

Heterojen Eş-Zamanlı Topla-Dağıt Rotalama Problemi: Tehlikeli Malzeme Sevkiyatı

Hacı Mehmet Alağaç, Suna Çetin, Ali Yerlikaya, Tamer Eren
Kırıkkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü

Özet

Araç rotalama problemleri, bir veya birkaç depodan, belirli coğrafi noktalara dağılmış müşterilere ürünlerin dağıtılması ve/veya toplanmasının araçların aldığı toplam yolun en azlayacak şekilde belirlenmesi olarak tanımlanmaktadır. Araç rotalama problemlerinin temel kısıtlarından birisi de kapasitedir. Müşterilerin toplam talebi aracın kapasitesinden daha fazla olamaz. Bu çalışmada tehlikeli malzemelerin taşınmasında kapasite kısıdı hem ağırlık hem de hacim olarak ele alınmıştır. Merkezi bir depodan ara depolara yapılan ve ara depolardan merkezi depoya yapılan sevkiyatlarda birden fazla farklı özellikte araç kullanılmaktadır. Bu özelliklerine göre ele alınan problem heterojen eş zamanlı topla dağıt araç rotalama problemidir. Problem matematiksel programlama ile modellenerek çözülmüştür. Modelin çözümü sonucunda malzeme sevkiyatında kullanılacak araçların tipleri, rotaları, sayıları belirlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Araç Rotalama Problemi, Tehlikeli Malzeme Sevkiyatı, Matematiksel Model.

Abstract

Heterogeneous Vehicle Routing Problem with Simultaneous Pickup and Delivery: Hazardous Materials Transportation

Vehicle routing problem (VRP) is described as minimizing the total amount of the mileage from one or more storehouse for distribution to and / or the collection of goods from customers straggled in a certain geography. In multi vehicle VRP, it is determined that the goods are transported at which point with which vehicle. In this study, the vehicles routes are obtained according to weight and volume constraints for hazardous materials transportation. More than one type vehicles are used for transportation from main warehouse to regional warehouses. According to these features, the type of this VRP is heterogeneous VRP. The problem is modelled and solved with mathematical programming. At the solution of the model, vehicles' types, number and routes are determined to use transportation of the materials.

Keywords: Vehicle Routing Problem, Hazardous Materials Transportation, Mathematical Modeling.

1.Giriş

Günümüzde müşteri beklentileri, rekabet baskısı, ürün hassasiyeti, güvenlik gibi etmenlerden dolayı şirket ve kurumlar için araç rotalama probleminin önemi giderek artmaktadır. Araç Rotalama Problemi (ARP) basit tanımıyla bir merkezi depoda yerleşmiş bulunan ve her biri aynı veya farklı kapasitelere sahip olan araçlar filosunun her biri farklı bir yerleşime ve bilinen talebe sahip olan müşteri kümesine toplam seyahat mesafesini veya süresini en küçükleyecek şekilde hizmet sunarak depoya geri dönmesi için rotaların belirlenmesi problemidir [1]. Bu tanımdan hareketle her müşteriye bir aracın gitmesi, her rotanın depodan başlayıp depoda sonlanması, bilinen müşteri talebinin karşılanması ve toplam müşteri talebinin araç kapasitesinin aşmaması problemin varsayımları olarak tanımlanmaktadır.

Ulaştırma, dağıtım ve lojistik alanlarında uygulama seviyesinde önemli bir problem olan ARP, 1950'li yılların sonuna doğru ilk defa Dantzig ve Ramser [2] tarafından ortaya konmuş ve modellenmiştir. Bu problemde yakıt dağıtım problemi ele alınarak ve problemin çözümü için bir matematiksel model önerilmiştir.

ARP'de ele alınan probleme eklenen kısıtlar ve problemin özelliklerine göre farklı türler mevcuttur.

- Çoklu Depoya Sahip Araç Rotalama Problemi,
- Bölünmüş Talebe Sahip Araç Rotalama Problemi,
- Belirsiz Talebe Sahip Araç Rotalama Problemi,
- Dağıtım Toplamalı Araç Rotalama Problemi
- Geri Toplamalı Araç Rotalama Problemi,
- Zaman Pencere Araç Rotalama Problemi,
- Heterojen Filolu Araç Rotalama Problemi,
- Asimetrik Araç Rotalama Problemi

Bir kararla yurt geneline yayılmış bulunan tehlikeli malzemenin daha iyi değerlendirilebileceği, stratejik açıdan daha üstün olacağı başka merkezlere taşınması gerekebilmektedir. Problem özellikleri dikkate alındığında Heterojen Eş-Zamanlı Topla-Dağıt Araç Rotalama Problemi (HETDARP) olarak ele alınacaktır.

Bu çalışmada, ülke geneline yayılmış 16 tane depodan bir merkezi depoya ve bu merkezi depodan diğer depolara tehlikeli maddenin taşınmasının en az maliyet ve en az araçla taşınması amaçlanmıştır. İkinci bölümde ARP ile ilgili literatürde bulunan çalışmalar incelenmiştir. Üçüncü bölümde problemin tanımı, özellikleri incelenerek matematiksel modeli verilmiştir. Dördüncü bölümde ele alınan tehlikeli madde taşıma problemi anlatılmış ve problemin çözüm sonucu verilmiştir. Beşinci ve son bölümde ise sonuçlar tartışılmıştır.

2. Literatürde Yapılan Çalışmalar

Araç rotalama probleminin matematiksel modeli ve çözüm yaklaşımı ilk olarak 1959 yılında Dantzing ve Ramser [2] tarafından literatüre kazandırılmıştır. Araç Rotalama Problemi (ARP) olarak bilinen bu problemde; belirli bir noktadan (örneğin depo) çıkarak konumları ve talep miktarları önceden belli bir grup müşteriye servis sağlayan kapasite ve tipleri aynı veya farklı olan araçlardan oluşmuş bir araç filosunun rotaları, kat ettikleri toplam mesafeyi minimize edecek şekilde belirlenir [3]. Araç rotalama problemleri yeni kısıtların eklenmesiyle yeni türleri oluşmuştur. Araç rotalama problemleri, türleri, özellikleri detaylı olarak Toth ve Vigo [4] çalışmalarında yer almaktadır.

Dünyada kaynaklarının azalması, müşterilerin bilinçlenmesi gibi nedenlerden dolayı, müşterilerden işletmelere gerçekleşen mal taşımacılığı günümüz lojistik faaliyetlerinin önemli bir unsuru haline gelmiştir. Böylece, tesislerden müşterilere yapılacak taşıma işlemleri ile müşterilerden tesislere toplama işlemlerinin aynı araçlarla gerçekleştirildiği problemler olan Topla Dağıt Araç Rotalama Problemleri (DTARP) 1980'li yıllardan bugüne kadar çeşitli çalışmaların yapıldığı bir ARP türü olarak ortaya çıkmıştır. Dağıtım ve toplama işlemini aynı anda gerçekleştirdiği özel hali ise eş zamanlı toplama dağıtım araç rotalama problemleri (EZTDARP) olarak tanımlanmaktadır. Araç müşteriye geldiği zaman müşterinin talebini teslim etmekte ve aynı zamanda müşteriden depoya gidecek ürünleri de yüklemektedir.

Eşzamanlı topla dağıtım araç rotalama problemleri ilk olarak 1989 yılında Min[5] tarafından tanımlanmıştır. Min[5] çalışmasında 1 depo, 2 araç ve 22 müşteriden oluşan kütüphane sisteminde kütüphaneler arasında kitap taşınmasına ilişkin bir algoritma geliştirmiştir. 2000'li

yıllarda gerçek hayatta toplama faaliyetleri ile daha çok karşılaşılmasıyla probleme ilgi giderek artmıştır. Çetin [3] ve Karaoğlan [6] çalışmalarında ARP ile ilgili 2011 yılına kadar olan literatürü ele almışlardır.

Göksal vd.[7] çalışmalarında EZTDARP ele alarak çözümü için parçacık sürü optimizasyonu (PSO) önermişlerdir. Önerilen PSO'nun etkinliği literatürdeki problemlerle karşılaştırılarak incelenmiştir. Tasan ve Gen [8] çalışmalarında EZTDARP için genetik algoritma tabanlı yaklaşım önermiş ve önerilen yaklaşımın performansını literatürdeki test problemlerini çözerek değerlendirmiştir. Fan [9] çalışmasında müşteri memnuniyetinin önemini vurgulanarak EZTDARP için müşteri memnuniyetinin servisin istenilen zaman aralığında yapılması ile sağlanacağını belirtmiştir. Çalışmada amaç seyahat mesafesinin en küçüklenmesi ve müşteri memnuniyeti toplamını en büyüklenmesi olarak belirlenmiştir. Liu vd.[10] çalışmalarında evde sağlık hizmeti veren kurumlardan ilaç ve medikal cihazların hastalara, özel ilaçların hastanelerden hastalara gönderilmesi ve kullanılmayan ilaç, medikal cihaz ve tahlillerin hastalardan alınmasını zaman pencereli eş zamanlı topla dağıt problemi olarak ele almışlardır. Tanımlanan problem için matematiksel model önerilmiş ve sonrasında genetik algoritma ve tabu arama yöntemleri kullanılmışlardır. Polat vd. [11] çalışmalarında zaman sınırlı EZTDARP için karışık tamsayı matematiksel model geliştirmiş ve çözüm için karışıklık tabanlı değişken komşu arama sezgiselini kazanım algoritması ile birleştiren bir yaklaşım önermişlerdir. Avcı ve Topaloğlu [12] NP zor problem olan heterojen filolu EZTDARP ele alarak bölgesel arama ile tabu aramayı entegre eden bir algoritma önererek test problemlerini çözerek performansını değerlendirmiştir. Çok depolu EZTDARP'nin gerçek hayatta sıklıkla karşılaşılan bir problem olmasına rağmen akademik olarak çalışılmadığını düşünen Li vd [13] yılında yaptıkları çalışmada bu problemi ele alarak metasezgisel yaklaşım önermişlerdir. Ayrıca önerdikleri sezgiselin karınca kolonisi, komşu arama, PSO'dan daha iyi sonuçlar verdiğini vurgulamıştır. Wang ve Chen [14] çalışmalarında zaman pencereli EZTDARP için 0-1 tamsayı modeli ve problemin çözümünün daha kısa sürede bulunmasını sağlamak için sezgisel algoritma önermişlerdir. Çalışmanın performansı literatürde çok kullanılan veri setlerinden yeni veri türetilerek değerlendirilmişlerdir. Zang vd [15] çalışmalarında zaman bağımlı EZTDARP için karışık tamsayı matematiksel model ve genetik algoritma ile tabu aramayı birleştiren hibrit bir yaklaşım önermişlerdir. Subramanian vd[16] homojen filolu ARP için hibrit algoritma önermişlerdir. Ayrıca önerdikleri algoritmayı kapasite kısıtlı ARP, Asimetrik ARP, açık ARP, eş zamanlı topla dağıt ARP, karışık topla dağıt ARP, çok depolu ARP, çok depolu ve karışık topla dağıt ARP'ye uygulamışlardır. ARP kullanılan araçların aynı veya farklı olmasına göre homojen filolu ARP ve heterojen filolu ARP olarak da sınıflandırılmaktadır.

Gerçek hayat uygulamalarına bakıldığında Tarantilis ve Kiranoudis[17] heterojen araç filosu ile gerçekleştirilen taze süt dağıtım faaliyetleri konusunda bir çalışma yapmışlardır. Prins [18] mobilya sektöründe 71 heterojen aracın bulunduğu 700 düğümlü filo üzerinde uygulama yapmıştır. Bir başka çalışma ise Cheung ve Hang[19] heterojen araç filolu hava kargo nakliye şirketlerinin karşılaştıkları bir problemi incelemişlerdir. Aynı çalışmada müşterilerden depoya iletilen talepler de dikkate alınmıştır. Tarantilis ve Kiranoudis [21] çabuk bozulabilen gıda ürünleri ile hazır beton dağıtım ile ilgili çalışmalar yapmışlardır. Güvez vd. [21] yaptıkları çalışmada Kırıkkale ilinde tıbbi atık toplanmasında araçların rotalarını belirlemişlerdir. Dege vd [22] Kırıkkale Halk Ekmek fabrikasının ekmek dağıtım rotalarını belirlemek için bir çalışma yapmışlardır.

3. Eş Zamanlı Topla-Dağıt Araç Rotalama Problemi

Basit tanımıyla ARP bir merkezi depoda yerleşmiş bulunan ver her biri aynı veya farklı kapasitelere sahip olan araçlar filosunun her biri farklı bir yerleşime ve bilinen talebe sahip olan müşteri kümesine toplam seyahat mesafesini veya süresini en küçükleyecek şekilde hizmet sunarak depoya geri dönmesi için rotaların belirlenmesi problemidir[3].

Problemin özellikleri ve ele alınan kısıtlara göre ARP'nin farklı türleri geliştirilmiştir. Atıkların toplanıp geri dönüşüm tesislerinde kullanılması, müşterilerin aldıkları ürünlerden memnun kalmayıp iade etmesi problemleri toplam dağıt araç rotalama problemleri (TDARP)olarak tanımlanmaktadır. TDARP'de her rota depoda başlar, her müşteriye bir araç gider, rotanın toplam talebi araç kapasitesini aşamaz, her müşterinin toplama ve dağıtım olmak üzere iki talebi vardır. Dağıtım ve toplama işlemlerinin yapılma durumuna göre önce dağıt sonra topla ARP, karışık topla dağıt ARP ve eş zamanlı topla dağıt problemleri olarak 3'e ayrılmaktadır.

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

Kececi[1]'nin heterojen eş zamanlı topla dağıt araç rotalama problemi (HETDARP) için önerdiği matematiksel model aşağıdaki gibidir.

Notasyonlar:

- N düğümler kümesi,
- B farklı tipteki araçlar kümesi,
- c_{ij} i ve j müşterileri arasındaki mesafeyi k tipi araçla kat etmenin maliyeti ($i, j \in N, k \in B$)
- d_i i müşterisinin dağıtım talebi ($i \in N, d_0 = 0$)
- p_i i müşterisinin toplama talebi ($i \in N, p_0 = 0$)
- f_k k tipi aracın sabit maliyeti ($k \in B$)
- T_k kullanılabilir k tipi araç sayısı ($k \in B$)
- Q_k k tipi aracın kapasitesi ($k \in B$)
- Q_{\max} araç kapasitelerinin en büyüğü ($\max_{k \in B} \{Q_k\}$)

Karar Değişkenleri:

- y_k filoda k tipi araçtan seçilecek araç sayısı ($k \in B$)
- m tur sayısı
- z_{ij} (i,j) ayrıtı bir aracın turu üzerinde ise, bu araç j'inci düğüme gelene kadar araçta kalan dağıtılacak yük miktarını gösterir yardımcı karar değişkeni. (i,j) ayrıtı herhangi bir aracın turu üzerinde değil ise 0 değerini alır ($i, j \in N$)
- t_{ij} (i,j) ayrıtı bir aracın turu üzerinde ise, bu araç j'inci düğüme gelene kadar toplanan yük miktarını gösterir yardımcı karar değişkeni. (i,j) ayrıtı herhangi bir aracın turu üzerinde değil ise 0 değerini alır ($i, j \in N$)
- $x_{ijk} \begin{cases} 1, & (i,j) \text{ ayrıtı } k \text{ tipi aracın güzergahında ise} \\ 0, & \text{diğer durumda} \end{cases} \quad (i,j \in N, k \in B)$

Amaç fonksiyonu:

$$\text{Min} \sum_{i \in N} \sum_{\substack{j \in N \\ i \neq j}} \sum_{k \in B} c_{ijk} x_{ijk} + \sum_{k \in B} f_k y_k \quad (1)$$

Kısıtlar:

$$\sum_{j \in N \setminus \{0\}} \sum_{k \in B} x_{0jk} \leq m \quad (2)$$

$$\sum_{i \in N \setminus \{0\}} \sum_{k \in B} x_{i0k} \leq m \quad (3)$$

$$\sum_{\substack{i \in N \\ i \neq j}} \sum_{k \in B} x_{ijk} = 1 \quad j \in N \setminus \{0\} \quad (4)$$

$$\sum_{\substack{j \in N \\ i \neq j}} x_{ijk} = \sum_{\substack{j \in N \\ i \neq j}} x_{jik} \quad i \in N \setminus \{0\}, k \in B \quad (5)$$

$$z_{ij} + t_{ij} \leq \sum_{k \in B} Q_k x_{ijk} \quad i \in N, j \in N, i \neq j \quad (6)$$

$$\sum_{\substack{j \in N \\ i \neq j}} z_{ji} - \sum_{\substack{j \in N \\ i \neq j}} z_{ij} = d_i \quad i \in N \setminus \{0\} \quad (7)$$

$$\sum_{k \in B} d_j x_{ijk} \leq z_{ij} \leq \sum_{k \in B} (Q_k - d_i) x_{ijk} \quad i, j \in N, i \neq j \quad (8)$$

$$\sum_{\substack{j \in N \\ i \neq j}} t_{ij} - \sum_{\substack{j \in N \\ i \neq j}} t_{ji} = p_i \quad i \in N \setminus \{0\} \quad (9)$$

$$\sum_{k \in B} p_i x_{ijk} \leq t_{ij} \leq \sum_{k \in B} (Q_k - p_j) x_{ijk} \quad i, j \in N, i \neq j \quad (10)$$

$$z_{i0} = 0 \quad i \in N \setminus \{0\} \quad (11)$$

$$t_{0j} \quad j \in N \setminus \{0\} \quad (12)$$

$$\sum_{k \in B} y_k \leq m \quad (13)$$

$$y_k \leq T_k \quad k \in B \quad (14)$$

$$\sum_{j \in N \setminus \{0\}} x_{0jk} = y_k \quad k \in B \quad (15)$$

$$y_k \geq 0 \text{ ve tamsayı} \quad k \in B \quad (16)$$

$$m \geq 0 \quad (17)$$

$$z_{ij}, t_{ij} \geq 0 \quad i, j \in N \quad (18)$$

$$x_{ijk} \in \{0,1\} \quad i, j \in N, k \in B \quad (19)$$

Amaç fonksiyonunda (1) toplam alınan yola bağlı maliyet ile araçların sabit maliyetlerinin toplamı minimize edilmektedir. (2) ve (3) numaralı kısıtlar depodan m tane aracın çıkışını ve depoya m tane aracın geri dönmesini sağlayan kısıtlardır. (4) numaralı kısıt bir düğüme sadece bir düğümden ulaşılmasını sağlar. (5) numaralı kısıt bir düğüme uğrayan ve düğümden ayrılan araç tipinin aynı olmasını garanti eder. (6) numaralı kısıt herhangi iki düğüm arasındaki yol üzerinde araç kapasitesinin aşılmamasını sağlamaktadır. (7) numaralı kısıt aracın yol boyunca dağıtılacak yükünün azalan şekilde olmasını sağlar. (8) numaralı kısıt dağıtılacak yük miktarının alt ve üst sınırlarını belirler. (9) numaralı kısıt aracın yol boyunca toplanacak yükünün artan şekilde olmasını sağlar. (10) numaralı kısıt toplanacak yük miktarının alt ve üst sınırlarını belirler. (11) numaralı kısıt dağıtılacak yükü tur sonunda sıfıra eşitler. (12) numaralı kısıt

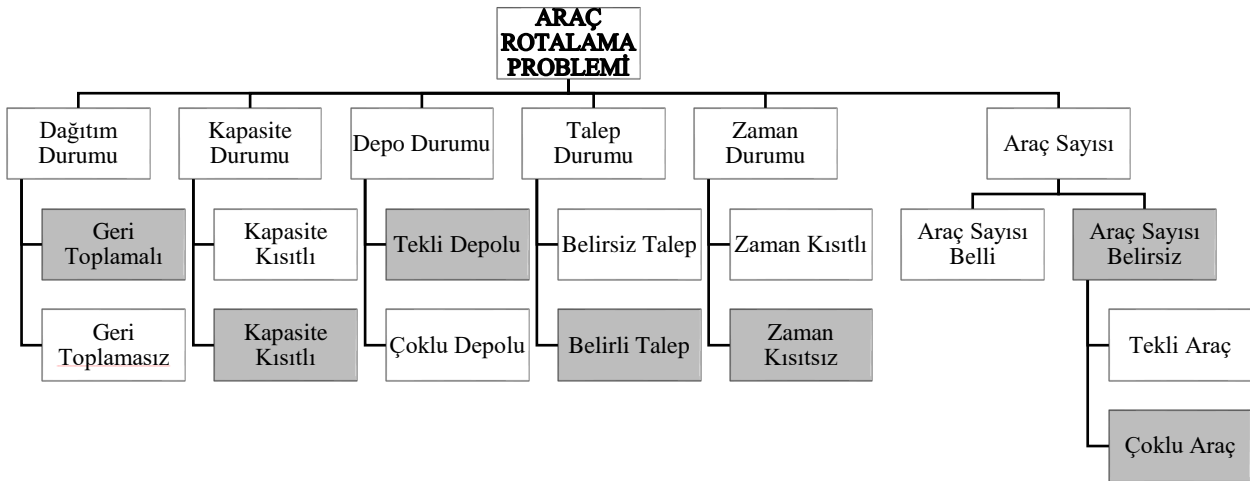
toplanacak yükü tur başında sıfıra eşitler. (13) numaralı kısıt en fazla m tane aracın seçilmesini sağlar. (14) numaralı kısıt her araç tipinden en fazla elde bulunan kadar seçilmesini sağlar. (15) numaralı kısıt depodan ayrılan k tipi araç sayısının filodan seçilecek k tipi araç sayısına eşit olmasını sağlar. (16)-(19) karar değişkenlerinin tipini belirtmektedir.

4. Örnek Uygulama

Ülkenin orta kesiminde bir ilde konuşlu merkezi depodan ülke geneline yayılmış diğer depolara, diğer depolardan ise merkezi depoya tehlikeli malzeme sevkiyatı yapılmaktadır. Bu çalışmada yılda çok sayıda gerçekleştirilen bu sevkiyatlardan bir tanesi ele alınacaktır. Bu sevkiyat 16 depoya yapılacaktır.

- Her deponun dağıtım ve toplama talepleri bilinmektedir.
- Talepler tek depodan karşılanacak toplamalar tek depoya yapılacaktır.
- Rota üzerinde iller arasında taşıma yapılmamaktadır.
- Her deponun toplama ve dağıtım talebi yalnız bir araçla karşılanacaktır.

Şekil 1’de de görüneceği gibi ele alınan problem geri toplamalı, kapasite kısıtlı, tek depolu, belirli talepli, zaman kısıtsız, belirsiz araç sayılı bir ARP’dir.



Şekil 1. ARP türü

Depoların birbirine olan mesafesi Google Earth programıyla tespit edilmiş ve Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Depoların birbirine olan mesafesi

No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1	-	572	586	629	639	737	770	244	680	773	451	619	792	889	928	672	410
2	567	-	11	85	96	198	226	811	1247	1340	955	1095	1286	1365	1495	644	231
3	575	11	-	83	81	183	211	819	1254	1349	962	1102	1276	1373	1434	651	218
4	623	76	61	-	25	134	162	867	1302	1397	1011	1151	1325	1422	1482	544	287
5	640	83	81	25	-	112	140	884	1319	1414	1027	1167	1341	1438	1499	522	303
6	733	187	193	132	110	-	67	977	1413	1506	1121	1259	1453	1532	1661	549	397
7	762	215	222	161	138	62	-	1006	1442	1535	1150	1290	1463	1560	1690	500	426
8	244	811	825	868	878	981	1009	-	435	528	277	444	617	714	683	800	654
9	681	1247	1268	1305	1315	1417	1446	436	-	98	531	282	329	404	253	1238	1090
10	774	1340	1355	1397	1408	1510	1538	529	98	-	578	308	356	431	279	1387	1183
11	438	965	980	1023	1033	1135	1163	280	530	579	-	721	895	992	778	831	808
12	616	1093	1108	1151	1161	1263	1292	444	280	297	719	-	178	275	292	1242	936
13	787	1254	1281	1324	1334	1436	1456	618	329	359	896	174	-	101	217	1410	1109
14	884	1363	1378	1421	1431	1533	1562	714	415	432	989	275	101	-	229	1512	1206
15	926	1381	1395	1438	1448	1550	1579	716	297	315	811	292	232	229	-	1520	1223
16	671	642	656	540	518	560	499	801	1233	1390	832	1243	1416	1513	1521	-	528
17	409	229	243	286	296	398	427	653	1082	1181	796	937	1110	1207	1224	527	-

Depoların talep ettiği ürünlerin hacim ve ağırlıkları Tablo 2’de depoların toplama talepleri Tablo 3’te verilmiştir.

Tablo 2. Dağıtım Müşteri Talepleri

No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Kg	0	0	5803	9193	0	0	5013	216	1384	3719	0	75	0	8300	330	25800	0
M3	0	0	3	4	0	0	3	1	1	3	0	1	0	4	1	24	0

Tablo 3. Toplama Müşteri Talepleri

No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
kg	0	240	0	0	2385	374	0	0	104	226	4618	2521	3000	2800	0	0	735
h	0	1	0	0	2	1	0	0	1	1	3	2	4	3	0	0	1

Bu sevkiyatı yapmak için elimizde sırasıyla 16, 18, 20, 26 ton 18, 20, 24, 52 m³ taşıma kapasitesine sahip yeteri kadar araç mevcuttur. Tehlikeli malzeme sevkiyatından kaynaklanan her araçlar için sırasıyla tipine göre 500, 600, 800, 1000 TL’lik bir sabit maliyet oluşmaktadır. Ayrıca yakıtın litre fiyatı 3.85 alındığında araçların km başına yakıt maliyetleri sırasıyla 0.9625, 0.9625, 1.155, 1.3475’dir.

Toplama ve dağıtım talepleri kg cinsinden tespit edilirken malzemenin taşınmasında kullanılan sandık ağırlıkları da dikkate alınmıştır. Hacim için ise aynı şekilde sandık içinde hacimleri dikkate alınmıştır.

Problem ILOG CPLEX 12.6 programıyla modellenmiştir. Problemin çözümü için araç tiplerinden yeterince var olduğu kabul edilerek model çalıştırılmıştır.

Problemin çözülmesi sonucunda, 1. tip araç olan 16 tonluk araçtan 1 adet ve 4. tip araç olan 26 tonluk araçtan ise 2 adet kullanılmaktadır. Sonuçlar ve araç rotaları Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 4: Sonuç Tablosu

Araç	Rota	Maliyet	Dağıtım Kg	Toplama Kg	Dağıtım M ³	Toplama M ³
1	1-8-9-10-15-14-13-12-11-1	3115	14024	13269	11	14
2	1-16-1	2108	25800	0	24	0
3	1-17-2-3-4-5-7-6-1	3281	20009	3734	10	4
	Toplam Maliyet	9206				

5. Sonuç Ve Öneriler

Ürünlerin müşterilere ya da ara depolara ulaştırılmasının hızlı, güvenli ve ekonomik yapılmasının gerekliliğinden ötürü ARP'nin önemi her geçen gün artmaktadır. Tüketimi tahmin edilemeyen, ihtiyaç şekli miktarı ve zamanı özellikle gerginlik ve savaş anlarında bilinmeyen bir ürün olan tehlikeli malzemenin gerginlik dönemi olmayan bir zamanda taşınması ele alınmıştır. 77 ton tehlikeli malzemeyi 16 depoya ve 16 depodan ana depoya 3 araç kullanılarak ve 9206 TL maliyet ile taşınabilmektedir.

Çalışmamızda depolar arası yapılacak taşımalar ele alınmamıştır. Ayrıca gece intikal yapılmaması, yolların kullanılamaz halde olması gibi kısıtlarında ele alınacağı problemler de araştırılabilir. Bu gibi problemleri zaman kısıtlı ve çok depolu ARP olarak modellenip çözülebileceği değerlendirilmekte, sonraki çalışmalara ışık tutacağı düşünülmektedir.

Kaynakça

- [1] Keçeci B. Heterojen eş-zamanlı topla-dağıt araç rotalama problemi için matematiksel modeller ve sezgisel yaklaşımlar. Doktora Tezi; Gazi Üniversitesi; Ankara; 2015.
- [2] Dantzig GB, Ramser JH. The truck dispatching problem. Management Science 1959;80:6-1.
- [3] Çetin S. Kesin Zaman Pencere Eş Zamanlı Dağıtım Toplamalı Araç Rotalama Problemleri, Doktora Tezi; Gazi Üniversitesi; Ankara; 2011.
- [4] Toth P, Vigo D. The Vehicle Routing Problem. Philadelphia: Society for Industrial and Applied Mathematics; 2001
- [5] Min H. The Multiple Vehicle Routing Problem with Simultaneous Delivery and Pick-Up Points. Transportation Research-A, 1989;377:23A-5.
- [6] Karaoğlan İ. Dağıtım Ağları Tasarımında Yer Seçimi ve Eşzamanlı Topla-Dağıt Araç Rotalama Problemi. Doktora Tezi; Gazi Üniversitesi; Ankara; 2009.
- [7] Goksal FP, Karaoğlan I, Altıparmak F. A hybrid discrete particle swarm optimization for vehicle routing problem with simultaneous pickup and delivery. Computers & Industrial Engineering 2013;39:65-1,
- [8] Tasan AS, Gen M. A genetic algorithm based approach to vehicle routing problem with simultaneous pick-up and deliveries. Computers & Industrial Engineering 2012;755:62-3.
- [9] Fan J. The vehicle routing problem with simultaneous pickup and delivery based on customer satisfaction. Procedia Engineering 2011;5284:15.

- [10] Liu R, Xie X, Augusto V, Rodriguez C. Heuristic algorithms for a vehicle routing problem with simultaneous delivery and pickup and time windows in home health care. *European Journal of Operational Research* 2013;475:230-3.
- [11] Polat O, Kalayci CB, Kulak O, Günther HO. A perturbation based variable neighborhood search heuristic for solving the Vehicle Routing Problem with Simultaneous Pickup and Delivery with Time Limit. *European Journal of Operational Research* 2015;369:242-2.
- [12] Avci M, Topaloglu S. A hybrid metaheuristic algorithm for heterogeneous vehicle routing problem with simultaneous pickup and delivery. *Expert Systems With Applications* 2016;160:53.
- [13] Li J, Pardalos PM, Sun H, Pei J, Zhang Y. Iterated local search embedded adaptive neighbourhood selection approach for the multi-depot vehicle routing problem with simultaneous deliveries and pickups. *Expert Systems with Applications* 2015; 3551:42-7.
- [14] Wang HF, Chen YY. A genetic algorithm for the simultaneous delivery and pickup problems with time window. *Computers & Industrial Engineering* 2012;84:62-1.
- [15] Zhang T, Chaovalitwongse WA, Zhang Y. Integrated Ant Colony and Tabu Search approach for time dependent vehicle routing problems with simultaneous pickup and delivery. *Journal of Combinatorial Optimization* 2014;288:28-1.
- [16] Subramanian A, Uchoa E, Ochi LS. A hybrid algorithm for a class of vehicle routing problems. *Computers & Operations Research* 2013;2519:40-10.
- [17] Tarantilis CD, Kiranoudis CT. A meta-heuristic algorithm for the efficient distribution of perishable foods. *Journal of Food Engineering* 2001;1:50-1.
- [18] Prins C. Efficient heuristics for the heterogeneous fleet multitrip VRP with application to a large-scale real case. *Journal of Mathematical Modelling and Algorithms* 2002;135:1-2.
- [19] Cheung RK, Hang DD. Multi-attribute label matching algorithms for vehicle routing problems with time windows and backhauls. *IIE transactions* 2003;191:35-3.
- [20] Tarantilis CD, Kiranoudis CT. A flexible adaptive memory-based algorithm for real-life transportation operations: Two case studies from dairy and construction sector. *European Journal of Operational Research* 2007;806:179-3.
- [21] Güvez H, Dege M, Eren T. Kırıkkale’de Araç Rotalama Problemi ile Tıbbi Atıkların Toplanması. *International Journal of Engineering* 2012;41:4-1.
- [22] Dege M, Sungur E, Aytaç B, Eren T. Araç rotalama problemi ile Kırıkkale Belediyesi halk ekmeği dağıtımı. *Proceedings of the 12th International Symposium on Econometrics Statistics and Operations Research* 266-276, Denizli, Turkey, 2011.