerinden daha fazla yüklerin söz konusu olduğu durumda araçlar çoklu sevkiyata maruz kalabilmektedir. Bu bağlamda, aynı aracın aynı noktaya birden fazla kez sefer yapması ya da birden fazla araca aynı yükün bölünerek taşınmasına izin veriliyor olması, problemde birden fazla atama kararının aynı anda değerlendirmesine yol açar.

Araç rotalama problemlerinin çoğunda ayrı ayrı dikkate alınan zaman penceresi, heterojen filo, kapasite kısıtının hepsi bir arada tam kamyon yüklü araç rotalama probleminde ele alınıyor olması problemdeki karar değişkenleri ve kısıtlamaların sayısını arttırmış ve problemin matematiksel olarak çözümünü zorlaştırmıştır. Ek olarak, ele alınan bu tam kamyon yüklü araç rotalama probleminde araçların rotaya başladıkları depoya/noktaya rotalarının sonunda geri dönmeleri zorunlu bırakılmamıştır. Ayrıca ele alınan çalışmada talebin dinamik yapıda olması sebebiyle, dinamik talep değişimlerine kolay adapte olabilip, karmaşık yapıdaki problemlere daha kolay çözümler elde edilebileceği düşüncesiyle dinamik optimizasyon tekniklerinde en çok kullanılan ajan tabanlı yöntemlerin ele alınan problemi çözmede kullanılmasına karar verilmiştir.

Gerçek hayat problemlerinde sürekli değişen koşullara uygun gerçek zamanlı çözümler elde etmek, günümüz teknolojik ilerlemeleri ışığında gerekli olmaktadır. Planlama sırasında bilinen bilgilerde değişiklikler, yeni bilgilerin dinamik olarak meydana gelmesi, sistemde birtakım dinamik değişikliklere yol açmaktadır. Dinamik talep değişikliklerine anlık cevap veren lojistik yönetim sistemlerinde; gerçek zamanlı veriler göz önünde bulundurarak verilen kararlar son derece önem arz etmektedir. Doğru şekilde işlenebilirse; gelişmiş teknoloji ve sistemler aracılığıyla gerçek zamanlı elde edilen büyük miktardaki bu verilerin, maliyetleri düşürmek, karlılığı arttırmak ve hizmet kalitesini arttırmada kullanılabileceği açık şekilde görülmektedir. Bu doğrultuda araç atama ve rotalama modelleri de hızla gelişmeye devam etmektedir. Bazı çözüm yaklaşımları gerçek zamanlı sağlanan verilerle uyum içinde çalışabilecek yapı ve özelliklere sahip iken, bazıları bu verilerle

maksimum faydayı elde edebilecek uyumu gösterememektedir. Lojistik ve taşımacılık sektörünün doğası gereği sahip olduğu dağıtık veri ve bağımsız operasyon yapısı nedeniyle merkezi olmayan karar verme sistemlerine çok daha uygundur. Bir ulaşım ağı ya da lojistik sisteminde kaynaklar ve varlıklar genellikle dağıtık durumda olduğundan ve operasyonlar anlık değişikliklere uğrayabildiğinden, her bir bileşen kendi bağımsız hedeflerine ulaşmak için proaktif kararlar alabilmelidir. Çoğunlukla bu tür hızla değişen dinamik ortamlarda kullanılan sistemlerden biri olan ajan tabanlı sistemlerin, lojistik alanı için esnek ve otonom çözüm kabiliyeti sağlayabileceği düşünülmüştür.

Ajan tabanlı sistemler, dağıtık endüstriyel sistemlerin kontrolünde, daha esnek, güvenilir, uyarlanabilir ve yeniden kullanılabilir çözümler sağlayan yaklaşımlardan biridir. Dinamik ve merkezi olmayan sorunlara çözüm olarak, çoklu ajan tabanlı sistemler daha çok bilgisayar ve yazılım bilimi literatüründe önerilmiştir. Bu tür sistemler, fiziksel veya fonksiyonel varlıklarla bağlantılı çoklu etkileşimli akıllı yazılım birimlerinden oluşur. Ajanlar kendi amaç ve hedefleri doğrultusunda bağımsız olarak hareket edebilirler. Her bir bağımsız ajan, sistemin kısmi bir görünüşüne sahip olsa bile, ajanlar veri alışverişi ve bir takım karar mekanizmalarını kullanarak kendi aralarında etkileşim kurabilirler. Bu etkileşim ve haberleşme yapısının sağladığı avantajlarla ulaşım, kapasite ve rota planlama kararlarına yardımcı olabileceklerini söyleyebiliriz.

Ajan tabanlı sistemlerin tüm tanımlamaları ve karakteristikleri göz önüne alındığında, taşıma/ulaştırma alanının ajan/etmen araştırması için çok uygun olduğu fikrine ulaşılmıştır, çünkü taşıma alanı genel olarak merkezi olmayan, dağıtık ve dinamiktir. Lojistik sistemlerinde ajanlar; dağıtıcı, iletici, gönderici, alıcı, taşıyıcı, yük taşıma görevlileri v.b. daha yüksek organizasyonel birimlerin yanı sıra taşıma talepleri, yükler veya yükleme birimlerini temsil edebilir. Bunları bir ajan tipi olarak temsil ettikten sonra, dinamik problemlerde optimal veya optimale yakın çözümler bulmak için ajan tabanlı sistemlerin yeteneklerini kullanabiliriz. Sistemin başarısı ve en iyi çözüme ulaşması ajan davranışlarının bir bütün olarak nasıl yapılandırıldığıyla ilgilidir. Bu doğrultuda; sistemi iyi bir performansa ulaştırmak ve dağıtık sistem bileşenlerini güçlendirmek için, ajanlar arasındaki koordinasyon ve bilgi alışverişinin kalitesi son derece önemlidir.

Geleneksel yazılım ortamlarında çoklu ajan mimarisinin son derece esnek, eşzamanlı ve modüler sistemleri uygulamanın etkili bir yolu olduğu gösterilmiştir. Bu tür sistemlerde, yazılım araçları oldukça özektir, mevcut girdilerine göre tepki verir ve genellikle öğrenme ve akıl yürütme yeteneği sergiler. En azından, bu tür yazılım araçları, ortamlarındaki değişikliklere uygun şekilde tepki verme yeteneğine sahiptir. Genellikle öngörülemeyen olaylara tepki vermek için tasarlanırlar (Cil ve Mala, 2010).

MAS yaklaşımı, dağıtılmış sistemleri kontrol etmek için daha fazla esneklik, güvenilirlik, uyarlanabilirlik ve yeniden yapılandırılabilirlik sağlamak için umut verici görünmektedir (İbri ve ark, 2010). Ajan tabanlı modelleme ve simülasyon (ABMS), otonom/özerk ajanların etkileşiminden oluşan karmaşık sistemlerin modellenmesinde nispeten yeni bir yaklaşımdır (Macal ve North, 2010).

Birden fazla yazılım ajanı işbirliği içinde veya rekabetçi olarak birlikte olduklarında, bu sistemlere çoklu ajan sistemleri denir. Çoklu ajan sistemleri, genellikle yeniden yapılandırılabilir yazılım ve donanım sistemleri ve endüstriyel sistemler gibi ele alınması kompleks problem alanlarında kullanılır (Baykasoğlu ve Kaplanoğlu, 2010).

Ajan veya çoklu ajana dayalı sistemlerin tüm tanımları ve özellikleri göz önüne alındığında, ulaştırma alanının tamamen merkezi olmayan, dağıtık, dinamik olması nedeniyle, ulaştırma alanının ajan araştırması için uygun olduğu sonucuna varılabilir. Göndericiler, alıcılar, ileticiler, taşıyıcılar, yük taşıma görevlileri v.b. daha yüksek organizasyonel birimlerin yanı sıra yükler veya yükleme birimleri (konteynerlar v.b.) ajanlara olarak temsil edilebilirler. Bunları bir ajan olarak temsil ettikten sonra, dinamik bir yoldan optimal (veya optimale yakın) çözümler bulmak amacıyla taşıma birimleriyle rekabet edip, işbirliği yaptırarak ajan tabanlı sistem yeteneklerini kullanabiliriz. Çoklu ajan teknolojisi, dinamik ve uyarlanabilir çevrelerde otonom ve esnek problem çözme özellikleri sağlar. Lojistik alanı için çoklu ajana dayalı sistemlerin uygun olmalarının nedenleri aşağıda listelenmiştir (Baykasoğlu ve Kaplanoğlu, 2015):

- i. Lojistik alanı doğası gereği dağıtıktır.
- ii. Planlama sürecinde yüksek ölçüde dinamiklik vardır.
- iii. İnsan deneyimi (zeka) planlama operasyonları için kullanılır.
- iv. Çok sayıda çevresel faktör vardır.
- v. Partiler arası iş birliğine ihtiyaç duyulur.
- vi. Dağıtık ve dinamik kaynaklar kullanılır.

1.2. Çalışmanın Amacı

Çalışmanın ana amacı; sistemde oluşabilecek dinamik olaylara göre araç atama ve rotalama kararlarının sistem karını maksimize edecek şekilde dinamik olarak güncellenerek en uygun araç rotalarının belirlenmesidir.

- i. Dinamik yük koşullarında tam yük taşımacılık yapan firmaların araç atama ve rotalama problemlerindeki etkinliğini arttırmak,
- ii. Tam kamyon yüklü araç rotalama problemlerinde dinamik yük koşulları altında uygun, iyi bir performansla araç atama ve rotalamasını yapacak efektif bir ajan tabanlı sistem geliştirmek ve bu koşullarda herhangi bir değişiklik olduğunda ajan tabanlı sistemin performansının nasıl değiştiğini incelemek,
- iii. Dinamik talep durumuna karşı çözüm geliştiren ajan tabanlı bir sistemde teklif değerlendirme, teklif hazırlama, maliyet hesaplama algoritmalarını kullanacak sipariş, araç ve sevkiyat ajanlarını tanımlamak,

- iv. Sistemde yük tipi ve yük büyüklüğünün farklı olduğu koşullarda iyi çözümler üretebilecek algoritmalar geliştirmek,
- v. Geliştirilecek olan algoritmaların çalışma parametreleri için ideal değerleri belirlemek,
- vi. Ajan tabanlı sistemlerle bu tip problemlerin çözülmesinin yaratacağı sonuçları incelemek,
- vii. Problemden ele alınan araç sayısı, siparişler arası geliş süresi, cevap verme süresi, büyük yük sayısının küçük yük sayısına oranı parametrelerinin sistem performans ölçütlerine etkisini inceleyerek, sistemin farklı senaryolar altında vereceği tepkileri test etmek. Ayrıca sistemde kullanılan takas mekanizmasının sistemdeki etkinliği ve performans ölçütlerine etkisini göstermek.

1.3. Çalışmanın Kapsamı

Çalışmada, zaman pencereli tam kamyon yüklü araç rotalama problemi ele alınmıştır. Dinamik gelen farklı türlerde siparişlere en uygun kamyon atamasını yaparak ve bu kamyonların rotası bulunarak sistem karını maksimize edecek kamyon ataması ve rotalaması elde edilecektir. Bir ajan tabanlı modelleme yaklaşımı bu problemi çözmek üzere önerilmiştir. Çalışmadaki zaman pencereli tam kamyon yüklü araç rotalama problemi aşağıdaki durumlarda ele alınmıştır:

- i. Çalışma, yüklerin araçlara atanması ve atandıkları araçların rotalaması kararları beraber alınmıştır.
- ii. Çalışmada ele alınan tam kamyon yüklü araç rotalama problemi, zaman penceresi, kapasite kısıtı, heterojen filo kısıtlarıyla birlikte ele alınmıştır.
- iii. Problem, konumları birbirinden farklı olan fabrika ve depo noktalarından meydana gelmektedir.
- iv. Problem, birden fazla sayıda yük ve aracın olduğu ortamda ele alınmıştır.
- v. Problemden, yıkama maliyeti, dorse değişim maliyeti, aracın boş ve dolu yakıt maliyetleri, sabit maliyetler(şoför, sigorta, bakım)dikkate alınmıştır.
- vi. Araçlar üzerinde taşıdıkları dorse türüne göre birbirlerinden farklı özellikler gösterebilmektedir.
- vii. Yükler sıvı ele olarak ele alınmış olup spot yüklerden meydana gelmektedir. Sıvı yük tiplerinin yükün türüne uygun dorse tipiyle taşınabilmesi bakımından ve yıkanmaları esnasında harcanan efor ve süre bakımından farklı özellikler göstermektedir.
- viii. Problemden yük birleştirmeye izin verilememekte olup, her araç aynı zamanda tek tür sıvıyı taşıyabilmektedir.
- ix. Sipariş gelir hesaplamasında belirli bir ücret tarifesi esas alınmaktadır. Bu tarife göre hesaplanan gelirden oluşacak maliyet çıkarılarak sistemin karlılığı hesaplanmaktadır. Sistemin toplam karlılığına göre araç atama ve rotalama kararları alınmaktadır.

- x. Sistemin uzun dönem performansına bakılmıştır.

1.4. Çalışmanın Adımları

Çalışma süresince aşağıdaki adımlar izlenmiştir:

- i. *Problemin tanımlanması:* Problemi tanımlarken taşımacılık sektörü üzerine incelemeler yapılmıştır. İncelemede özel olarak ulusal ölçekte Türkiye’de tam kamyon yük taşımacılık yapan firmalarda var olan sistemler incelenmiştir. Bu sistemlerde var olan önemli sorunlar, süreç sahiplerinin beklentileri ve problemlerin zorlukları kapsamında incelemeler yapılmıştır. Problem formüle edilirken gerçek hayatta ulusal ölçekte tam kamyon yüklü taşıma yapan bir lojistik firmasının süreçleri incelenmiş olup, bu süreçlerdeki ihtiyaçlar doğrultusunda problem formüle edilmiştir. Bu kapsamda, iki nokta arası sıvı taşımacılığı yapan firmalarda karşılaşılan bir problem olan, çoklu araçlar ve çoklu yüklerden meydana gelen dinamik bir araç atama ve rotalama probleminin tanımlanması yapılmıştır. Problemde var olan zaman penceresi, çok depo, heterojen filo, araçlarda olan kapasite kısıtlaması formülasyon içinde beraber ele alınmıştır. Problem, gerçek hayatta karşılaşılan iki nokta arası yük taşımacılığı problemini dinamik gelen siparişlere göre sistemin toplam karını maksimum yapacak araç atama ve rotalamasını bulacak şekilde formüle edilmiştir.
- ii. *Literatürün incelenmesi:* Tam kamyon yüklü araç rotalama problemi ile ilgili daha önceden yapılmış çalışmalar detaylı bir şekilde incelenmiştir. Literatürdeki var olan bu çalışmaların içerdikleri ek kısıtlamalar ile birlikte problem formülasyonları ve çözüm yöntemleri değerlendirilmiştir. Çalışmanın özgün katkıları ve literatüre katkısı bu aşamada belirtilmiştir.
- iii. *Önerilen Sistemin Açıklanması:* Problemin modellenmesi ve çözülmesinde ajan tabanlı modelleme yaklaşımı kullanılmıştır. Çoklu ajan sistemindeki teklif verme ve teklif değerlendirme sistemine dayalı gerçek zamanlı araç atama ve rotalarını belirleyen sistem geliştirilmiştir. Bu yaklaşım çerçevesinde kullanılan araç, sipariş ve sevkiyat ajanları tanımlanmış olup, bu ajanların kullandıkları teklif hazırlama, teklif değerlendirme, maliyet hesaplama, sipariş kabul/ret mekanizmaları detaylı bir şekilde açıklanmıştır.
- iv. *Örnek uygulama ve sonuçları:* Simülasyonla üretilmiş veriler yardımıyla modelin uygulaması ve doğrulanması yapılmıştır. Önerilen yöntemi gerçek hayat uygulamalarında kullanmak için bir kullanıcı ara yüzü geliştirilmiştir ve gerçek zamanlı sistem için bir örnek uygulama üzerinde simülasyonu yapılmıştır. Önerilen sistemin uygulaması ve test simülasyonları için C# programlama dili, Microsoft Asp.Net Core kütüphane altyapısı yardımıyla güncel web teknolojileri kullanılarak geliştirilmiş bir

uygulama arayüzü kullanılmıştır. Önerilen yaklaşımın gerçek hayattaki uygulamalarda kullanılabilirliği bir örnek çalışma üzerinde gösterilmiştir.

- v. *Senaryo Analizleri*: Modelde kullanılan cevap verme süresi, siparişler arası geliş süresi, araç sayısı, sipariş sayısı, büyük yük sayısının küçük yük sayısına oranı gibi parametrelerin değişimine göre sistemin performans ölçütleri olarak belirlenen km başı karlılık, km başı maliyet, sipariş kabul yüzdesi, araçların doluluk oranı olarak belirlenen performans ölçütlerine etkileri analiz edilmiştir.
- vi. *Sonuçların değerlendirilmesi*: Problemin çözümünden elde edilen bulguların değerlendirildiği gelecek çalışmalar için önerilerin yapıldığı adımdır.

1.5. Çalışmanın Özgün Katkıları

- i. Problem formülasyonu aşamasında tam yük taşımacılığı yapan firmaların ihtiyaçları da dikkate alındığında özellikle zaman penceresi, heterojen filo, kapasite kısıtı, çoklu depo karakteristiklerinin problemde beraber olarak ele alınması ihtiyacı saptanmıştır. Bu özelliklerin dikkate alınmasıyla tam kamyon yük taşımacılığı sektöründeki firmaların ihtiyaçlarının büyük bir kısmını daha yüksek oranda karşılayan bir problem formülasyonu elde edilmiştir. Tam kamyon yüklü araç rotalama problemi ile ilgili literatürdeki çalışmalara bakıldığında ise tüm bu sayılan özelliklerin her çalışmada ayrı ayrı sadece birkaçı ele alınmıştır. Bu kapsamda sayılan tüm bu özellikleri bir arada dikkate alarak, birebir bu çalışmadaki gibi formüle eden bir çalışmaya literatürde rastlanmamıştır.
- ii. Tam kamyon yüklü araç atama ve rotalama problemi dinamik olarak ele alınmıştır. Literatürde sınırlı sayıda dinamik tam kamyon yüklü araç rotalama problemini ele alan çalışmaya rastlanmıştır. Problemdeki talep, siparişlerin geliş zamanları, sipariş cevap verme süreleri, sipariş büyüklükleri ve yük çeşitlerinin dinamik olması problemi dinamik optimizasyon problemine dönüştürmekte olup, tam kamyon yük taşımacılığı ile ilgili dinamik çalışmalarda, pratikte karşılaşılan heterojen filo, kapasite kısıtı, zaman penceresi kısıtlarının beraber alındığı çalışmaya literatürde rastlanmamıştır. Bu problemde ele alınan kısıtlarla birlikte tam kamyon yüklü araç rotalama probleminin dinamik varyantına literatürde rastlanmamıştır.
- iii. Literatürde dinamik optimizasyon problemlerinin çözümünde genetik algoritma, parçacık sürü optimizasyonu, tasarruf algoritmaları vb., yaklaşımlar kullanılmıştır. Bu çalışma ile dinamik tam kamyon yüklü araç atama ve rotalama probleminin modellenmesi ve çözümünde ilk defa ajan tabanlı yaklaşım kullanılmıştır. Ajan tabanlı sistemlerin otonom, esnek ve hızlı çözüm sağlaması bakımından önemli katkı sunacağı

söylenebilir. Ajan tabanlı sistem içinde probleme özgü teklif verme, teklif değerlendirme, maliyet hesaplama, takas mekanizması algoritmaları geliştirilmiştir.

- iv. Ele alınan dinamik tam kamyon yüklü araç atama ve rotalama problemi için kullanılan ajan tabanlı sistem içinde geliştirilen algoritmaların cevap verme süreleri, sıklık, çok seferli yük oranlarının farklı olduğu ortamda ilk defa analizi yapılmıştır. Aynı zamanda problem için geliştirilen takas mekanizmasının olup olmaması durumuna göre sisteme etkisine bakılmıştır. Bu senaryolar altında nasıl bir performans gösterdiğine dair kapsamlı bir sayısal analiz yapılmıştır.

1.6. Çalışmanın Organizasyonu

Problemin ilk bölümü olan giriş bölümünde lojistik, taşımacılık ve araç rotalama problemi kavramlarına değinilmiş olup, lojistik sektörünün dünya ve Türkiye’deki öneminden bahsedilmiştir. Çalışmanın motivasyonu, problemin tanımlanması ile özgün katkılara da bu bölümde değinilmiştir. İkinci bölüm olan önceki çalışmalar bölümünde, ele alınan problemin girdiği sınıf olan tam kamyon yüklü araç rotalama problemine yakın olan çalışmalar verilmiştir. Ayrıca bu çalışmanın önceki çalışmalardan farkı ortaya konmuştur. Üçüncü bölümde problemin kapsamlı formülasyonu ve önerilen çözüm yöntemi olan ajan tabanlı yaklaşım anlatılmıştır. Dördüncü bölümde, ele alınan problemin gerçek hayatta bir firmadan alınan verilerle örnek uygulaması yapılmıştır. Ayrıca cevap verme süresi, sıklık oranı, çok seferli talep oranı gibi parametreler ile geliştirilen takas mekanizmasının sistem performans ölçütleri olan birim kar, birim maliyet, sipariş kabul oranı, dolu gidilen km oranına etkisine bakılmıştır. Son bölüm olan beşinci bölümde ise, elde edilen çalışmanın kısa bir özeti, elde edilen sonuçlar ve gelecek çalışmalarda nelerin yapılabileceğine değinilmiştir.



2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

2.1. Lojistikte Operasyon Yönetimi

Yük taşımacılığı genel olarak konsolide taşımacılık ve konsolide olmayan taşımacılık problemleri olarak sınıflandırılabilir. Konsolide taşımacılıkta, yükler bir servis ağının birden çok yoluna bölünerek taşınabilir ve yükler bazı yollar boyunca birleşerek transfer edilebilir. Bu süreç esnasında servis ağındaki bazı düğümler konsolidasyon merkezi görevi görür ve taşınacak olan yük varış noktasına varmadan önce birden fazla araçla taşınabilir. Konsolide olmayan taşımacılıkta yük, tek bir araçla doğrudan ve eksiksiz olarak varış noktasına ulaştırılır.

Yük taşımacılığı, lojistik hizmet sağlayıcıların veya taşıyıcıların müşterilerine son derece güvenilir ve yüksek kaliteli hizmetleri düşük fiyatlarla sunmak zorunda olduğu, oldukça rekabetçi bir pazardır. Yük taşımacılığı araştırmaları genellikle tam kamyon yükü taşımacılığı (FTL), kamyon yükünden daha az taşımacılık (LTL) ve ekspres teslimatlar olarak sınıflandırılır (Bai ve ark., 2015).

Konteyner taşımacılığı sektörü verimliliğini artırmak ve enerji kullanımını azaltmak için şiddetli rekabet ve baskı altındadır. Bu konuda gün geçtikçe daha fazla çalışma konteyner terminallerindeki operasyonların optimizasyonuna ayrılmıştır. (Bai ve ark., 2015).

Hem konsolide hem de konsolide olmayan taşımalar için yükün sevkiyatı tek yönlü veya çift yönlü olabilir. Tek yönlü taşımada, ulaştırma ağındaki her bir düğüm ya bir arz düğümüdür ya da bir talep düğümüdür, ancak ikisini bir arada olamazlar, çift yönlü taşımada ise düğümler hem arz hem de talep düğümü olabilirler.

Tek yönlü, konsolide olmayan taşıma problemleri, çeşitli araç rotalama problemi türlerinde karşılaşılmaktadır. Bunlar; Kapasite kısıtlı araç rotalama problemi, zaman pencereli araç rotalama problemi, çok depolu araç rotalama problemi olarak söylenebilir. Çift yönlü konsolide taşımacılık, kamyon yükünden daha az yük taşımacılığı için servis ağı tasarımı, ekspres dağıtım olarak söylenebilir.

Son kategori olan çift yönlü, konsolide olmayan taşımacılık ise teslim alma ve teslim etme ile birlikte araç rotalama problemi, tam kamyon yüklü araç rotalama ve tam kamyon yüklü taşıma probleminin özel bir durumu olan konteyner taşımacılığını içerir.

Çift yönlü tam kamyon yükü taşımacılığında, mallar ara duraklar veya herhangi bir aktarma olmaksızın eksiksiz olarak varış noktalarına sevk edilir. Konteyner taşımacılığı böyle bir problemin tipik bir örneğidir, çünkü bir konteynerin boyutu kamyonun kapasitesine eşittir. Dolayısıyla tam kamyon yükü ve konteynerlerin akışı (yüklü veya boş) çift yönlü olabilir.

2.2. Tam Kamyon Yüklü Araç Rotalama Problemleri

Bu çalışmada ele alınan problem çift yönlü birleştirilemeyen yük taşıma problemleri sınıfına girmektedir. Bu problem sınıfında ise tam kamyon yüklü araç rotalama problemi ve toplama ve teslimat içeren araç rotalama problemi olmak üzere iki alt ana başlık ortaya çıkmaktadır. Toplama

ve teslimat içeren araç rotalama probleminde araç varış noktasından önce ara nokta veya duraklarda mal alımı veya teslimatı yapabilmektedir.

Yük konteynerleri şeklinde tam kamyon yükü taşımacılığı, uluslararası ticarete en önemli taşıma modlarından birini temsil etmektedir. Tüm FTL problemleri arasında konteyner taşımacılığı, konteynerler hem nakliye malları hem de nakliye kaynakları olduğundan, tam kamyon yükü nakliye probleminin özel bir durumudur (Braekers ve ark, 2013).

Tüm tam kamyon yüklü problemler arasında, toplu(bulk) yük taşıma çok sayıda aracın kullanılmaya ihtiyaç duyulduğu özel bir durumdur. Böylece bu türde müşteri talebini karşılamak amacıyla araçların aynı ürünlerin çok seferli toplanıp dağıtımına imkan verilir. Toplu kamyon taşımacılığı genellikle, taşıyıcıların başka lokasyonlarda aktarım yapmadan belirli başlangıç noktalarından varış noktalarına tam kamyon yükleriyle taşındığı tam kamyon yüklü taşıma problemi ile karşı karşıyadır. Eğer, toplu taşımadaki her bir terminal, hem orijin hem de varış noktası olarak hizmet veriyorsa, bu çift yönlü tam kamyon yüklü araç rotalama problemi olarak adlandırılır. (Maneengam ve Udomsakdigool, 2018).

Tam kamyon yüklü araç rotalama problemi ilk olarak Ball ve ark .(1983) tarafından tanıtılmıştır, burada problem bir grup sipariş seçmekten ve gezilecek noktaların sırasını dikkate almadan problem kısıtlarını karşılamayı içerir. Siparişler karı maksimize etme amacıyla, yükleme ve boşaltma noktaları, talep, gelir veya kar tarafından karakterize edilir. Problemi çözmek için bir sezgisel algoritma önermişlerdir.

Desroisiers ve ark. (1988), çalışmalarında çok depolu ve homojen araç filosu ile birlikte bir tam kamyon yüklü araç rotalama problemini ele almışlardır. İki nokta arasında bir talebe hizmet vermesi amacıyla birçok yüke ihtiyaç duyulduğunda, talep aynı noktalar arasında bir kaç sayıda bağlantıya bölünür. Problem dal-sınır algoritmasıyla çözülmüştür.

Aranapuram ve ark. (2003) çalışmasında çok depolu tam kamyon yüklü araç rotalama problemini ele almış olup, bu problemin çözümünde dal-fiyat algoritması kullanmıştır. Çalışmada homojen kamyon filosu ele alınmış olup, boşa gidilen yolculuk mesafesinin minimizasyonu amaçlanmıştır. Bir karma tamsayı doğrusal programlama formülasyonu, çoklu toplama, dağıtım noktaları, opsiyonel siparişler ve yükleme kapasite kısıtları özelliklerini taşıyan tam kamyon yüklü toplama ve teslimat probleminin bir yeni varyantını modellemek için önerilmiştir. Farklı tasarruf sezgiselleri problemi çözmek için geliştirilmiştir.

Gronalt (2003) zaman penceresi kısıtı altında tam kamyon yüklü toplama ve teslimat probleminin formülasyonunu ilk olarak bu çalışmada ele almıştır. Çalışmada, gereksiz araç hareketlerinin minimizasyonu amaçlanmıştır. Ele aldıkları problemde, tüm siparişler tam kamyon yüküne birleştirilebilmektedir. Ürünler dağıtım merkezleri veya depolar arası taşınmakta olup, her bir kamyon farklı depolara bağlıdır, belli bir depoya atanırlar ve bu kamyonların depoya dönmesi zorunludur. Tüm siparişler başlangıçta biliniyor olup, temel problem statik olarak ele alınmıştır. Ele alınan problemde, araçlar farklı depolara bağlıdır ve planlama periyodu süresince birçok rotada

hareket edebilmektedirler. Problem için, dört farklı tasarrufa dayalı sezgisel geliştirilmiştir. Tabu arama meta sezgiselinin farklı varyantları problemi çözmek için önerilmiştir.

Curie ve Salhi (2004) çalışmalarında yol yapımındaki malzemelerin heterojen araç filo vasıtasıyla dağıtımını ele almışlardır. Problemde alım ve teslimatlar tam kamyon yükleri olarak görülmüştür. Araçlara taleplerin ayrılması firma tarafından önceden belirlenir. Amaç konteynerların, taşıyıcılar ve terminaller arası minimum maliyette taşınmasıdır. Problemi çözmek için bir Tabu arama sezgiseli sunmuşlardır.

Imai ve ark. (2007) çalışmalarında konteynerların tek bir modlar arası terminalden tek bir modlar arası terminale taşınmasını içeren tam konteyner yüklü kamyon rotalama problemini ele almıştır. Problemde dağıtım maliyetinin minimizasyonu amaçlanmıştır. Tam konteyner yükleme için bir Lagranja dayalı bir sezgisel algoritma ile çözülmüştür.

Caris ve Janssens (2009) çalışmalarında, Imai (2007) in ele aldığı zaman pencereci tam kamyon yüklü toplama ve teslimat problemine depo ve müşteri konumlarına zaman penceresi kısıtlarını ekleyerek genişletmişlerdir. Böylelikle konteynerların modlar arası taşınması zaman pencereci, tam kamyon yüklü, toplama ve teslimat problemi olarak modellenmiştir. Başlangıç çözümü bir iki aşamalı ekleme sezgisel metodu ile elde edilip, bir yerel arama sezgiseli problemi çözmek için geliştirilmiştir.

Zhang ve ark. (2009) çalışmasında siparişlerin hem başlangıç hem de varış noktasında zaman penceresi ile birlikte çoklu depoları içeren bir konteyner taşıma problemini çok depolu, zaman pencereci gezgin satıcı problemi olarak formüle etmiştir. Problemde heterojen araç filosu ele alınmış olup, toplam karsız geçen yolculuk zamanının minimizasyonu amaçlanmıştır. Bir küme metodu ve reaktif tabu arama algoritması problemi çözmek için geliştirilmiştir. Bu iki metod karmaşık tamsayılı programlama ile karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, özellikle reaktif tabu arama olmak üzere geliştirilen metotların problemi çözmede etkin kullanıldığını göstermiştir.

Liu ve ark. (2010) çalışmalarında tam kamyon yüklü, çok depolu, kapasiteli araç rotalama problemini ele almışlardır. Boş araç hareketlerini en aza indirmek amacıyla matematiksel bir programlama modeli ve buna karşılık gelen bir çizge teorisi modeli önermektedir. İki aşamalı bir aç güzlü(greedy) algoritma pratik büyük ölçekli problemleri çözmek için geliştirilmiştir. Araç filosu homojen ele alınmış olup, bir melez genetik algoritma tam kamyon yüklü toplama ve teslimat problemini çözmek için sunulmuştur.

Caris ve Janssens (2010) çalışmalarında Caris ve Janssens (2009) da ele aldıkları aynı problem için bir deterministik tavlama algoritması önermişlerdir. Bu çalışmada, modlar arası konteyner terminallerinin hizmet alanındaki ön ve son nakliye, tam kamyon yükü toplama ve teslimat problemi olarak modellenmiştir. Tek bir konteyner, terminalden bir müşteriye teslim edilmekte veya bir müşteri konumundan alınıp terminale iade edilmektedir. Problemde müşteriler için zaman pencereleri tanımlanmıştır. İki aşamalı bir ekleme buluşsal yöntemi geliştirilmiştir.

Liu (2010) çalışmasında tam kamyon yüklerindeki boş kamyon hareketlerini minimize etmek amacıyla 2 aşamalı aç gözlü (greedy) algoritması önermiştir. Bu çalışmada önerilen problemin bir orijinalliği kaynaklardaki rotalar arası senkronizasyona dayanır. Lokal arama sezgiseli problemi çözmek için önerilmiştir. Bu çalışmada, Imai(2007)'nin çalışmasındaki müşteri lokasyonlarına zaman penceresi kısıtlarını ekleyip genişletilmiştir.

Zhang ve ark. (2010): çalışmasında çok depo, çok terminalin olduğu ortamda konteyner taşıma problemi için bir konteyner çizelgeleme problemini ele almıştır. Problemde zaman penceresi dikkate alınmış olup, işlem zamanı tüm kamyonların toplam işlem zamanı minimize edilecek bir optimizasyon kriteri olarak ele alınmıştır. Problem bir önceden hazırlanmış ağ (preparative graph) formülasyonuna dayalı olarak matematiksel olarak modellenmiştir.

Braekens ve ark. (2011) çalışmasında drayage işlemlerinde tek depolu, zaman pencereli tam kamyon yüklü araç rotalama problemini ele almıştır. Problem, kullanılan araç sayısını ve toplam yolculuk edilen mesafeyi minimize eden iki amaçlı olarak ele alınmıştır. Deterministik benzetim kullanan bir iki aşamalı çözüm algoritması problemi çözmek üzere önerilmiştir. Rasgele problem örneklerinin sonuçları, algoritmanın kısa zamanda iyi kalitede çözümler bulunduğunu göstermiştir.

Nossack ve Pesch (2013), zaman pencereli tam kamyon yüklü toplama ve teslimat problemine dayalı kamyon çizelgeleme problemi için yeni bir formülasyon sunmuşlardır. Problemde tüm taşıma talepleri, planlama ufku başlamadan önce biliniyor olup ele alınan kamyon çizelgeleme problemi, zaman pencereli tam kamyon yüklü toplama ve teslimat problemi olarak formüle edilmiştir. Problemde her bir taşıma talebi için başlangıç ve varış noktalarında zaman pencereleri ve servis zamanları tanımlanmıştır. Bekleme ve yolculuk zamanlarının minimizasyonu amaçlanmıştır. Problemi çözmek için iki aşamalı sezgisel çözüm yaklaşımı önermişlerdir.

Sterzik ve Kopfer (2013) çalışmalarında iç kısımlarda konteyner taşımacılığı olarak ele aldıkları problem, birkaç terminal, depo ve müşteri arasında boş ve dolu konteynerlerin hareketi olarak tanımlanır. Homojen kamyon filosunun ele alındığı problemde zaman kısıtlamalarına uyulurken tüm kamyonların toplam işlem zamanlarının minimize edilmesi amaçlanmıştır. Araç rotalama ve çizelgeleme ile boş konteynerleri yeniden konumlandırmayı eş zamanlı olarak dikkate alan kapsamlı bir matematiksel formülasyon tanımlamışlardır. Problemi tabu arama sezgiseli ile çözmüşlerdir. Büyük ve küçük ölçekli örnekler üzerinde yaptıkları hesaplamalar önerdikleri algoritmanın etkililik ve verimlilik bakımından iyi performans sergilediğini göstermiştir.

Drexel ve ark. (2013) çalışmalarında sürücülerin ve kamyonların talepleri yerine getirmek üzere heterojen bir filosu tarafından çok periyotlu bir toplama ve teslimat problemini ele almışlardır. Bu çalışmada önceki çalışmalardan farklı olarak coğrafi olarak farklı bölgelere dağıtılmış aktarma istasyonlarında kamyon ve sürücü değişikliklerine izin verir. Bu da planlamalarda esneklik ve kamyonlardan daha iyi bir faydalanma sağlar. Problemin 2 aşamalı ayrıştırılarak çözülmesine yönelik bir çözüm sezgiseli geliştirilmiştir.

Braekers ve ark. (2014), intermodal konteyner terminallerinde ağır yük arabasıyla taşıma işlemlerinde tam kamyon yüklü araç rotalama problemi çalışmışlardır. Problemi asimetrik çok araçlı zaman pencereli gezgin satıcı problemi olarak formüle etmişlerdir. İlk defa bu çalışmada bu tipte bir problem iki amaçlı olarak ele alınmıştır. Üç çözüm algoritması önerilmişler ve bunları kıyaslamışlardır. En iyi sonuçlar iki aşamalı hibrid deterministik benzetme ve tabu arama algoritmasından elde edilmiştir.

Li ve Lu (2014), tam kamyon yüklü araç rotalama probleminin yeni bir varyantını çalışmışlardır. Bu problemde, aynı toplama noktasıyla ilişkili birden fazla dağıtım noktası bulunmaktadır ve bir siparişin aynı veya farklı araçlar aracılığıyla farklı zamanlarda hizmet almasına izin verilmiştir. Karı maksimize etmek amacıyla lojistik firması hangi ürünlerin özel filo ile taşınacağına hangilerinin dışarıdan tedarik edileceğine karar verir. Ele aldıkları problemin NP-hard problem tipinde oluşu ve kesin algoritma ile büyük ölçekli problemleri çözmesi zor olduğu için problem için kurdukları matematiksel modeli çözmek için melez bir genetik algoritma önerilmiştir. Elde edilen sonuçlar melez genetik algoritmanın etkililiğini göstermektedir.

Bai ve ark. (2015) çalışmalarında, işleme bağlı servis sürelerinin olduğu çift yönlü, çok vardiyalı tam kamyon yükü taşıma problemini ele almaktadır. Problem için bir küme kapsama lineer modeli geliştirilmiştir. Kurulan modelde, malları rotalar tarafından kapsanacak akışlar olarak ele almışlardır. Bu da önerilen modeli diğer alternatif yöntemlere göre avantajlı kılmıştır. Problemi yeni bir şekilde formüle ederek, modelin endüstriyel boyutlardaki gerçek hayat örneklerinin çoğu için optimale yakın bir şekilde çözülebileceğini göstermişlerdir. Araçların depoya geri dönmesi zorunlu tutulup, yüklerin birim büyüklükleri kamyonlarıinkiyle eşdeğer kabul edilmiştir. Bu çalışmada modelin, büyük bir uluslararası limanda konteyner taşımacılığı probleminin gerçek hayattaki orta ölçekli örneklerini çözmek için uygulanabileceği gösterilmiştir. Çalışmada, yük ve sürücü için zaman penceresi kısıtlarını karşılayarak, birleştirilemeyen bir grup sayıda yükü ilgili sayıda düğümler arası taşımak için yolculuk mesafesi minimizasyonu amaçlanmıştır. Böylelikle, minimum toplam maliyette tüm taşıma taleplerini yeterince kapsayan bir grup kamyon rotası bulunmuştur. Yükler ve sürücülerin çalışma vardiyaları için zaman penceresi kısıtları konulmuştur.

Gendreau (2015) çalışmasında, toplam kat edilen mesafenin minimizasyonu ve aynı zamanda boş araç hareketlerinin minimizasyonunu amaçlamıştır. Burada zaman pencereli tek ürünli tam kamyon yüklü toplama ve dağıtım problemi için 3 matematiksel formülasyon sunulmuştur. Bu model formülasyonlarını optimal olarak çözmek amacıyla dal kesme algoritmaları uygulanmıştır. Tek depo ele alınmış olup, toplama veya dağıtım müşterisi olabilmektedir. Çalışmanın ana katkısı tek ürünli tam kamyon yüklü toplama ve teslimat problemi (FTPDP) için çeşitli matematiksel formülasyonlar sunmaktır ve bunların performanslarını analiz etmektir.

Bouyahyious ve Bellabdaoui (2016) çalışmalarında, zaman penceresi kısıtı altında seçimli çok depolu tam kamyon yüklü araç rotalama problemini ele alır. Çalışmada yolculuk esnasında aracın sağladığı toplam karı maksimize etmek amaçlanır. Problemi çözmeye genetik algoritma

kullanılmıştır. Problemi çözmeye yeni bir model ve çaprazlama operatörü kullanmışlardır. Rasgele üretilen bir örneğe dayalı nümerik bir örnek verilmiştir.

Annouch ve ark. (2016) çalışmalarında, tam kamyon yüklü araç rotalama problemi için kapsamlı bir literatür araştırması yapmışlardır. Problemin ele alındığı kısıtlara göre ve kullanılan çözüm yaklaşımına göre çalışmaları sınıflandırmışlardır.

Grimault ve ark. (2017) çalışmalarında, heterojen bir kamyon filosuyla bölgeler arası malzeme taşımalarını optimize edilmeye çalışmışlardır. Kamyonlar, üniter yükleme ve boşaltma kaynaklarına dayalı olarak toplama veya teslimat konumlarında senkronize edilir. Kapasite kısıtı, kaynak senkronize ve toplama ve dağıtım için olan zaman penceresi kısıtlarını karşılayan verilen bir grup talebe hizmet etmek amacıyla minimum maliyette (seyahat maliyeti, servis zamanlarının saat olarak maliyeti, araçtan faydalanma maliyeti) bir grup rota bulmak amaçlanmıştır. Problem çok depolu ele alınmış olup, araçlar turlarını depoda başlayıp ve depoda bitirmektedirler. Kamyonlar, toplama noktasında tam dolma ilgili boşaltma noktasında tam boşaltma yapmaktadırlar. Problemi çözmek için bir uyarlanabilir Büyük Komşuluk Araması (ALNS) önerilmiştir.

Bouyahyious ve Bellabdaoui (2017) çalışmalarında, tam kamyon yüklü, siparişi seçip alım ve teslimat noktasını belirleyen zaman pencereli araç rotalama problemini ele almışlardır. Karı maksimize etmek amaçlanmıştır. Bu problem çözmek için yeni bir karınca kolonisi algoritması geliştirilmiştir. Rasgele üretilen örnek üzerinden elde edilen hesaplamalı sonuçlar önerilen yaklaşımın hesaplama zamanının kısa bir periyodu içinde yüksek kalitede çözüm elde edildiğini göstermiştir.

Maneengam ve Udomsakdigool (2018) çalışmalarında, toplu yük taşımacılıkta zaman pencereli, bölünmüş teslimatlı, çift yönlü tam kamyon yüklü araç rotalama problem için rota gösterimine dayalı bir model geliştirmişlerdir. Burada, minimum maliyette olacak şekilde uygun çözümlerden en iyi rotaları seçmek amaçlanmaktadır. Bunun için yeni bir algoritma önermişlerdir. Sonuçlar önerilen algoritmanın performansının en iyi olduğunu göstermiştir.

Bouyahyious ve Bellabdaouia (2021) çalışmalarında, bir dizi tam kamyon yükü siparişinden seçilen taşıma taleplerinin bir alt kümesine hizmet ederken, bu siparişlerden elde edilen toplam karı maksimize etmek için bir çözüm geliştirmeyi amaçlamışlardır. Ele alınan çok depolu, zaman pencereli tam kamyon yüklü araç rotalama problemi karışık tamsayılı lineer programlama modeli olarak formüle edilmiş olup, problemdeki her kamyonun rotalarına başlangıç ve bitiş noktaları bulunmaktadır. CPLEX yazılımı kullanılarak makul zamanda iyi çözümler elde edilmiştir.

Wang (2021) çalışmasında, bir karışık tamsayılı lineer programlama formülasyonu ele alınan tam kamyon yüklü taşıma problemini modellemek için önerilmiştir. Distribütörün tam kamyon yükü gönderilerini dağıtım merkezleri ve müşteri lokasyonları arası taşıması gerektiği, ancak distribütörün sahip olduğu filonun gerekli teslimatların tamamını gerçekleştirmek için yetersiz olduğu ve bu nedenle teslimatların bir alt kümesinin 3. Şahıslara yaptırıldığı bir durumu ele almışlardır. Burada en belirgin özellik tüm siparişlerin tam kamyon yüklerine birleştirilmesidir. Problem, kapasite kısıtı ve

zaman penceresi kısıtlarıyla birlikte ele alınmış olup, mal dağıtımındaki müşteri sıralaması göz önüne alınması zorunlu tutulmamıştır. Problemden heterojen filo ele alınmış olup, tüm kamyonlar aynı depoda rotaya başlayıp aynı depoda rotayı bitirmektedirler.

Xue (2021) çalışmasında, incelenen problem, homojen bir kamyon filosu kullanarak büyük bir uluslararası limanda aralarında kısa mesafeler bulunan terminaller arası tam kamyon yükünde konteynerlerin (yüklerin) taşınmasını ele almıştır. Gerçek hayattan esinlenilerek, bir planlama ufkundaki tüm taleplerin toplam miktarının çok fazla olması durumu ele alınmıştır. Her bir konteyner tek bir vardiyada taşınıyor olmasına rağmen, yüklerin çoklu vardiyaları kapsayan zaman penceresi ve bu malın taşındığı vardiyanın belirlenmesi optimizasyon kararlarının bir parçasını oluşturmuştur. Malların nakliye zaman penceresi birden fazla vardiyayı kapsıyor olup, toplanacak uygun zaman ve dağıtımın son zamanından meydana gelir. Çalışmada toplam maliyet minimizasyonu amaçlanmış olup, her bir vardiya esnasında bir grup birim kapasitede kamyon depodan vardiyasında harekete başlayıp, bir grup taşıma talebini yerine getirir, ve vardiya bitmeden önce depoya geri döner. Önerilen kesme ve buluşsal fiyatlandırma yaklaşımı, büyük ölçekli gerçek hayat tam kamyon yüklü taşımaları verimli bir şekilde çözebilmektedir.

Bouyahyious ve Bellabdaouia (2022a) çok depolu, zaman pencereli, toplam karı maksimize etmeyi amaçlayan tam kamyon yüklü araç rotalama problemini ele almışlardır. Problem için bir karışık tamsayılı lineer programlama modeli formüle edilmiştir. Problem NP-hard olduğu için, genetik algoritma optima yakın sonuç elde etmede kullanılmıştır. Önerilen karışık tamsayılı lineer programlama modeli ve genetik algoritma yeni rasgele üretilen örnekler üzerinde değerlendirilmiştir. Bulgular, genetik algoritmanın, CPLEX çözücüsüne göre CPU zamanı ve çözüm kalitesi bakımından üstün geldiğini göstermiştir.

Bouyahyious ve Bellabdaoui (2022b) çalışmalarında boş yolculukları azaltmak ve karı maksimize etmek amacıyla zaman pencereli çok depolu tam kamyon yüklü ürün seçimi ve rotalaması için bir meta-sezgisel önermişlerdir. Kompleks kısıtları basitleştirmek için problem asimetrik zaman pencereli gezgin satıcı problemine dönüştürülmüştür. Tabu arama sezgiseli ve CPLEX çözücüsü ile elde edilen sonuçlar kıyaslandığında reaktif tabu arama sezgiselinin daha büyük boyutlu problemlerde daha etkili olduğu sonucuna varılmıştır.

Melchiori ve ark. (2023) çalışmalarında, minimum maliyette talepleri karşılamak amacıyla, zaman ve kaynak kısıtları altında bir grup araç tarafından malların toplanma noktalarından dağıtım noktalarına taşınmasıyla rotaların belirlendiği eşlenmemiş tam kamyon yüklü kaynak kısıtlı toplama ve teslimat problem ele alınmıştır. Diğer çalışmalardan farklı olarak yükleme ve boşaltma durumlarında çoklu kaynak kullanımı yapılmıştır. Bir tamsayılı lineer programlama modeli eş zamanlı dağıtım-rotalama-kaynak senkronizasyon optimizasyonu problemini çözmek için önerilmiştir.

2.3. Literatürün Genel Değerlendirilmesi

Çalışmada ele alınan problem, çift yönlü, birleştirilemeyen taşıma problemi sınıfına girmektedir. Bu sınıfın bir alt sınıfına ait olan problem tam kamyon yüklü araç rotalama problemi olarak ele alınmıştır. Bu kapsamda literatür incelendiğinde dinamik tam kamyon yüklü araç rotalama probleminin, açık uçlu araç rotalama problem tipinde(aracın rotaya başladığı noktaya geri dönme zorunluluğunun olmadığı durumda) ele alınarak, kapasite kısıtlı, zaman pencereli, heterojen filolu, araçların birçok lokasyonda hazır olarak bekleyebildiği çok depolu varyantlarının eş zamanlı ele alındığı bir çalışmaya rastlanmamıştır. Sık karşılaşılan tam kamyon yüklü araç rotalama probleminin dinamik versiyonunun dikkate alındığı yeni bir problem formülasyonu önerilmiştir. Problemden var olan yıkama maliyeti, dorse değişim maliyeti gibi maliyet kalemleri de gerçek hayata uygunluk bakımından ele alınmıştır. Sayılan birçok varyantın aynı problemde ele alınacak olması problemin çözümünü zorlaştırmıştır. Ele alınan problem sınıfının çözümüne yönelik yeni bir ajan tabanlı modelleme yaklaşımının önerilmesiyle de literatüre katkı sağlanacağı düşünülmektedir.

3. MATERYAL ve METOT

3.1. Materyal

Bu çalışmada, iki nokta arasında tam yükte sıvı gıda ve kimyasal tanker taşımacılığı sektöründe lider bir firmanın lojistik süreçleri incelenerek bir problem formülasyonu gerçekleştirilmiştir. İncelenen firma Adana merkezli olup, Türkiye'nin 9 farklı noktasında şubeler aracılığı ile operasyonlarını yönetmektedir. Firmanın ulusal düzeyde yüksek taşıma taleplerini karşılamak üzere öz mal ve sözleşmeli kiralık olmak üzere geniş bir çekici filosu ve farklı türde sıvıların taşınmasını sağlayan farklı türde dorseleri (çelik, krom, alüminyum, ısıtmalı, yalıtımlı, v.b.) bulunmaktadır. Gelen talepler doğrultusunda farklı noktalar arasında hafta sonları ve gece dahil haftanın tüm günlerinde yükleme ve boşaltma işlemleri yapılmaktadır.

Modelimizde kullanılan parametrelere (yüklerin tonajları, yük tipleri, yükler arası dorse yıkama süreleri, çekici hızı, dorse kapasitesi, talep yoğunluğu v.b.) uygun değerlerin atanmasında firma verilerinden faydalanılmıştır. Dolu ve boş gitme yakıt maliyetleri, yıkama maliyetleri, dorse değişim maliyetleri şirket muhasebe kayıtlarından alınmıştır. Liman, fabrika ve depolardan oluşan yükleme ve boşaltma noktalarının ulusal harita üzerindeki lokasyonları firmanın dağıtım yaptığı ağa göre belirlenmiş olup, bu noktalara taleplerin geliş oranları yine firma verilerinden sağlanmıştır.

Geliştirilen araç rotalama yaklaşımının performansının farklı koşullar altında test edilmesi için geliştirilen simülasyon modelinde sipariş geliş hızları, yük türlerinin dağılımı, sipariş yük büyüklükleri, çekici ve dorse sayıları, siparişler arası geliş süreleri, sipariş ağırlık ve hacimleri, siparişe cevap verme süreleri kullanılmıştır.

3.2. Metot

3.2.1. Lojistikte Dinamik Optimizasyon Problemleri İçin Çözüm Yaklaşımları

Lojistik ve endüstriyel operasyonlarda karşılaşılan problemler nadiren problemle ilgili her parametrenin önceden bilindiği statik ortamlarda gerçekleşir. Tam aksine, bir çok öngörülemeyen olaylar (sipariş iptalleri, araç arızaları, geciken teslimatlar, yeni müşteri talebi gelişleri v.b.) gerçek hayat problemlerin temel karakteristiğidir. Bu kadar fazla bilinmez olduğu sistemlerin nasıl optimize edileceği dinamik optimizasyonun (DO) temel konusudur. DO problemleri, zaman içerisinde oluşan dinamik olaylar nedeniyle olurlu çözüm uzayının ve/veya amaç fonksiyonunun değerinin değiştiği problem türleridir.

Dinamik bir olay gerçekleştiğinde, yeniden optimizasyon politikasının nasıl olacağı temel sorulardan biridir. DO problemlerini çözmek için belki de akla gelen ilk yaklaşım gelişen dinamik olayları dikkate alarak geriye kalan zaman ufku için probleme aynı optimizasyon tekniğini kullanarak yeniden optimizasyon yapmaktır. Örneğin, yeni bir taşıma talebi geldiğinde o talebe gelir gelmez cevap verilebilir veya belli bir sayıda talep ulaştığında sistem yeniden optimize edilebilir.

DO problemlerinde değişmez bir optimal çözüm kavramından söz edilememektedir. Aslında yeniden optimizasyon politikasının kendisi de bir dinamik optimizasyon problemine dönüşebilmektedir. Gelişen dinamik olaylara anlık tepki vermek yerine biriktirerek tepki vermek kısıtlı kaynakların daha etkin kullanımı açısından bizi daha iyi çözümlere götürebilmektedir (Karami ve ark, 2020).

Bu nedenle, dinamik optimizasyon problemlerini çözmek için kullanılan yöntemlerin amacı durağan bir optimal çözüm bulmak değil, olurlu çözüm uzayının zamana bağlı hareketini yakından izlemektir. Dinamik optimizasyon problemlerinde olurlu çözüm uzayı zamanla değişir. Dolayısıyla belirli bir anda problemin o anda elde var olan verilerle oluşmuş olan olurlu çözüme ait olan optimum çözümü bulunur. Zaman geçtikçe dinamik olaylar gerçekleştikçe olurlu çözüm uzayı değişir. Bir önceki çözümde bulunan optimal çözüm anlamını yitirir. Burada amaçlanan bu değişimi yakından izleyebilen optimizasyon politikaları geliştirmektir. Deterministik optimizasyon için geliştirilen geleneksel yöntemlerin böyle bir özelliği bulunmamaktadır. Meta-sezgiseller içinde popülasyon tabanlı yöntemler, evrimsel algoritmalar veya parçacık sürüsü optimizasyonu gibi yöntemler, gerekli güncelleme ve ayarlamaların yapılmasıyla kendilerini bu alana adapte etmeye yönelik alternatifler olarak gösterilmişlerdir.

Genetik algoritma (GA) bir veya daha fazla amaç fonksiyonu ve kısıtları olan optimizasyon problemlerinin çözümünde kesin algoritmalara alternatif olarak geliştirilmiştir. Dinamik ortamlara uyum sağlama, GA'nın en önemli özelliklerinden biridir. Genetik algoritmalar, herhangi bir kısıt ile herhangi bir amaç fonksiyonunu ele alma yetenekleri gibi kabul edilen birçok avantajı nedeniyle en popüler yaklaşımlardan biri haline gelmiştir. Ayrıca, nüfusa dayalı aramaları olasılıklı olduğundan, yerel minimumlara yakınsama olasılıkları daha düşüktür. Öte yandan, temel zayıflıkları yakınsama için gereken yüksek hesaplama süresidir. Genetik algoritmalar, statik bir optimizasyon problemini çözmeye iyi performans gösterse de dinamik çevrelere adapte olmada bazen başarısız olabilmektedir. Bunun başlıca nedeni, GA'nın bir popülasyondaki tüm bireyleri optimum çözüme yakınsayacak şekilde tasarlanmış olmasıdır. Bu, dinamik optimizasyonda ölümcül hale gelir çünkü mevcut optimum çözümün gelecekte de optimum olacağının garantisi yoktur. Bu nedenle, çeşitliliğin sürdürülmesi, GA'yı dinamik ortamlara uygulamak için temel bir gerekliliktir.

Diferansiyel evrim (DE), bir dizi karmaşık uzay yörüngesi optimizasyonlarının belirlenmesinde kullanılmıştır. Ayrıca kullanılan bu teknik, iki evrimsel algoritma (EA) arasında geçiş yapar; bir popülasyondan diğerine geçiş yapmadan bir optimize edici ile küçük sabit sayıda nesiller boyunca çalıştırılır. Özellikle, bazı problemlerde bir GA ve bir DE arasında dönüşümlü olarak elde edilen sonuçların, herhangi bir EA'yı tek başına kullanmaktan daha iyi olduğu bulunmuştur.

Parçacık sürü optimizasyonu matematiksel arka plan açısından ideal değildir ve global çözüme yaklaşmayı garanti edemez. Dezavantajları ise; daha fazla parametre ayarı ve kapsamlı hesaplama süresi gerektirmesidir. Farklı optimizasyon problem sınıflarına uyacak şekilde rakip algoritmayı geliştirmek ve değiştirmek için yoğun bir şekilde ilgili programlama becerileri gereklidir.

Bu avantaj ve dezavantajların yanı sıra, birçok geleneksel teknikten farklı olarak türev içermeyen bir algoritmadır. Hibrit araçlar oluşturmak için diğer optimizasyon teknikleriyle entegre olabilme esnekliğine sahiptir. Yerel minimumlardan kaçabilme özelliğine sahiptir. Temel matematik ve mantık işlemleri ile uygulaması ve programlaması kolaydır. Stokastik özellikteki amaç fonksiyonlarını işleyebilir. Amaç fonksiyonunun doğasına daha az duyarlıdır, dış bükümlük veya süreklilik gibi. Diğer birçok evrimsel teknikten farklı olarak ayarlamak için daha az parametreye sahiptir. Kendi iterasyon sürecini başlatmak için iyi bir başlangıç çözümü gerektirmez. Yerel minimumlardan kaçma yeteneğine sahiptir. Temel matematiksel ve mantıksal işlemlerle uygulanması ve programlanması kolaydır. Optimizasyon değişkenlerinden birinin rastgele olarak temsil edilmesi durumunda olduğu gibi, stokastik nitelikteki amaç fonksiyonlarını işleyebilir.

Tavlama benzetimi tekniği basit uygulaması ve karmaşık yapıda amaç fonksiyonlarını ele alma yeteneği gibi avantajlarının yanı sıra dinamik optimizasyon problemlerindeki en iyi bilinen dezavantajı yüksek hesaplama süresi gerektirmesidir.

Amaç fonksiyonları, kısıtlar ve parametrelerdeki değişiklik dahil olmak üzere sürekli değişimi kapsayan dinamik sistemleri optimize etmek araştırmacılar için zor bir görev olmuştur. Öte yandan, yöneylem araştırması (OR) üzerine çalışan bazı araştırmacılar, doğrusal programlama ve tamsayılı programlama gibi iyi bilinen geleneksel optimizasyon tekniklerini kullanarak bu sorunları çözmeye çalıştılar. Ancak, belirli bir süre için elde edilen ve o zaman dilimi için arzu edilen veya en uygun olan çözümler, çoğu zaman başka bir zaman dilimi için tercih edilememektedir. Ayrıca, her zaman dilimi için matematiksel yöntemlerle kesin çözümler elde etmek, maliyeti yüksek, hatta bazen uygulanabilir çözümlerle sonuçlanmamaktadır. Bu nedenle, yaygın kullanımına rağmen, statik optimizasyon yaklaşımı giderek sınırlarına yaklaşmıştır.

Dinamik optimizasyon problemlerini ele alan ajan tabanlı modeller, arama uzayında hareket eden optimumları izlemek için çeşitli optimizasyon mekanizmalarına da izin vermiştir. Bu durum, pek çok araştırmacının dinamik sistemlerin optimizasyonu için etmen tabanlı modelleme kullanmalarına sebep olmuştur. Jung ve ark. (2011) tarafından belirtildiği gibi, ajan paradigması özerklik, esneklik ve işbirlikçi problem çözme davranışı gibi özellikleri nedeniyle akıllı sistemler geliştirmek için umut verici bir yaklaşım olmuştur. Çoklu ajan sistemleri, kendi aralarında ve çevreleriyle etkileşime giren bir dizi özerk ajandan oluşur. Buradaki özerklik terimi, araçların kendi kararlarını alabilen aktif varlıklar olduğu anlamına gelmektedir.

Geleneksel yazılım ortamlarında çoklu ajan mimarisinin son derece esnek, eşzamanlı ve modüler sistemleri uygulamanın etkili bir yolu olduğu gösterilmiştir. Bu tür sistemlerde, yazılım araçları oldukça özerktir, mevcut girdilerine göre tepki verir ve genellikle öğrenme ve akıl yürütme yeteneği sergiler. En azından, bu tür yazılım araçları, ortamlarındaki değişikliklere uygun şekilde tepki verme yeteneğine sahiptir. Genellikle öngörülemeyen olaylara tepki vermek için tasarlanırlar (Cil ve Mala, 2010).

Çoklu ajan sistemleri yaklaşımı, dağıtılmış sistemleri kontrol etmek için daha fazla esneklik, güvenilirlik, uyarlanabilirlik ve yeniden yapılandırılabilirlik sağlamak için umut verici görünmektedir (Ibri, ve ark, 2010). Ayrıca, ajan tabanlı modelleme ve simülasyon, otonom/özerk ajanların etkileşiminden oluşan karmaşık sistemlerin modellenmesinde nispeten yeni bir yaklaşımdır (Macal ve North, 2010).

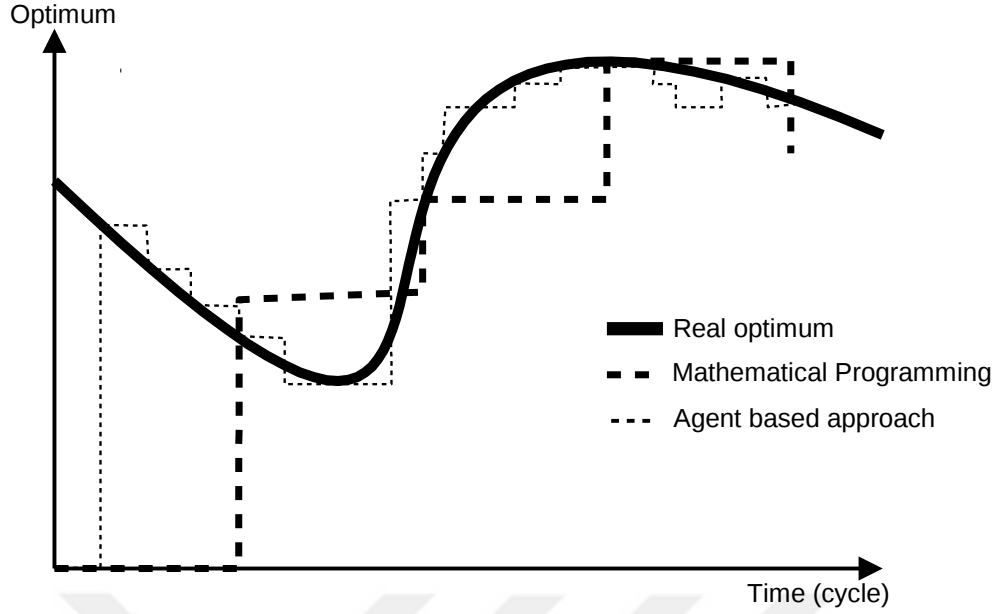
Ajanlar sosyaldır, çünkü görevlerini yerine getirmek için insanlarla veya diğer ajan türleriyle iş birliği yaparlar. Ajanlar tepkiseldir, çünkü çevrelerini algırlar ve çevresinde meydana gelen değişikliklere zamanında yanıt verirler. Ajanlar proaktifdir, çünkü sadece çevreye tepki olarak hareket etmezler, aynı zamanda inisiyatif olarak amaca yönelik davranış sergileyebilirler (Baykasoğlu ve Kaplanoğlu, 2010).

Çoklu ajana dayalı sistemlerin özellikleri göz önüne alındığında; lojistik problemlerinin tamamen merkezi olmayan, dağıtık ve dinamik yapısı nedeniyle ajan tabanlı yaklaşımların uygun bir alternatif olduğu söylenebilir. Göndericiler, alıcılar, ileticiler, taşıyıcılar, yük taşıma görevlileri gibi daha yüksek organizasyonel birimlerin yanı sıra yükler veya yükleme birimleri (çekiciler, konteynerlar v.b.) ajan olarak temsil edilebilmektedir. Bunları bir ajan olarak temsil ettikten sonra, dinamik bir yaklaşımla optimum veya optimuma yakın çözümler bulmak amacıyla taşıma birimleri rekabet edip ve/veya iş birliği yaparak ajan tabanlı sistem yeteneklerini elde edebilmektedir. Şekil 3.1’de dinamik optimizasyon problemlerinde optimum izlemede farklı yaklaşımların karşılaştırılması yapılmıştır. Ajan tabanlı yaklaşımlar doğru bir şekilde tasarlandığında dinamik koşullarda değişen optimumu daha iyi izleme potansiyeline sahiptir.

Çoklu-ajan sistemlerinin temel özellikleri şunlardır; (1) her bir ajan, sorunu çözmek için eksik bilgiye veya yeteneklere sahiptir ve dolayısıyla sınırlı bir bakış açısına sahiptir; (2) sistemin global kontrolü yoktur; (3) veriler merkezi değildir; ve (4) hesaplama eş zamansızdır (Sycara, 1998).

Çoklu ajan teknolojisi, dinamik ve uyarlanabilir çevrelerde otonom ve esnek problem çözme özellikleri sağlar. Lojistik alanı için çoklu ajana dayalı sistemlerin uygun olmalarının nedenleri; Lojistik alanı doğası gereği dağıtıktır, planlama sürecinde yüksek ölçüde dinamiklik vardır, insan deneyimi(zeka) planlama operasyonları için kullanılır, çok sayıda çevresel faktör vardır, partiler arası işbirliğine ihtiyaç duyulur, dağıtık ve dinamik kaynaklar kullanılır (Baykasoğlu ve Kaplanoğlu, 2015).

Yukarda sayılan nedenlerden dolayı tam kamyon yüklü araç rotalama probleminin doğası gereği ajan tabanlı sistemlerin bu problemin çözümünde uygun bir alternatif olduğuna karar verilmiştir.



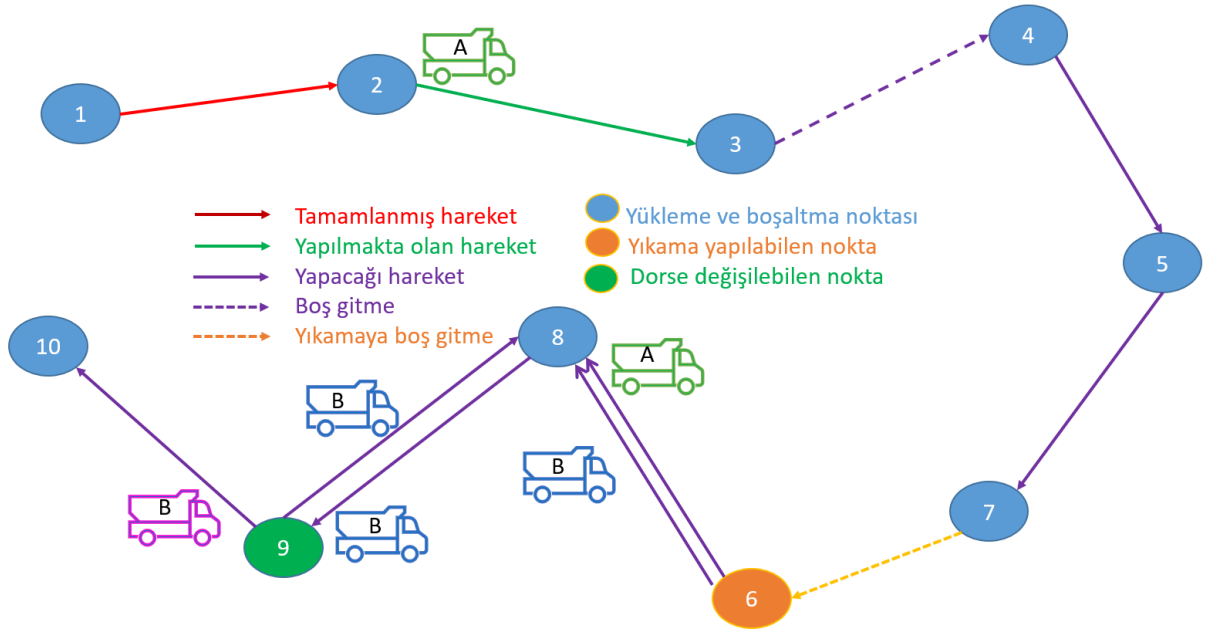
Şekil 3.1. Dinamik optimizasyonda farklı yaklaşımların gerçek optimumu izleme performansının karşılaştırılması (Erol ve ark., 2012)

3.2.2. Problemin Formülasyonu

Problemin Özellikleri

Problem birbirlerine uzaklıkları mesafe matrisinde tanımlanmış olan birden fazla yükleme ve boşaltma noktası (depo, liman ve fabrikadan) yıkama ve dorse değişim noktalarından meydana gelmektedir. Problemde yer alan araçlar dorsesi değişebilen ve değişemeyen özellikte olmak üzere çekici ve dorse adlı iki bileşenden oluşmaktadır. Çekiciler üzerinde farklı dorse türlerini taşıyabilmektedirler. Bu çekiciler üzerinde taşıdıkları dorse türlerine göre değişiklik gösterebilmektedirler. Farklı yük tipleri kendine uygun dorselerde taşınabilmektedir. Dorseler farklı bir yükü taşımadan önce gerektiğinde, farklı yıkama maliyeti ve yıkama süresi ile yıkama işleminden geçebilmektedir. Çekiciler alacağı yük tipine uygun dorse değişimi yapabilmektedir.

Örnek alınan problemde yükler sıvı olmasına rağmen tam yük araç rotalama problemlerinde de bizim problem formülasyonu geçerli olmaktadır. Problemde araçların mümkün olduğunca rotasını başka bir siparişe doldurarak dolu gitmesi amaçlanır. Araçlar içinde herhangi bir siparişe ait yük olmadan, bir sonraki yükü teslim almak için hareket ederse, boş bir yakıt maliyeti oluşur. Bu noktada önemli olan, dorselerin bir sonraki siparişin alım noktasına yapılacak hareketi mümkün olduğunca bir başka siparişe doldurarak bu boş yakıt maliyetlerini en aza indirgeyebilmektir. Şekil 3.2’de gösterildiği gibi araçlar bir noktadan yükü alıp, diğer noktaya bu yükü boşalttıktan sonra, tekrar aynı noktadan yükleme yaparak yeni bir yük taşıyabilir ya da boş giderek yeni yükü başka noktadan alabilir. Araç yük alım zaman ve yerlerine göre dolu veya boş seyahat gösterebilir. Yükün tonajına göre aynı noktadan tek aracın birden fazla kez sevkiyatı yoluyla veya yük tonajını taşıyamaya yetecek sayıda birden fazla aracın yönlendirilmesiyle taşıma işlemi gerçekleştirilebilmektedir.



Şekil 3.2. Araçların taleplere göre taşıma planı gösterimi

Tez çalışmasında incelenen dinamik optimizasyon problemi aşağıdaki karakteristiklere sahiptir:

Taşıma Ağı

- Taşımalar nokta çiftleri arasında tam yüklü taşıma yapan çoklu araçlarla yapılmaktadır.
- Taşıma ağı yükleme, boşaltma (depo, liman, fabrika), dorse yıkama veya dorse değişim noktalarından meydana gelmektedir.
- Aynı nokta farklı taşımalarda yükleme veya boşaltma noktası olabilmektedir.

Taşıma talepleri

- Taşıma ağına çoklu yük tipleri yükün büyüklüğüne göre tek veya çoklu seferlerle taşınmaktadır.
- Taşıma talebi geliş zamanları, taşıma talep büyüklükleri, yük tipleri, yükleme ve boşaltma noktaları uygun rassal dağılımlara göre belirlenmektedir.
- Her bir talep tek tip yük içermektedir.
- Her bir siparişin yükleme ve boşaltma işlemleri için ayrı ayrı zaman pencereleri mevcuttur.

Araçlar

- Araçlar, sabit dorseli veya çekici sökülüp takılabilme özelliği olan dorse kombinasyonundan oluşabilmektedir.
- Yüklerin türlerine göre taşınabildikleri dorse türleri farklıdır.

- iii. Çekicilere gerektiğinde yüke uygun dorse değişimi yapılabilir.
- iv. Önceki taşınan yük tipinden farklı bir yükü tipinin yüklenmesi durumunda yükün tipine göre dorse yıkama süresi gerekebilir.

Maliyetler

- i. Araçların km başına dolu ve boş yakıt maliyetleri (TL/km)
- ii. Yük türüne göre dorse yıkama maliyeti (TL/yıkama)
- iii. Dorse değişim maliyeti (TL/değişim)
- iv. Araçlarını diğer değişken maliyeti (TL/km)
- v. Araçların aylık sabit maliyeti (TL/ay)

Problemin Varsayımları

Problemin formülasyonunda kullanılan temel varsayımlar şunlardır:

Taşıma Ağı

- i. Noktalar arası yolculuk sürelerinde çevresel faktörler (trafik, kaza vs..) göz ardı edilmiş olup, tüm yolculuk süreleri önceden bilinmektedir.
- ii. Taşıma ağındaki iki nokta arası mesafe ve yolculuk süresi gidiş ve geliş yönünde aynıdır.
- iii. Çalışma süresi süresince taşıma noktası ekleme veya çıkarma yapılmamaktadır.

Araçlar

- i. Başlangıçta tüm çekicilerin üstünde dorseler bulunmaktadır.
- ii. Her an yeterli sayıda uygun dorse her zaman bulunmaktadır.
- iii. Yasal mevzuatta sürücülerin maksimum çalışma süresi limitlerini karşılayacak kadar yeterli sayıda sürücü bulunmaktadır.
- iv. Başlangıçta çekiciler, taşıma ağındaki noktaların herhangi birinde, taşımaya müsait ve yük durumu boş olarak bulunmaktadır.
- v. Çekici filosundaki çekici sayısı değişmemektedir.
- vi. Çekiciler hız, taşınabilen yük türleri bakımından özdeştir.
- vii. Dorseler yük türüne sınırlı taşıma kapasitesine sahiptir.
- viii. Çekicilerin hızları bütün noktalar arası sabittir.

Araç atamaları

- i. Çekiciler yüklü ve hareket halindeyken, başka bir noktaya başka bir sipariş için yönlendirilememektedir.
- ii. Siparişin atanacağı araç, en geç teslim alma zamanına kadar değişebilir.

- iii. Araçların rotasındaki son siparişi teslim ettikten sonra uygun bekleme noktalarında taşımaya hazır durumda beklemektedir.
- iv. Yeni bir talep geldiğinde o ana kadar elde edilen son çözüme ait tüm taşıma planları yeni gelen talebi içerecek şekilde değişebilmektedir.

Maliyetler

- i. İki nokta arası birim taşıma tarifiesi zamanla değişmemektedir.
- ii. Birim dolu ve boş yakıt maliyetleri her çekici için aynıdır.

Notasyon

Bu çalışmada geliştirilen algoritmalarda kullanılan notasyon aşağıda özetlenmiştir.

Kümeler

- I : taşıma ağındaki m adet noktanın kümesi
- K : n adet çekicinin kümesi
- D : mevcut d adet dorse tipi
- O : talepler kümesi
- F : l adet yük tipi kümesi

İndisler:

- i : başlangıç veya bitiş noktası ($i \in I$)
- j : bitiş noktası ($j \in I$)
- k : çekici numarası ($k \in K$)
- o : taşıma talep numarası ($o \in O$)
- f : yük tipi numarası ($f \in F$)

Parametreler:

- v : çekici ortalama hızı (km/saat)
- c_{ij} : i ve j noktaları arası dolu birim yakıt maliyeti (TL/km)
- c^e : boş araç km başına birim yakıt maliyeti (TL/km)
- c_p : dorse değişim maliyeti
- $WM_{l \times l}$: yük tipleri arası yıkama maliyeti matrisi
- $WT_{l \times l}$: yük tipleri arası yıkama süresi matrisi
- $TM_{m \times m}$: noktalar arası taşıma süresi matrisi
- $DM_{m \times m}$: noktalar arası taşıma mesafesi matrisi
- $IM_{m \times m}$: noktalar arası taşıma fiyatı matrisi
- c_s : yıllık sabit maliyet (sürücü, amortisman, sigorta, araç bakım v.b.)
- q : dorse maksimum yük kapasitesi (m^3)
- l_k : çekici k 'nın mevcut bulunduğu konum

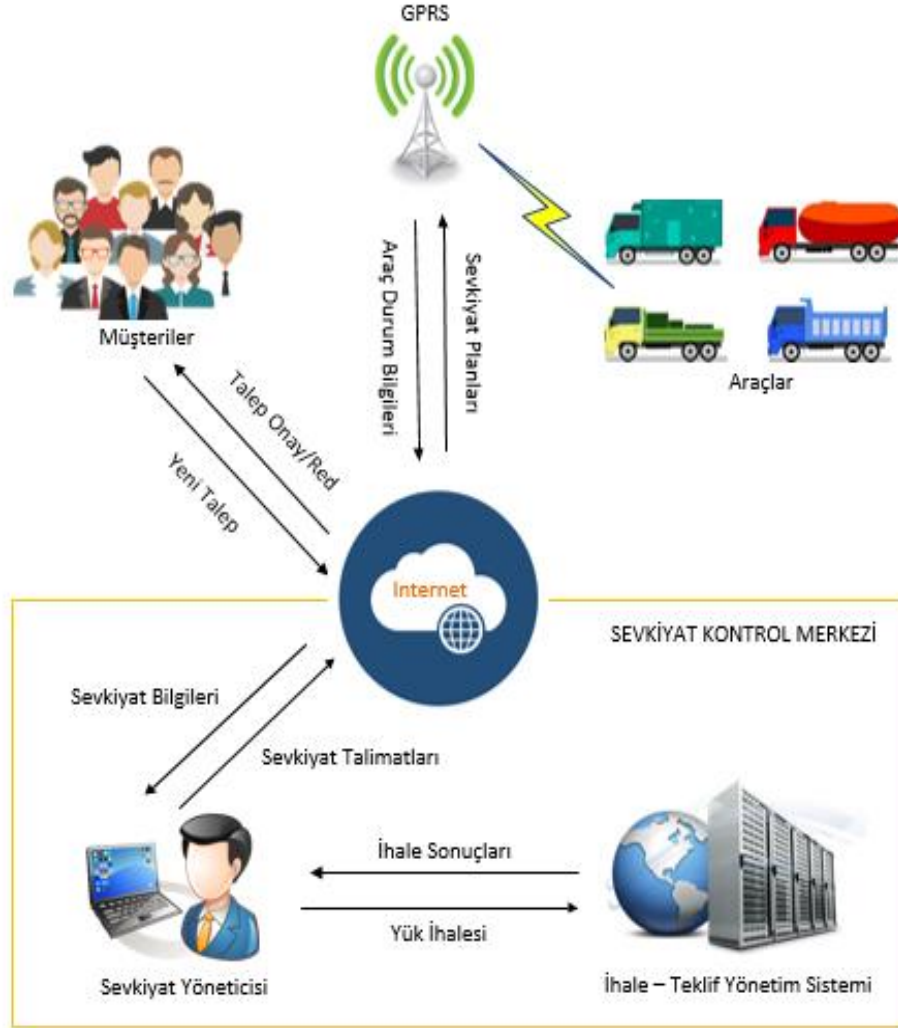
u_k	: k aracının üzerindeki mevcut yük tipi ($u_k \in D$)
y_k	: k aracında dorse değişimi var mı? (1: var 0: yok)
t_f	: yıkama süresi (saat)
g_f	: f yük tipinin yoğunluğu (kg/m^3)
h_f	: f yük tipi için uygun dorse türü kümesi ($h_f \in D$)
s_f	: f yük tipi için yükleme - boşaltma süresi
w_o	: o talebinin taşıma tonajı (ton)
v_o	: o talebinin taşıma hacmi (m^3)
p_o	: o talebinin yükleme noktası ($p_o \in I$)
d_o	: o talebinin boşaltma noktası ($d_o \in I$)
f_o	: o talebinin yük tipi ($f_o \in F$)
t_o^{AVL}	: o talebinin en erken yükleme tarihi
t_o^{ALN}	: o talebinin en geç yükleme tarihi
t_o^{DVL}	: o talebinin en erken boşaltma tarihi
t_o^{DLN}	: o talebinin en geç boşaltma tarihi
t_o^{ARV}	: o talebinin sisteme varış zamanı
t_o^{SLK}	: o talebinin en erken boşaltma ve en geç boşaltma zamanları arasındaki süre
t_o^{RES}	: o talebinin cevap verme süresi
t_o^{ADV}	: o talebinin varış zamanı ile en erken alım zamanı arasındaki süre

3.2.3. Geliştirilen İhaleye Dayalı Çoklu Ajan Dinamik Optimizasyon Yaklaşımı

Bu çalışmada ihale-teklif sistemine dayalı bir lojistik planlama sistemi önerilmiştir. Önerilen sistemde Şekil 3.3’de görülebileceği gibi merkezde tüm bileşenlerin iletişim ve koordinasyonunu sağlayan bir “Sevkiyat Planlama ve Koordinasyon Merkezi” bulunmaktadır. Gelen taşıma talepleri ihale-teklif sistemine dayalı açık arttırma yöntemiyle araç ajanlarına yönlendirilmekte, buna karşın filodaki her bir araç mevcut zaman çizelgesi ve iş planına göre gelen taleplere maliyet bilgisi içeren taşıma teklifi vermektedir. Teklifi kabul edilen araçlar yeni talep listesine göre taşıma planlarını güncellemektedir. Problem çözümünde ajan tabanlı modellemeyle karar almaya dayalı bir araç atama ve rotalama stratejisi önerilmiştir.

Sistemdeki tüm taleplerin araçlara atama kararlarının halen taşınması başlamamış siparişler de dikkate alınarak alınmasında geleneksel statik optimizasyon algoritmaları, taleplerin dinamik yapısı ve değişken sayısı nedeniyle aşırı uzun hesaplama zamanları gerektirmektedir. Bu çalışmada önerilen çoklu ajan tabanlı sistemlerin dağıtık yapısından yararlanılarak dinamik olarak sistemde oluşan taleplerin yük ve araç özelliklerine en uygun araçlara atanması ve rotalaması kararı alınması sağlanmıştır.

Sisteme yeni bir talep geldiğinde, talep bilgileri sevkiyat planlama ajanına iletilirken talebin taşınıp/taşınamayacağına karar vermek için bu ajanın bir cevap verme süresi bulunmaktadır. Cevap verme süresi, sistemde bu süre boyunca oluşacak yeni siparişlerle birlikte karsız siparişlerin karlı veya karlı siparişlerin daha karlı hale gelebilmesi bakımından önemlidir. Kabul/ret kararı, mevcut araçların dorse tipiyle talebin yük tipinin uyumluluğu, taşıma planları ve siparişin karlılığı dikkate alınarak verilir. Bu cevap verme süresinin sonunda, müşteriler talebin kabulü veya reddi konusunda bilgilendirilmektedir.



Şekil 3.3. Önerilen ihale-teklif sistemine dayalı bir lojistik planlama sistemi

Her bir araç ajanının amacı, kendi karını maksimize etmektir. Gelen taşıma talepleri, sırasıyla açık arttırma yoluyla ihale edilmektedir. Bu açık arttırmalarda, sipariş ajanları tipik olarak bir dizi araç ajanından taşıma maliyeti teklifi talebinde bulunmaktadır.

Araçın mevcut rotasındaki bir sonraki siparişin en geç teslim alma süresine boşa kalan bir zaman varsa, araçtan mevcut konumunda beklemeleri istenir. Bu bir tür en az taahhüt stratejisidir, çünkü yeni hizmet taleplerinin gelmesi nedeniyle planlanan rotada son dakika değişikliklerine izin vermek için mümkün olan en geç zamanda bir hareket gerçekleştirilir. Bir araç bir sipariş için sonraki

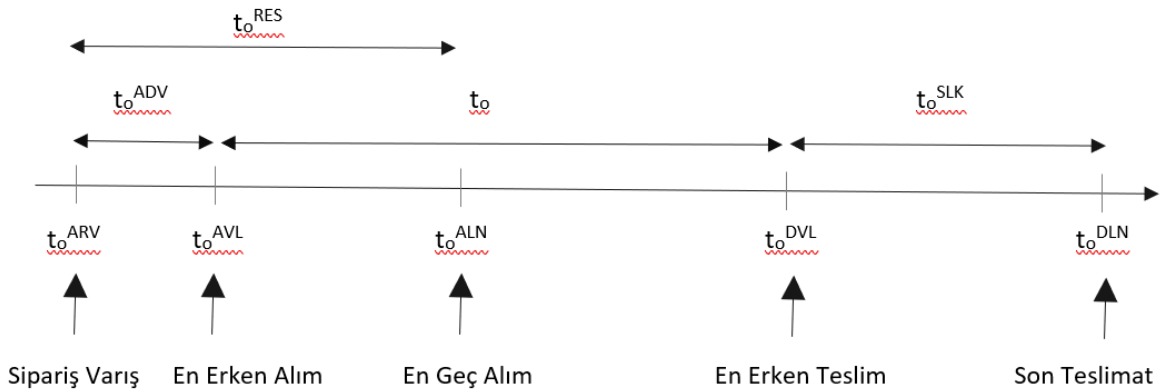
alım noktasına giderken, ancak mutlaka bu noktaya hizmet vermelidir. Araç, hareket halindeyken, başka bir noktaya başka bir sipariş için yönlendirilmez.

Önerilen sistemde üç farklı ajan tipi vardır, bunlar; “Sipariş Ajanı”, “Araç Ajanı” ve “Sevkiyat Ajanı” şeklindedir. Bu ajanların davranışları aşağıda detaylı bir şekilde açıklanmıştır.

Sipariş Ajanı

Sipariş ajanı, sevkiyat kontrol merkezi tarafından yönetilen 3PL sistemindeki her bir taşıma talebini temsil etmektedir. Sisteme her yeni sipariş geldiğinde, ilgili sipariş tüm bilgileriyle bir Sipariş Ajanı’na dönüşmektedir. Sipariş ajanları oluşturulduktan sonra sipariş bilgileri ile sistemde yaşamaya başlayıp, bir araç ajanı tarafından kabul edilmelerine göre cevap verme süreleri (t_o^{RES}) boyunca veya taşıma işleminin sonuna kadar sistemde kalmaktadır. Bu süre sonunda sipariş ya reddedilmiştir ya da onaylanmıştır. Her bir sipariş ajanının amacı cevap verme süresinin bitimine kadar, müşteri taşıma talebinde belirtilen kısıtlara uygun araçlara atanabilmektir.

Bir sipariş ajanı sisteme geldiğinde, ilk olarak sevkiyat ajanına yönlendirilir. Sipariş ajanları doğrudan araç ajanlarıyla görüşme yetkisine sahip değildir. Sipariş ajanlarının amacı, cevap verme sürelerinin bitimine kadar en uygun araçlara atanmak ve ilgili zaman penceresi içinde taşınmaktır. Bu amaç doğrultusunda kendi içerisinde ihale/teklif sistemine dayalı bir takım karar mekanizmaları yürütmektedir. Cevap verme sürelerinin sonunda herhangi bir araca atanamayan siparişler reddedilmektedir. Onaylanan siparişler ise müşteri tarafından belirtilen zaman çizelgesine uygun olarak atandığı araçlar tarafından mutlaka transfer edilmektedirler. Şekil 3.4 bir sipariş ajanı ile ilgili tüm zaman parametrelerinin zaman eksenindeki konumunu göstermektedir.



Şekil 3.4. Sipariş ajanı zaman değişkenleri

Araç Ajanı

Araç ajanı, şirket filosunda yer alan her bir aracı temsil etmektedir. Her bir araç ajanı benzersiz ad, ağırlık ve hacim cinsinden maksimum taşıma kapasitesi, ulaşım ağındaki konum ve sökülüp/takılabilir dorse bilgisi olmak üzere toplamda 5 özneliğe sahiptir. Araç ajanları, sistem

yöneticisi tarafından ulaşım açısından çıkarılmadığı (araç arıza, şoför rahatsızlık gibi öngörülemeyen olaylar neticesinde) müddetçe sistemde aktif olarak çalışmaya devam ederler. Araç ajanlarının temel işlemleri; yükleme, taşıma, boşaltma, sistemin diğer bileşenleri (sipariş, sevkiyat ajanları) ile iletişimidir.

Lojistik operasyonlarının dinamik doğası gereği, herhangi bir anda her bir araç ajanı aşağıdaki 4 durumdan birinde olabilir:

- i. Hareket halinde yüklü,
- ii. Hareket halinde boş,
- iii. Boşta,
- iv. Uygun değil / Servis dışı.

Araç ajanlarının anlık durumu, sistemdeki faaliyetlerine göre değişmektedir. Sistemde kendisini ilgilendiren bir akışın tamamlandığını gösteren belirli olayların meydana gelmesiyle bir durumdan başka bir duruma geçmektedir. Örneğin; bir araç ajanı, taşıma planındaki belirli bir sipariş için yük alım noktasına doğru harekete geçtiğinde "**müsait/boş**" durumundan "**hareket halinde boş**" durumuna geçmektedir.

Araç ajanlarının amacı, kendisine atanan siparişlerin ilgili zaman penceresi kısıtlarına uyarak mümkün olduğunca daha fazla siparişi kabul ederek birbiriyle uç uca ilişkilendirmektir. Bu amaç doğrultusunda değişen çevre koşullarına sürekli uyum sağlayarak kendi içinde bir karar mekanizması yürütür.

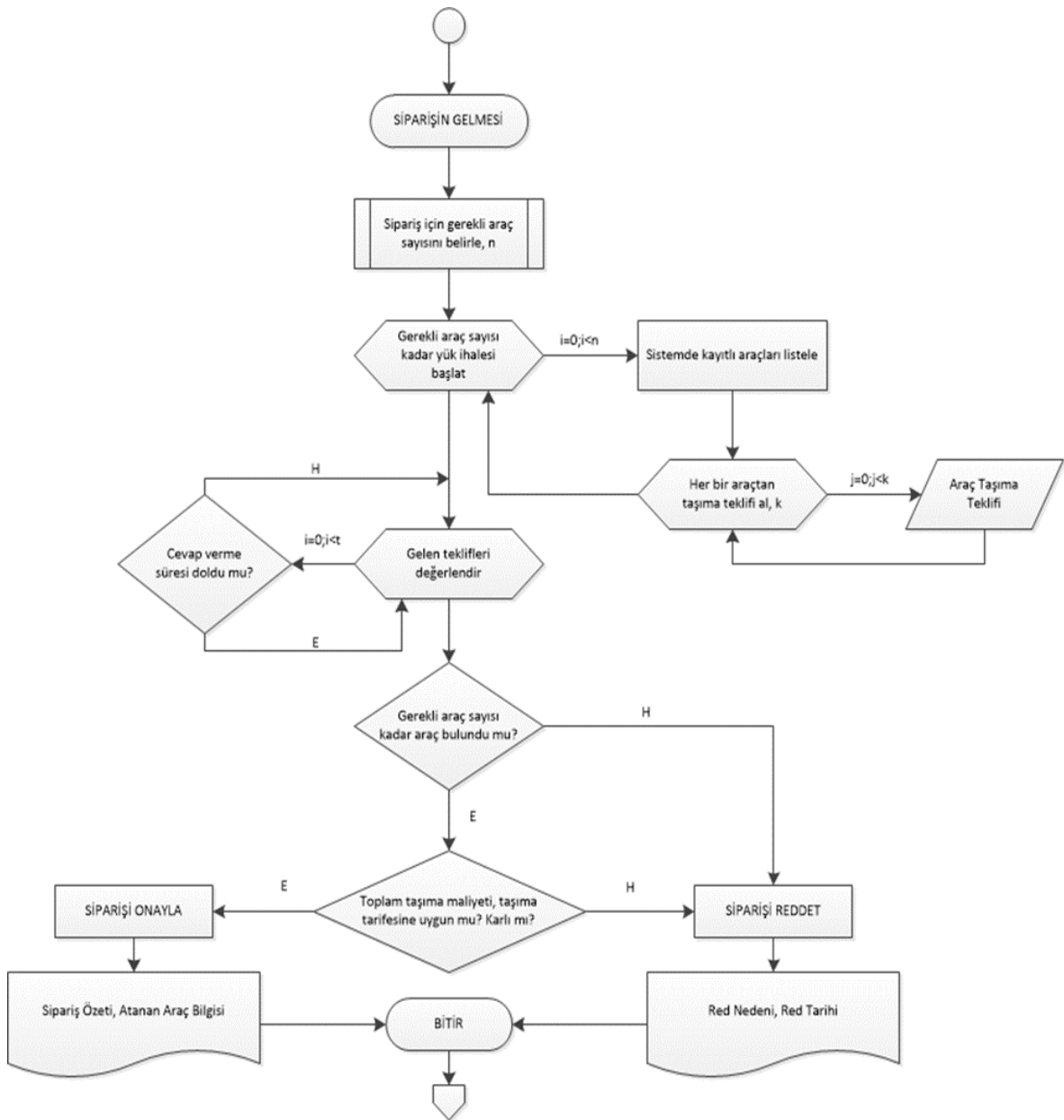
Sistemdeki her bir araç ajanı, sevkiyat merkezinden bağımsız kendi taşıma planını oluşturur ve bu plandaki operasyonları için bir çizelge tutar. Her bir araç yöneticisinin, sistemdeki herhangi bir zaman diliminde atanmış siparişlere göre belirlenen taşıma planları vardır. Araç ajanı, taşıma planına göre hangi siparişin ne zaman teslim alınacağını ve boş çıkacağı süreyi bilmektedir. Araç ajanlarının tutmuş olduğu taşıma planlarında olan zaman çizelgeleri araçların mevcut onaylanmış taşıma planlarını ya da araçların mevcut taşıma durumlarını etkilememektedir. Bu zaman çizelgesindeki iş planları yalnızca yeni gelen siparişlere fiyat teklifi verilmesinde ve zaman kısıtlarına uygunluğun kontrolü için kullanılmaktadır.

Sevkiyat Ajanı

Sisteme gelen her yeni sipariş ajanı, ihale sisteminde uygun araçları bulmak için doğrudan sevkiyat ajanı ile iletişim kurmaktadır. Sevkiyat ajanı gelen siparişi ihale sistemine yönlendirir ve sipariş ajanlarının, araç ajanlarıyla doğrudan iletişim kurma ya da teklif alma yetkisi bulunmamaktadır. Bu nedenle, sevkiyat ajanı bir nevi sipariş ajanları ile araç ajanları arasında köprü görevi görmektedir. Sevkiyat ajanı, sistemdeki mevcut araç ajanlarının listesini tutar ve bir sipariş ajanı sisteme girdiğinde uygun araç ajanları belirler.

Sevkiyat ajanı, araç atama kararlarını koordine etmenin yanı sıra, sipariş ve araç ajanları arasında gerçekleşen ihale ve müzakere süreçlerini yönetmekten sorumludur. Bu nedenle, sevkiyat ajanı, siparişleri ilgili araç ajanlarına atama ve daha iyi uyum sağlayan taşıma planı alternatifleri üretme hedeflerine sahiptir.

Şekil 3.5'te görülebileceği gibi, sisteme yeni gelen sipariş ajanı, sevkiyat ajanının sunduğu tüm araç ajanlarından teklif toplamak için bir yayın başlatır. Eğer sevkiyat ajanı tarafından teklif toplamak üzere n adet araç ajanı sipariş ajanına yönlendirildiyse, sevkiyat ajanı tarafından sipariş ajanının teklif çağrısı n adet araç ajanının tamamına iletilir. Araç ajanları ise, teklif çağrısına uygunluk durumuna göre siparişi taşımayı kabul ya da ret cevabı göndermektedir. Şekil 3.6'da sevkiyat ajanının uyguladığı "Teklif Toplama Algoritması"nın adımları açıklanmıştır.



Şekil 3.5. Sipariş ajanı ihale akış diyagramı

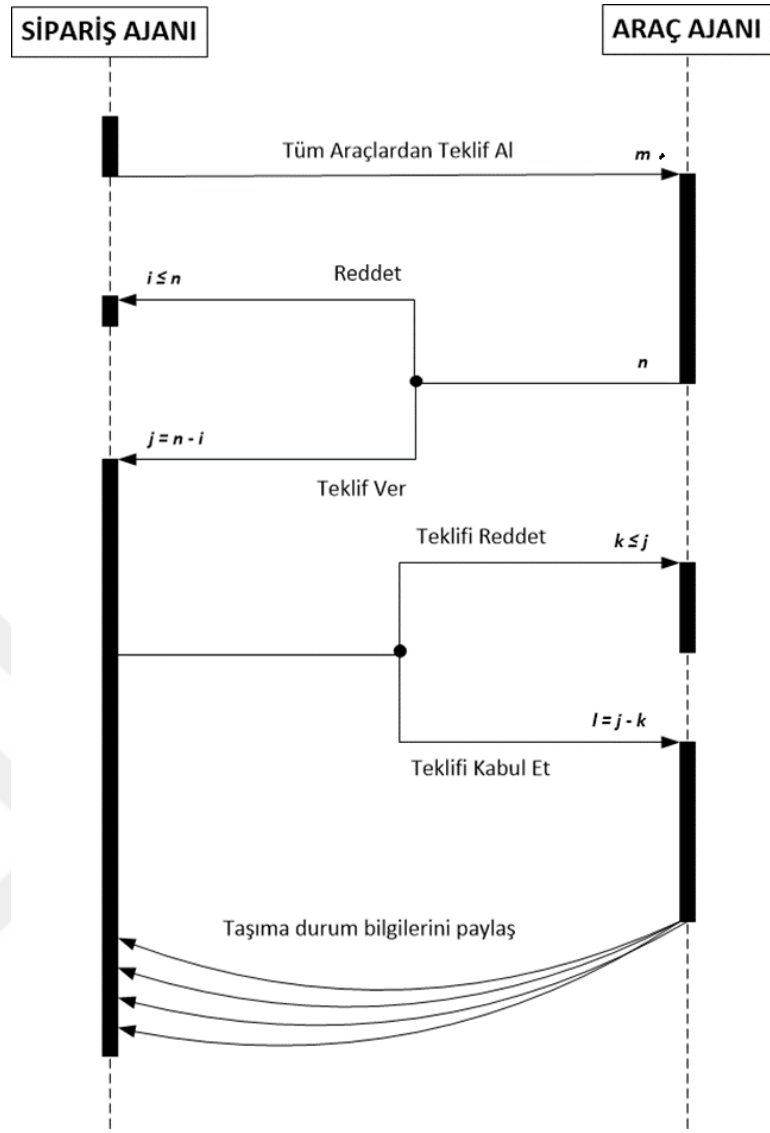
Algoritma A.2 Sipariş ajanı ihale /Sevkiyat ajanı teklif toplama algoritması.

TEKLİF-TOPLA (o)**in:** $o \in O$ **local:** $B [(k_1, c_1), \dots, (k_n, c_n)]$ siparişe gelen teklifler listesi; t : birim zaman; bid^* : en iyi teklif (en düşük maliyet)1: $B \leftarrow \emptyset$ 2: **for all** $k \in V$ **do**3: $bid_o^k \leftarrow \{ \text{TEKLİF-OLUŞTUR}(k, o) \}$ 4: $B \leftarrow B \cup \{bid_o^k\}$ 5: **end for**6: $bid^* \leftarrow \{ \text{TEKLİFLERİ-DEĞERLENDİR}(B, o) \}$ 7: **if** $T_o^{RES} > (t - t_o^{ARV})$ **then**8: **wait** (T_o^{RES})9: **else if** $bid^* \neq \emptyset$ **then**10: **send msg**('sipariş onaylandı')11: **else**12: **send msg**('sipariş reddedildi')13: **end if**

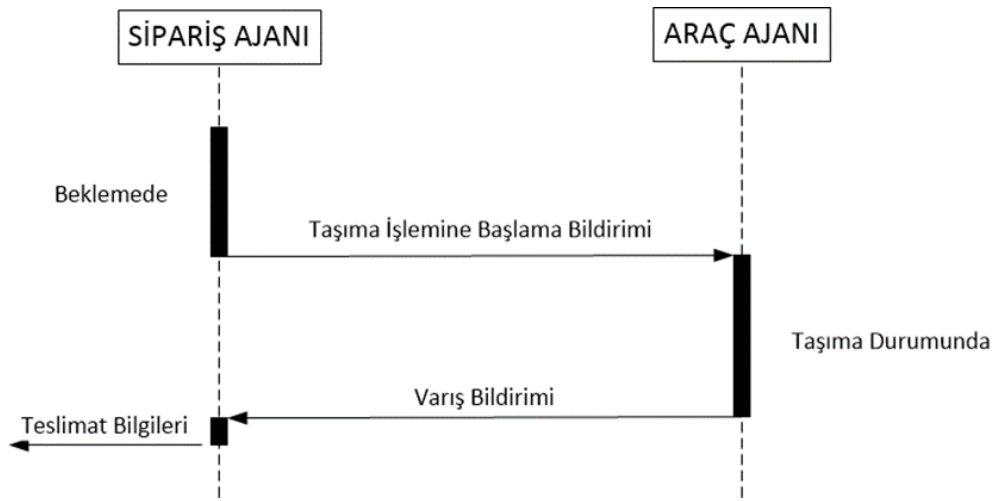
Şekil 3.6. Teklif toplama algoritması

Sipariş ajanı tarafından teklif istenen araç ajanı, müşteri talebinde belirtilen kısıtları karşılıyorsa siparişi kabul eder ve taşıma maliyetini hesaplar. Herhangi bir araç ajanı k , ilgili sipariş için maliyeti şu şekilde hesaplar; $(k, \text{Cost}(C_k + o) - \text{Cost}(C_k))$ burada C_k , k aracının mevcut taşıma planındaki işlerin toplam maliyetini ifade etmektedir. Diğer bir deyişle, araç ajanı yeni gelen siparişi mevcut taşıma planına ekleyerek toplam taşıma maliyetini hesaplar. Sipariş ajanı, sadece siparişi kabul etmesi mümkün olan, siparişte belirtilen taşıma kısıtlarını karşılayan araç ajanlarından maliyet bilgilerini alır. Zaman penceresi, yük miktarı ve dorse tipi kısıtları nedeniyle ilgili sipariş ajanının teklif çağrısına cevap verecek ve teklif gönderecek hiçbir araç ajanının olmaması ihtimaller arasındadır. $\text{Cost}(C_k + o)$, verilen C_k k aracının mevcut taşıma planına yeni gelen siparişin eklenmesiyle oluşacak ek maliyeti ifade etmektedir. Şekil 3.7, Sipariş Ajanı ile Araç Ajanı arasında teklif verme, teklif kabul/ret süreci esnasındaki iletişimi göstermektedir.

Sipariş ajanı uygun bir araç ajanına atanmasından sonra, yükün alım zamanına kadar beklemeye başlar ve süre dolduğunda, daha önce ataması yapılan araç ajanına taşıma işlemine başlanması için bir bildirim gönderir (Şekil 3.8).



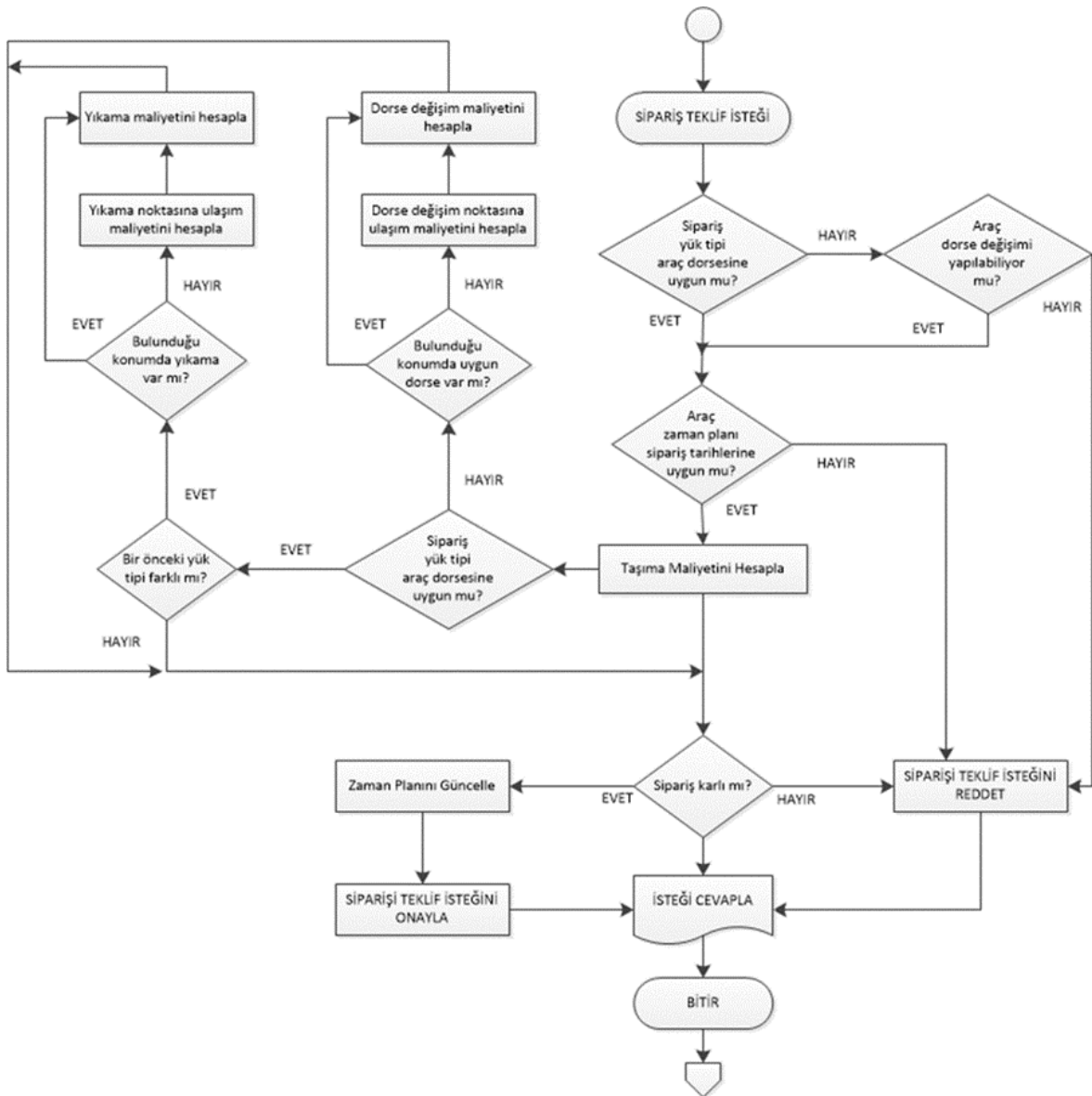
Şekil 3.7. Sipariş ajanı ve Araç ajanı etkileşim diyagramı



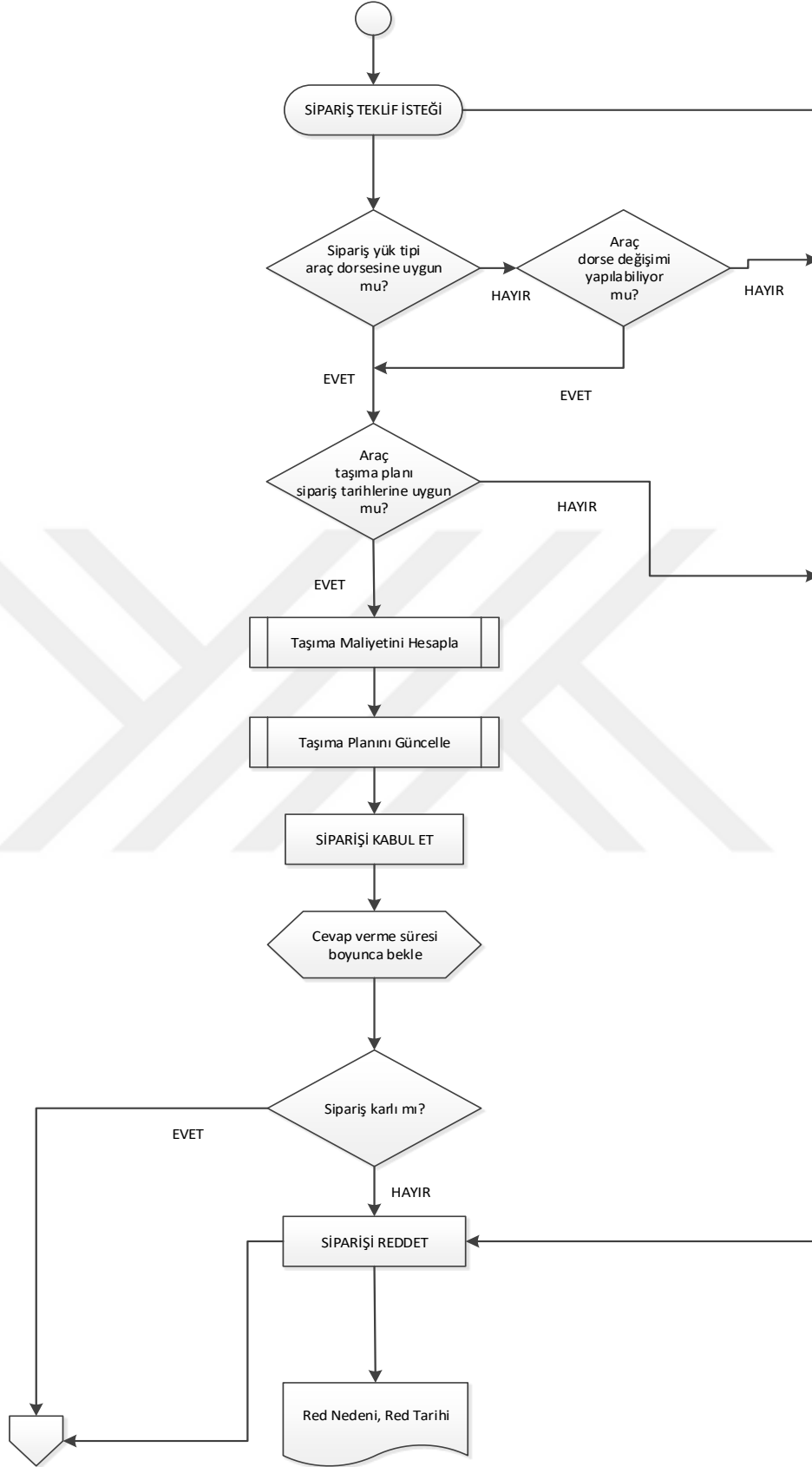
Şekil 3.8. Sipariş ve Araç Ajanları arasında taşıma akış protokolü

Teklif Hazırlama Süreci

Şekiller 3.9 ve 3.10’da teklif hazırlama sürecinin akış diyagramını göstermektedir. Teklif isteyen sipariş ajanı, araç ajanının taşıma planı ve zaman penceresine hem de dorse tipi kısıtlarına uygunsa, sipariş cevap verme süresinin sonuna kadar geçici olarak kabul edilir. Araç atama çizelgesindeki her bir operasyonun maliyeti hesaplanır ve sipariş ajanına gönderilir. Araç ajanı, taşıma maliyetini ilgili sipariş ajanına gönderdikten sonra, bir yandan zaman çizelgesine göre operasyonlarını yerine getirirken, öte yandan sipariş ajanı ile müzakerelerine devam eder. Bu, araç ajanlarının hareket halindeyken de taşıma planları ve buna ilişkin zaman çizelgelerini (ve ayrıca rotalarını) değiştirebilecekleri anlamına gelmektedir.



Şekil 3.9. Araç Ajanı sipariş teklif hazırlama akış diyagramı



Şekil 3.10. Araç Ajanı sipariş teklif hazırlama akış diyagramı-2

Sipariş ajanı, sevkiyat ajanı vasıtasıyla araç ajanlarından toplanan tekliflerin değerlendirmesini Şekil 3.11’de açıklanan Teklif Değerlendirme algoritmasına göre yürütmektedir. Sipariş ajanı, sevkiyat ajanı aracılığıyla araç ajanının verdiği tekliflerden en düşük maliyetli olanı seçer. Sevkiyat ajanı sipariş ajanına atandığı araçları bildirir. Bu bildirime karşılık araç ajanı teklifini kabul eden sipariş ajanına siparişi taşıma planına eklediğini geri bildirir.

TEKLİFLERİ-DEĞERLENDİR (B, o)

in: $B [(k_1, c_1), \dots, (k_n, c_n)]$ siparişe gelen teklifler listesi; $o \in O$

out: bid^* : en iyi teklif (en düşük maliyet)

constant: $thold$: yeniden teklif toplama frekans eşiği

local: f_q : yeniden teklif toplama frekansı; t : birim zaman;

bid^* : en iyi teklif (en düşük maliyet)

1: **if** $|B| = 0$ **then**

2: **while** $T_o^{RES} > (t - t_o^{ARV})$ **do**

3: $f_q \leftarrow (T_o^{RES} - (t - t_o^{ARV})) / thold$

4: **wait** (f_q)

5: **call** { TEKLİF-TOPLA (o) }

6: **end while**

7: **else**

8: $bid^* \leftarrow B(k_{min}, c_{min})$

9: **send msg**(‘teklif kabul edildi’)

10: **end if**

11: **return** bid^*

Şekil 3.11. Sipariş Ajanı teklif değerlendirme algoritması

Bir araç ajanının Teklif Hazırlama algoritmasının adımları Şekil 3.12’de gösterilmiştir. Bir sipariş ajanından teklif çağrısını işleme aldıktan sonra, araç ajanının yeni gelen siparişe ret/kabul kararı vermek için kontrol ettiği ilk şey, gelen siparişin araç dorsesine uygunluğudur (bkz. Şekil 3.13). Araç ajanı, teklif çağrısıyla birlikte gelen sipariş bilgilerini alarak yük tipinin aracın dorsesi ile uyumluluğunu kontrol eder ve gereksiz haberleşmeyi önleyerek hesaplama karmaşıklığını azaltır.

Teklif çağrısı yapan sipariş ajanı, araç ajanının takvimi için uygunsa (bkz. Şekil 3.13), taşıma planındaki tüm operasyon unsurlarını dikkate alarak taşıma maliyetini hesaplamaya başlar. Uygunluk kontrollerinden geçemeyen siparişler araç ajanı tarafından reddedilir ve bildirilir. Şekil 3.14’de, araç ajanının belirli bir zaman diliminde kabul edilen siparişlerinin listesi gösterilmektedir.

Algoritma A.1 Araç ajanı teklif hazırlama algoritması.

TEKLİF-OLUŞTUR (k, o)
in: $k \in V$ araç; $o \in O$ sipariş
out: bid_o^k , k aracının o siparişi için fiyat teklifi
1: **if** { DORSE-KONTROL (k, o) } = **false** **then**
2: *send msg*('sipariş reddedildi')
3: **else if** { ÇİZELGE-KONTROL (k, o) } = **false** **then**
4: *send msg*('sipariş reddedildi')
5: **else**
6: $C_o^k \leftarrow \{ \text{MALİYET-HESAPLA} (k, o) \}$
7: $bid_o^k \leftarrow \{ o, k, C_o^k \}$
8: *wait* (T_o^{RES})
9: **if** { KARLILIK -KONTROL (k, o) } = **false** **then**
10: *send msg*('sipariş reddedildi')
11: **end if**
12: $OA_k \leftarrow OA_k \cup \{o\}$
13: **end if**
14: **return** bid_o^k

Şekil 3.12. Araç Ajanı teklif hazırlama algoritması

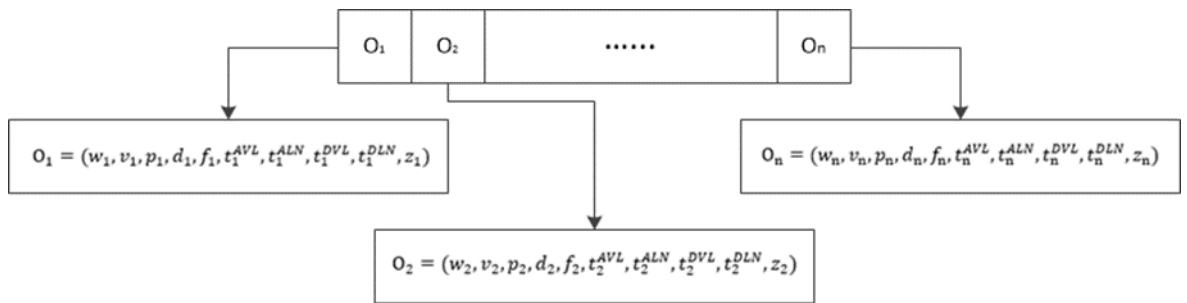
DORSE-KONTROL (k, o)
in: $k \in V$ araç; $o \in O$ sipariş
out: **true** ya da **false**
1: **if** $y_k = 0$ (*false*) and $h_f \neq \emptyset$ **then**
2: **if** $u_k \subseteq h_f$ **then**
3: **return true**
4: **else**
5: **return false**
6: **end if**
7: **end if**
8: **return true**

Şekil 3.13. Araç Ajanı dorse uygunluk kontrolü

ÇİZELGE-KONTROL (k, o)

in: $k \in V$ araç; $o \in O$ sipariş
out: **true** ya da **false**
local: $OA_k^*, OA_k^* \subseteq O$, araç ajanı geçici kabul edilmiş siparişler listesi
1: $OA_k^* \leftarrow \text{copy } OA_k \mid \{ \}$
2: **if** $OA_k^* = \emptyset$ **then**
3: **return true**
4: **end if**
5: **for** $i \leftarrow 0$ **to** $|OA_k^*|$ **do**
6: **if** $i = 0$ **then**
7: **if** $t_i^{ALN} > t_o^{DVL} + TM[d_o, p_i]$ **then**
8: **return true**
9: **end if**
10: **end if**
12: **else if** $i = |OA_k^*|$ **then**
13: **if** $t_i^{DVL} + TM[d_{i-1}, p_o] < t_o^{ALN}$ **then**
14: **return true**
15: **end if**
16: **end if**
17: **else**
18: **if** $TM[d_{i-1}, p_o] + TM[d_o, p_i] < t_i^{ALN} - t_{i-1}^{DVL}$ **and** $t_o^{DVL} < t_i^{ALN} + TM[d_o, p_i]$ **and**
 $t_o^{ALN} > t_{i-1}^{DVL} + TM[d_{i-1}, p_o]$ **then**
19: **return true**
20: **end if**
21: **end if**
22: **end for**
23: **return false**

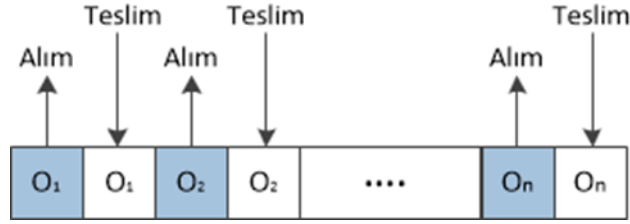
Şekil 3.14. Sevkiyat Ajanı araç atama çizelgesi kontrol algoritması



Şekil 3.15. Araç Ajanı Kabul Edilen Siparişler Listesi

Her bir araç ajanı, ileride alacağı potansiyel taşıma işlerine karar vermek ve buna ilişkin taşıma planları oluşturmak için kullanmak üzere teklif isteyen tüm sipariş ajanlarını kendi içinde tekil bir listede tutar. Ayrıca araç ajanı, teklif için çağrıda bulunan herhangi bir sipariş ajanının fizibilitesini kontrol etmek için ayrı bir veri setine sahiptir. Bu veri seti, siparişe ilişkin her biri “alım”, “teslim”, “yıkama” ya da “dorse değişim” işlemlerinden birinden oluşan bir sıralı işlem

listesidir. Herhangi bir sipariş ajanının geçici kabul kararı (gelecekte kalıcı veya geçici bir kabul olabilir) sonrası araç ajanı, bu listeye en az iki (her bir sipariş için bir alım ve teslim olmak üzere en az iki operasyon) operasyon unsuru ekler. Taşıma planından farklı olarak tuttuğu bu liste ile aracın rotası da belirlenmiş olur. Bu şekilde, araç ajanı her bir siparişin teslimine kadar tüm operasyonları gösteren bir zaman penceresine sahip olur. Şekil 3.15’de örnek bir aracın operasyonlarını taşıma planındaki siparişlerin teslimine kadar sorumlu olduğu operasyonları göstermektedir.



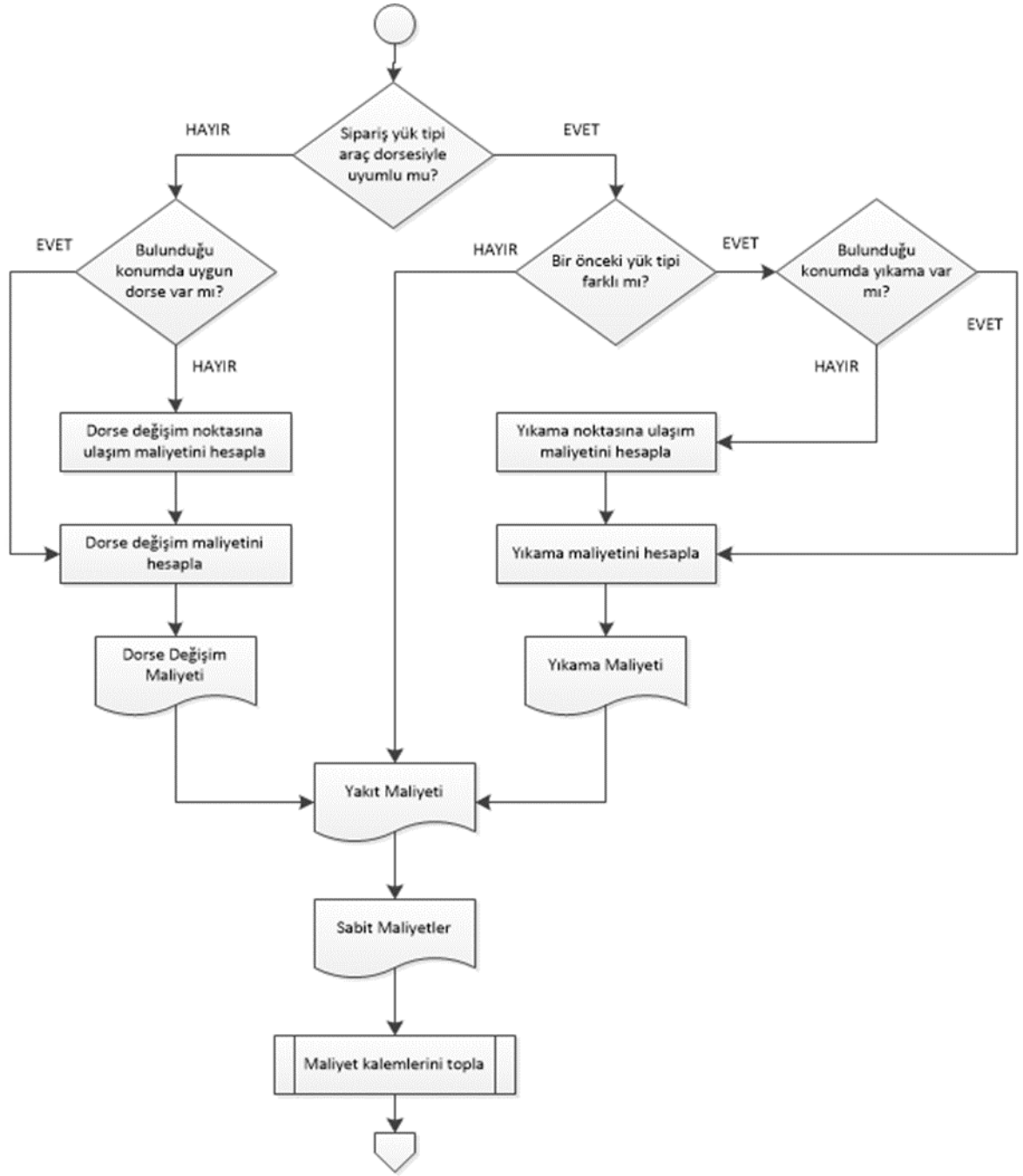
Şekil 3.16. Araç Ajanı İçin Örnek Bir Taşıma Operasyonları Dizisi

Maliyet Hesaplama Süreci

Araç ajanları tarafından kısıtları sağlayan talepler için verilen tekliflerin maliyetinin hesaplanmasında takip edilen hesaplama işlemi akış diyagramı ve Sipariş Maliyeti Hesaplama Algoritması sırasıyla Şekil 3.17 ve Şekil 3.18’de gösterilmiştir. Taşıma maliyeti, boş gidiş yakıt maliyeti, dolu gidiş yakıt maliyeti, varsa dorse değişim maliyeti, dorse yıkama maliyeti ve sabit maliyetten oluşmaktadır.

Herhangi bir araç ajanı k , ilgili sipariş için maliyeti şu şekilde hesaplar; $(k, Cost(C_k + o) - Cost(C_k))$ burada C_k , k aracının mevcut taşıma planındaki işlerin toplam maliyetini ifade etmektedir. Diğer bir deyişle, araç ajanı yeni gelen siparişi mevcut taşıma planına ekleyerek toplam taşıma maliyetini hesaplar.

Hesaplanan taşıma maliyeti ilgili sipariş ajanına gönderilir. Bu bildirim sipariş ajanı için teklifte belirtilen taşıma maliyetiyle kabul edildiği anlamına gelir. Araç ajanından siparişin kabul edildiğine ilişkin bildirim alan sipariş ajanı, kendi nihai kararı üzerinde çalışır. Sistemde araçların dolu/boş yakıt maliyetleri, dorse değişim ihtiyacına göre dorse değişim maliyeti, yıkama ihtiyacına göre yıkama maliyeti ve sabit maliyetler dikkate alınarak karlılık analizi yapılmaktadır. Karlılık analizi öncesinde her bir taşıma talebi özelinde taşımaya uygunluk kontrolü ve buna bağlı olarak kabul/ret kararları alınmaktadır.



Şekil 3.17. Maliyet hesaplama akış diyagramı

TOPLAM-MALİYET-HESAPLA (k, OA_k)**in:** $k \in V$; $OA_k \subseteq O$ k aracı kabul edilen siparişler listesi**out:** C_k , k aracı taşıma planı toplam maliyeti**constant:** c^e , boş araç mesafe başına birim yakıt maliyeti; c^f , dolu araç mesafe başına birim yakıt maliyeti; c^p , sabit dorse değişim maliyeti; c_k^s , k aracının sabit maliyetler toplamı; DM, iki nokta arası mesafe matrisi; TM, iki nokta arası seyahat süresi matrisi; WM, iki yük tipi arası yıkama matrisi; $P^w \subseteq P$, yıkama noktaları; $P^t \subseteq P$, dorse değişim noktaları; **local:** $u_k^* \subseteq T$, k aracı üzerindeki son dorse tipi; $l_k^* \in P$, k aracının bulunduğu son nokta; $l_w \in P^w$, en yakın yıkama noktası; $l_p \in P^t$, en yakın dorse değişim noktası

```

1:  $C_k \leftarrow 0$ 
2:  $u_k^* \leftarrow \{u_k\}$ 
3:  $l_k^* \leftarrow l_k$ 
4:  $OA_k \leftarrow \text{sort}(OA_k)$ 
5: for  $m \leftarrow 1$  to  $|OA_k|$  do
6:   if  $m > 1$  and  $f_{m-1} \neq f_m$  then
7:     if  $l_k^* \in P^w$  then
8:        $l_w \leftarrow l_k^*$ 
9:     else
10:       $l_w \leftarrow \{ \text{ENYAKIN-NOKTA}(P^w, p_m) \}$ 
11:    end if
12:     $C_k \leftarrow C_k + WM[f_{m-1}, f_m]$ 
13:     $C_k \leftarrow C_k + (DM[l_k^*, l_w] * c^e)$ 
14:     $l_k^* \leftarrow l_w$ 
15:  end if
16:  if  $y_k = 1$  and  $u_k^* \not\subseteq h_f$  then
17:    if  $l_k^* \in P^t$  then
18:       $l_p \leftarrow l_k^*$ 
19:    else
20:       $l_p \leftarrow \{ \text{ENYAKIN-NOKTA}(P^t, p_m) \}$ 
21:    end if
22:     $C_k \leftarrow C_k + c^p$ 
23:     $C_k \leftarrow C_k + (DM[l_k^*, l_p] * c^e)$ 
24:     $l_k^* \leftarrow l_p$ 
25:     $u_k^* \leftarrow h_f$ 
26:  end if
27:  if  $l_k^* \neq p_m$  then
28:     $C_k \leftarrow C_k + (DM[l_k^*, p_m] * c^e)$ 
29:  end if
30:   $C_k \leftarrow C_k + (DM[p_m, d_m] * c^f)$ 
31:   $l_k^* \leftarrow d_m$ 
32: end for
33:  $C_k \leftarrow C_k + c_k^s$ 
34: return  $C_k$ 

```

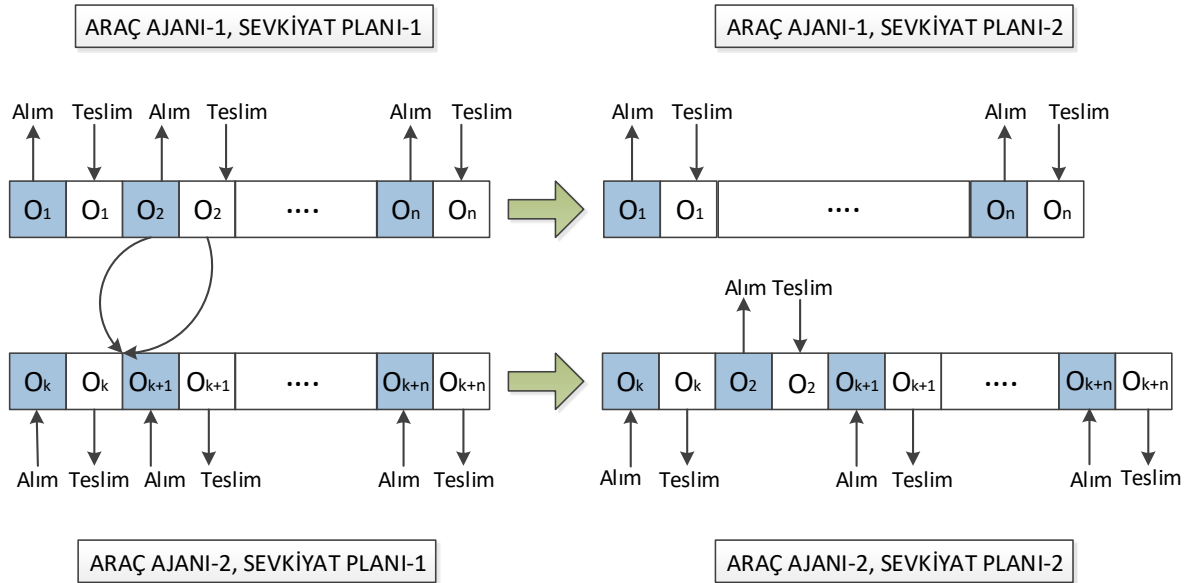
Şekil 3.18. Araç Ajanı Sipariş Maliyeti Hesaplama Algoritması

KARLILIK-KONTROL (k, o)**in:** $k \in V$ araç; $o \in O$ sipariş**out:** **true** ya da **false****constant:** IM , tarife matrisi**local:** I_o , siparişten elde edilecek gelir; C_o^k , sipariş maliyeti1: $I_o \leftarrow IM[p_o, d_o]$ 2: $C_o^k \leftarrow \{ \text{MALİYET-HESAPLA}(k, o) \}$ 3: **if** $I_o > C_o^k$ **then**4: **return true**5: **else**6: **return false**7: **end if**

Şekil 3.19. Sevkiyat Ajanı atama karlılık kontrol algoritması

3.2.3.8. Sipariş Takas Mekanizması

Sevkiyat ajanı, herhangi bir siparişin uygun bir araç ajanına atanmasından sonra sipariş ve araç ajanlarını yeniden eşleştirerek daha verimli alternatif taşıma planları bulmaya çalışır. Sisteme yeni bir siparişin gelmesi, sevkiyat ajanının sistemde harekete geçmesini tetikleyebilir. Bunun nedeni, bir siparişin bir araç ajanına atanması sonrasında yeni bir siparişin gelmesinin daha avantajlı alternatif taşıma planları oluşturulmasına olanak sağlayabilmesidir. Sipariş-arac ajanları arasında gerçekleşen müzakerelerin yeniden başlatılmasıyla daha iyi eşleşme sağlayan yeni taşıma planı alternatifleri elde edilmesi durumunda bazı siparişler araç taşıma planları arasında takas edilebilir. Şekil 3.20, araç ajanları arasındaki sipariş takas mekanizmasını göstermektedir.



Şekil 3.20. Araçların Taşıma Planları Arası Takas Mekanizması

Sipariş ajanları, hangi araçlara atandığını kendi içinde bir veri setinde tutar. Sevkiyat ajanı, sipariş ajanını daha iyi alternatif taşıma planları elde edeceğini düşündüğü bir dizi araç ajanı ile yeniden eşleştirdiğinde, sipariş ajanı daha önceki atama ile Şekil 3.5'de gösterilen teklif ihale akışını tekrar başlatır.

Araç ajanları ile yapılan bu müzakere sonucunda ilgili sipariş ya reddedilir ya da teklif edilen maliyetle taşınmak üzere kabul edilir. Daha önce başka bir araca atanmış olan sipariş ajanı tarafından yeniden teklif toplandığında, gelen teklifler arasında daha düşük maliyetli bir teklif elde edilirse, Araç Ajanı-1'den zaman çizelgesi ve taşıma planından siparişe ilişkin tüm operasyonlar silinerek Araç Ajanı-2'e aktarılır. Buradaki kritik nokta, sevkiyat ajanının, henüz taşıma işlemine başlamamış, teslim almak üzere harekete geçilmemiş sipariş ajanları için bu akışı işletmesi gerektiğidir. Sistemde mantık hatalarına yol açmamak için, bir sipariş teslim alınarak harekete geçtikten sonra, ilgili sipariş başka araçlara aktarılamaz ve dolayısıyla taşıma planındaki yeri değiştirilemez. Sevkiyat ajanı tarafından diğer ajanlarla birlikte yürütülen bu takas mekanizması, her iki araç arasında gerçekleşen silme ve yerleştirme işlemlerinin işlem hatalarına yol açmamak adına senkron şekilde aynı anda gerçekleştiği varsayılmıştır.

Sevkiyat ve sipariş ajanı arasında yürütülen bu yeniden teklif toplama ve takas mekanizması araç ajanları için sürekli değişebilen dinamik bir taşıma planı sağlar. Bu nedenle, sevkiyat - sipariş - araç ajanları arasındaki bu iş birliği, araç ajanının bir sipariş ajanını kalıcı olarak kabul ettikten sonra dahi yeni gelen siparişlere uyum gösterebilmek adına taşıma planlarını dinamik olarak yeniden düzenleyebilmesine imkan sağlar.

Şekil-3.5'teki akışta olduğu gibi yeniden yapılan ihale ve teklif toplama süreci sonucunda, araç ajanlarının taşıma planları arasında sipariş değişimleri olabilir. Sipariş ajanı, daha önce kendisine teklif edilen araç ajanlarından daha az maliyet teklif eden bir araç ajanı bulduğunda, sipariş ajanı, daha önce taşıma işlemini ve teklifini onayladığı araç ajanına, kendisini taşıma planından çıkarması için bilgilendirir. Daha sonra sipariş ajanı, daha iyi maliyet teklifinde bulunan yeni araca atanır. Araç ajanlarından hiçbiri sipariş ajanına teklifte bulunmazsa, sipariş ajanı akışı sonlandırır ve hali hazırda atanmış olduğu araç taşıma planında kalır.

Araç ajanları taşıma planları arasında takas edilmeye çalışılırken, sipariş ajanı mevcut taşıma durumunun takas işleme uygun olup olmadığını her seferinde kontrol eder. Bir sipariş ajanı daha önce atandığı araç ajanı alım noktasına gitmek üzere harekete geçtiğinde, bu, o sipariş ajanı için takas ya da herhangi bir değişimin artık mümkün olmadığı anlamına gelir.

Teslim alma zamanına kadar sipariş ajanı için yeniden ihale ve takas imkânı vardır. Sipariş ajanı, taşıma işlemine başladıktan sonra her operasyon bitiminde ve her noktada araç ajanları tarafından bilgilendirilir. Örneğin; bir araç ajanı bir siparişi fiziksel olarak teslim aldığı anda, sipariş ajanına mevcut durumu hakkında bilgi verir. Ardından sipariş ajanı, alternatif taşıma planları oluşturulurken dikkate alınmaz ve varsa devam eden akışlardan çıkartılır.

Siparişin atanacağı araç, en geç teslim alma zamanına kadar değişebilir. Bu durum, lojistik sektöründeki iş akışlarının son derece değişken olmasından kaynaklanmaktadır. Diğer bir deyişle, araçların taşıma planı ve dolayısıyla rotaları en son yükleme noktasına kadar değişebilir. Sisteme yeni bir sipariş geldiğinde o ana kadar elde edilen son çözüme ait tüm taşıma planları yeni gelen siparişi içerecek şekilde değişebilir. Ancak gelen herhangi bir siparişin taşınmasına izin verilirse, başka bir siparişin gelmesi o siparişin kabul kararını değiştirmez.

Algoritma A.3 Sevkiyat ajanı sipariş yönetimi/ taşıma planı optimizasyon

YENİ-SİPARİŞ (o)

in: $o \in O$ yeni gelen sipariş
local: O gelen sipariş listesi
constant: Q , maksimum araç kapasitesi
1: $O \leftarrow O \cup \{o\}$
2: **call** { TAŞIMA-PLANI-OPTİMİZASYON () }
3: $x \leftarrow w_o / Q$
4: **for** $m \leftarrow 1$ **to** w_o / Q **do**
5: **call** { TEKLİF-TOPLA (m) }
6: **end for**
7: $bid^* \leftarrow \{ \text{TEKLİFLERİ-DEĞERLENDİR} (B, o) \}$
8: **if** $T_o^{RES} > (t - t_o^{ARV})$ **then**
9: **wait** (T_o^{RES})
10: **else if** $bid^* \neq \emptyset$ **then**
11: **send msg**('sipariş onaylandı')
12: **else**
13: **send msg**('sipariş reddedildi')
14: **end if**

FİLO-MALİYETİ-HESAPLA (V)

in: V araç listesi
out: C : sistemdeki tüm araçların toplam taşıma maliyeti
1: $C \leftarrow 0$
2: **for all** $k \in V$ **do**
3: $C_k \leftarrow \{ \text{ARAÇ-MALİYETİ-HESAPLA} (k, OA_k) \}$
4: $C \leftarrow C + C_k$
5: **end for**
6: **return** C

Şekil 3.21. Yeni Sipariş ve Filo Maliyeti Hesaplama Algoritmaları

TAŞIMA-PLANI-OPTİMİZASYON()

constant: δ iterasyon sayısı

local: V^* araç listesinin geçici kopyası, V^{o^*} sipariş alternatif araç listesi

```
1:  $V^* \leftarrow \text{copy } V$ 
2:  $C \leftarrow \{ \text{FİLO-MALİYETİ-HESAPLA}(V) \}$ 
3: for  $i \leftarrow 1$  to  $\delta$  do
4:    $k^* = \text{random } V^*$ 
5:    $o^* = \text{random } OA_{k^*}$ 
6:    $V^{o^*} \leftarrow \emptyset$ 
7:    $C_{o^*}^{k^*} \leftarrow \{ \text{SİPARİŞ-MALİYETİ-HESAPLA}(k^*, o^*) \}$ 
8:   for all  $k \in V^* \cap \{k^*\}$  do
9:      $C_{o^*}^k \leftarrow \{ \text{SİPARİŞ-MALİYETİ-HESAPLA}(k, o^*) \}$ 
10:    if  $C_{o^*}^k < C_{o^*}^{k^*}$  then
11:       $OA_k \leftarrow OA_k \cup \{o^*\}$ 
12:       $OA_{k^*} \leftarrow OA_{k^*} \cap \{o^*\}$ 
13:       $C^* \leftarrow \{ \text{FİLO-MALİYETİ-HESAPLA}(V^*) \}$ 
14:      if  $C^* < C$  then
15:         $V^{o^*} \leftarrow V^{o^*} \cup \{k\}$ 
16:      end if
17:    end if
18:  end for
19:  if  $|V^{o^*}| > 0$  then
20:    call  $\{ \text{TEKLİF-TOPLA}(o^*, V^{o^*}) \}$ 
21:    return
22:  end if
23: end for
```

Şekil 3.22. Takas Mekanizması Algoritması

3.2.4. Geliştirilen Simülasyon Modeli

Simülasyon sistemlerin, belirsizlik ve dinamik koşullar altında performanslarının tahmininde kullanılan bir modelleme ve analiz yöntemidir. Belirlenen koşullar çerçevesinde sistemin kısa, orta ve uzun vadede ele alınan sistemin nasıl davranacağını test edebilmek analitik modellerin mümkün olmadığı durumlarda simülasyona ihtiyaç duyulmaktadır.

Bu araştırmada da ele alınan problem doğası gereği dinamik ve stokastik bir problemdir. Geliştirmiş olduğumuz çoklu ajan tabanlı araç atama ve rotalama yaklaşımının farklı koşullarda test edilmesi amacıyla bir simülasyon modeli geliştirilmiştir. Bu modelde, sisteme ulaşan taşıma taleplerinin ağırlık ve hacimleri kesikli düzgün dağılımdan üretilmiştir. Taleplerin sisteme geliş zamanları bir Poisson geliş sürecinden üretilmiştir. Taleplere cevap verme süresi ise üstel dağılıma uyduğu kabul edilmiştir.

3.2.5. Simülasyon Deneylerinin Tasarımı

Sistemde tanımlı olan bazı faktörlerin değişiminin geliştirilen ajan tabanlı araç rotalama yaklaşımının performansına etkisinin incelenmesi amacıyla simülasyon deneyleri tasarlanmıştır. Bu

faktörleri çevresel faktörler ve geliştirilen atama ve rotalama algoritmasını parametreleri olarak iki ayrı sınıfta ele almak mümkündür.

i) Çevresel Koşullar:

- a. *Çok Seferli Yük Oranı:* Bu çalışmada sefer sayıları dağılımı için sefer sayıları çoklu veya tekli sefer olarak ayrılmıştır. Sisteme gelen toplam talep sayıları içerisinde çoklu seferli taleplerin yüzde cinsinden oranı %20, %30 ve %40 olmak üzere 3 seviyede değiştirilmiştir. Örneğin; %20 çoklu sefer oranı için sefer sayılarının olasılık dağılımı aşağıdaki Çizelge 3.1’de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Çoklu sefer oranı %20 için sefer sayıları dağılımı

Sefer Sayısı	Olasılığı
1	0,8
2	0,2/14
3	0,2/14
4	0,2/14
5	0,2/14
6	0,2/14
7	0,2/14
8	0,2/14
9	0,2/14
10	0,2/14
11	0,2/14
12	0,2/14
13	0,2/14
14	0,2/14
15	0,2/14

Bu faktörün deneysel tasarımda seçilmesinin nedeni, çok seferli taleplerin yoğun olduğu koşullarda araç atama ve rotalamanın sistem performansını hangi düzeyde olumsuz etkileyebileceğinin incelenmesidir. Problem formülasyonunda bir çoklu seferli talebin tüm seferlerine araç atanamaması halinde talebin tümüyle ret edileceği varsayılmıştır.

- b. *Sıkışıklık Oranı:* Sisteme gelen talep yoğunluğu ve mevcut araç sayısı ile yapılabilecek sefer sayısı dikkate alındığında araç atamada sistemde yaşanabilecek sıkışıklığın düzeyi aşağıdaki sıkışıklık oranı (ρ) ile ifade edilebilir.

$$\rho = \frac{\lambda_s}{K * \mu}$$

3.1

Burada ;

λ_s : haftalık gelen ortalama sefer sayısı (sefer/hafta)

μ : araç başına ortalama servis hızı (sefer/hafta)

K : araç sayısı

$\bar{s}$: gelen talep başına ortalama sefer sayısı (sefer/talep)

olarak tanımlanmıştır. Ortalama sefer sayısı

$$\lambda_s = \lambda_d * \bar{s}$$

denkleminde hesaplanmaktadır. Bu denklemde λ_d , haftalık gelen ortalama talep sayısını (talep/hafta) göstermektedir. λ_d olarak 84, 168 ve 336 sipariş/hafta değerleri alınmıştır. Talep başına ortalama sefer sayısı, örneğin Çizelge 3.1’de %20 çoklu sefer oranı için geçerli sefer sayıları dağılımı kullanıldığında aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır:

$$\bar{s} = 0,8*1 + 0,2*(15+2/2)=2,5 \text{ sefer/talep}$$

Benzer şekilde, çoklu sefer oranları %30 ve %40 için ortalama sefer sayıları sırasıyla, 3,25 ve 4,0 olarak hesaplanmıştır.

Bir aracın birim zamanda(hafta) yapabileceği ortalama sefer sayısının hesaplanmasında noktalar arası mesafeye ihtiyaç duyulmaktadır. Deneysel tasarımda 17 noktalı dağıtım ağı esas alınmıştır. Dağıtım ağı noktaları arasındaki mesafeler km cinsinden Şekil 4.7’de verilmiştir. Taşıma taleplerinin çıkış noktası olarak yukarıda tabloda gösterilen 17 noktanın hepsinden yükleme yapılabilmektedir. Ancak, deneysel tasarımda yükleme taleplerinin yükleme noktasının 17 nokta arasında eşit dağılmadığı kabul edilerek yükleme taleplerinin Çizelge 3.2’de gösterildiği şekilde dağıldığı varsayılmıştır. Bunun nedeni uygulamada esas alınan firmanın bazı noktalardan daha yoğun bir şekilde yükleme yapmasıdır. Herhangi bir talep yükleme noktasından diğer noktalara boşaltmalar eşit oranda varsayılmıştır.

Çizelge 3.2. Dağıtım ağı noktalarından yükleme olasılıkları

Talep Yükleme Noktası	Olasılığı (w_i)
8	0,24
12	0,24
14	0,24
Diğer 14 nokta	0,02

Yukardaki varsayımlar ışığında sefer başına tek yön yükleme ve boşaltma noktası arasındaki ortalama mesafe (sefer/km) aşağıdaki denklem ile hesaplanmıştır.

$$\bar{d} = \sum_{i=1}^{17} w_i \left[\frac{\sum_{j=1}^{17} d_{ij}}{16} \right]$$

Bir seferin yüklü olarak yükleme ve boşaltma noktasında gidiş ve boşaltma ve aynı yükleme noktası arasında dönüşten oluştuğu varsayıldığında sefer başına ortalama süre (saat/sefer) aşağıdaki denklemden elde edilebilir.

$$\bar{Z} = \frac{2\bar{d}}{v}$$

Burada v tüm araçlar için kabul edilen ortalama hızdır. Bu denklemler kullanıldığında $\bar{d}$ değeri; 395,76 km ve $\bar{Z}$ değeri; 13,192 saat olarak elde edilmiştir. Servis hızının hesaplanmasında tüm araçların 7 gün 24 saat çalıştığı varsayılmıştır. Buradan $\mu = \frac{24 \times 7}{13,192} = 12,74$ sefer/hafta olarak bulunmuştur. Denklem 3.1 kullanılarak benzer şekilde tüm diğer durumlar için sıkışıklık oranları yaklaşık olarak hesaplanmış ve Çizelge 3.3’de özetlenmiştir.

Çizelge 3.3. Farklı durumlar için sıkışıklık oranları

Çok seferli Talep									
Oranı (%)	20	20	20	30	30	30	40	40	40
$\bar{s}$	2,50	2,50	2,50	3,25	3,25	3,25	4,00	4,00	4,00
λ_d	336	168	84	336	168	84	336	168	84
λ_s	840	420	210	1092	546	273	1344	672	336
μ	12,74	12,74	12,74	12,74	12,74	12,74	12,74	12,74	12,74
Sıkışıklık Oranı (p)	0,94	0,47	0,24	1,22	0,61	0,31	1,50	0,75	0,38

ii) Atama ve Rotalama Algoritması Parametreleri

- a. *Cevap Verme Süresi:* Siparişe red yada kabul cevabının verildiği süredir. Bu süre sonunda siparişler ile ilgili alınan kabul yada red kararları daha sonra asla değiştirilemez. Bu süre boyunca karsız bir sipariş karlı bir siparişe yada karlı bir sipariş daha karlı bir sipariş haline dönüşebilir. Bu da cevap verme süresi boyunca siparişler arası süreye göre sisteme siparişler geldikçe, araçların mevcut siparişe beraber atanacak

ve siparişi daha karlı hale getirecek başka siparişler bulmasıyla olur. Deneysel tasarımda bu süre için, 15, 30, 60 ve 120 dk seviyeleri kullanılmıştır.

- b. *Takas Mekanizması*: Sistemdeki karlılığı arttırmaya yönelik kurulu olan bu mekanizma, sistemde açılıp, kapatılarak sistem performans ölçütlerine etkisine bakılmıştır.

Sistem Performans Ölçütleri

Simülasyon test sonuçlarını sunmadan önce tüm senaryolardaki performans ölçütlerini aşağıdaki gibi belirtebiliriz:

- i. *Birim maliyet* (TL/km): Sistem toplam maliyetinin araçların kat ettiği toplam mesafeye oranıdır.
- ii. *Birim kar* (TL/km): Sistemde elde edilen toplam karın araçların kat ettiği toplam mesafeye oranıdır.
- iii. *Kabul edilen talep yüzdesi*: Sistemde cevap verme süresi sonunda taşınmasına onay verilen siparişlerin, sisteme gelen toplam sipariş sayısına oranıdır.
- iv. *Araç doluluk oranı*: Araçların üzerinde yük taşırken kat ettikleri mesafenin toplam kat ettikleri mesafeye oranıdır.

Son olarak, yukarıda açıklanan tüm faktörlerin ve parametrelerin her bir kombinasyonu için simülasyon modeli 20 bağımsız replikasyon ile çalıştırılarak performans ölçütlerinin ortalamaları tahmin edilmeye çalışılmıştır.



4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Örnek Uygulama

Geliştirilen sistemin simülasyon testleri için C# programlama dili, Microsoft Asp.Net Core kütüphane altyapısı yardımıyla güncel web teknolojileri kullanılarak geliştirilmiş bir uygulama arayüzü kullanılmıştır. Uygulama Microsoft Azure bulut altyapısında, her biri 2.7 Ghz. hızında 2 çekirdek işlemci, 8.0 GB önbellek kapasitesine sahip 1 ad. sanal makina (VM) üzerinde çalışmaktadır.

Geliştirilen uygulamada araç, sipariş vb. probleme ilişkin veriler ve formlar lojistik yazılımlarında olduğu gibi modellenmiştir. Uygulamanın akışı sektöre ilişkin temel bilgiler doğrultusunda mümkün olduğunca gerçeğe yakın kurgulanmıştır.

Sistemdeki tüm araç filosu Şekil 4.1’de gösterilen araç tanımlama formu aracılığıyla yönetilebilmektedir. Araç formu aracılığıyla araçların bulundukları noktalar belirtilebilmekte olup, farklı veya aynı noktalarda olabilmektedirler. Araç tanımlama formu üzerinden aracın dorse tipi, dorse değişimine uygun olup olmadığı yönetilebilmektedir.

Yeni Araç : A-11

No *

11

Kapasite (ton)

8,00

Kapasite (m3)

15,00

Bulunduğu Nokta

Nokta - 5

☒ Sökülebilir Dorse

Dorse Tipi

Soğutmalı

Vazgeç Kaydet

Şekil 4.1. Araç tanımlama ekranı

Örnek uygulama için seçilen sıvı taşımacılığı firmasında kullanılan dorse tipleri demir sac, krom, izoleli, soğutmalı ve paslanmaz çelik olarak sistemde tanımlanmıştır. Sistemde, Şekil 4.2’deki form aracılığıyla sınırsız sayıda yük tipi tanımlanabilmektedir. Her yük tipi taşınabileceği uygun dorse tiplerine uygun araçlarda taşınabilmektedir. Uygun dorse tipleri yandaki form aracılığıyla yük tipi özelinde düzenlenebilmektedir. Yine yük tipinin madde “Öz kütle” değeri üzerinden hacim ve ağırlık hesaplamaları yapılabilmektedir. Sipariş verisinde “Ağırlık” ya da “Hacim” cinsinden girilen değerler, siparişin yük tipi seçimine göre öz kütlelerinden otomatik hesaplanarak ilgili sipariş formunda düzeltilmektedir. Bu da veri tutarlılığını sağlamak amacıyla sistemin iç kontrol mekanizmalarından biridir.

Yeni Yük Tipi : F-7

No *

7

Tanım *

Yıkama Süresi

1

Yıkama Maliyeti

100,00

Yükleme/Boşaltma Süresi

2

Öz Kütle

1,00

Gösterim Sırası

0

Uygun Dorse Tipleri

☐ Sac ☐ Krom ☐ Çelik ☐ İzoleli ☐ Soğutmalı

Vazgeç Kaydet

Şekil 4.2. Yük Tipi tanımlama ekranı

“Yıkama Süreleri Matrisi” ve “Yıkama Maliyetleri Matrisi” ilgili siparişin yıkama maliyeti ve süresi hesaplamalarında kullanılmaktadır. Her bir yük tipinden her bir yük tipine geçişte yüklerin kendi özelliklerine göre farklı yıkama maliyetleri ve yıkama süreleri oluşabilmekte olup, Şekil 4.3 ve Şekil 4.4’ ten tanımlanabilmektedir. Sistemdeki her bir sipariş ise, Şekil 4.5’teki sipariş formu aracılığıyla oluşturulmaktadır.

Yıkama Süreleri (saat)

×

	Rafine Yağ	Palm Yağ	Petrol	Asitler	Tutkal	Kostik
Rafine Yağ	0	2	1	1	1	2
Palm Yağ	2	0	1	1	1	2
Petrol	5	5	0	4	4	5
Asitler	3	3	2	0	2	3
Tutkal	5	5	3	4	0	4
Kostik	2	2	1	1	1	0

Kaydet

Vazgeç

Şekil 4.3 Yıkama Süreleri Matrisi Ekranı

Yıkama Maliyetleri (₺)

×

	Rafine Yağ	Palm Yağ	Petrol	Asitler	Tutkal	Kostik
Rafine Yağ	0	200	100	100	100	200
Palm Yağ	200	0	100	100	100	200
Petrol	500	500	0	400	400	500
Asitler	300	300	200	0	200	300
Tutkal	500	500	300	400	0	400
Kostik	200	200	100	100	100	0

Kaydet

Vazgeç

Şekil 4.4. Yıkama Maliyetleri Matrisi Ekranı

Şekil 4.5’te verilen formda müşteri taleplerine ilişkin tüm bilgiler alınabilmektedir. Müşteri talebinde alım-teslimat noktaları, sipariş zaman pencereleri, taşınacak yük tipi ve miktarı tanımlanabilmektedir. Her sipariş verisinde ağırlık ya da hacim olarak yük miktarı belirtilebilmektedir. Yük tipi üzerindeki “Öz kütle” bilgisinden bu iki cinsten yük miktarı birbirine otomatik çevrilmektedir. Müşteri taşıma talebi sisteme kaydedilmeden önce bir takım veri doğrulama işlemlerine tabi tutulmaktadır. Alım ve teslimat noktalarının farklı noktalar olması gibi yukarıda bahsedilen kontroller yapılarak veri tutarlılığı sağlanmaktadır.

Şirket belirli bir zaman diliminde gelen siparişleri problemde tanımlı kısıtları uygulayarak siparişin cevap verme süresi içerisinde kabul ya da reddedebilmektedir. Kabul edilen siparişlerin sisteme girdiği andan en geç teslim alma süresine kadar taşıma işlemine başlaması ve son teslimat tarihinden önce teslim edilmesi beklenmektedir.

Yeni Sipariş : S-13

Yük Tipi *

Rafine Yağ

Alım Yeri *

Nokta - 0

Teslim Yeri *

Nokta - 0

Ağırlık *

8,00

Hacim *

15,00

En Erken Alım Tarihi

26.05.2023 10:04:00,830

Son Alım Tarihi

27.05.2023 10:04:00,830

En Erken Teslim Tarihi

29.05.2023 10:04:00,830

Son Teslim Tarihi

30.05.2023 10:04:00,830

Cevap Süresi

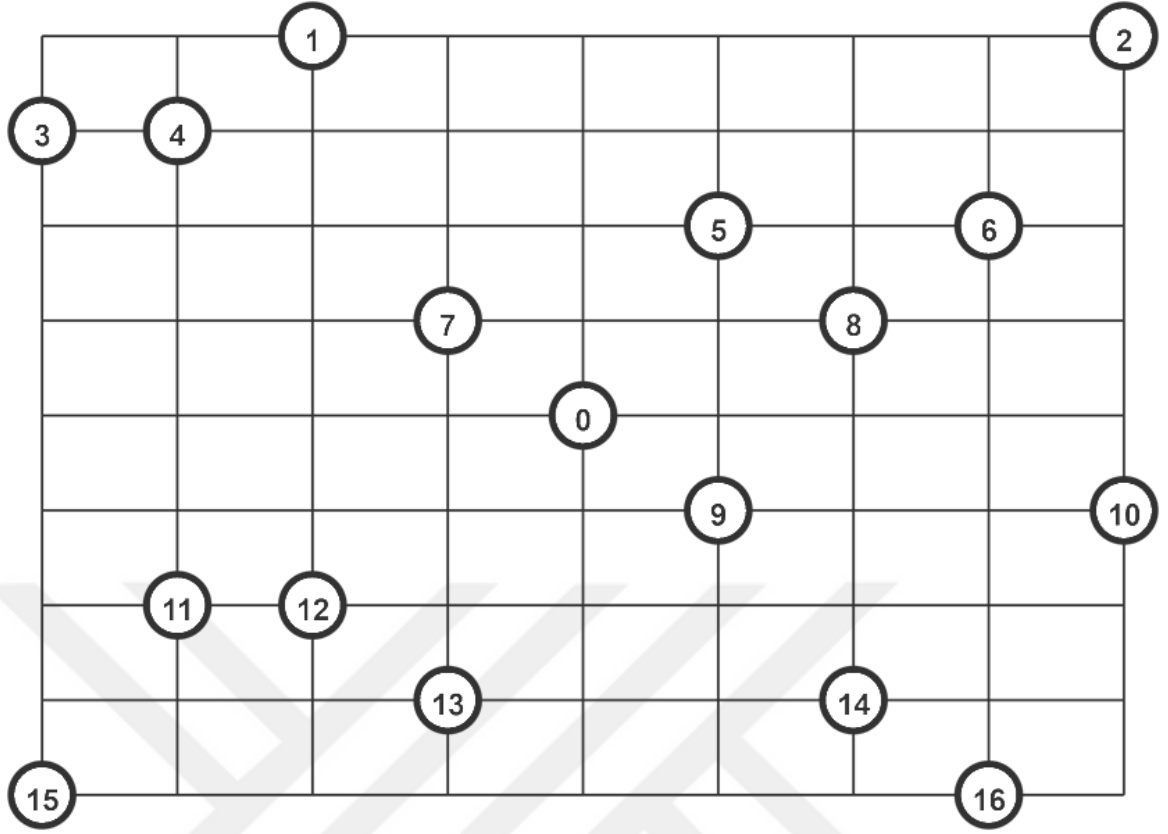
1

Vazgeç

Kaydet

Şekil 4.5. Sipariş/Talep tanımlama ekranı

Örnek uygulamada konumları Şekil 4.6 ve birbiri arasındaki mesafe bilgileri (Şekil 4.7) ön tanımlı ve sabit olan 17 nokta ele alınmıştır. Ayrıca iki noktanın birbirine olan mesafe ve yolculuk süreleri gidiş-geliş yönlerinde birbirine simetrik. “0” noktasından “16” noktasına kadar her noktada indirme, yükleme işlemleri yapılabilmektedir. “6” ve “16” noktalarında yıkama ve dorse değişim işlemi yapılamamaktadır. Bu noktalar harici noktalarda yıkama ve dorse değişimi yapılabilmektedir.

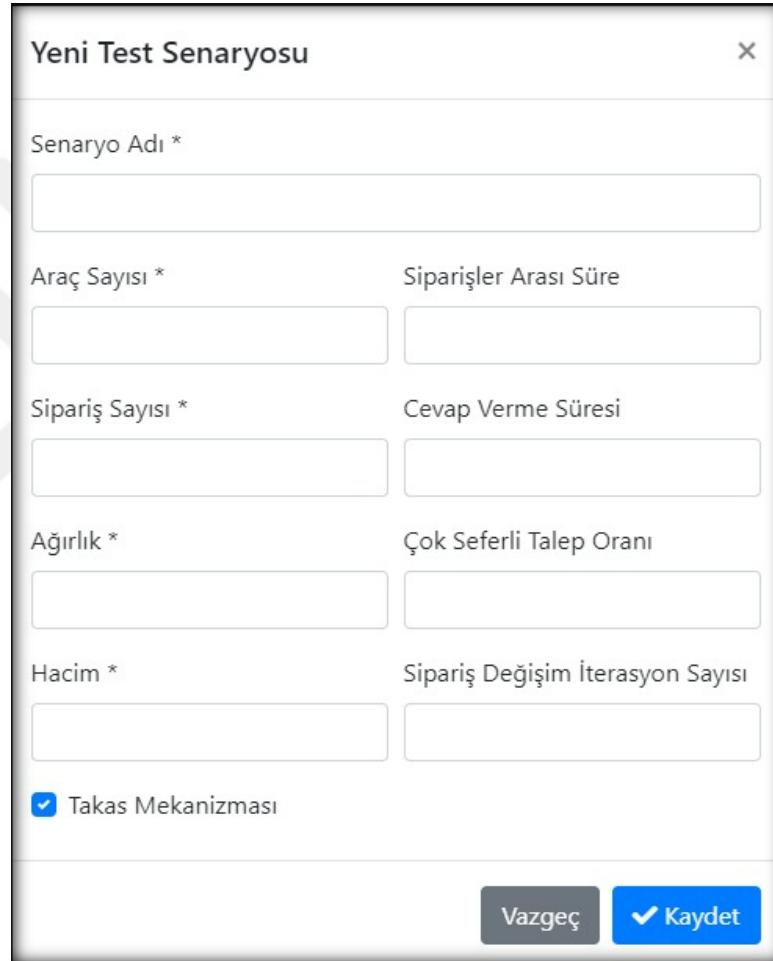


Şekil 4.6. Dağıtım ağındaki noktaların konumu

#	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
0	0	360	540	480	420	180	360	120	180	120	360	360	240	240	300	540	420
1	360	0	480	180	120	360	480	240	480	480	780	420	300	480	720	600	840
2	540	480	0	660	600	360	180	540	300	480	240	900	840	780	540	1080	540
3	480	180	660	0	60	420	600	360	600	600	840	360	420	540	840	360	960
4	420	120	600	60	0	360	540	240	480	540	780	240	360	480	720	480	840
5	180	360	360	420	360	0	120	180	120	120	420	540	420	420	360	720	480
6	360	480	180	600	540	120	0	360	120	300	240	720	600	600	360	900	300
7	120	240	540	360	240	180	360	0	240	240	480	300	240	180	420	480	600
8	180	480	300	600	480	120	120	240	0	180	240	540	480	420	180	780	360
9	120	480	480	600	540	120	300	240	180	0	240	360	300	240	180	540	300
10	360	780	240	840	780	420	240	480	240	240	0	600	540	480	240	780	240
11	360	420	900	360	240	540	720	300	540	360	600	0	60	180	420	180	600
12	240	300	840	420	360	420	600	240	480	300	540	60	0	120	360	240	480
13	240	480	780	540	480	420	600	180	420	240	480	180	120	0	240	300	360
14	300	720	540	840	720	360	360	420	180	180	240	420	360	240	0	540	120
15	540	600	1080	360	480	720	900	480	780	540	780	180	240	300	540	0	540
16	420	840	540	960	840	480	300	600	360	300	240	600	480	360	120	540	0

Şekil 4.7. Noktalar Arası Mesafe Matrisi

Ayrıca geliştirilen simülasyon uygulama arayüzünde önerilen çözümün farklı parametrelerle ne tür çıktılar elde ettiğini gözlemlemek ve karşılaştırmak adına Şekil 4.8’deki form aracılığıyla çeşitli ek senaryolar, parametre setleri oluşturulabilmekte ve bu senaryoya göre simülasyon çalıştırılabilmektedir. Simülasyon sistemindeki test senaryolarını çalıştırmakta bir üst sınır yoktur. Her bir test senaryosu çalıştırıldığında ilgili parametrelere göre yeni test verileri oluşturulmaktadır. Diğer bir deyişle; her test senaryosu çalıştırıldığında sipariş verileri ve araç verileri sıfırdan oluşturulmaktadır. Her bir veri seti test sonuçlarıyla ilişkilendirilerek birbirinden bağımsız kaydedilmektedir.



Yeni Test Senaryosu

Senaryo Adı *

Araç Sayısı * Siparişler Arası Süre

Sipariş Sayısı * Cevap Verme Süresi

Ağırlık * Çok Seferli Talep Oranı

Hacim * Sipariş Değişim İterasyon Sayısı

☒ Takas Mekanizması

Vazgeç Kaydet

Şekil 4.8. Test Senaryosu tanımlama ekranı

Her bir aracın dorse tipi yine sistemde tanımlı “Dorse Tipleri”nden rastgele seçilerek atanmaktadır. Araçların maksimum taşıma kapasiteleri test senaryosundaki “Hacim (V)” ve “Ağırlık (W)” değerlerine eşitlenmektedir. Şekil 4.9 ve 4.10’da ise sırasıyla örnek oluşturulmuş araç ve sipariş bilgi ekranları görülmektedir.

Araçlar					
No	Kapasite (ton)	Kapasite (m3)	Bulunduğu Nokta	Dorse Tipi	Sökülebilir Dorse
A-1	8,0	15,0	N-4	Soğutmalı	×
A-2	8,0	15,0	N-2	Soğutmalı	×
A-3	8,0	15,0	N-1	Soğutmalı	✓
A-4	8,0	15,0	N-6	İzoleli	✓
A-5	8,0	15,0	N-16	Krom	✓
A-6	8,0	15,0	N-3	Çelik	✓
A-7	8,0	15,0	N-4	Çelik	×
A-8	8,0	15,0	N-15	Çelik	×
A-9	8,0	15,0	N-11	Çelik	×
A-10	8,0	15,0	N-13	Çelik	×

Şekil 4.9. Örnek araç bilgileri ekranı

Siparişler							
No	Alım	Teslim	Yük	Miktar	Alım Tarihi	Teslim Tarihi	Cevap Süresi
S-1	N-3	N-10	Rafine Yağ	24,0/45,0	18.08.23 22:39 - 22.08.23 20:39	19.08.23 08:39 - 24.08.23 21:39	0 : 00
S-2	N-4	N-14	Palm Yağ	40,0/75,0	20.08.23 12:47 - 25.08.23 23:47	22.08.23 12:47 - 27.08.23 23:47	0 : 00
S-3	N-14	N-16	Petrol	32,0/60,0	23.08.23 10:22 - 25.08.23 17:22	24.08.23 08:22 - 26.08.23 16:22	0 : 00
S-4	N-10	N-1	Rafine Yağ	8,0/15,0	18.08.23 22:40 - 19.08.23 00:40	19.08.23 20:40 - 20.08.23 20:40	0 : 00
S-5	N-10	N-3	Palm Yağ	48,0/90,0	25.08.23 08:16 - 27.08.23 17:18	25.08.23 17:18 - 28.08.23 17:18	0 : 00
S-6	N-2	N-10	Rafine Yağ	16,0/30,0	14.08.23 18:22 - 15.08.23 18:22	16.08.23 18:22 - 17.08.23 18:22	0 : 00
S-7	N-14	N-4	Petrol	16,0/30,0	01.09.23 18:42 - 02.09.23 18:42	03.09.23 18:42 - 04.09.23 18:42	0 : 00
S-8	N-3	N-14	Palm Yağ	16,0/30,0	28.08.23 18:44 - 29.08.23 18:44	30.08.23 18:44 - 31.08.23 18:44	0 : 00
S-9	N-1	N-16	Tutkal	56,0/105,0	05.09.23 16:28 - 10.09.23 16:28	06.09.23 16:28 - 11.09.23 16:28	0 : 00
S-10	N-0	N-9	Petrol	8,0/15,0	11.09.23 16:45 - 12.09.23 16:45	13.09.23 16:45 - 14.09.23 16:45	1 : 00

Şekil 4.10. Örnek sipariş bilgileri ekranı

Örnek problemdeki yük tipleri, taşınabileceği dorse türleri ve yükleme ve boşaltma süreleri Çizelge 4.1.'de verilen şekilde tanımlanmıştır. Her bir aracın başlangıçta bulunduğu nokta, kapasitesi, üzerinde bulundurduğu dorse türü ve bu dorsenin çekici üzerinden sökülebilir özellikte olup olmadığı bilgisi Çizelge 4.2.'de verilmiştir. Çizelgeler 4.3 ve 4.4'de ise, sırasıyla dorselerin yük tipleri arası yıkama maliyetleri ve süreleri bulunmaktadır.

Çizelge 4.1. Yük Tipi Bilgileri Tablosu

Yük Tipi	Yük Adı	Uygun Dorse Tipleri	Yükleme-Boşaltma Süreleri (sa)
1	Rafine Yağ	Soğutmalı	2
2	Palm Yağ	Çelik	2
3	Petrol	Çelik	2
4	Asitler	Krom	2
5	Tutkal	İzoleli	2
6	Kostik	Sac	2

Çizelge 4.2. Başlangıç Araç Bilgileri Tablosu

Araç No	Kapasite (ton)	Kapasite (m3)	Bulunduğu Nokta	Dorse Tipi	Sökülebilir Dorse
A-1	8	15	N-4	Soğutmalı	Yok
A-2	8	15	N-2	Soğutmalı	Yok
A-3	8	15	N-1	Soğutmalı	Var
A-4	8	15	N-6	İzoleli	Var
A-5	8	15	N-16	Krom	Var
A-6	8	15	N-3	Çelik	Var
A-7	8	15	N-4	Çelik	Yok
A-8	8	15	N-15	Çelik	Yok
A-9	8	15	N-14	Çelik	Yok
A-10	8	15	N-13	Çelik	Yok

Çizelge 4.3. Birim Yıkama Maliyetleri (TL/yıkama) Tablosu

	Rafine Yağ	Palm Yağ	Petrol	Asitler	Tutkal	Kostik
Rafine Yağ	0	200	100	100	100	200
Palm Yağ	200	0	100	100	100	200
Petrol	500	500	0	400	400	500
Asitler	300	300	200	0	200	300
Tutkal	500	500	300	400	0	400
Kostik	200	200	100	100	100	0

Çizelge 4.4. Yıkama Süreleri (saat) Tablosu

	Rafine Yağ	Palm	Petrol	Asitler	Tutkal	Kostik
Rafine Yağ	0	2	1	1	1	2
Palm Yağ	2	0	1	1	1	2
Petrol	5	5	0	4	4	5
Asitler	3	3	2	0	2	3
Tutkal	5	5	3	4	0	4
Kostik	2	2	1	1	1	0

Örnek uygulamada gelen her bir talebe ait bilgiler Çizelge 4.5.'te gösterilmiştir. Bu çizelgede, her bir talebin yük tipi, alınacağı nokta, bırakılacağı nokta, büyüklüğü(ton ve m³ cinsinden), en erken alım zamanı(EEA), en geç alım zamanı(EGA), en erken teslim zamanı(EET), en geç teslim zamanı(EGT) ve her bir talebe ait cevap verme süreleri yer almaktadır. Talepler 1 no'lu talepten 14 no'lu talebe kadar 30 dakika arayla ve sırayla sisteme ulaşmıştır.

Çizelge 4.5. Sipariş Bilgileri Tablosu

Talep No	Yük Tipi	Alım Noktası	Teslim Noktası	Miktar (ton)	Miktar (m3)	EEA	EGA	EET	EGT	Cevap Verme Süresi (Sa)
1	Rafine Yağ	N-3	N-10	24	45	18.8.2023 22:39	22.8.2023 20:39	19.8.2023 08:39	26.8.2023 21:39	2
2	Palm Yağ	N-4	N-14	40	75	20.08.2023 12:47	27.08.2023 23:47	22.08.2023 12:47	30.08.2023 23:47	1
3	Petrol	N-14	N-16	32	60	23.08.2023 10:22	25.08.2023 17:22	24.08.2023 08:22	26.08.2023 16:22	0
4	Asitler	N-3	N-4	8	15	25.08.2023 08:51	26.08.2023 20:56	27.08.2023 07:56	28.08.2023 23:56	0
5	Rafine Yağ	N-10	N-1	8	15	18.08.2023 22:40	19.08.2023 00:40	19.08.2023 20:40	20.08.2023 20:40	1
6	Palm Yağ	N-10	N-3	48	90	25.08.2023 08:16	27.08.2023 17:18	25.08.2023 17:18	28.08.2023 17:18	1
7	Rafine Yağ	N-2	N-10	16	30	14.08.2023 18:22	15.08.2023 18:22	16.08.2023 18:22	17.08.2023 18:22	1
8	Petrol	N-14	N-4	16	30	1.09.2023 18:42	2.09.2023 18:42	3.09.2023 18:42	4.09.2023 18:42	4
9	Palm Yağ	N-3	N-14	16	30	28.08.2023 18:44	29.08.2023 18:44	30.08.2023 18:44	31.08.2023 18:44	1
10	Tutkal	N-1	N-16	56	105	5.09.2023 16:28	10.09.2023 16:28	6.09.2023 16:28	11.09.2023 16:28	0
11	Petrol	N-0	N-9	8	15	11.09.2023 16:45	12.09.2023 16:45	13.09.2023 16:45	14.09.2023 16:45	3
12	Petrol	N-3	N-0	8	15	7.09.2023 16:45	8.09.2023 16:45	9.09.2023 16:45	10.09.2023 16:45	0
13	Asitler	N-4	N-10	32	60	27.08.2023 18:52	28.08.2023 07:52	28.08.2023 18:52	29.08.2023 07:52	0
14	Kostik	N-1	N-13	24	45	27.08.2023 22:00	28.08.2023 20:00	29.08.2023 19:00	30.08.2023 19:00	4

Çizelge 4.6’de 1 numaralı siparişin her bir seferine atanan araçlar ve bu araçların yaptıkları işlemlere ait bilgiler verilmiştir. Her bir işlemin türü, işlemin başlangış ve bitiş zamanları, işlemi yaparken katettikleri mesafeler ve harcadıkları süreler ile her bir işlemin oluşturduğu maliyet ilgili sütunda gösterilmiştir. Bu çizelgeye göre, S1(1 nolu siparişin), S1P1(1 nolu siparişin 1. Seferi)’ne A1 aracı, S1P2’ye A6 aracı, S1P3’e A3 aracı atanmıştır. Her araç ilgili sefere ait yükü boş seyahat, yıkama veya dorse değişim işlemlerini yaptıysa, bu işlemlerin sürelerini EEA(en erken alım zamanı)’dan düşülerek EEA’da yükü yüklemeye başlamaktadır.

Çizelge 4.7’de ise, S1 siparişinin her bir seferi için araç ajanlarının verdiği teklifler, teklifi kabul edilen araçlar, dorsesi ve zaman penceresi uyan araç bilgileri verilmiştir.

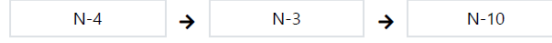
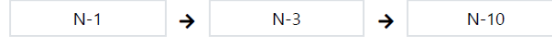
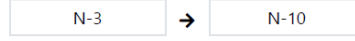
Çizelge 4.6. 1 Nolu Siparişe Atanan Araçların İşlem Planları

Araç No	Sefer No	İşlem	Başlangıç Zamanı	Bitiş Zamanı	Mesafe (km)	Süre (sa)	Maliyet (TL)
A-1	S-1 P-1	Boş Gidiş	18.08.2023 21:39	18.08.2023 22:39	60	1	960
A-1	S-1 P-1	Yükleme	18.08.2023 22:39	19.08.2023 00:39	0	2	0
A-1	S-1 P-1	Dolu Gidiş	19.08.2023 00:39	19.08.2023 14:39	840	14	13.547
A-1	S-1 P-1	İndirme	19.08.2023 14:39	19.08.2023 16:39	0	2	0
A-6	S-1 P-2	Dorse Değişim	18.08.2023 21:39	18.08.2023 22:39	0	1	100,00
A-6	S-1 P-2	Yükleme	18.08.2023 22:39	19.08.2023 00:39	0	2	0
A-6	S-1 P-2	Dolu Gidiş	19.08.2023 00:39	19.08.2023 14:39	840	14	13.547
A-6	S-1 P-2	İndirme	19.08.2023 14:39	19.08.2023 16:39	0	2	0
A-3	S-1 P-3	Boş Gidiş	18.08.2023 19:39	18.08.2023 22:39	180	3	2.880
A-3	S-1 P-3	Yükleme	18.08.2023 22:39	19.08.2023 00:39	0	2	0
A-3	S-1 P-3	Dolu Gidiş	19.08.2023 00:39	19.08.2023 14:39	840	14	13.547
A-3	S-1 P-3	İndirme	19.08.2023 14:39	19.08.2023 16:39	0	2	0

Çizelge 4.7. 1 Nolu Siparişe Teklif Veren ve Teklifi Kabul Edilen Araçlar

Sipariş No	Sefer No	Dorse Uygunluğu	Zaman Penceresi Uygunluğu	Araç Teklif (TL)	Seçilen Teklif	Karlılık Kontrolü	Tekrar ihale	Takas Durumu
S1	S1P1	A6, A5, A4, A3, A2, A1	A6, A5, A4, A3, A2, A1	A6: 13.648	A6	Karlı	-	-
				A5: 29.008				
				A4:23.248				
				A3:16.428				
				A2:24.108				
	S1P2	A6, A5, A4, A3, A2, A1	A6,A5,A4,A3, A2,A1	A1:14.508	A1	Karlı	-	-
				A6: 26.988				
				A5: 29.008				
				A4:23.248				
				A3:16.428				
	S1P3	A6, A5, A4, A3, A2, A1	A6,A5,A4,A3, A2,A1	A2:24.108	A3	Karlı	-	-
				A1:14.508				
				A6: 26.988				
				A5: 29.008				
				A4:23.248				
				A3:16.428				
				A2:24.108				
				A1: 26.988				

Şekil 4.11’de S1 siparişine atanan A1, A3, A6 araçlarının rotası verilmiştir.

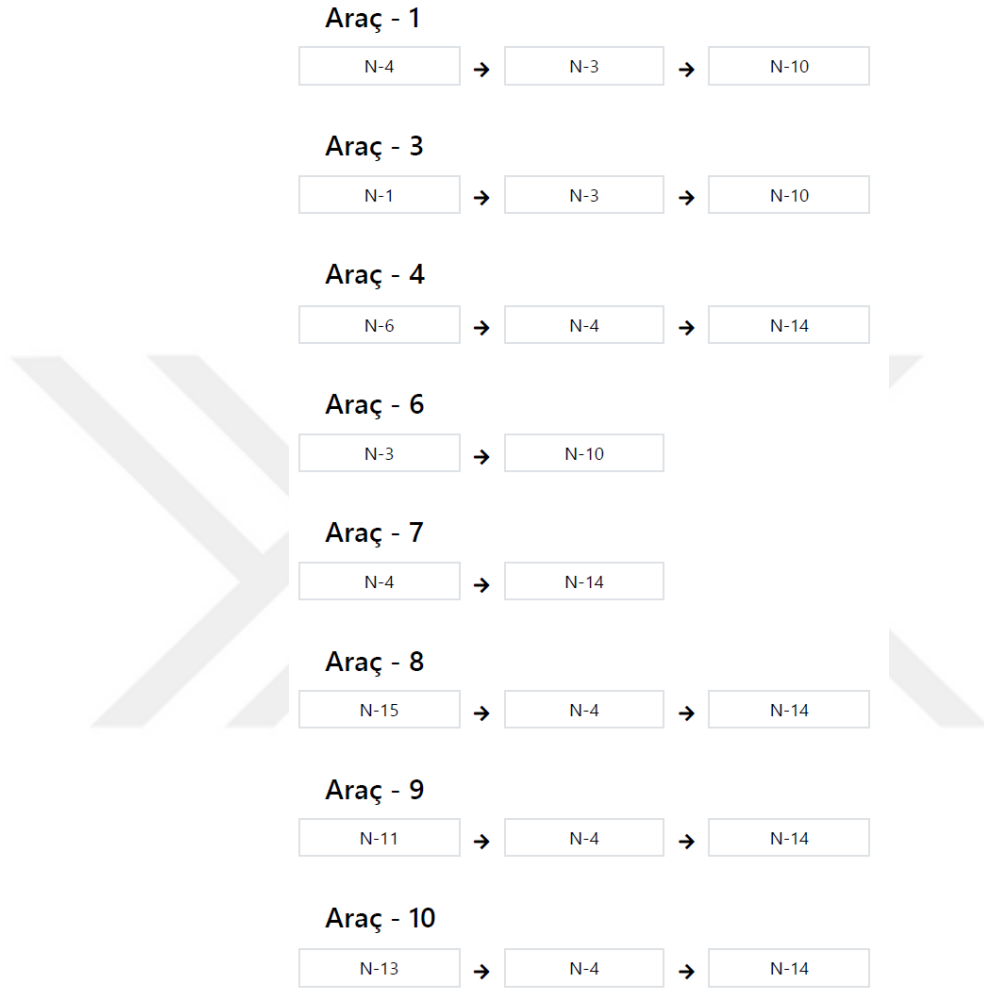
Araç - 1**Araç - 3****Araç - 6****Şekil 4.11. 1 Nolu Sipariş Gelince Oluşan Araç Rotası**

Aşağıda verilen Çizelge 4.8’de ise, S2 siparişine atanan araçların yaptıkları işlemler ve her bir işlemin detay bilgisi verilmiştir. S2 siparişini araçlar EEA’da yükleyince en erken teslim edebileceği zamana boş zaman kaldığı için EET’de yükü indirmeye başlayacak şekilde, EET’den geriye doğru varsa dorse değişim, yıkama ,boş seyahat ve dolu seyahat zamanlarını düşerek yükü yüklemeye başlamaktadır.

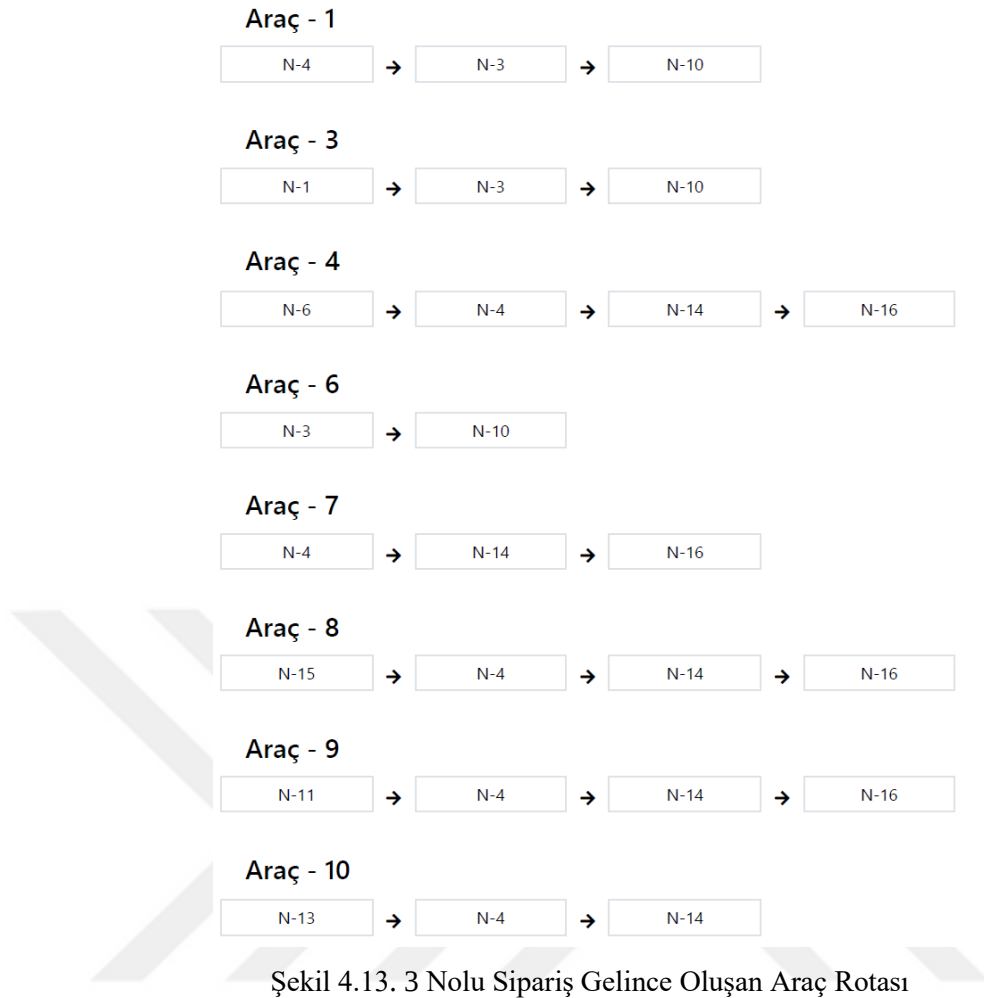
Çizelge 4.8. 2 Nolu Siparişe Atanan Araçların İşlem Planları

Araç No	Sipariş No	İşlem	Başlangıç Zamanı	Bitiş Zamanı	Mesafe (Km)	Süre (Sa)	Maliyet (TL)
A-7	S-2 P-1	Yükleme	21.08.2023 22:47	22.08.2023 00:47	0	2	0
A-7	S-2 P-1	Dolu Gidiş	22.08.2023 00:47	22.08.2023 12:47	720	12	11.612
A-7	S-2 P-1	İndirme	22.08.2023 12:47	22.08.2023 14:47	0	2	0
A-9	S-2 P-2	Boş Gidiş	21.08.2023 18:47	21.08.2023 22:47	240	4	3.840
A-9	S-2 P-2	Yükleme	21.08.2023 22:47	22.08.2023 00:47	0	2	0
A-9	S-2 P-2	Dolu Gidiş	22.08.2023 00:47	22.08.2023 12:47	720	12	11.612
A-9	S-2 P-2	İndirme	22.08.2023 12:47	22.08.2023 14:47	0	2	0
A-8	S-2 P-3	Boş Gidiş	21.08.2023 14:47	21.08.2023 22:47	480	8	7.680,00
A-8	S-2 P-3	Yükleme	21.08.2023 22:47	22.08.2023 00:47	0	2	0
A-8	S-2 P-3	Dolu Gidiş	22.08.2023 00:47	22.08.2023 12:47	720	12	11.612
A-8	S-2 P-3	İndirme	22.08.2023 12:47	22.08.2023 14:47	0	2	0
A-10	S-2 P-4	Boş Gidiş	21.08.2023 14:47	21.08.2023 22:47	480	8	7.680
A-10	S-2 P-4	Yükleme	21.08.2023 22:47	22.08.2023 00:47	0	2	0
A-10	S-2 P-4	Dolu Gidiş	22.08.2023 00:47	22.08.2023 12:47	720	12	11.612
A-10	S-2 P-4	İndirme	22.08.2023 12:47	22.08.2023 14:47	0	2	0
A-4	S-2 P-5	Boş Gidiş	21.08.2023 17:47	21.08.2023 19:47	120	2	1.920
A-4	S-2 P-5	Yıkama	21.08.2023 19:47	21.08.2023 21:47	0	2	200
A-4	S-2 P-5	Dorse Değişimi	21.08.2023 21:47	21.08.2023 22:47	0	1	100
A-4	S-2 P-5	Yükleme	21.08.2023 22:47	22.08.2023 00:47	0	2	0
A-4	S-2 P-5	Dolu Gidiş	22.08.2023 00:47	22.08.2023 12:47	720	12	11.612
A-4	S-2 P-5	İndirme	22.08.2023 12:47	22.08.2023 14:47	0	2	0

Araçların rota değişimine bir örnek olarak, Şekil 4.12’de 5 seferli S2 siparişin gelişi ile beraber A4, A7, A8, A9, A10 araçlarının rotasındaki değişiklikler gösterilmiştir. Benzer şekilde, 4 sefer gerektiren S3 siparişinin A4, A7, A8, A9 araçlarının rotasında neden olduğu değişiklikler Şekil 4.13’de gösterilmiştir.



Şekil 4.12. 2 Nolu Sipariş Geline Oluşan Araç Rotası



Siparişin red edilmesi

Çizelge 4.9’da gösterildiği gibi, S4 siparişi ilk önce en düşük maliyetli teklifi veren A10 aracına geçici olarak atanmakla beraber, cevap verme süresinin sonunda yapılan karlılık kontrolünde bu sipariştten elde edilen gelir, A10 aracının verdiği tekliften düşük olduğu için S4 siparişi ret edilmektedir.

Çizelge 4.9. 4 Nolu Siparişe Teklif Veren ve Teklifi Kabul Edilen Araçlar

Sipariş No	Sefer No	Dorse Uygunluğu	Zaman Penceresi Uygunluğu	Araç: Teklif(TL)	Seçilen Teklif	Karlılık Kontrolü	Tekrar İhale	Takas Durumu
S4	S4P1	A10,A9,A8,A7, A6,A5,A4,A3	A10,A9,A8,A7, A6,A5,A4,A3	A10:14.508 A9: 16.328 A8: 16.328 A7: 16.328 A6: 14.608 A5: 16.428 A4:16.328 A3:14.608	A10	Gelir: 2.400, Maliyet: 14.508, Sonuc: Karsız	RED	RED

Çizelge 4.10 ve Çizelge 4.11 sırasıyla S5 siparişine atanan aracı ve bu aracın işlem planlarını göstermektedir.

Çizelge 4.10. 5 Nolu Siparişe Teklif Veren ve Teklifi Kabul Edilen Araçlar

Sipariş No	Sefer No	Dorse Uygunluğu	Zaman Penceresi Uygunluğu	Araç: Teklif(TL)	Seçilen Teklif	Karlılık Kontrolü	Tekrar İhale	Takas Durumu
S5	S5P1	A1,A2,A3,A4,A5,A6	A2,A4,A5	A5:16.520 A4:10.000 A2:16.420	A4	Karlı	-	-

Çizelge 4.11. 5 Nolu Siparişe Atanan Araçların İşlem Planları

Araç No	Sipariş No	İşlem	Başlangıç Zamanı	Bitiş Zamanı	Mesafe (Km)	Süre (Sa)	Maliyet (TL)
A-4	S-5 P-1	Yükleme	18.08.2023 22:40	19.08.2023 00:40	0	2	0
A-4	S-5 P-1	Dolu Gidiş	19.08.2023 00:40	19.08.2023 13:40	780	13	12.579
A-4	S-5 P-1	İndirme	19.08.2023 20:40	19.08.2023 22:40	0	2	0

Şekil 4.14 S5 siparişi A4 aracına atandıktan sonra araçların rotalarındaki değişimi göstermektedir. Şekil 4.15 ise, 6 sefer gerektiren S6 siparişi dorsesi ve zaman penceresi uyan araçlardan en düşük teklifi veren A3, A4, A5, A6, A7 ve A10 araçlarına atandıktan sonra araçların rotalarındaki değişimi göstermektedir.

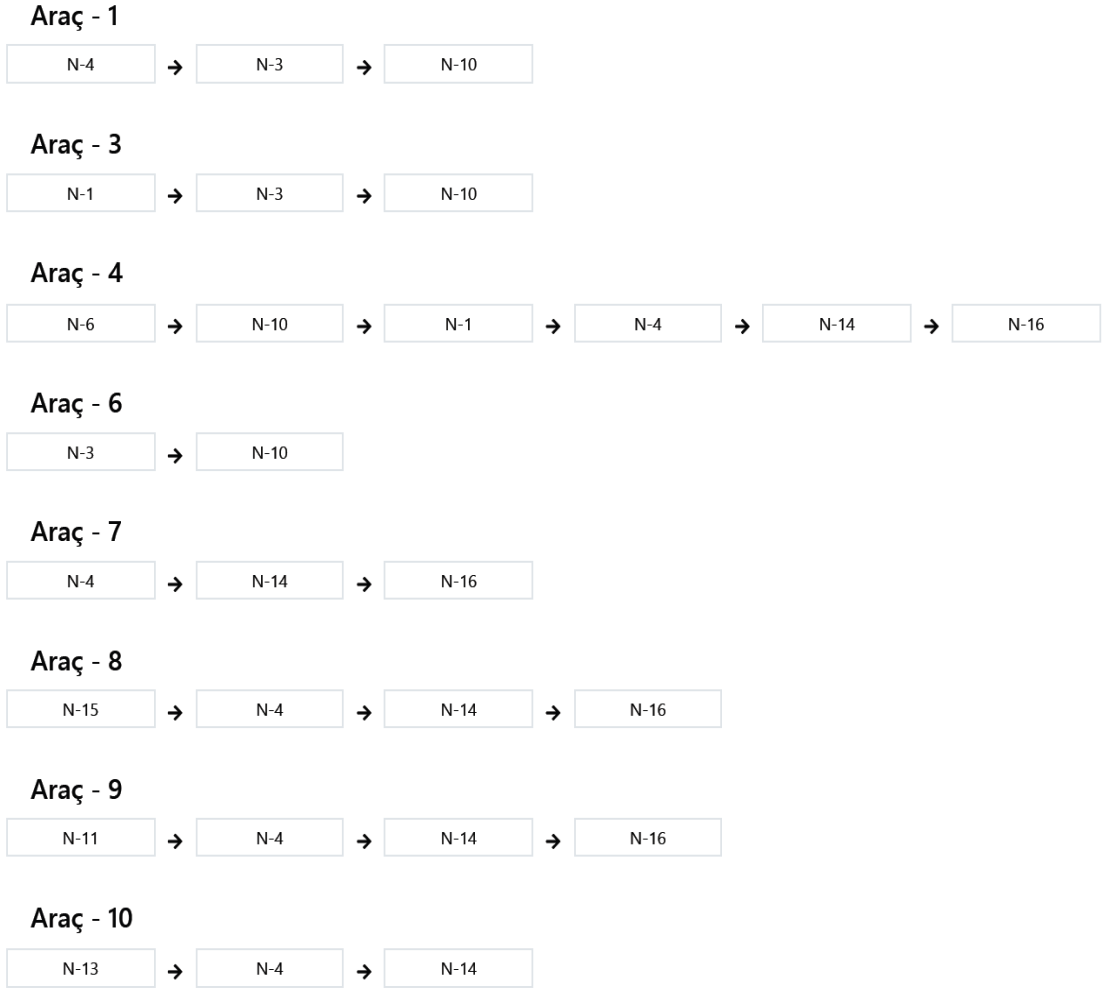
Çizelge 4.12’ de verilen teklifler Şekil 3.18’de verilen Araç Ajanı Sipariş Maliyeti Hesaplama Algoritmasına göre hesaplanmaktadır. Bu algoritmada, $(C_k + o)$; o siparişi geldikten sonra oluşan yeni maliyet, C_k ise o siparişi gelmeden önce aracın mevcuttaki maliyetini ifade etmektedir. Teklif ise, bu iki hesaplanan maliyetin farkı olup, $[k, (C_k + o) - (C_k)]$ formülü ile hesaplanmaktadır. Buna göre, örneğin S7P1 seferine atanan A4 aracının vermiş olduğu teklifin hesaplanması aşağıda verilmiştir.

$$C_k = 240 \cdot 16 + 780 \cdot 16,129 = 3840 + 12580.62 = 16420.62 \text{ TL}$$

$$C_k + o = 180 \cdot 16 + 240 \cdot 16,129 + 780 \cdot 16,129 = 19331.58 \text{ TL}$$

$$(C_k + o) - (C_k) = 2911 \text{ TL olarak bulunur.}$$

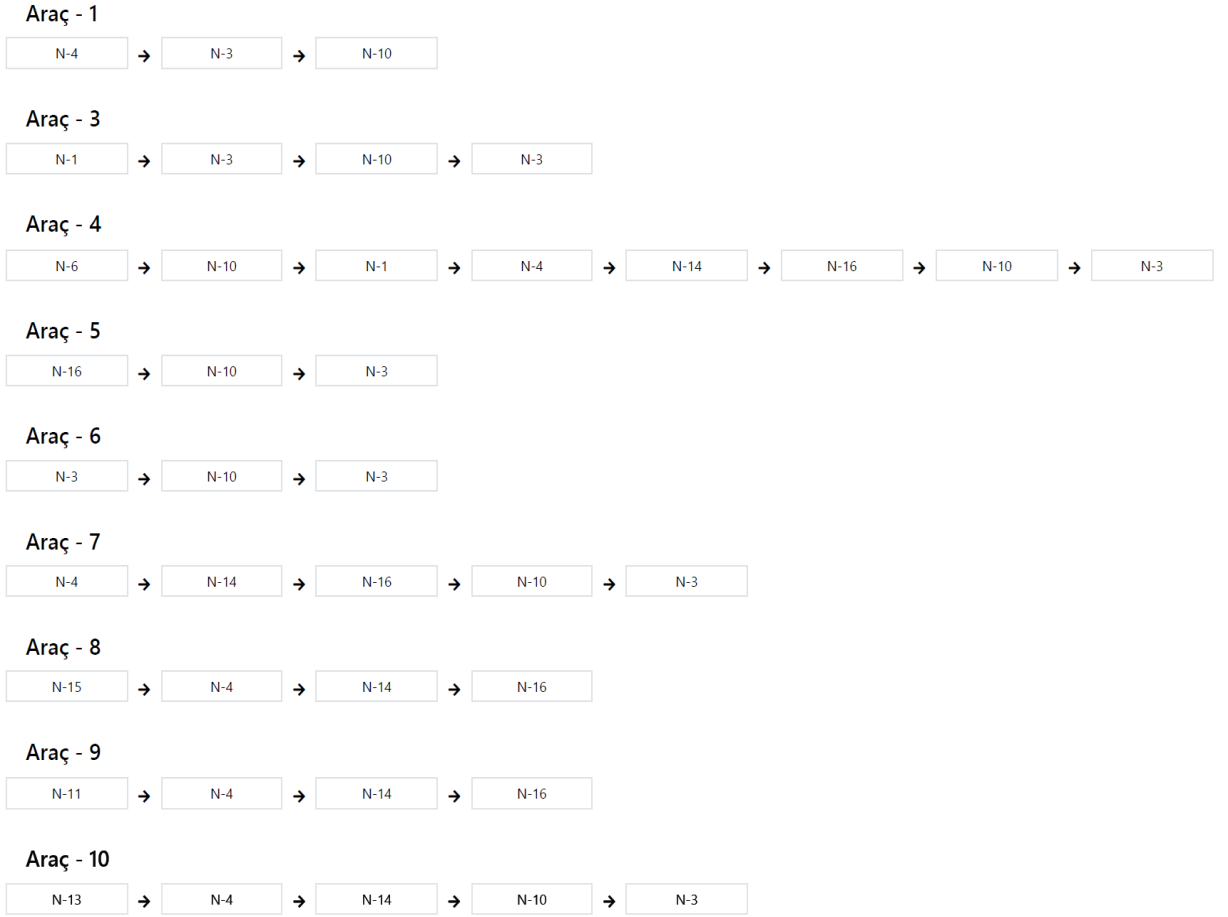
Çizelge 4.13’te ise, iki sefer gerektiren S7 siparişine atanan A4 ve A2 araçlarının işlemleri ve işlem planlama detayları verilmiştir. Şekil 4.16 ise, S7 siparişinin A2 ve A4 araçlarına atanması sonrası araç rotalarını göstermektedir.



Şekil 4.14. 5 Nolu Sipariş Gelince Oluşan Araç Rotası

Çizelge 4. 12. 7 Nolu Siparişe Teklif Veren ve Teklifi Kabul Edilen Araçlar

Sipariş No	Sefer No	Dorse Uygunluğu	Zaman Penceresi Uygunluğu	Araç: Teklif(TL)	Seçilen Teklif	Karlılık Kontrolü	Tekrar İhale	Takas Durumu
S7	S7P1	A6,A5,A4,A3,A2,A1	A6,A5,A4,A3,A2,A1	A6:27.871 A5: 8.971 A4: 2.911 A3:22.111 A2:3.871 A1:25.951	A4	Karlı	-	-
	S7P2	A6,A5,A4,A3,A2,A1	A6,A5,A4,A3,A2,A1	A6:27.871 A5: 8.971 A4: 7.711 A3:22.111 A2:3.871 A1:25.951	A2	Karlı	-	-

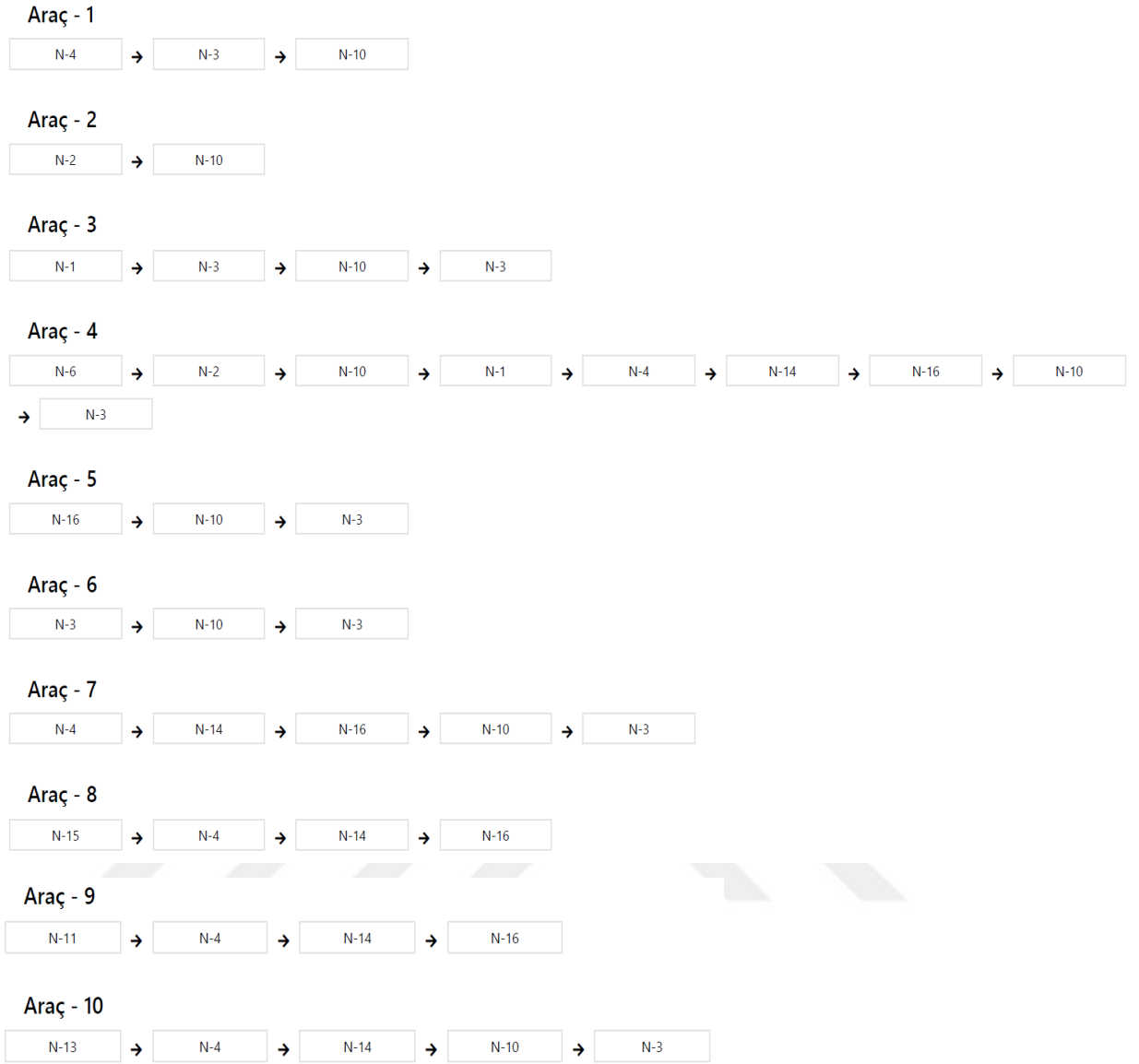


Şekil 4.15. 6 Nolu Sipariş Gelince Oluşan Araç Rotası

Çizelge 4.13'te de görüldüğü gibi,EET'den geriye doğru varsa dorse değişim, yıkama, boş seyahat sürelerini düşünce yükü alım zamanı EEA ile EGA arasına denk gelmiyorsa, belirtilen bu süreler EGA'dan düşülerek EGA'da yükün yükleme işlemi yapılarak, EET'de yükü indirme işlemine başlanır.

Çizelge 4.13. 7 Nolu Siparişe Atanan Araçların İşlem Planları

Araç No	Sefer No	İşlem	Başlangıç Zamanı	Bitiş Zamanı	Mesafe (km)	Süre (sa)	Maliyet (TL)
A-4	S-7 P-1	Boş Gidiş	15.08.2023 12:22	15.08.2023 15:22	180	3	2.880
A-4	S-7 P-1	Dorse Değişimi	15.08.2023 15:22	15.08.2023 16:22	0	1	100
A-4	S-7 P-1	Yükleme	15.08.2023 16:22	15.08.2023 18:22	0	2	0,00
A-4	S-7 P-1	Dolu Gidiş	15.08.2023 18:22	15.08.2023 22:22	240	4	3.870
A-4	S-7 P-1	İndirme	16.08.2023 18:22	16.08.2023 20:22	0	2	0
A-2	S-7 P-2	Yükleme	15.08.2023 16:22	15.08.2023 18:22	0	2	0
A-2	S-7 P-2	Dolu Gidiş	15.08.2023 18:22	15.08.2023 22:22	240	4	3.870
A-2	S-7 P-2	İndirme	16.08.2023 18:22	16.08.2023 20:22	0	2	0



Şekil 4.16. 7 Nolu Sipariş Gelince Oluşan Araç Rotası

Çizelge 4.14 ve Çizelge 4.15 sırasıyla 8 ve 9 nolu siparişlere uygun olan araçların verdiği teklifleri ve kabul edilen teklifi göstermektedir. Çizelge 4.14’te, takas durumu sütunu; S8 siparişi ve onun cevap verme süresi içinde S9 siparişinin gelmesiyle takas mekanizması vasıtasıyla S8 siparişinin yeni atandığı daha düşük maliyet teklif eden aracı göstermektedir.

Çizelge 4.14. 8 Nolu Siparişe Teklif Veren ve Teklifi Kabul Edilen Araçlar

Sipariş No	Sefer No	Dorse Uygunluğu	Zaman Penceresi Uygunluğu	Araç: Teklif(TL)	Eski Seçilen Teklif	Karlılık Kontrolü	Tekrar İhale	Takas Durumu
S8	S8P1	A10,A9,A8,A7, A6,A5,A4,A3	A10,A9,A8,A7, A6,A5,A4,A3	A10: 25.152 A9: 13.532 A8: 13.532 A7: 25.152 A6: 25.152 A5: 25.152 A4: 25.152 A3: 25.152	A8	Karlı	-	A3: 11.712
	S8P2	A10,A9,A8,A7, A6,A5,A4,A3	A10,A9,A8,A7, A6,A5,A4,A3	A10: 25.152 A9: 13.532 A7: 25.152 A6: 25.152 A5: 25.152 A4: 25.152 A3: 25.152	A9	Karlı	-	A4: 11.712

Çizelge 4.15. 9 Nolu Siparişe Teklif Veren ve Teklifi Kabul Edilen Araçlar

Sipariş No	Sefer No	Dorse Uygunluğu	Zaman Penceresi Uygunluğu	Araç: Teklif(TL)	Seçilen Teklif	Karlılık Kontrolü	Tekrar İhale	Takas Durumu
S9	S9P1	A10,A9,A8,A7, A6,A5,A4,A3	A10,A9,A8,A7, A6,A5,A4,A3	A10: 13.548 A9: 27.588 A8: 27.588 A7: 13.548 A6: 13.548 A5: 13.548 A4: 13.548 A3: 13.548	A3	Karlı	-	-
	S9P2	A10,A9,A8,A7, A6,A5,A4,A3	A10,A9,A8,A7, A6,A5,A4	A10: 13.548 A9: 27.588 A8: 29.408 A7: 13.548 A6: 13.548 A5: 13.548 A4: 13.548	A4	Karlı	-	-

Çizelgeler 4.16 ve 4.17’de sırasıyla S8 ve onun cevap verme süresi içinde gelen S9 siparişinin takas mekanizmasıyla araç atamaları sonucunda her bir aracın yaptığı işlem ve bu işlemlerin planlamaları sırasıyla verilmiştir.

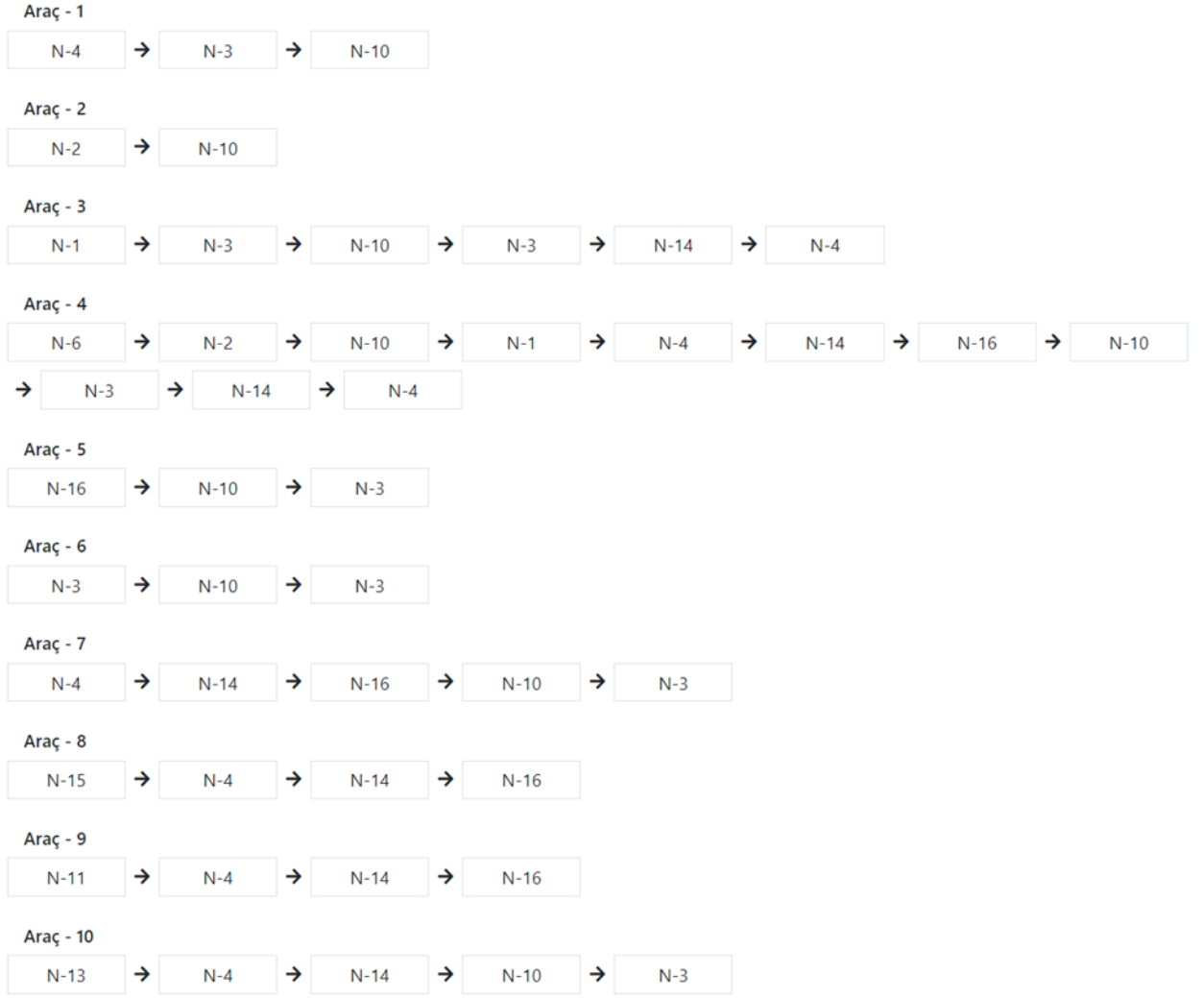
Çizelge 4.16. 8 Nolu Siparişe Atanan Araçların İşlem Planları

Araç No	Sipariş No	İşlem	Başlangıç Zamanı	Bitiş Zamanı	Mesafe (Km)	Süre (Sa)	Maliyet (TL)
A-3	S-8 P-1	Yıkama	02.09.2023 15:42	02.09.2023 16:42	0	1	100
A-3	S-8 P-1	Yükleme	02.09.2023 16:42	02.09.2023 18:42	0	2	0
A-3	S-8 P-1	Dolu Gidiş	02.09.2023 18:42	03.09.2023 06:42	720	12	11.612
A-3	S-8 P-1	İndirme	03.09.2023 18:42	03.09.2023 20:42	0	2	0
A-4	S-8 P-2	Yıkama	02.09.2023 15:42	02.09.2023 16:42	0	1	100
A-4	S-8 P-2	Yükleme	02.09.2023 16:42	02.09.2023 18:42	0	2	0
A-4	S-8 P-2	Dolu Gidiş	02.09.2023 18:42	03.09.2023 06:42	720	12	11.612
A-4	S-8 P-2	İndirme	03.09.2023 18:42	03.09.2023 20:42	0	2	0

Çizelge 4.17. 9 Nolu Siparişe Atanan Araçların İşlem Planları

Araç No	Sipariş No	İşlem	Başlangıç Zamanı	Bitiş Zamanı	Mesafe (Km)	Süre (Sa)	Maliyet (TL)
A-3	S-9 P-1	Yükleme	29.08.2023 16:44	29.08.2023 18:44	0	2	0
A-3	S-9 P-1	Dolu Gidiş	29.08.2023 18:44	30.08.2023 08:44	840	14	13.547
A-3	S-9 P-1	İndirme	30.08.2023 18:44	30.08.2023 20:44	0	2	0
A-4	S-9 P-2	Yükleme	29.08.2023 16:44	29.08.2023 18:44	0	2	0
A-4	S-9 P-2	Dolu Gidiş	29.08.2023 18:44	30.08.2023 08:44	840	14	13.547
A-4	S-9 P-2	İndirme	30.08.2023 18:44	30.08.2023 20:44	0	2	0

Şekil 4.17’de S8 ve onun cevap verme süresi içinde gelen S9’un takas mekanizmasıyla atamaları sonucunda oluşan araç rotaları verilmiştir.



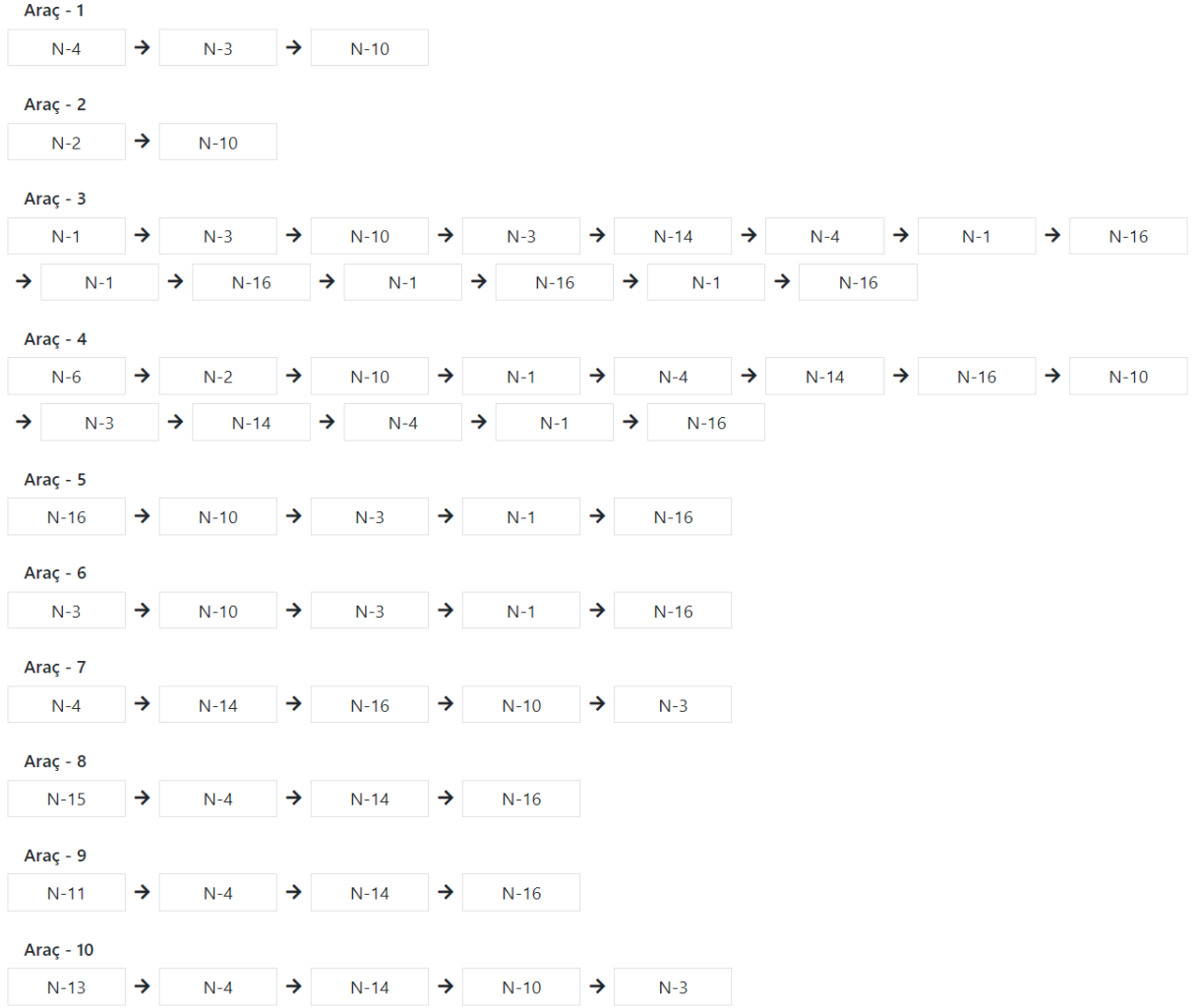
Şekil 4.17. 8 Nolu Sipariş ve 9 Nolu Sipariş Gelince Oluşan Araç Rotası

7 sefer gerektiren Sipariş 10'un ilk 4 seferi için A3, A4, A5, A6 araçlarının ataması yapılmıştır. Ancak bu dört araç dışında dorsesi uygun araç bulunmadığı için kalan 3 sefer için en düşük teklifi veren A3 Aracının atamasının yapılmasıyla A3 aracının aynı siparişin birden fazla seferi için atamasının detayları Çizelge 4.18 'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.18. 10 Nolu Siparişe Atanan Araçların İşlem Planları

Araç No	Sipariş No	İşlem	Başlangıç Zamanı	Bitiş Zamanı	Mesafe (Km)	Süre (Sa)	Maliyet (TL)
A-3	S-10 P-1	Boş Gidiş	05.09.2023 17:28	05.09.2023 19:28	120	2	1.920
A-3	S-10 P-1	Yıkama	05.09.2023 19:28	05.09.2023 23:28	0	4	400
A-3	S-10 P-1	Dorse Değişimi	05.09.2023 23:28	06.09.2023 00:28	0	1	100
A-3	S-10 P-1	Yükleme	06.09.2023 00:28	06.09.2023 02:28	0	2	0
A-3	S-10 P-1	Dolu Gidiş	06.09.2023 02:28	06.09.2023 16:28	840	14	13.547
A-3	S-10 P-1	İndirme	06.09.2023 16:28	06.09.2023 18:28	0	2	0
A-4	S-10 P-2	Boş Gidiş	05.09.2023 17:28	05.09.2023 19:28	120	2	1.920
A-4	S-10 P-2	Yıkama	05.09.2023 19:28	05.09.2023 23:28	0	4	400
A-4	S-10 P-2	Dorse Değişimi	05.09.2023 23:28	06.09.2023 00:28	0	1	100
A-4	S-10 P-2	Yükleme	06.09.2023 00:28	06.09.2023 02:28	0	2	0
A-4	S-10 P-2	Dolu Gidiş	06.09.2023 02:28	06.09.2023 16:28	840	14	13.547
A-4	S-10 P-2	İndirme	06.09.2023 16:28	06.09.2023 18:28	0	2	0
A-5	S-10 P-3	Boş Gidiş	05.09.2023 19:28	05.09.2023 22:28	180	3	2.880
A-5	S-10 P-3	Yıkama	05.09.2023 22:28	05.09.2023 23:28	0	1	100
A-5	S-10 P-3	Dorse Değişimi	05.09.2023 23:28	06.09.2023 00:28	0	1	100
A-5	S-10 P-3	Yükleme	06.09.2023 00:28	06.09.2023 02:28	0	2	0
A-5	S-10 P-3	Dolu Gidiş	06.09.2023 02:28	06.09.2023 16:28	840	14	13.547
A-5	S-10 P-3	İndirme	06.09.2023 16:28	06.09.2023 18:28	0	2	0
A-6	S-10 P-4	Boş Gidiş	05.09.2023 19:28	05.09.2023 22:28	180	3	2.880
A-6	S-10 P-4	Yıkama	05.09.2023 22:28	05.09.2023 23:28	0	1	100
A-6	S-10 P-4	Dorse Değişimi	05.09.2023 23:28	06.09.2023 00:28	0	1	100
A-6	S-10 P-4	Yükleme	06.09.2023 00:28	06.09.2023 02:28	0	2	0
A-6	S-10 P-4	Dolu Gidiş	06.09.2023 02:28	06.09.2023 16:28	840	14	13.547
A-6	S-10 P-4	İndirme	06.09.2023 16:28	06.09.2023 18:28	0	2	0
A-3	S-10 P-5	Boş Gidiş	06.09.2023 18:28	07.09.2023 08:28	840	14	13.440
A-3	S-10 P-5	Yükleme	07.09.2023 08:28	07.09.2023 10:28	0	2	0
A-3	S-10 P-5	Dolu Gidiş	07.09.2023 10:28	08.09.2023 00:28	840	14	13.547
A-3	S-10 P-5	İndirme	08.09.2023 00:28	08.09.2023 02:28	0	2	0
A-3	S-10 P-6	Boş Gidiş	08.09.2023 02:28	08.09.2023 16:28	840	14	13.440
A-3	S-10 P-6	Yükleme	08.09.2023 16:28	08.09.2023 18:28	0	2	0
A-3	S-10 P-6	Dolu Gidiş	08.09.2023 18:28	09.09.2023 08:28	840	14	13.547
A-3	S-10 P-6	İndirme	09.09.2023 08:28	09.09.2023 10:28	0	2	0
A-3	S-10 P-7	Boş Gidiş	09.09.2023 10:28	10.09.2023 00:28	840	14	13.440
A-3	S-10 P-7	Yükleme	10.09.2023 00:28	10.09.2023 02:28	0	2	0
A-3	S-10 P-7	Dolu Gidiş	10.09.2023 02:28	10.09.2023 16:28	840	14	13.547
A-3	S-10 P-7	İndirme	10.09.2023 16:28	10.09.2023 18:28	0	2	0

Şekil 4.18’de S10 siparişinin A3,A4,A5,A6 araçlarına atanması sonrası araç rotaları verilmiştir.



Şekil 4.18. 10 Nolu Sipariş Gelince Oluşan Araç Rotası

S11 karsız ve cevap verme süresi sonunda reddedilecek bir sipariş olup, S12 ise S11 ‘in red kararı verilmeden S11’in cevap verme süresi içinde gelerek S11’i A7 aracında takas mekanizması vasıtasıyla karlı hale getiren bir sipariştir. Çizelge 4.19 ve 4.20 sırasıyla 11 ve 12 nolu siparişe uygun olup teklif veren ve teklifi kabul edilen aracı göstermektedir. Çizelge 4.19’da görüldüğü gibi, S11 siparişi cevap verme süresi dolana kadar geçici olarak en düşük teklifi veren A8 aracına atanır. Daha sonra cevap verme süresi dolmadan gelen S9 siparişinin ataması yapıldıktan sonra takas mekanizması vasıtasıyla daha düşük teklif veren S12’ nin de atanmış olduğu A7 aracına geçer. Bu iki siparişin atandığı araçlar ve bu araçların işlem planlamaları Çizelgeler 4.21 ve Çizelge 4.22’de sırasıyla verilmiştir.

Çizelge 4.19. 11 Nolu Siparişe Teklif Veren ve Teklifi Kabul Edilen Araçlar

Sipariş No	Sefer No	Dorse Uygunluğu	Zaman Penceresi Uygunluğu	Araç: Teklif(TL)	Seçilen Teklif	Karlılık Kontrolü	Tekrar İhale	Takas Durumu
S11	S11P1	A10,A9,A8,A7, A6,A5,A4,A3	A10,A9,A8,A7, A6,A5,A4,A3	A10: 9.715 A9: 8.655 A8: 8.655 A7: 9.715 A6: 9.055 A5: 9.055 A4: 9.055 A3: 9.055	A8	Gelir: 4.800, Maliyet: 8.655, Sonuc: Karsız	-	A7: 1.935

Çizelge 4.20. 12 Nolu Siparişe Teklif Veren ve Teklifi Kabul Edilen Araçlar

Sipariş No	Sefer No	Dorse Uygunluğu	Zaman Penceresi Uygunluğu	Araç: Teklif(TL)	Seçilen Teklif	Karlılık Kontrolü	Tekrar İhale	Takas Durumu
S12	S12P1	A10,A9,A8,A7, A6,A5,A4,A3	A10,A9,A8,A7, A6,A5,A4	A10: 7.841 A9: 23.101 A8: 16.381 A7: 7.841 A6: 23.501 A5: 23.501 A4: 23.501	A7	Gelir: 19.200, Maliyet: 7.841, Sonuc: Karlı	-	-

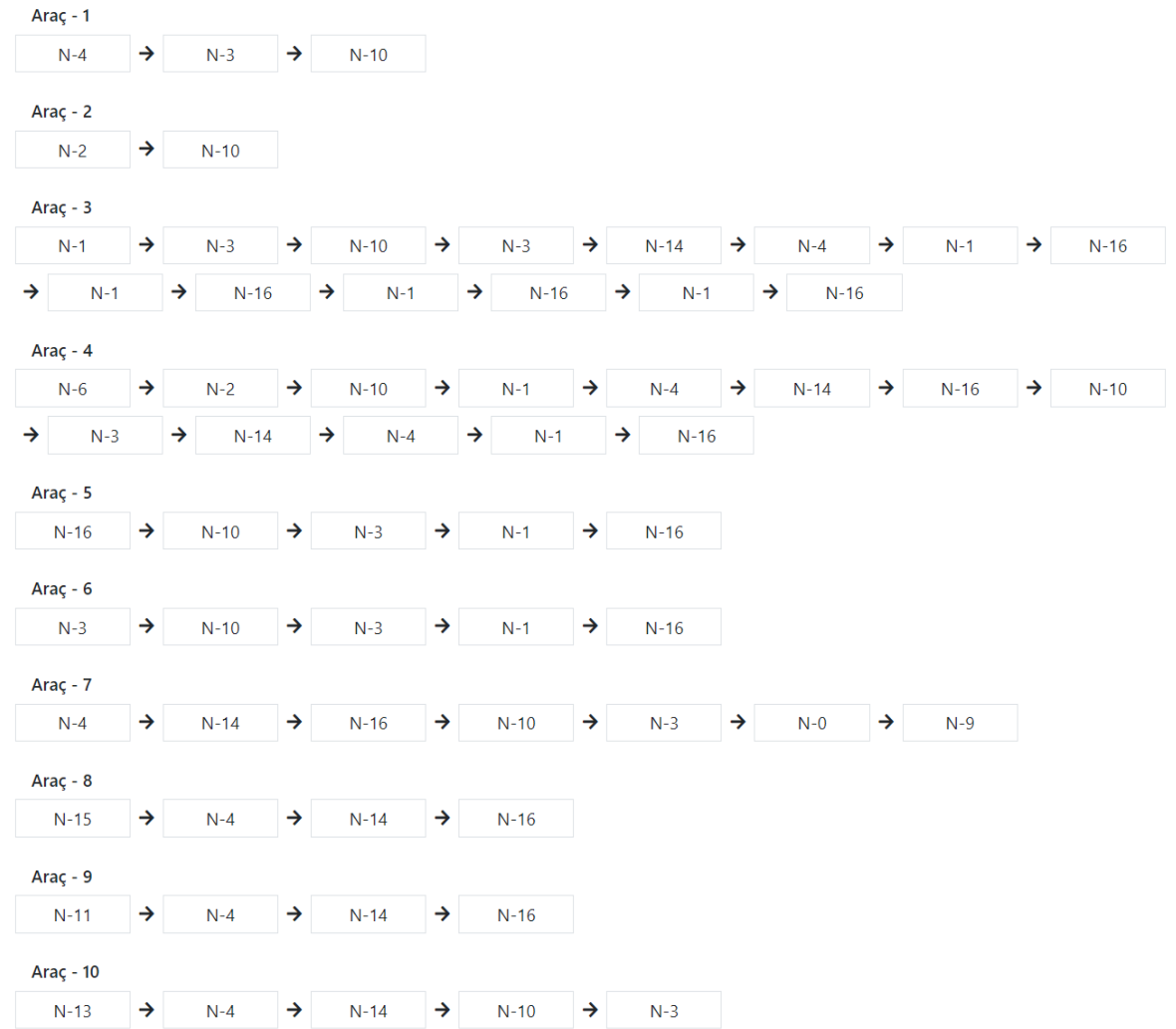
Çizelge 4.21. 11 Nolu Siparişe Atanan Araçların İşlem Planları

Araç No	Sipariş No	İşlem	Başlangıç	Bitiş	Mesafe	Süre	Maliyet
A-7	S-11 P-1	Yükleme	12.09.2023 14:45	12.09.2023 16:45	0	2	0
A-7	S-11 P-1	Dolu Gidiş	12.09.2023 16:45	12.09.2023 18:45	120	2	1.935
A-7	S-11 P-1	İndirme	13.09.2023 16:45	13.09.2023 18:45	0	2	0

Çizelge 4.22. 12 Nolu Sipariş Atanan Araçların İşlem Planları

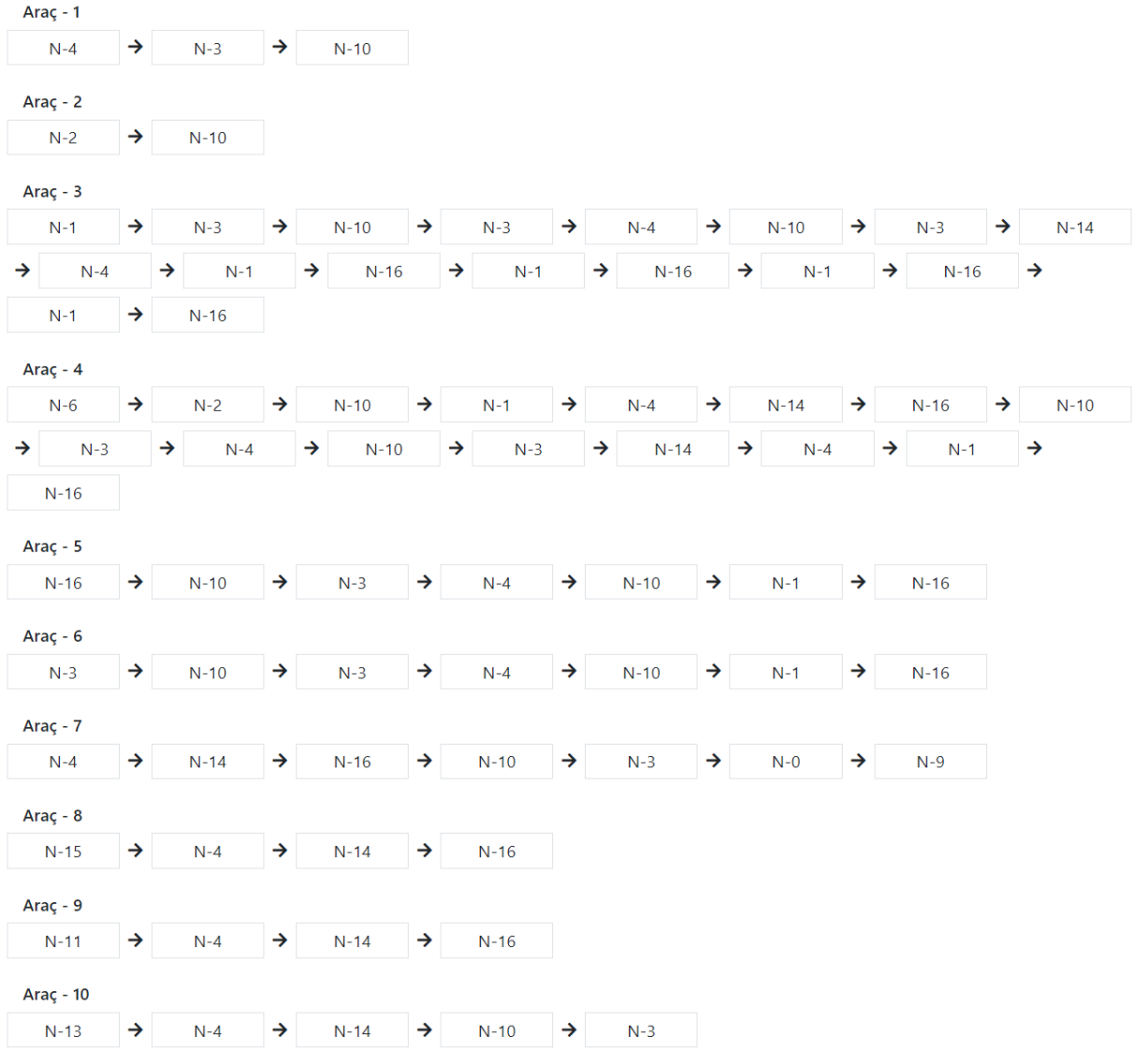
Araç No	Sipariş No	İşlem	Başlangıç	Bitiş	Mesafe	Süre	Maliyet
A-7	S-12 P-1	Yıkama	08.09.2023 13:45	08.09.2023 14:45	0	1	100
A-7	S-12 P-1	Yükleme	08.09.2023 14:45	08.09.2023 16:45	0	2	0
A-7	S-12 P-1	Dolu Gidiş	08.09.2023 16:45	09.09.2023 00:45	480	8	7.741
A-7	S-12 P-1	İndirme	09.09.2023 16:45	09.09.2023 18:45	0	2	0

Şekil 4.19’da S11 ve S12 siparişlerinin A7 aracına atanması sonrası araç rotaları verilmiştir.



Şekil 4.19. 11 ve 12 Nolu Sipariş Gelince Oluşan Araç Rotası

Şekil 4.20’ de taşınma zamanı olarak S6 ve S9 siparişleri arasına gelen S13 siparişinin, A7 aracına atanması sonrası güncellenen araç rotaları verilmiştir.



Şekil 4.20. 13 Nolu Sipariş Geline Oluşan Araç Rotası

Çizelge 4.23’de görüldüğü gibi, S14 siparişine sistemde tanımlı 10 araçtan sadece A3, A4, A5, A6 araçlarının dorseleri uygun olmuştur. Ancak bu 4 araç zaman penceresi olarak S14 siparişine uygun olmadıkları için sipariş cevap verme süresi sonuna kadar tekrar tekrar ihaleye çıkıp, uygun araç bulamadığı için cevap verme süresi sonunda reddedilmiştir.

Çizelge 4.23. 14 Nolu Siparişe Atanan Araçların İşlem Planları

Sipariş No	Sefer No	Dorse Uygunluğu	Zaman Penceresi Uygunluğu	Araç: Teklif(TL)	Seçilen Teklif	Karlılık Kontrolü	Tekrar İhale	Takas Durumu
S14	S14P1	A3,A4,A5,A6	-	-	-	-	+	-

4.2. Takas Mekanizması Uygulaması

Takas mekanizmasının çalışma şekillerini daha detaylı göstermek amacıyla küçük bir örnek tasarlanmıştır. Bu örnekte ele alınan veriler Çizelge 4.24'te gösterilmiştir. Burada her bir talebin yük tipi, alınacağı ve bırakılacağı noktalar, tonajları (ton ve m³ cinsinden), en erken alım zamanları (EEA), en geç alım zamanları (EGA), en erken teslim zamanları (EET), en geç teslim zamanları (EGT) ve her bir talebe ait tanımlanan cevap verme süreleri verilmiştir. Her bir talep talep numarasına göre sırayla ve 1 saat arayla sisteme ulaşmıştır.

Çizelge 4.24. Yük Talepleri Bilgileri

Talep No	Yük Tipi	Alım Noktası	Teslim Noktası	Miktar(ton)	Miktar(m3)	EEA	EGA	EET	EGT	Cevap Verme Süresi(sa)
1	Tutkal	N5	N15	16	30	10.4.23 14:00	12.4.23 22:00	10.4.23 16:00	13.4.23 22:00	4
2	Petrol	N8	N15	8	15	10.4.23 14:00	10.4.23 15:00	10.4.23 22:00	13.4.23 22:00	2
3	Tutkal	N7	N5	8	15	10.4.23 1:00	11.4.23 1:00	10.4.23 2:00	12.4.23 1:00	0,5
4	Rafine	N2	N6	8	15	12.4.23 11:00	13.4.23 20:00	12.4.23 20:00	14.4.23 20:00	3
5	Rafine	N15	N2	8	15	11.4.23 8:00	12.4.23 17:00	13.4.23 17:00	14.4.23 17:00	1

Örnekte yer alan araçların kapasiteleri, bulunduğu noktalar, üzerinde taşıdıkları dorse tipleri ve dorselerin araç üzerinden sökülüp sökülemediği bilgisi Çizelge 4.25'de verilmiştir.

Çizelge 4.25. Araç Bilgileri

Araç No	Kapasite (ton)	Kapasite (m3)	Bulunduğu Nokta	Dorse Tipi	Sökülebilir Dorse
1	8	15	N-6	Soğutmalı	Var
2	8	15	N-7	İzoleli	Yok
3	8	15	N-8	Krom	Var
4	8	15	N-9	Soğutmalı	Yok

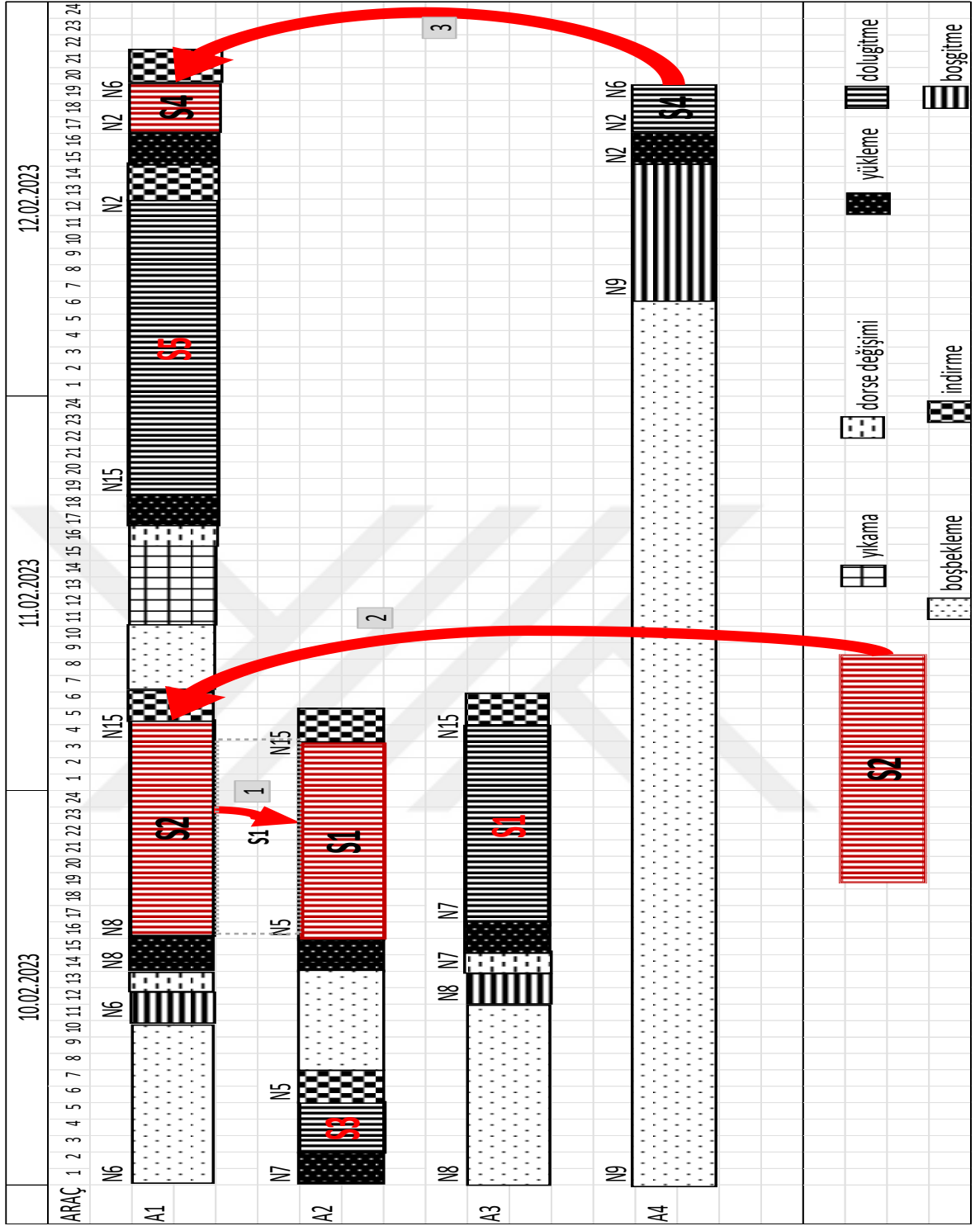
Şekil 4.21'deki GANTT şemasına bakıldığında 2 seferli S1 siparişi başlangıçta Çizelge 4.26'da da görüldüğü gibi en düşük teklifleri veren A1 ve A3 araçlarına atanmıştır. Daha sonra S2 siparişi geldiğinde Çizelge 4.25'de de görüldüğü gibi sadece sökülebilir dorseye sahip olan A1 ve A3 nolu araçlar S2 siparişine uygun bulunmuştur.

Ancak, A1 ve A3 aracı S2 siparişinin en erken alım ve en geç alım zamanları arasına, sırasıyla S1 siparişine ait olan S1P1 (S1 siparişinin 1. Seferi) ve S1P2 (S1 siparişinin 2. Seferi) planladığı için, S2 siparişi için atanacak araç bulunamadığında, belli periyotlarda tekrar ihale yoluyla

araç aramaya devam edilmiştir. S3 siparişi gelişi ile dorsesi ve zaman penceresi uygun olan A2 aracına atandığı zaman takas mekanizması aktif hale gelmiştir.

Bu mekanizmaya göre, A2 aracının S1P1 için 11,612 TL olarak yeni bir maliyet teklifinde bulunmuş ve bu teklif A1 aracının önceden S1P1'e vermiş olduğu teklif olan 13.632 TL daha küçük bulunmuştur. Ayrıca, S1P1 için verilen yeni teklife göre hesaplanan sistemin yeni toplam maliyeti 28.147 TL, sistemin eski toplam maliyeti olan 30.167 TL'den küçük olduğu için, Şekil 4.18'deki GANTT şemasında da görüldüğü gibi S1P1 takas mekanizması vasıtasıyla A1 aracından A2 aracına geçmektedir. Tekrar ihaleye çıkan S2 siparişi de A1 aracının zaman planında boşalan yere yerleşmiştir.

Sistemdeki tüm araçlar için karsız bir sipariş olan S4 siparişi gelince en düşük maliyetli teklifi veren A4 aracına atanmış ve cevap verme süresinin sonuna kadar sistemde bekleme durumuna geçmiştir. S5 siparişi geldiğinde, Çizelge 4.25 'de görüldüğü gibi dorsesi ve zaman penceresi uygun olan A1 aracına atanmıştır. Araç ataması gerçekleşince takas mekanizmasının da çalışmasıyla A1 aracı S4P1'e yeni bir teklif vermiştir. Önceden hesaplanan toplam maliyet, 71.348, A1 aracının verdiği teklif sonrası hesaplanan yeni toplam maliyet ise 63.668 olarak hesaplanmıştır. Çizelge 4.22'de görüldüğü gibi, hem S4P1 için A1 aracının yeni verdiği teklif olan 2.903, A4 aracının verdiği teklif olan 10.583'den küçük, hem de sistemin hesaplanan yeni toplam maliyetinin değeri, eski toplam maliyetinin değerinden küçük olduğu için Şekil 4.21'deki GANTT şemasında da görüldüğü S4 siparişi karsız olduğu ve geçici atandığı A4 aracından, karlı hale geldiği A1 aracına geçmektedir.



Şekil 4.21. Takas Uygulaması GANNT Şeması

Çizelge 4.26. Araçların Siparişlere Verdikleri Teklifler

Siparişler	Verilen Teklifler (TL)	Yeni Verilen Teklifler (TL)
S1P1	A1: 13.632*	A2: 11.612*
	A2: 14.492	
	A3: 13.632	
S1P2	A1: 23.132	
	A2: 14.492	
	A3: 13.632*	
S2P1	A1: 14.600*	
S3P1	A1: 6.743	
	A2: 2.903*	
	A3: 4.823	
S4P1	A1: 20.783	
	A4: 10.583*	A1: 2.903*
	A3: 20.783	
S5P1	A1: 18.018*	
	A3: 18.018	
	A4: 18.378	

4.3. Simülasyon Sonuçlarının Analizi

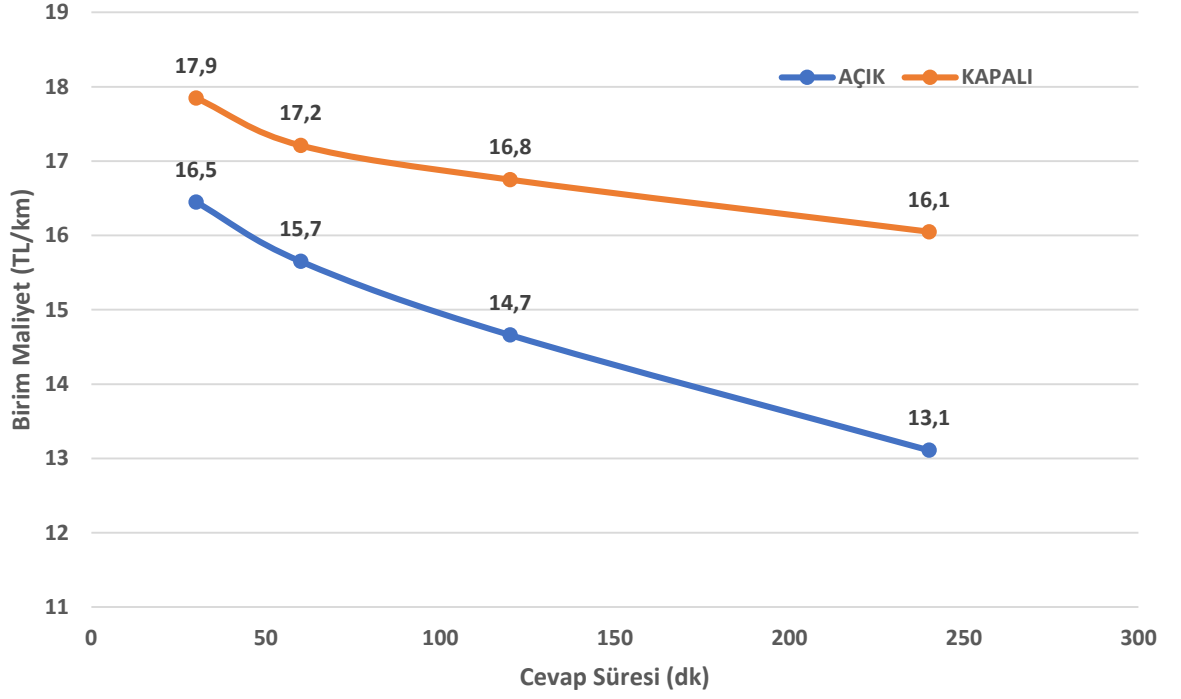
4.3.1. Birim Maliyet Sonuçları

Cevap Verme Süresi ve Takas Mekanizmasının Etkisi

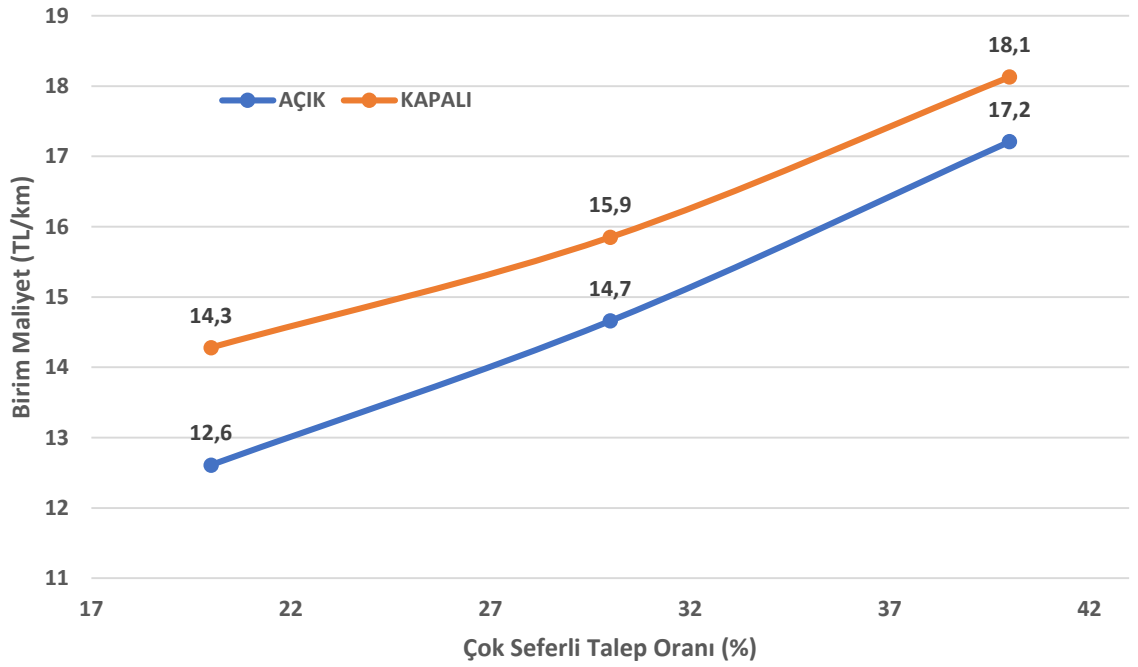
Cevap verme süresi ile takas mekanizmasının birim maliyet üzerindeki etkisi Şekil 4.22’de gösterilmiştir. Cevap verme süresinin artmasının birim maliyeti maksimum %20 civarında düşürdüğü görülmektedir. Ayrıca, takas mekanizmasının aktif olduğu durumda bu düşüşün daha da arttığı görülmektedir. Örneğin, en düşük cevap verme süresinde takas açık ve kapalı arasındaki birim maliyetteki fark %7,84 iken bu fark en uzun cevap verme süresinde % 19,13’e yükselmektedir. Bu sonuç, daha uzun cevap verme süresinde araç atamaları için alternatif çözümlerin sayısının artması ve takas mekanizmasının aktif edilmesi ile de bu alternatifler içerisinde daha düşük maliyetli alternatifin seçilebilmesi ile açıklanabilmektedir.

Çok Seferli Talep Oranı ve Takas Mekanizmasının Etkisi

Çok seferli talep oranının artması takas mekanizmasının açık veya kapalı olması durumlarında birim maliyeti maksimum %36 civarında arttırdığı görülmektedir (bkz Şekil 4.23). Çok seferli talepler, talebin kısmen karşılanması mümkün olmadığından etkin sevkiyat planlamayı zorlaştıran durumlardır. Takas mekanizmasının birim maliyet üzerindeki düşürme etkisi çok seferli talep oranı arttıkça daha da azalmıştır. Örneğin, çok seferli talep oranının %20 olduğu durumda bu düşüş %11 iken, oranın %40 olduğu durumda bu düşüş %5 olmuştur.



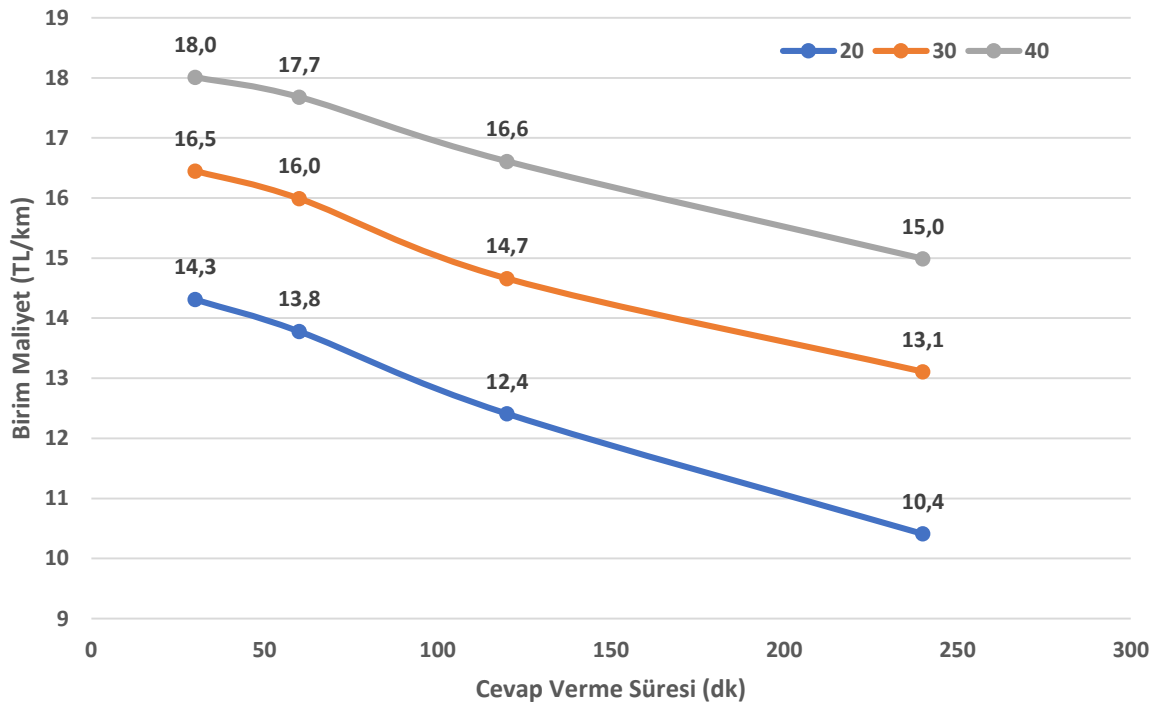
Şekil 4.22. Cevap Verme Süresi ve Takas Mekanizmasının Birim Maliyete Etkisi



Şekil 4.23. Çok Seferli Talep Oranı ve Takas Mekanizmasının Birim Maliyete Etkisi

Çok Seferli Talep Oranı ve Cevap Verme Süresinin Etkisi

Çok seferli talep oranı ile takas mekanizmasının birim maliyet üzerindeki etkisi Şekil 4.24’de gösterilmiştir. Cevap verme süresinin artması tüm çok seferli talep oranlarında birim maliyeti azaltıcı bir etki yaratmıştır. Bu azalışın etkisi çok seferli talep oranının daha az olduğu durumda daha fazla olmuştur. Cevap verme süresi arttıkça birim maliyetteki maksimum azalma çok seferli talep oranının %20 olduğu durumda olup %27’dir. Minimum azalma ise talep oranının %40 olduğu durumda olup %16 olmuştur. Çok seferli talep oranı arttıkça, bir talebin tüm seferlerine yetecek sayıda araç bulunması zorlaştığı için, talep redleri artmıştır. Taleplerin reddedilmesi araçların kat ettikleri toplam mesafe ile birlikte toplam değişken maliyetleri de azaltmıştır. Toplam mesafe ile birlikte toplam değişken maliyette azaldığı için birim değişken maliyetler aşağı yukarı aynı kalmıştır. Ancak, katedilen toplam mesafede azalma olduğu için, km başı sabit maliyette artış olmuştur.



Şekil 4.24. Çok Seferli Talep Oranı ve Cevap Verme Süresinin Birim Maliyete Etkisi

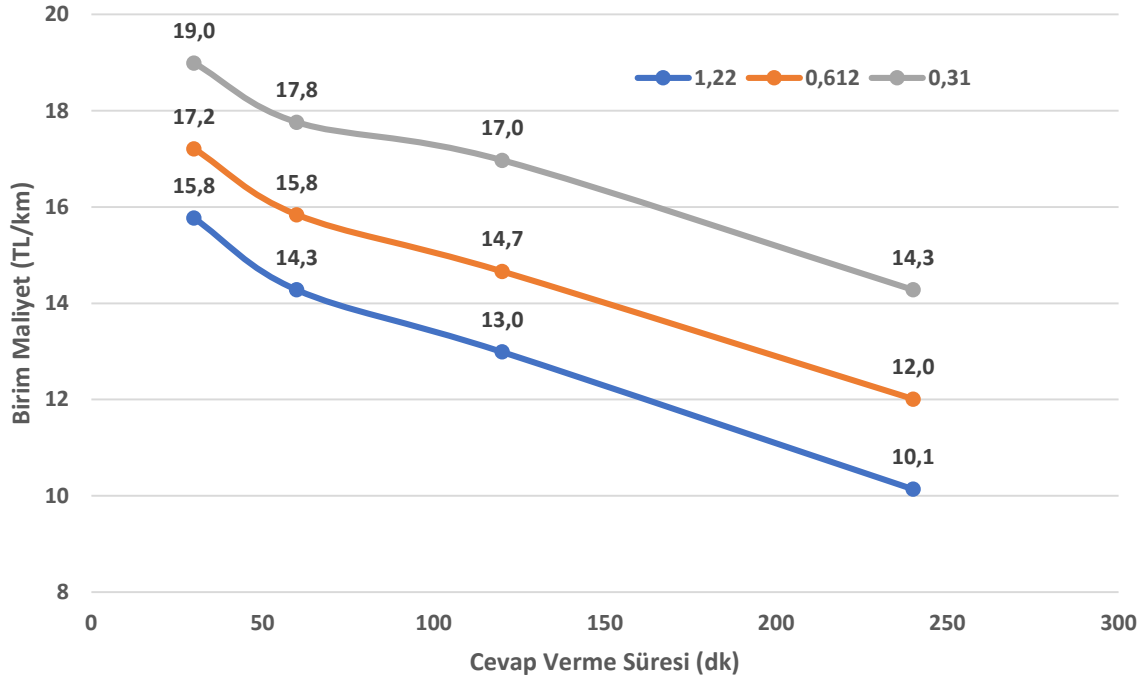
Cevap Verme Süresi ve Sıkışıklık Oranının Etkisi

Cevap verme süresi ve sıkışıklık oranının birim maliyet üzerindeki etkisi Şekil 4.25’de gösterilmiştir. Cevap verme süresinin artması tüm sıkışıklık oranlarında birim maliyeti azaltıcı bir etki yaratmıştır. Bu azalışın etkisi sıkışıklık oranı azaldıkça azalmıştır. Bu azalış maksimum sıkışıklığın 1,22 olduğu durumda %35 iken, minimum ise sıkışıklığın 0,31 olduğu durumda %24 olmuştur. Bunun nedeni cevap verme süresi arttıkça sıkışıklık oranı yüksek olan sistemlerde daha fazla alternatif sipariş oluşacağı için bunların maliyeti daha fazla düşürücü etkisi olmuştur. Sıkışıklık

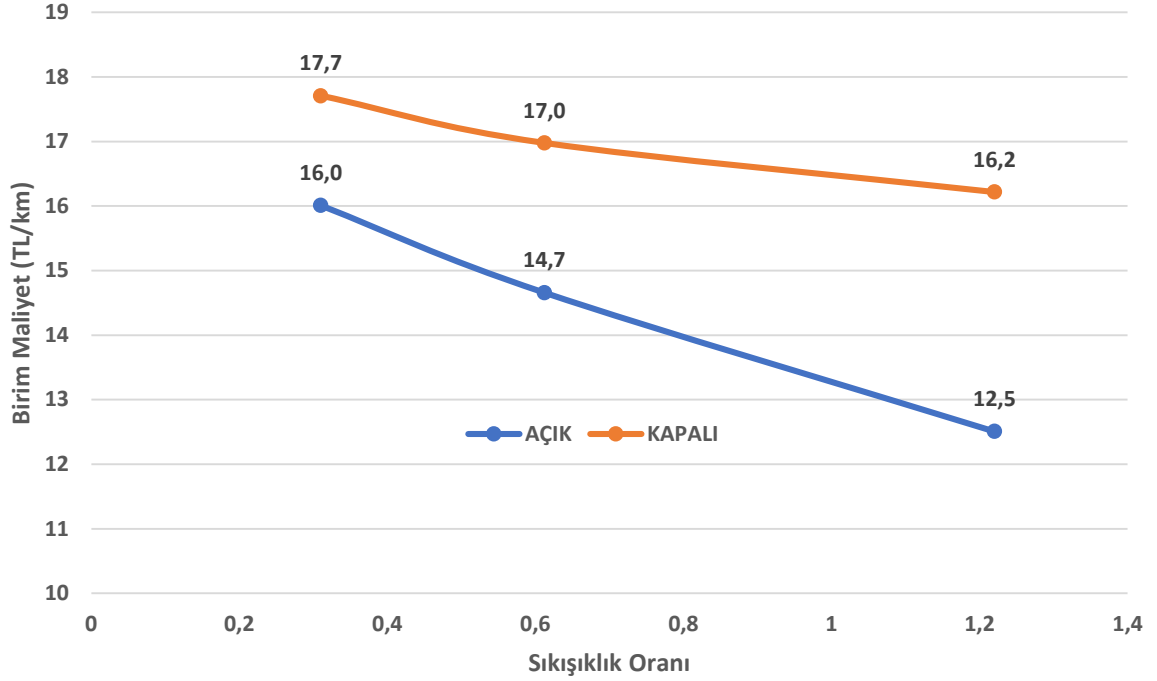
oranının düşük olduğu durumda araçların çoğu boşta bekleyeceğinden ve katettikleri mesafe azaldığı için km başına sabit maliyet artacaktır. Bundan kaynaklı olarak da birim maliyette artış olmuştur. Cevap verme süresinin her seviyesinde sıkışıklık oranı arttıkça birim maliyetteki artış yüzdesi hemen hemen aynı kalmıştır.

Sıkışıklık Oranı ve Takas Mekanizmasının Etkisi

Şekil 4.26'den görüldüğü, sıkışıklık oranının artması takasın açık veya kapalı olması durumlarında birim maliyeti maksimum %21 civarında düşürmüştür. Takas mekanizmasının açık olduğu durumda bu düşüş daha fazla olmuştur. Örneğin, en yüksek sıkışıklık oranında takas açık ve kapalı arasındaki birim maliyetteki fark %22 iken bu fark en düşük sıkışıklık oranında % 9'a düşmektedir. Bunun sebebi ise, yoğun sistemlerde toplam maliyeti düşürücü takas edilecek alternatif sipariş ve araç bulma ihtimalinin daha fazla olmasıdır.



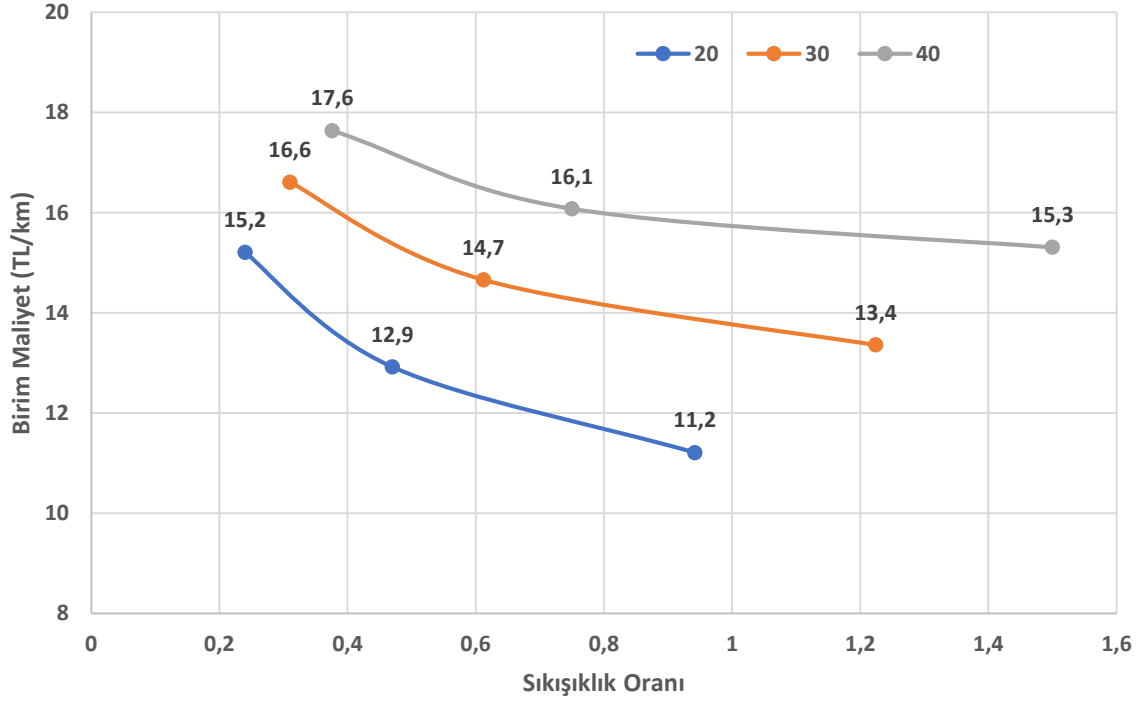
Şekil 4.25. Cevap Verme Süresi ve Sıkışıklık Oranının Birim Maliyete Etkisi



Şekil 4.26. Takas Mekanizması ve Sıkışıklık Oranının Birim Maliyete Etkisi

Çok Seferli Talep Oranı ve Sıkışıklık Oranı Etkisi

Şekil 4.27’da görüldüğü üzere, sıkışıklık oranı arttıkça tüm çok seferli yük oranlarında birim maliyetin düştüğü görülmüştür. Bunun nedeni, sipariş yoğunluğu arttıkça sistemde kabul edilen sipariş sayısı da arttığı için araçların katettikleri mesafeler artmıştır. Katedilen mesafe ile birlikte değişken maliyetler de eşit oranda arttığı için birim değişken maliyet değişmemiştir. Ancak katedilen kilometreye bağlı olarak sabit maliyette bir değişme olmadığından birim sabit maliyet düşmüştür. Bundan dolayı birim maliyette düşüş görülmüştür. Bu düşüş en fazla %20 çok seferli sevkiyat oranının olduğu durumda olup %35 oranında gerçekleşmiştir. Çok seferli talep oranı arttıkça birim maliyette artış görülmüştür. Bunun nedeni, çok seferli taleplere araç bulmak daha zor olduğundan daha çok sipariş red olmasıyla açıklanabilir. Sıkışıklık oranı ile birlikte çok sevkiyatlı yük oranı da arttıkça birim maliyette daha az azalma görülmüştür. Özellikle birim maliyetteki azalma sıkışıklık oranı “1” değerinden sonra daha da azalmaktadır. Çünkü işletmenin kapasitesinin ne kadar üzerinde iş gelse bile bu işleri reddetmek zorunda kaldığı için bunun birim maliyet üzerinde etkisi az olmuştur.

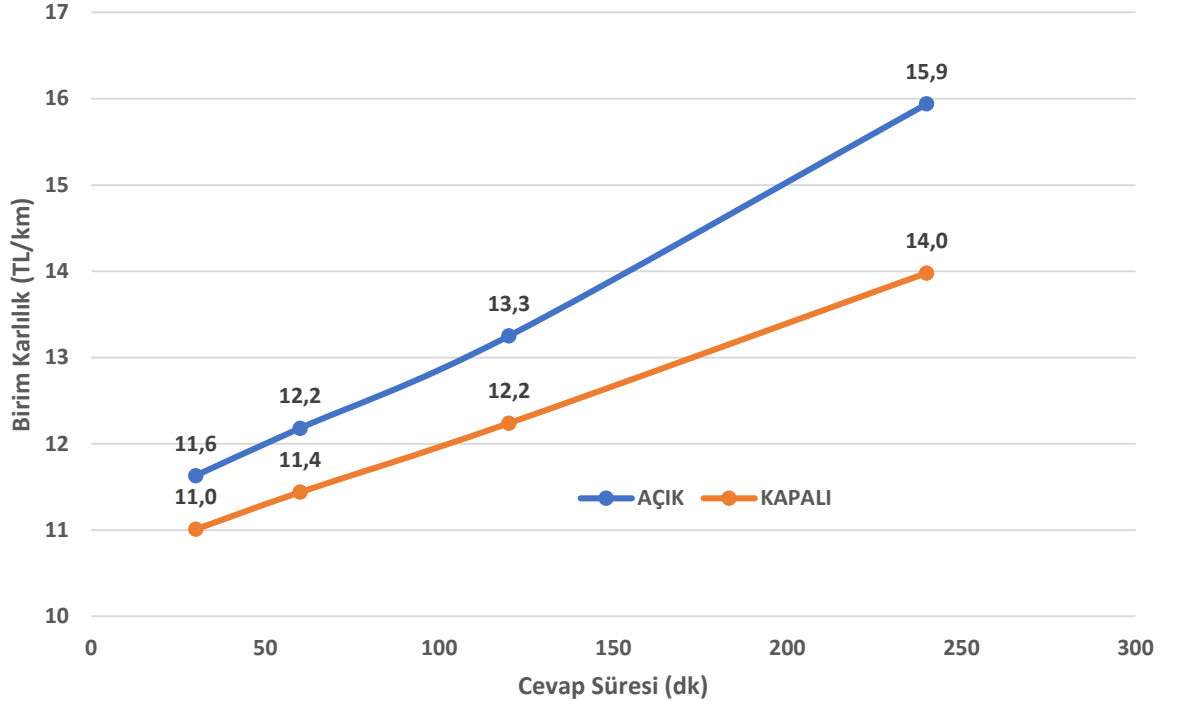


Şekil 4.27. Çok Seferli Talep Oranı ve Sıkışıklık Oranının Birim Maliyete Etkisi

4.3.2. Birim Kar Sonuçları

Cevap Verme Süresi ve Takas Mekanizmasının Etkisi

Cevap verme süresinin artmasının takasın açık veya kapalı olması durumlarında birim karlılığı maksimum % 35 civarında artırdığı görülmektedir (Şekil 4.28). Ayrıca, takas mekanizmasının aktif edilmesi bu artışı daha da artırmaktadır. Örneğin, en düşük cevap verme süresinde takas açık ve kapalı arasındaki birim karlılıktaki fark %5,63 iken bu fark en uzun cevap verme süresinde %14 'e yükselmektedir. Cevap verme süresinin uzatılması ile araç atamaları için alternatif çözümlerin sayısının artması hem kabul edilen talep oranını artırmış (satış gelirinde artış) ve hem de takas mekanizmasının aktif edilmesi ile de bu alternatifler içerisinde daha düşük maliyetli alternatifin seçilebilmesini sağlamıştır.



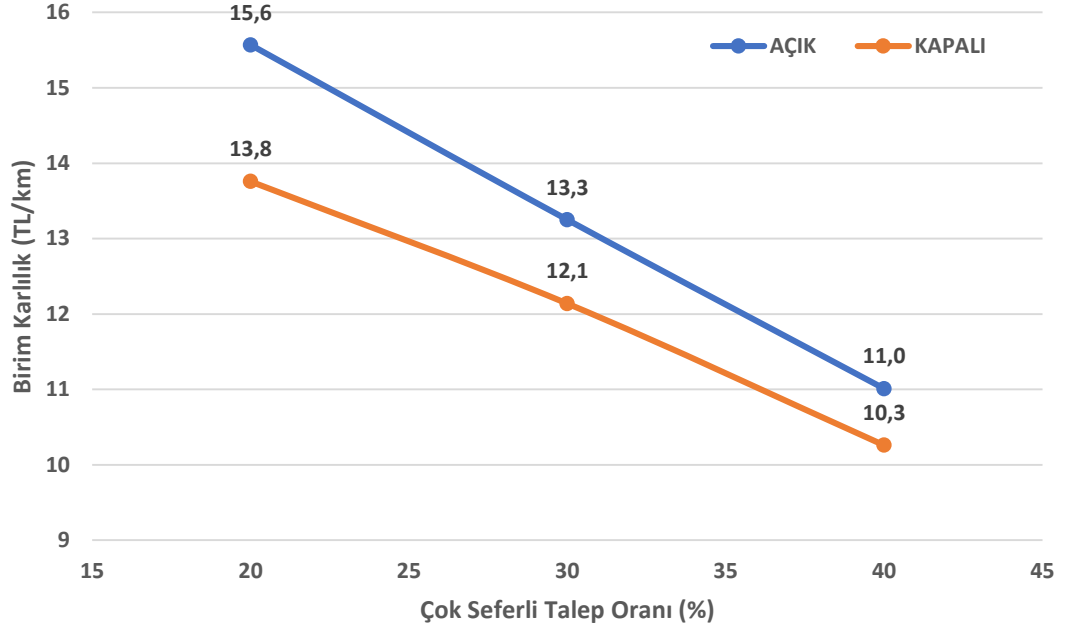
Şekil 4.28. Cevap Verme Süresi ve Takas Mekanizmasının Birim Kara Etkisi

Çok Seferli Talep Oranı ve Takas Mekanizmasının Etkisi

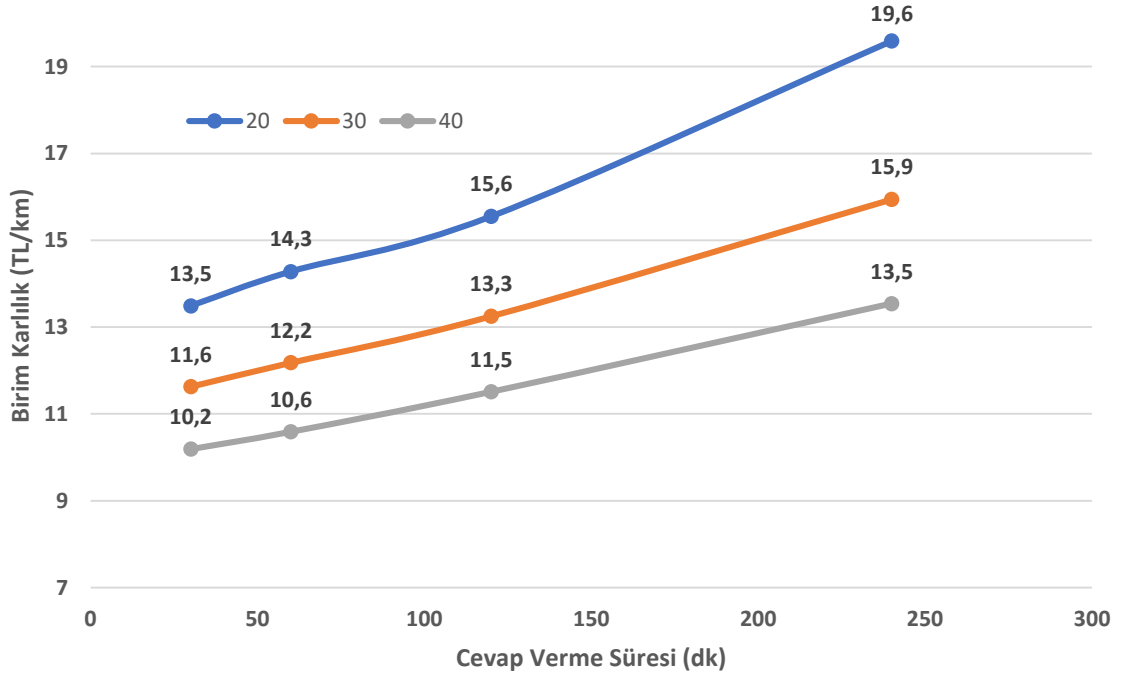
Çok seferli talep oranının artması takasın açık veya kapalı olması durumlarında birim karı maksimum %29 civarında düşürdüğü görülmektedir (Şekil 4.29). Çok seferli taleplerde, seferlerin tümü karşılanamadığında, talebin tümüyle reddi söz konusudur. Bundan dolayı çok seferli talep oranı arttığında red edilen talep sayısı arttığı için birim karlılıkta düşüş olmuştur. Çok seferli talep oranı arttıkça, takas mekanizmasının da aktif olduğu durumda karlılığın daha az arttığı görülmüştür. Çok seferli talep oranının %20 olduğu durumda bu artış %13 iken, oranın %40 olduğu durumda bu artış %7 olmuştur. Bunun nedeni; az seferli taleplerde sefer sayısı az olduğu için takas mekanizmasıyla karlılığı arttırıcı alternatif araç bulma ihtimali daha yüksek olmuştur.

Çok Seferli Talep Oranı ve Cevap Verme Süresinin Etkisi

Şekil 4.30'da gösterildiği gibi, cevap verme süresinin artması tüm çok seferli talep oranlarında birim karı arttırıcı bir etki yaratmıştır. Bu artışın etkisi çok seferli taleplerin daha az olduğu durumda daha fazla olmuştur. Çok seferli talep oranının artışı, talep kabul yüzdesini ve dolayısıyla birim karlılığı azalmıştır. Cevap verme süresinin artmasıyla bu azalış maksimum %30 oranında olmuştur.



Şekil 4.29. Çok Seferli Talep Oranı ve Takas Mekanizmasının Birim Kara Etkisi

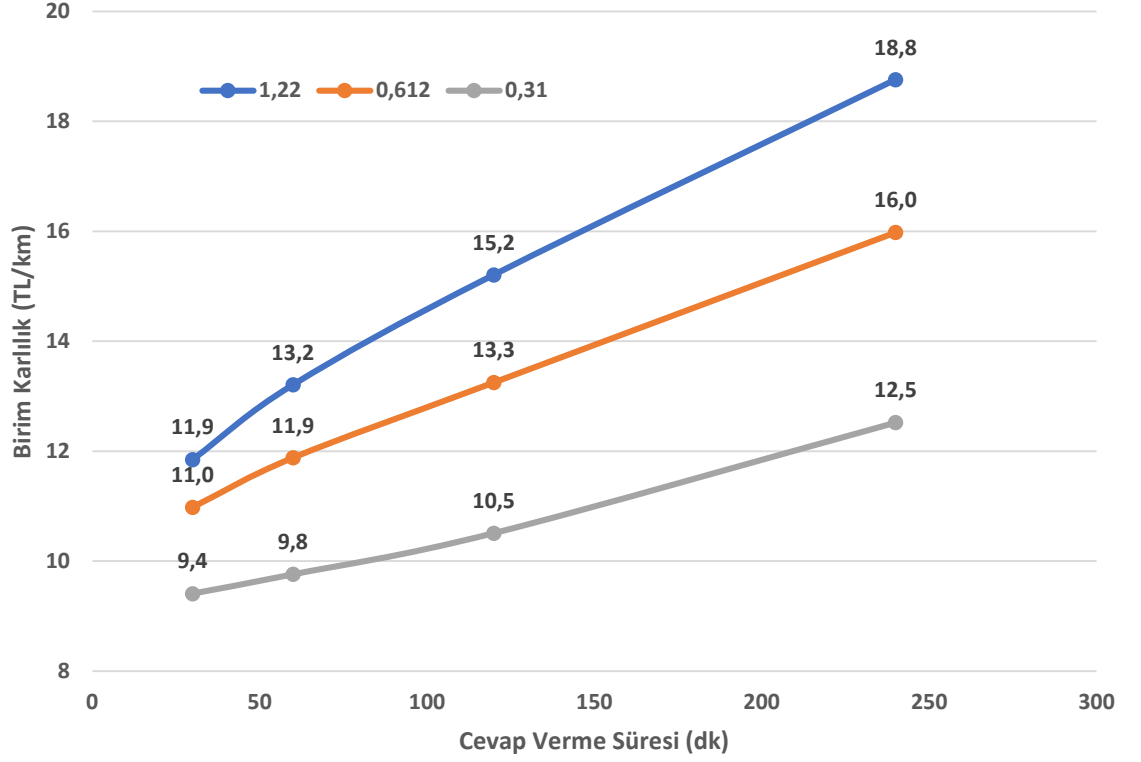


Şekil 4.30. Çok Seferli Talep Oranı ve Cevap Verme Süresinin Birim Kara Etkisi

Cevap Verme Süresi ve Sıkışıklık Oranının Etkisi

Cevap verme süresinin artması tüm sıkışıklık oranlarında birim karı maksimum %36 oranında arttırmıştır (Şekil 4.31). Bu artışın etkisi sıkışıklık azaldıkça azalmıştır. Bu artış maksimum

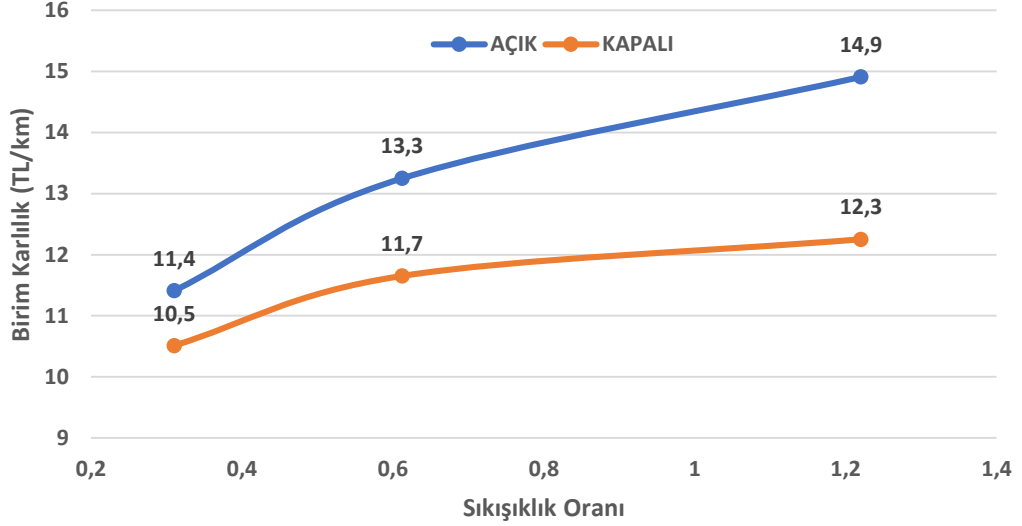
sıkışıklığın 1,22 olduğu durumda %36 iken, minimum ise sıkışıklığın 0,31 olduğu durumda %24 olmuştur. Az yoğun sistemlerde daha az sipariş kabulü olduğu için gelir düşmüştür. Birim maliyette de artış olduğu için birim karlılıkta azalma olmuştur. Cevap verme süresinin her seviyesinde sıkışıklık oranı arttıkça birim maliyetteki artış yüzdesi hemen hemen aynı kalmıştır.



Şekil 4.31. Cevap Verme Süresi ve Sıkışıklık Oranının Birim Karlılığa Etkisi

Sıkışıklık Oranı ve Takas Mekanizmasının Etkisi

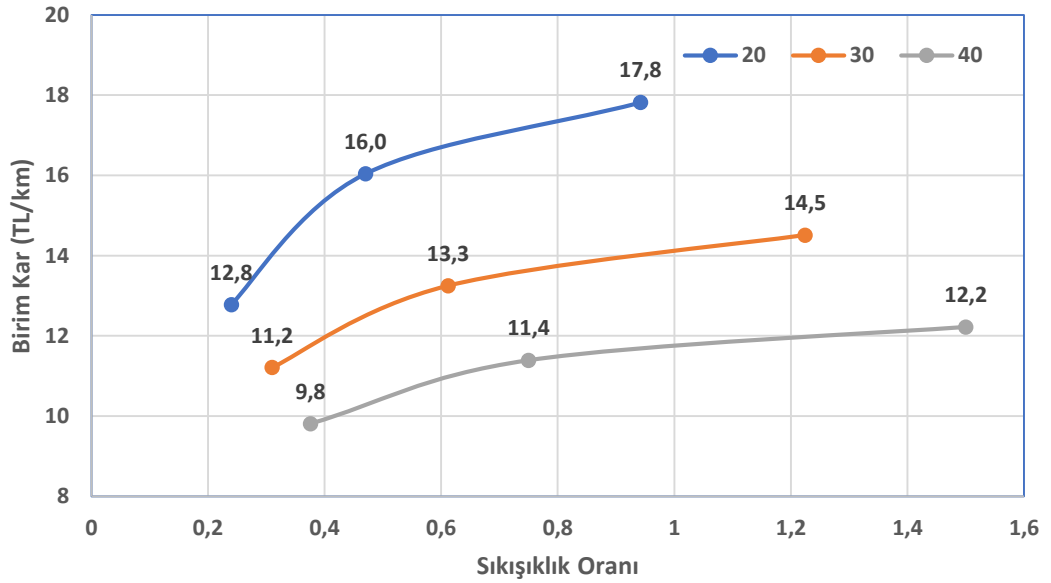
Sıkışıklık Oranı ve Takas Mekanizmasının birim kara etkisi şekil 4.32’de gösterilmiştir. Sıkışıklık oranının artması takasın açık veya kapalı olması durumlarında birim karı maksimum %30 civarında arttırmıştır. Takas mekanizmasının açık olduğu durumda bu artış daha fazla olmuştur. Örneğin, en yüksek sıkışıklık oranında takas açık ve kapalı arasındaki birim kardaki fark %21 iken bu fark en düşük sıkışıklık oranında % 8’e düşmektedir. Bunun sebebi ise, yoğun sistemlerde takas edilerek karlılığı arttıracak alternatif siparişlerin daha fazla olmasıdır.



Şekil 4.32. Sıkışıklık Oranı ve Takas Mekanizmasının Birim Kara Etkisi

Çok Seferli Talep Oranı ve Sıkışıklık Oranının Etkisi

Sıkışıklık oranı arttıkça kabul edilen sipariş oranı da arttığı için gelir artmış maliyetler azalmıştır (Şekil 4.33). Karlılıkta artış en fazla %20 çok seferli sevkiyat oranının olduğu durumda olup %39 oranında gerçekleşmiştir. Çok sevkiyatlı yük oranı azaldıkça birim kar artmıştır. Bunun nedeni, az sevkiyat gerektiren taleplere daha kolay araç bulunduğu için daha çok sipariş kabul edilmiştir. Her çok seferli sevkiyat oranında sıkışıklık oranı olan 1 değerinden sonra karlılık daha az artmıştır. Bunun sebebi ise, işletmenin kapasitesinin üzerinde iş gelse bile bu işleri reddetmek zorunda kaldığı için bunun birim kar üzerinde arttırıcı etkisi az olmuştur.



Şekil 4.33. Çok Seferli Talep Oranı ve Sıkışıklık Oranının Birim Kara Etkisi

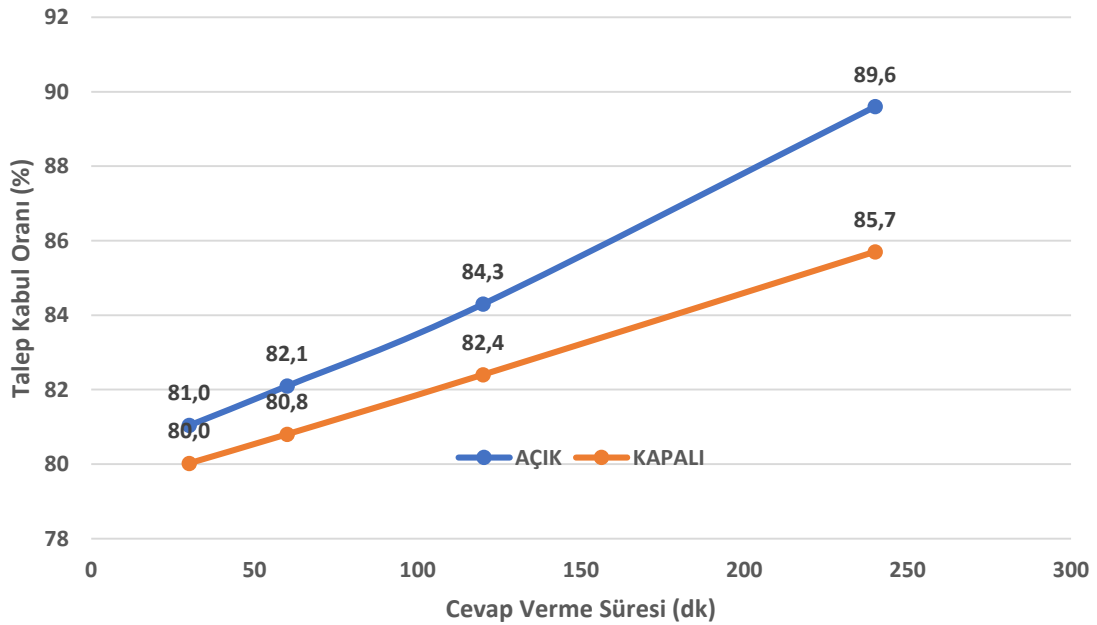
4.3.3. Talep Kabul Oranı Sonuçları

Cevap Verme Süresi ve Takas Mekanizmasının Etkisi

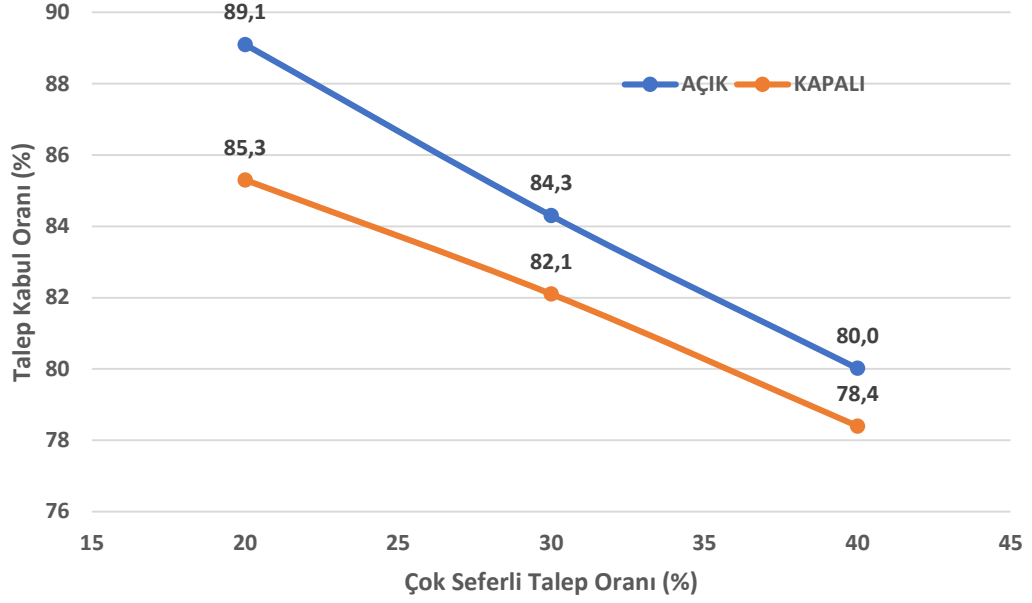
Cevap verme süresinin artmasının takasın açık veya kapalı olması durumlarında talep kabul yüzdesini maksimum %8 civarında artırdığı görülmektedir (Şekil 4.34). Ayrıca, takas mekanizmasının aktif edilmesi kabul yüzdesindeki artışı daha da artırmaktadır. Cevap verme süresinin en düşük 30 dk olduğu durumda bu artış yaklaşık %1 iken cevap verme süresi 240 dk olduğunda bu artış yaklaşık %5 'e yükselmiştir. Bu farkın nedeni, cevap verme süresiyle beraber artan alternatif sipariş sayısının takas mekanizması vasıtasıyla yapılacak yeni müzakerelerle kabul edilen sipariş sayısını arttırması ile açıklanabilir.

Çok Seferli Talep Oranı ve Takas Mekanizmasının Etkisi

Çok seferli talep oranının azalması takasın açık veya kapalı olması durumlarında talep kabul yüzdesini maksimum %9 civarında artırdığı görülmektedir(Şekil 4.35). Çok seferli talep oranı arttıkça kısmi taşıma yapılamadığı için daha çok sipariş reddedilmiştir. Takas mekanizmasının açık olduğu durumda planlanamayan seferlere araç bulunarak onaylanan sipariş sayısı artmıştır. Bu artış çok seferli sipariş oranı arttıkça daha az oranda olmuştur. Takas mekanizmasının açık ve kapalı olduğu durumdaki bu fark çok seferli talep oranının %40 olduğu durumda % 1,62 iken, çok seferli talep oranının %20 olduğu durumda % 3,8 olmuştur. Bunun nedeni ise çok sevkiyatlı talepler için daha çok araç ihtiyacı olduğundan, alternatif araç bulmanın daha zor olmasıdır.



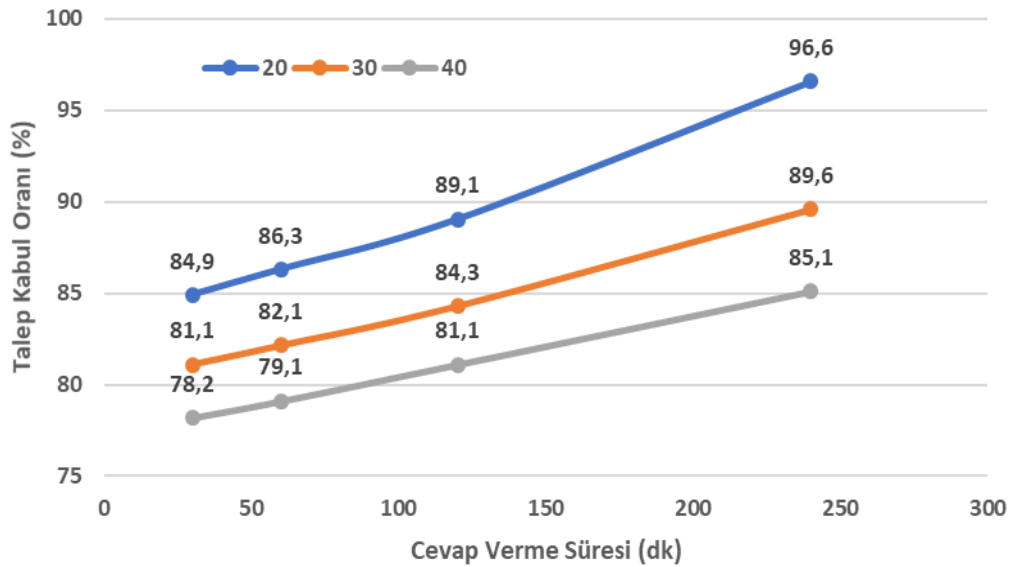
Şekil 4.34. Cevap Verme Süresi ve Takas Mekanizmasının Talep Kabul Oranına Etkisi



Şekil 4.35. Çok Seferli Talep Oranı Ve Takas Mekanizmasının Talep Kabul Oranına Etkisi

Çok Seferli Talep Oranı ve Cevap Verme Süresinin Etkisi

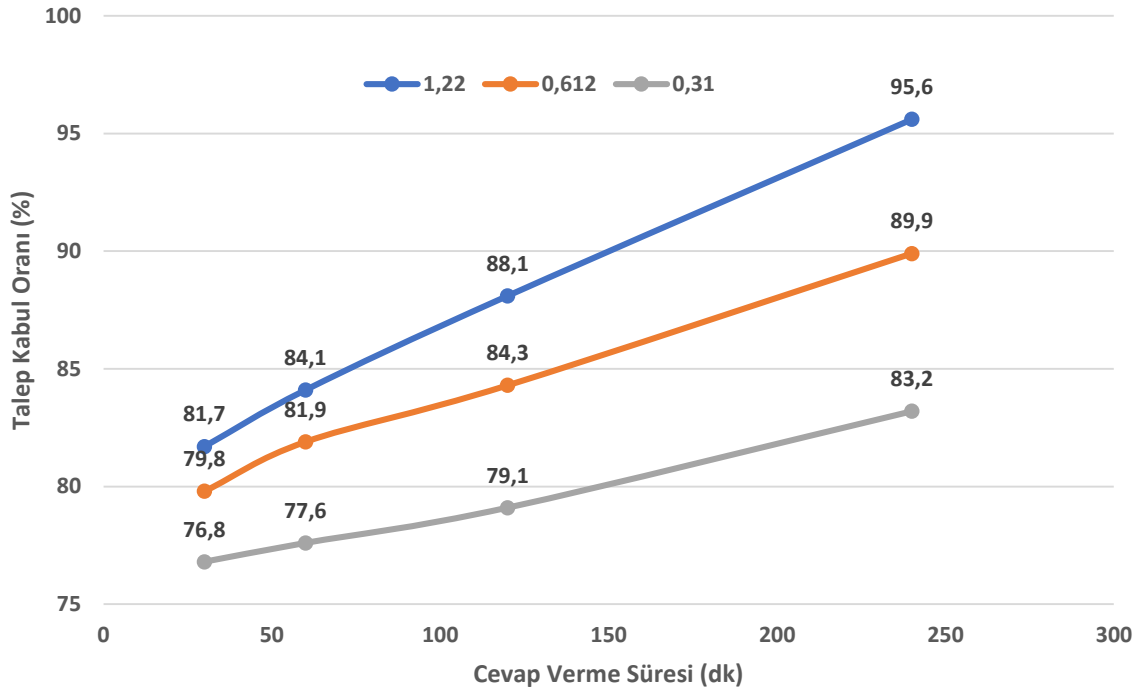
Çok seferli talep oranı arttıkça, her bir sefer için araç bulma ihtiyacı daha zor olduğundan daha çok talep reddedildiği için talep kabul oranı düşmüştür (Şekil 4.36). Cevap verme süresinin artmasıyla bu düşüş en fazla %13 olmuştur. Cevap verme süresinin artmasıyla oluşacak yeni alternatif talepler yoluyla karsız talepler karlı hale gelebilmektedir. Bu sürenin artmasıyla en fazla talep kabulü %20 çok seferli talep oranında görülmüş olup %96,6 olmuştur. Cevap verme süresinin artmasıyla bu düşüş maksimum %11,5 olmuştur. Bu düşüş en fazla, cevap verme süresinin 240 dk olduğu durumda %11,5 olup, en az ise cevap verme süresinin 30 dk olduğu durumda %6,71 olmuştur.



Şekil 4.36. Çok Seferli Talep Oranı Ve Cevap Verme Süresinin Talep Kabul Oranına Etkisi

Cevap Verme Süresi ve Sıkışıklık Oranının Etkisi

Sıkışıklık oranı yüksek olan sistemlerde daha fazla alternatif sipariş olduğu için daha fazla talep kabul olmuştur (Şekil 4.37). Cevap verme süresinin artmasıyla da maksimum talep kabul oranındaki artış %14 olmuştur. Karsız olan siparişler cevap verme süresi boyunca oluşacak yeni alternatif siparişlerden dolayı karlı hale dönüşebilir. Dolayısıyla cevap verme süresi uzadıkça kabul edilen sipariş yüzdesi artmıştır. Bu artış daha yoğun olan sistemde daha çok artmıştır. Sıkışıklık 1,22 iken cevap verme süresinin 30 dk dan 240 dk'ya arttırıldığı durumda bu artış %13,9 iken, cevap verme süresinin 30 dk dan 240 dk'ya arttırıldığı durumda bu artış %6,4 olmuştur. Bunun sebebi ise, karsız siparişleri karlı hale getirecek daha fazla alternatif sipariş olmasındandır. Cevap verme süresinin 30 dk olduğu durumda sıkışıklık oranı arttırıldığında kabul edilen sipariş yüzdesi % 4,9 artmış iken, cevap verme süresinin 240 dk iken kabul edilen sipariş yüzdesindeki artış % 12,4'e çıkmıştır.



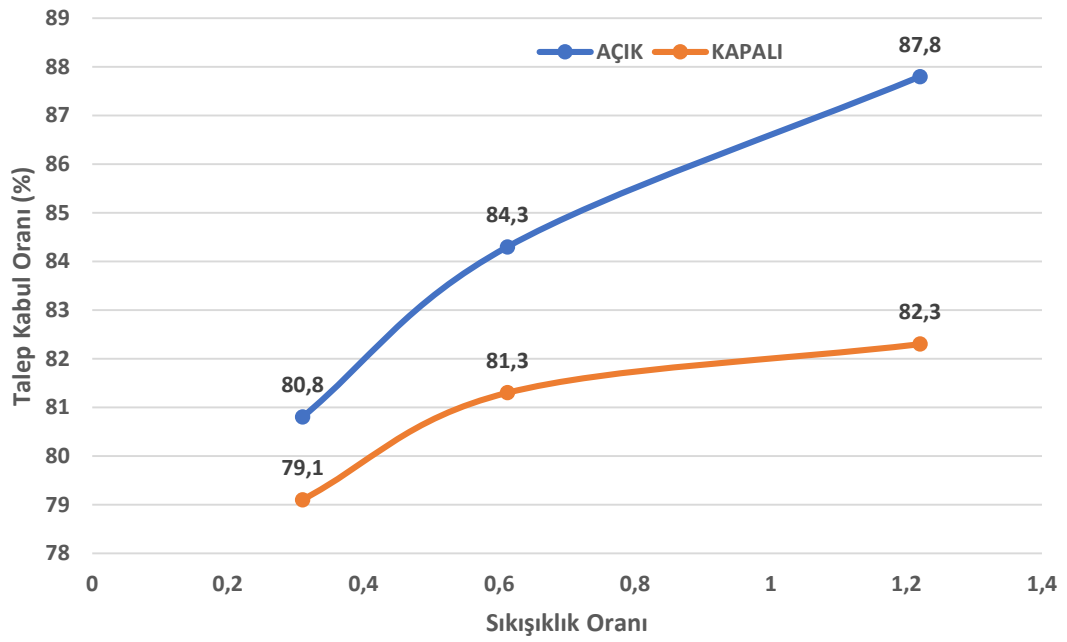
Şekil 4.37. Cevap Verme Süresi ve Sıkışıklık Oranının Talep Kabul Oranına Etkisi

Sıkışıklık Oranı ve Takas Mekanizması Etkisi

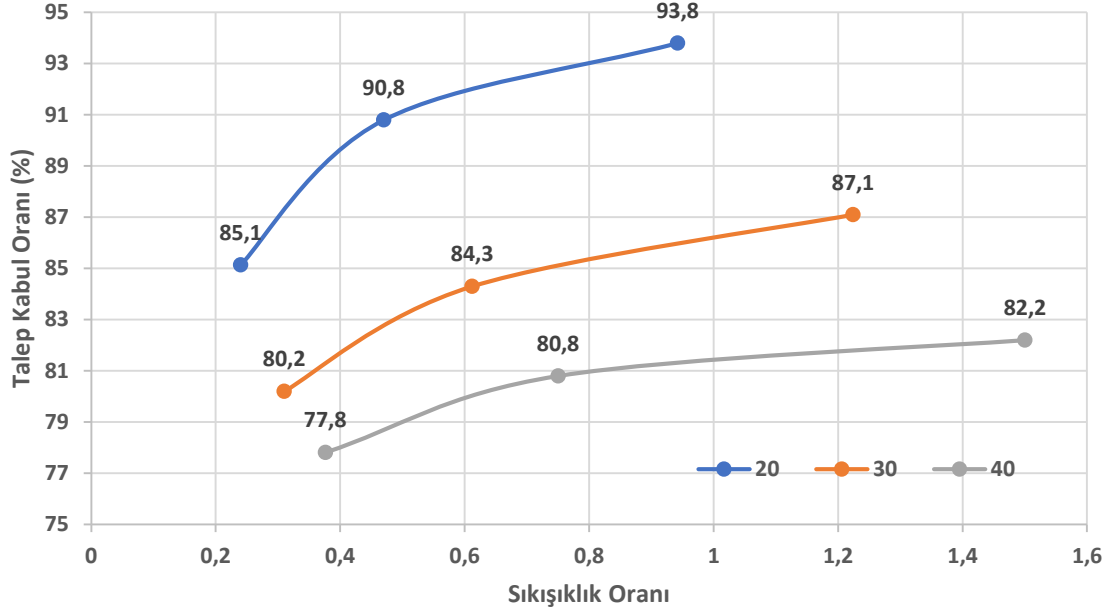
Sıkışıklık oranının artması takasın açık veya kapalı olması durumlarında talep kabul yüzdesini maksimum %8 civarında arttırmıştır (Şekil 4.38). Takas mekanizmasının açık olduğu durumda bu artış daha fazla olmuştur. Örneğin, en yüksek sıkışıklık oranında takas açık ve kapalı arasındaki kabul yüzdesindeki fark %5 iken bu fark en düşük sıkışıklık oranında % 1'e düşmektedir. Bunun sebebi ise, yoğun sistemlerde takas edilerek karlılığı arttıracak alternatif siparişlerin daha fazla olmasıdır.

Çok Seferli Talep Oranı ve Sıkışıklık Oranının Etkisi

Sıkışıklık oranının artmasıyla daha fazla alternatif sipariş olduğu için daha çok sipariş araç eşleşmesi sağladığından talep kabul oranını arttırmıştır (Şekil 4.39). Bu artış en fazla %20 çok seferli sevkiyat oranının olduğu durumda olup %10 oranında gerçekleşmiştir. Çok sevkiyatlı yük oranı arttıkça sevkiyat sayısı kadar araç bulmak zorlaşır. Her çok seferli talep oranında sıkışıklık oranı “1” değerinden sonra talep kabul oranı daha az artmıştır. Bunun sebebi ise, işletmenin kapasitesinin üzerinde iş gelse bile bu işleri reddetmek zorunda kaldığı için daha az talep kabulü olmuştur.



Şekil 4.38. Sıkışıklık Oranı ve Takas Mekanizmasının Talep Kabul Oranına Etkisi

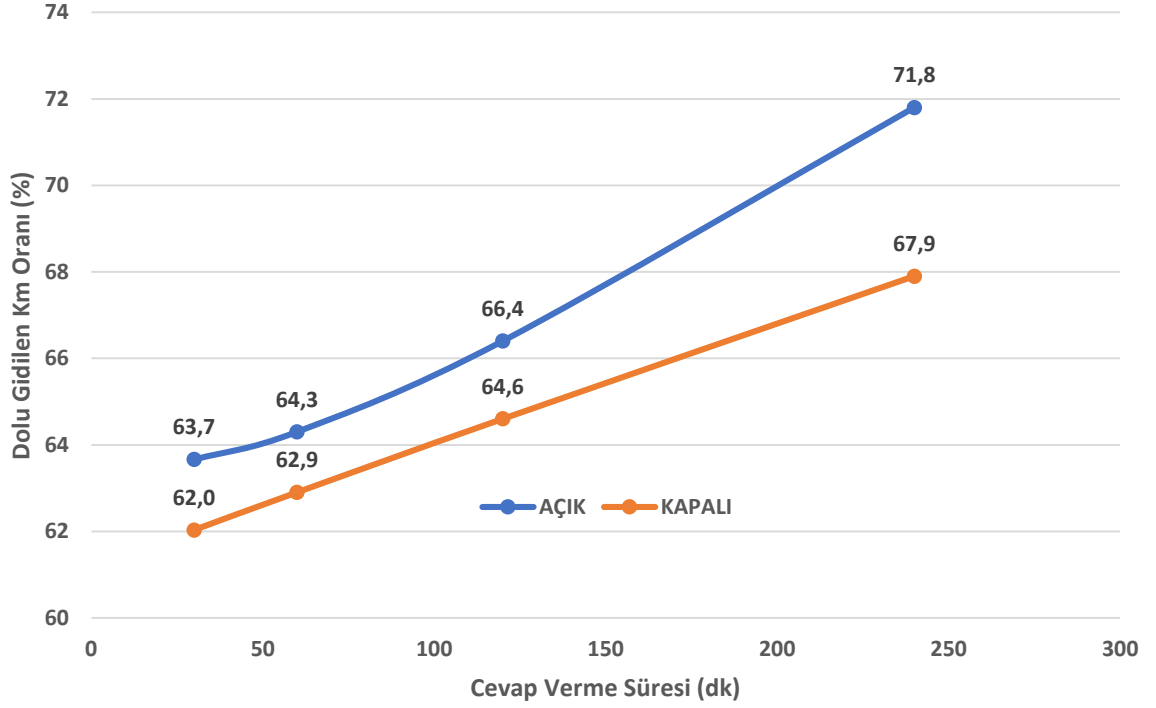


Şekil 4.39. Sıkışıklık Oranı ve Çok Seferli Talep Oranının Talep Kabul Oranına Etkisi

4.3.4. Dolu Gidilen Km Oranı (%) Sonuçları

Cevap Verme Süresi ve Takas Mekanizmasının Etkisi

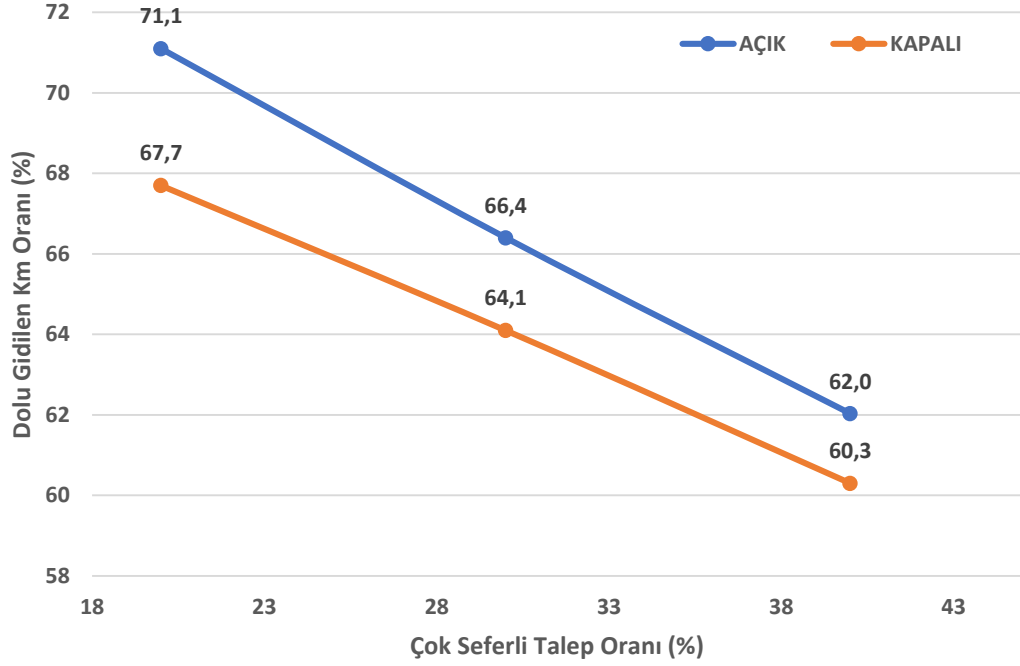
Cevap verme süresinin artmasının takasın açık veya kapalı olması durumlarında araçların doluluk oranını maksimum %8 civarında artırdığı görülmektedir (Şekil 4.40). Cevap verme süresinin en düşük 30 dk olduğu durumda bu artış yaklaşık %1 iken cevap verme süresi 240 dk olduğunda bu artış yaklaşık %5 'e yükselmiştir. Cevap verme süresi ile birlikte oluşacak yeni alternatif siparişlerle araçların boş gittikleri zamanlar yeni kabul edilen siparişlerle dolar. Takas mekanizması ile taleplere alternatif araçlar bulunacağı için araçların doluluk oranının artmasında etkili olmuştur.



Şekil 4.40. Cevap Verme Süresi ve Takas Mekanizmasının Etkisi

Çok Seferli Talep Oranı ve Takas Mekanizmasının Etkisi

Çok seferli talep oranının artması takasın açık veya kapalı olması durumlarında araçların doluluk oranını maksimum %9 civarında artırdığı görülmektedir (Şekil 4.41). Az seferli talep oranının daha fazla olduğu durumda, talebe yetecek araç sayısı daha kolay bulunduğundan, daha çok sipariş planlaması yapılmıştır. Araçlar bir sonraki seferini başka bir siparişle doldurabildiklerinden daha dolu gitmeye başlamışlardır. Takas mekanizmasının açık olduğu durumda ise az seferli talep oranında doluluktaki artış daha fazla olmuştur. Bu artış çok seferli talep oranının %40 olduğu durumda % 1,73 iken, çok seferli talep oranının %20 olduğu durumda % 3,5 olmuştur. Bunun nedeni; az sefer sayısı için alternatif araç bulmanın daha kolay olmasındandır.



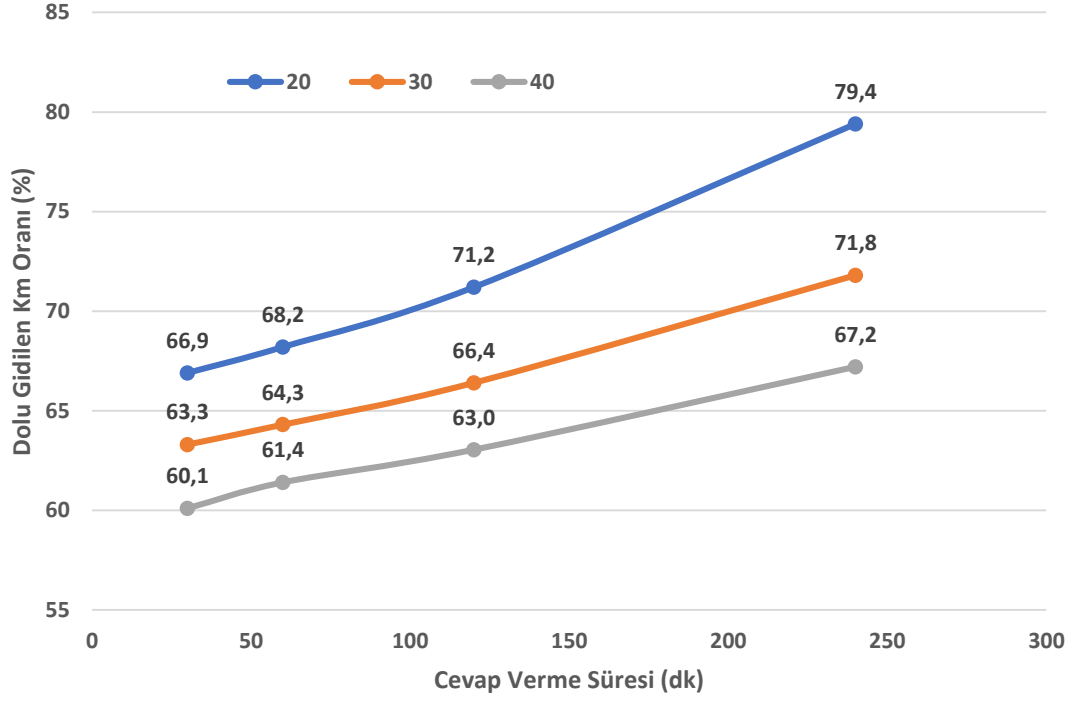
Şekil 4.41. Çok Seferli Talep Oranı ve Takas Mekanizmasının Dolu Gidilen Km Oranına Etkisi

Çok Seferli Talep Oranı ve Cevap Verme Süresinin Etkisi

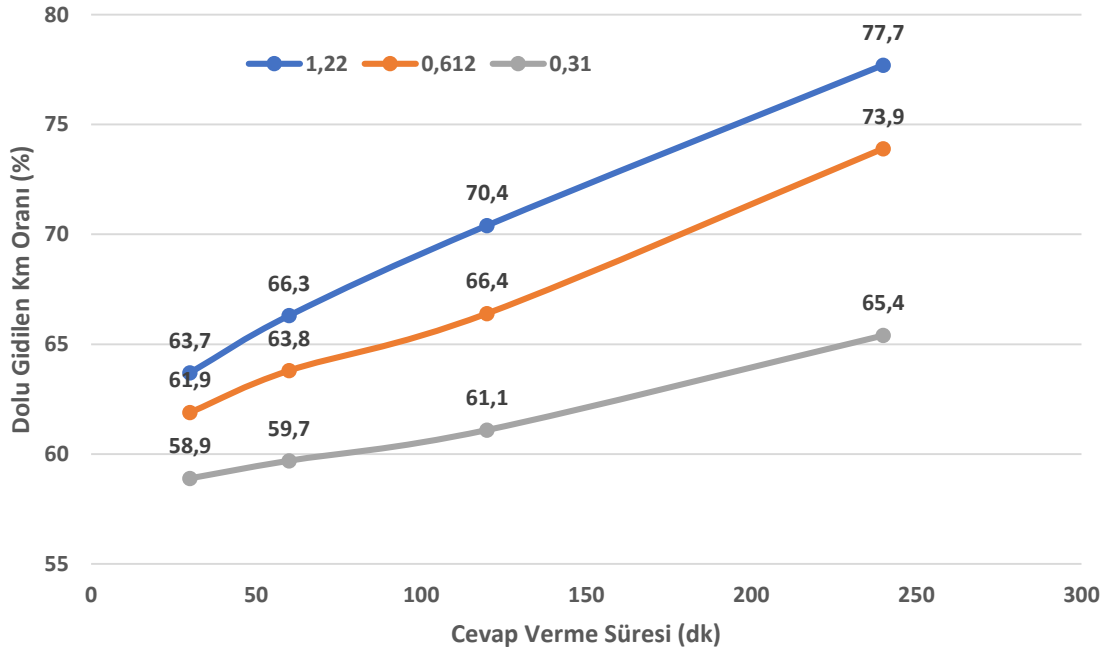
Çok seferli talep oranı arttıkça, her bir sefer için araç bulma ihtiyacı daha zor olduğundan daha çok talep reddedildiği için, kabul edilen taleplerde düşüş olmuştur (Şekil 4.42). Bu da araçların dolu gittikleri mesafede azalmaya yol açmıştır. Bu azalma en çok cevap verme süresi arttıkça maksimum %12,3 olmuştur. Cevap verme süresinin artışı ile birlikte kabul edilen siparişlerin artması araçların boş gidecekleri mesafeleri eski taşıdığı siparişlerin ardına yeni siparişler planlaması yoluyla dolu gittikleri mesafeyi arttırmıştır. Bu artış en fazla cevap verme süresinin 240 dk olduğu durumda olup, % 12,2, en az ise cevap verme süresinin 30 dk olduğu durumda % 6,8'dir.

Cevap Verme Süresi ve Sıkışıklık Oranının Etkisi

Cevap verme süresinin arttırılmasıyla kabul edilen siparişlerin artışı ile araçların boş gidecekleri mesafeleri eski taşıdığı siparişlerin ardına yeni siparişler planlaması yoluyla dolu gittikleri mesafeyi arttırmıştır (Şekil 4.43). Dolu gidilen mesafedeki artış en fazla en sıkışık durumda görülmüş olup, % 14'tür, en az artış ise en az sıkışık olan durumda görülmüş olup % 5,5'dir. Doluluk oranındaki artış en fazla cevap verme süresi 240 dk seviyesinde %12,3 en az ise, cevap verme süresi 30 dk seviyesinde % 4,8'dir.



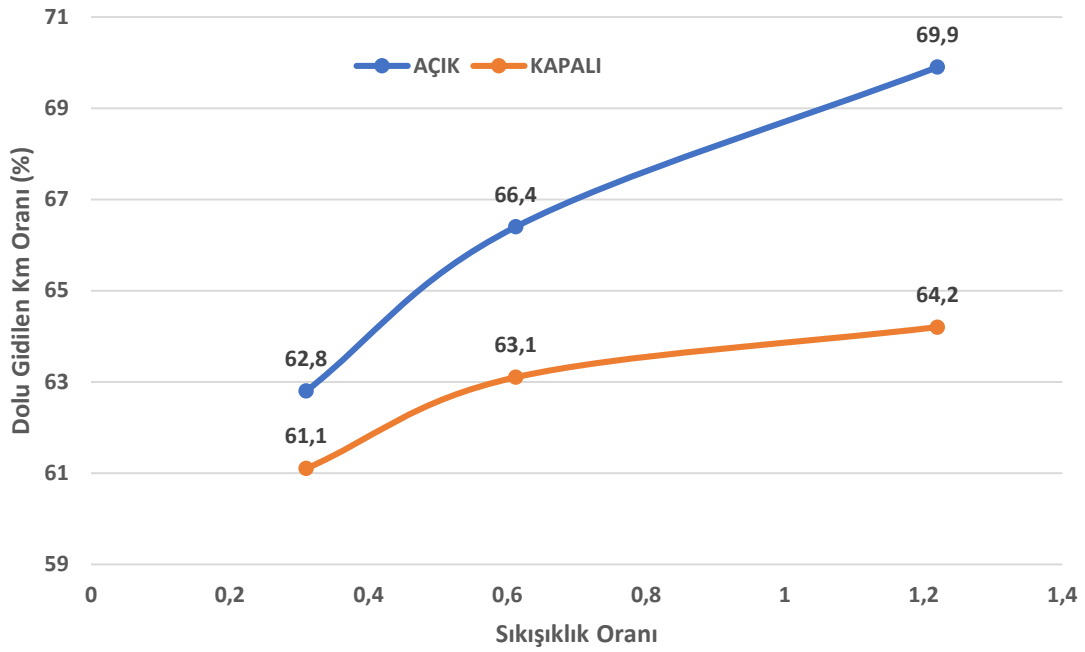
Şekil 4.42. Çok Seferli Talep Oranı ve Cevap Verme Süresinin Dolu Gidilen Km Oranına Etkisi



Şekil 4.43. Cevap Verme Süresi ve Sıkışıklık Oranının Dolu Gidilen Km Oranına Etkisi

Sıkışıklık Oranı ve Takas Mekanizmasının Etkisi

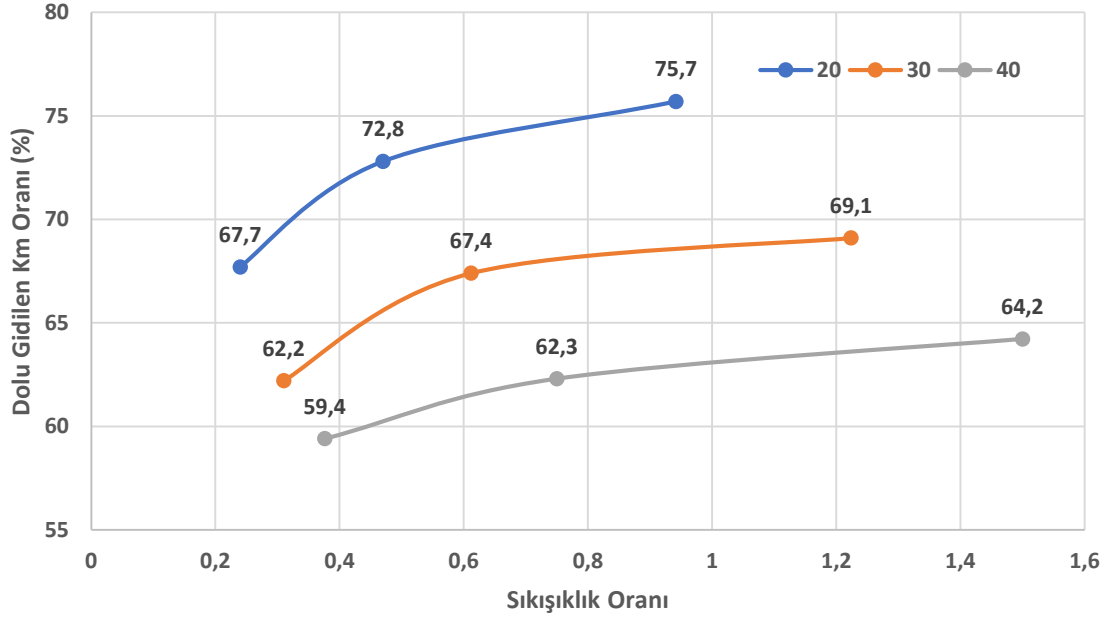
Sıkışıklık oranı arttıkça oluşan daha fazla alternatif siparişle birlikte yapılan yeni müzakerelerle daha fazla sipariş kabul edilmiştir (Şekil 4.44). Bu da araçların boş gittikleri mesafeleri yeni kabul ettikleri siparişlerle doldurmasıyla araçların doluluk oranlarında artışa neden olmuştur. Sıkışıklık oranındaki artışla beraber takas mekanizmasının da aktif edilmesi daha çok siparişin kabulünde etkili olup, araçların doluluk oranını daha da arttırmıştır. Sıkışıklık oranının en yüksek olduğu durumda takas mekanizmasının da aktif edilmesiyle araçların doluluk oranındaki daha fazla artış sağlanmıştır.



Şekil 4.44. Sıkışıklık Oranı ve Takas Mekanizmasının Dolu Gidilen Km Oranına Etkisi

Çok Seferli Talep Oranı ve Sıkışıklık Oranının Etkisi

Sıkışıklık oranı arttıkça daha fazla sipariş kabul edildiği için araçlar boş gittikleri mesafeleri yeni kabul ettikleri siparişlerle doldurmuşlardır (Şekil 4.45). Böylelikle de araçların doluluk oranları artmıştır. Bu artış en fazla %20 çok seferli sevkiyat oranının olduğu durumda olup %11 oranında gerçekleşmiştir. Çok sevkiyatlı yük oranı arttıkça daha fazla sipariş red edildiği için araçların doluluk oranları azalmıştır. Her çok seferli sevkiyat oranında sıkışıklık oranı olan 1 değerinden sonra araç doluluk oranı daha az artmıştır. Bunun sebebi ise, işletmenin kapasitesinin üzerinde iş gelse bile bu işleri reddetmek zorunda kaldığı için araçların dolu gittikleri mesafeler azalmıştır.



Şekil 4.45. Çok Seferli Talep Oranı ve Sıkışıklık Oranı Dolu Gidilen Km Oranına Etkisi

4.3. Hesaplama Süresi Analizi

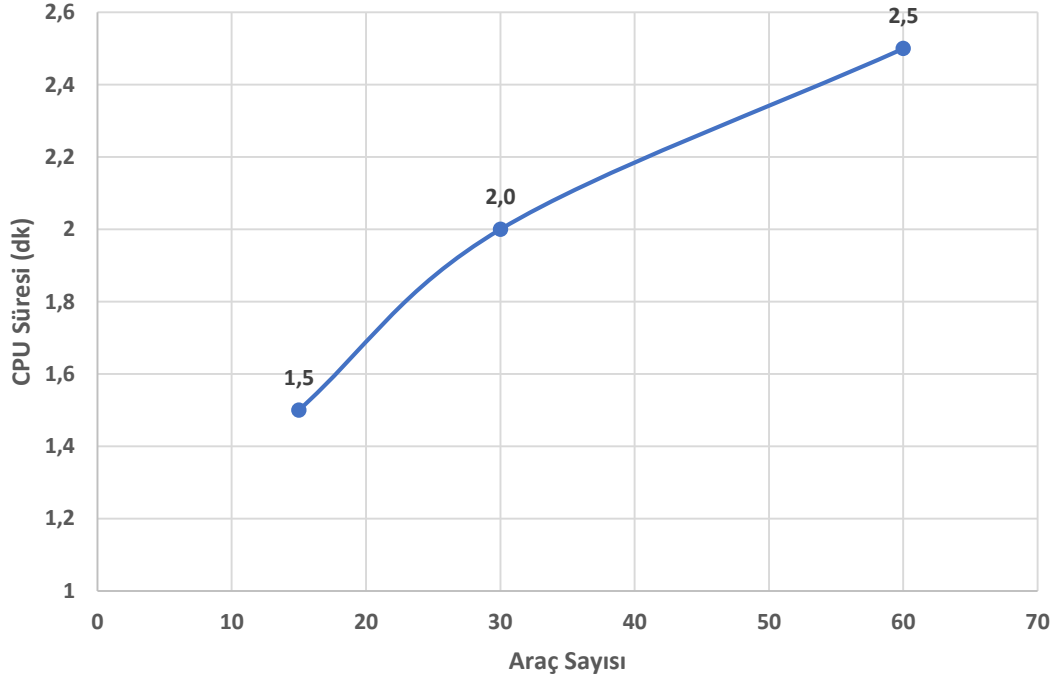
Hesaplama süresi analizinde, geliştirilen araç atama ve rotalama algoritmalarının farklı büyüklükteki problemlerin çözümünde bilgisayarda harcadığı CPU süreleri değerlendirilmiştir. Problemin büyüklüğü araç sayısı ve birim zamanda planlanması gereken sefer sayısı ile ilişkilendirilmiştir. Bu analizler 90 sipariş için yapılmıştır.

Araç Sayısı ve CPU Süresi İlişkisi

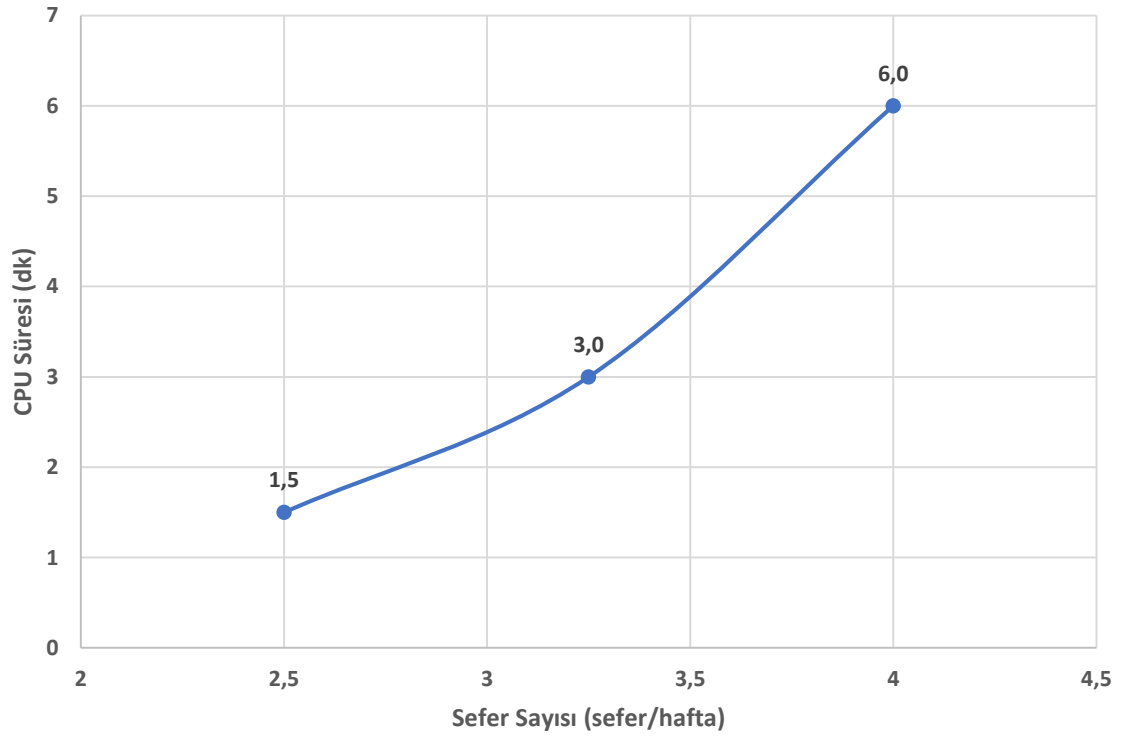
Araç sayısı değişiminin CPU zamanına etkisi Şekil 4.46’de gösterilmiştir. Araç sayısının artışı araçlardan toplanması gereken teklif sayısını artırdığından daha fazla aracın taranmasını gerektirmektedir. Bu durum CPU zamanında artışa neden olmuştur. Ancak bu artışın üstel olmadığı görülmüştür.

Sefer Sayısı ve CPU Süresi İlişkisi

Sefer sayısı değişiminin CPU zamanına etkisi Şekil 4.47’de gösterilmiştir. Atanması gereken sefer sayısı artışına bağlı olarak yapılacak olan ihale sayısı da artmakta olup takas edilmesi gereken sefer sayısı da artmaktadır. Bundan dolayı her sipariş için yapılacak işlem sayısı artmaktadır. Bu durum CPU zamanında artışa neden olmakla beraber, artışın yaklaşık polinomiyal olduğu görülmektedir.



Şekil 4.46. Araç Sayısının CPU Süresine Etkisi



Şekil 4.47. Sefer Sayısının CPU Süresine Etkisi



5. SONUÇLAR

5.1. Çalışmanın Özeti

Bu tez çalışmasında, çoklu araçlar ve çoklu yüklerden meydana gelen dinamik tam kamyon yüklü araç atama ve rotalama problemi ele alınmıştır. Çalışmanın ana amacı; sistemde oluşabilecek dinamik olaylara göre araç atama ve rotalama kararlarının sistem karını maksimize edecek şekilde dinamik olarak güncellenmesiyle en uygun araç rotalarının belirlenmesidir. Gerçek hayatta bir firmadaki problemten esinlenilerek tanımlanan bu problemin karakteristiğine göre, probleme getirilen ek kısıtlamalarla birlikte özgün bir problem formülasyonu elde edilmiştir. Dinamik olarak ele alınan bu problem formülasyonuna literatürde rastlanmamıştır. Gerçek hayatta yer alan bu problemin dinamik olarak ilk defa ele alınması bakımından çalışma büyük bir önem arz etmekte olup, literature katkı yapılacağı düşünülmektedir.

Problemin çözümünde ajan tabanlı yaklaşım kullanılmıştır. Ajan tabanlı sistemlerin otonom, esnek ve hızlı çözüm sağlaması bakımından problemin çözümüne uygun olacağı düşünülmüştür. Ajan tabanlı sistem içinde probleme özgü teklif verme, teklif değerlendirme, maliyet hesaplama, takas mekanizması algoritmaları geliştirilmiştir. Çalışmanın uygulaması yapılırken gerçek hayattan esinlenen firmadaki veriler kullanılmıştır. Bu sektördeki firmalarada görülen probleme özgü bir arayüz de tasarlanmıştır.

Ele alınan dinamik tam kamyon yüklü araç atama ve rotalama problemi için kullanılan ajan tabanlı sistem içinde geliştirilen algoritmaların cevap verme süreleri, sıklık oranları, çok sevkiyatlı yük oranlarının farklı olduğu ortamda ilk defa analizi yapılmıştır. Belirtilen bu parametrelerdeki değişimin sistemin performans ölçütlerine olan etkisine bakılmıştır. Aynı zamanda problem için geliştirilen takas mekanizmasının olup olmaması durumuna göre sistemdeki performans ölçütlerine olan etkisine bakılmıştır. Böyle bir sistemin bahsedilen bu senaryolar altında nasıl bir performans gösterdiğine dair kapsamlı bir sayısal analiz yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar analiz edilerek gerekli saptamalar yapılmıştır.

5.2. Sonuçlar

Çalışmada dinamik tam kamyon yüklü araç atama ve rotalama problemi ele alınmıştır. Bu problemin çözümünde ajan tabanlı yaklaşım kullanılmıştır. Bu çalışma kapsamında elde edilen sonuçlar kullanılan yöntemle dair elde edilen sonuçlar ve yapılan senaryo analizlerinden elde edilen sonuçlar olmak üzere aşağıda 2 grupta verilmiştir.

a. Yöntemsel Sonuçlar

- i. Dinamik optimizasyon problemlerinin genelde analitik çözüm olmadığı için sezgisel yaklaşımların bu tür problemlere adapte edilmesi alternatiflerden birisidir. Bununla birlikte, çoklu ajan tabanlı yaklaşımların bu çalışmada ele alınan karmaşık lojistik probleminin daha

yüksek detay düzeyinde ve daha gerçekçi bir model ile çözümünde başarılı olduğu görülmüştür.

- ii. Geliştirilen araç atama ve rotalama algoritmalarının farklı büyüklükteki problemlerin çözümünde bilgisayarda harcadığı CPU sürelerinin makul düzeyde kaldığı ve hesaplama süresinin araç sayısı ve sefer yoğunluğudaki artış ile yaklaşık polinomial bir hızda artış gösterdiği tespit edilmiştir.

b. Senaryo Analizi Sonuçları

- i. Cevap verme süresinin uzun tutulmasının daha fazla alternatifin bir arada değerlendirilmesine imkan vererek maliyetleri düşürerek karlılığı arttırdığı saptanmıştır. Buna ilave olarak takas mekanizmasının da devreye sokulması birim maliyet ve karlılıkta daha fazla olumlu etkiye neden olmuştur. Örneğin bu sürenin 30 dk'dan 240 dk'ya uzatılmasının birim karlılıkta %35'e kadar artışa, birim maliyette ise %20'e kadar düşüşe neden olduğu saptanmıştır.
- ii. Cevap verme süresiyle beraber artan alternatif sipariş sayısının takas mekanizması vasıtasıyla yapılacak yeni müzakerelerle kabul edilen sipariş sayısını arttırmaktadır. Cevap verme süresinin artmasının takasın açık veya kapalı olması durumlarında talep kabul yüzdesini ve araçların dolu gittikleri km oranını maksimum %8 civarında artırdığı görülmektedir.
- iii. Çok seferli talep oranı arttığında talebin kısmi karşılanma durumu sistemde kabul edilmediği için sipariş kabul oranında düşüş ve bundan kaynaklı olarak da araçların dolu gittikleri km oranlarında düşüş görülmüştür. Bununla beraber takas mekanizmasının da aktif edilmesi takas edilecek alternatif bulmayı daha da zorlaştırmıştır. Bu düşüş oranı takas mekanizmasının da aktif edilmesiyle hem sipariş kabul oranında hem de araçların dolu gittikleri km oranlarında maksimum % 9 olmuştur. Bu durumlar karlılıkta maksimum %29 düşüşe, maliyette ise %36 artışa sebep olmuştur.
- iv. Cevap verme süresi arttıkça az seferli talep oranlarında sipariş kabullerini arttıracak alternatif sipariş bulmak daha kolay olur. Bundan dolayı da çok seferli talep oranının düşük olduğu durumda cevap verme süresinin de artması ile karlılıkta %45 artış, maliyette ise %27 düşüş görülmüştür.
- v. Çok seferli talep oranı arttıkça, her bir sefer için araç bulma ihtiyacı daha zor olduğundan daha çok talep reddedildiği için, talep kabul oranı düşmüştür. Cevap verme süresinin artmasıyla bu düşüş en fazla %13 olmuştur. Bu durum araçların dolu gittikleri km oranında da %12'lik bir düşüşe sebep olmuştur.
- vi. Daha uzun cevap verme sürelerinde sıklık oranının da artmasıyla birlikte daha çok alternatif sipariş oluşmuş olup, sipariş kabullerinde artış sağlamıştır. Bu da karlılıkta maksimum %36 artışa, maliyette ise %35 düşüşe sebep olmuştur.

- vii. Sıkışıklığın fazla olduğu sistemlerde daha fazla alternatif sipariş oluşmasından kaynaklı uzun cevap verme sürelerinde sipariş kabulünde daha fazla artışın olduğu görülmüştür. En uzun cevap verme süresinde sıkışıklık oranının 0,31'den 1,22'ye getirilmesi sipariş kabul oranında ve araçların dolu gittiği km oranında %12 artış sağlamıştır.
- viii. Sıkışıklık oranının fazla olması ile birlikte takas mekanizmasının da aktif edilmesi, daha fazla alternatif siparişin birarada değerlendirilmesi yoluyla daha çok sipariş kabulünü sağlamıştır. Bu da karlılıkta maksimum %30 artışa, maliyette ise %21 düşüğe sebep olmuştur.
- ix. Çok seferli talep oranının az olduğu durumda sıkışıklık oranının da artmasıyla daha çok alternatif olduğundan daha fazla sipariş kabul olmuştur. Talep kabul oranında bu artış en fazla %10 iken, araçların dolu gittikleri km oranında %11 olmuştur. Bu durum birim karlılıkta en fazla %39 artışa, birim maliyette ise %35 düşüğe neden olmuştur.
- x. Her çok seferli sevkiyat oranında sıkışıklık oranı olan 1 değerinden sonra araç doluluk oranları, talep kabul oranı ve buna bağlı olarak birim karlılık daha az artmıştır. Bunun sebebi ise, işletmenin kapasitesinin üzerinde iş gelse bile bu işleri reddetmek zorunda kaldığı için araçların dolu gittikleri mesafeler azalmıştır.
- xi. Firmalara müşterilere daha uzun cevap verme süreleri tanıdıkları bir ortamda çalışmalarını önerilebilir. Bunun sebebi, cevap verme süresinin uzun alınmasının karı arttırmada ve maliyeti düşürmede etkili olmasıdır.
- xii. Az seferli taleplere öncelik tanınması karlılığı arttırmada ve maliyeti düşürmede daha fazla önem arz etmektedir. Çünkü firmalar daha kolay araç bulabildiği daha fazla sipariş kabul ederek araçların dolu gittiği kilometreyi arttırmış olurlar. Böylelikle daha fazla kar elde edebilmektedirler.
- xiii. Sistemde kısmi talep karşılamaya izin verilmediğinden çok seferli talep oranının yüksek olduğu durumlar araç atamalarında zorluk çıkarmaktadır.
- xiv. Çok seferli talep oranının yüksek olduğu durumlarda kısmi talep karşılama olamadığından daha fazla talep redleri oluşur. Bu da talep kabul oranlarında ve araçların dolu gittiği km oranlarında azalmaya sebep olur. Firmalara kısmi olarak talebi karşılama yoluna gitmeleri daha fazla karlılık sağlaması açısından önerilebilir.

5.3. Sonraki Çalışmalar için Öneriler

Bu çalışmada ele alınan problem formülasyonu ve çözüm yaklaşımının devamı olarak aşağıdaki hususlar sonraki çalışmalar kapsamında ele alınabilir:

- i. Gerçek hayatta talepler sözleşmeli ve sözleşmesiz olabilirler. Sözleşmeli taleplerin mutlaka karşılanması gerekirken, sözleşmesiz talepler şartlar uygun olduğunda karşılanabilir.

Problemde sisteme gelen talepler sözleşmeli ve sözleşmesiz talepler olarak ayrılarak ele alınabilir.

- ii. Problemde ele alınan araçlar öz mal ve kiralık olarak sınıflandırılabilir. Bu sınıflandırmaya göre gelen taleplerin öz mal mı yoksa kiralık araçla mı taşınması kararı probleme eklenebilir.
- iii. Taleplerin değerlendirilmesinde önceliklendirme yapılabilir.
- iv. Problemin çözümünde kullanılan ajan tabanlı yöntem dışında genetik algortima, parçacık sürü algoritması, karınca kolonisi algoritması gibi diğer çözüm yöntemlerinin performansları incelenebilir.
- v. Mevcut durumda taşıma talepleri sisteme ulaştıkça optimizasyon algoritması yeniden çalıştırılmaktadır. Taleplerin biriktirerek toplu değerlendirilmesi halinde sistem performansı üzerindeki beklenen olumlu etkisi araştırılabilir.
- vi. Trafik kazası, trafik sıkışıklığı, yol koşullarındaki dinamik olaylar, şoför rahatsızlanması, araç bozulması gibi diğer dinamik olaylar da dikkate alınabilir.
- vii. Şoförlerin yasal sürüş süresi kısıtları da problem formülasyonuna eklenebilir.
- viii. Daha farklı sektörlerde daha farklı örnek uygulamalar ile geliştirilen yaklaşımın uygulanabilirliği değerlendirilebilir.

KAYNAKÇA

- Annouch,A., Bouyahyaoui, ve K., Bellabdaoui A.,2016. A literature review on the full trackload vehicle routing problems. 3rd International Conference on Logistics Operations Management, Fez, Morocco.
- Arunapuram, S., Mathur, K., ve Solow, D., 2003. Vehicle routing and scheduling with full truckloads. *Transp. Sci.* 37(2), 170–182.
- Bai, R., Xue, N., Chen, J., ve Roberts, G.W. ,2015. A set-covering model for a bidirectional multi-shift full truckload vehicle routing problem. *Transportation Research Part B*, 79, 134-148.
- Ball, M.O., Golden, B., Assad, A., ve Bodin, L., 1983.Planning for truck fleet size in the presence of a commoncarrier option. *Decis. Sci.* 14(1), 103–120
- Baykasoglu, A., ve Kaplanoglu, V., 2011. A multi-agent approach to load consolidation in transportation. *Advances in Engineering Software*, 42 (7), 477–490.
- Baykasoglu, A., ve Kaplanoglu, V., 2015. An application oriented multi-agent based approach to dynamic load/truck planning. *Expert Systems with Applications*, 42 (15-16), 6008-6025.
- Bouyahyious, K.E., Bellabdaoui, A., 2017. An ant colony optimization algorithm for solving the full truckload vehicle routing problem with profit. 2017 International Colloquium on Logistics and Supply Chain Management ,Rabat, Morocco.
- Bouyahyious, K.E., Bellabdaoui, A., 2021. A mixed-integer linear programming model for the selective full-truckload multi-depot vehicle routing problem with time windows. *Decision Science Letters*, 10 (4): 471-486.
- Bouyahyious, K.E., Bellabdaoui, A., 2022. The Selective Full Truckload Multi-depot Vehicle Routing Problem with Time Windows Formulation and a Genetic Algorithm. *International Journal of Supply and Operations Management*, 9 (3): 299-320.
- Bouyahyious, K.E.,Bellabdaoui, A., 2016. A new crossover to solve the full truckload vehicle routing problem using genetic algorithm. 3rd International Conference on Logistics Operations Management (GOL), Fez, Morocco.
- Bouyahyious, K.E.,Bellabdaoui, A.,2022. An am-TSPTW transformation and a RTS algorithm for commodity selection and vehicle routing planning in full truckload industry. 14th International conference of Logistics and Supply Chain Management LOGISTIQUA , ELJADIDA – Morocco.
- Braekers, K., Caris, A., ve Janssens, G.K., 2011. A Deterministic Annealing Algorithm for a Bi-Objective Full Truckload Vehicle Routing Problem in Drayage Operations. *Procedia Social and Behavioral Sciences*, 20 (): 344–353.
- Braekers,K., Caris,A., Janssens,G.K., 2014. Bi-objective optimization of drayage operations in the service area of intermodal terminals. *Transportation Research Part E*,65(1), 50–69

- Caris, A., ve Janssens, G., 2009. A local search heuristic for the pre- and end-haulage of intermodal container terminals. *Computers & Operations Research*, 36 (10), 2763–2772 .
- Caris, A., ve Janssens, G.K., 2010. A deterministic annealing algorithm for the pre- and end-haulage of intermodal container terminals. *International Journal of Computer Aided Engineering and Technology*, 2, 340-355.
- Cil, İ., Mala, M., 2010. A multi-agent architecture for modelling and simulation of small military unit combat in asymmetric warfare. *Expert Systems with Applications*, 37 (2) :1331–1343.
- Derigs, U., Pullmann, M., Vogel, U., Oberscheider, M., Gronalt, M., ve Hirsch, P., 2012. Multilevel neighborhood search for solving full truckload routing problems arising in timber transportation. *Electronic Notes in Discrete Mathematics* 39 (:): 281–288.
- Desrosiers, J., Laporte, G., Sauve, M., Soumis, F., ve Taillefer, S.: Vehicle routing with full loads. *Comput. Oper. Res.* 15(3), 219–226 (1988)
- Drexl, M., Rieck, J., Sigl, T., Press, B., 2013. Simultaneous Vehicle and Crew Routing and Scheduling for Partial- and Full-Load Long-Distance Road Transport. *Business Research Official Open Access Journal of VHB*, 6(2), 242-264.
- Erol, R., Sahin, C., Baykasoğlu, A., Kaplanoğlu, V., 2012. A multi-agent based approach to dynamic scheduling of machines and automated guided vehicles in manufacturing systems. *Applied soft computing*, 12(6): 1720-1732.
- Eser, A., 2021. Dinamik Araç Rotalama Problemi İçin Kesin Ve Sezgisel Çözüm Yaklaşımları Geliştirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Ankara, 79.
- Gendreau, M., Nossack, J., ve Pesch, E., 2015. A hybrid pricing and cutting approach for the multi-shift full truckload vehicle routing problem, *European Journal of Operational Research*, 242 :1008-1016.
- Grimault, A., Bostel, N., ve Lehuédé, F., 2017. An adaptive large neighborhood search for the full truckload pickup and delivery problem with resource synchronization. *Computers and Operations Research*, 88: 1-14.
- Grimault, A., Lehuédé, F., ve Bostel, N., 2014. A two-phase heuristic for full truckload routing and scheduling with split delivery and resource synchronization in public works. *International Conference on Logistics Operations Management*, Rabat, Morocco
- Gronalt, M., Hartl, R.F., ve Reimann, M., 2003. New savings based algorithms for time constrained pickup and delivery of full truckloads. *European Journal of Operational Research*, 151,:520-535.
- Ibri, S., Nourelfath, M., ve Drias, H., 2012. A multi-agent approach for integrated emergency vehicle dispatching and covering problem. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 25(3): 554-565.
- Imai, A., Nishimura, E., ve Current, J., 2007. A Lagrangian relaxation-based heuristic for the vehicle routing with full container load. *Eur. J. Oper. Res.* 176(1): 87–105.

- Jung, D.F., Lake, D.A., 2011. Markets, Hierarchies, and Networks: An Agent-Based Organizational Ecology. *American Journal of Political Science*, 55(4): 972-990.
- Karami, F., Vancroonenburg, W., ve Vanden Berghe, G., 2020. A periodic optimization approach to dynamic pickup and delivery problems with time windows. *J Sched* 23: 711–731.
- Karataş, İ.A., 2017. Bazı Avrupa Ülkeleri ile Türkiye'nin Lojistik Sektörünün Karşılaştırmalı Analizi. *Journal Of Academic Approaches*, 8(1):1-22.
- Li, J., Lu, W., 2014. Full truckload vehicle routing problem with profits. *Journal of Traffic and Transportation Engineering*, 1 (2) :146-152.
- Liu, R., Fung, R.Y.K., Chen, F., ve Liu, X., 2010. Two-phase heuristical algorithms for full truckloads multi-depot capacitated vehicle routing problem in carrier collaboration. *Computers & Operations Research*, 37(5): 950-959.
- Macal, C.M., ve North, M.J., 2010. Tutorial on agent-based modelling and simulation. *Journal of Simulation*, 4(3):151-162.
- Maneengam, A., ve Udomsakdigool, L., 2018. Solving the Bidirectional Multi-Period Full Truckload Vehicle Routing Problem with Time Windows and Split Delivery for Bulk Transportation Using a Covering Model. 2018 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM), Bangkok, Thailand.
- Melchiori, L., Nasini, G., Montagna, J.M., Corsano, G., 2023. Resources synchronization in a full truckload pickup and delivery problem: An exact approach. *Computers & Operations Research*, 151 (106118).
- Nossack, J., ve Pesch, E., 2013. A truck scheduling problem arising in intermodal container transportation. *European Journal of Operational Research*, 230 (3): 666–680.
- Sezer, S., 2016. Lojistik Sektörünün Ekonomiye Etkisi: OECD Ülkeleri Üzerine Bir Uygulama. Doktora Tezi, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir, 148 S.
- Sterzik, S., ve Kopfer, H., 2013. A tabu search heuristic for the inland container transportation problem. *Computers & Operations Research*, 40 (4) : 953–962.
- Utikad 2020, Lojistik Sektörü Raporu 2020. <https://www.utikad.org.tr/images/HizmetRapor/utikadlojistiksektoruraporu2020-53923.pdf> Erişim Tarihi : 19.06.2023
- Utikad 2022, Lojistik Sektörü Raporu 2022. <https://www.utikad.org.tr/images/HizmetRapor/utikadlojistiksektoruraporu2022-857.pdf> Erişim Tarihi : 19.06.2023.
- Wang, A., Ferro, N., Majewski, ve R., Gounaris, C.E., 2021. Mixed-integer linear optimization for full truckload pickup and delivery. *Optimization Letters*, 15(6):1–17.
- Xue, N., Bai, R., Qub, R., ve Aickelinc, U., 2021. A hybrid pricing and cutting approach for the multi-shift full truckload vehicle routing problem. *European Journal of Operational Research*, 292: 500-514.

- Zhang, R., Yun, W. Y., ve Kopfer, H., 2010. Heuristic-based truck scheduling for inland container transportation. *OR spectrum*, 32 (3) :787–808.
- Zhang, R., Yun, W.Y., ve Moon, I., 2009. A reactive tabu search algorithm for the multi-depot container truck transportation problem. *Transportation Research Part E*, 45 (6): 904–914.



ÖZGEÇMİŞ

Selin ÇABUK, ilk, orta ve lise öğrenimini Adana’da tamamladı. 2009 yılında başladığı Çukurova Üniversitesi Endüstri Mühendisliği bölümünden 2013 yılında mezun oldu. 2016 yılında Çukurova Üniversitesi Endüstri Mühendisliği ana bilim dalında yüksek lisanstan mezun oldu. 2023 yılında Çukurova Üniversitesi Endüstri Mühendisliği ana bilim dalında doktoradan mezun oldu.

