



MERKEZİ BİR DEPO İÇİN GÜNLÜK SEVKİYAT PLANLAMASI*

Dilek OCAK¹ , Haluk YAPICIOĞLU^{1,*} 

¹Endüstri Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Eskişehir Teknik Üniversitesi, Eskişehir, Türkiye

ABSTRACT

Bu çalışmada seramik ve armatür grubunda faaliyet gösteren bir işletmenin Tuzla İstanbul'da bulunan deposundan İstanbul ve çevre illerdeki müşterilerine yapacağı teslimatlar için günlük sevkiyat planlarının oluşturulması problemi ele alınmıştır. Ele alınan problem işletmenin operasyonel kısıtları altında heterojen filolu araç rotalama problemi olarak tanımlanmıştır. Tanımlanan problem öncelikle karma tam sayılı matematiksel model kullanılarak toplam kat edilen mesafenin enküçülenmesi olarak ele alınmış, ancak çözüm süresinin uzunluğu geliştirilen modelin kullanımını ciddi ölçüde sınırlamıştır. Bu sebeple çözüm yöntemi olarak çok büyük komşuluk arama sezgiseline dayanan başka bir çözüm yöntemi kullanılarak tatmin edici çözümlere çok daha kısa sürede ulaşılabildiği gösterilmiştir. Bunlara ek olarak, işletmenin elindeki araç parkının günlük sipariş sayısı ile ilişkisi araştırılmış, hangi durumlarda hangi büyüklükte kaç adet araca ihtiyaç duyulacağı detaylı bir şekilde incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar bağlamında, işletmenin sahip olduğu mevcut araç parkının günlük sevkiyat ihtiyaçlarını karşılamakta yeterli olduğu, dikkatli bir planlama ile günlük sevkiyat gereksinimlerinin tamamının karşılanabildiği tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Heterojen filolu araç rotalama problemi, Çok büyük komşuluk arama sezgiseli, Karma tamsayılı matematiksel model, Günlük sevkiyat planlama

1. GİRİŞ

Günümüzde firmaların giderek daha da artan bir rekabet içeren piyasalarda tutunabilmek, pazar paylarını arttırmak ya da rakip firmalar karşısında rekabetçi güçlerini koruyabilmek için tedarik zinciri yönetimine her zaman olduğundan daha fazla önem vermeleri gerekmektedir. Tedarik zinciri, tedarikçilerden fabrikalara hammadde ve ihtiyaç olan girdilerin taşınmasından, fabrikalardaki girdilerin ürünlere çevrilmesine, ürünlerin çeşitli depolar ve ambarlara taşınmasından ürünlerin son müşteriye teslimatına kadar olan tüm süreçleri kapsar. Bu süreçler lojistik sistemini oluşturan süreçlerdir [1]. Lojistik en genel tanımıyla müşteri gereksinimlerini karşılamak amacıyla bir merkezden tüketim noktalarına insan, hammadde, yarı mamul, bitmiş ürünler ve ilgili bilginin etkin ve maliyet etkili bir biçimde akışı ve depolanmasının planlanma, uygulanma ve kontrol edilmesi süreci olarak tanımlanır [2].

Bu çalışmada seramik sektöründe faaliyet gösteren bir işletmenin bitmiş ürünlerinin teslimatını gerçekleştirdiği İstanbul'daki bir depodan müşterilere yapılan sevkiyatlar için oluşturulması gereken rotaların planlanması problemi ele alınmıştır. Ortalama bir işgününde gelen siparişler ertesi gün yapılacak sevkiyatları oluşturmaktadır. Planlama kolaylığı açısından siparişi alınan tüm ürünlerin depoda mevcut olduğu kabul edilmiştir. Siparişin mevcut stoklardan karşılanmadığı durumlarda ise öncelikle ürün siparişi üretim tesislerine iletilmekte, ürün depoya teslim edildikten sonra müşteriye sevkiyatı yapılmaktadır. Teslimat faaliyetlerinde sıklıkla karşılaşılan bir sorun teslimatı yapılacak olan ürünlerin hangi sırayla teslimatta kullanılan araçlardan hangisine yükleneceğinin belirlenmesidir. Mevcut durumda bu planlama için herhangi bir sistematik yaklaşım bulunmamaktadır. Siparişler araçlara depo çalışanlarının deneyim ve sezgiselerine dayanarak verdikleri kararlarla yüklenmekte, bu durum da en önemlisi sevkiyatta yaşanan gecikmeler ve siparişlerin teslimatının bir sonraki güne

*Sorumlu Yazar: hyapicio@eskisehir.edu.tr
Geliş: 03.12.2019 Yayın: 31.08.2020

¹Bu makale Dilek OCAK'ın 2017 – 2018 Eğitim Öğretim yılında ENM 427 Endüstri Mühendisliğinde Özel Konular (Güz dönemi) ve ENM428 Endüstri Mühendisliği Uygulamaları (Bahar dönemi) dersleri kapsamında yaptığı çalışmalardan derlenmiştir.

kalması olmak üzere pek çok soruna yol açmaktadır. İşletme ile yapılan görüşmeler neticesinde öncelikli olarak belirlenmesi istenen konu, mevcut araç parkının günlük ortalama sevkiyat ihtiyacını karşılamaya yeterli olup olmadığının belirlenmesi olarak tespit edilmiştir. Bu amaca yönelik olarak öncelikle mevcut durumun analizi yapılmış, ardından günlük sevkiyat yapılması gereken müşteri sayısının artması durumunda sevkiyat filosunun nasıl değiştirilmesi gerektiği incelenmiştir. Bahsi geçen analizlerin yapılabilmesi için öncelikle karma tamsayı bir heterojen filolu araç rotalama modeli oluşturulmuş, ardından farklı büyüklüklerde örnek problemler için oluşturulan modelin optimal çözümü araştırılmıştır. Gerek matematiksel modelin çözüm zamanının uzunluğu, gerekse kullanım kolaylığı gibi sorunlar ele alınan problemin daha kısa sürede çözülebilmesine olanak sağlayan alternatif çözüm seçenekleri arayışını beraberinde getirmiştir. Yapılan araştırmalar sonucunda Microsoft Excel ortamında araç rotalama problemleri için özel olarak geliştirilmiş, çok büyük komşuluk arama sezgiseline dayanan bir çözüm alternatifi bulunarak eldeki probleme uygulanmıştır. Büyük komşuluk arama (Large Neighborhood Search – LNS) kombinatorik optimizasyon problemleri için ilk olarak Shaw [11] tarafından önerilen bir metasezgisel türüdür. LNS'de, eldeki çözüm adayını sistematik bir şekilde dönüşümlü olarak bozulmak ve onarılmak suretiyle kademeli olarak iyileştirilir. LNS sezgisel arama, çok büyük ölçekli komşuluk arama (Very Large Neighborhood Search – VLNS) algoritmaları [12] olarak bilinen sezgisel sınıfa aittir. Tüm VLNS algoritmaları, büyük bir komşuluğu aramanın yüksek kalitede yerel optimal çözüm bulmakla sonuçlandığı ve bu nedenle genel olarak bir VLNS algoritmasının daha iyi çözümler getirebileceği gözlemine dayanmaktadır. Bununla birlikte, geniş bir komşuluğu aramak zaman alıcıdır, bu nedenle aramayı sınırlandırmak için çeşitli filtreleme teknikleri kullanılır. VLNS algoritmalarında, komşuluk tipik olarak verimli bir şekilde aranabilen çözümlerin bir alt kümesi ile sınırlandırılmıştır. LNS'de de benzer şekilde komşuluk, eldeki çözüm adayını bozmak ve onarmak için kullanılan yöntemlerle tanımlanır. Sezgisel kullanılarak elde edilen sonuçlar matematiksel modelin optimal çözümünden elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Depodan yapılacak sevkiyatlarda kullanılmak üzere 34 palet kapasiteli bir kamyon ve 7 palet kapasiteli bir kamyonet mevcuttur. Herhangi bir çalışma gününde toplanan siparişler ertesi günün sabahından itibaren yapılacak sevkiyatlara teslim edilmektedir. Siparişi alınan tüm ürünlerin depoda mevcut olduğu kabul edilmiştir.

2. LİTERATÜR TARAMASI

Teknolojinin her geçen gün gelişmesiyle firmaların ürettiği ürün ve hizmetlerin çeşitliliği ve kalitesi hızlı bir ivmeyle artmıştır. Birçok firma piyasada var olabilmek için gerekli kalite standartlarını rahatlıkla yerine getirebilmektedir. Bu yüzden müşteriler istedikleri ürün ve hizmetlere mümkün olan en hızlı şekilde ve eksiksiz olarak ulaşmak isterler. Bu durumda firmaları rekabette öne çıkartan özelliklerden birisi de müşteri gereksinimlerini ve memnuniyetlerini hızlı bir şekilde karşılarken olabildiğince düşük maliyetli tedarik ve ulaştırma yöntemlerini uygulamak olmaktadır. Özellikle son müşteriye ulaşmada sıklıkla kullanılan karayolu taşımacılığında etkinlik ve verimliliğin önemi, giderek artan akaryakıt fiyatları dikkate alındığında oldukça önemli hale gelmiştir. Müşteri, mesafe, zaman, kapasite gibi kısıtlar da göz önüne alınarak oluşturulacak etkin rota planları, organizasyonların işlemesi ve müşteri memnuniyeti açısından son derece önemlidir. Değişen koşullara (talepteki değişiklikler, trafik koşulları, kapasite sınırları gibi) ayak uydurabilen ve hızlı bir şekilde optimize edilebilen rota planlarının oluşturulması işletme açısından önem teşkil etmektedir. Bu ölçütler lojistik ve yöneylem araştırmasının bir uygulaması olan 'Araç Rotalama' kavramını karşımıza çıkarır. Araç rotalama problemi (ARP) ilk olarak Dantzig ve Ramser tarafından 1959 yılında ortaya atılmıştır [3]. Hizmet ve üretim sektörlerinde ARP'nin birçok uygulamasını görmek mümkündür. Atık toplama, ulaşım ve lojistik uygulamaları, ring taşımacılığı, okul ve fabrika servis araçlarının güzergahlarının belirlenmesi, su dağıtımı, fabrika içi mamul/yarı mamul taşıma sistemi en çok bilinen araç rotalama problemleri arasında yer alır.

Bir ARP'nin çözümü tüm müşterilerin önceden bilinen taleplerini yerine getirecek, tüm operasyonel kısıtları sağlayacak ve toplam taşıma maliyetini minimize edecek şekilde, her biri işlemine depodan başlayıp depoda bitirecek araçlardan oluşan bir araç filosu tarafından gerçekleştirilecek rota kümelerinin

belirlenmesini gerektirir. Ancak varsayımlar ve kısıtlara göre ARP çeşitli türlere ayrılmaktadır. Türü fark etmeksizin ARP’de genel amaç, etkili ve verimli bir şekilde müşterilerin ihtiyaçlarını mümkün olan en kısa zamandan, en kısa yoldan ve en az maliyetle karşılayan rota ya da (birden fazla araç kullanılması halinde) rotaları belirlemektir.

Temel araç rotalama problemi, talebi belirli olan müşterileri kapsar. Bu tür problemlerde bir ya da birden fazla depodan ayrılan araçlar müşteri taleplerini karşılayarak tekrar depoya dönmektedir. Her aracın kapasite kısıtı vardır. Bu temel probleme ayrıca, her aracın alacağı yol da mesafe kısıtı olarak eklenebilir. Her bir müşterinin talebini yalnızca bir araç karşılamaktadır, dolayısıyla her müşteriye yalnızca bir araç gönderilir, müşterinin tüm talebi müşteriye ziyaret eden araç tarafından karşılanmak zorundadır. Problem, bu kısıtlar altında minimum toplam maliyeti veren rotaları bulmaktır [4].

ARP’de en iyi değeri aranan amaç fonksiyonu birbirinden farklı pek çok şekilde ifade edilebilir. Amaç fonksiyonu tanımı karar vericinin önceliklerini göstermesi açısından da ayrıca önemlidir. Bu bağlamda bir ARP probleminin amaç fonksiyonu (i) Toplam rota maliyetini en küçükmek, (ii) Araçların maliyetlerini (sabit maliyet ve/veya değişken maliyetler) en küçükmek, (iii) Talebi karşılanamayan müşteriler varsa bu müşterilerden gelecek olan toplam ceza maliyetlerini en küçükmek, (iv) Toplam rota zamanını en küçükmek, (v) Dağıtım planında kullanılan araç sayısını en küçükmek, (vi) Birden fazla araç kullanılması halinde en uzun rotanın kat edilme süresini en küçükmek olarak tanımlanabilir [5]. Görüldüğü üzere amaç fonksiyonu tanımlamaları oldukça geniş bir yelpazede yapılabilmektedir. Örneğin, (i) ile verilen amaç fonksiyonu yalnızca araçlar tarafından kat edilen toplam mesafenin en küçüklenmesine odaklanmışken, (v) ile verilen amaç fonksiyonu dağıtım sürecinin üçüncü parti şirketler tarafından gerçekleştirildiği durumlar için daha uygun bir yaklaşımı içermektedir. Dağıtım problemini kendi şartları altında en iyilemeye çalışan karar verici yukarıda verilen örnek amaç fonksiyonlarından kendi şartlarına en uygun olanı kullanmak gibi bir esnekliğe de sahiptir.

Kapasiteli araç rotalama probleminin en basit halinde her aracın kapasitesi eşittir ve araçlar bir depodan harekete başlarlar ve en son yine bu depoya geri dönerler. Müşterilerin talepleri tek seferde teslim edilir, parçalama (split delivery) söz konusu değildir. Literatürde üzerinde çok fazla çalışma olan bu problem türünde, her müşterinin belirli talep miktarı vardır ve her müşteri yalnızca bir araç tarafından ve sadece bir kez ziyaret edilebilir. Depo ve müşterilerin birbirlerine olan uzaklıkları simetrikdir ve araçların seyahat süresi bu mesafeyle doğru orantılı alınabilmektedir. Bu problemde de sıklıkla amaç, araçların kat ettiği toplam mesafeyi en küçükmektir [6]. Yukarıda bahsedilen modeller dışında da araç rotalama problemi ile ilgili olarak geliştirilmiş pek çok farklı model bulunmaktadır. Bu problem ailesi için geliştirilmiş olan farklı modeller ve çözüm yaklaşımları hakkında daha ayrıntılı bilgi için Toth ve Vigo’nun [9] kitabından faydalanılabilir.

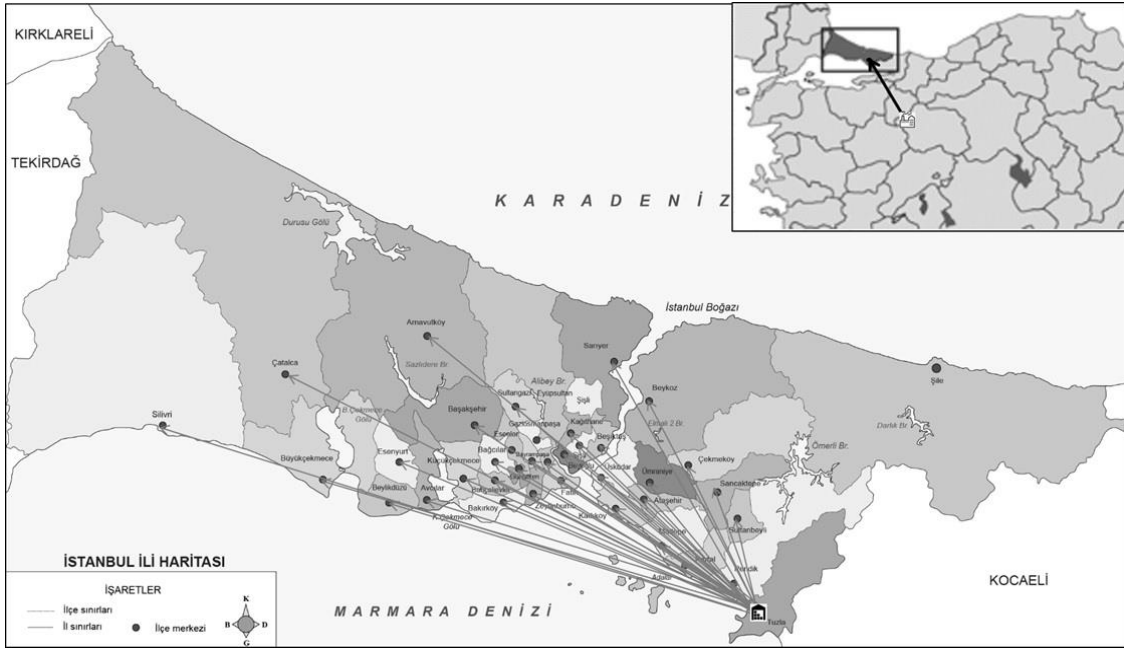
Şehir içi heterojen filolu araç rotalama problemi özellikle günümüzde taşımacılık faaliyetlerinin çevre üzerine olan etkilerini de göz önüne alarak güncelliğini korumaktadır. Örneğin Yu ve ark (2019) [13] heterojen araç filolarının karbon emisyonlarını azaltmak için etkin bir şekilde kullanılabileceğinden bahisle zaman pencereli heterojen yeşil araç rotalama problemi için bir model ve dal-fiyat tekniğine dayalı bir çözüm yöntemi önererek önerdikleri model ve yöntemleri test problemleri üzerinde denemişlerdir. Bir başka çalışmada Li ve ark. (2019) [14] çok amaçlı, birden fazla depolu yeşil araç rotalama problemi için geliştirilmiş bir karınca kolonisi algoritmasını çözüm aracı olarak kullanmıştır. Bu çalışmada ele alınan amaç fonksiyonları gelirlerin en büyüklenmesi ve maliyetlerin, rota zamanlarının ve karbon emisyonlarının en küçüklenmesi olarak tanımlanmıştır. Xu ve ark. (2019) [15] ise zamana bağımlı olarak değişen yakıt tüketimini gözetken, çok amaçlı bir karma tamsayı araç rotalama modeli önermişlerdir. Önerilen model, trafik sıkışıklığını hesaba katmak için araç yükü ve kapasitesinin yanı sıra zamanla değişen hızı dikkate almaktadır. Önerilen model NSGA-II algoritması kullanılarak örnek problemler üzerinde sınanmış ve yakıt tüketiminin müşteri memnuniyetinde önemli bir kayıp olmadan keskin bir şekilde azaltılabileceğini gösterilmiştir. Bu çalışmalardan da

anlaşılabileceği gibi, araç rotalama problemleri günümüzün getirdiği yeni gereklilikleri de kapsayacak şekilde sürekli genişlemekte ve popüler bir araştırma konusu olmaya devam etmektedir.

3. PROBLEM TANIMI

Bu çalışmada seramik sektöründe faaliyet gösteren bir işletmenin İstanbul ve çevresindeki müşterilerine sevkiyat yapan, Tuzla'da yer alan deposunun ürün teslimatı problemi ele alınmıştır. Üretim tesislerinden bitmiş ürünler Tuzla'daki depoya sevk edilmekte, ürünler bu depoda müşteri talepleri doğrultusunda paletler şeklinde gruplanarak müşterilere dağıtılmaktadır. Bu yaklaşımdaki temel sorun, müşteri gruplamalarının ve araç rotalarının depo görevlileri tarafından sezgisel bir yaklaşımla yapılmasıdır. Bu durum araç yüklemelerinin olabilecek en iyi rotalar kullanılarak yapılmasına engel olmakta, müşteri siparişlerinin gecikmeli olarak teslimatına yol açmakta, dolayısıyla ürünlerin depoda bekleme sürelerini de arttırmaktadır. Dolayısıyla dağıtım ağının iyileştirilmesi ve İstanbul ili için yeniden tasarlanan ağ ile dağıtımın olabildiğince hızlı bir şekilde yapılması hedeflenmektedir. Bu sayede taşıma maliyetlerinin azaltılması, taleplerin müşterilere en hızlı şekilde ulaştırılması ve fosil yakıtlarla çevreye verilen zararın azaltılması da amaçlanmıştır.

İşletme ile yapılan görüşmelerde farklı zamanlarda ve farklı sıklıklarda teslimat yapılması gereken 200'ün üzerinde müşteri olduğu tespit edilmiştir. Bu müşterilerle ilgili en önemli verilerden birisi teslimat adresleridir. İşletmeden temin edilen adres bilgileri öncelikle Microsoft Bing Maps kullanılarak doğrulanmış, doğrulanamayan müşteri adresleri için yapılan detaylı bir çalışma neticesinde tüm müşteriler için adres bilgisi ile ilgili eksiklikler giderilmiştir. Sonuçta elde edilen müşteri adresleri (her ilçeden birer adet olmak üzere) Şekil 1'de gösterilmiştir. Daha sonra bu adres bilgileri kullanılarak Microsoft Bing Maps servisi ile tüm müşterilerin depo ile ve birbirleri arasındaki mesafeler ve seyahat süreleri hesaplanmış ve tüm müşterileri içeren mesafe ve süre matrisleri oluşturulmuştur. Geliştirilen sistem sayesinde, müşteri listesinde bilgileri yer almayan bir müşteri listeye eklendiğinde, yeni eklenen müşterinin depoya ve diğer müşterilere olan uzaklığı doğrudan hesaplanıp mesafe ve seyahat süresi matrisleri de güncellenebilmektedir.



Şekil 1. Müşteri ve Depo yerlerinin harita üzerinde gösterimi

4. MATEMATİKSEL MODEL

Bu bölümde ele alınan problem için geliştirilen matematiksel modele yer verilmiştir. Geliştirilen model öncelikle sevkiyatların tamamının aynı gün içinde, tüm rotaların toplam mesafesini enküçüklemeyi amaçlayacak şekilde geliştirilmiş olup bir diğer amaç olarak da kullanılan araç sayısını enküçüklemeyi hedeflemektedir. Sayısal Sonuçlar bölümünde daha detaylı bir şekilde açıklandığı üzere, ikincil amaca kullanılan araç türlerinin kapasiteleri de dikkate alınarak veri setine eklenen araç sayısının toplam talebi karşılayacak en az sayıda aracın model parametresi olarak belirlenmesi yoluyla ulaşılmıştır. Bu bilgiler ışığında ele alınan problem için geliştirilen matematiksel model aşağıdaki gibi verilmiştir:

Ele alınan problemin çözümü için öncelikle literatürden de faydalanılarak olabildiğince basit bir heterojen filolu araç rotalama problemi modeli geliştirilmiştir. Model, bilinen sayıda ve kapasiteleri sınırlı sayıda araçları kullanarak müşteri taleplerini karşılayacak şekilde tüm araçlar tarafından kat edilen toplam mesafenin en küçüklenmesini hedeflemektedir. Bu model, Alpaslan'ın [5] kullanılan araç sayısını en küçüklemek amacıyla geliştirdiği modelden uyarlanarak geliştirilmiştir.

Amaç fonksiyonu:

$$enk\ z = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \sum_{k=1}^M c_{ij} x_{ij}^v \quad (1)$$

Kısıtlar:

$$\sum_{i=1}^N \sum_{j \neq i}^N \sum_{v=1}^M q_i x_{ij}^v \leq Q_t, \quad \forall t \quad (2)$$

$$\sum_{j=2}^N x_{1j}^v \leq M \quad (3)$$

$$\sum_{i \neq k}^N x_{ik}^v - \sum_{j \neq k}^N x_{kj}^v = 0, \quad \forall k, \forall v \quad (4)$$

$$\sum_{i \neq j}^N \sum_{v=1}^M x_{ij}^v = 1, \quad \forall j = 2, \dots, N \quad (5)$$

$$u_i - u_j + N \sum_{v=1}^M x_{ij}^v \leq N - 1, \quad \forall i, j = 2, \dots, N \quad (6)$$

$$x_{ij}^v \in \{0, 1\}, \forall i, j, v \quad u_i \geq 0, \forall i \quad (7)$$

Yukarıda verilen modelde iki set karar değişkeni bulunmaktadır. x_{ij}^v v. aracın turunda i. şehrin hemen ardından j şehrine gitmesi durumunda 1, diğer durumlarda 0 değerini almaktadır. u_i ise alttur engelleme kısıtlarında kullanılan tamsayı karar değişkenidir. c_{ij}, q_i, Q_t sırasıyla i şehirden j şehrine gitme maliyeti, i şehrinin talebi ve t aracının kapasitesi olarak tanımlanırken M de araç sayısı kısıtını ifade etmektedir. Bu modelde depo 1. şehir olup talebi sıfırdır. Eşitlik (1) amaç fonksiyonu olup oluşturulan tüm rotaların toplam mesafesini en küçüklemeyi amaçlamaktadır. Eşitlik (2) araç kapasite kısıtlarını düzenlemektedir. Eşitlik (3) 1. şehir olarak tanımlanan depodan toplamda en fazla M adet araç çıkabileceğini düzenler. Eşitlik (4) herhangi bir şehri ziyaret eden aracın o şehirden ayrılması gerektiğini ifade eder. Eşitlik (5) depo haricinde her şehrin en fazla bir araç tarafından ziyaret edilebileceğini belirtmektedir. Eşitlik (6) ile alttur engelleme kısıtları düzenlenirken son olarak Eşitlik (7) x_{ij}^v ve u_i ile ilgili yapısal kısıtlardır.

5. SAYISAL SONUÇLAR

Bu bölümde öncelikle problem verileri tanıtılmış, ardından da geliştirilen karma tamsayılı model ve metasezgisel yöntemle elde edilen sonuçlar raporlanarak karşılaştırılmıştır.

5.1. Problem Verileri

İşletme ile yapılan görüşmeler neticesinde gerçek müşteri siparişleri bilgisinin kullanılamayacağı anlaşıldığından geçmiş sipariş bilgileri analiz edilerek gerçek sipariş bilgilerini temsil edecek şekilde hipotetik sipariş listeleri oluşturulmuştur. Geçmiş sipariş bilgilerinin analizinden elde edilen sonuçlara göre günlük yaklaşık 15 farklı müşteriye sipariş teslimatı yapıldığı, her bir müşteri siparişinin de iki palet ile yedi palet arasında düzgün dağılıma uygun bir şekilde modellenebileceği tespit edilmiştir. Bu verilerden yola çıkılarak 15, 20, 25 ve 30 müşteri siparişi içeren, sipariş büyüklüklerinin de 2 ile 7 arasında düzgün dağıldığı dört farklı senaryo oluşturulmuştur. 20 müşteri siparişi içeren senaryo için iki farklı araç konfigürasyonunun sınanması için aynı müşteri setine 7 palet kapasiteli sekiz, 34 palet kapasiteli bir araç ile sevkiyat yapılan senaryo ile 7 palet kapasiteli üç, 34 palet kapasiteli iki araç ile sevkiyat yapılan iki farklı senaryo oluşturulmuştur. Böylelikle önerilen çözüm yöntemleri olağan depo trafiğinin çok üzerinde sipariş miktarları için bile sınanmıştır.

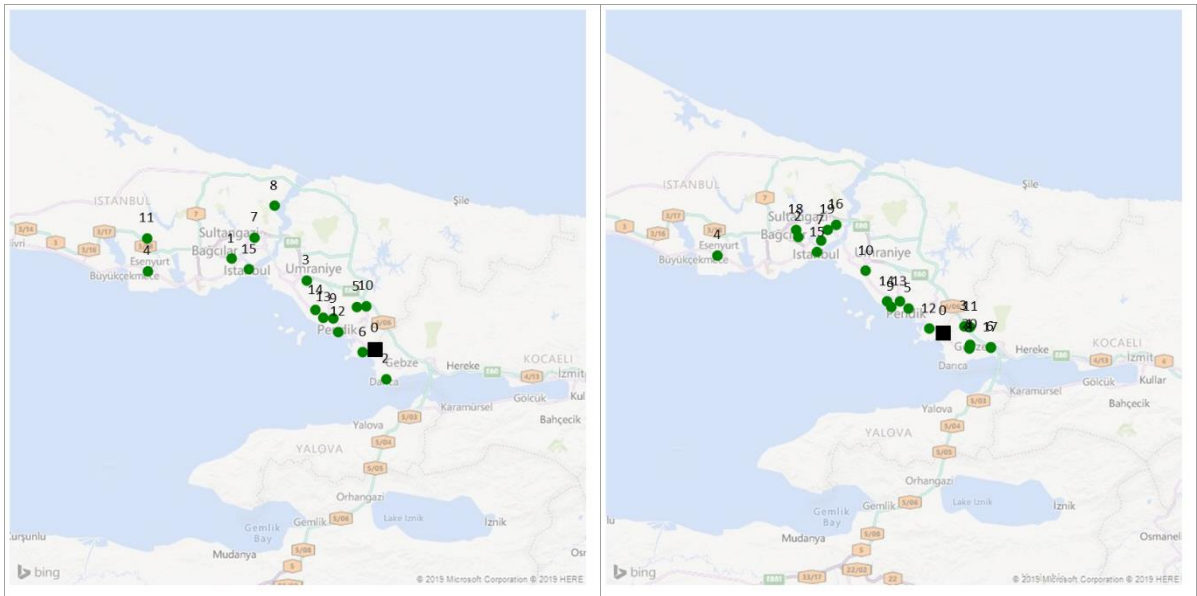
Oluşturulan test problemleri ile ilgili bilgiler (a) $n = 15$
= 20

(b) n

Şekil 2, (a) $n = 25$

(b) $n = 30$

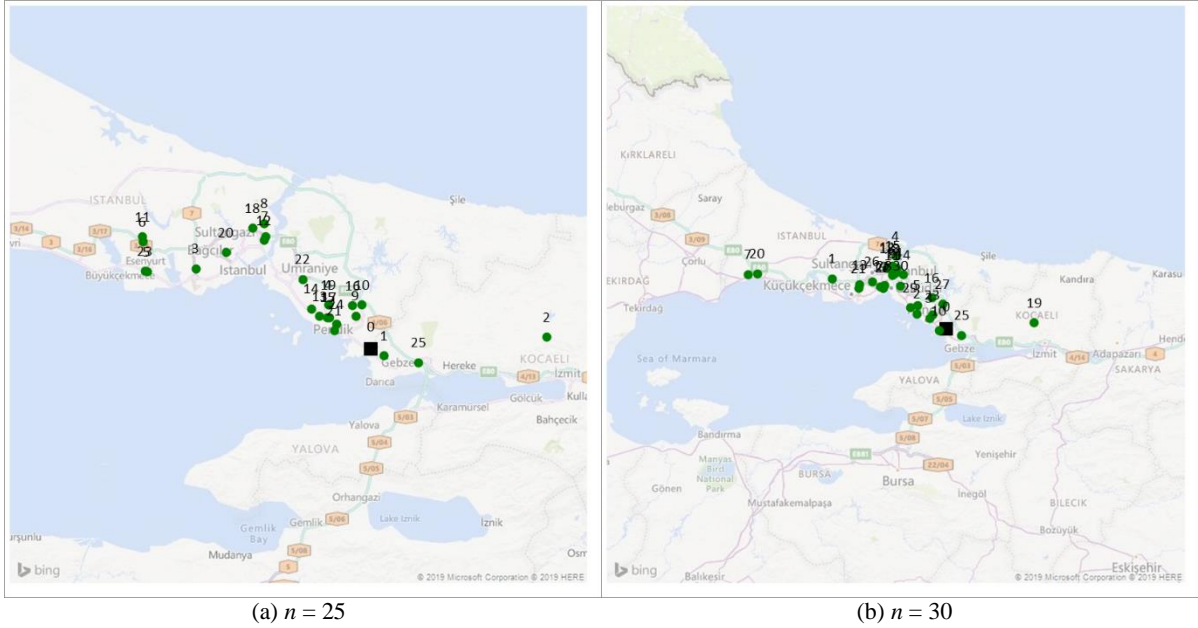
Şekil 3, ve Tablo 1’de verilmiştir. Şekil 2 ve Şekil 3’te sırasıyla 15, 20, 25 ve 30 müşteri siparişi içeren senaryolar için müşterilerin harita üzerindeki dağılımı verilmiştir. Dağılımları harita üzerinde gösterilen müşterilerin birbirlerine ve depoya olan uzaklıkları ile seyahat süreleri ise Microsoft Bing Maps servisinden faydalanılarak oluşturulmuş olup talep edilmesi halinde çalışmanın yazarlarından temin edilebilir. Tablo 1’de ise her bir farklı müşteri sayısı senaryosu için 2 ile 7 arasında düzgün dağılıma uyacak şekilde oluşturulan müşteri talepleri verilmiştir. 20 müşteri için oluşturulan talepler her iki araç konfigürasyonu için de aynı kabul edilmiştir.



(a) $n = 15$

(b) $n = 20$

Şekil 2. Test problemlerinde kullanılan teslimat noktalarının coğrafi gösterimi



Şekil 3. Test problemlerinde kullanılan teslimat noktalarının coğrafi gösterimi

Tablo 1. Test problemlerinde müşteri talepleri (verilen sayılar palet cinsindedir)

| Müşteri No | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 |
|------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| $n = 15$ | 4 | 4 | 6 | 7 | 4 | 3 | 2 | 7 | 2 | 4 | 2 | 2 | 5 | 4 | 5 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| $n = 20$ | 2 | 7 | 5 | 7 | 6 | 2 | 2 | 5 | 6 | 5 | 5 | 3 | 2 | 3 | 2 | 2 | 7 | 6 | 4 | 2 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| $n = 25$ | 6 | 6 | 3 | 5 | 3 | 4 | 3 | 5 | 3 | 7 | 7 | 2 | 2 | 4 | 7 | 5 | 3 | 2 | 4 | 4 | 4 | 7 | 5 | 7 | 7 | - | - | - | - | - |
| $n = 30$ | 2 | 2 | 6 | 5 | 3 | 4 | 2 | 3 | 2 | 4 | 4 | 7 | 5 | 4 | 2 | 5 | 3 | 6 | 4 | 5 | 5 | 6 | 2 | 6 | 4 | 3 | 4 | 7 | 3 | 6 |

Dağıtımda kullanılan araçlar kamyon ve kamyonettir. Bu araçların kapasite kısıtları kamyonet için 7, kamyon için 34 palettir. Araçların aylık kira maliyeti kamyonet için 5000 TL, kamyon için 7000 TL'dir. Her iki araç türü için de kilometre başına taşıma maliyeti 80 kuruş olarak belirlenmiştir. Eğer araç bir turda dörtten fazla müşteriye teslimat yapıyorsa bu durumda 200 TL ek ödeme yapılmaktadır. Son olarak, aracın teslimat yaptığı her müşteri için 60 TL teslimat bedeli ödenmektedir. Burada verilen maliyet bilgileri firmanın kullandığı gerçek veriler olmayıp maliyet kalemleri arasındaki oranlara sadık kalınarak araştırmanın maliyet yönünü temsil edecek şekilde tarafımızdan belirlenmiştir.

Yukarıda verilen problem verileri kullanılarak oluşturulan test problemleri iki farklı yöntem kullanılarak çözdürülmüştür. Çözüm yöntemlerinden birisi klasik kapasite kısıtlı araç rotalama problemi, diğeri de büyük komşuluk arama yöntemine dayanan sezgisel bir yöntemdir. Her bir çözüm yöntemi ile ilgili detaylar izleyen bölümlerde verilmiştir.

5.2. Karma Tamsayılı Heterojen Filolu Araç Rotalama Problemi Modeli İle Elde Edilen Sonuçlar

Detayları Bölüm 4'de verilen model IBM ILOG CPLEX Optimization Studio 12.9 kullanılarak kodlanmış, Windows 10 işletim sistemi yüklü Intel® Core™ i7-8750H işlemcili ve 16 GB RAM'e sahip bilgisayarda örnek problemler kullanılarak koşturulmuştur. Koşturulan tüm örnek problemler için azami çalışma süresi iki saat olarak belirlenmiştir. Bu sürenin sonunda elde edilen en iyi çözümler Tablo 2 – 6'da verilmiştir. Tablo 2'den de görülebileceği üzere 15 müşterili problem için verilen süre kısıtı

altında optimal çözüm bulunabilmiştir. Bu durum Tablo 2'nin en alt satırında verilen optimallik açığı (optimality gap) değerinden de doğrulanabilmektedir.

Tablo 2. $n = 15$, 7 palet kapasiteli dört, 34 palet kapasiteli bir araç

| Araç No | Rota |
|---|--|
| 1 | D → 3 → 7 → D |
| 2 | D → 10 → 15 → D |
| 3 | D → 13 → 14 → D |
| 4 | D → 9 → D |
| 5 | D → 11 → 6 → 4 → 16 → 5 → 12 → 2 → 8 → D |
| Toplam Rota Uzunluğu: 427,01 km, optimallik açığı %0. | |

Tablo 3. $n = 20$, 7 palet kapasiteli sekiz, 34 palet kapasiteli bir araç

| Araç No | Rota |
|---|--|
| 1 | D → 10 → D |
| 2 | D → 18 → D |
| 3 | D → 12 → 7 → D |
| 4 | D → 14 → 11 → D |
| 5 | D → 2 → 4 → D |
| 6 | D → 6 → D |
| 7 | D → 21 → 9 → D |
| 8 | D → 13 → D |
| 9 | D → 16 → 5 → 19 → 3 → 8 → 20 → 17 → 15 → D |
| Toplam Rota Uzunluğu: 442,32 km, optimallik açığı %15,11. | |

Tablo 4. $n = 20$, 7 palet kapasiteli üç, 34 palet kapasiteli iki araç

| Araç No | Rota |
|--|--|
| 1 | D → 13 → D |
| 2 | D → 2 → 4 → D |
| 3 | D → 21 → 9 → D |
| 4 | D → 18 → 7 → 12 → 11 → 15 → 10 → 6 → D |
| 5 | D → 14 → 17 → 20 → 8 → 3 → 19 → 5 → 16 → D |
| Toplam Rota Uzunluğu: 338 km, optimallik açığı %22,84. | |

Tablo 5. $n = 25$, 7 palet kapasiteli yedi, 34 palet kapasiteli iki araç

| Araç No | Rota |
|---------|---|
| 1 | D → 11 → D |
| 2 | D → 26 → D |
| 3 | D → 2 → D |
| 4 | D → 18 → 22 → D |
| 5 | D → 3 → D |
| 6 | D → 16 → D |
| 7 | D → 25 → 1 |
| 8 | D → 13 → 21 → 12 → 7 → 6 → 24 → 4 → 15 → 14 → D |

| | |
|---|--|
| 9 | D → 19 → 9 → 8 → 23 → 20 → 5 → 17 → 10 → D |
| Toplam Rota Uzunluğu: 648,77 km, optimallik açığı %23,18. | |

Tablo 6. $n = 30$, 7 palet kapasiteli sekiz, 34 palet kapasiteli iki araç

| Araç No | Rota |
|--|--|
| 1 | D → 13 → D |
| 2 | D → 11 → 18 → D |
| 3 | D → 29 → D |
| 4 | D → 9 → 28 → D |
| 5 | D → 24 → 17 → D |
| 6 | D → 30 → 20 → D |
| 7 | D → 6 → 26 → D |
| 8 | D → 5 → 16 → D |
| 9 | D → 31 → 12 → 10 → 19 → 25 → 15 → 4 → D |
| 10 | D → 3 → 7 → 22 → 14 → 8 → 21 → 2 → 27 → 23 → D |
| Toplam Rota Uzunluğu: 1229,91 km, optimallik açığı %35,96. | |

Müşteri sayısının 20, 25 ve 30 olarak alındığı örnek problemlerde ise iki saatlik koşturma süresinin sonunda elde edilen en iyi çözümlerin yine CPLEX tarafından hesaplanan en iyi çözüm değerinden yüzdesel sapmaları ve bulunan en kısa turlar Tablo 3 – 6’da verilmiştir. Bu tablolardan da görülebileceği üzere, iki saatlik hesaplama süresinin sonunda bulunan en iyi çözümlerin gerçek “en iyi” sonuçlar olduğu belirlenen süre kısıtı içinde kanıtlanamamıştır. Sevkiyat planlamasının günlük yapılacak rutin bir işlem olması gerekliliği göz önüne alındığında günlük ortalama sevkiyat yapılması gereken müşteri sayısının 20 ve üzerinde olacağı durumlar için geliştirilen karma tamsayılı heterojen filolu araç rotalama modelinin optimal çözümü için beklenmesi gereken sürenin kabul edilebilir seviyelerin çok üzerinde olduğu değerlendirilmiştir.

Müşteri sayısının aynı kabul edildiği, ancak araç filosunun farklılaştırıldığı iki örnek olayın sonuçlarını özetleyen Tablo 3 ve Tablo 4 birlikte değerlendirildiğinde daha küçük kapasiteye sahip araç sayısının arttırıldığı ve bir adet yüksek kapasiteli araç kullanıldığında elde edilen araç rotalarının toplam uzunluğunun iki adet yüksek kapasiteli araç ve uygun sayıda küçük kapasiteli araç kullanıldığı duruma göre daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Küçük kapasiteli aracın daha az sayıda müşterinin talebini tek seferde yükleyebileceği göz önüne alındığında, yüksek kapasiteli araç sayısının arttığı durumda depodan müşteriye gidişler ile müşteriden depoya dönüşlerin artması olağan bir durum olup bunun sonucu olarak da toplamda kat edilen mesafenin artması olağandır. İzleyen bölümde daha detaylı bir şekilde incelendiği üzere, küçük kapasiteli her araç rotası başka bir aracın kiralanmasını gerektirmeyebilir, rotasını tamamlayarak depoya geri dönen bir araç mesai saatleri içerisinde tekrar yüklenerek bir başka rotaya yönlendirilebilir. Dolayısıyla Tablo 2 – Tablo 6 ile verilen sonuçlar aslında kullanılması gereken araç sayısı hakkında yeterli seviyede bilgi vermemektedir. Bunun için rota planlarının yanı sıra her bir rotanın yükleme/boşaltma işlemleri dahil ne kadar zaman alacağını da bilinmesine ihtiyaç vardır. Bu gereksinimler optimal çözümün bulunması için gereken sürenin uzunluğu ile birleştiğinde daha hızlı ve daha detaylı bilgiler üretme yeteneğine sahip bir çözüm yönteminin gerekliliği ortaya çıkmaktadır. İşletme ile yapılan görüşmeler neticesinde IBM ILOG CPLEX Optimization Studio 12.9 gerekli olan ticari kullanım lisansının da yüksek maliyeti nedeniyle edinilemeyeceği ortaya çıkınca izleyen bölümde detayları verilen çözüm yaklaşımına başvurulmuştur.

5.3. Büyük Komşuluk Arama Sezgiseli ile Elde Edilen Sonuçlar

Yukarıda genel hatları ile tanımlanan LNS'nin pek çok farklı uygulaması vardır. Bu çalışmada Erdoğan [10] tarafından önerilen ve Microsoft Excel içinden çalışan LNS uygulaması kullanılmıştır. Bu çözüm yaklaşımı Microsoft Excel tabanı kullanılarak geliştirilmiş, VBA tabanlı entegre bir sezgisel optimizasyon yöntemidir. Erdoğan'ın çalışması, kapasite kısıtlı araç rotalama problemlerinin çözümünün yanı sıra, Microsoft Bing Maps servisinde mesafe ve seyahat süresi çekme, veri görselleştirme gibi pek çok araç rotalama problemi çözümü ve görselleştirme ile ilgili hizmetleri bünyesinde barındıran açık kaynak kodlu ve entegre bir çözüm aracıdır. Çözüm algoritmasının detayları ve çözüm aracı ile ilgili diğer özellikler hakkında detaylı bilgiler Erdoğan'ın çalışmasından [10] edinilebilir.

Önceki bölümde IBM ILOG CPLEX Optimization Studio 12.9 ile çözümü araştırılan toplam beş örnek problem VLNS algoritması ile çözdürülerek elde edilen en iyi sonuçlar Tablo 7 – Tablo 11'de özetlenmiştir. Bu algoritma için de çözüm süresi ele alınan tüm problemler için 200 saniye ile sınırlandırılmış, bu sürenin sonunda elde edilen en iyi çözümler VLNS algoritması tarafından bulunan en iyi sonuçlar olarak raporlanmıştır. Süre sınırlaması olarak 200 saniye, Erdoğan [10] tarafından yapılan öneriler temelinde seçilmiştir. Bunun da ötesinde, pratik kullanım kolaylığı açısından sabah mesaisinin başlamasının ardından gelen siparişlerin hızlı bir şekilde teslimat rotalarının oluşturulması birincil öncelik olarak kabul edildiğinden izin verilen çözüm süresi bu şekilde belirlenmiştir. Daha uzun çözüm süresi belirlenmesi de mümkün olup özellikle bu çalışmada ele alınan problemlerden daha büyük problemlerin çözümü söz konusu olduğunda bu süre kolaylıkla daha da uzatılabilir.

Tablo 7. $n = 15$, 7 palet kapasiteli dört, 34 palet kapasiteli bir araç

| Araç No | Rota | Rota Uzunluğu (km) | Süre (sa:dk) |
|---------|--|--------------------|--------------|
| 1 | D → 14 → 9 → D | 41,25 | 1:24 |
| 2 | D → 6 → 2 → D | 29,40 | 1:36 |
| 3 | D → 13 → 12 → D | 38,86 | 1:33 |
| 4 | D → 8 → D | 119,98 | 2:00 |
| 5 | D → 7 → 1 → 11 → 4 → 15 → 3 → 5 → 10 → D | 197,52 | 6:15 |
| Toplam | | 427,01 | 12:48 |

Tablo 7'den de görülebileceği gibi, işletmenin günlük ortalama iş yükünü temsil eden örnek için müşteri talepleri araç parkında mevcut olan iki araç ile rahatlıkla karşılanabilmektedir. Bunun için kat edilmesi gereken toplam mesafe 12 saat 48 dakika olarak tahmin edilmiş olup bu sürenin 6 saat 15 dakikalık kısmı 34 palet kapasiteli kamyon tarafından gerçekleştirilmektedir. Her ne kadar Tablo 7'de yedi paletli araç sayısı dört olarak verilmiş ise de, verilen turları tamamlamak için gerekli süre toplamda 6 saat 33 dakika olarak hesaplandığından dokuz saatlik günlük çalışma süresi aşılmadan aynı araçla dört tur yapmanın mümkün olduğu değerlendirilmiştir. Burada, turunu tamamladıktan sonra depoya geri dönen aracın tekrar yükleme süreleri de dikkate alınmıştır. Tablo 7'de verilen araç rotaları üzerinden oluşan maliyet $427 \times 0,8 + 200 + 15 \times 60 = 1441,6$ TL olarak hesaplanmaktadır.

Tablo 8. $n = 20$, 7 palet kapasiteli sekiz, 34 palet kapasiteli bir araç

| Araç No | Rota | Rota Uzunluğu (km) | Süre (sa:dk) |
|---------|-----------------|--------------------|--------------|
| 1 | D → 8 → 20 → D | 24,5 | 1:15 |
| 2 | D → 17 → D | 36,43 | 1:11 |
| 3 | D → 3 → 1 → D | 29,85 | 1:32 |
| 4 | D → 12 → D | 11,97 | 0:42 |
| 5 | D → 5 → D | 25,56 | 0:49 |
| 6 | D → 9 → D | 36,74 | 1:05 |
| 7 | D → 10 → 13 → D | 57,95 | 1:41 |

| | | | |
|--------|--|--------|-------|
| 8 | D → 6 → 11 → D | 45,06 | 1:41 |
| 9 | D → 14 → 16 → 19 → 7 → 2 → 18 → 4 → 15 → D | 174,27 | 6:03 |
| Toplam | | 442,33 | 15:59 |

Tablo 9. $n = 20$, 7 palet kapasiteli dört, 34 palet kapasiteli iki araç

| Araç No | Rota | Rota Uzunluğu (km) | Süre (sa:dk) |
|---------|--|--------------------|--------------|
| 1 | D → 5 → D | 25,56 | 0:49 |
| 2 | D → 12 → D | 11,97 | 0:42 |
| 3 | D → 8 → 1 → D | 24,5 | 1:15 |
| 4 | D → 10 → 9 → 13 → 3 → 11 → 6 → 17 → 20 → D | 101,33 | 5:12 |
| 5 | D → 14 → 16 → 19 → 7 → 2 → 18 → 4 → 15 → D | 174,27 | 6:03 |
| Toplam | | 337,63 | 14:01 |

20 müşterili test problemi için iki farklı araç filosu konfigürasyonu denenmiştir. İlk senaryoda, 15 müşterili test probleminde olduğu gibi yedi palet kapasiteli aracın bir turu tamamlayıp depoya döndüğünde yeni bir tura başlayabileceği varsayımıyla araç parkı oluşturulmuştur. Neticede elde edilen seyahat süreleri incelendiğinde yedi palet kapasiteli araç için tur zamanları toplamı 9 saat 56 dakika olarak bulunmuştur. Bu süre de günlük dokuz saatlik çalışma süresini yaklaşık bir saat üzerindedir. Oluşturulan ikinci senaryoda ise 34 palet kapasiteli iki araç ve yedi palet kapasiteli üç araç kullanılarak bir çözüm elde edilmiştir. Bu çözümde ise 34 palet kapasiteli her iki aracın da turlarını günlük mesai saatleri içerisinde rahatlıkla tamamlayabilecekleri, yedi paletli araç için öngörülen üç turun da toplam seyahat süresinin 2 saat 46 dakika olduğu

Tablo 9'dan görülecektir. Yine Tablo 8 ve

Tablo 9'da verilen seyahat mesafeleri karşılaştırıldığında 34 palet kapasiteli iki araç kullanıldığında kat edilen toplam mesafenin yaklaşık %25 azaldığı görülebilir. Tablo 8 için oluşan toplam maliyet $442,33 \times 0,8 + 200 + 20 \times 60 = 1753,84$ TL olarak hesaplanırken

Tablo 9'da verilen rotalar için toplam maliyet $337,63 \times 0,8 + 2 \times 200 + 20 \times 60 = 1870,10$ TL olarak hesaplanmaktadır. Dolayısıyla kamyon ve kamyonetler için aylık araç kiralama bedelleri de dikkate alındığında Tablo 8'de verilen rota planlaması firma açısından daha ekonomik bir alternatif olarak karşımıza çıkmasına rağmen günlük çalışma saati kısıtlarını karşılamadığından dolayı kullanılması uygun bulunmamıştır.

Tablo 10. $n = 25$, 7 palet kapasiteli yedi, 34 palet kapasiteli iki araç

| Araç No | Rota | Rota Uzunluğu (km) | Süre (sa:dk) |
|---------|--|--------------------|--------------|
| 1 | D → 1 → D | 15,49 | 0:46 |
| 2 | D → 24 → D | 25,56 | 0:49 |
| 3 | D → 17 → 21 → D | 34,67 | 1:27 |
| 4 | D → 25 → D | 35,45 | 1:06 |
| 5 | D → 2 → D | 140,35 | 2:20 |
| 6 | D → 15 → D | 33,49 | 0:58 |
| 7 | D → 4 → 13 → D | 43,44 | 1:32 |
| 8 | D → 18 → 8 → 7 → 12 → 22 → 16 → 9 → 10 → D | 136,09 | 5:23 |
| 9 | D → 3 → 5 → 23 → 11 → 6 → 20 → 14 → 19 → D | 186,56 | 5:51 |

| | | |
|--------|-------|-------|
| Toplam | 651,1 | 20:12 |
|--------|-------|-------|

20 müşterili test problemi için elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde 34 palet kapasiteli iki araç kullanılmasının gerekliliği tespit edilmiş olduğundan 25 müşterili test problemi için yine 34 palet kapasiteli iki araç, 7 palet kapasiteli yedi araç kullanılarak çözüm elde edilmiştir. Tablo 10 incelendiğinde, 34 palet kapasiteli her iki aracın da günlük mesai saatleri içerisinde teslimatlarını tamamlayabileceği, kullanılacak olan yedi paletli aracın da kalan yedi turun tamamını 8 saat 58 dakikada tamamlayabileceği öngörülmüştür.

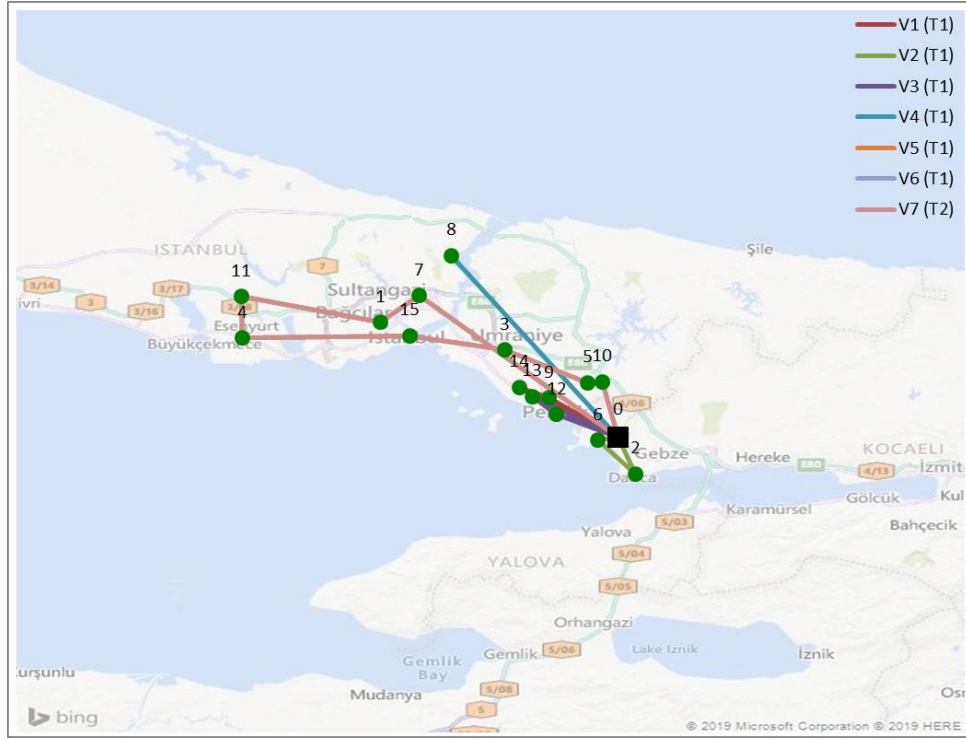
Tablo 11. $n = 30$, 7 palet kapasiteli sekiz, 34 palet kapasiteli iki araç

| Araç No | Rota | Rota Uzunluğu (km) | Süre (sa:dk) |
|---------|---|--------------------|--------------|
| 1 | D → 10 → 29 → D | 53,8 | 1:46 |
| 2 | D → 12 → D | 110,2 | 1:56 |
| 3 | D → 4 → 2 → D | 114,08 | 2:44 |
| 4 | D → 23 → 16 → D | 60,48 | 1:37 |
| 5 | D → 6 → 17 → D | 91,93 | 2:17 |
| 6 | D → 9 → 15 → D | 109,09 | 2:36 |
| 7 | D → 5 → 25 → D | 66,05 | 1:54 |
| 8 | D → 28 → D | 93,45 | 1:54 |
| 9 | D → 18 → 7 → 20 → 1 → 13 → 21 → 26 → 22 → D | 281,25 | 7:06 |
| 10 | D → 3 → 30 → 11 → 24 → 14 → 27 → 19 → D | 238,54 | 6:05 |
| Toplam | | 1218,87 | 29:55 |

Son olarak, 30 müşterili test problemi için ise iki adet 34 palet kapasiteli araç, 8 adet de 7 palet kapasiteli araç kullanılarak bulunan çözüm ile ilgili detaylar

Tablo 11’de verilmiştir.

Tablo 11’deki verilerden hareketle, 34 palet kapasiteli her iki aracın da günlük mesai saatleri içerisinde teslimatlarını tamamlayabileceği, 7 palet kapasiteli araçlar için ise tüm teslimatların aynı gün içinde tamamlanması için en az iki adet araç gereksinimi olduğu belirlenmiştir. Çözüm detayları Tablo 7’de verilen 15 müşterili örnek problem için oluşturulan rotalar Şekil 4’te gösterilmiştir.



Şekil 4. $n = 15$, 7 palet kapasiteli dört, 34 palet kapasiteli bir araç kullanılarak oluşturulan rotalar. Kullanılan beş farklı örnek olay için bulunan en iyi amaç fonksiyonu değerleri **Tablo 12**'de karşılaştırılmıştır. Buradan da görülebileceği üzere, VLNS sezgiseli çalışma süresi karma tamsayılı modele göre çok daha az olmasına rağmen örnek olayların birinde (örnek problem $n = 15$) aynı amaç fonksiyonu değerini vermiş, ikisinde (örnek problem $n = 20$, 34 palet kapasiteli iki araç ve $n = 30$) karma tam sayılı modelden daha düşük amaç fonksiyonu değerlerine ulaşabilmiş, ulaşamadığı durumlarda da bilinen en iyi çözüm ile VLNS sezgiseli tarafından bulunan değer arasındaki fark (örnek problem $n = 20$, 34 palet kapasiteli bir araç ve $n = 25$) ihmal edilebilir seviyelerde (her iki durumda da %1'in altında) kalmıştır. Ancak yine de karma tamsayılı modelin çözüm süresinin iki saat ile sınırlandırıldığı elde edilen sonuçlar değerlendirilirken göz ardı edilmemelidir. Dolayısıyla hem kullanım kolaylığı, hem çözüme ulaşmak için ihtiyaç duyulan sürenin kısa oluşu, hem de lisanslama gereksinimi olmamasına bağlı olarak işletmeye önerilen çözüm yaklaşımı Microsoft Excel® ortamında çalışan VLNS sezgiseli olmuştur. VLNS sezgiselinin düğüm sayısının 100'e kadar olduğu durumlarda oldukça rekabetçi sonuçlar verdiği Erdoğan tarafından belirtilmiştir [10]. Sonuç olarak işletmeye önerilen çözüm yaklaşımı öngörülebilir gelecekte işletmenin sevkiyat planlama ihtiyaçlarını karşılayacak nitelikte olduğu değerlendirilmiştir.

Tablo 12. Karma tamsayılı model ile VLNS karşılaştırması

| Problem | En iyi amaç fonksiyonu değeri | |
|----------|-------------------------------|----------------|
| | Karma Tamsayılı Model | VLNS |
| $n = 15$ | 427,01 | 427,01 |
| $n = 20$ | 442,32 | 442,33 |
| $n = 20$ | 338 | 337,63 |
| $n = 25$ | 648,77 | 651,1 |
| $n = 30$ | 1229,91 | 1218,87 |

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışma kapsamında merkezi depodan çeşitli sayıda müşterilerine sevkiyat yapan bir işletme için günlük sevkiyat planlarının oluşturulması problemi ele alınmıştır. Bu kapsamda, müşteri siparişlerinin palet cinsinden büyüklükleri analiz edilmiştir. Buna ek olarak, yine işletmenin kayıtlarından faydalanılarak müşterilerin depoya ve birbirlerine olan uzaklıkları ve seyahat süreleri Microsoft Bing Map servisleri kullanılarak hesaplanmıştır. Geçmiş yıllara dönük sipariş yoğunlukları da ayrıca analiz edilerek günlük ortalama teslimat yapılması gereken müşteri sayısı belirlenmiştir. Tüm bu bilgiler kullanılarak işletmenin günümüzde karşılaştığı sevkiyat problemleri için ve aynı zamanda talebin artması durumunda karşılaşılabilecek olan muhtemel senaryoları temsil edecek şekilde örnek problemler oluşturulmuştur. Örnek problemler oluşturulurken kullanılacak araç sayısının olabildiğince azaltılabilemesi için toplam talebi karşılayacak en az sayıda aracın problem verisi olarak ele alınmasına özellikle dikkat edilmiştir. Oluşturulan bu problemler geliştirilen heterojen filolu araç rotalama problemi modeli ve VLNS sezgiselleri kullanılarak çözdürülmüş ve elde edilen sonuçlar maliyet ve zaman boyutlarında detaylı bir şekilde tartışılmıştır.

Toplam talebi karşılayacak şekilde uygun sayıda araç tanımlanması halinde 15, 20, 25 ve 30 müşterili örnek problemler için tatmin edici sonuçlar VLNS sezgiseli kullanılarak kısa sürede elde edilebilmiştir. Ancak karma tamsayı model için aynı yargıya varmak mümkün olmamıştır. Aynı veri setleri kullanılarak karma tamsayı model ile iki saatlik koşturma süresi sonunda elde edilen sonuçlar VLNS sezgiseli kullanılarak elde edilen sonuçlar ile hemen hemen aynıdır. Dolayısı ile koşturma süreleri ile birlikte değerlendirildiğinde VLNS sezgiselinin çözüm yaklaşımı olarak bir adım daha önde olduğunu söylemek mümkün olacaktır.

Elde edilen çözümler işletmenin araç parkı özelinde incelendiğinde günlük sevkiyat talebinin mevcut durumda var olan araç parkı ile rahatlıkla karşılanabileceği sonucuna varılmıştır. Yalnız bu sonuca küçük palet kapasitesine sahip aracın aynı gün içinde depodan başlayarak depoda biten birden fazla rotaya gönderilerek ulaşılabildiği göz ardı edilmemelidir. Günlük sevkiyat taleplerinin daha da artması durumunda ilgili gün içinde teslimatların dokuz saatlik çalışma süresi kısıtı da dikkate alınarak yapılabilmesi için en az bir araca daha ihtiyaç duyulacağı belirlenmiştir. Kısa dönemli bir çözüm arayışına gidilecek olursa böyle bir durumda yedi palet kapasiteli ve aylık kiralama bedeli daha uygun bir araç daha kiralanması önerilebilir. Günlük sevkiyat ihtiyacının daha da artması durumunda ise küçük kapasiteli araçlardan birisinin daha büyük kapasiteli başka bir araçla değiştirilmesi de gündeme gelebilir. Hiçbir şekilde araç parkının büyütülmemesi ise sevkiyatların gecikmeli olarak teslim edilmesi sonucunu doğuracaktır.

Yapılan çalışmanın sınırlılıklarından bahsedilmesi gerekirse en büyük sınırlılık gün içinde sevkiyat planlaması yapılırken gerekli en önemli bilgilerden birisi olan seyahat süresidir. Çalışmamızda günün saatinden bağımsız olarak iki nokta arasındaki seyahat süresi %100 doğrulukla bilinir ve değişmez kabul edilmiştir. Oysa ki gün içinde özellikle İstanbul gibi büyük metropollerde seyahat süresi seyahatin başladığı zamana bağlı olarak büyük değişimler gösterebilmektedir. Ancak seyahat başlangıç zamanına bağlı olarak seyahat sürelerinin hesaplanması ile ilgili çalışmalar bildiğimiz kadarı ile başlangıç aşamasında olup güvenilir bir hesaplama aracı ortaya çıktığında teslimat zamanlarının belirlenmesinde seyahatin başlangıç zamanına göre güncellenen seyahat sürelerinin kullanılması bu çalışma kapsamında raporlanan bulguları ciddi ölçüde değiştirme potansiyeline sahiptir. Aynı şekilde kullanılabilir rotalarda oluşması muhtemel yol hataları ve rotalarda kullanılan yolların bir kısmının kullanıma geçici bir süre de olsa kapatılabilmesi mümkündür. Bu tür durumlarda oluşabilecek sıkıntılara çalışmamız kapsamında yer verilmemiştir. Bahsedilen kısıtlar altında revize edilebilecek model ile daha gerçekçi ve tutarlı sonuçlara ulaşmak mümkün olabilecektir

KAYNAKÇA

- [1] Yılmaz Ş. Çok Depolu Araç Rotalama Problemlerinin Karınca Kolonisi Optimizasyonu ile Modellenmesi ve Bir Çözüm Önerisi, Yüksek Lisans Tezi, Bilkent Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Ankara, 2008.
- [2] Keçeci B. Integer Programming Formulations For Vehicle Routing Problem With Backhauls, Yüksek Lisans Tezi, Başkent Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Ankara, 2008.
- [3] Dantzig GB ve Ramser JH. The Truck Dispatching Problem, *Management Science*, 1959; 6(1), 80-91.
- [4] Baker BM ve Ayechev MA. A Genetic Algorithm for the Vehicle Routing Problem, *Computers and Operations Research*, 2003; 30(5) 787 – 800.
- [5] Alpaslan M. Araç Rotalama Problemleri için Matematiksel Modeller ve Çözüm Yöntemleri, Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Eskişehir, 2015.
- [6] Lin S-W, Lee Z-J, Ying K-C ve Lee C-Y. Applying hybrid metaheuristic for capacitated vehicle routing problem, *Expert Systems with Applications*, 2009; 36(2), 1505-1512.
- [7] Toth P ve Vigo D. Models, Relaxations and Exact Approaches for the Capacitated Vehicle Routing Problem, *Discrete Applied Mathematics*, 2002; 123, 487 – 512.
- [8] Laporte G. The Vehicle Routing Problem: An overview of Exact and Approximate Algorithms, *European Journal of Operational Research*, 1992; 59, 345 – 358.
- [9] Toth P ve Vigo D. (Eds.). The Vehicle Routing Problem. Soc. for Industrial and Applied Math., Philadelphia, PA, USA, 2001.
- [10] Erdoğan G. An open source Spreadsheet Solver for Vehicle Routing Problem, *Computers and Operations Research*, 2017; 84, 62 – 72.
- [11] Shaw P. Using constraint programming and local search methods to solve vehicle routing problems. In CP-98 (Fourth International Conference on Principles and Practice of Constraint Programming), volume 1520 of Lecture Notes in Computer Science, 1998; 417–431.
- [12] Ahuja RK, Ergun Ö, Orlin JB et al. A Survey of Very Large Scale Neighborhood Search Techniques. *Discrete Applied Mathematics*, 2002; (123) 75–102.
- [13] Yu Y, Wang S, Wang J et al. A branch-and-price algorithm for the heterogeneous fleet green vehicle routing problem with time windows, *Transportation Research Part B: Methodological*, 2019; 122, 511-527.
- [14] Li Y, Soleimani H, Zohal M. An Improved ant Colony Optimization Algorithm for the Multi-Depot Green Vehicle Routing Problem With Multiple Objectives. *Journal of Cleaner Production*, 2019; 227, 1161-1172.
- [15] Xu Z, Elomri A, Pokharel S, Mutlu F. A model for capacitated green vehicle routing problem with the time-varying vehicle speed and soft time windows. *Computers & Industrial Engineering*. 2019; 137,106011